DIN EN ISO 18314-4

ICS 17.180.20; 87.060.10

Einsprüche bis 2021-04-05
Vorgesehen als Ersatz für
DIN 6172:2014-10

Entwurf

Analytische Farbmessung – Teil 4: Metamerie-Index von Probenpaaren bei Lichtartwechsel (ISO 18314-4:2020); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 18314-4:2021

Analytical colorimetry –
Part 4: Metamerism index for pairs of samples for change of illuminant (ISO 18314-4:2020);
German and English version prEN ISO 18314-4:2021

Analyse colorimétrique –
Partie 4: Indice de métamérisme de paires d'échantillon pour changement d'illuminant (ISO 18314-4:2020);
Version allemande et anglaise prEN ISO 18314-4:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-02-05 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 oder 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 59 Seiten

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

© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist Inhaber aller einfachen Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und welchem Verfahren.
Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

www.din.de
www.beuth.de

Documents Document Sharing Hub
3226233

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 18314-4:2020 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 256 „Pigments, dyestuffs and extenders“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 298 „Pigmente und Füllstoffe“ als prEN ISO 18314-4:2021 übernommen, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 025-00-02 AA „Gemeinschaftsarbeitsausschuss FNF/FNL: Farbmetrik“ im DIN-Normenausschuss Farbe (FNF).

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

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

ISO/CIE 11664-1	siehe	DIN EN ISO/CIE 11664-1
ISO/CIE 11664-2*	siehe	DIN EN ISO/CIE 11664-2*
ISO/CIE 11664-4	siehe	DIN EN ISO/CIE 11664-4
ISO 11664-5	siehe	DIN EN ISO 11664-5

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

Änderungen

Gegenüber DIN 6172:2014-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Inhalt überarbeitet durch Einbringung auf die internationale Ebene;

b) zur Berechnung des Metamerieindex M_t wurden in den früheren Ausgaben der DIN 6172 je eines von 3 unterschiedliche Korrekturverfahren normiert, in dieser aktuellen Fassung der DIN EN ISO 18314-4 werden alle 3 Verfahren als gleichwertig angesehen;

c) es muss angegeben werden, nach welchem Verfahren M_t berechnet wird;

d) Dokument redaktionell überarbeitet.

* Zur Zeit Entwurf.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO/CIE 11664-1, *Farbmetrik — Teil 1: CIE farbmetrische Normalbeobachter*

E DIN EN ISO/CIE 11664-2, *Farbmetrik — Teil 2: CIE Normlichtarten*

DIN EN ISO/CIE 11664-4, *Farbmetrik — Teil 4: CIE 1976 L*a*b* Farbraum*

DIN EN ISO 11664-5, *Farbmetrik — Teil 5: CIE 1976 L*u*v*-Farbenraum und gleichabständige u', v'-Farbtafel*

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

— Leerseite —

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

– Entwurf –

2021-02

prEN ISO 18314-4:2021

Titel de:	Analytische Farbmessung — Teil 4: Metamerie-Index von Probenpaaren bei Lichtartwechsel (ISO 18314-4:2020)
Titel en:	Analytical colorimetry — Part 4: Metamerism index for pairs of samples for change of illuminant (ISO 18314-4:2020)
Titel fr:	Analyse colorimétrique — Partie 4: Indice de metamérisme de paires d'échantillon pour changement d'illuminant (ISO 18314-4:2020)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort ... **3**

Vorwort ... **4**

Einleitung ... **5**

1 Anwendungsbereich ... **6**

2 Normative Verweisungen ... **6**

3 Begriffe ... **6**

4 Symbole und Abkürzungen ... **7**

5 Bezugslichtart ... **8**

6 Testlichtart ... **8**

7 CIELAB-Koordinaten L*, a*, b* ... **9**

8 Metamerie-Index für Lichtartwechsel ... **9**
8.1 Grundsätzliche Berechnungsmethoden ... **9**
8.2 Grundsätzliche Berechnung des Metamerie-Indexes aus Farbabständen ... **9**
8.3 Korrekturmethoden ... **10**
8.3.1 Additive Korrektur ... **10**
8.3.2 Multiplikative Korrektur ... **10**
8.3.3 Spektralkorrektur ... **11**
8.4 Prüfbericht ... **14**

Anhang A (informativ) Rechenbeispiele ... **15**

Literaturhinweise ... **28**

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 18314-4:2020 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 256 „Pigments, dyestuffs and extenders“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 298 „Pigmente und Füllstoffe“ als prEN ISO 18314-4:2021 übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 18314-4:2020 wurde von CEN als prEN ISO 18314-4:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (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 Normungsthemen 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 vom Technischen Komitee ISO/TC 256, *Pigments, dyestuff and extenders*, erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 18314 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.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Einleitung

