

VERLICHTING IN MUSEA EN EXPOSITIERUIMTEN

PRAKTIJKDOCUMENT

COMMISSIE BINNENVERLICHTING
Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSW)

NSVV werkgroep Museumverlichting:

Agnes Brokerhof, Instituut Collectie Nederland, Amsterdam

Nina Duggen, Erfgoedhuis Zuid-Holland (nu werkzaam bij
Erfgoedinspectie, Den Haag)

Martijn de Ruijter, Koninklijk Instituut voor de Tropen en
Reinwardt Academie, Amsterdam

Igor Santhagens, Rijksmuseum, Amsterdam

Henny Stermerdink, SLI Benelux, Breda

Rienk Visser, Grontmij Technical Management, Amersfoort

Hans Wolff, Hans Wolff & Partners b.v., Amsterdam

Omslagfoto: Igor Santhagens, Rijksmuseum Amsterdam

Ontwerp: Floortje Kok, Instituut Collectie Nederland

Druk: drukkerij Mart.Spruijt bv

ISBN 978-90-72905-53-6

©2008

Dit is een gezamenlijke uitgave van het ICN en de NSVV

Instituut Collectie Nederland (ICN)
Postbus 76709, 1070 KA Amsterdam
T 020 305 45 45
F 020 305 45 00
E info@icn.nl
www.icn.nl

**instituut
collectie
nederland**



Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV)
Postbus 539, 6710 BM EDE
T 0318 695 394
F 0318 640 214
E info@nsvv.nl
www.nsvv.nl



n s v v

**nederlandse
stichting
voor
verlichtingskunde**

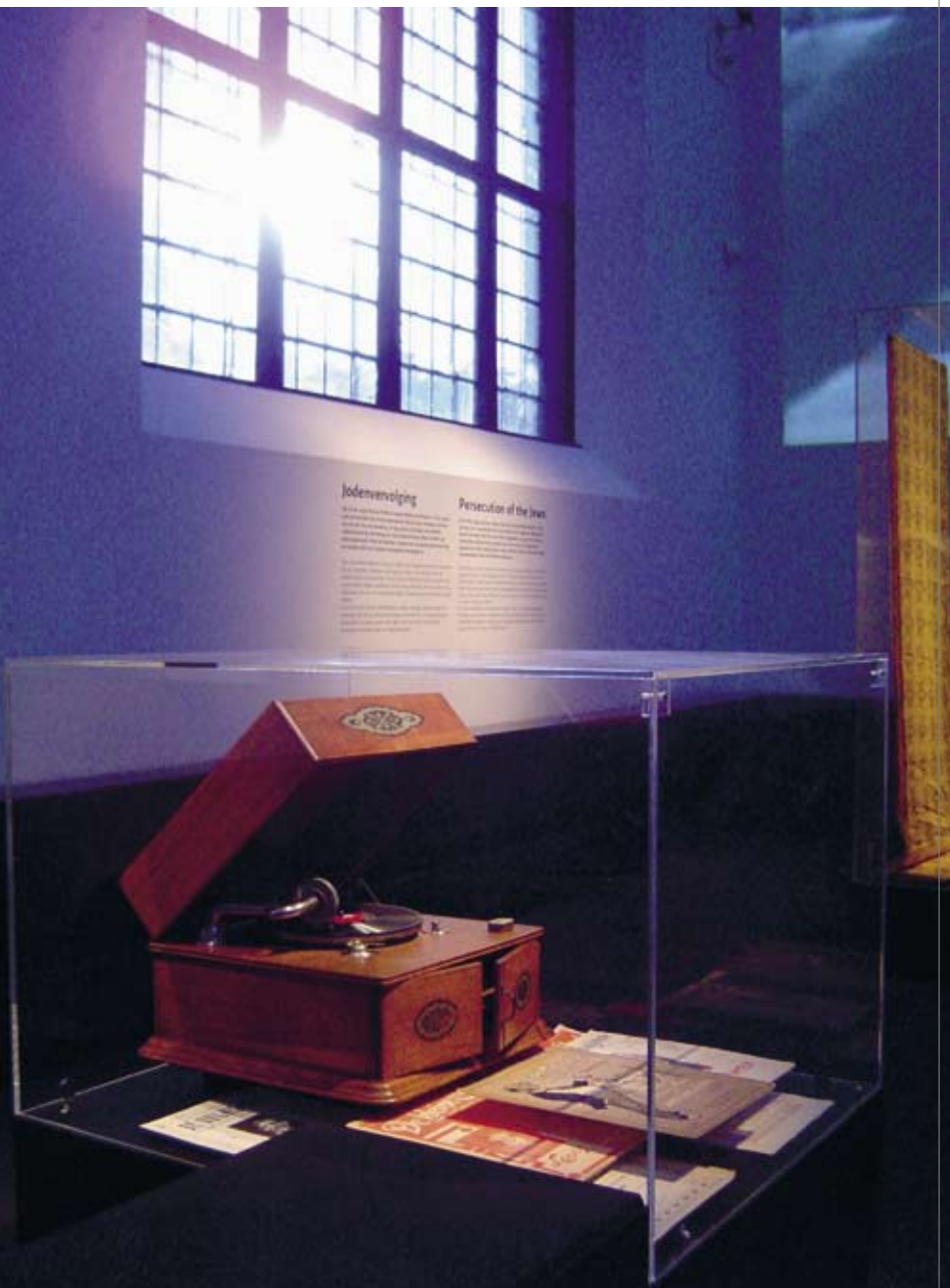
INHOUD

Voorwoord	7
1 Algemene Inleiding	8
2 Toepassingsgebied, doelgroepen en leeswijzer	10
3 Ontwerpcriteria	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Richtlijnen voor het lichtontwerp	11
3.2.1 Tentoonstellingsontwerp	12
3.2.2 Ruimtelijk ontwerp	12
3.2.3 Collectiebeleid	12
3.2.4 Plan van eisen voor het lichtontwerp	13
3.2.5 Lichtontwerp	13
3.2.6 Evaluatie en controle	14
3.3 Lichtplan voor een tijdelijke tentoonstelling	15
3.4 Lichtplan voor een permanente presentatie	16
3.5 Lichtontwerp en bouw	17
Vuistregels voor het lichtontwerp	19
4 Optische straling en visuele waarneming	20
4.1 Inleiding	20
4.2 Optische straling	20
4.2.1 Spectrum	20
4.2.2 Ultraviolette straling (UV)	20
4.2.3 Licht	21
4.2.4 Infrarode straling (IR)	22
4.3 Visuele waarneming	22
4.3.1 Hoeveelheid licht	22
4.3.2 Kwaliteit van het licht	23
5 Verlichting van musea en expositieruimten	28
5.1 Inleiding	28
5.2 Daglicht	29
5.3 Combinatie van daglicht en kunstlicht	30
5.4 Kunstlicht	32
5.5 Schoonmaak en werkverlichting	33
5.6 Noodverlichting	33
5.7 Beveiligingsverlichting	35
5.8 Depotverlichting	36
5.9 Atelierverslichting	36

