

DIN EN ISO/CIE 11664-1



ICS 17.180.20

Entwurf

Einsprüche bis 2019-05-08
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 11664-1:2011-07 und
DIN EN ISO 11664-1
Berichtigung 1:2012-11

Farbmetrik –**Teil 1: CIE farbmétrische Normalbeobachter (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/CIE 11664-1:2019****Colorimetry –**

Part 1: CIE standard colorimetric observers (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019);
German and English version prEN ISO/CIE 11664-1:2019

Colorimétrie –

Partie 1: Observateurs CIE de référence pour la colorimétrie (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019);
Version allemande et anglaise prEN ISO/CIE 11664-1:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-03-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe 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 fnf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Farbe (FNF), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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 83 Seiten

DIN-Normenausschuss Farbe (FNF)
DIN-Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB)
DIN-Normenausschuss Pigmente und Füllstoffe (NPF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/CIE 11664-1:2019) wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 274 „Light and lighting“ erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 139 „Lacke und Anstrichstoffe“ dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird als Europäische Norm übernommen.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der NA 025-00-02 GA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss FNF/FNL: Farbmimetrik“ im DIN-Normenausschuss Farbe (FNF).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

DIN EN ISO 11664 besteht unter dem allgemeinen Titel *Farbmimetrik* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: CIE farbmimetrische Normalbeobachter
- Teil 2: CIE Normlichtarten
- Teil 3: CIE-Farbwerte
- Teil 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Farbenraum
- Teil 5: CIE 1976 $L^*u^*v^*$ -Farbenraum und gleichabständige u' , v' -Farbtafel
- Teil 6: CIEDE2000 Formel für den Farbabstand

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 11664-2:2007/CIE S 014-2:2006 siehe DIN EN ISO 11664-2:2011-07

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 11664-1:2011-07 und DIN EN ISO 11664-1 Berichtigung 1:2012-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Normnummer geändert in DIN EN ISO/CIE 11664-1;
- b) Norm redaktionell überarbeitet;
- c) Abschnitt 3: ehem. Begriff 3.2 "relative colour stimulus function" entfallen;
- d) Formeln durchgängig benummert;
- e) Abschnitte „Normative Verweisungen“ und „Literatur“ aktualisiert.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 11664-2:2011-07, *Farbmetrik — Teil 2: CIE Normlichtarten (ISO 11664-2:2007); Deutsche Fassung EN 11664-2:2011*

— Leerseite —

Farbmetrik — Teil 1: CIE farbmetrische Normalbeobachter (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019)

Colorimétrie — Partie 1 : Observateurs CIE de référence pour la colorimétrie (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019)

Colorimetry — Part 1: CIE standard colorimetric observers (ISO/CIE FDIS 11664-1:2019)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	3
Vorwort.....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
4 Festlegungen.....	10
4.1 Spektralwertfunktionen.....	10
4.2 Spektrale Normfarbwertanteile.....	10
5 Abteilung der Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1931.....	10
5.1 Experimentelle Grundlage.....	10
5.2 Transformationsverfahren.....	11
5.3 Transformationseigenschaften.....	11
5.4 Vergleich mit früheren Daten.....	12
6 Ableitung der Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1964.....	12
6.1 Experimentelle Grundlage.....	12
6.2 Transformationsverfahren.....	12
6.3 Transformationseigenschaften.....	13
6.4 Vergleich mit früheren Daten.....	13
7 Praktische Anwendung der Spektralwertfunktionen für farbmetrische CIE-Normalbeobachter.....	13
7.1 Ermittlung von Farbwerten.....	13
7.2 Grundlage für die Integration.....	14
7.3 Aktivität der Stäbchen.....	14
7.4 Verwendung von eingeschränkten Daten.....	14
7.5 Reflexionsstandard.....	14
Literaturhinweise.....	42

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/CIE 11664-1:2019) wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 274 „Light and lighting“ und dem Technischen Komitee CEN/TC 139 „Lacke und Anstrichstoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 11664-1:2011 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/CIE FDIS 11664-1:2019 wurde von CEN als prEN ISO/CIE 11664-1:2019 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Themen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) in Zusammenarbeit mit ISO/TC 274 erarbeitet.

Diese erste Ausgabe von ISO/CIE 11664-1 ersetzt ISO 11664-1:2007/CIE S 014-1:2006, die geringfügig geändert wurde und geringfügige redaktionelle Aktualisierungen enthält.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO CIE 11664 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Farben von unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung können ähnlich aussehen. Eine wichtige Aufgabe der Farbmimetrik ist es, zu bestimmen, ob ein Paar solcher metamerer Farben ähnlich aussehen wird. Die Anwendung visueller Farbmessgeräte für diesen Zweck ist durch Schwankungen in den Farbübereinstimmungen von Beobachtern, die als farbennormalsichtig eingestuft wurden, erschwert. Visuelle Farbmessung neigt auch dazu, zeitaufwändig zu sein. Aus diesen Gründen wurde es schon vor langer Zeit Praxis in der Farbmessung, Sätze von Spektralwertfunktionen zu verwenden, um Farbwerte von Farben zu berechnen: Gleichheit von Farbwerten für ein Paar von Farben zeigt an, dass das Aussehen der beiden Farben übereinstimmt, wenn sie unter den gleichen Bedingungen von einem Beobachter betrachtet werden, für den die Spektralwertfunktionen gelten. Die Anwendung von genormten Sätzen von Spektralwertfunktionen macht den Vergleich von Farbwerten zu unterschiedlichen Zeiten und an unterschiedlichen Orten möglich.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Spektralwertfunktionen zur Anwendung in der Farbmetrie fest. Es werden zwei Sätze von Spektralwertfunktionen festgelegt.

a) Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1931.

Dieser Satz von Spektralwertfunktionen ist repräsentativ für die Farbabgleicheigenschaften von Beobachtern mit normalem Farbsehvermögen für Gesichtsfeldgrößen von etwa 1° bis etwa 4°, bei Adaption des Auges an photopisches Sehen (Tagessehen).

b) Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1964.

Dieser Satz von Spektralwertfunktionen ist repräsentativ für die Farbabgleicheigenschaften von Beobachtern mit normalem Farbsehvermögen für Gesichtsfeldgrößen über etwa 4°, bei Adaption des Auges an photopisches Sehen (Tagessehen) mit ausreichend hohem Niveau und mit einer solchen spektralen Strahlungsverteilung, das keine Beteiligung von Stäbchenrezeptoren der Netzhaut zu erwarten ist.

2 Normative Verweisungen

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

CIE S 017, ILV: *International Lighting Vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach CIE S 017 und die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1 Farbreizfunktion

$\varphi_{\lambda}(\lambda)$

Beschreibung eines Farbreizes durch die Spektralverteilung einer Strahlungsgröße, z. B. Strahldichte, Strahlungsleistung, als Funktion der Wellenlänge

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-003]

3.2 bedingtgleiche Farbreize, pl. metamere Farbreize, pl.

spektral verschiedene Farbreize mit gleicher Farbvalenz in einem festgelegten farbmtrischen System

Anmerkung 1 zum Begriff: Die entsprechende Eigenschaft wird „Metamerie“ genannt.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-008]

3.3

monochromatischer Farbreiz

spektraler Farbreiz

Farbreiz monochromatischer Strahlung

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-011]

3.4

energiegleiches Spektrum

Strahlungsfunktion, die im sichtbaren Spektralbereich in allen gleich breiten Wellenlängenintervallen konstant ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das sogenannte energiegleiche Spektrum wird manchmal auch als Lichtart verwendet, in diesem Fall wird es mit dem Buchstaben *E* gekennzeichnet.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Term 17-23-023, geändert— „ $(\varphi\lambda(\lambda) = \text{konstant})$ “ am Ende der Definition entfallen.]