Bei dem Phänomen der Metamerie von Probenpaaren werden drei verschiedene Ausprägungen unterschieden:

a) Lichtart-Metamerie liegt vor, wenn die beiden Körperfarben eines Probenpaares nur unter einer bestimmten Lichtart als gleich wahrgenommen werden (z. B. unter der Lichtart D65), während sie sich unter einer veränderten Lichtart (z. B. Lichtart A) unterscheiden.

b) Beobachter-Metamerie liegt vor, wenn die Körperfarben eines Probenpaares durch einen Beobachter als gleich wahrgenommen werden, während ein anderer Beobachter unter der gleichen Lichtart und gleichen Umfeldbedingungen eine Farbdifferenz wahrnimmt.

ANMERKUNG 1 Die Ursache der Beobachter-Metamerie liegt in Unterschieden der Verläufe von Spektralwertfunktionen verschiedener Beobachter.

c) Feldgrößen-Metamerie liegt vor, wenn die beiden Körperfarben eines Probenpaares für eine Größe eines Beobachtungsfeldes auf der Netzhaut (z. B. definiert durch den 2°-Normalbeobachter) als gleich wahrgenommen werden, während sie sich für ein verändertes Beobachtungsfeld auf der Netzhaut (z. B. 10°) unterscheiden.

ANMERKUNG 2 Die Ursache der Feldgrößen-Metamerie ist an die in einer Beobachtungssituation vorhandenen und wirksamen Spektralfunktionen eines Beobachters gebunden. Diese verändern sich mit der Größe des Beobachtungsfeldes auf der Netzhaut. Eine Änderung kann auch entstehen, wenn z. B. das Probenpaar aus unterschiedlicher Entfernung betrachtet wird.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt einen Formalismus zur Berechnung der Lichtart-Metamerie von Uni-Farben fest. Dieser kann ohne Anpassungen in der Metrik nicht auf Effektfarben angewendet werden.

Das vorliegende Dokument behandelt nur das Phänomen der Metamerie bei Lichtartwechsel, das in der praktischen Anwendung die größte Bedeutung hat. Insbesondere werden Empfehlungen formuliert, welche Korrekturmaßnahmen für den Fall nicht exakt gleicher Farbörter eines Probenpaares unter Referenzbedingungen zu ergreifen sind. Bei der Reproduktion von Farben wird der Metamerie-Index als Qualitätsmaß verwendet, um Toleranzen für Farbunterschiede zwischen einer Farbvorlage und einer Farbnachstellung bei unterschiedlichen Beleuchtungsbedingungen festzulegen.

Die Quantifizierung der Lichtart-Metamerie von Probenpaaren wird formal auf eine Farbdifferenzbewertung zurückgeführt, bei der Toleranzen herangezogen werden können, die bei der Bewertung reiner Restfarbdifferenzen üblich sind.

ANMERKUNG In der Literatur wird manchmal auch der Begriff der Geometrischen Metamerie für den Fall verwendet, dass zwei Farben unter einer bestimmten Abmusterungsgeometrie und gewähltem Standard-Beobachter und Standard Lichtart Paar gleich erscheinen, aber bei veränderter Beobachtungsgeometrie als zwei verschiedene Farben wahrgenommen werden. Der Begriff Geometrische Metamerie unterscheidet sich von der in diesem Dokument beschriebenen Metamerie.

2 Normative Verweisungen

Auf die folgenden Dokumente wird im Text in solcher Weise Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen dieses 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).

ISO/CIE 11664-1, *Colorimetry — Part 1: CIE standard colorimetric observers*

ISO/CIE 11664-2:—[1], *Colorimetry — Part 2: CIE standard illuminants*

ISO/CIE 11664-4, *Colorimetry — Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space*

CIE 015, *Colorimetry*

CIE S 017, *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/

1) In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Vorbereitung: ISO/CIE DIS 11664-2:2020.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

3.1
Metamerie
Eigenschaft von spektral verschiedenen Farbreize mit gleicher Farbvalenz in einem festgelegten farbmetrischen System

[QUELLE: CIE 017:2016, 17-23-006]

3.2
Paramerie
Eigenschaft eines Probenpaares mit spektralen Farbreizfunktionen, die im sichtbaren Spektralbereich sowohl unterschiedliche fundamentale Farbreizfunktionen als auch verschiedene Residuen bzw. Schwarzanteile besitzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Paramere Objekte sind dadurch gekennzeichnet, dass sie unter Beleuchtung mit einer gegebenen Standard Lichtart Farbreize unterschiedlicher spektraler Leistungsverteilungsfunktion reflektieren, die unter den gewählten Beobachtungsbedingungen näherungsweise denselben Farbeindruck hervorrufen.