6 Verlichting van objecten en vitrines	38
6.1 Inleiding	38
6.2 Accentverlichting: contrast, lichtrichting en bundelbreedte	38
6.2.1 Contrast in helderheid	38
6.2.2 Contrast in kleur	39
6.2.3 Richting van het licht	40
6.2.4 Bundelbreedte	42
6.3 Aanlichten van wandvlakken en accentverlichting	43
6.4 Vitrines en specifieke ruimtes	44
6.5 Speciale effecten	47
 7 Schade door optische straling en het beperken daarvan	 48
7.1 Inleiding	48
7.2 Schade door optische straling	48
7.2.1 Opwarming	48
7.2.2 Fotochemische afbraak	49
7.3 Richtlijnen voor museumverlichting	51
7.3.1 Richtlijnen in het verleden	51
7.3.2 Vernieuwde richtlijnen van het ICN in 2005	52
7.3.3 Bestraling beperken	52
7.3.4 Gevoeligheid van het voorwerp	54
7.3.4 Gevoeligheidsklassen	57
7.3.5 Acceptatie van schade door de collectiebeherende instelling	58
7.3.6 Belichtingsregime	59
 8 Verlichtingsmiddelen en gebruiksmogelijkheden	 66
8.1 Inleiding	66
8.2 Toepassing van daglicht en middelen om dit te reguleren	67
8.2.1 Direct invallend zonlicht vermijden	67
8.2.2 Daglicht sturen en reduceren	68
8.2.3 Reductie van UV-straling en IR-straling	70
8.3 Toepassingsmogelijkheden van kunstverlichting	72
8.3.1 Kunstlichtbronnen en hun eigenschappen	73
8.3.2 Armaturen en hun eigenschappen	85
8.4 Systemen voor verlichting via optische vezels	93
8.6 Maatregelen om schade door kunstlicht te beperken	96
8.6.1 Lichtschakel- en regelsystemen	97
8.6.2 Plaatsing van object ten opzichte van lichtbron	98

9 Investeringsen, exploitatie en onderhoud	100
9.1 Inleiding	100
9.2 Investeringskosten	100
9.3 Exploitatiekosten	100
9.4 Onderhoud	101
9.5 Lampvervanging	103
9.6 Armatuurreiniging	104
10 Meten van optische straling	107
10.1 Inleiding	107
10.2 Betrouwbaar meten	107
10.3 Het meten van verlichtingssterkten	108
10.4 Het meten van UV-straling	110
10.5 Het meten van luminanties	111
10.6 Loggers en dosimeters	111
10.7 Het meten van kleuren en kleurveranderingen	112
10.8 Het meten van stralingsgrootheden	113
Bijlagen	
A - Begrippen en trefwoordenlijst	114
B - Rekenvoorbeelden belichtingsregime	120
C - Overzicht gevoeligheid materialen	125
D - Flitslicht, kopiëren en scannen	136
E - UV-werende eigenschappen van verschillende typen glas, kunststof en folies voor museale doeleinden	137
F - Referenties en bibliografie, websites	144

Voorbeeld van gefilterd daglicht en accentverlichting buiten de vitrine. Deze opstelling is te zien in het Joods Historisch Museum in Amsterdam.



VOORWOORD

In 2003 is door de Commissie Binnenverlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV) een aantal werkgroepen in het leven geroepen, met als doel om documenten op te stellen met algemene richtlijnen voor verlichting van specifieke doelgebieden. De publicatie die voor u ligt betreft verlichting in musea en expositieruimten. Andere praktijkdocumenten hebben betrekking op:

- ⌘ Licht en gezondheid
- ⌘ Industrie
- ⌘ Kantoren
- ⌘ Onderwijs
- ⌘ Winkels

Deze publicatie is opgesteld door een werkgroep die is samengesteld uit deskundigen op het gebied van museumverlichting, conservering van museale collecties, adviserende instellingen, ontwerp bureaus en onderzoeksinstituten. Zij hebben op vrijwillige basis hun krachten gebundeld om voor de NSVV een bruikbaar praktijkdocument op te stellen.

Het manuscript van dit praktijkdocument is gelezen door een groep potentiële gebruikers: Joost Dekkers (Nederlands Openluchtmuseum, Arnhem), Rik Doornberg (Museumconsulent, Historisch Perspectief Noord-Holland, Haarlem), Marysa Otte (Museumconsulent, Gelders Erfgoed, Zutphen), Peter Schoutens (Museum Ons' Lieve Heer op Solder, Amsterdam), Gied van Hoorn en René Pieterman (ERCO, Naarden), Paul van Gelderen (Immen, Molenschot). De auteurs danken hen van harte voor alle commentaar en suggesties ter verbetering van de tekst. Eventueel resterende onjuistheden komen geheel voor rekening van de auteurs.

De foto's en figuren zijn van SLI Benelux, Philips, Osram, Zumtobel, Etap, Erco, Fairlight, Lichtconsult.nl, ICN, Roblon en Q-cad, Marjolein Ansink, Igor Santhagens, Robert Jan Vos, Koen Smits en Rienk Visser.

1 ALGEMENE INLEIDING

Musea en andere collectiebeherende instellingen hebben als doelstelling om objecten te verzamelen, te bestuderen, beschikbaar te stellen aan derden, te tonen aan het publiek en ze zo goed mogelijk voor het nageslacht te bewaren. Twee onderdelen van deze doelstelling vormen de uitgangspunten voor dit praktijkdocument museumverlichting: het aan belangstellenden tonen van voorwerpen van culturele waarde, kunst, archeologie en architectuur uit verleden en heden in permanente of tijdelijke exposities, en het voor de toekomst bewaren van de collecties in een zo optimaal mogelijke staat.

Musea en expositieruimtes zijn bij uitstek plaatsen waarin licht een belangrijke rol speelt. Om vorm, kleur en textuur te kunnen zien is licht nodig. In het donker ziet men niets. Pas wanneer een voorwerp licht uitstraalt of reflecteert, wordt het waarneembaar. Maar ook de ruimte waarin de voorwerpen zich bevinden moet verlicht worden. Dit geldt in de eerste plaats vanwege de functionele eisen, maar ook omdat een aantrekkelijke verlichting een ruimte 'leesbaar' en uitnodigend kan maken. Wanneer de ruimte zelf de moeite van het bekijken waard is, moet deze bovendien zelf met behulp van de juiste verlichting tot zijn recht komen. De manier van verlichten bepaalt tevens de sfeer in een ruimte en ondersteunt zo het te vertellen verhaal van de expositie. De sfeer en beleving worden ondermeer bepaald door het soort lichtbron, de kleur van het licht, de kleurweergave, het verlichtingsniveau en de richting van het licht. Steeds moet rekening worden gehouden met het kijkcomfort van de bezoeker die behalve de voorwerpen ook informatie zoals tekstbordjes in verschillende lettergrootte moet kunnen zien.

Licht veroorzaakt echter schade, zelfs bij kleine hoeveelheden, alleen duurt het dan langer voordat de schade optreedt. Lichtschade is cumulatief en onomkeerbaar. Iedere hoeveelheid licht die op een voorwerp valt, voegt een beetje schade toe die niet meer ongedaan gemaakt kan worden. Een onderbelicht voorwerp loopt dus toch schade op, terwijl de kijker er niet ten volste van kan genieten. Een overbelicht voorwerp wordt extra beschadigd, zonder dat het extra waardering oplevert. Zeker bij beeldende kunst hangen de betekenissen van de voorwerpen en de beleving ervan heel sterk af van de manier van tentoonstellen en zichtbaar maken. Daarnaast en vooral bij informatieve tentoonstellingen moet de informatie leesbaar zijn en moet de context van het te vertellen verhaal voldoende worden belicht.



Bij de inrichting van tentoonstellingen moet men dus een evenwicht vinden tussen goed zien, een prettige beleving van de ruimte en minimale schade aan de voorwerpen.