3.5

additive Farbmischung

<Farbreize> Einwirkung verschiedener Farbreize auf dieselbe Netzhautstelle, so dass diese nicht getrennt empfunden werden können

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-030]

3.6

Farbabgleich

eine veränderliche oder herzustellende Farbe wird so eingestellt, dass sie einer anderen (vorgegebenen) Farbe ununterscheidbar gleich wird

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-031]

3.7

trichromatisches System

System für die Beschreibung von Farbvalenzen, das auf der additiven Farbmischung mit drei geeignet gewählten Primärvalenzen beruht

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-036]

3.8

Primärvalenzen, pl.

die drei Farbvalenzen, die ein trichromatisches System festlegen

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Farbvalenzen sind entweder reelle oder virtuelle Farbvalenzen, definiert durch lineare Kombinationen reeller Primärvalenzen.

Anmerkung 2 zum Begriff: In den normierten trichromatischen Systemen der CIE werden die Primärvalenzen mit den Symbolen [R], [G], [B], [X], [Y], [Z], [R₁₀], [G₁₀], [B₁₀] und [X₁₀], [Y₁₀], [Z₁₀] bezeichnet.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-037]

3.9

Farbwerte, pl.

<einer Farbvalenz> Betrag dreier Primärvalenzen eines trichromatischen Systems, mit denen für eine gegebene Farbvalenz ein Farbabgleich erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In den normierten trichromatischen Systemen der CIE werden die Primärvalenzen zum Beispiel mit den Symbolen $R, G, B; X, Y, Z; R_{10}, G_{10}, B_{10}$ oder X_{10}, Y_{10}, Z_{10} bezeichnet.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-038]

3.10

Spektralwertfunktionen, pl.

<eines trichromatischen Systems> Farbwerte spektraler Farbreize gleicher Strahlungsleistung

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-039, geändert — Anmerkungen zum Begriff entfallen.]

3.11

CIE-Normvalenzsystem 1931

X, Y, Z

farbmessstechnisches System zur Bewertung der Farbwerte beliebiger Strahlungsfunktionen mit Hilfe der drei Primärvalenzen $[X], [Y], [Z]$ und der drei Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$, die 1931 von der CIE angenommen worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: $\bar{y}(\lambda)$ ist identisch mit $V(\lambda)$ und daher sind die Normfarbwerte Y proportional zu den Leuchtdichten.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das CIE-Normvalenzsystem 1931 ist für zentral fixierte Gesichtsfelder zwischen ungefähr 1° und ungefähr 4° ($0,017$ rad und $0,07$ rad) gültig.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das CIE-Normvalenzsystem 1931 kann mit einer Transformation aus dem CIE-RGB-Valenzsystem 1931 abgeleitet werden, die auf einem Gleichungssystem aus drei linearen Gleichungen beruht. Das CIE-RGB-System 1931 beruht auf drei reellen monochromatischen Primärvalenzen.

Anmerkung 4 zum Begriff: Siehe auch CIE 15 *Colorimetry*.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-045]

3.12

CIE-Normvalenzsystem 1964

X_{10}, Y_{10}, Z_{10}

farbmessstechnisches System zur Bewertung der Farbwerte beliebiger Strahlungsfunktionen mit Hilfe der drei Primärvalenzen $[X_{10}], [Y_{10}], [Z_{10}]$ und der drei Normspektralwertfunktionen $\bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$, die 1964 von der CIE angenommen worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Das CIE-Normvalenzsystem 1964 ist für zentral fixierte Gesichtsfelder über ungefähr 4° ($0,07$ rad) gültig.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Anwendung des CIE-Normvalenzsystems 1964 müssen alle farbmessmetrischen Größen durch den Index 10 gekennzeichnet sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe auch CIE 15 *Colorimetry*.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-046]

3.13

CIE-Normspektralwertfunktionen, pl.

Funktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ im CIE-Normvalenzsystem 1931 oder $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ im CIE-Normvalenzsystem 1964

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-047]

3.14

farbmestechnischer Normalbeobachter CIE 1931

idealer Beobachter, dessen farbmestechnische Eigenschaften den Normspektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ entsprechen, die 1931 von der CIE angenommen wurden

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-049]

3.15

farbmestechnischer Normalbeobachter CIE 1964

idealer Beobachter, dessen farbmestechnische Eigenschaften den Normspektralwertfunktionen $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ entsprechen, die 1964 von der CIE angenommen worden sind

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-050, geändert — Anmerkung 1 zum Begriff entfällt.]

3.16

Farbwertanteile, pl.

Anteile, die die Verhältnisse der drei Farbwerte zu ihrer Summe ausdrücken

Anmerkung 1 zum Begriff: Da die Summe aus den drei Farbwertanteilen 1 ergibt, genügen zwei von ihnen zur Bestimmung der Farbart.

Anmerkung 2 zum Begriff: In den normierten trichromatischen Systemen der CIE werden die Farbwertanteile mit den Symbolen x, y, z oder x_{10}, y_{10}, z_{10} bezeichnet.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Farbwertanteile sind ein Anteil von eins.

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-053]

3.17

Spektralwertanteile, pl.

$r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$; $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$; $r_{10}(\lambda)$, $g_{10}(\lambda)$, $b_{10}(\lambda)$; $x_{10}(\lambda)$, $y_{10}(\lambda)$, $z_{10}(\lambda)$

Farbwertanteile der spektralen Farbvalenzen

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-23-055]

3.18

spektraler Hellempfindlichkeitsgrad

$V(\lambda)$, <für photopisches Sehen>; $V'(\lambda)$, <für skotopisches Sehen>; $V_{\text{mes};m}(\lambda)$, <für mesopisches Sehen>; $V_{10}(\lambda)$, <für den photopisch photometrischen Beobachter CIE 10°>; $V_M(\lambda)$, <für die modifizierte Funktion des spektralen 2°-Hellempfindlichkeitsgrad für photopisches Sehen CIE 1988>

<für eine festgelegte photometrische Bedingung> Quotient der Strahlungsleistung bei der Wellenlänge λ_m zu der bei der Wellenlänge λ , sodass beide unter bestimmten photometrischen Bedingungen das gleiche Leuchtempfinden hervorrufen. Dabei ist λ_m so zu wählen, dass das Maximum dieses Quotienten gleich 1 wird

[QUELLE: CIE DIS 017:2016, Begriff 17-21-035, geändert — Anmerkungen zum Begriff entfallen.]

3.19

vollkommen mattweißes Medium bei Reflexion

gleichmäßig streuendes Medium, dessen Reflexionsgrad den Wert 1 hat

4 Festlegungen

4.1 Spektralwertfunktionen

Die Spektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ des Normalbeobachters CIE 1931 sind durch die in Tabelle 1 angegebenen Werte definiert, und die Spektralwertfunktionen $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ des Normalbeobachters CIE 1964 durch die Werte in Tabelle 2. Die Werte sind in Intervallen von 1 nm für die Wellenlängen von 360 nm bis 830 nm angegeben. Falls Werte für kleinere Wellenlängenintervalle als 1 nm benötigt werden, sollten sie durch lineare Interpolation abgeleitet werden.

