

**Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik –
Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts
auf den Menschen –
Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren**

Optical radiation physics and illuminating engineering –
Part 100: Melanopic effects of ocular light on human beings –
Quantities, symbols and action spectra

Physique de radiation optique et technique d'éclairage –
Partie 100: Effet melanopique de lumière oculaire sur la personne –
Grandeurs, symboles et spectre d'activité

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer Vornorm erstellt.

Gesamtumfang 33 Seiten

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Melanopische Lichtwirkungen	12
4.1 Allgemeines	12
4.1.1 Übersicht über die melanopischen Lichtwirkungen	12
4.1.2 Suppression von Melatonin in der Nacht.....	13
4.1.3 Verschiebung der circadianen Phase.....	13
4.1.4 Änderung der circadianen Amplitude.....	14
4.1.5 Aktivierung mit Licht	14
4.1.6 Steuerung des Pupillenreflexes	14
4.1.7 Behandlung saisonal abhängiger Depressionen (SAD)	14
4.2 Melanopische Bewertung von Licht	15
4.3 Wirkungsspektrum für die melanopische Bewertung von Licht	15
4.4 Angabe von Lampen- und Leuchtendaten	16
4.4.1 Allgemeines	16
4.4.2 Melanopischer tageslicht-äquivalenter Lichtstrom von Lichtquellen	16
4.4.3 Melanopischer tageslicht-äquivalenter Betriebswirkungsgrad von Leuchten	17
5 Lichttechnische Beschreibung der Exposition	18
5.1 Beschreibung von Lichtquellen	18
5.2 Exakte Beschreibung bei einfachen Lichtquellen	19
5.3 Vereinfachte Beschreibung bei einfachen Lichtquellen.....	19
5.4 Beschreibung bei komplexen Lichtquellen	20
5.5 Bewertung der photobiologischen Sicherheit.....	20
Anhang A (informativ) Spektrale Strahlungsverteilung moderner Lichtquellen.....	21
Anhang B (informativ) Beispiele melanopischer tageslicht-äquivalenter lichttechnischer Größen .	25
Anhang C (informativ) Wirkungsspektrum für melanopische Lichtwirkung in 1-nm-Schritten	27
Anhang D (informativ) Melanopische Wirkungsfaktoren und Korrekturfaktoren für die altersabhängige Linsentransmission	30
Literaturhinweise	32

Vorwort

Diese DIN SPEC (Vornorm-Verfahren) wurde vom NA 058-00-27 AA „Wirkung des Lichts auf den Menschen“ im DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL) erarbeitet.

Eine DIN SPEC nach dem Vornorm-Verfahren ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Zur vorliegenden DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Erfahrungen mit dieser DIN SPEC sind erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an fnl@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den NA 058-00-27 AA.

Änderungen

Gegenüber DIN V 5031-100:2009-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) biologische Lichtwirkungen unter dem Begriff „melanopische“ Lichtwirkungen zusammengefasst;
- b) Wirkungsspektrum für melanopische Lichtwirkungen neu festgelegt;
- c) für die messtechnische Beschreibung von Licht im Hinblick auf seine melanopischen Wirkungen werden melanopische tageslichtäquivalente Größen definiert;
- d) Parameter für eine lichttechnische Beschreibung der Exposition festgelegt.

Frühere Ausgaben

DIN V 5031-100: 2009-06

Einleitung

Licht, das über das Auge wirkt, löst unterschiedliche nichtvisuelle Wirkungen (en: non image forming effects) aus. Gegenstand dieser DIN SPEC sind die nichtvisuellen Wirkungen des Lichts. Dazu können z. B. eine Unterdrückung der Melatoninausschüttung, eine Veränderung der Herzrate, Einflüsse auf die Thermoregulation, die Wachheit, Veränderungen der Frequenz im Elektroenzephalogramm und eine Verschiebung der Phase des circadianen Systems gehören. Darüber hinaus sind Reaktionen innerhalb einiger Sekunden bis Minuten auf kurzwelliges Licht wie z. B. die Regulation der Pupillenweite oder Veränderungen der Hirnaktivität möglich.