3.3
Farbabstand
$\boldsymbol{\Delta E^*}$
Unterschied zwischen zwei Farbreizen, festgelegt als Abstand zwischen den Punkten, die sie in einem bestimmten Farbraum darstellen

[QUELLE: CIE 017:2016, 17-22-041, geändert — Das Symbol ΔE^* wurde angepasst und „euklidischer“ und Anmerkung 1 zum Begriff wurden gestrichen.]

3.4
Bezugslichtart
Lichtart, mit der andere Lichtarten verglichen werden

[QUELLE: CIE S 017:2016, 17-22-109 17]

3.5
Testlichtart
Lichtart, bei der der *Farbabstand* (3.3) zwischen den beiden zu prüfenden Proben bewertet wird

3.6
Metamerie-Index für Lichtartwechsel
$\boldsymbol{M_t}$
Farbabstand ΔE^* (3.3), den die beiden Proben unter der *Testlichtart* (3.5) zeigen, wenn unter der *Bezugslichtart* (3.4) $\Delta E^* = 0$ gilt

3.7
Ausgleichskorrektur
Verfahren, um einen *Farbabstand* (3.3) des Probenpaares unter der *Bezugslichtart* (3.4) rechnerisch zu null zu machen

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die Formelzeichen nach Tabelle 1.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

Tabelle 1 — Kurzzeichen

Symbol	Benennung
X, Y, Z	Normfarbwerte einer gemessenen Körperfarbe
X_n, Y_n, Z_n	Normfarbwerte der beleuchtenden Lichtart
$\overline{x}, \overline{y}, \overline{z}$	Spektralwertfunktionen
L^*, a^*, b^*	Basiskoordinaten des CIELAB Systems
$\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$	Differenzen zwischen Basiskoordinaten des CIELAB Systems
M_t	Metamerie-Index für Lichtartwechsel
$\vec{N}, \vec{N}_f, \vec{N}_r$	Vektor der radiometrischen Funktion einer Probe mit zugehörigem fundamentalen Farbreiz (f) und metameren Schwarz (r)
λ	Wellenlänge
S	Relative spektrale Verteilungsfunktion einer Lichtart
$\vec{W}$	Vektor der Normfarbwerte
w	Integrationsgewichte zur Berechnung der Normfarbwerte
A	Matrix der Integrationsgewichte w für die Berechnung der Normfarbwerte
R	Projektionsmatrix
I	Einheitsmatrix
Index spl	Probe
Index std	Standard
Index t	Testlichtart
Index corr	Korrigierter Wert
Index f	Fundamentaler Farbreiz
Index r	Metameres Schwarz (Residuum) oder Referenzlichtart
Index ref	Bezugslichtart
Index T	Transponierte Matrix

5 Bezugslichtart

Als Bezugslichtart wird die Normlichtart D65 nach ISO/CIE 11664-2 benutzt. In Sonderfällen benötigte andere Bezugslichtarten müssen angegeben werden.

6 Testlichtart

Die Auswahl der Testlichtart hängt von der Anwendung ab. Sind die Testlichtarten nicht speziell vorgegeben, sind bevorzugt die Normlichtart A nach ISO 11664-2 und/oder Lichtarten vom Typ einer Leuchtstofflampe wie z. B. F11 nach CIE 015 zu wählen. Die benutzte Testlichtart muss als Index zu M angegeben werden, z. B. M_A oder M_{FL11}.

Bei der Berechnung der Normfarbwerte X, Y, Z unter den gewählten Testlichtarten müssen die in ISO 11664-2 oder CIE 015 für A und D65 bzw. in CIE 015 für FL11 und FL2 jeweils angegebenen

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

grundlegenden Wellenlängen eingehalten werden. In den Fällen, in denen Messwerte für diese Wellenlängen fehlen, müssen sie durch interpolierte und/oder extrapolierte Werte ergänzt werden.