4.2 Spektrale Normfarbwertanteile

Die Tabellen 1 und 2 geben auch Werte für spektrale Normfarbwertanteile $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$; $x_{10}(\lambda)$, $y_{10}(\lambda)$, $z_{10}(\lambda)$ an; diese wurden von den entsprechenden Spektralwertfunktionen abgeleitet, indem folgende Verhältnisse nach den Gleichungen (1) bis (6) gebildet wurden:

$$x(\lambda) = \frac{\bar{x}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \quad (1)$$

$$y(\lambda) = \frac{\bar{y}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \quad (2)$$

$$z(\lambda) = \frac{\bar{z}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \quad (3)$$

und

$$x_{10}(\lambda) = \frac{\bar{x}_{10}(\lambda)}{\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)} \quad (4)$$

$$y_{10}(\lambda) = \frac{\bar{y}_{10}(\lambda)}{\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)} \quad (5)$$

$$z_{10}(\lambda) = \frac{\bar{z}_{10}(\lambda)}{\bar{x}_{10}(\lambda) + \bar{y}_{10}(\lambda) + \bar{z}_{10}(\lambda)} \quad (6)$$

ANMERKUNG Alle Wellenlängen gelten für Normluft.

5 Abteilung der Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1931

5.1 Experimentelle Grundlage

Die Spektralwertfunktionen $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ wurden aus experimentellen Arbeiten von Wright [1] und von Guild [2] abgeleitet, bei denen insgesamt 17 Beobachter die monochromatischen Farbreize des Spektrums durch additive Mischungen von rotem, grünem und blauem Licht im Bereich von etwa 400 nm bis 700 nm nachstellten und dabei Beobachtungsfelder mit einem Winkel von 2° anwendeten.

5.2 Transformationsverfahren

Die experimentellen Ergebnisse wurden umgewandelt in solche, die erhalten worden wären, wenn die Nachstellungen mit monochromatischen Strahlungen der Wellenlängen 700 nm für das Rot [R], 546,1 nm für das Grün [G] und 435,8 nm für das Blau [B] als Primärvalenzen durchgeführt worden wären, gemessen in solchen Einheiten, dass gleiche Anteile von [R], [G] und [B] erforderlich wären, um das energiegeliche Spektrum nachzustellen.

Aus den Ergebnissen der 17 Beobachter wurden Durchschnittswerte gebildet, die geringfügig geändert wurden, so dass es durch Addieren geeigneter Anteile der [R]-, [G]- und [B]-Spektralwertfunktionen $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ möglich war, eine Funktion zu erhalten, die mit der spektralen Hellempfindlichkeit $V(\lambda)$ identisch ist; die verwendeten Anteile waren in den Verhältnissen von 1,000 0 zu 4,590 7 zu 0,060 1, und diese waren dann die relativen Leuchtdichten einheitlicher Anteile von [R], [G] und [B]. Die Spektralwertfunktionen CIE 1931 wurden dann nach den Gleichungen (7) bis (9) bestimmt:

$$\bar{x}(\lambda) = [0,49\bar{r}(\lambda) + 0,31\bar{g}(\lambda) + 0,20\bar{b}(\lambda)]n \quad (7)$$

$$\bar{y}(\lambda) = [0,176\,97\bar{r}(\lambda) + 0,812\,40\bar{g}(\lambda) + 0,010\,63\bar{b}(\lambda)]n \quad (8)$$

$$\bar{z}(\lambda) = [0,00\bar{r}(\lambda) + 0,01\bar{g}(\lambda) + 0,99\bar{b}(\lambda)]n \quad (9)$$

Dabei ist

n eine durch Gleichung (10) gegebene Normalisierungskonstante.

$$n = \frac{V(\lambda)}{0,176\,97\bar{r}(\lambda) + 0,812\,40\bar{g}(\lambda) + 0,010\,63\bar{b}(\lambda)} \quad (10)$$

n eine Konstante, nicht eine Funktion der Wellenlänge, weil die Koeffizienten 0,176 97, 0,812 40 und 0,010 63 im gleichen Verhältnis zueinander stehen wie 1,000 0 zu 4,590 7 zu 0,060 1; n ist gleich Gleichung (11).

$$\frac{1,000\,0 + 4,590\,7 + 0,060\,1}{0,176\,97 + 0,812\,40 + 0,010\,63} = 5,650\,8 \quad (11)$$

Die Werte von $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, angegeben in Tabelle 1, von 360 nm bis 400 nm und von 700 nm bis 830 nm sind durch Extrapolieren erhaltene Zahlenwerte.

5.3 Transformationseigenschaften

Die in den Gleichungen (7) bis (9) angegebene Transformation wurde gewählt, um die folgenden Ziele zu erreichen:

- 1) Die $\bar{y}(\lambda)$ -Funktion ist mit der $V(\lambda)$ -Funktion identisch.
- 2) Die Werte von $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ sind immer positiv für alle Wellenlängen des Spektrums (ungleich $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$, von denen ein Wert bei den meisten Wellenlängen negativ ist, wegen der Notwendigkeit, die spektralen Farbreize beim Abgleich mit roten, grünen und blauen Primärvalenzen zu entsättigen).
- 3) Die Werte von $\bar{z}(\lambda)$ sind null bei Wellenlängen länger als 650 nm.
- 4) Die Werte von $\bar{x}(\lambda)$ sind etwa null bei Wellenlängen um 505 nm.

- 5) Die Werte von $\bar{x}(\lambda)$ und $\bar{y}(\lambda)$ sind klein am kurzwelligen Ende des Spektrums.
- 6) Das energiegeliche Spektrum ist durch gleiche Anteile von X , Y und Z festgelegt.

Weil die $\bar{y}(\lambda)$ -Funktion mit der $V(\lambda)$ -Funktion identisch ist, ist der Farbwert Y der Leuchtdichte proportional.

5.4 Vergleich mit früheren Daten

Die in Tabelle 1 in Intervallen von 5 nm angegebenen Werte von $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ für den Spektralbereich von 380 nm bis 780 nm stimmen, wenn sie auf vier Dezimalstellen gerundet sind, eng mit den 1931 veröffentlichten Werten überein. Es gibt nur drei geringfügige Unterschiede: Bei $\lambda = 775$ nm ist der neue Wert von $\bar{x}(\lambda)$ 0,000 1 anstelle von 0,000 0; bei $\lambda = 555$ nm ist $\bar{y}(\lambda) = 1,000 0$ anstelle von 1,000 2 und bei $\lambda = 740$ nm ist $\bar{y}(\lambda) = 0,000 2$ anstelle von 0,000 3. Diese Veränderungen werden für die meisten farbmtrischen Berechnungen als unbedeutend angesehen.

Wenn die relativen Leuchtdichten von Mengeneinheiten von [R], [G] und [B] von den Daten in Tabelle 1 abgeleitet werden, sind die erhaltenen Werte 1,000 0 zu 4,588 8 zu 0,060 3 anstelle von 1,000 0 zu 4,590 7 zu 0,060 1, die relativen Strahldichten 71,893 8 bis 1,374 7 bis 1,000 0 anstelle von 72,096 2 bis 1,379 1 bis 1,000 0. Diese Veränderungen werden in der Praxis ebenfalls als unbedeutend angesehen.

Die in CIE 15 in Intervallen von 5 nm angegebenen Werte stimmen genau mit den Werten in Tabelle 1 überein.