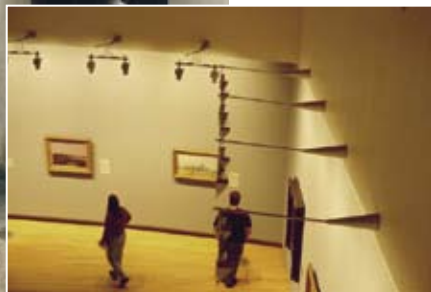
In veel ruimten in musea wordt met twee soorten licht gewerkt: daglicht en kunstlicht. Er kan voor een van beide worden gekozen of ze kunnen gemengd worden gebruikt. Iedere soort heeft zijn eigen karakteristieke eigenschappen, voordelen en nadelen. Buiten de normale openingstijden is meestal kunstlicht nodig tijdens het schoonmaken, bij recepties en bij speciale evenementen. Een andere vereiste soort verlichting is noodverlichting, om in geval van calamiteit de mensen een veilige weg naar buiten te wijzen in combinatie met een goed zichtbare aanduiding van de nooduitgangen. Daarnaast is veelal ook beveiligingsverlichting nodig, die ervoor moet zorgen dat criminelen worden afgeschrikt of dat beveiligingscamera's een goed beeld kunnen registreren.

Er zijn verschillende methoden voor het verlichten van ruimten en objecten. Hierbij kan in grote lijnen onderscheid worden gemaakt tussen algemene verlichting, plaatselijk aanvullende verlichting en accentverlichting. Plaatselijk kan verlichting ook worden gebruikt voor decoratieve effecten. Afhankelijk van de aard van de opstelling kan een keuze worden gemaakt uit vaste en tijdelijke verlichtingsmiddelen.

Dit document is bedoeld om inzicht te geven in de mogelijkheden die verlichting biedt om voorwerpen en ruimten in musea en exposities goed te verlichten op een manier waarbij de eventuele schade door optische straling binnen acceptabele grenzen blijft.



Fig 1.1.
Voorbeeld van
verlichting in het
Louvre (links)
en Het Van Gogh
Museum (onder)



2 TOEPASSINGSGEBIED, DOELGROEPEN EN LEESWIJZER

Toepassingsgebied

Dit praktijkdocument is van toepassing voor alle ruimten waarin museale en andere voorwerpen van culturele waarde gedurende langere of kortere tijd worden geëxposeerd. Tevens wordt enige aandacht besteed aan restauratieateliers en ruimten waarin de voorwerpen worden bewaard.

Doelgroepen

Het document is in eerste instantie bedoeld voor architecten, collectiebeheerders, conservatoren, technische dienst, restauratoren en ontwerpers van de verlichting voor musea en expositieruimtes en voor diegenen die deze aanleggen en gebruiken. Daarnaast is het ook een leidraad voor beheerders en degenen tot wier taak het verlenen van vergunningen, het toetsen van plannen en van installaties en het behandelen van klachten behoort.

Leeswijzer

Dit document combineert de huidige stand van kennis op het gebied van verlichting, tentoonstelling en conservering. Uitgangspunt van dit praktijkdocument zijn de ontwerpcriteria voor musea en expositieruimten (hoofdstuk 3). Na een introductie van de basisprincipes van optische straling en visuele waarneming (hoofdstuk 4) wordt het driedelige doel van museumverlichting uitgewerkt: de bezoeker moet de voorwerpen kunnen zien (hoofdstuk 6), in een uitnodigend verlichte ruimte (hoofdstuk 5), waarbij echter de schade als gevolg van licht tot een minimum beperkt blijft (hoofdstuk 7). Hoofdstuk 8 beschrijft de verschillende verlichtingsmiddelen en hun gebruiksmogelijkheden, zowel daglicht, kunstlicht als combinaties van beiden. In hoofdstuk 9 komen investeringen, exploitatie en onderhoud aan de orde. Hoofdstuk 10 bespreekt tot slot de verschillende aspecten van het meten van optische straling. In de bijlagen worden voorbeelden en praktische details gegeven. Dit praktijkdocument sluit aan bij de vernieuwde richtlijnen voor museumverlichting van het Instituut Collectie Nederland (2006).

3 ONTWERPCRITERIA

3.1 INLEIDING

Om vorm, kleur en textuur te zien is licht nodig. Maar licht veroorzaakt schade aan materialen die daar gevoelig voor zijn. Zelfs kleine hoeveelheden licht veroorzaken schade, alleen duurt het dan langer voordat de schade zichtbaar wordt. Omdat lichtschade cumulatief en onomkeerbaar is, moet worden gezocht naar een optimale oplossing waarbij rekening wordt gehouden met de kwaliteit van het zien en de acceptabele schade die het object oploopt. Het doel van museumverlichting is daarom driedelig:

- ⌘ de bezoeker moet de voorwerpen kunnen zien,
- ⌘ de objecten moeten aantrekkelijk zijn uitgelicht veelal ook in een uitnodigend verlichte ruimte,
- ⌘ waarbij echter de schade als gevolg van licht tot een minimum beperkt blijft.

Collectiebeheerders, architecten en verlichtingsontwerpers moeten het dus eens worden over de gewenste attractiviteit van de expositie, de hoeveelheid licht die voor het publiek nodig is om de objecten goed te kunnen zien en de informatie hierover goed te kunnen lezen, het beperken van de schade aan lichtgevoelige objecten, de inpassing in het interieur, de gewenste dramatiek, etc. Dit vereist onder andere van de collectiebeherende instelling dat zij een standpunt inneemt over de acceptatie van schade als gevolg van tentoonstelling (wat overigens meer is dan schade als gevolg van licht, denk ook aan vandalisme en diefstal). Op basis van de geplande duur van de tentoonstelling, de te verwachten schade en de mate van schade die acceptabel is, kan de collectiebeheerder uiteindelijk aangeven welke verlichtingsniveaus en belichtingsregimes acceptabel zijn. In overleg met de ontwerper kunnen dan de ontwerpcriteria worden geformuleerd en kan een lichtplan worden opgesteld dat met alle criteria rekening houdt. Daarnaast spelen ook de aanschaffkosten en de onderhoudskosten van de verlichting veelal een belangrijke rol.

In dit hoofdstuk worden de bouwstenen voor het lichtontwerp besproken. In de hoofdstukken hierna wordt nader op details van de verschillende bouwstenen ingegaan.

3.2 RICHTLIJNEN VOOR HET LICHTONTWERP

Een lichtontwerp wordt dus opgesteld op basis van het doel van museumverlichting: de bezoeker moet de voorwerpen kunnen zien, aantrekkelijk uitgelicht, veelal in een uitnodigend verlichte ruimte,

waarbij de schade aan objecten als gevolg van blootstelling aan licht tot een minimum beperkt blijft. Het toepassen van licht creëert echter veelal een spanningsveld tussen verschillende afdelingen met verschillende belangen. Het is daarom van belang dat de uitgangspunten voor het lichtbeleid met de betrokkenen op tijd en op het juiste niveau worden doorgesproken. Dit zorgt er voor dat medewerkers op tijd geïnformeerd zijn over de verschillende standpunten en deze tot een afgewogen beslissing kunnen leiden.

3.2.1 Tentoonstellingsontwerp

Het lichtontwerp is een onderdeel van het tentoonstellingsontwerp. Een tentoonstelling, of dat nu een tijdelijke tentoonstelling is of een permanente presentatie, heeft een doel. Aan de hand van de objecten wordt een bepaald verhaal gepresenteerd en wordt informatie verschaft. Voor de beleving van het verhaal is de sfeer in de tentoonstelling zeer bepalend. Deze wordt in grote mate gecreëerd door de verlichting. De tentoonstelling is tevens gericht op een bepaald publiek. Het verlichtingsniveau zal onder andere moeten worden afgestemd op de leeftijd van dat publiek.