7 CIELAB-Koordinaten L*, a*, b*

Der Metamerie-Index M_t basiert auf den CIELAB-Koordinaten L^*, a^*, b^* der zu vergleichenden Proben 1 und 2. L^*, a^*, b^*wird nach ISO/CIE 11664-4 aus den Normfarbwerten X, Y, Z der Proben für den CIE 1964-10°-Normalbeobachter entsprechend ISO/CIE 11664-1 für die Bezugslichtart und die ausgewählte Testlichtart berechnet. Bei der Berechnung von L^*, a^*, b^* unter den Testlichtarten müssen die jeweiligen Normfarbwerte X_n, Y_n, Z_n der vollkommen mattweißen Fläche verwendet werden (siehe CIE 015). Für die Normlichtarten A und D65 bzw. für die Lichtartempfehlung F11 gelten die Normfarbwerte X_n, Y_n, Z_n der vollkommen mattweißen Fläche nach Tabelle 2.

In Tabelle 2 sind die Normfarbwerte für die häufig verwendeten Normlichtarten D65 und A sowie die Lichtart FL11 und die beiden Normalbeobachter nach CIE 015 festgelegt.

Tabelle 2 — Normfarbwerte

Norm-farbwerte	2°-Normalbeobachter			10°-Normalbeobachter		
	Lichtart					
	D65	A	FL11	D65	A	FL11
X_n	95,04	109,85	100,96	94,81	111,14	103,86
Y_n	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Z_n	108,88	35,58	64,35	107,32	35,20	65,61

Bei fluoreszierenden Proben muss die bei der Messung wirksame Lichtart möglichst gut an diejenige Lichtart angepasst sein, für die die Normfarbwerte ermittelt werden sollen.

ANMERKUNG Im Gegensatz zu nichtfluoreszierenden Proben ist die Berechnung von Metamerie-Indizes bei fluoreszierenden Proben fehlerhaft, wenn die Proben nur unter einer Beleuchtung gemessen werden.

8 Metamerie-Index für Lichtartwechsel

8.1 Grundsätzliche Berechnungsmethoden

Drei verschiedene Korrekturmethoden für die Berechnung eines Metamerie-Index sind in den Literaturhinweisen [6] bis [13] vorgeschlagen. Bei allen Methoden wird davon ausgegangen, dass in der Praxis auch unter der Bezugslichtart von vornherein ein geringer Farbunterschied zwischen Probe und Standard bestehen kann, der auf fertigungstechnische Probleme zurückzuführen ist. Bei den ersten beiden Methoden, die additive und multiplikative Korrektur, werden diese inhärenten Farbdifferenzen oft mit der Differenz vermischt, die durch den Wechsel der Lichtart eingeführt wird. Das dritte Verfahren, die spektrale Korrektur, arbeitet grundsätzlicher durch die Trennung von inhärenten Farbdifferenzen unter der Bezugslichtart von denen, die durch den Wechsel der Lichtart eingeführt werden.

ANMERKUNG Anhang A enthält Rechenbeispiele.

8.2 Grundsätzliche Berechnung des Metamerie-Indexes aus Farbabständen

Die übliche Gleichung für einen Metamerie-Index bei Lichtartwechsel, ausgedrückt in CIELAB-Koordinaten für die Testlichtart (t), ist durch Gleichung (1) gegeben:

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

$$M_t = \sqrt{(\Delta L_t^*)^2 + (\Delta a_t^*)^2 + (\Delta b_t^*)^2} \quad (1)$$

Dabei ist

t die Testfarbe;

$\Delta L_t^* = L_{spl,corr,t}^* - L_{std,t}^*$;

$\Delta a_t^* = a_{spl,corr,t}^* - a_{std,t}^*$;

$\Delta b_t^* = b_{spl,corr,t}^* - b_{std,t}^*$.

Die oben angegebenen Gleichungen sind als Beispiel für die Verwendung des CIELAB-Farbraums anzusehen.

Analoge Gleichungen gelten für andere euklidische Farbräume wie z. B. DIN 99o in DIN 6176. In nicht euklidischen Farbräumen wie z. B. CIE 94 oder CIEDE2000 werden die spezifischen Farbdifferenzen noch mit farbortabhängigen Wichtungsfunktionen versehen und in letzterem Fall noch um einen zusätzlichen Rotationsterm erweitert. Die CIELAB-Metrik ist in der vorliegenden Norm nur exemplarisch verwendet worden und sollte in der praktischen Anwendung durch eine der erwähnten neueren Metriken (z. B. CIE 94, CIEDE2000, DIN 99o) ersetzt werden, die erheblich gleichabständiger als das CIELAB-Modell sind.