Diese Wirkungen werden häufig als „biologische“ Wirkungen des Lichts bezeichnet, um sie von den visuellen Wirkungen zu unterscheiden. Jedoch ist dieser Begriff missverständlich, da alle Wirkungen auf den Menschen biologischer Natur sind. Es wird daher in dieser DIN SPEC der Begriff melanopische Lichtwirkung eingeführt.

Melanopische Lichtwirkungen werden durch melanopsinhaltige Ganglienzellen im Auge des Menschen vermittelt. Erste Belege für die Existenz dieser vorher unbekannten Art von Photorezeptor im Auge stammen aus dem Jahre 2001 (siehe [2], [3]). In der Folge wurden die intrinsisch lichtempfindlichen Ganglienzellen in der Netzhaut (ipRGC) mit ihrem lichtempfindlichen Farbstoff Melanopsin nachgewiesen. Da für diese Ganglienzellen ein eigenes Wirkungsspektrum nachgewiesen wurde, wäre es unzutreffend, Licht im Hinblick auf seine melanopischen Wirkungen wie bisher ausschließlich mit dem in DIN 5031-3 beschriebenen spektralen Hellempfindlichkeitsgrad $V(\lambda)$ für Tagessehen zu bewerten. Visuelle und in dieser DIN SPEC beschriebene melanopische Lichtwirkungen werden beide durch Lichtreize ausgelöst. Aufgrund unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeiten, unterschiedlicher Nervenpfade für die Weiterleitung der durch diese Lichtreize ausgelösten Signale und grundsätzlich verschiedener Wirkungsweisen werden die melanopischen Lichtwirkungen in dieser DIN SPEC unabhängig von den visuellen Wirkungen betrachtet. Dies schließt nicht aus, dass Wechselwirkungen zwischen visuellen und nichtvisuellen Wirkungen bestehen. Weiterhin ist bekannt, dass auch die Photorezeptoren im Auge, welche für visuelle Wirkungen verantwortlich sind, zu den nichtvisuellen Wirkungen beitragen.

Unter dem Begriff „melanopische Lichtwirkungen“, werden die oben genannten nichtvisuellen Effekte, die ausschließlich über das Auge vermittelt werden, verstanden. Andere Wirkungen optischer Strahlung, z. B. Wirkungen von ultravioletter Strahlung auf Auge und Haut oder Wirkungen von infraroter Strahlung werden in dieser DIN SPEC nicht behandelt. Solche Wirkungen und deren Wirkungsspektren sind in DIN 5031-10 beschrieben. Ultraviolette Strahlung trägt zu den melanopischen Wirkungen nicht bei.

Da die Datenlage aufgrund der Neuigkeit der Entdeckung der ipRGC (en: intrinsically photosensitive retinal ganglion cells) noch nicht in allen Aspekten gesichert ist, muss, falls neue wissenschaftliche Erkenntnisse vorgelegt werden, das aufgeführte Wirkungsspektrum an diese Erkenntnisse angepasst werden. Dies wurde mit der Vorlage dieser überarbeiteten Fassung erstmals getan.

Die Bedeutung der melanopischen Lichtwirkung auf den Menschen ist so groß, dass es trotz dieses frühen Stadiums der Erkenntnisse sinnvoll ist, eine DIN SPEC nach dem Vornormverfahren zu erstellen, damit einheitliche Bewertungsverfahren angewandt werden können. Diese sind beispielsweise für die Vergleichbarkeit wissenschaftlicher oder anwendungsnaher Studien erforderlich, oder für die Lichtplanung, wenn diese besonderen Anforderungen an die genannten melanopischen Lichtwirkungen genügen soll.

Kurzwellige Spektralanteile bergen bei Vorliegen weiterer Randbedingungen, insbesondere bei sehr hohen Bestrahlungsstärken oder sehr hohen spektralen Strahldichten potenzielle Risiken für das Auge. Die Bewertung dieser Risiken durch optische Strahlung ist in der EU-Richtlinie 2006/25/EU [22] und der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV [23], detailliert festgelegt. Die dafür relevante Norm ist DIN EN 62471 (VDE 0837-471). Da die Expositionsgrenzwerte der o. g. Vorschriften, auf die verwiesen wird, für jede Auslegung von Beleuchtung, somit auch unter melanopischen Gesichtspunkten, verbindlich sind, bedarf es keiner weiteren Ausführung in dieser DIN SPEC.