6 Ableitung der Spektralwertfunktionen für den Normalbeobachter CIE 1964

6.1 Experimentelle Grundlage

Die Spektralwertfunktionen CIE 1964 $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ wurden aus experimentellen Arbeiten von Stiles und Burch [3] und von Speranskaya [4] abgeleitet, bei denen insgesamt 67 Beobachter monochromatische Farbreize des Spektrums von etwa 390 nm bis 830 nm durch additive Mischungen von rotem, grünen und blauen Licht nachstellten und dabei Beobachtungsfelder mit einem Winkel von 10° anwendeten (aber den zentralen Winkel von 4° oder so ignorierten).

6.2 Transformationsverfahren

Die experimentellen Ergebnisse wurden umgewandelt in solche, die erhalten worden wären, wenn die Nachstellungen mit monochromatischen Strahlungen der Wellenzahlen 15 500 cm⁻¹ für das Rot [R₁₀], 19 000 cm⁻¹ für das Grün [G₁₀] und 22 500 cm⁻¹ für das Blau [B₁₀] als Primärvalenzen durchgeführt worden wären, entsprechend etwa Wellenlängen von 645,2 nm, 526,3 nm und 444,4 nm. Die für die Größen [R₁₀], [G₁₀] und [B₁₀] benutzten Einheiten waren so, dass gleiche Anteile erforderlich waren, um das energiegeliche Spektrum nachzustellen. Ein gewichteter Durchschnittswert der Ergebnisse der 67 Beobachter wurde verwendet, um einen Satz von Spektralwertfunktionen $\bar{r}_{10}(\lambda)$, $\bar{g}_{10}(\lambda)$, $\bar{b}_{10}(\lambda)$ zu erhalten. Die Spektralwertfunktionen CIE 1964 wurden mithilfe der Gleichungen (12) bis (14) abgeleitet:

$$\bar{x}_{10}(v) = 0,341\,080\,\bar{r}_{10}(v) + 0,189\,145\,\bar{g}_{10}(v) + 0,387\,529\,\bar{b}_{10}(v) \quad (12)$$

$$\bar{y}_{10}(v) = 0,139\,058\,\bar{r}_{10}(v) + 0,837\,460\,\bar{g}_{10}(v) + 0,073\,316\,\bar{b}_{10}(v) \quad (13)$$

$$\bar{z}_{10}(v) = 0,000\,000\,\bar{r}_{10}(v) + 0,039\,553\,\bar{g}_{10}(v) + 2,026\,200\,\bar{b}_{10}(v) \quad (14)$$

In Tabelle 2 sind die Spektralwertfunktionen CIE 1964 $\bar{x}_{10}(\lambda)$, $\bar{y}_{10}(\lambda)$, $\bar{z}_{10}(\lambda)$ auf Wellenlängenbasis angegeben. Diese wurden durch Interpolieren aus den in den Gleichungen (12) bis (14) angegebenen Funktionen auf Frequenzbasis erhalten. Die Werte im Bereich von 360 nm bis 390 nm sind extrapoliert.

6.3 Transformationseigenschaften

Die in den Gleichungen (12) bis (14) angegebene Transformation wurde gewählt, um ein farbmétrisches System (X_{10} , Y_{10} , Z_{10}) zu erreichen, das ein Koordinatensystem besitzt, welches weitgehend dem des Systems CIE 1931 (X , Y , Z) ähnlich ist. In dem System 1964 wurden jedoch die Daten nicht so festgelegt, dass sie an die Funktion CIE $V(\lambda)$ des spektralen Hellempfindlichkeitsgrades angepasst sind, und der Farbwert Y_{10} ist der nach der $V(\lambda)$ -Funktion berechneten Leuchtdichte nicht proportional.

6.4 Vergleich mit früheren Daten

Die in CIE 15 in Intervallen von 5 nm angegebenen Werte stimmen genau mit den Werten in Tabelle 2 überein.

7 Praktische Anwendung der Spektralwertfunktionen für farbmétrische CIE-Normalbeobachter

7.1 Ermittlung von Farbwerten

Die in den Tabellen 1 und 2 enthaltenen Daten geben die Farbwerte und Farbwertanteile aller monochromatischen Farbzei, entweder direkt oder durch Interpolation, an. Für Farbzei, die aus Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen besteht, werden die Farbwerte X , Y , Z und X_{10} , Y_{10} , Z_{10} durch Integration über den Spektralbereich von 360 nm bis 830 nm nach den Gleichungen (15) bis (20) berechnet:

$$X = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (15)$$

$$Y = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (16)$$

$$Z = k \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (17)$$

$$X_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) d\lambda \quad (18)$$

$$Y_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d\lambda \quad (19)$$

$$Z_{10} = k_{10} \int_{\lambda} \varphi_{\lambda}(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) d\lambda \quad (20)$$

Dabei sind

$\varphi_{\lambda}(\lambda)$	die Farbzeifunktion des betrachteten Farbzeis;
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda), \bar{x}_{10}(\lambda), \bar{y}_{10}(\lambda), \bar{z}_{10}(\lambda)$	die entsprechenden CIE-Farbzeifunktionen;
k und k_{10}	Konstanten.

Farbwerte werden gewöhnlich auf einer relativen Grundlage bewertet, und die Konstanten k und k_{10} werden dann nach vereinbarten Konventionen gewählt; es ist jedoch wichtig, dass für Farbreize, die gemeinsam betrachtet werden, die gleichen Werte für k (oder für k_{10}) angenommen werden, so dass alle einbezogenen Farbwerte auf derselben Grundlage bewertet werden. Für reflektierende Körperfarben müssen k und k_{10} so gewählt werden, dass Y und Y_{10} gleich 100 für das vollkommen mattweiße Medium bei Reflexion sind und, für transmittierende Körperfarben Y und Y_{10} gleich 100 für das vollkommen mattweiße Medium bei Transmission. Im Fall von primären Lichtquellen ist es erforderlich, dass Y gleich dem absoluten Wert der photometrischen Größe ist, und k muss gleich K_m sein, der maximale spektrale Hellempfindlichkeitsgrad (der gleich 683 lm/W ist) und $\varphi_\lambda(\lambda)$ müssen dann die spektrale Konzentration der radiometrischen Größe entsprechend der erforderlichen photometrischen Größe sein.

7.2 Grundlage für die Integration

Die Integrationsstufe in den Gleichungen (15) bis (20) impliziert Additivität von Farbmischungen: Das bedeutet, dass wenn zwei Farbreize [C1] und [C2] Farbwerte X_1, Y_1, Z_1 und X_2, Y_2, Z_2 haben, die additive Mischung von [C1] und [C2] Farbwerte $X_1 + X_2, Y_1 + Y_2, Z_1 + Z_2$ haben wird. Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, dass, obwohl Additivität dieser Art manchmal nicht auftritt, das Prinzip der Additivität ausreichend gültig ist, um Farbmischungen in den meisten wichtigen Fällen in der praktischen Farbmatrik voraussagen zu können.

7.3 Aktivität der Stäbchen

Die Farbwerte des farbmatriken Systems CIE 1964 sind nur für solche Beobachtungsbedingungen relevant, in denen die Leuchtdichten hinreichend hoch sind und die spektralen Strahlungsfunktionen so, dass keine signifikante Beteiligung der Stäbchenrezeptoren der Netzhaut zu erwarten ist.

