

DIN EN 16163



ICS 97.195

Entwurf

Einsprüche bis 2023-02-09
Vorgesehen als Ersatz für
DIN CEN/TS 16163
(DIN SPEC 11524):2014-07

**Erhaltung des kulturellen Erbes –
Leitlinien und Verfahren für die Auswahl geeigneter Beleuchtung für
Innenausstellungen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16163:2023**

Conservation of Cultural Heritage –
Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions;
German and English version prEN 16163:2023

Conservation du patrimoine culturel –
Lignes directrices et procédures concernant le en choix d'un éclairage adapté pour les
expositions intérieur;
Version allemande et anglaise prEN 16163:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-12-09 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 nabau@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 Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz,
Burggrafenstr. 6, 10787 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 119 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16163:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-01-36 AA „Erhaltung des kulturellen Erbes (SpA zu CEN/TC 346)“ im DIN-Normenausschuss Titel des Normenausschusses (Bauwesen (NABau)).

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 105-B08:1995 siehe DIN EN ISO 105-B08:2010-02

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 CEN/TS 16163 (DIN SPEC 11524):2014-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) seit der Veröffentlichung der CEN/TS 16163 im Jahr 2014 hat sich die Beleuchtungstechnik erheblich weiterentwickelt und eine Aktualisierung des Inhalts hat sich als notwendig erwiesen;
- b) neben der Berücksichtigung des technologischen Fortschritts und neuer Berechnungsmethoden im Bereich der Beleuchtung in den letzten Jahren enthält die vorliegende Fassung von E DIN EN 16163 die Elemente der guten Praxis für die Ausstellungsbeleuchtungsplanung in ihrer subjektiven Form als Element der Museografie, die in der vorherigen Fassung keinen Platz gefunden hatte.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 105-B08:2010-02, *Textilien — Farbechtheitsprüfungen — Teil B08: Überprüfung der blauen Lichtechtheitstypen aus Wollgewebe 1 bis 7 (ISO 105-B08:1995 + Amd 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 105-B08:1999 + A1:2009*

<i>Titel de:</i>	Erhaltung des kulturellen Erbes — Leitlinien und Verfahren für die Auswahl geeigneter Beleuchtung für Innenausstellungen; Deutsche und Englische Fassung prEN 16163:2023
<i>Titel en:</i>	Conservation of Cultural Heritage — Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions; German and English version prEN 16163:2023
<i>Titel fr:</i>	Conservation du patrimoine culturel — Lignes directrices et procédures concernant le en choix d'un éclairage adapté pour les expositions intérieur; Version allemande et anglaise prEN 16163:2023

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole	14
5 Visuelle Bedürfnisse der Besucher	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Sichtbarkeit von Einzelheiten und Kontrasten	15
5.3 Farbunterscheidung	17
5.4 Blendung	18
5.5 Reflexionen	19
6 Lichtempfindlichkeit von Kulturgut	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Wirkungsweisen von Beschädigungen	19
6.3 Empfindlichkeit und Klassifizierung von Kulturgut	22
7 Finden eines Kompromisses zwischen den Bedürfnissen der Besucher und den Konservierungsanforderungen	22
7.1 Allgemeines	22
7.2 Grenzwerte für die Gesamtbelichtung	22
8 Messungen	24
8.1 Messung der Beleuchtungsstärke	24
8.2 Messung von UV-Strahlung	25
9 Beleuchtung von Ausstellungen	25
9.1 Allgemeines	25
9.2 Typologie der Beleuchtungsplanung	26
9.3 Simulationen und Modelle	27
10 Beleuchtungssteuerung	27
10.1 Allgemeines	27
10.2 Energieeffizienz	28
11 Instandhaltung und Überwachung der korrekten Beleuchtungsbedingungen	29
11.1 Maßnahmen, die vor der Einrichtung eines Beleuchtungsprojekts zu ergreifen sind	29
11.2 Instandhaltungs- und Steuerungsmaßnahmen, die langfristig zu treffen sind	31
12 Sicherheits- und Reinigungsbeleuchtung	31
Anhang A (informativ) Eigenschaften von Lichtquellen	32
Anhang B (informativ) Eigenschaften von Gläsern und Folien	38
Anhang C (informativ) Filter	39
Anhang D (informativ) Zusätzliche Verfahren zur Beurteilung und Begrenzung photochemischer Beschädigungen für verschiedene Lichtquellen	40

Anhang E (informativ) Anbringung von Lichtquellen und Beleuchtung.....	43
Anhang F (informativ) Farbwiedergabeindex, Farbtreueindex und Gamut-Index.....	44
Anhang G (informativ) Relative spektrale Empfindlichkeiten Y von photochemisch empfindlichen Oberflächen gegenüber der Wellenlänge X von ankommender Strahlung	48
Anhang H (informativ) Facility-Bericht	50
Anhang I (informativ) Bewährte Verfahrensweisen für die Beleuchtung von Ausstellungen.....	51
Anhang J (informativ) Lichtsteuerungsprotokolle	56
Literaturhinweise.....	57

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16163:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 346 „Erhaltung des kulturellen Erbes“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird CEN/TS 16163:2014 ersetzen.

prEN 16163:2023 enthält im Vergleich zu CEN/TS 16163:2014 die folgenden wesentlichen technischen Änderungen:

Seit der Veröffentlichung von CEN/TS 16163 im Jahre 2014 hat sich die Beleuchtungstechnologie beträchtlich weiterentwickelt, so dass sich eine Aktualisierung des Inhalts als notwendig erwiesen hat. Neben der Berücksichtigung technologischer Fortschritte und neuer Berechnungsverfahren auf dem Gebiet der Beleuchtung in den letzten Jahren enthält die aktuelle Fassung von prEN 16163 die Elemente bewährter Verfahren für die Gestaltung der Beleuchtung von Ausstellungen in ihrer subjektiven Form, als Element der Museografie, das in der Vorgängerausgabe keinen Platz gefunden hatte.

Einleitung

Beleuchtung wird für viele besondere Funktionen in Museen und anderen Kulturerbegebäuden benötigt, wie beispielsweise für Forschung, Erhaltung und dauerhafte oder wechselnde Ausstellungen. Beleuchtung ist einer der wichtigsten Faktoren, der es den Besuchern ermöglicht, Kunstwerke und andere Kulturgüter voll zu genießen. Tatsächlich ist Beleuchtung ein Schlüsselmedium, durch das die Besucher kulturelles Erbe interpretieren und wertschätzen können. Licht wird benötigt, um Exponate gut zu sehen, dies kann jedoch zum Problem werden, wenn die betrachteten Gegenstände durch Lichteinwirkung geschädigt werden. Werden Exponate als Teil des kulturellen Erbes ausgestellt, ist es unbedingt notwendig, den kontrollierten Einsatz von Licht in Betracht zu ziehen, um die Exponate für künftige Generationen zu erhalten. Licht ist in der Tat ein Umweltfaktor, der für viele Objekte eine Gefährdung darstellt. Allein oder in Verbindung mit anderen Umweltfaktoren (Temperatur, Feuchte, Verschmutzung, usw.) bewirkt Licht bei einer Vielzahl von Werkstoffen Verblässen, Verfärbung und Versprödung. Diese Schädigung ist kumulativ und unumkehrbar: keine Konservierungsbehandlung kann das ursprüngliche Erscheinungsbild von Farben und die Werkstoffeigenschaften wiederherstellen. Die Herausforderung der Beleuchtung musealer Ausstellungen besteht deshalb darin, einen geeigneten Kompromiss zu finden zwischen der langfristigen Erhaltung des Objekts und den Bedürfnissen der Besucher, dieses in einer angemessen gestalteten Ausstellung zu sehen. Als wesentlicher Bestandteil der Ausstellungsbeleuchtung sollten die folgenden Aspekte berücksichtigt werden, die nachstehend ohne Priorität angegeben sind:

- der Aspekt der Erhaltung in Bezug auf die Empfindlichkeit des Exponats bei verschiedenen Wellenlängen der einfallenden Strahlungsenergie, die spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle und die Gesamtbelichtung auf das Objekt;
- der visuelle Aspekt in Bezug auf den Einfluss der Beleuchtung auf das Besuchererlebnis: Beleuchtung muss Besuchern eine gute Sicht der ausgestellten Exponate mit der richtigen Farbwahrnehmung, ohne Blenden, Reflexionen oder unzureichende Beleuchtung ermöglichen;
- der Gestaltungsaspekt in Bezug auf die Konzeptionierung und Positionierung der Ausstellungsarchitektur, sowie der Blickpunkt des Kurators und aller weiteren am Zweck und/oder den didaktischen Zielen der Ausstellung beteiligten Personen.

Dieses Dokument nutzt Begriffe, die in Europäischen und Internationaler Terminologienormen (Internationales Wörterbuch der Lichttechnik der CIE) festgelegt sind, die darin enthaltenen Definitionen sind jedoch an die für diese Spezifikation vorgesehenen Nutzer angepasst worden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Verfahrensweisen und Hilfsmittel zur Umsetzung einer bezüglich der Ausstellungsbeleuchtung und der Erhaltungsstrategie angemessenen Beleuchtung fest. Dies schließt auch Sicherheits- und Reinigungsbeleuchtung ein. Dabei werden visuelle Aspekte, Ausstellungs- und Erhaltungsaspekte berücksichtigt, und die Auswirkungen der Beleuchtungsgestaltung auf die Bewahrung des kulturellen Erbes werden ebenfalls erörtert. Dieses Dokument gibt Empfehlungen für Belichtungswerte. Ziel ist die Bereitstellung eines Instrumentes für die Aufstellung gemeinsamer europäischer Grundsätze und einer Anleitung, die Kuratoren, Konservatoren und Projektleitern dabei hilft, die richtige Beleuchtung festzulegen, die den Schutz der Objekte sicherstellen kann. Dieses Dokument behandelt die Innenraumbeleuchtung von Objekten des kulturellen Erbes sowohl in öffentlichen als auch privaten Ausstellungsstätten, wobei Beleuchtungen in anderen Zusammenhängen von kulturellem Erbe, wie beispielsweise Ausstellungen unter freiem Himmel usw., nicht berücksichtigt werden.

Dieses Dokument deckt keine Tätigkeiten außerhalb der Ausstellungsräume ab, wie beispielsweise Konservierung-Restaurierung, Lagerung, Notbeleuchtung und Forschung.

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).

EN 13032-1:2004+A1:2012, *Licht und Beleuchtung — Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten — Teil 1: Messung und Datenformat*

prEN 15999-1, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Leitfaden für die Konstruktion von Schauvitrienen zur Ausstellung und Erhaltung von Objekten — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

prEN 15999-2, *Erhaltung des kulturellen Erbes — Leitfaden für die Konstruktion von Schauvitrienen zur Ausstellung und Erhaltung von Objekten — Teil 2: Technische Aspekte*

ISO/CIE 19476:2014, *Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1 Akzentbeleuchtung
ausgerichtete Beleuchtung, um ein bestimmtes *Exponat* (3.18) hervorzuheben oder die Aufmerksamkeit auf einen Punkt im Sichtfeld zu lenken

[QUELLE: CIE S 017/E:2020, modifiziert]

3.2

jährliche Belichtung

Gesamtbelichtung (3.45) je Jahr (Einheit: Lux-Stunden je Jahr, $\text{lx} \cdot \text{a}^{-1}$)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Ausstellungsdauer beträgt im Museum etwa 3 000 h je Jahr. Siehe auch 3.34.

3.3

Prüfung mit Blaumaßstab: Lichtechtheitsprüfung

zertifizierter Satz von acht Wollgewebestreifen, jeder in einem anderen spezifischen Blauton eingefärbt, um bei einer bestimmten Einwirkung von *Licht* (3.24) zu verblasen

[QUELLE: ISO 105-B08:1995]

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses System wird üblicherweise als Blue Wool Standard (BWS) bezeichnet und in Museen angewendet, um die Strahlenbelastung von Werkstoffen zu beurteilen. Die acht Wollstreifen werden mit Nummern von # 1 bis # 8 beziffert, jeder der Streifen ist um das 2- bis 3-fache lichtempfindlicher als der darauffolgende. Mit # 1, # 2 oder # 3 bezifferte Werkstoffe gelten als hochempfindlich, mit # 4, # 5 oder # 6 bezifferte als mittel empfindlich, und mit # 7 und # 8 bezifferte als gering empfindlich. Am Messpunkt wird eine Tafel mit ausgewählten Blue-Wool-Mustern aufgestellt, und nach einer gewissen Zeitspanne kann an den verblassten Mustern die erhaltene Licht- (3.24)-Menge abgelesen und näherungsweise bestimmt werden.

3.4

Farbwiedergabe

<einer Lichtquelle>

Auswirkung einer Lichtart auf die wahrgenommene Farbe von *Exponaten* (3.18), die mit ihr beleuchtet werden, im bewussten oder unbewussten Vergleich zur wahrgenommenen Farbe der gleichen Exponate unter einer Bezugslichtart

[QUELLE: CIE S 017/E:2011, modifiziert]

3.5

Farbwiedergabeindex

R_a

abgeleitet von den *Farbwiedergabe*- (3.4) -Indizes für einen festgelegten Satz von 8 Testfarbproben

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang F, Farbwiedergabeindex, Farbtreueindex und Gamut-Index.

3.6

Farbtreueindex

R_f

abgeleitet von den Farbtreueindizes für einen festgelegten Satz von 99 Testfarbproben

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang F, Farbwiedergabeindex, Farbtreueindex und Gamut-Index.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe CIE 224:2017 für weitere Informationen.

3.7

Gamut-Index

R_g

der Gamut-Index R_g liefert Angaben über den relativen Bereich der Farben, die von einer weißen *Lichtquelle* (3.25) hervorgerufen werden können. Ein Wert nahe 100 gibt an, dass die *Lichtquelle* (3.25) im Durchschnitt Farben mit ähnlichen Sättigungsgraden wiedergibt wie eine Bezugslichtquelle der gleichen *ähnlichsten Farbtemperatur* (3.9)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang F, Farbwiedergabeindex, Farbtreueindex und Gamut-Index.