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC legt die spektrale Bewertung der optischen Strahlung im sichtbaren Bereich zur Beurteilung melanopischer Lichtwirkungen fest. Weiterhin werden Begriffe und Wirkungsspektren zur Charakterisierung der melanopischen Lichtwirkungen festgelegt.

Diese DIN SPEC ermöglicht eine vereinheitlichte Bewertung von Lichtquellen und Beleuchtungssituationen, unabhängig davon, ob die Wirkungsspektren eine exakte Beschreibung der melanopischen Lichtwirkungen der optischen Strahlung liefern.

Diese DIN SPEC legt auch Regelungen fest, wie zur vollständigen Beschreibung der Lichtexposition von Personen in wissenschaftlichen Experimenten und in Praxisanwendungen zu verfahren ist, wenn melanopische Lichtwirkungen im Fokus stehen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 5031-3:1982-03, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Teil 3: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik*

DIN EN 12464-1, *Licht und Beleuchtung — Beleuchtung von Arbeitsstätten — Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*

DIN EN 62471 (VDE 0837-471):2009-03, *Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen (IEC 62471:2006, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62471:2008*

DIN IEC/TR 62778 (DIN SPEC 42778):2014-03, *Anwendung von IEC 62471 zur Beurteilung der Blaulichtgefahr von Lichtquellen und Leuchten (IEC/TR 62778:2012)*

IEC 62471 CIE S 009:2006, *Photobiological safety of lamps and lamp systems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 5031-3 und die folgenden Begriffe.

3.1

melanopische Lichtwirkungen

(en: melanopic effects of light)

durch Licht über die intrinsisch lichtempfindlichen Ganglienzellen (ipRGC) in der Netzhaut des Auges zusätzlich zur visuellen Wahrnehmung vermittelten Wirkungen auf physiologische und psychologische Vorgänge im menschlichen Organismus

Anmerkung 1 zum Begriff: In früheren Fassungen wurde der Begriff „biologische“ Lichtwirkung verwendet. Dies wird als nicht spezifisch genug angesehen, da der Begriff „biologisch“ für alle Wirkungen auf den Menschen, selbst für den Sehvorgang zutreffend wäre.

Da die Wirkung auf dem Farbstoff Melanopsin beruht, wird die Bewertung, welche auf Basis dieses Wirkungsspektrums erfolgt, als „melanopisch“ bezeichnet. Dieses Kunstwort wurde gewählt, um sprachlich an die gängigen Begriffe „photopisch“, „skotopisch“ oder „mesopisch“ anzuschließen und eine einfache Übersetzung ins Englische zu ermöglichen. Der Begriff „melanopic“ wird in englischsprachiger Fachliteratur für eine Bewertung der von retinalen Ganglienzellen vermittelten melanopischen Wirkung gebraucht.

3.2

melanopisch bewertete Strahlungsgröße

(en: melanopic radiant quantity)

 X_{mel}

mit dem melanopischen Wirkungsspektrum bewertete Strahlungsgröße in allgemeiner Form, berechnet mit folgender Gleichung (1)

$$X_{\text{mel}} = \int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (1)$$

Dabei ist

- X_{mel} die melanopisch bewertete Strahlungsgröße;
- $X_{\lambda}(\lambda)$ die spektrale strahlungsphysikalische Größe;
- $s_{\text{mel}}(\lambda)$ das Wirkungsspektrum für die betrachtete melanopische Wirkung, bezogen auf den Maximalwert $s_{\text{mel, max}} = 1$, siehe Tabelle 5;
- λ_u, λ_o untere und obere Grenzwellenlängen für den Definitionsbereich der melanopischen Wirkung, siehe Tabelle 5.