7.4 Verwendung von eingeschränkten Daten

Bei den meisten praktischen Anwendungen der Farbmatrik reicht es aus, Werte der Spektralwertfunktionen in weniger häufigen Wellenlängenintervallen als 1 nm zu verwenden, die einen mehr eingeschränkten Wellenlängenbereich als von 360 nm bis 830 nm abdecken, und weniger Dezimalstellen, als in den Tabellen 1 und 2 angegeben sind, verwenden. Daten und Richtlinien, die eine solche Praxis erleichtern, sind in CIE 15 angegeben, zusammen mit verschiedenen anderen empfohlenen Verfahren der praktischen Farbmatrik.

7.5 Reflexionsstandard

Die vollkommen mattweiße Fläche ist der Bezugsstandard der CIE für die Farbmatrik von reflektierenden Proben.

Tabelle 1 — Spektralwertfunktionen und Farbwertanteile für den Normalbeobachter CIE 1931

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
360	0,000 129 900 0	0,000 003 917 000	0,000 606 100 0	0,175 56	0,005 29	0,819 15
361	0,000 145 847 0	0,000 004 393 581	0,000 680 879 2	0,175 48	0,005 29	0,819 23
362	0,000 163 802 1	0,000 004 929 604	0,000 765 145 6	0,175 40	0,005 28	0,819 32
363	0,000 184 003 7	0,000 005 532 136	0,000 860 012 4	0,175 32	0,005 27	0,819 41
364	0,000 206 690 2	0,000 006 208 245	0,000 966 592 8	0,175 24	0,005 26	0,819 50
365	0,000 232 100 0	0,000 006 965 000	0,001 086 000	0,175 16	0,005 26	0,819 58
366	0,000 260 728 0	0,000 007 813 219	0,001 220 586	0,175 09	0,005 25	0,819 66

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
367	0,000 293 075 0	0,000 008 767 336	0,001 372 729	0,175 01	0,005 24	0,819 75
368	0,000 329 388 0	0,000 009 839 844	0,001 543 579	0,174 94	0,005 23	0,819 83
369	0,000 369 914 0	0,000 011 043 23	0,001 734 286	0,174 88	0,005 22	0,819 90
370	0,000 414 900 0	0,000 012 390 00	0,001 946 000	0,174 82	0,005 22	0,819 96
371	0,000 464 158 7	0,000 013 886 41	0,002 177 777	0,174 77	0,005 23	0,820 00
372	0,000 518 986 0	0,000 015 557 28	0,002 435 809	0,174 72	0,005 24	0,820 04
373	0,000 581 854 0	0,000 017 442 96	0,002 731 953	0,174 66	0,005 24	0,820 10
374	0,000 655 234 7	0,000 019 583 75	0,003 078 064	0,174 59	0,005 22	0,820 19
375	0,000 741 600 0	0,000 022 020 00	0,003 486 000	0,174 51	0,005 18	0,820 31
376	0,000 845 029 6	0,000 024 839 65	0,003 975 227	0,174 41	0,005 13	0,820 46
377	0,000 964 526 8	0,000 028 041 26	0,004 540 880	0,174 31	0,005 07	0,820 62
378	0,001 094 949	0,000 031 531 04	0,005 158 320	0,174 22	0,005 02	0,820 76
379	0,001 231 154	0,000 035 215 21	0,005 802 907	0,174 16	0,004 98	0,820 86
380	0,001 368 000	0,000 039 000 00	0,006 450 001	0,174 11	0,004 96	0,820 93
381	0,001 502 050	0,000 042 826 40	0,007 083 216	0,174 09	0,004 96	0,820 95
382	0,001 642 328	0,000 046 914 60	0,007 745 488	0,174 07	0,004 97	0,820 96
383	0,001 802 382	0,000 051 589 60	0,008 501 152	0,174 06	0,004 98	0,820 96
384	0,001 995 757	0,000 057 176 40	0,009 414 544	0,174 04	0,004 98	0,820 98
385	0,002 236 000	0,000 064 000 00	0,010 549 99	0,174 01	0,004 98	0,821 01
386	0,002 535 385	0,000 072 344 21	0,011 965 80	0,173 97	0,004 97	0,821 06
387	0,002 892 603	0,000 082 212 24	0,013 655 87	0,173 93	0,004 94	0,821 13
388	0,003 300 829	0,000 093 508 16	0,015 588 05	0,173 89	0,004 93	0,821 18
389	0,003 753 236	0,000 106 136 1	0,017 730 15	0,173 84	0,004 92	0,821 24
390	0,004 243 000	0,000 120 000 0	0,020 050 01	0,173 80	0,004 92	0,821 28
391	0,004 762 389	0,000 134 984 0	0,022 511 36	0,173 76	0,004 92	0,821 32
392	0,005 330 048	0,000 151 492 0	0,025 202 88	0,173 70	0,004 94	0,821 36
393	0,005 978 712	0,000 170 208 0	0,028 279 72	0,173 66	0,004 94	0,821 40
394	0,006 741 117	0,000 191 816 0	0,031 897 04	0,173 61	0,004 94	0,821 45
395	0,007 650 000	0,000 217 000 0	0,036 210 00	0,173 56	0,004 92	0,821 52
396	0,008 751 373	0,000 246 906 7	0,041 437 71	0,173 51	0,004 90	0,821 59
397	0,010 028 88	0,000 281 240 0	0,047 503 72	0,173 47	0,004 86	0,821 67
398	0,011 421 70	0,000 318 520 0	0,054 119 88	0,173 42	0,004 84	0,821 74
399	0,012 869 01	0,000 357 266 7	0,060 998 03	0,173 38	0,004 81	0,821 81
400	0,014 310 00	0,000 396 000 0	0,067 850 01	0,173 34	0,004 80	0,821 86
401	0,015 704 43	0,000 433 714 7	0,074 486 32	0,173 29	0,004 79	0,821 92
402	0,017 147 44	0,000 473 024 0	0,081 361 56	0,173 24	0,004 78	0,821 98