8.3 Korrekturmethoden

8.3.1 Additive Korrektur

Bei der additiven Korrektur werden die unter Referenzbedingungen (ref) beobachteten spezifischen Differenzen jeder kolorimetrischen Achse zwischen Standard (std) und Probe (spl) den spezifischen Differenzen zwischen Standard und Probe unter Testbedingungen (t) veraufschlagt. Die resultierende Gleichung für den Metamerie-Index M_t, ausgedrückt in CIELAB-Koordinaten, ist dann durch Gleichung (2) gegeben:

$$M_t = \sqrt{(\Delta L_{corr}^*)^2 + (\Delta a_{corr}^*)^2 + (\Delta b_{corr}^*)^2} \quad (2)$$

Dabei ist

$\Delta L_{corr}^* = L_{spl,t}^* - L_{std,t}^* - \Delta L_{ref}^*$;

$\Delta L_{ref}^* = L_{spl,ref}^* - L_{std,ref}^*$.

Analoge Beziehungen gelten für Δa^* und Δb^*. Es sollte angemerkt werden, dass leicht unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten sind, wenn die Korrektur auf Normfarbwerte vor der Transformation in einen gleichabständigen Farbenraum wie CIELAB oder DIN 99o angewendet wird.

8.3.2 Multiplikative Korrektur

Bei der multiplikativen Korrektur, die in CIE 015 als Korrekturmethode angegeben wird, werden die unter Testbedingungen (t) beobachteten Normfarbwerte der Probe (spl) mit dem Verhältnis der unter Referenzbedingungen (r) ermittelten Normfarbwerte von Standard (std) zu Probe multipliziert. Die resultierende Gleichung ist durch Formel (3) gegeben:

$$Y_{corr} = Y_{spl,t} \frac{Y_{std,ref}}{Y_{spl,ref}} \quad (3)$$

wobei wieder analoge Verknüpfungen für X_{corr} und Z_{corr} gelten. Anschließend findet wieder eine Transformation in einen gleichabständigen Farbraum statt (z. B. CIELAB) wodurch sich Gleichung (4) ergibt:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

$$M_t = \sqrt{(\Delta L^*_{\mathrm{corr}})^2 + (\Delta a^*_{\mathrm{corr}})^2 + (\Delta b^*_{\mathrm{corr}})^2} \quad (4)$$

mit

$$\Delta L^*_{\mathrm{corr}} = L^*_{\mathrm{spl,corr,t}} - L^*_{\mathrm{std,t}}$$

Analoge Beziehungen gelten für die beiden verbleibenden spezifischen Differenzen $\Delta a^*_{\mathrm{corr}}$ und $\Delta b^*_{\mathrm{corr}}$.

8.3.3 Spektralkorrektur

Die spektrale Methode berücksichtigt, dass schon unter der Bezugslichtart geringe Unterschiede zwischen den Farbvalenzen der Testprobe und der Standardprobe bestehen können, welche für die Metamerieeigenschaften nicht relevant sind. Um diese zunächst rechnerisch zu kompensieren und nur die für Metamerieeigenschaften bei Lichtartwechsel wirksamen Anteile von Proben mit gegebenem Reflexionsspektrum zu ermitteln, wird von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, ein Reflexionsspektrum mathematisch in zwei additive Anteile aufzuspalten.

Davon beschreibt ein Anteil nur die zur Bildung der Farbvalenz unter der Bezugslichtart wirksame Funktion und der andere eine Funktion, welche bei der Integration über den Farbreiz unter der Bezugslichtart zu keinem Beitrag an der Farbvalenz führt.

Diese Funktion enthält zwangsläufig positive und negative Komponenten. Die sich aus dem ersten für die Bildung der Farbvalenz wirksamen Anteil des Reflexionsspektrums unter der Bezugslichtart ergebende Farbreizfunktion wird fundamentale Farbreizfunktion genannt, der entsprechende zweite Teil der Farbreizfunktion führt auf ein metameres Schwarz der Zerlegung (Residuum), d. h. einem nicht sichtbaren Beitrag mit einer sich daraus ergebenden Farbvalenz identisch gleich Null.

Die Kompensation der für Metamerieeigenschaften nicht wirksamen Abweichungen der Farbvalenzen einer Testprobe von der Standardprobe wird dadurch erreicht, dass die fundamentale Farbvalenz der Testprobe an die der Standardprobe angeglichen wird, während ihr für die Metamerieeigenschaft wirksamer Anteil ungeändert beibehalten wird, d. h. es wird eine neue Farbreizfunktion der Testprobe aus der Überlagerung des angeglichenen fundamentalen Farbreizes und dem ungeänderten zweiten Anteil gebildet und aus der Summe die Metamerie zur Standardprobe bei Lichtartwechsel bestimmt.