3.8

Farbtemperatur

T_c

Temperatur eines Planck'schen Strahlers, bei der dieser eine Strahlung der gleichen Farbart hat, wie der zu kennzeichnende Farbreiz (Einheit: K)

[QUELLE: CIE S 017/E:2020, modifiziert — 3 Anmerkungen gestrichen]

3.9

ähnlichste Farbtemperatur

CCT

Temperatur des Planck'schen Strahlers, dessen wahrgenommene Farbe der eines bestimmten Farbreizes am nächsten kommt, bei der gleichen Helligkeit und unter festgelegten Betrachtungsbedingungen (Einheit: K)

Anmerkung 1 zum Begriff: Basierend auf EN 12665 und für die spezifische Verwendung modifiziert.

3.10

Kulturerbe

materielle und immaterielle Zeugnisse von Bedeutung für gegenwärtige und zukünftige Generationen

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird die Bezeichnung „Objekt“ (3.34) für Kulturerbe verwendet. In bestimmten fachlichen Zusammenhängen werden andere Bezeichnungen benutzt: z. B. „Artefakt“, „Kulturgut“, „Gegenstand“ („item“ im Englischen).

[QUELLE: EN 15898:2019, modifiziert, Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.11

Schädigungspotential

P_{dm}

Verhältnis zwischen *effektiver schädlicher Bestrahlungsstärke* E_{dm} (3.17) und der *Beleuchtungsstärke* E (3.21) an einem Punkt auf der Oberfläche für eine spezifische *Lichtquelle* (3.25) (Einheit: W/lm)

3.12

Tageslicht

Anteil der Globalsonnenstrahlung, der visuelles Empfinden hervorrufen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Umgang mit aktinischen Auswirkungen von optischer Strahlung wird diese Benennung häufig für Strahlungen, die über den sichtbaren Bereich des Spektrums hinausgehen, verwendet.

[QUELLE: CIE ILV:2020, 17-29-105 modifiziert: Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.13

Tageslichtbeleuchtung

Beleuchtung, deren *Lichtquelle* (3.25) *Tageslicht* (3.12) ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies bedeutet, dass Fenster oder andere Einrichtungen berücksichtigt werden.

[QUELLE: CIE S 017/E:2011 modifiziert: ursprüngliche Anmerkung 1 zum Begriff gestrichen]

3.14

Tageslichtquotient

D

Quotient aus der *Beleuchtungsstärke* (3.21) in einem Punkt einer gegebenen Ebene, die durch direktes oder indirektes *Himmelslicht* (3.24) bei angenommener oder bekannter *Leuchtdichte*- (3.31) -verteilung erzeugt wird, und der *Horizontalbeleuchtungsstärke* (3.21) bei unverbauter Himmelshalbkugel, wobei die Anteile des direkten Sonnenlichts an beiden *Beleuchtungsstärken* (3.21) hierbei unberücksichtigt bleiben

[QUELLE: EN 12665:2018]

3.15

Ausleuchtung

höchste Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke

U_d

Verhältnis der Mindestbeleuchtungsstärke (3.21) [-Leuchtdichte (3.31)] zur Höchstbeleuchtungsstärke (3.21) [-Leuchtdichte (3.31)] (auf) einer Fläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Ausleuchtung hat die Einheit eins.

[QUELLE: EN 12665, Anmerkung 1 und QUELLE modifiziert]

3.16

Dosimeter

Indikator, der die Wirkungen der Gesamtstrahlung innerhalb einer gegebenen Zeit zeigt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vorstehende Definition gilt im Zusammenhang mit der vorliegenden Europäischen Norm und betrifft ausschließlich den Bereich Beleuchtung.

3.17

effektive schädliche Bestrahlungsstärke

E_{dm}

Teil der Bestrahlungsstärke (3.23), der zu einer schädigenden photochemischen Reaktion führt. Er berücksichtigt das Spektrum der einfallenden Strahlung und die spektrale Empfindlichkeit des empfangenden Werkstoffs (Einheit: Watt je Quadratmeter, $W\ m^{-2}$)

Anmerkung 1 zum Begriff:

$$E_{dm} = \int E_{e,\lambda} s_{dem,rel}(\lambda) d\lambda$$

Dabei ist

$E_{e,\lambda}$ die Gesamtbestrahlungsstärke (3.23) bei einer festgelegten Wellenlänge; und

$s_{dem,rel}(\lambda)$ der Wert der spektralen Empfindlichkeit eines Werkstoffs bei einer festgelegten Wellenlänge.

3.18

Exponat

Gegenstand, der in der Ausstellung (3.19) gezeigt wird

3.19

Ausstellung

gestaltete Zurschaustellung von Exponat(en) (3.18) und Informationen

3.20

Filter

jede Vorrichtung, die einen Anteil des elektromagnetischen Spektrums modifiziert oder verringert

Anmerkung 1 zum Begriff: Weitere Informationen sind in Anhang C des vorliegenden Dokuments enthalten.

3.21

Beleuchtungsstärke

<an einem Punkt einer Oberfläche>

E

Quotient des Lichtstroms (3.32) $d\Phi$, der auf ein den Punkt enthaltendes Element der Oberfläche auftrifft, und der Fläche dA dieses Elements (Einheit: Lux, $lx = lm \cdot m^{-2}$)

Anmerkung 1 zum Begriff: Stellt die auf einer Oberfläche auftreffende Licht- (3.24) -menge dar.

[QUELLE: CIE S017:2020, modifiziert: Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.22

Infrarotstrahlung

IR

optische Strahlung, deren Wellenlängen länger als die der sichtbaren Strahlung sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Infrarotstrahlung wird der Bereich zwischen 780 nm und 1 mm üblicherweise unterteilt in:

IR-A: 780 nm bis 1400 nm, oder 0,78 µm bis 1,4 µm;

IR-B: 1,4 µm bis 3,0 µm;

IR-C: 3 µm bis 1 mm.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine genaue Grenze zwischen „sichtbarer“ und „Infrarot“-Strahlung kann nicht festgelegt werden, da visuelles Empfinden bei größeren Wellenlängen als 780 nm für sehr helle *Lichtquellen* (3.43) bei längeren Wellenlängen bekannt ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei einigen Anwendungen wurde das Infrarotspektrum auch in „nahes“, „mittleres“ und „fernes“ Infrarot unterteilt; jedoch schwanken die Grenzen zwangsläufig je nach Anwendung.

[QUELLE: CIE S 017/2020, 17-21-004]

3.23

Bestrahlungsstärke

E_e

strahlungsphysikalische Größe (3.37), das Verhältnis des *Strahlungsflusses* (3.36) je Flächeneinheit an einem Punkt auf der Oberfläche (Einheit: Watt je Quadratmeter, W m^{-2})

3.24

Licht

1. Eigenschaft aller Empfindungen und Wahrnehmungen, die für das Sehen spezifisch sind
2. Strahlung, betrachtet hinsichtlich ihrer Fähigkeit, das menschliche visuelle System anzuregen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff hat 2 Bedeutungen, die klar voneinander unterschieden werden sollten. Falls es zur Vermeidung von Verwechslungen zwischen diesen beiden Bedeutungen notwendig ist, kann die Benennung „wahrgenommenes Licht“ im erstgenannten Sinne verwendet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Licht wird üblicherweise, jedoch nicht immer, als Ergebnis der Einwirkung eines Lichtreizes auf das visuelle System wahrgenommen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Benennung „Licht“ wird mitunter für optische Strahlung verwendet, die über den sichtbaren Bereich hinausgeht, aber diese Verwendung wird nicht empfohlen.

3.25

Lichtquelle

Oberfläche oder *Objekt* (3.34), die/das *Licht* (3.24) aussendet

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Lichtquelle kann selbststrahlend (primäre Lichtquelle) oder nicht selbststrahlend (sekundäre Lichtquelle) sein.

[QUELLE: CIE S017:2020]

3.26

Beleuchtungsplanung

Ergebnis des Vorschlags des *Beleuchtungsplaners* (3.27)

3.27

Beleuchtungsplaner

fachkundige Person mit geeigneter Ausbildung und einschlägiger Erfahrung mit der *Beleuchtungsplanung* (3.26), die in der Lage ist, die ästhetischen, verhaltensbezogenen und technischen Probleme des Projekts zu bewältigen

3.28

Beleuchtungssteuerung

alle Maßnahmen, die zur Steuerung und Organisation von *Licht* (3.24) beitragen

3.29

Lichtsteuerungsprotokoll

Sprache, die es ermöglicht, dass verschiedene Beleuchtungseinrichtungen kommunizieren

3.30

Leuchte

Gerät, welches das von einer oder mehreren *Lichtquellen* (3.25) ausgesendete *Licht* (3.24) verteilt, *filtert* (3.20) oder umwandelt, und das alle Teile umfasst, die zur Befestigung und zum Schutz der *Lichtquellen* (3.25) erforderlich sind, und, falls erforderlich, Schaltkreise sowie die Vorrichtungen zum Anschluss an das elektrische Versorgungsnetz

3.31

Leuchtdichte

L

Licht (3.24), das von einer Oberfläche in Richtung der Augen des Beobachters reflektiert oder ausgesendet wird (Einheit: Candela/m² [cd/m²])

Anmerkung 1 zum Begriff: Basierend auf EN 12665 und für die spezifische Verwendung modifiziert.

3.32

Lichtstrom

Φ

von einer *Lichtquelle* (3.25) ausgesendete Lichtleistung, *photometrische Größe* (3.35), die aus der *strahlungsphysikalischen Größe* (3.37) des *Strahlungsflusses* (3.36) (Strahlungsleistung) durch Bewertung der Strahlung nach der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges (des photometrischen Normalbeobachters, wie nach CIE definiert) abgeleitet wird (Einheit: Lumen, lm)

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur praktischen Verwendung des vorliegenden Dokumentes wurden in dieser Begriffs-erklärung für die spektrale Empfindlichkeit des nach CIE definierten photometrischen Normalbeobachters die Werte der spektralen Hellempfindlichkeitsfunktion $V(\lambda)$ verwendet (Tagesehen).

Anmerkung 2 zum Begriff: Für die Begriffsbestimmung der spektralen Hellempfindlichkeit, siehe CIE S 017/E:2011 oder IEC-IEV, 1987, 845-01-22, für die Begriffsbestimmung des photometrischen Normalbeobachters nach CIE siehe 845-01-23, sowie 845-01-56 und ISO 23539:2005(E)/CIE S 010/E:2004 für die Begriffsbestimmung des photometrischen Strahlungsäquivalents.

Anmerkung 3 zum Begriff: Basierend auf EN 12665 und für die spezifische Verwendung modifiziert.

3.33

Lichtstärke

I

Dichte des *Lichtstroms* (3.32) in Bezug auf den Raumwinkel in eine bestimmte Richtung (Einheit: Candela, cd = lm sr⁻¹; sr = Steradian)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es handelt sich um den *Lichtstrom* (3.32) auf eine kleine Oberfläche, geteilt durch den Raumwinkel, in dem die Oberfläche der *Lichtquelle* (3.43) gegenüberliegt (CIE S 017/E:2011 oder IEC-IEV, 1987, 845-01-31).

Anmerkung 2 zum Begriff: Candela ist die photometrische SI-Basiseinheit. Für ihre Begriffsbestimmung siehe CIE S 17/E:2011 oder IEC-IEV, 1987, 845-01-050 oder die BIPM SI-Broschüre (fr: Le Système international d'unités; en: The International System of Units).

Anmerkung 3 zum Begriff: Basierend auf EN 12665 und für die spezifische Verwendung modifiziert.

3.34 Objekt

einzelne Ausdrucksform des materiellen *Kulturerbes* (3.10)

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm wird die Benennung „Objekt“ (3.34) sowohl für bewegliches als auch ortsfestes *Kulturerbe* (3.10) verwendet. In bestimmten fachlichen Zusammenhängen werden andere Benennungen benutzt: z. B. „Artefakt“, „Kulturgut“, „Gegenstand“ („item“ im Englischen), „Standort“, „Gebäude“, „Denkmal“, „Exemplar“ („specimen“ im Englischen), „Struktur“, „Kulturlandschaft“, „Dokument“.

[QUELLE: EN 15898:2019, 3.13]

3.35 photometrische Größe

Größe, die sich auf die Wahrnehmung der Strahlung durch das menschliche Auge stützt und ausschließlich für sichtbare Strahlung gilt

3.36 Strahlungsfluss

Φ_e
sämtliche Strahlung, die in alle Richtungen von einer *Lichtquelle* (3.25) ausgesendet wird (Einheit: Watt, W)

3.37 strahlungsphysikalische Größe

Größe, die sich physikalisch auf die elektromagnetische Strahlung bezieht

3.38 Reflexionsgrad

ρ
Verhältnis des Lichtstroms oder Strahlungsflusses, der von einer Oberfläche reflektiert wird, zum auf diese auffallenden Lichtstrom oder Strahlungsfluss

Anmerkung 1 zum Begriff: Basierend auf EN 12665 und für die spezifische Verwendung modifiziert.

3.39 Reflexion

Vorgang, durch den Strahlung von einer Oberfläche oder einem Medium zurückgeworfen wird, ohne Änderung der Frequenz ihrer monochromatischen Komponenten

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Teil der auf ein Medium fallenden Strahlung wird an der Oberfläche des Mediums reflektiert („Oberflächenreflexion“); ein anderer Teil darf aus dem Inneren des Mediums zurückgestreut werden („Volumenreflexion“).

[QUELLE: CIE S 017/E:2011 17-1065 — modifiziert, Anmerkung 2 zum Begriff gestrichen]

3.40 relatives Schädigungspotential

RDP, en: relative damage potential

Verhältnis des *Schädigungspotentials* (3.11) einer spezifischen *Lichtquelle* (3.25) zum *Schädigungspotential* (3.11) der CIE-Normlichtart A (2 856 K) (entspricht dem einer herkömmlichen Glühlampe); es ist dimensionslos

3.41

relative spektrale Empfindlichkeit **relatives Schädigungswirkungsspektrum**

$s(\lambda)_{\text{dm,rel}}$

beschreibt die Wellenlängenabhängigkeit der photochemischen Schädigungseigenschaften eines Werkstoffs, wie beispielsweise Verblassen; sie ist dimensionslos. Das Suffix $_{\text{dm}}$ steht für Schädigung (en: damaging)

$$s(\lambda)_{\text{dm,rel}} = \alpha(\lambda) \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot f(\lambda)$$

Dabei ist

$\alpha(\lambda)$ das dekadische Absorptionsmaß;

$f(\lambda)$ eine Funktion der Wellenlänge, die durch den aufnehmenden Werkstoff bestimmt wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Für viele nicht pigmentierte Werkstoffe und für *Exponate* (3.18), deren spektrales Absorptionsverhalten nicht bekannt oder nicht verfügbar ist, kann $s(\lambda)_{\text{dm,rel}}$ durch die Exponentialfunktion $e^{-b(\lambda[\text{nm}]/-300)}$ approximiert werden. In diesem Fall wird die Funktion bei 300 nm normalisiert, so dass $s(\lambda)_{\text{dm,rel}} = 1$ für $\lambda = 300$ nm ist.