3.2.2 Ruimtelijk ontwerp

Onderdeel van het tentoonstellingsontwerp is het ruimtelijk ontwerp. Hierin wordt aangegeven hoe de objecten worden tentoongesteld: vrijstaand in de ruimte, hangend aan de wand, in vitrines geplaatst. Het ruimtelijk ontwerp is gekoppeld aan de selectie van tentoon te stellen objecten en daarmee aan het collectiebeleid. Hierbij dient ook te worden afgewogen of lichtgevoelige objecten eventueel op plaatsen met een lager lichtniveau kunnen worden opgesteld, bijvoorbeeld niet naast een raam.

3.2.3 Collectiebeleid

In de context van het collectiebeleid zou een instelling al moeten hebben nagedacht over de periode waarover de objecten tenminste moeten bewaard en de acceptatie van schade binnen die termijn. In de archiefwet staat bijvoorbeeld dat archiefcollecties over een periode van honderd jaar geen noemenswaardige achteruitgang mogen ondergaan. Voor musea is er geen wet, maar de meeste instellingen zeggen hun collecties voor de eeuwigheid te bewaren. Dit komt in praktijk neer op een paar honderd tot duizend jaar of nog langer. Gegeven het feit dat optische straling een van de belangrijkste veroorzakers van schade aan objecten tijdens tentoonstellingen is, zal de collectiebeheerder een uitspraak moeten doen over acceptatie van schade op kortere termijn als gevolg van tentoonstelling. Dit bepaalt in grote mate de eisen voor het lichtontwerp.

3.2.4 Plan van eisen voor het lichtontwerp

In het plan van eisen voor het lichtontwerp wordt eerst voor de geselecteerde objecten bepaald wat hun lichtgevoeligheid is. Hierbij wordt uitgegaan van het meest gevoelige materiaal dat erin is verwerkt. Als de materialen of hun gevoeligheid niet bekend zijn, kan aan de hand van voorbeelden van voorwerpen in de overzichtstabel een conservatieve inschatting worden gemaakt (Zie hoofdstuk 6).

Op basis van de uitspraak over schadeacceptatie en aan de hand van de relatie tussen belichtingsdosis en schade kan vervolgens worden bepaald wat de belichtingsdosis is die tot één 'juist waarneembare verandering' (jwv) leidt en wat derhalve de maximale belichtingsdosis (lux.uren) tijdens de tentoonstellingsperiode mag zijn (Zie hoofdstuk 6). Die dosis moet worden afgestemd op de effectieve belichting: de minimale verlichtingssterkte die nodig is om de voorwerpen en informatie optimaal zichtbaar te maken voor het publiek. Hierbij moet rekening worden gehouden met de ooggevoeligheid van de doelgroepen waar de tentoonstelling zich op richt. Nu kan een aantal belichtingsregimes worden uitgewerkt waarbij met verlichtingssterkte en belichtingsduur kan worden gevarieerd binnen de toelaatbare belichtingsdosis. Aan de hand hiervan kunnen de mogelijkheden voor verlichting met het ontwerpteam worden overlegd. Daarbij kan ook worden nagedacht over technische mogelijkheden om bijvoorbeeld de belichtingsduur te reduceren of over een rouleerplan voor objecten waarvoor anders de tentoonstellingsperiode te lang is.

Een van de algemene uitgangspunten voor het lichtplan is de reductie van onnodige optische straling. Voor gevoelige materialen moet het gehalte UV-straling in het licht (golflengte < 400 nm) zo laag mogelijk zijn. Technisch is het mogelijk om het tot $< 10 \mu\text{W.lm}^{-1}$ terug te brengen. In ieder geval mag een waarde van $< 75 \mu\text{W.lm}^{-1}$ niet worden overschreden (gloeilampniveau). Daarbij moet ook rekening worden gehouden met binnenvallend daglicht. Dat is vaak de grootste bron van UV-straling. Verder moet onnodige belichting worden voorkomen. Als er niemand is, hoeft het licht niet aan. Opwarming door IR-straling en warmteproductie van de lichtbronnen moet worden geminimaliseerd.

3.2.5 Lichtontwerp

Aan de hand van de randvoorwaarden voor het lichtplan kan het uiteindelijke lichtontwerp worden uitgewerkt. Voor de algemene ruimteverlichting moeten keuzes worden gemaakt voor het type verlichting: daglicht, kunstlicht of een combinatie van beiden om de gewenste sfeer te creëren, een al dan niet natuurgetrouwe uitstra-

ling te geven en de bezoekers door de ruimte te leiden. Hierbij moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid het licht te elimineren als er niemand aanwezig is, het weren van UV- en IR-straling, de invloed van lampen op het binnenklimaat door opwarming en de mogelijkheid tot dimmen van het licht (hierdoor veranderen de kleur en de kleurweergave van de lichtbron in veel gevallen). Daarna moet worden bepaald hoe de eventuele theatrale verlichting van de ruimte kan worden gerealiseerd, bijvoorbeeld met bepaalde floodlights of aangelichte wandvlakken met gekleurd licht.

Ook voor de accentverlichting moet een keuze worden gemaakt uit typen lampen en hun vermogen, typen armaturen en hun invloed op de lichtverdeling, de manier van montage (los, op een rail) en mogelijkheden om verblinding en reflectie te voorkomen, het gebruik van accessoires voor bepaalde effecten (kleurcorrectie, diffuserend filter, maskers, kleppen) en schakel- en regelsystemen (dimmers, contactmatten, aanwezigheidsmelders, drukknoppen met tijdschakelaar). Voor zowel de algemene verlichting als de accentverlichting moet rekening worden gehouden met de wens of de mogelijkheid om verlichting, armaturen of elektronica te integreren in de architectuur, bijvoorbeeld het gebruik van de kapconstructie of verlaagde plafonds.

Bij het uitlichten moeten de algemene verlichting en de accentverlichting onderling zo worden afgestemd dat de juiste contrastverhoudingen worden verkregen om binnen de geaccepteerde belichtingsdosis optimale zichtbaarheid te verkrijgen. Ook moet worden gecontroleerd of de voorwerpen, of de vitrine waarin de voorwerpen zich bevinden, niet opwarmen als gevolg van opvallende straling of warmteproductie door armaturen. De meest eenvoudige manier om te bepalen of er overmatige warmteontwikkeling optreedt, is om de eigen hand bij het object in de bundel te houden. Als het daar warm aanvoelt, is de warmteontwikkeling te groot. De temperatuur kan ook met een thermometer bij het object worden gemeten. In de bundel mag het niet meer dan 3°C warmer zijn dan de omgeving. Daarbij moet er rekening mee houden dat donkere objecten en donkere partijen in bijvoorbeeld een schilderij meer opwarmen als gevolg van opvallende straling dan lichte objecten en partijen.

3.2.6 Evaluatie en controle

Ook gedurende een tentoonstelling moet regelmatig worden gecontroleerd of de uitlichting nog voldoet aan het gewenste resultaat en binnen de toegestane belichtingsdosis blijft. Hiertoe moeten verlichtingssterkte, UV-gehalte, belichtingsduur en

opwarming bij het voorwerp worden gecontroleerd met behulp van (hand)meters, lichtloggers, of dosimeters. Controleer ook of maatregelen om belichting te beperken, voldoen.

Om in de toekomst te weten hoeveel licht een object in zijn tentoonstellingsverleden al heeft ontvangen moet de belichtingsdosis in een logboek of in het collectieregistratiesysteem worden bijgehouden. Op die manier kan een 'lichtboekhouding' worden gevoerd.