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
403	0,018 781 22	0,000 517 876 0	0,089 153 64	0,173 17	0,004 78	0,822 05
404	0,020 748 01	0,000 572 218 7	0,098 540 48	0,173 10	0,004 77	0,822 13
405	0,023 190 00	0,000 640 000 0	0,110 200 0	0,173 02	0,004 78	0,822 20
406	0,026 207 36	0,000 724 560 0	0,124 613 3	0,172 93	0,004 78	0,822 29
407	0,029 782 48	0,000 825 500 0	0,141 701 7	0,172 84	0,004 79	0,822 37
408	0,033 880 92	0,000 941 160 0	0,161 303 5	0,172 75	0,004 80	0,822 45
409	0,038 468 24	0,001 069 880	0,183 256 8	0,172 66	0,004 80	0,822 54
410	0,043 510 00	0,001 210 000	0,207 400 0	0,172 58	0,004 80	0,822 62
411	0,048 995 60	0,001 362 091	0,233 692 1	0,172 49	0,004 80	0,822 71
412	0,055 022 60	0,001 530 752	0,262 611 4	0,172 39	0,004 80	0,822 81
413	0,061 718 80	0,001 720 368	0,294 774 6	0,172 30	0,004 80	0,822 90
414	0,069 212 00	0,001 935 323	0,330 798 5	0,172 19	0,004 82	0,822 99
415	0,077 630 00	0,002 180 000	0,371 300 0	0,172 09	0,004 83	0,823 08
416	0,086 958 11	0,002 454 800	0,416 209 1	0,171 98	0,004 86	0,823 16
417	0,097 176 72	0,002 764 000	0,465 464 2	0,171 87	0,004 89	0,823 24
418	0,108 406 3	0,003 117 800	0,519 694 8	0,171 74	0,004 94	0,823 32
419	0,120 767 2	0,003 526 400	0,579 530 3	0,171 59	0,005 01	0,823 40
420	0,134 380 0	0,004 000 000	0,645 600 0	0,171 41	0,005 10	0,823 49
421	0,149 358 2	0,004 546 240	0,718 483 8	0,171 21	0,005 21	0,823 58
422	0,165 395 7	0,005 159 320	0,796 713 3	0,170 99	0,005 33	0,823 68
423	0,181 983 1	0,005 829 280	0,877 845 9	0,170 77	0,005 47	0,823 76
424	0,198 611 0	0,006 546 160	0,959 439 0	0,170 54	0,005 62	0,823 84
425	0,214 770 0	0,007 300 000	1,039 050 1	0,170 30	0,005 79	0,823 91
426	0,230 186 8	0,008 086 507	1,115 367 3	0,170 05	0,005 97	0,823 98
427	0,244 879 7	0,008 908 720	1,188 497 1	0,169 78	0,006 18	0,824 04
428	0,258 777 3	0,009 767 680	1,258 123 3	0,169 50	0,006 40	0,824 10
429	0,271 807 9	0,010 664 43	1,323 929 6	0,169 20	0,006 64	0,824 16
430	0,283 900 0	0,011 600 00	1,385 600 0	0,168 88	0,006 90	0,824 22
431	0,294 943 8	0,012 573 17	1,442 635 2	0,168 53	0,007 18	0,824 29
432	0,304 896 5	0,013 582 72	1,494 803 5	0,168 15	0,007 49	0,824 36
433	0,313 787 3	0,014 629 68	1,542 190 3	0,167 75	0,007 82	0,824 43
434	0,321 645 4	0,015 715 09	1,584 880 7	0,167 33	0,008 17	0,824 50
435	0,328 500 0	0,016 840 00	1,622 960 0	0,166 90	0,008 55	0,824 55
436	0,334 351 3	0,018 007 36	1,656 404 8	0,166 45	0,008 96	0,824 59
437	0,339 210 1	0,019 214 48	1,685 295 9	0,165 98	0,009 40	0,824 62
438	0,343 121 3	0,020 453 92	1,709 874 5	0,165 48	0,009 87	0,824 65

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
439	0,346 129 6	0,021 718 24	1,730 382 1	0,164 96	0,010 35	0,824 69
440	0,348 280 0	0,023 000 00	1,747 060 0	0,164 41	0,010 86	0,824 73
441	0,349 599 9	0,024 294 61	1,760 044 6	0,163 83	0,011 38	0,824 79
442	0,350 147 4	0,025 610 24	1,769 623 3	0,163 21	0,011 94	0,824 85
443	0,350 013 0	0,026 958 57	1,776 263 7	0,162 55	0,012 52	0,824 93
444	0,349 287 0	0,028 351 25	1,780 433 4	0,161 85	0,013 14	0,825 01
445	0,348 060 0	0,029 800 00	1,782 600 0	0,161 11	0,013 79	0,825 10
446	0,346 373 3	0,031 310 83	1,782 968 2	0,160 31	0,014 49	0,825 20
447	0,344 262 4	0,032 883 68	1,781 699 8	0,159 47	0,015 23	0,825 30
448	0,341 808 8	0,034 521 12	1,779 198 2	0,158 57	0,016 02	0,825 41
449	0,339 094 1	0,036 225 71	1,775 867 1	0,157 63	0,016 84	0,825 53
450	0,336 200 0	0,038 000 00	1,772 110 0	0,156 64	0,017 71	0,825 65
451	0,333 197 7	0,039 846 67	1,768 258 9	0,155 60	0,018 61	0,825 79
452	0,330 041 1	0,041 768 00	1,764 039 0	0,154 52	0,019 56	0,825 92
453	0,326 635 7	0,043 766 00	1,758 943 8	0,153 40	0,020 55	0,826 05
454	0,322 886 8	0,045 842 67	1,752 466 3	0,152 22	0,021 61	0,826 17
455	0,318 700 0	0,048 000 00	1,744 100 0	0,150 99	0,022 74	0,826 27
456	0,314 025 1	0,050 243 68	1,733 559 5	0,149 69	0,023 95	0,826 36
457	0,308 884 0	0,052 573 04	1,720 858 1	0,148 34	0,025 25	0,826 41
458	0,303 290 4	0,054 980 56	1,705 936 9	0,146 93	0,026 63	0,826 44
459	0,297 257 9	0,057 458 72	1,688 737 2	0,145 47	0,028 12	0,826 41
460	0,290 800 0	0,060 000 00	1,669 200 0	0,143 96	0,029 70	0,826 34
461	0,283 970 1	0,062 601 97	1,647 528 7	0,142 41	0,031 39	0,826 20
462	0,276 721 4	0,065 277 52	1,623 412 7	0,140 80	0,033 21	0,825 99
463	0,268 917 8	0,068 042 08	1,596 022 3	0,139 12	0,035 20	0,825 68
464	0,260 422 7	0,070 911 09	1,564 528 0	0,137 37	0,037 40	0,825 23
465	0,251 100 0	0,073 900 00	1,528 100 0	0,135 50	0,039 88	0,824 62
466	0,240 847 5	0,077 016 00	1,486 111 4	0,133 51	0,042 69	0,823 80
467	0,229 851 2	0,080 266 40	1,439 521 5	0,131 37	0,045 88	0,822 75
468	0,218 407 2	0,083 666 80	1,389 879 9	0,129 09	0,049 45	0,821 46
469	0,206 811 5	0,087 232 80	1,338 736 2	0,126 66	0,053 43	0,819 91
470	0,195 360 0	0,090 980 00	1,287 640 0	0,124 12	0,057 80	0,818 08
471	0,184 213 6	0,094 917 55	1,237 422 3	0,121 47	0,062 59	0,815 94
472	0,173 327 3	0,099 045 84	1,187 824 3	0,118 70	0,067 83	0,813 47
473	0,162 688 1	0,103 367 4	1,138 761 1	0,115 81	0,073 58	0,810 61
474	0,152 283 3	0,107 884 6	1,090 148 0	0,112 78	0,079 89	0,807 33