[QUELLE: Basierend auf CIE 157:2004]

3.42

relativer UV-Anteil

Verhältnis der Menge der UV-Strahlung, die eine Oberfläche aufnimmt, zur Menge der sichtbaren Strahlung (Lumen) aus der gleichen *Lichtquelle* (3.25) (Einheiten: $\mu\text{W}/\text{lm}$)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt kein genormtes Verfahren, wie dies zu messen und/oder berechnen ist.

3.43

empfindliche Objekte

Exponate (3.18), die durch elektromagnetische Strahlungen und/oder andere Umweltfaktoren mehr oder weniger beeinflusst werden können

3.44

Lichtquelle

Oberfläche oder *Objekt* (3.34), die/das *Licht* (3.24) und/oder anderen *Strahlungsfluss* (3.36) erzeugt

3.45

spezieller Farbwiedergabeindex

R_i

Maß für den Grad, in dem die psychophysikalische Farbe eines CIE-Prüfmusters, das von der Prüflichtart beleuchtet wird, der psychophysikalischen Farbe des gleichen Musters entspricht, wenn dieses von der Bezugslichtart beleuchtet wird, wobei der Zustand der chromatischen Adaptation angemessen berücksichtigt wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch CIE 13, Verfahren zur Messung und Kennzeichnung der *Farbwiedergabe*-Eigenschaften (3.4) von *Lichtquellen* (3.25).

[QUELLE: CIE S 017/E:2020, 17-22-110 — modifiziert, Anmerkung 2 zum Begriff und Anmerkung 3 zum Begriff gestrichen]

3.46

Gesamtbelichtung

H

photometrische Größe (3.35); Produkt aus der *Beleuchtungsstärke* (3.21) und der Beanspruchungsdauer des *Exponats* (3.18) (Einheit: Lux-Stunden [lx·h])

3.47

ultraviolette Strahlung

UV

optische Strahlung, deren Wellenlängen kürzer als die der sichtbaren Strahlung sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Bereich zwischen 100 nm und 400 nm wird häufig aufgeteilt in: UV-A: 315 nm bis 400 nm; UV-B: 280 nm bis 315 nm; UV-C: 100 nm bis 280 nm.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine genaue Grenze zwischen „ultravioletter Strahlung“ und „sichtbarer Strahlung“ kann nicht festgelegt werden, da visuelles Empfinden bei kürzeren Wellenlängen als 400 nm für sehr helle *Lichtquellen* (3.43) bekannt ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei einigen Anwendungen wurde das ultraviolette Spektrum auch in „fernere“, „Vakuum-“ und „Nah“-Ultraviolett unterteilt; jedoch schwanken die Grenzen zwangsläufig je nach Anwendung (z. B. in der Meteorologie, in der optischen Gestaltung, Photochemie, Thermophysik).

[QUELLE: CIE S 017/E:2020, 17-21-008]

3.48

Sehschärfe, <qualitativ>

Fähigkeit, feine Details, die einen sehr kleinen Winkelabstand aufweisen, klar zu erkennen

[QUELLE: CIE S 017/E:2020, 17-22-077 — modifiziert: Synonym gestrichen]

4 Symbole

Nachstehend sind die im vorliegenden Dokument angewendeten Bezeichnungen zusammengefasst.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Einheit ^a	Größe
H_m	Lux-Stunden je Jahr, lx·h·a ⁻¹	jährliche Belichtung
R_a	1	Farbwiedergabeindex
T_c	Kelvin, K	Farbtemperatur
CCT	Kelvin, K	ähnlichste Farbtemperatur
P_{dm}	Watt je Lumen, W·lm ⁻¹	Schädigungspotential
D	1	Tageslichtquotient
E_{dm}	Watt je Quadratmeter, W·m ⁻²	effektive schädliche Bestrahlungsstärke
E_{eff}	Watt je Quadratmeter, W·m ⁻²	effektive Bestrahlungsstärke
E	Lux, lx = lm·m ⁻²	Beleuchtungsstärke
E_e	Watt je Quadratmeter, W·m ⁻²	Bestrahlungsstärke
L	Candela je Quadratmeter, cd·m ⁻² = lm·m ⁻² ·sr ⁻¹	Leuchtdichte

Symbol	Einheit ^a	Größe
Φ	Lumen, lm	Lichtstrom
I	Candela, cd = lm·sr ⁻¹	Lichtstärke
Φ_e	Watt, W	Strahlungsfluss
RDP	1	relatives Schädigungspotential
ρ	1	Reflexionsgrad
$s(\lambda)_{\text{dm,rel}}$	1	relatives Schädigungswirkungsspektrum
$s(\lambda)$	1	spektrale Empfindlichkeit
H	Lux-Stunden, lx·h	Gesamtbelichtung
R_f	1	Farbtreueindex
R_g	1	Farb-Gamut-Index
^a Dimensionslose Einheiten sind durch 1 angegeben.		

5 Visuelle Bedürfnisse der Besucher

5.1 Allgemeines

Die Bedürfnisse von Besuchern laufen auf eine gute Sichtbarkeit der Einzelheiten, Formen und Farben der Objekte des kulturellen Erbes ohne visuelles Unbehagen hinaus.

Es gibt Unterschiede zwischen den Bedürfnissen des Besuchers für die Betrachtung eines Objekts und den Anforderungen an die Erhaltung, um das Objekt zu schützen. Dies wird in Abschnitt 7 diskutiert (Finden eines Kompromisses zwischen den Bedürfnissen der Besucher und den Erhaltungsanforderungen).

5.2 Sichtbarkeit von Einzelheiten und Kontrasten

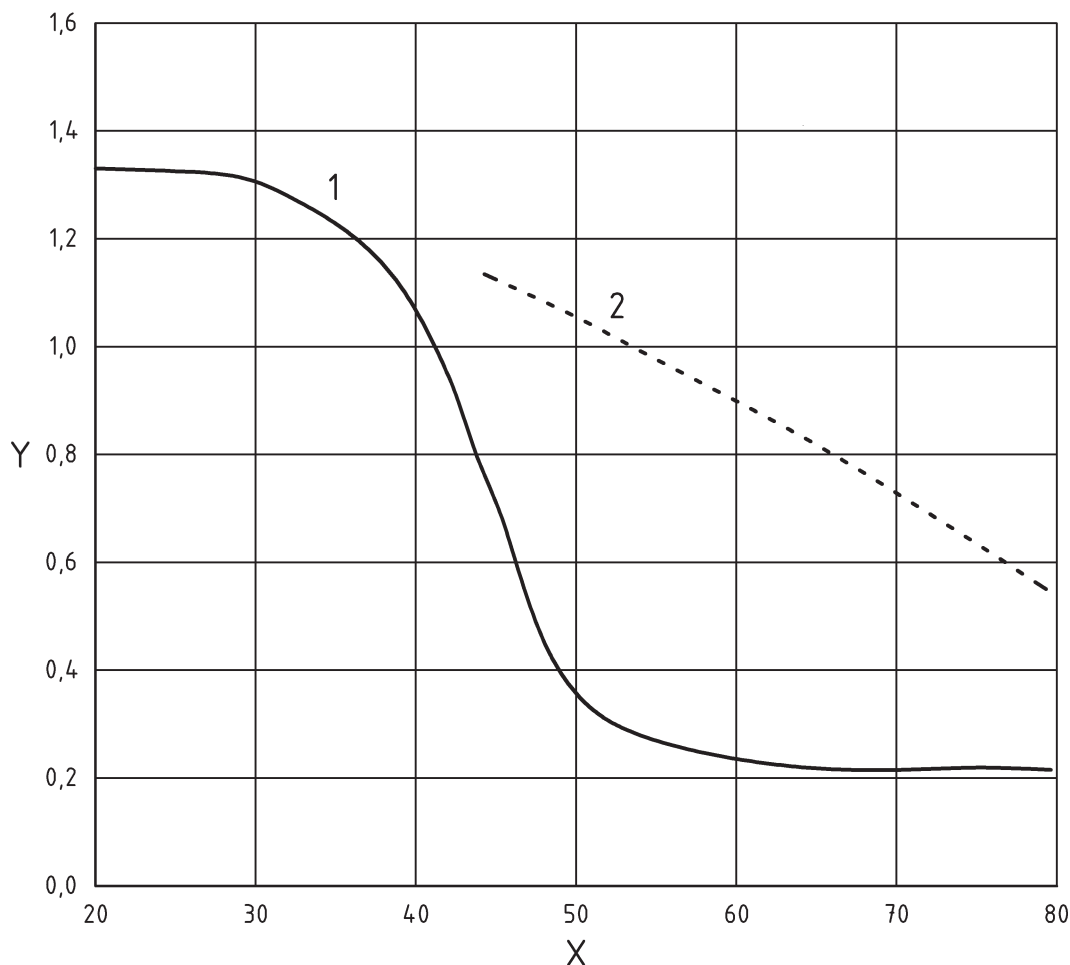
Die Fähigkeit, die kleinsten Einzelheiten und Unterschiede in der Helligkeit (Kontraste) zu erkennen, wird durch die Sehschärfe oder Kontrastempfindlichkeit beschrieben. Beides verbessert sich mit zunehmenden Lichtstärken.

Der Grad der Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit schwankt zwischen verschiedenen Personen. Beide nehmen mit dem Alter ab, jedoch aus unterschiedlichen Gründen und mit unterschiedlichen nichtlinearen Zeitprofilen (für Sehschärfe siehe Bild 1). Durch Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf dem Exponat kann eine merkliche allgemeine Verbesserung der visuellen Bedingungen erreicht werden. Jedoch stößt diese Verbesserung schon bald an die Grenzen des für die Ausstellungsbeleuchtung festgelegten Bereiches.

Für ältere Beobachter ist die anspruchsvolle Betrachtung von Exponaten mit einer einem 25-jährigen vergleichbaren Sehleistung nur in begrenztem Maße möglich, da dafür wesentlich höhere Beleuchtungsstärkewerte erforderlich wären. Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen Sehschärfe, Beleuchtungsstärkeniveau und Alter.

Jedoch ist die Betrachtung mit einer geringeren Sehschärfe und Kontrastempfindlichkeit möglich und gewöhnlich auch ausreichend. Dies muss innerhalb der in Tabelle 3 empfohlenen Grenzen geregelt werden.

Um es älteren Besuchern zu ermöglichen, leicht und akzeptabel zu sehen, sollte die Beleuchtungsstärke nur in besonders begründeten Fällen unter 100 lx fallen.



Legende

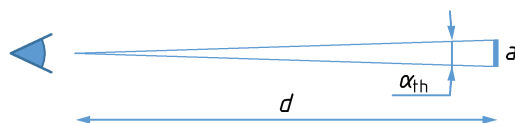
Y Sehschärfe

X Alter in Jahren

1 Nahsicht (> 3 m) ohne Altersbrille

2 Nahsicht (> 3 m) mit Altersbrille

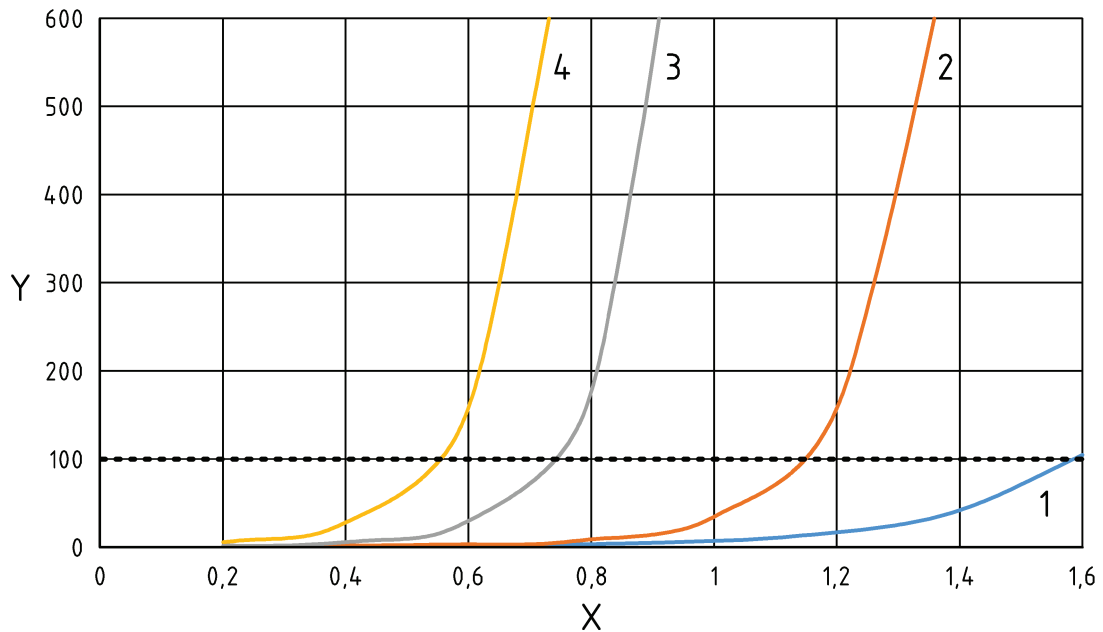
Dabei ist



Die Sehschärfe beträgt $1/\alpha_{th}$ mit α_{th} in Winkelminuten.

BEISPIEL Sehschärfe = 0,75 entspricht einem sichtbaren Detail a von 0,2 mm in einem Betrachtungsabstand d von 1 m.