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach DIN 5031-10 und DIN V 5031-100:2009 ist X_{biol} die im Hinblick auf eine biologische Wirkung der Strahlung bewertete Größe. In dieser DIN SPEC wird der Begriff der biologischen Wirkung nicht weiter verwendet, sondern der Begriff melanopische Lichtwirkung spezifiziert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gleichung (1) impliziert, dass sich die Gesamtwirkung additiv aus den Einzelwirkungen monochromatischer Strahlung zusammensetzt (Additivitätsgesetz). Wissenschaftliche Erkenntnisse deuten darauf hin, dass dies bei melanopischen Wirkungen in erster Näherung gilt [1].

Anmerkung 3 zum Begriff: Das Wirkungsspektrum $s_{\text{mel}}(\lambda)$ nach [24] basiert auf Daten eines 32-jährigen Referenzbeobachters. Korrekturfaktoren für andere Altersgruppen sind in 3.4 aufgeführt.

Anmerkung 4 zum Begriff: Eine melanopische Lichtwirkung hängt im Allgemeinen nicht linear von der melanopisch wirksamen Strahlungsgröße ab.

Anmerkung 5 zum Begriff: Nach DIN 5031-10 wird der Begriff „Wirkungsspektrum“ für die relative spektrale Empfindlichkeit für eine melanopische Wirkung verwendet. Auch die Begriffe „Spektrale Wirkungsfunktion“ oder „Aktionsspektrum“ sind gebräuchlich.

Anmerkung 6 zum Begriff: Die Integralbildung nach Gleichung (1) setzt stetige mathematische Funktionen für $X_{\lambda}(\lambda)$ und für $s_{\text{mel}}(\lambda)$ voraus. In der Praxis wird das Integral durch eine Summe diskreter Werte angenähert. Dies ist in Gleichung (2) dargestellt. Die Genauigkeit dieser Annäherung hängt wesentlich von der Schrittweite $\Delta\lambda$ ab, in der die Einzelwerte vorliegen. Die in dieser DIN SPEC dargestellten Zahlenwerte basieren auf einer Schrittweite für $\Delta\lambda$ von 5 nm. Dies stellt in der Praxis im Allgemeinen eine ausreichend gute Annäherung dar. Bei Verwendung anderer Schrittweiten ist mit Abweichungen der abgeleiteten Größen zu rechnen. Im Anhang C ist das Wirkungsspektrum für melanopische Wirkungen informativ auch in 1 nm-Schritten dargestellt.

$$X_{\text{mel}} = \sum_{n=1}^{n=m} X_{\lambda}(\lambda_n) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda_n) \cdot \Delta\lambda \quad (2)$$

Dabei ist

- $X_\lambda(\lambda_n)$ die spektrale strahlungsphysikalische Größe; liegt i. A. vor als Reihe von $n = 1$ bis m diskreter Werte wie sie z. B. von einem Spektralradiometer geliefert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Zahlenwerte der spektralen Strahlungsgröße auf das Wellenlängenintervall beziehen. Bei gleichen spektralen Strahlungsverteilungen unterscheiden sich die Beträge dieser Zahlenwerte je nach verwendetem Wellenlängenintervall $\Delta\lambda$. Die Stützstellen λ_n sind durch die Definitionsstellen von $s_{\text{mel}}(\lambda_n)$ gegeben. Die spektrale Strahlungsgröße $X_\lambda(\lambda)$ ist gegebenenfalls auf diese Stützstellen zu interpolieren, wenn sie für andere Punkte vorliegt.
- $s_{\text{mel}}(\lambda_n)$ das Wirkungsspektrum für die betrachtete melanopische Wirkung, bezogen auf den Maximalwert $s_{\text{mel, max}} = 1$, siehe Tabelle 5;
- $\Delta\lambda$ die Schrittweite in nm in der die diskreten Werte von $X_\lambda(\lambda_n)$ und $s_{\text{mel}}(\lambda)$ vorliegen;
- n der fortlaufende Index von $n = 1$ bis zum Maximalwert m . Dabei zeigt i. A. der Index $n = 1$ auf den Wert von Strahlungsgröße bzw. Wirkungsspektrum für die untere Grenzwellenlänge λ_u nach Gleichung (1) und der Index m auf die Werte für die obere Grenzwellenlänge λ_o . Bei einer Schrittweite von 5 nm geht n i. A. von $n = 1$ für $\lambda = 380$ nm bis $n = 81$ für $\lambda = 780$ nm.