3.3 LICHTPLAN VOOR EEN TIJDELIJKE TENTOONSTELLING

Het dient aanbeveling dat voor iedere tijdelijke tentoonstelling het tentoonstellingsteam al tijdens de voorbereiding ook over de verlichting overleg pleegt. De algemene richtlijnen voor het verlichten van objecten moeten vooraf doorgesproken worden en de vormgever moet op tijd het lichtplan hebben. Door de randvoorwaarden vooraf duidelijk te omschrijven, wordt inzichtelijk welke keuzes moeten worden gemaakt over de wijze waarop de objecten worden ingezet. Bovendien wordt vroegtijdig duidelijk of er voldoende armaturen van het juiste type in de ruimte aanwezig zijn. Wanneer er planmatig wordt gewerkt, kunnen op tijd afwegingen worden gemaakt en de juiste voorbereidingen worden getroffen. Het team kan zo beslissen of het nodig is om objecten gedurende een tentoonstellingsperiode tussentijds te wisselen. Dit heeft gevolgen voor de toegankelijkheid van vitrines en het aantal objecten dat beschikbaar moet zijn en voor tentoonstelling moet worden gereed gemaakt. Ook kan besloten worden om extra voorzieningen in of ter plaatse van de vitrine aan te brengen zoals een sensor, contactmat of lichtknop om de belichtingstijd te beperken. Men zou zelfs kunnen overwegen een minder lange levensduur van de objecten te accepteren. Dat zal een heroverweging van het collectiebeleid vergen. Ook kan vooraf gecontroleerd worden of de verlichting voor onacceptabele schommelingen in het klimaat in de vitrine zorgt. Wanneer de uitgangspunten voor zowel het ontwerp van de ruimte als het lichtontwerp duidelijk omschreven zijn, kunnen maatregelen worden getroffen zodat er tijdens de inrichting geen onaangename verrassingen optreden.

Fig. 3.1
Flexibele verlichting
op rail in de Gana
Art Gallery en het
Prentenkabinet in
het Joods Historisch
Museum, Amsterdam



Het is heel vervelend als er tijdens de inrichting conflicten ontstaan tussen diverse belanghebbenden en om achteraf verbeteringen aan te moeten brengen.

In tentoonstellingsruimtes waar wisselende opstellingen plaatsvinden, is een raster van spanningsrails wenselijk. Hoe fijnmaziger het raster, hoe veelzijdiger de toepassing kan zijn. Een maaswijdte van 1,5 tot 2 m is praktisch omdat er dan vanuit veel hoeken lichtbronnen geplaatst kunnen worden. Vanaf deze rails kan ook de elektrische aansluiting voor de verlichting van de vitrines worden gerealiseerd. Spanningsrails bieden de mogelijkheid om algemene verlichting en accentverlichting in een systeem te combineren. Een raster in de vloer is eveneens praktisch. Vloerpotten kunnen gecombineerd worden met aansluitingen voor computers, zodat computergestuurde toepassingen voor verlichting van vitrines en bijvoorbeeld beveiligingsverlichting mogelijk zijn. Ditzelfde geldt voor aansluitingen in de plinten, waarvan het praktisch is op elke 2 tot 4 m een gecombineerde aansluiting te hebben.

3.4 LICHTPLAN VOOR EEN PERMANENTE PRESENTATIE

Net als voor een tijdelijke tentoonstelling, is het noodzakelijk om een goed lichtplan als basis voor een vaste presentatie in een museum te hebben. Men kan kiezen voor een universeel systeem dat op verschillende manieren toe te passen is. Het lichtsysteem kan ook voor de specifieke opstelling ontworpen worden. Het is eventueel mogelijk om armaturen minder zichtbaar te plaatsen. Het integreren van verlichting in plafonds, vitrines en opstellingen is een technisch ingewikkelde opgave die vaak leidt tot een hoge kostenpost. Hoe meer geïntegreerd, hoe minder flexibel het systeem is. Omdat ook vaste opstellingen na een jaar of 7 tot 10 worden veranderd, geeft een hoge mate van integratie op de langere duur extra verbouwkosten.

Vele musea beschikken over een vast lichtplan, al dan niet bepaald door de architectuur. Door eenmalig het licht goed in te stellen, kunnen alle vooraf bepaalde voorwaarden blijvend gehandhaafd worden. Computergestuurde lichtschakeling in de tentoonstellingszalen kunnen bijvoorbeeld automatisch de in- en uitschakeltijden en instellingen van het licht regelen, zoals de nachtverlichting, schoonmaakverlichting en tentoonstellingsverlichting.

3.5 LICHTONTWERP EN BOUW

Al tijdens de eerste ontwerpplannen voor een tentoonstellingsgebouw moet licht worden gezien als één van de belangrijkste componenten van de architectuur. Een gebouw is immers een spel van vorm, volume, materiaal en licht. De eerste vragen die een architect zich zou moeten afvragen zijn: wat gaat er getoond worden? Wat zijn de randvoorwaarden voor de objecten? Hoeveel daglicht is aanvaardbaar? Hoe combineer je dit met additionele verlichting? Hoe willen we dat mensen de ruimte en de objecten ervaren? Een opdrachtgever zal in een programma van eisen duidelijk moeten maken wat de verwachtingen en randvoorwaarden zijn; het is de taak van de architect dit te realiseren. In zo'n programma van eisen kunnen de volgende punten aan bod komen:

- ⌘ Presentatie > beoogd doel
 > verwachtingen van het eindresultaat
- ⌘ Conservering > richtlijnen met betrekking tot conservering
 > verlichtingssterktes en verlichtingsduur
 > warmteontwikkeling door verlichting
- ⌘ Uitvoering > regeling lichtinstallatie
 > onderhoudsaspecten
 > financiële mogelijkheden

Het is de bedoeling dat door een degelijke opsomming van criteria een basis wordt gevormd waarop keuzes kunnen worden gemaakt. Dit programma van eisen is het document waarin de opdrachtgever omschrijft aan welke eisen het ontwerp moet voldoen. Vervolgens gaat de verlichtingsontwerper dit in direct overleg met de architect vertalen naar een creatief en technisch plan. Dit plan is voor de opdrachtgever een controle-instrument, een werkplan voor de installateur en maakt het mogelijk om een begroting te maken en op tijd de benodigde lampen en armaturen te bestellen. De gefaseerde uitwerking van het lichtplan, bijvoorbeeld in een schetsontwerp, voorlopig ontwerp, definitief ontwerp en bestekfase, is een belangrijk onderdeel in het werkproces. Het geeft de betrokkenen structuur en vaste overlegmomenten om de plannen te toetsen en zonodig bij te stellen.

Ook bij een bestaande tentoonstellingslocatie kan er van een zelfde ontwerpproces gesproken worden, bijvoorbeeld bij een herinrichting of een verbouwing. In dit geval staat er echter vaak al een aantal gegevens vast.



Fig. 3.2. Lichtontwerp in het Jubelparkmuseum in Brussel, onderdeel van de Koninklijke Musea voor Kunst en Geschiedenis.