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
475	0,142 100 0	0,112 600 0	1,041 900 0	0,109 60	0,086 84	0,803 56
476	0,132 178 6	0,117 53 20	0,994 197 6	0,106 26	0,094 49	0,799 25
477	0,122 569 6	0,122 674 4	0,947 347 3	0,102 78	0,102 86	0,794 36
478	0,113 275 2	0,127 992 8	0,901 453 1	0,099 13	0,112 01	0,788 86
479	0,104 297 9	0,133 452 8	0,856 619 3	0,095 31	0,121 94	0,782 75
480	0,095 640 00	0,139 020 0	0,812 950 1	0,091 29	0,132 70	0,776 01
481	0,087 299 55	0,144 676 4	0,770 517 3	0,087 08	0,144 32	0,768 60
482	0,079 308 04	0,150 469 3	0,729 444 8	0,082 68	0,156 87	0,760 45
483	0,071 717 76	0,156 461 9	0,689 913 6	0,078 12	0,170 42	0,751 46
484	0,064 580 99	0,162 717 7	0,652 104 9	0,073 44	0,185 03	0,741 53
485	0,057 950 01	0,169 300 0	0,616 200 0	0,068 71	0,200 72	0,730 57
486	0,051 862 11	0,176 243 1	0,582 328 6	0,063 99	0,217 47	0,718 54
487	0,046 281 52	0,183 558 1	0,550 416 2	0,059 32	0,235 25	0,705 43
488	0,041 150 88	0,191 273 5	0,520 337 6	0,054 67	0,254 09	0,691 24
489	0,036 412 83	0,199 418 0	0,491 967 3	0,050 03	0,274 00	0,675 97
490	0,032 010 00	0,208 020 0	0,465 180 0	0,045 39	0,294 98	0,659 63
491	0,027 917 20	0,217 119 9	0,439 924 6	0,040 76	0,316 98	0,642 26
492	0,024 144 40	0,226 734 5	0,416 183 6	0,036 20	0,339 90	0,623 90
493	0,020 687 00	0,236 857 1	0,393 882 2	0,031 76	0,363 60	0,604 64
494	0,017 540 40	0,247 481 2	0,372 945 9	0,027 49	0,387 92	0,584 59
495	0,014 700 00	0,258 600 0	0,353 300 0	0,023 46	0,412 70	0,563 84
496	0,012 161 79	0,270 184 9	0,334 857 8	0,019 70	0,437 76	0,542 54
497	0,009 919 960	0,282 293 9	0,317 552 1	0,016 27	0,462 95	0,520 78
498	0,007 967 240	0,295 050 5	0,301 337 5	0,013 18	0,488 21	0,498 61
499	0,006 296 346	0,308 578 0	0,286 168 6	0,010 48	0,513 40	0,476 12
500	0,004 900 000	0,323 000 0	0,272 000 0	0,008 17	0,538 42	0,453 41
501	0,003 777 173	0,338 402 1	0,258 817 1	0,006 28	0,563 07	0,430 65
502	0,002 945 320	0,354 685 8	0,246 483 8	0,004 87	0,587 12	0,408 01
503	0,002 424 880	0,371 698 6	0,234 771 8	0,003 98	0,610 45	0,385 57
504	0,002 236 293	0,389 287 5	0,223 453 3	0,003 64	0,633 01	0,363 35
505	0,002 400 000	0,407 300 0	0,212 300 0	0,003 86	0,654 82	0,341 32
506	0,002 925 520	0,425 629 9	0,201 169 2	0,004 64	0,675 90	0,319 46
507	0,003 836 560	0,444 309 6	0,190 119 6	0,006 01	0,696 12	0,297 87
508	0,005 174 840	0,463 394 4	0,179 225 4	0,007 99	0,715 34	0,276 67
509	0,006 982 080	0,482 939 5	0,168 560 8	0,010 60	0,733 41	0,255 99
510	0,009 300 000	0,503 000 0	0,158 200 0	0,013 87	0,750 19	0,235 94

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
511	0,012 149 49	0,523 569 3	0,148 138 3	0,017 77	0,765 61	0,216 62
512	0,015 535 88	0,544 512 0	0,138 375 8	0,022 24	0,779 63	0,198 13
513	0,019 477 52	0,565 690 0	0,128 994 2	0,027 27	0,792 11	0,180 62
514	0,023 992 77	0,586 965 3	0,120 075 1	0,032 82	0,802 93	0,164 25
515	0,029 100 00	0,608 200 0	0,111 700 0	0,038 85	0,812 02	0,149 13
516	0,034 814 85	0,629 345 6	0,103 904 8	0,045 33	0,819 39	0,135 28
517	0,041 120 16	0,650 306 8	0,096 667 48	0,052 18	0,825 16	0,122 66
518	0,047 985 04	0,670 875 2	0,089 982 72	0,059 32	0,829 43	0,111 25
519	0,055 378 61	0,690 842 4	0,083 845 31	0,066 72	0,832 27	0,101 01
520	0,063 270 00	0,710 000 0	0,078 249 99	0,074 30	0,833 80	0,091 90
521	0,071 635 01	0,728 185 2	0,073 208 99	0,082 05	0,834 09	0,083 86
522	0,080 462 24	0,745 463 6	0,068 678 16	0,089 94	0,833 29	0,076 77
523	0,089 739 96	0,761 969 4	0,064 567 84	0,097 94	0,831 59	0,070 47
524	0,099 456 45	0,777 836 8	0,060 788 35	0,106 02	0,829 18	0,064 80
525	0,109 600 0	0,793 200 0	0,057 250 01	0,114 16	0,826 21	0,059 63
526	0,120 167 4	0,808 110 4	0,053 904 35	0,122 35	0,822 77	0,054 88
527	0,131 114 5	0,822 496 2	0,050 746 64	0,130 55	0,818 93	0,050 52
528	0,142 367 9	0,836 306 8	0,047 752 76	0,138 70	0,814 78	0,046 52
529	0,153 854 2	0,849 491 6	0,044 898 59	0,146 77	0,810 40	0,042 83
530	0,165 500 0	0,862 000 0	0,042 160 00	0,154 72	0,805 86	0,039 42
531	0,177 257 1	0,873 810 8	0,039 507 28	0,162 53	0,801 24	0,036 23
532	0,189 140 0	0,884 962 4	0,036 935 64	0,170 24	0,796 52	0,033 24
533	0,201 169 4	0,895 493 6	0,034 458 36	0,177 85	0,791 69	0,030 46
534	0,213 365 8	0,905 443 2	0,032 088 72	0,185 39	0,786 73	0,027 88
535	0,225 749 9	0,914 850 1	0,029 840 00	0,192 88	0,781 63	0,025 49
536	0,238 320 9	0,923 734 8	0,027 711 81	0,200 31	0,776 40	0,023 29
537	0,251 066 8	0,932 092 4	0,025 694 44	0,207 69	0,771 05	0,021 26
538	0,263 992 2	0,939 922 6	0,023 787 16	0,215 03	0,765 59	0,019 38
539	0,277 101 7	0,947 225 2	0,021 989 25	0,222 34	0,760 02	0,017 64
540	0,290 400 0	0,954 000 0	0,020 300 00	0,229 62	0,754 33	0,016 05
541	0,303 891 2	0,960 256 1	0,018 718 05	0,236 89	0,748 52	0,014 59
542	0,317 572 6	0,966 007 4	0,017 240 36	0,244 13	0,742 62	0,013 25
543	0,331 438 4	0,971 260 6	0,015 863 64	0,251 36	0,736 61	0,012 03
544	0,345 482 8	0,976 022 5	0,014 584 61	0,258 58	0,730 51	0,010 91
545	0,359 700 0	0,980 300 0	0,013 400 00	0,265 78	0,724 32	0,009 90
546	0,374 083 9	0,984 092 4	0,012 307 23	0,272 96	0,718 06	0,008 98