Die mathematische Beschreibung des Verfahrens der spektralen Korrektur im Folgenden baut nicht auf einer Zerlegung der Farbreizfunktion selbst in ihre fundamentale Farbreizfunktion und die nicht sichtbare Funktion der Schwarzanteile auf, sondern benutzt eine Zerlegung der spektralen Reflexionsfunktion der jeweiligen Farbe in eine „fundamentale Reflexionsfunktion“ und einen „schwarzen“ Anteil der Reflexionsfunktion, wobei stets angenommen ist, dass diese Anteile nur zusammen mit der Verteilungsfunktion der Bezugslichtart (hier D65) auf die visuell wirksame fundamentale Farbreizfunktion und die nicht sichtbare Funktion der Schwarzanteile (metameres Schwarz) führen. Die Verteilungsfunktion der Bezugslichtart ist also inhärent in die Zerlegung der Reflexionsfunktionen eingerechnet. Um diesen Zusammenhang deutlich zu machen, werden die Anteile bei der Zerlegung der Reflexionsfunktion einer Farbe mit dem Zusatz „für die Bezugslichtart“ versehen.

In dem von Cohen und Kappauf entwickelten Modell der spektralen Dekomposition einer radiometrischen Funktion wird das im sichtbaren Spektralbereich erfasste Reflexionsspektrum einer Objektfarbe im Vektor in Gleichung (5) zusammengefasst:

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} \rho(\lambda_1) \\ \rho(\lambda_2) \\ \vdots \\ \rho(\lambda_n) \end{pmatrix} \tag{5}$$

Die Komponenten des Vektors $\vec{N}$ sind die an n Intervallen diskret vorliegenden Reflexionswerte $\rho(\lambda_i)$ (i=1,2,...,n) der betrachteten Farbe. Zur Berechnung der zugehörigen Normfarbwerte X, Y, Z aus den Reflexionsfunktionen müssen Produkte aus den Stützstellen der Verteilungsfunktion der beleuchtenden Lichtart $S(\lambda)$, der jeweiligen Normspektralwertfunktion [siehe Gleichung (6)],

$$\overline{\alpha}(\lambda_i) = \{\overline{x}(\lambda_i), \overline{y}(\lambda_i), \overline{z}(\lambda_i)\} \tag{6}$$

dem Stützstellenabstand $\Delta\lambda$ und einer Normierungskonstanten k gebildet werden.

Die Komponenten $\rho(\lambda_i)$des Vektors $\vec{N}$sind die Reflexionswerte der betrachteten Farbe. Unter Berücksichtigung der Lichtart $S(\lambda_i)$ werden die Normfarbwertkomponenten *X, Y, Z* aus der Summe der Produkte $S(\lambda_i)\rho(\lambda_i)\overline{\alpha}(\lambda_i)\Delta\lambda/k$ mit der Normierungskonstante k berechnet. Der Term $\overline{\alpha}(\lambda_i) = \{\overline{x}(\lambda_i), \overline{y}(\lambda_i), \overline{z}(\lambda_i)\}$beschreibt die Spektralwertfunktionen. Die Konstante k wird aus der jeweiligen Summe $\sum_i^n S(\lambda_i)\overline{y}(\lambda_i)\Delta\lambda$für die *Y*-Komponente der betrachteten Lichtart ermittelt.

Diese oben genannten Produkte werden als Gewichte in Gleichung (7) eingeführt:

$$w_{\overline{\alpha}}(\lambda_i) = kS(\lambda_i)\overline{\alpha}(\lambda_i)\Delta\lambda \tag{7}$$

Die Gewichte aller Stützstellen für die Normspektralwertkurven sind in Gleichung (8) in Matrixform in einer $n \times 3$-Matrix angegeben:

$$A = \begin{pmatrix} w_{\overline{x}}(\lambda_1) & w_{\overline{y}}(\lambda_1) & w_{\overline{z}}(\lambda_1) \\ w_{\overline{x}}(\lambda_2) & w_{\overline{y}}(\lambda_2) & w_{\overline{z}}(\lambda_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{\overline{x}}(\lambda_n) & w_{\overline{y}}(\lambda_n) & w_{\overline{z}}(\lambda_n) \end{pmatrix} \tag{8}$$

Der transponierte Vektor in Gleichung (9):

$$\overrightarrow{W} = \{X, Y, Z\}^T \tag{9}$$

der Farbwerte ergibt sich in Übereinstimmung mit Gleichung (10):

$$\overrightarrow{W} = A^T \cdot \vec{N} \tag{10}$$

aus der Matrixmultiplikation der transponierten Wichtungsmatrix A^T mit der radiometrischen Funktion $\vec{N}$.