Bild 1 — Abhängigkeit der mittleren Sehschärfe der Bevölkerung vom Alter (QUELLE: R. Baer, and al. Beleuchtungstechnik, Huss 2020)



Legende

X	Sehschärfe	3	Alter 56 bis 70 Jahre
Y	Beleuchtungsstärke E in lx	4	älter als 70 Jahre
1	Alter 20 bis 40 Jahre		
2	Alter 41 bis 55 Jahre		

Bild 2 — Erforderliche Beleuchtungsstärke, um abhängig vom Alter des Beobachters verschiedene Sehschärfen zu erreichen (berechnet für helle Oberflächen nach B. Hauser, H. Ochsner, E. Zrenner Der „Blendvisus“ Klin. Mbl. Augenheilkunde 200 (1992) 105 - 109)

5.3 Farbunterscheidung

Die Unterscheidung einer großen Vielzahl von Farben kann nur unter weißem Licht realisiert werden. Eine hervorragende weiße Lichtquelle ist so definiert, dass sie alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums wie beispielsweise Tageslicht enthält. Der Spektralgehalt der Lichtquelle sollte so abgestimmt sein, dass diese keine wesentliche Neigung zu einer bestimmten Farbregion innerhalb des visuellen Spektrums aufweist, um zu verhindern, dass sie weißgrau erscheint oder eine farbige Tönung hat.

Die Hersteller sollten einen Hinweis über die Fähigkeit einer Lichtquelle, Farben ordnungsgemäß zu zeigen, angeben. Die Normkennzahl dafür ist der Farbwiedergabeindex R_a einer Lichtquelle, der auf einer Skala bis 100 gemessen wird. Lichtquellen mit einem R_a von über 90 gelten als sehr gut, während Lichtquellen mit einem R_a unter 80 üblicherweise nicht für die Beleuchtung von Exponaten in Museen und Galerien geeignet sind.

Alternativ zum Farbwiedergabeindex wurde eine neue Kennzahl, der Farbtreueindex R_f , entwickelt. Für LED-Lichtquellen sollte der Index R_f , sofern Daten verfügbar sind, mit den gleichen Grenzwerten verwendet werden, wie vorstehend für R_a festgelegt.

Falls mehrere Lichtquellen innerhalb desselben Bereiches nebeneinander angeordnet werden, ist es aufgrund von unvermeidbaren Schwankungen der von weißen LED-Lichtquellen erzeugten Farben unbedingt notwendig, deren Farbkonsistenz zu berücksichtigen. Um die Farbkonsistenz einer Lichtquelle zu beurteilen, sollte die Anzahl der SDCM- (MacAdam)-Stufen betrachtet werden. Für Lichtquellen, die nahe beieinander angeordnet sind oder ein einzelnes Objekt oder mehrere Objekte beleuchten, die nahe beieinander angeordnet sind, muss ein Wert für die MacAdam-Ellipse von höchstens Stufe 3 verwendet werden.

Siehe Anhang F für weitere Einzelheiten.

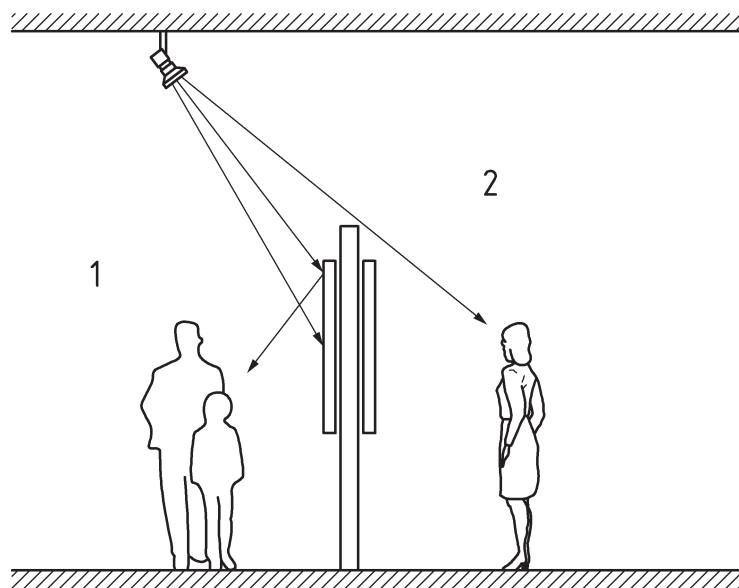
5.4 Blendung

In Galerien und Museen kann Blendung zu ernststen Problemen führen, insbesondere, wenn eine Akzentbeleuchtung mit relativ hoher Leistung gleichzeitig mit einer allgemeinen Beleuchtung mit geringen Beleuchtungsniveaus verwendet wird.

Blendung, entweder direkt oder durch Reflexion, entsteht, wenn Leuchten, Fenster oder andere Lichtquellen im Vergleich zur allgemeinen Helligkeit des Sichtfeldes zu hell sind. Blendung kann die Sichtbarkeit verschlechtern (physiologische Blendung) oder den Sehkomfort beeinträchtigen (psychologische Blendung).

Jedoch kann der Planer diese Probleme gewöhnlich durch Anpassung solcher Faktoren wie der relativen Lage der Exponate, Lichtquellen und Beobachter beheben. Beispielsweise ist eine von Projektoren ausgehende direkte Blendung oftmals auf eine schlechte Positionierung oder unangemessene Abstandsplanung zurückzuführen (siehe Bild 3). Oftmals ermöglicht der Einbau von Zubehör an den Projektoren, wie beispielsweise von Vorsätzen, Wabengitter, Blendklappen oder Abschirmklappen, Störleuchtdichten zu vermeiden.

Bei einer guten Positionierung des Projektors zur Vermeidung von Blendung und Reflexionen lässt eine niedrige Trennwand jedoch eine Blendung von den Lichtquellen zu, die für den Besucher, der sich hinter der Trennwand befindet, zu sehen sind. Die Lösung besteht darin, die Trennwand anzuheben oder den Projektor mit einem Zubehöriteil auszustatten, welches diese Blendung begrenzt (siehe Bild 3).



Legende

- 1 Reflexion
- 2 Blendung

Bild 3 — Blendung und Reflexion

Bei der Betrachtung von Exponaten in einem Schaukasten, der nicht von innen beleuchtet ist, wird die Sichtbarkeit oft durch Reflexionen von äußeren Lichtquellen, Leuchtanzeigen oder anderen Exponaten erschwert. Diese Reflexionsblendung kann durch die Verwendung von entspiegelttem Glas, einer sorgsamten Ausrichtung des Anstellwinkels des Glases oder durch eine Innenbeleuchtung des Schaukastens auf ein Mindestmaß begrenzt werden.

Blendung sollte nicht mit Glitzern und Glanzlichtern verwechselt werden, welche sich durch Punkte oder Muster hoher Helligkeit auszeichnen, die durch Licht verursacht werden, welches von Schmuck oder Exponaten aus poliertem Metall reflektiert wird. Die Glanz- und Glitzereffekte sind im Allgemeinen zu gering, um Adaptation und Sichtbarkeit zu beeinträchtigen, sie verbessern jedoch oft die Präsentation. Dies bezieht sich jedoch im Allgemeinen nur auf kleine Oberflächenbereiche. Mit zunehmender Größe der beleuchteten Oberfläche neigt diese dazu, eine Quelle für Blendung darzustellen.

Zusätzlich zur direkten Blendung durch Lichtquellen könnten auch Fassungen, die Lichtlecks oder Rückstreuung von freistrahrenden Reflektor-Lichtquellen zulassen, zu einer Lichtablenkung führen und ungewollte Reflexionsmuster auf verglasten Schaukästen erzeugen. Generell sollten daher Leuchten gewählt werden, bei denen die Lichtquelle vollständig umschlossen ist und die außer in der beabsichtigten Beleuchtungsrichtung kein Licht aussenden.

5.5 Reflexionen

Die Reflexion des Bildes einer Lichtquelle durch Glas oder eine reflektierende (lackierte) Oberfläche sowie auch die Reflexion des Bildes des Besuchers müssen vermieden werden.

Dies ist auf verschiedene Weisen möglich: die einfachste Möglichkeit ist die korrekte Positionierung der Projektoren, die so eingebaut werden sollten, dass der Beleuchtungswinkel zwischen dem verglasten Teil und dem Auge des Besuchers etwa 60° beträgt (Bild 3).

Um eine gute Betrachtung des Schaukastens zu ermöglichen, sollte das Lichtniveau der Oberflächen außerhalb des Schaukastens wesentlich geringer sein als innerhalb des Schaukastens.

Es wird ebenfalls berücksichtigt, dass die verglaste Oberfläche (Schutzverglasung eines Gemäldes oder die Verglasung eines Schaukastens) nicht gegenüber einer beleuchteten oder klaren Oberfläche liegt (schwach beleuchtete Wand, Nichtvorhandensein eines weiteren Schaukastens). Ein anderes Verfahren besteht darin, die verglaste (oder lackierte) Oberfläche nach vorn zu neigen.

Bei direkter Reflexion ist die Verwendung von entspiegeltem Glas keine geeignete Lösung.

6 Lichtempfindlichkeit von Kulturgut

6.1 Allgemeines

Licht ist einer von mehreren Umweltfaktoren, die bei der Aufstellung einer Erhaltungsstrategie berücksichtigt werden müssen.

Entscheidend für die Planung eines Beleuchtungsprojektes ist es, die am meisten gefährdeten Werkstoffe zu kennen, aus denen die Objekte des Kulturerbes bestehen.

6.2 Wirkungsweisen von Beschädigungen

6.2.1 Allgemeines

Licht kann empfindliche Objekte auf drei Arten beschädigen:

- photochemische Wirkung;
- Strahlungswärmeeffekt;
- Wachstum biologischer Organismen.

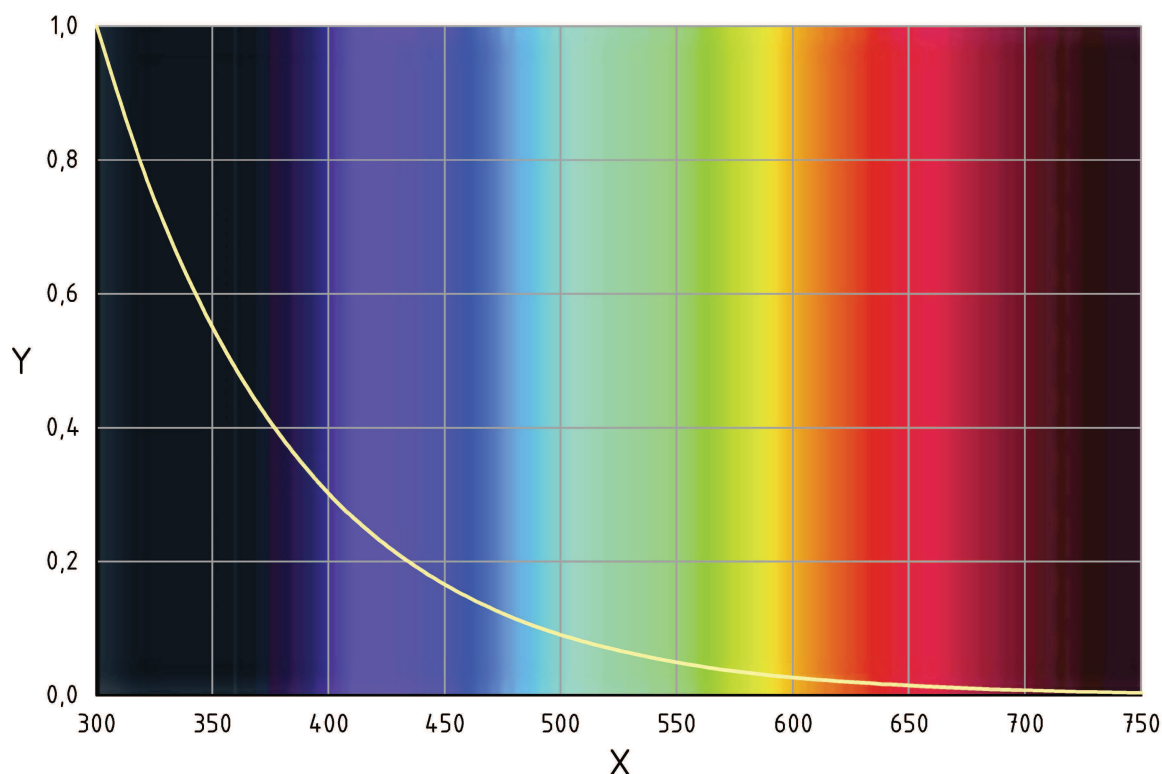
Das Ausmaß, in dem Werkstoffe unter den gegebenen Beleuchtungsbedingungen beschädigt werden, hängt von ihrer chemischen Zusammensetzung, der spektralen Verteilung der Lichtquellen, den Beleuchtungsstärken und der Dauer der Beleuchtung ab. In lichtempfindlichen Werkstoffen kann die photoinduzierte Schädigung durch weitere Umweltfaktoren beschleunigt werden, wie beispielsweise durch chemische Schadstoffe (Ozon, flüchtige organische Verbindungen [VOC, en: volatile organic compounds] usw.) sowie durch physikalische Einwirkungen [Temperatur (T), relative Luftfeuchte (% RH)].

6.2.2 Photochemische Wirkung

Die Lichtabsorption durch ein Molekül oder ein Atom kann chemische Veränderungen anregen, die die mechanischen Eigenschaften und die Farbe des Werkstoffes und somit das Objekt irreversibel verändern. Bei der Mehrzahl lichtempfindlicher Objekte wird die Schädigung durch die Gesamtbelichtung verursacht und hängt von der spektralen Verteilung der Lichtquellen ab. Die Schädigung durch Licht steigt mit abnehmender Wellenlänge exponentiell an. Dies bedeutet, die Energie der UV-Strahlung wirkt üblicherweise wesentlich schädlicher als Blaulicht; Blaulicht wirkt schädlicher als grünes Licht, usw. (siehe Bild 4).

Demzufolge sollte der UV-Anteil der emittierten Strahlung bei der Beleuchtung von Schaukästen auf ein Mindestmaß begrenzt werden. Die geringsten relativen Werte der UV-Strahlung können durch den Einsatz von UV-Absorptionsmitteln an Fenstern und von elektrischen Lichtquellen mit geringstmöglichem oder ohne UV-Ausstoß, wie zum Beispiel die meisten weißen LED-Leuchten, erreicht werden.

Die Beseitigung von UV-Strahlung reicht bei empfindlichen Objekten nicht aus, um eine Schädigung zu vermeiden, solange nicht auch jegliche sichtbare Lichteinstrahlung kontrolliert und unterhalb der in Tabelle 3 angegebenen Werte gehalten wird.