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
547	0,388 639 6	0,987 418 2	0,011 301 88	0,280 13	0,711 72	0,008 15
548	0,403 378 4	0,990 312 8	0,010 377 92	0,287 29	0,705 32	0,007 39
549	0,418 311 5	0,992 811 6	0,009 529 306	0,294 45	0,698 84	0,006 71
550	0,433 449 9	0,994 950 1	0,008 749 999	0,301 60	0,692 31	0,006 09
551	0,448 795 3	0,996 710 8	0,008 035 200	0,308 76	0,685 71	0,005 53
552	0,464 336 0	0,998 098 3	0,007 381 600	0,315 92	0,679 06	0,005 02
553	0,480 064 0	0,999 112 0	0,006 785 400	0,323 06	0,672 37	0,004 57
554	0,495 971 3	0,999 748 2	0,006 242 800	0,330 21	0,665 63	0,004 16
555	0,512 050 1	1,000 000 0	0,005 749 999	0,337 36	0,658 85	0,003 79
556	0,528 295 9	0,999 856 7	0,005 303 600	0,344 51	0,652 03	0,003 46
557	0,544 691 6	0,999 304 6	0,004 899 800	0,351 67	0,645 17	0,003 16
558	0,561 209 4	0,998 325 5	0,004 534 200	0,358 81	0,638 29	0,002 90
559	0,577 821 5	0,996 898 7	0,004 202 400	0,365 96	0,631 38	0,002 66
560	0,594 500 0	0,995 000 0	0,003 900 000	0,373 10	0,624 45	0,002 45
561	0,611 220 9	0,992 600 5	0,003 623 200	0,380 24	0,617 50	0,002 26
562	0,627 975 8	0,989 742 6	0,003 370 600	0,387 38	0,610 54	0,002 08
563	0,644 760 2	0,986 444 4	0,003 141 400	0,394 51	0,603 57	0,001 92
564	0,661 569 7	0,982 724 1	0,002 934 800	0,401 63	0,596 59	0,001 78
565	0,678 400 0	0,978 600 0	0,002 749 999	0,408 73	0,589 61	0,001 66
566	0,695 239 2	0,974 083 7	0,002 585 200	0,415 83	0,582 62	0,001 55
567	0,712 058 6	0,969 171 2	0,002 438 600	0,422 92	0,575 63	0,001 45
568	0,728 828 4	0,963 856 8	0,002 309 400	0,429 99	0,568 65	0,001 36
569	0,745 518 8	0,958 134 9	0,002 196 800	0,437 04	0,561 67	0,001 29
570	0,762 100 0	0,952 000 0	0,002 100 000	0,444 06	0,554 72	0,001 22
571	0,778 543 2	0,945 450 4	0,002 017 733	0,451 06	0,547 77	0,001 17
572	0,794 825 6	0,938 499 2	0,001 948 200	0,458 04	0,540 84	0,001 12
573	0,810 926 4	0,931 162 8	0,001 889 800	0,464 99	0,533 93	0,001 08
574	0,826 824 8	0,923 457 6	0,001 840 933	0,471 90	0,527 05	0,001 05
575	0,842 500 0	0,915 400 0	0,001 800 000	0,478 78	0,520 20	0,001 02
576	0,857 932 5	0,907 006 4	0,001 766 267	0,485 61	0,513 39	0,001 00
577	0,873 081 6	0,898 277 2	0,001 737 800	0,492 41	0,506 61	0,000 98
578	0,887 894 4	0,889 204 8	0,001 711 200	0,499 15	0,499 89	0,000 96
579	0,902 318 1	0,879 781 6	0,001 683 067	0,505 85	0,493 21	0,000 94
580	0,916 300 0	0,870 000 0	0,001 650 001	0,512 49	0,486 59	0,000 92
581	0,929 799 5	0,859 861 3	0,001 610 133	0,519 07	0,480 03	0,000 90
582	0,942 798 4	0,849 392 0	0,001 564 400	0,525 60	0,473 53	0,000 87

Wellenlänge λ (nm)	CIE-Spektralwertfunktionen			Farbwertanteile		
	$\bar{x}(\lambda)$	$\bar{y}(\lambda)$	$\bar{z}(\lambda)$	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
583	0,955 277 6	0,838 622 0	0,001 513 600	0,532 07	0,467 09	0,000 84
584	0,967 217 9	0,827 581 3	0,001 458 533	0,538 46	0,460 73	0,000 81
585	0,978 600 0	0,816 300 0	0,001 400 000	0,544 79	0,454 43	0,000 78
586	0,989 385 6	0,804 794 7	0,001 336 667	0,551 03	0,448 23	0,000 74
587	0,999 548 8	0,793 082 0	0,001 270 000	0,557 19	0,442 10	0,000 71
588	1,009 089 2	0,781 192 0	0,001 205 000	0,563 27	0,436 06	0,000 67
589	1,018 006 4	0,769 154 7	0,001 146 667	0,569 26	0,430 10	0,000 64
590	1,026 300 0	0,757 000 0	0,001 100 000	0,575 15	0,424 23	0,000 62
591	1,033 982 7	0,744 754 1	0,001 068 800	0,580 94	0,418 46	0,000 60
592	1,040 986 0	0,732 422 4	0,001 049 400	0,586 65	0,412 76	0,000 59
593	1,047 188 0	0,720 003 6	0,001 035 600	0,592 22	0,407 19	0,000 59
594	1,052 466 7	0,707 496 5	0,001 021 200	0,597 66	0,401 76	0,000 58
595	1,056 700 0	0,694 900 0	0,001 000 000	0,602 93	0,396 50	0,000 57
596	1,059 794 4	0,682 219 2	0,000 968 640 0	0,608 03	0,391 41	0,000 56
597	1,061 799 2	0,669 471 6	0,000 929 920 0	0,612 98	0,386 48	0,000 54
598	1,062 806 8	0,656 674 4	0,000 886 880 0	0,617 78	0,381 71	0,000 51
599	1,062 909 6	0,643 844 8	0,000 842 560 0	0,622 46	0,377 05	0,000 49
600	1,062 200 0	0,631 000 0	0,000 800 000 0	0,627 04	0,372 49	0,000 47
601	1,060 735 2	0,618 155 5	0,000 760 960 0	0,631 52	0,368 03	0,000 45
602	1,058 443 6	0,605 314 4	0,000 723 680 0	0,635 90	0,363 67	0,000 43
603	1,055 224 4	0,592 475 6	0,000 685 920 0	0,640 16	0,359 43	0,000 41
604	1,050 976 8	0,579 637 9	0,000 645 440 0	0,644 27	0,355 33	0,000 40
605	1,045 600 0	0,566 800 0	0,000 600 000 0	0,648 23	0,351 40	0,000 37
606	1,039 036 9	0,553 961 1	0,000 547 866 7	0,652 03	0,347 63	0,000 34
607	1,031 360 8	0,541 137 2	0,000 491 600 0	0,655 67	0,344 02	0,000 31
608	1,022 666 2	0,528 352 8	0,000 435 400 0	0,659 17	0,340 55	0,000 28
609	1,013 047 7	0,515 632 3	0,000 383 466 7	0,662 53	0,337 22	0,000 25
610	1,002 600 0	0,503 000 0	0,000 340 000 0	0,665 76	0,334 01	0,000 23
611	0,991 367 5	0,490 468 8	0,000 307 253 3	0,668 87	0,330 92	0,000 21
612	0,979 331 4	0,478 030 4	0,000 283 160 0	0,671 86	0,327 95	0,000 19
613	0,966 491 6	0,465 677 6	0,000 265 440 0	0,674 72	0,325 09	0,000 19
614	0,952 847 9	0,453 403 2	0,000 251 813 3	0,677 46	0,322 36	0,000 18
615	0,938 400 0	0,441 200 0	0,000 240 000 0	0,680 08	0,319 75	0,000 17
616	0,923 194 0	0,429 080 0	0,000 229 546 7	0,682 58	0,317 25	0,000 17
617	0,907 244 0	0,417 036 0	0,000 220 640 0	0,684 97	0,314 86	0,000 17
618	0,890 502 0	0,405 032 0	0,000 211 960 0	0,687 25	0,312 59	0,000 16