Anmerkung 7 zum Begriff: Hinsichtlich einer detaillierteren Darstellung zum Umgang mit Gleichungen wie Gleichung (1) und Gleichung (2) siehe auch DIN 5031-10:2013-12, Anhang C; Interpolation von Wirkungsspektren und Integration der effektiven Strahlungsleistung.

3.3

melanopischer Wirkungsfaktor (der sichtbaren Strahlung)

(en: melanopic factor (of luminous radiation))

$a_{\text{mel, v}}$

Verhältnis der melanopisch wirksamen Strahlungsgröße zu der mit der Empfindlichkeit für Tagessehen bewerteten photometrisch wirksamen Strahlungsgröße, berechnet mit folgender Gleichung (3)

$$a_{\text{mel, v}} = \frac{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_\lambda(\lambda) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_\lambda(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (3)$$

Dabei ist

- $a_{\text{mel, v}}$ der melanopische Wirkungsfaktor;
- $V(\lambda)$ der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen nach DIN 5031-3.

Anmerkung 1 zum Begriff: Der melanopische Wirkungsfaktor ist eine dimensionslose Größe.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ist eine photometrische Größe X_v (z. B. Leuchtdichte) für Tagessehen bekannt, lässt sich mit dem melanopischen Wirkungsfaktor die entsprechende melanopische Bewertung X_{mel} nach Gleichung (4) ermitteln.

$$X_{\text{mel}} = \frac{1}{K_m} \cdot a_{\text{mel, v}} \cdot X_v \quad (4)$$

Aus Gleichung (4) kann abgeleitet werden

$$a_{\text{mel, v}} = \frac{X_{\text{mel}}}{X_v} \cdot K_m \quad (5)$$

In den Gleichungen (4) und (5) ist

X_V die photometrische Größe für Tagessehen nach DIN 5031-3;

$K_m = 683 \text{ lm/W}$ der Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents für Tagessehen nach DIN 5031-3.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für eine bessere Vergleichbarkeit sollten die Wirkungskfaktoren auf drei Stellen nach dem Komma angegeben werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Es wird auf Anmerkung 6 zum Begriff 3.2. hingewiesen, der für Gleichung (3) entsprechend gilt.

Anmerkung 5 zum Begriff: Die Tabellen D.1 und D.2 zeigen Beispiele für Werte von $a_{\text{mel}, v}$ für verschiedene Lichtarten.

3.4 melanopische Ausbeute (der sichtbaren Strahlung)

(en: melanopic efficacy (of luminous radiation))

$K_{\text{mel}, v}$

Verhältnis der melanopisch wirksamen Strahlungsgröße zu der photometrischen Größe für Tagessehen, berechnet mit folgender Gleichung (6)

$$K_{\text{mel}, v} = \frac{\int X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda}{K_m \cdot \int X_{\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (6)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Gleichung (6) kann durch Anwendung der Gleichungen (4) und (5) in die Form (7) überführt werden.

$$K_{\text{mel}, v} = \frac{X_{\text{mel}}}{X_V} = \frac{a_{\text{mel}, v}}{K_m} \quad (7)$$

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Definition in Gleichung (6) entspricht den Festlegungen des Dokuments CIE TN 002:2014, Abs. 4.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Einheit von $K_{\text{mel}, v}$ ist W/lm.

Anmerkung 4 zum Begriff: Es wird auf Anmerkung 6 zum Begriff 3.2. hingewiesen, die für Gleichung (6) entsprechend gilt.