Legende

X Wellenlänge in nm

Y $s(\lambda)_{\text{dm,rel}} = e^{-0.012 (\lambda/[\text{nm}] - 300)}$

Bild 4 — Relative spektrale Empfindlichkeit Y an photochemisch empfindlichen Oberflächen gegenüber Wellenlänge X von ankommender Strahlung

Diese Kurve gilt für Objekte der Kategorien 2, 3 und 4 (ausgenommen Zeitungen) nach Tabelle 2, und sollte beim Vergleich verschiedener Lichtquellen für die Berechnung des relativen Schädigungspotentials herangezogen werden.

ANMERKUNG Zusätzliche Kurven für explizite Werkstoffe sind in Anhang G aufgeführt. Es wird betont, dass es erforderlich ist, dass Moleküle, aus denen der Werkstoff besteht, die Strahlung absorbieren, damit ein photochemischer Prozess stattfindet.

BEISPIEL Von einem blauen Exponat wird das Blaulicht reflektiert und alle anderen Wellenlängen werden vom Werkstoff absorbiert, weshalb sich in diesem Fall grüne Strahlung auf das Exponat schädlicher auswirkt als blaue Strahlung.

Die Bestimmung der effektiven schädlichen Bestrahlungsstärke schließt sowohl das Spektrum der Lichtquelle als auch die spektrale Empfindlichkeit des lichtempfindlichsten Werkstoffs (des Exponats) ein. Alternativ sollten die in Tabelle 3 angegebenen Grenzwerte für die Gesamtbelichtung angewendet werden. Die Übereinstimmung kann durch Verwendung der technischen Datenblätter von Lichtquellen oder durch Messungen verifiziert werden. Der angewendete Beurteilungsprozess muss dokumentiert werden.

Während die anfängliche Absorption eines Photons, die eine Veränderung in einem Werkstoff auslösen kann, von der Sauerstoffverfügbarkeit, Temperatur, relativen Luftdichte und dem Vorhandensein von Schadgasen unabhängig ist, können spätere chemische Reaktionen stark von diesen Umweltfaktoren beeinflusst werden.

6.2.3 Strahlungswärmeeffekt

Die durch die Strahlung abgegebene Energie steigert die Temperatur der Fläche, auf die die Strahlung auftrifft, in Abhängigkeit von der absorbierten Strahlungsmenge, der Wärmeleitfähigkeit innerhalb des Exponats und dem konvektiven Wärmeaustausch. Dies kann zu Ausdehnung und Wärmespannung des Artefaktes führen, und die Abnahme der örtlichen relativen Luftfeuchte infolge des Temperaturanstiegs kann eine Austrocknung des Exponats verursachen. Eine höhere Temperatur beschleunigt chemische Reaktionen und photochemische Prozesse. Elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge, die länger ist als die des sichtbaren Rotbereiches, wird als Infrarotstrahlung (IR) bezeichnet und ist Strahlungswärme. Folglich führt die Wahl von Lichtquellen mit geringer oder ohne IR zu einer Reduzierung der Wärmespannung des beleuchteten Werkstoffs. Die Beanspruchung mit einer Lichtquelle kann in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Lichtquelle, des Objekts und deren Abstand voneinander beträchtliche Erwärmungseffekte hervorrufen. Die von Lichtquellen ausgesendete IR-Strahlung trägt nicht zur Sichtbarkeit des Objektes bei und ist schlicht Strahlungswärme. Diese Wirkung muss auf ein Mindestmaß begrenzt oder, wenn die vorstehend beschriebenen physikalischen Mechanismen für das Objekt kritisch sind, sogar gänzlich vermieden werden. Daher müssen für den Fall, dass die Erwärmung kritisch ist, alle Lichtquellen, die IR aussenden, sowie die Sonnenstrahlung gefiltert werden, um IR-Wellenlängen zu entfernen; direkte Sonnenstrahlen durch Fenster oder andere Öffnungen müssen stets vermieden werden.

Die Periodizität der Beleuchtung (z. B. aufgrund der Öffnungs- und Schließzeiten) muss in geeigneter Weise geplant oder kontrolliert werden, um unerwünschte Temperaturgradienten auf Werkstoffen, die zu mechanischer Spannung führen, zu vermeiden.

Geachtet werden muss auf Sonnenstrahlung und Strahlungswärme, die auf Wände auftreffen, da diese warme Stellen und aufsteigende Ströme leichterer Luft verursachen können, was langfristig zu einer Schwärzung der Wand durch die Ablagerung luftgetragener Partikel führt.

Für die Beleuchtung von Schauvitriinen siehe prEN 15999-1 und prEN 15999-2.

6.2.4 Biologische Wirkungen

Es gibt phototrope Mikroorganismen, die unter spezifischen Wellenlängen gute Lebensbedingungen vorfinden, besonders in Kombination mit einer hohen relativen Luftfeuchte. Biologische Problematiken sollten von einem Spezialistenteam angegangen werden.

6.3 Empfindlichkeit und Klassifizierung von Kulturgut

Tabelle 2 führt Werkstoffe entsprechend ihrer Lichtempfindlichkeit in vier Kategorien auf, wobei mögliche Schädigungen durch Wärmeeffekte jedoch nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 2 — Klassifizierung der Lichtempfindlichkeit von Kulturgütern (Quelle: CIE 157:2004, Tabelle 3.1, Klassifizierung von Werkstoffen in vier Kategorien entsprechend der Empfindlichkeit gegenüber sichtbarem Licht)

Kategorie	Werkstoffbeschreibung
1. unempfindlich	das Objekt besteht vollständig aus Werkstoffen, die dahingehend dauerhaft sind, dass sie keine Lichtempfindlichkeit aufweisen. Beispiele: die meisten Metalle, Steine, die meisten Gläser, echte Keramik, Emaille, die meisten Mineralien.
2. niedrige Empfindlichkeit	das Objekt enthält beständige Werkstoffe, die geringfügig lichtempfindlich sind. Beispiele: die meisten Öl- und Temperagemälde, Fresko, ungefärbtes Leder und Holz, Horn, Knochen, Elfenbein, Lack, einige Kunststoffe.
3. mittlere Empfindlichkeit	das Objekt enthält flüchtige Werkstoffe, die eine mittlere Lichtempfindlichkeit aufweisen. Beispiele: die meisten Textilien, Wasserfarben, Pastelle, Drucke und Zeichnungen, Handschriften, Miniaturen, Gemälde in Leimfarben, Tapeten und die meisten naturhistorischen Exponate einschließlich botanischer Proben, Felle und Federn.
4. hohe Empfindlichkeit	das Objekt enthält hochgradig lichtempfindliche Werkstoffe. Beispiele: Seide, als hochgradig flüchtig bekannte Färbemittel, die meisten grafischen Kunstwerke und photographischen Dokumente.

ANMERKUNG Zusätzliche Beispiele für verschiedene Klassen von Künstler-Werkstoffen sind in EN 16893:2018, Anhang E, Lichtempfindlichkeit von farbigen Werkstoffen, Tabelle E.1 — Lichtempfindlichkeit von farbigen Werkstoffen, angegeben.

7 Finden eines Kompromisses zwischen den Bedürfnissen der Besucher und den Konservierungsanforderungen

7.1 Allgemeines

Das Ziel besteht darin, dafür zu sorgen, dass alle Besucher eine zufriedenstellende Sicht auf maßgebliche Informationen haben, während lichtempfindliche Kunstwerke geschützt werden. Dies ist der zwingend erforderliche Teil ohne Subjektivität, der von Personen, die für Fragen der Ausstellungsbeleuchtung und Erhaltung zuständig sind, umgesetzt werden muss.

7.2 Grenzwerte für die Gesamtbelichtung

Der photochemische Effekt ist kumulativ und steht in engem Verhältnis zur Gesamtstrahlung, die vom Objekt absorbiert wird. Der rein photochemische Effekt auf Objekte ist das Ergebnis der Gesamtbelichtung. Mit anderen Worten: wichtig ist der kumulative Effekt über die Lebensdauer des Objektes. Um die Gesamteinwirkung von Licht auf ein Objekt zu beurteilen, wird die jährliche Belichtung betrachtet (ausgedrückt als $lx \cdot h$ je Jahr).

In Tabelle 3 sind die empfohlenen Grenzwerte für die Beleuchtungsstärke und jährliche Belichtung für die verschiedenen Klassen lichtempfindlicher Objekte angegeben. Ist mehr als eine Werkstoffklasse vertreten, müssen die Grenzwerte der empfindlichsten Klasse berücksichtigt werden.

Tabelle 3 — Grenzwerte für die jährliche Belichtung für verschiedene Klassen lichtempfindlicher Objekte, abgeleitet aus CIE 157:2004 — nur für warmes weißes (3 300 K) künstliches Licht ohne UV

Werkstoffklassifikation	Blaumaßstab nach ISO (BWS)	Oberer Grenzwert für die jährliche Belichtung (< 3 300 K)
1. unempfindlich	—	kein Grenzwert (für die Erhaltung)
2. niedrige Empfindlichkeit	7 und 8	600 000 lx·h je Jahr
3. mittlere Empfindlichkeit	4, 5 und 6	150 000 lx·h je Jahr
4. hohe Empfindlichkeit	1, 2 und 3	15 000 lx·h je Jahr
ANMERKUNG Diese Werte beruhen auf Erfahrungen mit Lichtquellen mit 3 300 K oder weniger. Anhang D enthält eine Leitlinie für die Verwendung von Lichtquellen > 3 300 K.		

ANMERKUNG Beispielsweise werden 600 000 lx·h erreicht, wenn 200 Lux für 3 000 Stunden Lichtbetrieb je Jahr beibehalten werden, oder 400 Lux für 1 500 Stunden je Jahr.

Die in Tabelle 3 angegebenen Werte gelten für den größten Teil aller warmen weißen Lichtquellen ohne UV-Komponenten. Dies gilt für alle aktuellen LEDs sowie für alle künstlichen Lichtquellen mit UV-Filtern, die die gesamte Strahlung < 380 nm herausfiltern.

Die empfohlenen Grenzwerte für die jährliche Belichtung beruhen auf den Empfehlungen von CIE 157:2004. Alle in Tabelle 3 angegebenen Werte stellen einen praktischen Kompromiss zwischen der Präsentation und dem Schutz von Objekten bei Ausstellungen in Innenräumen mit Beleuchtung dar. Wird der Grenzwert für die Beleuchtungsstärke überschritten, so nimmt der Grad an Verblässen und Schädigung der Werkstoffe zu. Auf der anderen Seite ist zu bedenken, dass ein Beleuchtungsniveau von weit unter 50 lx sehr zu Lasten der Sehbedingungen und der Wahrnehmung von Farben und Oberflächendetails geht. Jeder Punkt der beleuchteten Oberfläche des Objektes muss mit Tabelle 3 übereinstimmen. Daher muss sich der gemessene Höchstwert der Beleuchtungsstärke auf die Beleuchtungsstärken beziehen, die von den empfohlenen Grenzwerten in Tabelle 3 abgeleitet wurden.

Bei flachen (2D)-Objekten (z. B. Gemälde, Zeichnungen usw.) sollten örtliche Schwankungen der Beleuchtungsstärke vermieden werden, mit $U_d \leq 0,5$ auf dem Objekt.

Es sollte berücksichtigt werden, dass andere physikalische oder chemische Faktoren (relative Luftfeuchte, Temperatur, Schadstoffe) die negativen Wirkungen des Lichts steigern können, so dass unter kritischen Umweltbedingungen die Einhaltung der vorstehend angegebenen Grenzwerte unbedingt empfohlen wird. Es ist zu beachten, dass im Fall 4 in Tabelle 3 die Belichtung von 15 000 lx·h/a lediglich 300 h jährlicher Belichtungszeit bei einer Beleuchtungsstärke von 50 lx (das Mindestlichtniveau für die Wahrnehmung von Farben und Details eines Objekts) entspricht. Aus diesem Grund sollten Objekte mit hoher Lichtempfindlichkeit aus der Ausstellung entfernt und an einen dunklen Lagerort verbracht werden, sobald ihre Belichtungsgrenze erreicht ist. So kann ein Seidenkleid nur etwas weniger als zwei Monate dauerhaft bei 50 lx, acht Stunden je Tag und sechs Tage die Woche ausgestellt werden, bevor es seine Höchstgrenze an jährlicher Belichtung erreicht hat und an einen dunklen Lagerort verbracht werden muss. Wäre dasselbe Kleid in einem Schaukasten bei 10 lx ausgestellt, der jedoch durch einen Bewegungssensor die Beleuchtungsstärke auf 50 lx erhöht, sobald sich ein Besucher nähert, könnte die Ausstellungsdauer verlängert werden.

Die meisten LEDs beruhen auf blauen LEDs mit einem Spitzenwert zwischen 435 nm und 460 nm. Einige beruhen jedoch auf blauen LEDs mit einem Spitzenwert unter 435 nm. Letztere können zu größeren photochemischen Schädigungen führen. Daher sollte bei LEDs mit einem Spitzenwert unter 435 nm das relative Schädigungspotential ermittelt werden (siehe Anhang D). Falls das relative Schädigungspotential > 1 ist, muss die Obergrenze der jährlichen Belichtung entsprechend verringert werden.

Lichtquellen mit einem neutralen oder kalten farblichen Erscheinungsbild (höhere Farbtemperaturen) sowie Sonnenstrahlung können zu einem höheren Schadensausmaß führen. Die in Tabelle 3 angegebenen Obergrenzen der jährlichen Belichtung sind für diese Arten von Lichtquellen nicht anwendbar.

Für diese sind Verfahren zur Bestimmung der Obergrenzen der jährlichen Belichtung in weiteren Tabellen im normativen Anhang D, D.1 angegeben.

Wenn die spektrale Leistungsverteilung (SPD, en: spectral power distribution) der verwendeten oder geplanten Lichtquelle bekannt ist, kann der Grenzwert der jährlichen Belichtung alternativ zu Tabelle 3 und Anhang D, D.1 auch an diese spezifische Lichtquelle angepasst werden. Somit kann, abhängig vom Werkstoff, eine längere jährliche Belichtung möglich sein. Ein entsprechendes Verfahren ist in Anhang D, D.2 beschrieben.