VUISTREGELS VOOR HET LICHTONTWERP

1 Tentoonstellingsontwerp

- Bepaal wat het doel van de tentoonstelling is
- Bepaal wat de sfeer van de tentoonstelling moet worden (zie 5a-c)
- Bepaal op welke bezoekers de tentoonstelling zich richt (zie 4.e)

2 Ruimtelijk ontwerp

- Bepaal hoe de objecten gaan worden opgesteld
- Bepaal of de opstelling aan de lichtniveaus in de ruimte kan worden aangepast (zie 4.f)
- Bepaal de selectie van de objecten (zie 3.a)

3 Collectiebeleid

- Bepaal of de geselecteerde objecten kunnen worden tentoongesteld (zie 2.c)
- Bepaal over welke periode een juist waarneembare verandering mag optreden (zie 4.c)
- Bepaal of rouleren van objecten in de tentoonstelling een optie is (zie 4.f)

4 Plan van eisen voor het lichtontwerp

- Bepaal de lichtgevoeligheidsklasse van de tentoon te stellen objecten
- Reduceer indien nodig het UV-gehalte in het licht zoveel mogelijk
- Bepaal de belichtingsdosis (lux.uren) die bij het haalbare UV-gehalte tot 1 jwv zal leiden
- Bepaal de minimale verlichtingssterkte die de doelgroep nodig heeft om optimaal te zien
- Bepaal de gewenste kleurweergave en kleurtemperatuur
- Werk een aantal mogelijke belichtingsregimes uit
- Stem de effectieve belichting en de belichtingsduur op elkaar af binnen de acceptabele belichtingsdosis (aanpassing belichtingsduur, type verlichting en opstelling)

5 Lichtontwerp

- Bepaal hoe de algemene verlichting wordt uitgevoerd (daglicht, kunstlicht of een combinatie). Houd rekening met: elimineren van licht als niemand aanwezig is, elimineren UV- en IR-straling, invloed van lampen op het binnenklimaat, mogelijkheid tot dimmen
- Bepaal hoe de eventuele theatrale verlichting van de ruimte moet worden uitgevoerd
- Bepaal hoe de accentverlichting moet worden uitgevoerd en hoe de lichtbron beheersbaar gemaakt kan worden. Houd rekening met: type lamp, wattage, type armatuur en beïnvloeden van de lichtbundel, manier van montage, gebruik van accessoires, schakel- en regelapparatuur
- Houd bij de verlichting rekening met de integratie in de architectuur
- Voltooi het uitlichten: stem algemene verlichting en accentverlichting onderling af voor de optimale contrastverhoudingen
- Controleer of er geen opwarming plaatsvindt

6 Evaluatie en controle

- Controleer of de uitlichting voldoet aan het gewenste resultaat maar binnen de toegestane belichtingsdosis blijft
- Monitor de belichting door regelmatig verlichtingssterkte, UV-gehalte, belichtingsduur, opwarming bij het voorwerp en maatregelen om belichting te beperken te controleren
- Houd voor ieder voorwerp de belichting bij in een logboek of in het collectieregistratiesysteem.

4 OPTISCHE STRALING EN VISUELE WAARNEMING

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op optische straling, zien en de werking van licht. Licht is nodig om te kunnen zien. De toegepaste lichtbronnen om dit mogelijk te maken hebben invloed op de beleving van het licht en waarneming van kleuren. Zonder kennis van wat licht is en welk effect het heeft op de beleving, is het moeilijk om te begrijpen wat met verlichting gedaan kan worden en vooral hoe schade door licht wordt veroorzaakt en hoe dat kan worden voorkomen.

4.2 OPTISCHE STRALING

4.2.1 Spectrum

Bij verlichting hebben we te maken met optische straling waarvan de golflengtes liggen tussen de 1 nm en 1 mm. Het menselijke oog kan alleen straling met een golflengte van 380 nm (violet) tot 780 nm (rood) waarnemen, dit gebied is het zichtbare licht. Van 100 tot 400 nm is het gebied van de onzichtbare ultraviolette straling (UV). Van 780 nm tot 1 mm is het gebied van de eveneens onzichtbare infrarode straling (IR) (figuur 4.1).

Fig. 4.1
Optische straling,
golflengtes en
frequenties

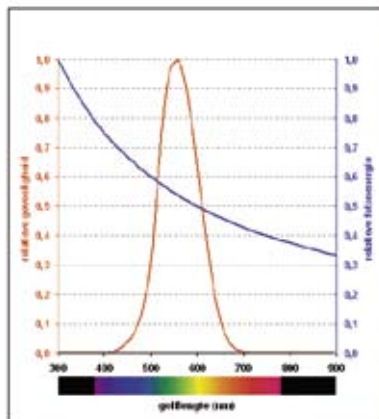
		ultraviolet			zichtbaar licht							infrarood			radiogolven
Röntgenstraling		UV-C	UV-B	UV-A								IR-A	IR-B	IR-C	
golflengte (nm)		100-280	280-315	315-380	380-420	420-490	490-560	560-590	590-610	610-780	780-1400	1400-3000	3000-1000000	1000000	
frequentie (MHz)		3	1	0,95	0,79	0,67	0,57	0,52	0,48	0,43	0,38	0,21	0,1	0,0003	

4.2.2 Ultraviolette straling (UV)

Daglicht en kunstlicht bevatten in het algemeen allebei ultraviolette straling. Omdat UV-straling een hoge energie heeft, is het de meest schadelijke component in het spectrum (figuur 4.2). Glas houdt de meest schadelijke UV-C en UV-B straling tegen, maar laat een deel van de UV-A straling met een golflengte van meer dan 320 nm door. UV-straling is vooral verantwoordelijk voor reacties waarbij moleculen

kapot gaan, zoals ketenbreuk, en voor koppeling van ketens, cross-linking. Hierbij treedt ook vaak een reactie met zuurstof op, de zogenaamde foto-oxidatie. Schade door UV-straling valt meestal het eerst op als vergeling van materialen en verbleking van kleuren. Daarna verliest het materiaal zijn sterkte, wordt bros en verkrumelt. Een goed voorbeeld daarvan is de inwerking van licht op krantenpapier of polyurethaanschuim. De hoeveelheid UV-straling in een lichtbundel, het UV-gehalte, wordt uitgedrukt in microwatt per lumen ($\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$). Veelal wordt een UV-gehalte van maximaal $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ geaccepteerd. Dit is het gemiddelde UV-gehalte van gloeilampen, de kunstlichtbron die in de tijd dat de eerste richtlijnen voor musea werden opgesteld, het minst schadelijk was. Tegenwoordig zijn er lampen en filters verkrijgbaar die het UV-gehalte tot minder dan $10 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ terug kunnen brengen. Zo'n laag UV-gehalte verdient uiteraard de voorkeur.

Fig. 4.2
Standaardoog-
gevoeligheidskromme
(linker as) en de
relatieve energie van
straling met verschil-
lende golflengtes
(rechter as).
De niet-zichtbare
straling in het UV-
gebied (<400 nm)
heeft de meeste
energie en is het
schadelijkst.



4.2.3 Licht

Licht is het gedeelte van het spectrum dat ervoor zorgt dat wij de wereld om ons heen kunnen zien. Wit licht is samengesteld uit straling met verschillende golflengtes. Als het door een prisma valt, worden de samenstellende kleuren zichtbaar als het spectrum. Wij kunnen objecten waarnemen omdat ze licht uitstralen of opvallend licht terugkaatsen. Objecten krijgen kleur omdat ze bepaalde golflengtes uit het spectrum absorberen of doorlaten en andere golflengtes reflecteren. Een object dat alle straling absorbeert, is zwart. Een object dat alles terugkaatst, is wit. Een blauw object absorbeert vooral straling in het groene en rode gebied, een rood object absorbeert juist veel blauwe en groene straling. Licht heeft weliswaar

minder energie dan UV-straling, maar is wel degelijk schadelijk. Vooral processen als verkleuren en verbleken zijn aan de zichtbare straling te wijten, waarbij de geabsorbeerde golflengtes belangrijk zijn. Licht heeft niet voldoende energie om diep in materialen door te dringen. De schade die door zichtbare straling wordt veroorzaakt, is daarom vooral aan de oppervlakte te zien. In verflagen verbleken pigmenten over het algemeen in het bovenste laagje van zo'n 40 µm dikte (Michalski, 1987).