Aus der Matrix A der Integrationsgewichte haben Cohen und Kappauf eine orthogonale $n \times n$ Matrix in Gleichung (11) konstruiert:

$$R = A(A^T \cdot A)^{-1} A^T \tag{11}$$

deren Anwendung in Gleichung (12):

$$R \cdot \vec{N} = \vec{N}_f \tag{12}$$

auf die radiometrische Funktion $\vec{N}$ einer Objektfarbe ihre fundamentale Reflexionsfunktion für die Bezugslichtart $\vec{N}_f$ isoliert, die aktiv den Farbwahrnehmungsprozess gestaltet.

Der Farbwert $\overrightarrow{W_r}$ der Differenz in Gleichung (13):

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

$$\vec{N}_{\mathrm{r}} = \vec{N} - \vec{N}_{\mathrm{f}} \tag{13}$$

d. h. siehe Gleichung (14):

$$\vec{W}_{\mathrm{r}} = A^{T} \cdot \vec{N}_{\mathrm{r}} \tag{14}$$

ist Null.

Dieser als metameres Schwarz oder Residuum identifizierte Beitrag trägt keine Farbinformation und wird im Farbwahrnehmungsprozess unter der Bezugslichtart nicht sichtbar. $\vec{N}_{\mathrm{r}}$ hat sowohl positive als auch negative Beiträge. Auch bei den ermittelten fundamentalen Farbreizen können negative Vektor-Elemente auftreten. Es ist entscheidend, dass für die aus fundamentaler Reflexionsfunktion und dem metameren Schwarzanteil zusammengesetzte Reflexionsfunktion unter der Bezugslichtart $\vec{N}_{\mathrm{i}} \geq 0 \forall i$ gilt, um physikalisch realisiert werden zu können. Die $n \times n$-Projektionsmatrix R ist vom Normalbeobachter (2°, 10°) und der verwendeten Normlichtart abhängig.

Fairman hat auf der Basis der beschriebenen Zerlegung einer spektralen Reflexionsfunktion in fundamentale Reflexionsfunktion für die Bezugslichtart und Residuum als Schwarzanteil der Reflexionsfunktion ein Modell der Restfarbdifferenz paramerer Probenpaare mit geringem Farbabstand vorgeschlagen.

Seien $\vec{N}_{\mathrm{std}}$ und $\vec{N}_{\mathrm{spl}}$ die Reflexionsfunktionen eines parameren Probenpaares, deren n Elemente die gemessenen Reflexionswerte der jeweiligen Objektfarbe innerhalb des sichtbaren Spektralbereiches repräsentieren und in Gleichung (15) und Gleichung (16) mittels der Cohen-Kappauf-Dekomposition in ihre fundamentalen Reflexionsfunktionen für die Bezugslichtart und metameren Schwarzanteile für die Bezugslichtart zerlegt werden können:

$$\vec{N}_{\mathrm{std}} = \vec{N}_{\mathrm{f,std}} + \vec{N}_{\mathrm{r,std}} \tag{15}$$

$$\vec{N}_{\mathrm{spl}} = \vec{N}_{\mathrm{f,spl}} + \vec{N}_{\mathrm{r,spl}} \tag{16}$$

Durch Addition von Residuum der Probe (Index r,spl) und fundamentaler Reflexionsfunktion für die Bezugslichtart des Standards (Index f,std) wird eine virtuelle Probe mit korrigierter Reflexionsfunktion $\vec{N}_{\mathrm{spl,corr}}$ erzeugt, die unter der Bezugslichtart keine Restfarbdifferenz zum Standard, aber nach wie vor dieselben metameren Eigenschaften gegenüber dem Standard besitzt. Die resultierende Gleichung (17) dazu lautet:

$$\vec{N}_{\mathrm{spl,corr}} = R \cdot \vec{N}_{\mathrm{std}} + (I - R) \cdot \vec{N}_{\mathrm{spl}} \tag{17}$$

wobei I die $n \times n$ Einheitsmatrix darstellt und R die von Cohen und Kappauf entwickelte Dekompositions- oder Projektionsmatrix. Zur Berechnung eines speziellen Metamerie-Index für die Lichtart-Metamerie wird die experimentelle Reflexionsfunktion der Probe $\vec{N}_{\mathrm{spl}}$durch die mittels der spektralen Korrektur modifizierte Reflexionsfunktion$\vec{N}_{\mathrm{spl,corr}}$ ersetzt.

ANMERKUNG Anhang A enthält Rechenbeispiele.