In besonderen Fällen kann es möglich sein, experimentell nachzuweisen, dass die Schädigung bei einem bestimmten Werkstoff und einer bestimmten Lichtquelle nicht größer ist, als die von einer warmen weißen Lichtquelle verursachte Schädigung. In diesem Fall kann der in Tabelle 3 angegebene Grenzwert der jährlichen Belichtung angewendet werden. Das anzuwendende Maß für die Schädigung ist die Farbänderung des Werkstoffs im CIELAB-System, wie im Technischen Bericht CIE 157:2004 beschrieben. Die Untersuchung sollte von einem Fachmann für Licht- und Farbmessung unter Laborbedingungen durchgeführt werden. Die für die Messung der spektralen Strahlungsverteilung und Bestimmung der Farborte erforderliche Messausrüstung sollte Norm-Laborbedingungen entsprechen. Die Prüf-Belichtung sollte etwa 5 000 000 lxh betragen.

8 Messungen

8.1 Messung der Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wird mit einem Beleuchtungsstärkemesser, mitunter Luxmeter genannt, gemessen, unter Verwendung eines Sensors, dessen Spektralempfindlichkeit der des menschlichen Auges entspricht. Zur Messung des Lichtniveaus in Innenräumen sind mehrere Gerätearten verfügbar, von einfachen Handmessgeräten bis zu kleinen Geräteeinheiten, die die abgelesenen Messwerte zurück an einen zentralen Messwerterfasser übertragen. Viele der Handmessgeräte haben einen externen Sensor, der auf der zu messenden Oberfläche platziert werden kann und so dem Anwender ermöglicht, die Werte auf dem bei sich geführten Messgerät problemlos abzulesen. Damit ein über eine Armeslänge entfernt abgenommener Messwert festgehalten werden kann, bis der Anwender nahe genug ist, um ihn abzulesen, sollten die Messgeräte über eine Festhaltetaste (en.: hold button) verfügen. Für Messungen in einem Erhaltungskontext sollten sich die Messbereiche von Beleuchtungsstärkemessern für Innenräume in einem Bereich von 10 lx bis 10 000 lx bewegen und mit ISO/CIE 19476:2014 und EN 13032-1:2004+A1:2012. übereinstimmen. Um die Genauigkeit sicherzustellen, sollten die Geräte jährlich kalibriert werden. Die Messunsicherheit sollte weniger als 10 % betragen.

ANMERKUNG Siehe auch CIE 231:2020, CIE Klassifizierungssystem für Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräte.

Beim Messen von Licht sollte die Messzelle des Gerätes an mehreren Stellen positioniert werden, an denen das Licht am Hellsten erscheint. So kann ein umfassendes Bild der Beleuchtungshöchstwerte auf das Exponat ermittelt werden. Die Messzellenoberfläche sollte auf oder sehr nahe an der Oberfläche des zu vermessenden Exponates platziert werden. Sie sollte parallel zum Exponat ausgerichtet werden (flach auf der Oberfläche). Ist das Exponat nicht flach, sollte die Messzelle parallel zur am stärksten bestrahlten oder gefährdeten Oberfläche positioniert werden.

Wird der Raum bei nur einer festen Lichtszene ausschließlich mit elektrischem Licht beleuchtet, ist eine Messreihe zur Bestimmung der jährlichen Gesamtbeleuchtungsstärke ausreichend. Die Messungen sollten in periodischen Abständen wiederholt und aufgezeichnet werden, um mögliche Schwankungen der Beleuchtungsbedingungen zu berücksichtigen. Wenn verschiedene Lichtszenen zu verschiedenen Zeiten angewendet werden (beispielsweise in temporären Ausstellungen oder bei Reinigungsarbeiten), muss jede

Situation (einschließlich Reinigungsstunden) gemessen und bei der Berechnung der jährlichen Gesamtbelichtung berücksichtigt werden.

Wenn der Raum auch mit Tageslicht beleuchtet wird, ist das vorstehende Messverfahren mit nur einem Luxmeter aufgrund von Schwankungen des Tageslichts nicht wirksam. Die Messung des Tageslichtquotienten an den Orten, an denen die empfindlichen Objekte dem Tageslicht ausgesetzt sind, in Verbindung mit der ununterbrochenen Messung an einer Stelle entsprechend dem bekannten Lichtfaktor, ermöglicht es zu ermitteln, ob das Objekt an dieser Stelle gezeigt werden kann. Sollte eine frühzeitige Abschätzung der jährlichen Belichtung erforderlich sein, so können bereits vorliegende Daten von externen Quellen, wie beispielsweise meteorologischen Behörden, herangezogen und eine Modellierung auf der Grundlage der Tageslichtquotientberechnungen übernommen werden.

8.2 Messung von UV-Strahlung

Die kürzeren Wellenlängen (UV-Licht und Blaulicht) bringen die höchste Energie mit sich und verursachen demzufolge die meisten Schädigungen an ausgestellten Werkstoffen. Da UV-Licht üblicherweise nicht für die Sicht benötigt wird (außer für die Zurschaustellung von fluoreszierenden Materialien), empfiehlt es sich, die UV-Strahlung herauszufiltern oder Lichtquellen mit geringer UV-Emission zu verwenden. Zur Messung der UV-Lichtmenge, der die Exponate ausgesetzt sind, werden spezielle UV-Messgeräte benötigt. Es gibt zwei Typen von UV-Messgeräten: absolute UV-Messgeräte und relative UV-Messgeräte. Mit einigen Messgeräten können sowohl absolute als auch relative Werte gemessen werden.

Die absoluten UV-Messgeräte geben einen direkten Messwert der UV-Strahlung in Mikrowatt je Quadratcentimeter ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) auf der Messzelle an. Die relativen UV-Messgeräte wurden speziell für die Verwendung in Museen entwickelt und messen den Anteil der UV-Strahlung an der Beleuchtung. Die Messwerte werden in Mikrowatt UV je Lumen der Beleuchtung ($\mu\text{W}/\text{lm}$) angegeben.

Da gegenwärtig noch keine Norm für die spektrale Empfindlichkeit der in den absoluten UV-Messgeräten verwendeten Messzellen vorhanden ist, kann es vorkommen, dass Messgeräte verschiedener Hersteller in ihren Messbereichen des UV-Spektrums leicht voneinander abweichen. Es muss nachgewiesen werden, dass die spektrale Empfindlichkeit für das beleuchtete Objekt geeignet ist.

9 Beleuchtung von Ausstellungen

9.1 Allgemeines

Die Beleuchtung von Ausstellungen ist ein maßgebendes Instrument für den Aufbau der visuellen Landschaft, welche die Botschaft der Ausstellung transportiert. Das Gesamt-Beleuchtungsziel muss vorhergesehen, entwickelt und angewendet werden, um die Übermittlung des Zwecks der Ausstellung so zu unterstützen, dass diese studiert und wertgeschätzt werden kann.

Die Beleuchtungsinstallation muss einer Beleuchtungsplanung entsprechen, in der alle Annahmen des Beleuchtungsplaners angegeben sind. Dieser Planer muss mit anderen Planern zusammenarbeiten, um die Koordinierung einer harmonischen Gestaltung sicherzustellen und damit Kompromisse hinsichtlich Konzeption, Produktauswahl und der Orte an den gewünschten Einbaustellen vereinbart werden.

ANMERKUNG 1 Nach CEN/TS 17165 ist der Planer der Beleuchtungsanlage eine fachkundige Person mit entsprechender Ausbildung und beruflicher Qualifikation sowie der relevanten Erfahrung bei der Planung von Beleuchtungsanlagen, der sowohl die technischen als auch die ästhetischen Probleme eines Projekts verwalten kann.

ANMERKUNG 2 Wenn ein Planerteam beteiligt ist, ist der Beleuchtungsanlagenplaner die Person, die die Gesamtverantwortung für die Beleuchtungsplanung trägt.

9.2 Typologie der Beleuchtungsplanung

Die Beleuchtung eines Ausstellungsraums ist komplex und ergibt sich aus mehreren Bedürfnissen, wie beispielsweise denjenigen, die mit der Sicherheit, Instandhaltung, dem Auf- und Abbau von Ausstellungen verknüpft sind, und denjenigen, die mit der Szenographie verbunden sind. Im nachstehenden Bild 5 ist eine komplexe Typologie zusammengefasst.

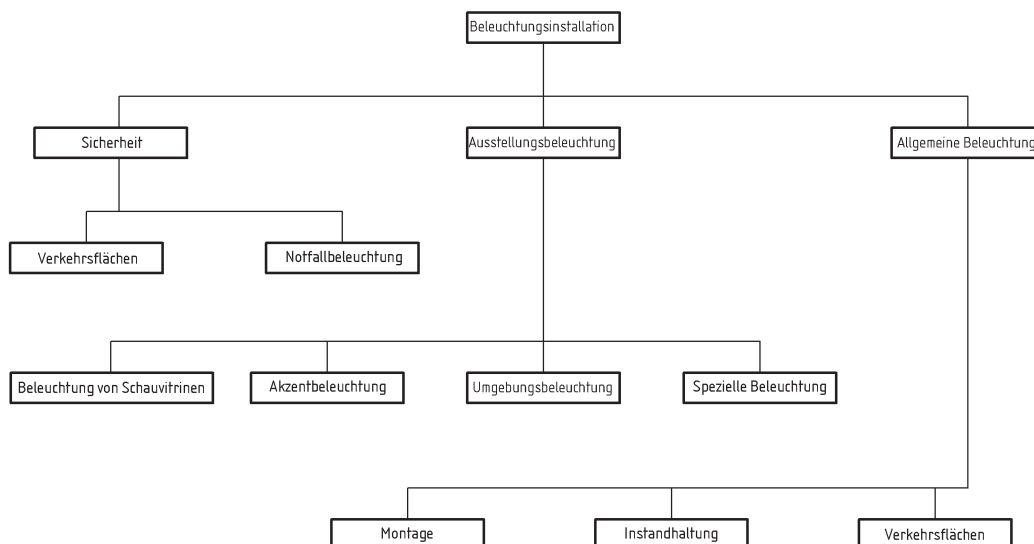


Bild 5 — Typologie der Ausstellungsbeleuchtung

9.2.1 Allgemeine Beleuchtung

Die allgemeine Beleuchtung sollte ermöglichen, dass sich Personen sicher und mit visuellem Komfort um in dem/den Bereich(en) bewegen können.

Ein Teil der allgemeinen Beleuchtung sollte auch ermöglichen, dass das Personal Aufgaben während der Zeiten, in denen der Bereich für die Öffentlichkeit geschlossen ist, ausführen kann. Diese Aufgaben schließen Reinigung und Aufräumen, allgemeine Instandhaltung sowie Installation oder Entfernung von Exponaten ein.

9.2.2 Beleuchtung von Ausstellungen

9.2.2.1 Umgebungsbeleuchtung

Umgebungsbeleuchtung ist großflächige oder diffuse Beleuchtung, deren Zweck darin besteht, die Beleuchtung von Exponaten und Objekten und deren Umgebung zu mildern, mit oder ohne vorhandene Akzentbeleuchtung. Es sollte sichergestellt werden, dass die Umgebungsbeleuchtung die Akzentbeleuchtung ergänzt, so dass eine geeignete Atmosphäre für die Betrachtung jedes Exponates innerhalb des Raums geschaffen wird.

9.2.2.2 Akzentbeleuchtung

Akzentbeleuchtung ermöglicht die visuelle Hervorhebung von Exponaten. Da eine große Vielzahl von Lichtquellen und Leuchten dafür zur Verfügung steht, mit Lichtverteilungen, die von eng bis weit strahlend reichen, mit kreisförmigen über elliptische bis hin zu geradlinigen Verteilungen, ist es erforderlich, die Anforderungen für das jeweilige Exponat zu betrachten, ausgehend von dessen Eigenschaften, dessen unmittelbarer Umgebung und der möglichen Positionierung der Leuchte. Diese Betrachtungen dürfen dann zusammen mit Strahlverteilungsdaten von den Leuchtenherstellern verwendet werden, um die optimale Lösung zu wählen. Zusätzlich könnte die Weichheit oder Härte des Lichtstrahls an seinen Grenzen betrachtet

werden, was zu weichen/harten Rändern des beleuchteten Erscheinungsbilds des Exponats führt, wodurch sich ändert, wie das Exponat mit seinem Hintergrund interagiert.

9.2.2.3 Spezielle Beleuchtung

Für die Ausstellung in historischen Gebäuden (z. B. Schlösser, altertümliche Paläste, Kirchen) muss eine angemessene Beleuchtung bereitgestellt werden. Wird ein einzelnes Zimmer ausgestellt, weil es mit Artefakten einer Epoche ausgestattet ist (z. B. Fresken, Möbel, Gobelins), so muss die sichtbare Beleuchtung zum Innenraum passen. Um einzelne Gegenstände oder Besonderheiten im Raum angemessen hervorzuheben, könnten an verdeckten Stellen zusätzliche Lichtquellen angebracht werden. Wird das Gebäude jedoch in erster Linie zur Ausstellung von Exponaten und Bildern benutzt, so muss ein anderer Ansatz verfolgt werden. Die in den vorherigen Abschnitten dieses Dokumentes gegebenen Empfehlungen sollten berücksichtigt werden, jedoch würden die tatsächlichen Verfahren, mit denen die Exponate beleuchtet werden, von den gegebenen Umständen abhängen. Beispielsweise darf es als angemessen betrachtet werden, moderne Ausstellungstechniken anzuwenden, die so gestaltet und installiert werden, dass die Integrität des Gebäudes erhalten bleibt.

9.2.3 Sicherheitsbeleuchtung

Sicherheitsbeleuchtung erfüllt zwei Hauptfunktionen. Sie ermöglicht es dem Sicherheitspersonal, sich während der Zeiten, in denen der Bereich für die Öffentlichkeit geschlossen ist, sicher durch die Ausstellung zu bewegen, um sicherzustellen, dass in dem Raum/den Räumen keine Probleme vorhanden sind. Daher sollte für die Sicherheitsbeleuchtung ein Mindestgrad an Beleuchtung angewendet werden, die so ausgerichtet ist, dass sie von den Exponaten weg weist, mit einem Spektralgehalt, der so ausgelegt ist, dass Schädigungen der Exponate auf ein Mindestmaß begrenzt werden, und die vorzugsweise durch einen Sensor ein-/ausgeschaltet wird oder von Hand durch das Sicherheitspersonal, wie jeweils erforderlich. Es ist zu beachten, dass wenn Videoüberwachungssysteme eingebaut sind, jederzeit ein Mindestgrad an Beleuchtung erforderlich sein kann, damit diese Systeme wirksam arbeiten können.