4.2.4 Infrarode straling (IR)

Infrarode straling kunnen wij niet zien, maar wel als warmte ervaren. Deze warmte is meestal niet voldoende om chemische reacties op te starten, maar als een chemische reactie al op gang is, zal warmte de reactie versnellen. IR-straling veroorzaakt bovendien opwarming van oppervlakken wat kan leiden tot uitdroging, krimp, vervorming en scheurvorming. In voorwerpen waarin materialen zijn verwerkt die verschillend krimpen en uitzetten, kan opwarming tot spanningen leiden en kunnen barsten ontstaan. Vooral de cyclische belasting van dagelijks opwarmen en afkoelen als de lampen aan en weer uitgaan, kan tot barsten en scheuren leiden.

4.3 VISUELE WAARNEMING

De wereld zien we in kleur door een combinatie van drie factoren: de lichtbron, de voorwerpen die door de lichtbron beschenen worden en het visuele systeem van de waarnemer. Voor museumbezoekers is het belangrijk dat ze behalve vorm ook detail kunnen zien, kleur kunnen onderscheiden en informatie op tekstbordjes goed kunnen lezen. De mate waarin ze dat lukt, hangt af van de hoeveelheid licht die op een object valt en van de manier van belichten, de kwaliteit van het licht, het contrast met de omgeving, de afstand tot het object en de gevoeligheid van de ogen.

4.3.1 Hoeveelheid licht

Voor ieder mens geldt dat er tussen 0,01 lux en 3 lux een overgang is van nacht-zien (waarnemen van licht en donker, in grijs tinten) naar dag-zien (waarnemen in kleur). Voor het goed kunnen onderscheiden van kleuren heeft de mens minimaal 30 lux nodig (Crawford, 1973). Voor het onderscheiden van details is meer licht nodig, bij heel kleine details kan dat oplopen tot daglicht niveau's (>1000 lux). Voor musea geldt dat boven de 200-400 lux de kwaliteit van het zien van objecten (waardering) nauwelijks meer toeneemt (Loe et al., 1982). Die waarden gelden allemaal voor de gemiddelde, jonge persoon.

Bij mensen boven de 50 zijn het oogvocht en de lens troebeler en dringt er minder licht tot het netvlies door. Zij hebben meer licht nodig om hetzelfde te kunnen zien als jonge mensen (Boyce, 1987; Michalski, 1990). De hoeveelheid licht heeft bovendien een effect op de waarneming en beleving van een object. Bij een hogere verlichtingssterkte zien gekleurde oppervlakken er relatief helderder uit tot het punt dat overbelichting en verblinding optreedt.

Voor het optimaal zien van voorwerpen kunnen de volgende vuistregels worden aangehouden (Michalski, 1997):

- ⌘ De gemiddelde mens heeft een verlichtingssterkte van 50 lux nodig om kleur en details te onderscheiden;
- ⌘ Om details in een donker voorwerp te zien is tot 3x meer licht nodig;
- ⌘ Om details in een contrastarm voorwerp te zien is tot 3x meer licht nodig;
- ⌘ Om details in een voorwerp op afstand te zien is tot 3x meer licht nodig;
- ⌘ Voor het uitvoeren van gedetailleerd werk is tot 3x meer licht nodig dan voor gewoon kijken;
- ⌘ Oudere mensen hebben meer licht nodig dan jonge mensen om hetzelfde te zien;
- ⌘ De waardering van vorm en kleur neemt bij verlichtingssterktes van meer dan 250 lux nauwelijks meer toe.

Dus om details in een contrastarm, donker object te kunnen zien, is $3 \times 3 = 9x$ meer licht nodig dan voor een licht en contrastrijk object.

4.3.2 Kwaliteit van het licht

De kwaliteit van het licht bepaalt in sterke mate hoe de kijker zijn omgeving en de voorwerpen ervaart. De belangrijkste factoren daarbij zijn de kleurtemperatuur en de kleurweergave index. Reflectie, absorptie, contrast en belichtingshoek spelen een belangrijke rol bij de waarneming van vorm, kleur en textuur.

Kleurtemperatuur

De kleurtemperatuur (T_c) is een maat voor de kleur van het licht, uitgedrukt in Kelvin (K). Hoe hoger de kleurtemperatuur, hoe koeler men de kleur ervaart (gevoelsbegrip). De lichtkleur wordt

Fig. 4.3.
Groene wanden en sfeerverlichting geven de ruimte een bijna mystieke uitstraling



ook wel in subjectieve termen als warmwit, neutraal wit en koelwit omschreven. Een gloeilamp heeft een kleurtemperatuur van circa 2800 K, er zit relatief veel geel en rood licht in het spectrum waardoor het licht als 'warm' wordt ervaren. Fluorescentielampen hebben een kleurtemperatuur die kan oplopen tot 8000 K, er zit dan relatief veel blauw en violet licht in het spectrum waardoor het licht als 'koel' of 'koud' wordt ervaren. Daglicht heeft veelal een nog hogere kleurtemperatuur en doet koeler aan.

De Nederlandse norm NEN-EN 12464-1 definieert de kleurtemperatuur als volgt:

warmwit	< 3300 K
neutraal wit	3300 – 5300 K
koelwit	> 5300 K

Of we een bepaalde ruimte als aangenaam ervaren, hangt voor een groot gedeelte af van de kleur van het licht in die ruimte in relatie tot de verlichtingssterkte (figuur 4.3). Het gelige licht van een gloeilamp wordt bij een laag lichtniveau over het algemeen als aangener ervaren dan het koele, witte licht van een halogeenlamp.

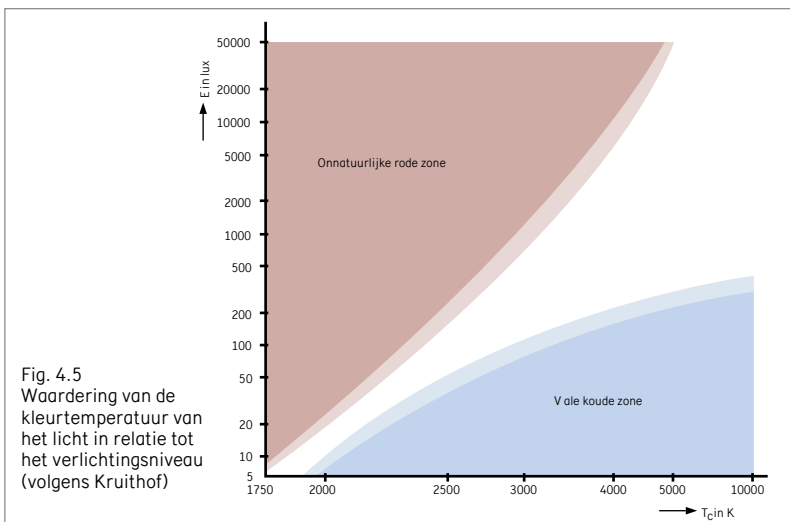
Wat van de verlichting in een ruimte verwacht mag worden, is dat de lichtkleur aansluit op de eisen die daaraan door de functie van de ruimte worden gesteld. Wil men een lage verlichtingssterkte van 50 lux, dan is het beter om voor een lage kleurtemperatuur te kiezen. Voor een werkruimte met een hoog verlichtingsniveau, vooral waar overdag kunstlicht moet branden, is het beter neutraal wit (4000 K) te kiezen. In figuur 4.5 is de waardering aangegeven voor de toegepaste kleurtemperatuur in relatie tot het verlichtingsniveau.