Zusammengefasst erfordert die Berechnung des Metamerie-Index für das Verfahren der spektralen Korrektur die folgenden Schritte.

1) Es werden die radiometrischen Funktionen $\vec{N}_{\mathrm{std}}$ und $\vec{N}_{\mathrm{spl}}$ der Referenz bzw. der Probe gemessen.

2) Es wird die Wichtungsmatrix A für die Bezugslichtart und die entsprechende Wichtungsmatrix At für die Testlichtart berechnet;

3) Es wird die Cohen – Kappauf-Matrix R für die Bezugslichtart nach Gleichung (18) berechnet:

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03

$$R = A(A^T \cdot A)^{-1} A^T \quad (18)$$

4) Es wird die radiometrische Funktion der korrigierten Testprobe nach Gleichung (19) berechnet:

$$\vec{N}_{\text{spl,corr}} = R \cdot \vec{N}_{\text{std}} + (I - R) \cdot \vec{N}_{\text{spl}} \quad (19)$$

Dabei ist I die Einheitsmatrix;

5) Es werden die Farbwerte für die Bezugslichtart nach Gleichung (20) und Gleichung (21):

$$\vec{W}_{\text{std}} = A \cdot \vec{N}_{\text{std}} \quad (20)$$

$$\vec{W}_{\text{spl,corr}} = A \cdot \vec{N}_{\text{spl,corr}} \quad (21)$$

und für die Testlichtart nach Gleichung (22) und Gleichung (23) berechnet:

$$\vec{W}_{\text{std,t}} = A_t \cdot \vec{N}_{\text{std}} \quad (22)$$

$$\vec{W}_{\text{spl,corr,t}} = A_t \cdot \vec{N}_{\text{spl,corr}} \quad (23)$$

ANMERKUNG Es ist zu beachten, dass $\vec{W}_{\text{std}} = \vec{W}_{\text{spl,corr}}$ unter der Bezugslichtart und die fundamentalen Anteile von $\vec{W}_{\text{std,t}}$ und $\vec{W}_{\text{spl,corr,t}}$ unter der Testlichtart ausgeglichen sind und etwaige Differenzen zwischen $\vec{W}_{\text{spl,corr,t}}$ und $\vec{W}_{\text{std,t}}$ nur durch den Restanteil von $\vec{N}_{\text{spl,corr}}$ eingeführt werden, der bei der Bezugslichtart schwarz erscheint und bei der Testlichtart verändert ist.

6) Es wird der Farbabstand zwischen $W_{\text{std,t}}$und $W_{\text{spl,corr,t}}$ mithilfe eines beliebigen geeigneten Systems sowie der Metamerie-Index berechnet. Für den CIELAB-Farbraum ergeben sich beispielsweise die Gleichungen Formeln (24) bis (27):

$$M_t(\text{spectr}) = \sqrt{\left(\left(\Delta L^*_{\text{corr,t}}\right)^2 + \left(\Delta a^*_{\text{corr,t}}\right)^2 + \left(\Delta b^*_{corr,t}\right)^2\right)} \quad (24)$$

$$\Delta L^*_{\text{corr,t}} = \Delta L^*_{\text{spl,corr,t}} - \Delta L^*_{\text{std,t}} \quad (25)$$

$$\Delta a^*_{\text{corr,t}} = \Delta a^*_{\text{spl,corr,t}} - \Delta a^*_{\text{std,t}} \quad (26)$$

$$\vec{W}_{\text{r}} = A^T \cdot \vec{N}_{\text{r}} \quad (27)$$

8.4 Prüfbericht

Im Prüfbericht muss die verwendete Korrekturmethode für die Restfarbdifferenz unter Bezugsbedingungen in der formelmäßigen Bezeichnung des Metamerie-Index als Argument gekennzeichnet werden. In dem Bezeichner M_t(x) steht der Index „t“ für die verwendete Testlichtart (z. B. t = A oder FL11 usw.) und das Argument „x“ für die Korrekturmethode (x = add für die additive Korrektur, x = multipl für die multiplikative Korrektur, und x = spectr für die spektrale Cohen-Kappauf Korrektur). Z. B. steht M_{A} (spectr) für einen Metamerie-Index für die Testlichtart A unter Verwendung der spektralen Cohen-Kappauf-Korrektur.

Außerdem sollten die Farbabstände den in den jeweiligen Normen der Farbdifferenzgleichungen empfohlenen Bereich nicht überschreiten (bei CIELAB sollte $\Delta E^*_{\text{ab}} < 5$ erfüllt sein).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 18314-4:2021-03