Zweitens sollte für den Fall des Ausfalls der Netzstromversorgung in dem Ausstellungsraum/den Ausstellungsräumen, der zum Ausfall der Hauptbeleuchtung führt, eine Notfallbeleuchtung die sichere und schnelle Evakuierung der Personen aus dem Raum/den Räumen ermöglichen, bis eine Rückkehr der Besucher in die Ausstellung als sicher gilt.

9.3 Simulationen und Modelle

Bevor eine bestimmte Beleuchtungstechnik für die Präsentation der Exponate, ob nun freistehend oder in Schaukästen, festgelegt wird, darf der Planer die Erstellung einer Computersimulation und/oder eines physikalischen Modells des Entwurfes in Erwägung ziehen, um sicherzustellen, dass der Entwurf die geforderte Leistung aufweist. Dies ist auch nützlich, um einen Gestaltungsansatz anderen Personen nahezubringen, die möglicherweise nicht über Erfahrungen oder Kenntnisse der Beleuchtungsarten verfügen, die zur Verfügung stehen oder möglich sind. Solche Modelle brauchen weder besonders ausgearbeitet, noch besonders teuer zu sein, sollten jedoch detailliert genug sein, um den Entwurf zu prüfen und mögliche Schwachstellen in der Beleuchtungsausstattung und -installation zu erkennen. Kostspielige Fehler und Probleme bei der finalen Aufstellung könnten so vermieden werden.

10 Beleuchtungssteuerung

10.1 Allgemeines

Es gibt eine Reihe verschiedener Beleuchtungsarten, die in einem Bereich angewendet werden, abhängig von der Aufgabe oder Tätigkeit, die zu einer bestimmten Zeit ausgeführt wird. Beispiele schließen Wartungsbeleuchtung, Arbeitsbeleuchtung, Ausstellungsbeleuchtung und Sicherheits- und Schutzbeleuchtung ein. Um

zwischen verschiedenen Beleuchtungsniveaus und Betriebsarten zu wechseln, werden Beleuchtungssteuerungen verwendet. Lichtmanagementsysteme zur Steuerung der verschiedenen Parameter einer Installation können von einfachen bis zu komplexeren Steuersystemen reichen.

Die einfachste Steuerung ist die manuelle Umschaltung. Leuchten werden von Hand ein-/ausgeschaltet und/oder hoch- und heruntergedimmt, um die richtigen Beleuchtungsniveaus in den entsprechenden Bereichen zu erzielen.

Durch die Verwendung eines einfachen Beleuchtungsmanagementsystems kann dieser Prozess auf der Grundlage von Belegungsmustern automatisiert werden, indem zwischen vordefinierten Beleuchtungsszenen je nach Tag und Zeit umgeschaltet wird.

Fortschrittlichere Systeme können weitere Funktionalität einbringen, wie beispielsweise die Möglichkeit die spektrale Leistungsverteilung der Lichtquellen zu modulieren oder dynamische Effekte zu erzeugen, um das Erlebnis für den Betrachter zu steigern.

Bis auf manuelle Steuerungen können Beleuchtungsmanagementsysteme auch die Verwendung von anwesenheitsabhängigen Steuerungen ermöglichen, bei denen die Beleuchtung gelöscht oder gedimmt wird, wenn keine Personen anwesend sind.

Die fortschrittlicheren Beleuchtungsmanagementsysteme nutzen Lichtsteuerungsprotokolle für die Kommunikation. Diese werden in Anhang J kurz erläutert.

Durch die Verwendung von Beleuchtungssteuersystemen kann die Berechnung der $lx \cdot h$ -Belichtung eines Objekts komplexer werden, insbesondere, wenn die spektrale Leistungsverteilung der Beleuchtung während der gesamten Besichtigungszeiten angepasst werden kann. Wenn die spektralen Änderungen vorprogrammiert sind und automatisch funktionieren, kann die $lx \cdot h$ -Belichtung des Objekts relativ einfach berechnet werden. Wenn die Änderung manuell vom Personal gesteuert wird, sollte für die Berechnung der $lx \cdot h$ -Belichtungswerte der hinsichtlich der durch das Beleuchtungssystem verfügbaren Belichtungsbedingungen ungünstigste Fall verwendet werden.

Alle Beleuchtungsarten und -konfigurationen für die Beleuchtungsinstallation müssen einer Beleuchtungsplanung entsprechen, in der alle Annahmen des Beleuchtungsplaners angegeben sind. Der Planer muss mit anderen Planern zusammenarbeiten, um eine koordinierte und harmonisierte Gestaltung sicherzustellen, und damit erforderlichenfalls Kompromisse hinsichtlich der Produktauswahl und der Einbauorte vereinbart werden.

ANMERKUNG Nach CEN/TS 17165 ist der Planer der Beleuchtungsanlage eine fachkundige Person mit entsprechender Ausbildung und beruflicher Qualifikation sowie der relevanten Erfahrung bei der Planung von Beleuchtungsanlagen, der sowohl die technischen als auch die ästhetischen Probleme eines Projekts verwalten kann.

10.2 Energieeffizienz

Es ist wichtig, dass die visuellen Aspekte und die Erhaltungsaspekte einer Beleuchtungsinstallation nicht einfach, um den Energieverbrauch zu senken, beeinträchtigt werden. Jedoch sollte die Beleuchtung so gestaltet werden, dass die vorstehend beschriebenen Anforderungen an die Ausstellungsbeleuchtung auf energieeffiziente Weise erfüllt werden.

Energieeinsparungen können erreicht werden, indem auf Belegungsmuster reagiert und von Steuerungen in vollem Umfang Gebrauch gemacht wird.

Durch Tageslicht kann das gesamte oder ein Teil des Lichts bereitgestellt werden, dass für visuelle Aufgaben oder Tätigkeiten benötigt wird, woraus sich mögliche Energieeinsparungen ergeben. Die Menge des Tageslichts in Innenräumen hängt zunächst von der Tageslichtverfügbarkeit im Freien ab (d. h. vom vorherrschenden Klima am Standort), und des Weiteren von der Umgebung des Gebäudes, den Komponenten, die sich unmittelbar um die Tageslichtöffnung herum befinden, sowie von der Gestaltung der Innenräume.

Entsprechend der photochemischen Empfindlichkeit der beleuchteten Werkstoffe muss dem Schädigungspotential des Tageslichts durch geeignete Maßnahmen entgegengewirkt werden. Automatische oder manuelle Umschaltung und/oder Dimmung kann angewendet werden, um eine angemessene Einbeziehung von künstlicher Beleuchtung und Tageslicht sicherzustellen.

Das Licht, welches das Exponat erreicht, ist stets eine Mischung aus Licht, das direkt von den Lichtquellen kommt, und Licht, das von einer oder mehreren Raumbooberflächen reflektiert wird. Die Farbe der Raumbooberflächen, insbesondere der Wände und des Bodens, kann demnach den Energieverbrauch der Ausstellungsbeleuchtung über den entsprechenden Reflexionsfaktor beeinflussen. Bei der gleichen Beleuchtungsstärke auf dem Exponat wird weniger Energie in Räumen mit hellen Oberflächen (hoher Reflexionsgrad) benötigt, aufgrund des höheren indirekten Teils der Beleuchtungsstärke auf dem Exponat, als in Räumen mit dunklen Oberflächen (geringer Reflexionsgrad).

Für Gebäude, in deren Innenräumen Ausstellungen des Kulturerbes untergebracht werden, wird eine Schätzung der Energie für die Beleuchtungsinstallation empfohlen.

Ein Verfahren für die Schätzung der Energieanforderungen einer Beleuchtungsinstallation ist in EN 15193-1 enthalten. Darin ist eine Methodik für die Berechnung einer numerischen Beleuchtungsenergiekenngröße (LENI, en: lighting energy numeric indicator) angegeben, welche die energetische Leistung der Beleuchtung in Gebäuden darstellt. Diese Kenngröße darf für einzelne Räume nur auf einer Vergleichsbasis verwendet werden, da die in CEN/TR 15193-2 angegebenen Bezugswerte für einige bestimmte Arten von Räumen oder Anwendungsbereichen erstellt wurden. EN 15193-1 stellt ein vereinfachtes Verfahren für die Berechnung der potentiellen Energieeinsparungen bereit.

11 Instandhaltung und Überwachung der korrekten Beleuchtungsbedingungen

11.1 Maßnahmen, die vor der Einrichtung eines Beleuchtungsprojekts zu ergreifen sind

11.1.1 Vorbereitende Maßnahmen, die das/die Exponat(e) betreffen

Bevor die Exponate präsentiert werden, sollten sie als zu einer bestimmten Empfindlichkeitskategorie nach Tabelle 2 zugehörig eingestuft werden, auf der Grundlage ihrer grundlegenden Hauptwerkstoffe.

Darüber hinaus ist es angemessen, gefährdete Güter bei Vorliegen von ungünstigen Umgebungsbedingungen aufgrund einer möglichen Synergie des Lichts mit dem Mikroklima (z. B. hohe Luftfeuchte und Temperatur) und Schadstoffen in die nächst restriktivere Klasse einzuordnen.

Als bewährte Verfahrensweise sollte die Klassifizierung möglichst von einem multidisziplinären Team aus ausgebildeten Fachkräften (Kuratoren, Konservierungswissenschaftler, Konservatoren, auch unter Beteiligung des Eigentümers/der Eigentümer und/oder des Autors des Kunstwerks, sofern möglich) durchgeführt werden, welche den Gegenstand/die Gegenstände auf der Grundlage ihrer Kenntnisse, Berufserfahrung und, sofern verfügbar, von Dokumentationen, Aufzeichnungen und wissenschaftlichen Daten beurteilen (siehe Anhang H für mehr Einzelheiten).

Wenn das Objekt aus mehreren unterschiedlichen Werkstoffen besteht, wird es der Lichtempfindlichkeitskategorie des lichtempfindlichsten Werkstoffs unter seinen Hauptbestandteilen zugeordnet.

Bei äußerst zerbrechlichen Objekten oder Objekten in schlechtem Zustand, oder in Fällen besonderer Relevanz wird empfohlen, den Zustand dieser Objekte vor der Beanspruchung im Rahmen einer neuen Beleuchtungsumgebung zu dokumentieren. Als grundlegende Anforderung sollte ein kurzer Zustandsbericht eine Beurteilung des Zustands des Kunstwerks enthalten, indem Anzeichen für Verfall (sofern vorhanden) aufgezeichnet und eine professionelle digitale Farbfotografie des Objekts unter Verwendung kalibrierter Farbprüfkarten beschafft werden. In ausgewählten Fällen von besonderem Interesse dürfen nichtinvasive optische Messungen (kolorimetrische Untersuchung) am Einsatzort durchgeführt werden, um die chromatischen Eigenschaften der Oberfläche vor Beginn der Belichtung zu dokumentieren (siehe EN 15886).

Um die Vergleichbarkeit zwischen den zu verschiedenen Zeiten gewonnenen Daten sicherzustellen, wird empfohlen, im Bericht die Einzelheiten des Messverfahrens, des Versuchsprotokolls und der Geräteausrüstung sowie deren Kalibrierung anzugeben.

ANMERKUNG Es wird empfohlen, diese Messungen vor der Installation der Beleuchtung von sehr wertvollen Gegenständen durchzuführen.

11.1.2 Vorbereitende Maßnahmen, die das Beleuchtungssystem und dessen Aufbau betreffen

Die Lichtempfindlichkeitskategorien (siehe 11.1.1) des zu beleuchtenden Objekts müssen im Beleuchtungsprojekt berücksichtigt werden. Das Beleuchtungssystem und dessen Managementkriterien müssen die technischen Anforderungen erfüllen, um die Übereinstimmung mit den empfohlenen Grenzwerten, die in Tabelle 3 angegeben sind (jährliche Belichtungen), sicherzustellen.

In historischen Gebäuden mit Fresken, Stuck, Gobelins oder anderem Schmuck müssen die Art und Lage der Lichtquellen bei der Einrichtung eines Beleuchtungssystems sorgfältig gewählt werden, um jegliche Beschädigung durch Wärmeableitung zu vermeiden.

Wenn ein neues Beleuchtungssystem eingerichtet wird, sollte ein Datenblatt bereitgestellt werden, in dem die technischen Merkmale (Art der Lichtquellen, Modelle, Lebensdauer, spektrale Verteilung usw.) der Lampen und/oder Leuchten angegeben sind. Das Datenblatt sollte für die Konsultation durch Personal und Fachleute bereitgehalten werden, um die Überwachung und Überprüfung der Lichtquellenspezifikationen, wann immer diese benötigt werden, zu ermöglichen.

Es ist ein Formular bereitzustellen, in dem die Nennwerte der Beleuchtungsstärke und deren Grenzabweichung angegeben sind, welche an einer Reihe von Bezugspunkten gemessen wurden, deren Lage eindeutig identifiziert wurde, und die in geeigneter Weise im Ausstellungsraum ausgewählt wurden (nicht unbedingt an einem bestimmten Exponat).

In dem Formular sollten auch wesentliche Änderungen angegeben werden, wenn diese ausgelöst wurden. Die im Bericht anzugebenden Ereignisse sind: Datum des Beginns der Belichtung; Austausch von Lampen, Ein-/Ausschaltung des Zeitschalters des Systems (falls vorhanden). Alle Änderungen gegenüber dem üblichen Beleuchtungssystem müssen aufgezeichnet werden (z. B. Ausleihen, Restaurierungen, professionelle Fotografie-Sessionen).

Falls Modifizierungen am System vorgenommen werden, sollte das Beleuchtungsprojekt überarbeitet werden.

Diese Daten werden benötigt, um zu verifizieren, dass die Übereinstimmung mit den in Tabelle 3 angegebenen Grenzwerten über einen langen Zeitraum aufrechterhalten wird (siehe 11.2).

ANMERKUNG Die Verwendung intelligenter Werkzeuge (z. B. kolorimetrischer Lichtdosimeter) und/oder Software-Plattformen (z. B. <http://research.ng-london.org.uk/scientific/spd/?page=home>) für die Bewertung der Auswirkung der Lichtquellen (wenn spektrale Verteilungen verfügbar sind) auf Werkstoffe wird dringend empfohlen, um den Entscheidungsfindungsprozess bei der Planung und Projektierung der Beleuchtung bestimmter Exponate zu unterstützen.