3.5 melanopisches Tageslichtäquivalent

(en: melanopic daylight equivalent)

K_{mel}

Verhältnis der photometrischen Größe für Tagessehen zu der melanopisch wirksamen Strahlungsgröße, deren Strahlungsfunktion derjenigen von Normlichtart D65 entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Anwendung der Gleichungen (1), (3) und (4) auf eine spektrale Strahlungsgröße $X_{\lambda}(\lambda)$, welche Normlichtart D65 entsprechend Tageslicht mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6 504 K nach DIN 5033-7 entspricht, ergibt sich

$$X_{\text{mel}, \text{D65}} = \int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_{\lambda, \text{D65}}(\lambda) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda = \frac{a_{\text{mel}, v, \text{D65}}}{K_m} \cdot X_{v, \text{D65}} \quad (8)$$

daus leitet sich das melanopische Tageslichtäquivalent nach Gleichung (9) wie folgt ab:

$$K_{\text{mel}, \text{D65}} = \frac{K_m}{a_{\text{mel}, v, \text{D65}}} \quad (9)$$

Dabei ist

$X_{\text{mel, D65}}$	die melanopische Strahlungsgröße für Normlichtart D65;
$X_{\lambda, \text{D65}}(\lambda)$	der spektrale Strahlungsverteilung für Normlichtart D65;
$a_{\text{mel, v, D65}}$	der melanopischer Wirkungsfaktor für Normlichtart D65 ($a_{\text{mel, v, D65}} = 0,906$);
$X_{\text{v, D65}}$	die lichttechnische Größe für Normlichtart D65;
K_m	der Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalents ($K_m = 683 \text{ lm/W}$).

Anmerkung 2 zum Begriff: Das melanopische Tageslichtäquivalent ist der Kehrwert der melanopischen Ausbeute (siehe 3.4) für eine Strahlungsgröße, deren Strahlungsfunktion derjenigen von Normlichtart D65 entspricht.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Einheit von $K_{\text{mel, D65}}$ ist lm/W. Durch Einsetzen der Zahlenwerte in Gleichung (9) ergibt sich der Zahlenwert für $K_{\text{mel, D65}}$ in Gleichung (10).

$$K_{\text{mel, D65}} = 753,86 \text{ lm/W} \quad (10)$$

3.6

melanopische tageslicht-äquivalente lichttechnische Größe

(en: melanopic daylight equivalent photometric quantity)

$X_{\text{v, mel, D65}}$

Produkt aus der melanopisch bewerteten Strahlungsgröße X_{mel} und dem melanopischen Tageslichtäquivalent $K_{\text{mel, D65}}$, berechnet mit folgender Gleichung (11), wobei den aus der Photometrie bekannten lichttechnischen Größen, wie sie in DIN 5031-3, 3.1. definiert sind, das Eigenschaftswort „melanopisch“ vorausgestellt wird

$$X_{\text{v, mel, D65}} = K_{\text{mel, D65}} \cdot X_{\text{mel}} \quad (11)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Index v wird hier und in den folgenden Gleichungen für photometrische (mit $V(\lambda)$ bewertete) Größen verwendet, um diese von radiometrischen Größen eindeutig zu unterscheiden. Daher wird der Index v in dieser DIN SPEC auch für melanopische tageslicht-äquivalente lichttechnische Größen verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die lichttechnische Größe $X_{\text{mel, D65}}$ ist nicht photopisch mit $V(\lambda)$ und dem photometrischen Strahlungsäquivalent, sondern melanopisch mit dem in 4.2. definierten Wirkungsspektrum $s_{\text{mel}}(\lambda)$ und dem in 3.5 definierten melanopischen Tageslichtäquivalent $K_{\text{mel, D65}}$ bewertet ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: $X_{\text{v, mel, D65}}$ kann aus der zugehörigen visuell bewerteten lichttechnischen Größe X_{v} und dem melanopischen Wirkungsfaktor $a_{\text{mel, v}}$ nach Gleichung (12) errechnet werden:

$$X_{\text{v, mel, D65}} = \frac{K_{\text{mel, D65}}}{K_m} \cdot a_{\text{mel, v}} \cdot X_{\text{v}} = 1,103 \, 57 \cdot a_{\text{mel, v}} \cdot X_{\text{v}} \quad (12)$$

Wenn zum Beispiel X_{v} für die Beleuchtungsstärke E_{v} steht, entspricht $X_{\text{v, mel}}$ der melanopischen Beleuchtungsstärke $E_{\text{v, mel}}$. Weitere Beispiele sind im Anhang B aufgeführt.