Die in Tabelle 3 angegebenen Empfehlungen können durch Anwendung mehrerer Strategien allumfassend erfüllt werden, einschließlich Pläne bezüglich des Wechsels der ausgestellten Exponate und Verwendung intelligenter Lichtsteuerungssysteme.

Mitunter ist das Licht, welches den Vermögensgegenstand erreicht, das Ergebnis einer Lichtquelle und einiger Filtereinrichtungen (z. B. optische Filter, Glasscheibe usw.), welche die spektrale Verteilung ändern können. Dieser Aspekt sollte ebenfalls überwacht und aufgezeichnet werden.

11.2 Instandhaltungs- und Steuerungsmaßnahmen, die langfristig zu treffen sind

11.2.1 Instandhaltungsmaßnahmen, die das/die Exponat(e) betreffen

Ein Plan für regelmäßige Überprüfungen der Objekte muss aufgestellt und befolgt werden, wobei besonders auf die Untersuchung von Teilen, deren Zustand sich verschlechtert hat, und auf möglichen weiteren Verfall zu achten ist.

Bei der Behandlung zerbrechlicher Objekte wird empfohlen, die gleichen Maßnahmen, die vor der Belichtung durchgeführt wurden (nichtinvasive Messungen, fotografische Erfassungen usw.) regelmäßig zu wiederholen. Falls nachweisbare Veränderungen festgestellt werden, wird empfohlen, Maßnahmen zu ergreifen, um weitere Veränderungen zu verhindern. Abhängig vom untersuchten Fall können diese Maßnahmen Folgendes einschließen: vorübergehende Entfernung des Objekts, Überprüfung der Beleuchtungsinstallation, ein Plan für weitere regelmäßige Überprüfungen am Objekt.

11.2.2 Instandhaltungsmaßnahmen, die das Beleuchtungssystem betreffen

Es sollten jährliche Überprüfungen des Systems durchgeführt werden. Aufgrund der Alterung des Beleuchtungssystems können der Lichtstrom des Beleuchtungssystems und somit die Beleuchtungsstärkeniveaus abnehmen. Die Beleuchtungsstärkeniveaus müssen an den ausgewählten Bezugsstellen gemessen werden (siehe 11.1.2). Wenn möglich spektrale Verteilung der Lichtquellen überprüfen und verifizieren, ob Änderungen unter Kontrolle und innerhalb des Bereiches der Grenzwerte sind. Falls wesentliche Änderungen erkannt werden, diejenigen Teile austauschen, die für diese Änderungen verantwortlich sind.

12 Sicherheits- und Reinigungsbeleuchtung

Die Sicherheits- und Reinigungsbeleuchtung müssen mit den vorstehenden Empfehlungen hinsichtlich UV-Strahlung und Belichtung übereinstimmen.

Anhang A (informativ)

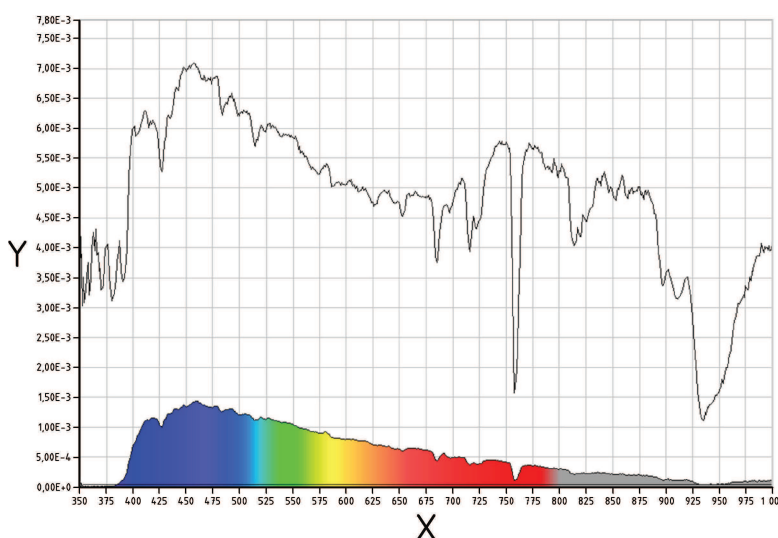
Eigenschaften von Lichtquellen

A.1 Tageslicht

Tageslicht besteht sowohl aus direktem Licht von der Sonne als auch Himmelslicht, welches Sonnenlicht ist, das durch Partikel in der Atmosphäre gestreut wurde.

Tageslicht aus dem Freien, welches in Innenräume gelangen kann, enthält direkte Sonnenstrahlung und Strahlung, die vom Himmel gestreut wird. Es enthält ultraviolette Strahlung, die gesamte sichtbare Strahlung und Infrarotstrahlung. Die Haupteigenschaft von Tageslicht ist seine Schwankung hinsichtlich Strömung, Richtung und Farbtemperatur. Entsprechend kann sich die Farbtemperatur über einen sehr großen Bereich erstrecken: sie kann einen so niedrigen Wert wie 2 500 K (Sonne bei Sonnenuntergang) annehmen, und so hoch sein wie 20 000 K (klarer blauer Himmel in einem kontinentalen Gebiet), oder kann unter bestimmten Bedingungen und an bestimmten Standorten sogar noch höher sein. Auch die Beleuchtungsstärke kann in großem Maße schwanken (bis zu mehreren Zehntausend lx für direktes Sonnenlicht).

In Innenräumen sind die Eigenschaften des Tageslichts verschieden, in Abhängigkeit von den Richtungen der Öffnungen, Bautenschutz, der Art der verwendeten Verglasung (beispielsweise starke Abnahme der Strahlung, sichtbar und unsichtbar, Abnahme der Farbtemperatur), Verwendung von Tageslichtsystemen (Heliostate, Lichtleiter usw.) und Innenraum-Schutzeinrichtungen (Vorhänge, Jalousien usw.) (siehe Bild A.1).



Legende

X Wellenlänge, nm

Y spektrale Strahldichte, W/Steradian·m²·nm

Bild A.1 — Tageslicht im Freien (obere Kurve) im Vergleich zum Licht in Innenräumen (untere Kurve) bei Verbundverglasung (Beispiel)

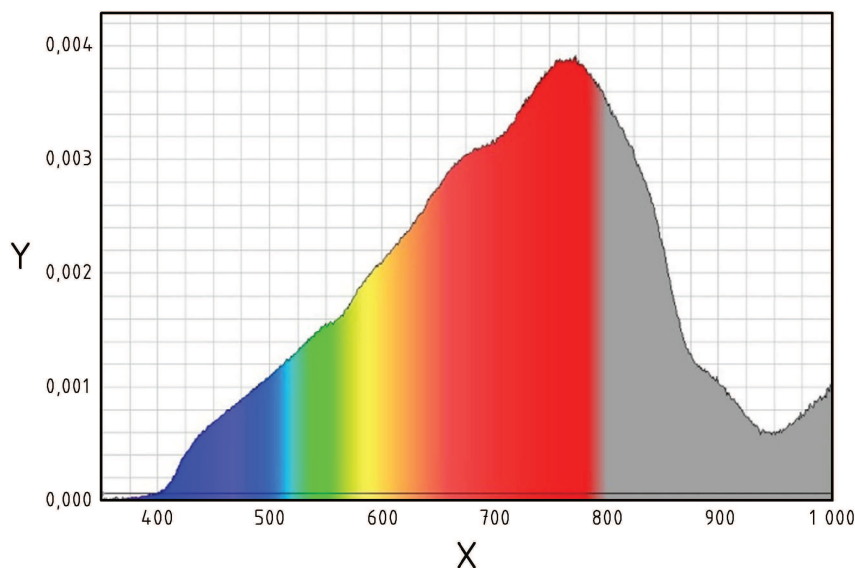
A.2 Elektrische Lichtquellen

A.2.1 Allgemeines

Bis zur flächendeckenden Einführung der elektrischen Beleuchtung Mitte des 19. Jahrhunderts wurde sämtliche künstliche Beleuchtung durch flammende Lichtquellen erzeugt. Die mit deren Nutzung einhergehenden Kosten und Probleme sorgten dafür, dass sie stets nur als sekundäre Lichtquellen zum Tageslicht angesehen wurden. Über mehrere tausend Jahre hat sich die Menschheit auf derartige Lichtquellen verlassen, was die Erwartungshaltung bezüglich Lichtniveau, Sichtbarkeit und Farbtemperatur beeinflusst hat, da alle derartigen Lichtquellen niedrige Farbtemperaturen $\sim 2\,500\text{ K}$ haben. Im Vergleich zu flammenden Lichtquellen stellt die elektrische Beleuchtung eine saubere und risikoärmere Alternative dar, und wurde während des 20. Jahrhunderts zur bevorzugten Lichtquelle. Jedoch wurde erst mit der Entwicklung von Lichtquellen mit zielgerichteten Strahlen die Aufmerksamkeit auf Exponate gerichtet, indem diese heller als ihre Umgebung gemacht wurden, was den Grundstein für viele der heutigen Verfahrensweisen zur Ausstellungsgestaltung legte. Die Einführung von Leuchtstoffröhren und Metallhalogen-Lichtquellen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gab Anlass zu Bedenken hinsichtlich der spektralen Eigenschaften von Lichtquellen, was mit einem wachsenden Bewusstsein der potenziellen Schädigung empfindlicher Werkstoffe durch Licht einherging. Diese Bedenken veranlassten einen verbreiteten Wechsel von Tageslichtquellen zu elektrischer Beleuchtung für Ausstellungen, und in jüngster Zeit hat sich die Auswahl der zur Verfügung stehenden Lichtquellen um Festkörperlichtquellen, insbesondere LEDs, vergrößert. Es ist nötig, die Eigenschaften einer jeden zur Verfügung stehenden Lichtquelle vor ihrem Einsatz gründlich zu betrachten. Viele der häufig verwendeten Glühlichtquellen, einschließlich der weniger effizienten Spot-Lampen, wurden in der EU zurückgezogen [siehe Verordnung (EG) Nr. 244/2009 der Kommission]. Mit der neuen Ökodesign-Verordnung für Beleuchtung, durch die die Verordnungen Nr. 244/2009, Nr. 245/2009 und Nr. 1194/2012 ersetzt wurden, wird dieser Prozess fortgesetzt. Lichtquellen, die 2021 zurückgezogen wurden, schließen lineare Netzspannungs-Halogenstrahler und Niedervolt-Halogenstrahler ein, und 2023 werden Netzspannungs-Halogen-Stiftsockellampen und Niedervolt-Halogen-Stiftsockellampen sowie lineare T8-Leuchtstofflampen zurückgezogen.

A.2.2 Glühlichtquellen

Die frühen künstlichen Lichtquellen (z. B. Kerzen, Öllampen, Gaslampen usw.) waren allesamt Glühlichtquellen, d. h. sie gaben Strahlung ab, die von erhitzten Materialien erzeugt wurde. Gegenwärtig sind die einzigen verwendeten glühenden Lichtquellen Lampen auf Wolframbasis. Ein Wolframdraht wird beim Durchfluss elektrischen Stroms erwärmt, was zu einem Emissionsspektrum führt, das annähernd dem des schwarzen Strahlers folgt. In Wolfram-Halogen-Lichtquellen sind die Lampenkolben mit Halogengas gefüllt, um die Lebensdauer der Lichtquelle zu erhöhen. Der Großteil der von Wolfram-Lichtquellen emittierten Strahlung liegt im nahen Infrarotbereich, und nur ein geringer Anteil UV-Strahlung (etwa 2 % der sichtbaren Strahlung) wird emittiert. Obwohl die von Wolfram-Halogen-Lichtquellen emittierte ultraviolette Strahlung höher als die von vorstehenden Wolfram-Lichtquellen abgegebene ist, haben einige der in der EG und in den USA verkauften Wolfram-Halogen-Lichtquellen einen in die Glashülle eingebauten Ultraviolett-Filter, um die ultraviolette Emission unter das von genormten Wolfram-Lichtquellen emittierte Niveau zu senken. Die Zugabe des Halogengases verändert die Emissionsspitze in Richtung der kürzeren Wellenlängen, und entsprechend steigt die Farbtemperatur von etwa $2\,700\text{ K}$ (Wolframdraht) auf etwa $3\,200\text{ K}$ an. R_a (etwa 100) ist ausgezeichnet (siehe Bild A.2).



Legende

X Wellenlänge, nm

Y spektrale Strahldichte, W/Steradian·m²·nm

Bild A.2 — Dichroitische Wolfram-Halogen-Lichtquelle CCT = 3 000 K (Beispiel)

Zur Energieeinsparung ausschließlich Halogenlampen vom Typ ECO oder IRC (30 % weniger Energie) verwenden. Die Lichtausbeute des kompletten Beleuchtungssystems liegt zwischen 15 lm/W und 23 lm/W, und die Lebensdauer beträgt mehr als 2 000 h. Diese Lichtquellen lassen sich einfach dimmen, wodurch sich die Lebensdauer der Lichtquelle erhöht, die Farbtemperatur jedoch abnimmt.

A.2.3 Fluoreszierende Lichtquellen

Fluoreszierende Lichtquellen basieren auf der elektrischen Entladung zwischen zwei Elektroden in einer Röhre, die unter Niederdruck mit Dampf oder Gas (üblicherweise ein Gemisch aus Edelgasen, beispielsweise Argon/Krypton oder Argon/Neon, und Quecksilberdampf) gefüllt ist. Die Röhre ist mit Phosphor beschichtet, der die Strahlung im sichtbaren Bereich reemittiert, wenn er die UV-Strahlung absorbiert, die bei der elektrischen Entladung erzeugt wird. Das Emissionsspektrum dieser Lichtquellen ist ein Kontinuum mit überlagerten Emissionslinien des Gases und des Phosphors. Die Farbtemperatur und der Farbwiedergabeindex von fluoreszierenden Lichtquellen sind von der Phosphormischung abhängig, und erstrecken sich in der Regel über einen Bereich von 3 000 K bis etwa 6 500 K und mehr (7 500 K, 8 800 K und 15 000 K), beziehungsweise einen R_a von 80 bis 98 (siehe Bild A.3).