Anmerkung 4 zum Begriff: Der von der Lichtart abhängige Umrechnungsfaktor $m_{\text{v, mel, D65}}$ nach Gleichung (13)

$$m_{\text{v, mel, D65}} = \frac{K_{\text{mel, D65}}}{K_m} \cdot a_{\text{mel, v}} = 1,103 \, 75 \cdot a_{\text{mel, v}} \quad (13)$$

kann benutzt werden, um aus einer bekannten lichttechnischen Größe die melanopisch bewertete lichttechnische Größe zu berechnen. Beispiele dafür sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Anmerkung 5 zum Begriff: In [24] ist eine melanopische Beleuchtungsstärke (melanopic lux) definiert, welche sich von der hier definierten tageslicht-äquivalenten melanopischen Beleuchtungsstärke um den Faktor $a_{\text{mel, v, D65}} = 0,906$ unterscheidet.

3.7

altersabhängige Korrekturfaktoren

(en: age-related correction factors)

3.7.1

Korrekturfaktor für das Alter bei melanopischen Wirkungen von Licht

(en: age-related correction factor for melanopic light effects)

$k_{\text{mel}}(A)$

Faktor zur Korrektur der melanopischen Strahlungsgröße im Hinblick auf Personen des Alters A unter Berücksichtigung der altersabhängigen Transmissionsänderung und Pupillenverkleinerung, berechnet mit folgender Gleichung (14).

$$k_{\text{mel}}(A) = k_{\text{mel, trans}}(A) \cdot k_{\text{Pupille}}(A) \quad (14)$$

Dabei ist

$k_{\text{mel, trans}}(A)$ der vom Alter A abhängige Korrekturfaktor für die Reduzierung der Transmission der Augenmedien nach 3.7.2;

$k_{\text{Pupille}}(A)$ der vom Alter A abhängiger Korrekturfaktor für die Pupillenverkleinerung nach 3.7.3.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Korrekturfaktoren für das Alter $k_{\text{mel}}(A)$, $k_{\text{mel, trans}}(A)$ und $k_{\text{Pupille}}(A)$ sind dimensionslose Größen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für den 32-jährigen Referenzbeobachter sind die Korrekturfaktoren identisch 1. Es gilt: $k_{\text{mel}}(32) = 1$, $k_{\text{mel, trans}}(32) = 1$ und $k_{\text{Pupille}}(32) = 1$.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ist die photometrische Größe X_v für Tagessehen bekannt, lässt sich daraus eine altersabhängige melanopisch bewertete Strahlungsgröße von Licht $X_{v, \text{mel}}(A)$ nach Gleichung (15) berechnen:

$$X_{v, \text{mel}}(A) = X_v \cdot \frac{a_{\text{mel, v}}}{K_m} \cdot k_{\text{mel}}(A) \quad (15)$$

Anmerkung 4 zum Begriff: Der Korrekturfaktor $k_{\text{mel}}(A)$ berücksichtigt nur die Reduzierung der Transmission der Augenmedien und die Verkleinerung der Pupille mit dem Alter, nicht aber mögliche altersbedingte Veränderungen der physiologischen Prozesse, welche den melanopischen Wirkungen von Licht zugrunde liegen.

3.7.2

Korrekturfaktor für die altersabhängige Reduzierung der Transmission der Augenmedien

(en: correction factor for age-related reduction of the transmission of ocular media)

$k_{\text{mel, trans}}(A)$

Verhältnis des spektral für melanopische Lichtwirkungen gewichteten Transmissionsgrads der Augenmedien von Personen mit dem Alter A zu demjenigen von 32-jährigen Personen, berechnet mit folgender Gleichung (16)

$$k_{\text{mel, trans}}(A) = \frac{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_{\lambda}(\lambda) \cdot \frac{\tau(\lambda, A)}{\tau(\lambda, A=32)} s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{\text{mel}}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (16)$$

Dabei ist