Kleurweergave-index

Onder verschillende lichtbronnen kunnen voorwerpen vaak verschillende kleuren hebben. Voor een goede waarneming van kleur is het daarom van belang dat alle golflengten tussen de 400 en 780 nm in het opvallende licht aanwezig zijn. Ontbreken er één of meer kleuren dan kan er kleurvertekening optreden. De kleurweergave-index (R_a) geeft de mate van overeenkomst weer van de kleur van een voorwerp dat met een bepaalde lichtsoort wordt verlicht in vergelijking met de kleur van hetzelfde voorwerp als dit met een referentieverlichting van dezelfde kleurtemperatuur wordt verlicht. Daglicht, gloeilampen en halogeenlampen hebben een continu spectrum, hun kleurweergave-index is 100, per definitie de optimale kleurweergave. Alle golflengtes komen echter wel in verschillende verhoudingen voor



Fig. 4.4
De invloed van
kleurtemperatuur
op waarneming en
beleving. Twee keer een
kerkinterieur:
a) warm licht, door
M. Rukke (1920)
b) koel licht, door
T.G.M. van Hettinga
Tromp (1917)



(zie kleurtemperatuur). Als slechts een deel van het spectrum wordt uitgestraald, spreekt men van een discontinu spectrum (lijnenspectrum), en is de kleurweergave-index lager. Fluorescentielampen hebben een gedeeltelijk continu en gedeeltelijk discontinu spectrum. De kleurweergave-index loopt, afhankelijk van het type, sterk uiteen. In tentoonstellingsruimten waar een goede kleurweergave belangrijk is, zijn alleen lampen met een kleurweergave-index van 90 of hoger geschikt. Voor gangen, toiletten en andere niet-museale vertrekken kan een kleurweergave-index van >80 aangehouden worden. (Het is het overwegen waard in die situaties te kiezen voor energiezuinige lampen.)

Reflectie en absorptie

Licht ziet men alleen als de lichtbron direct zichtbaar is of als het wordt gereflecteerd door een vlak waarop het valt. Lichte kleuren

Fig. 4.6
Onder verschillende
lichtbronnen kunnen
voorwerpen verschil-
lende kleuren hebben;
links gloeilamp
($R_a=100$),
rechts compacte
fluorescentielamp
(spaarlamp) ($R_a=85$)



reflecteren goed (de reflectiefactor van wit is 0,8 tot 0,9) en donkere minder (de reflectiefactor van bruin is 0,1 tot 0,2). Bij reflectie kan men onderscheid maken tussen spiegelende en diffuse reflectie. Bij spiegelende reflectie wordt de bundel in zijn geheel weerkaatst en neemt de intensiteit nauwelijks af. Bij diffuse reflectie weerkaatst de straling alle kanten op en neemt de intensiteit snel af. Voorwerpen met een glanzend oppervlak hebben een hoge spiegelende component. Bij een ruw en mat oppervlak is de diffuse component hoger. De diffuse reflectiefactor van een mat zwart oppervlak is circa 0,04 maar onder een bepaalde hoek kan de reflectiefactor voor een glanzend zwarte vloer veel hoger zijn, bijna 1. Bij spiegelende reflectie kan de kleur van het opvallende licht de kleur van het oppervlak zelf overstemmen. Als men onder een hoek naar een blauw glanzend oppervlak kijkt, lijkt dat niet blauw. Wanneer de reflectie erg hoog is, treedt verblinding op.

De absorptiefactor geeft aan hoeveel licht wordt geabsorbeerd en dus niet wordt gereflecteerd. De absorptiefactor is 1 min de reflectiefactor; de absorptiefactor van wit is 0,1 tot 0,2 en van bruin 0,8 tot 0,9. Het mat zwarte oppervlak heeft een absorptiefactor van 0,96; een glanzend zwarte vloer bijna 0.

Contrast

Bij het uitlichten van een object is het contrast met zijn omgeving heel belangrijk; zowel contrast in kleur als in helderheid. Het minimum voor het contrast, of de accentfactor, is circa 1,25. Dit is de verlichtingssterkte van de accentverlichting gedeeld door dat van de omgevingsverlichting. Bij een voorwerp dat met 50 lux moet worden uitgelicht, mag het omgevingslicht niet meer dan 40 lux zijn om nog enig contrast te kunnen waarnemen. Bij een voorwerp dat met 150 lux wordt uitgelicht, mag het omgevingslicht niet meer dan 120 lux bedragen. Bij een lagere accentfactor is er geen contrast meer waarneembaar. Meestal worden grotere verhoudingen gebruikt (zie hoofdstuk 6.2). Een achtergrond die minder reflecteert dan het object zelf draagt bij aan de vergroting van het contrast; een licht object heeft tegen een donkere achtergrond veel minder extra licht nodig om er tegen af te steken dan tegen een lichte achtergrond.

Waarnemen van kleur

Het type lichtbron heeft dus invloed op de waarneming van kleur, maar ieder mens heeft ook zijn eigen gevoeligheid voor het waarnemen van een kleur. Zo'n 6 tot 9% van de Westerse mannen is kleurenblind. Zij kunnen sommige kleuren niet zien of bepaalde

kleurverschillen, zoals tussen rood en groen, niet onderscheiden. In dat geval moet het contrast in helderheid helpen om onderscheid te maken tussen verschillende kleuren. De kleurwaarneming verandert ook naar mate men ouder wordt.

Kleuren worden omschreven aan de hand van drie termen:

- ⋮ Kleur of kleurtoon (rood, geel, groen, etc.)
- ⋮ Helderheid of lichtheid (hoe licht of donker een kleur is)
- ⋮ Verzadiging (de mate waarin een kleur 'verdund' is)

Kleuren op een groot oppervlak lijken lichter en levendiger dan op een klein oppervlak. Bij de kleurenkeuze voor een muur vanuit een klein oppervlak kunnen vaak teleurstellingen ontstaan door het maatverschil. De achtergrond waartegen een voorwerp bekeken wordt, heeft ook invloed op de ervaring van de objectkleur. Dit is het kleurcontrast of de accentfactor.

Uitstraling, zoals een auto met metallic verf, verschilt per invalshoek van de lichtbron. De auto lijkt lichter of donkerder bij verschillende kijkhoeken en ook bij verschillende verlichtingshoeken.

Kortom, bij het beoordelen van kleuren is het altijd van belang om de zelfde condities te hanteren.

5 VERLICHTING VAN MUSEA EN EXPOSITIERUIMTEN

5.1 INLEIDING

Het doel van museumverlichting is dat de bezoeker de tentoongestelde voorwerpen goed kan zien, aantrekkelijk uitgelicht en veelal in een uitnodigend verlichte ruimte, terwijl de schade aan de voorwerpen als gevolg van licht tot een minimum beperkt blijft.

Mensen gaan liever geen donkere ruimtes in. Ze willen zich kunnen oriënteren en ze willen overzicht hebben. Te veel licht schrikt ook af omdat ze zich dan bekeken voelen. Meestal ligt het accent in het lichtontwerp op het uitlichten van de objecten, maar de verlichting van de ruimte is net zo belangrijk. De omgevingsverlichting bepaalt in grote mate wat er aan accentverlichting mogelijk is. Door rekening te houden met contrasten en richting van het licht kan bovendien een bepaalde dramatiek worden gerealiseerd. Dit kan de attractiviteit en aandacht nog verder versterken. Door een juiste afstemming van de verlichting in de ruimte en verlichting van de voorwerpen kan een attractief en sfeervol geheel voor de bezoekers worden gevormd. De voorwerpen kunnen passend binnen de architectuur van het gebouw worden getoond. Zeker wanneer de ruimte zelf en de architectuur van het gebouw de moeite van het zien waard zijn, moet daarmee met de verlichting rekening worden gehouden. Dit geldt ook voor de verlichtingsmiddelen waarmee deze wordt gerealiseerd.

Een van de eerste beslissingen in het lichtontwerp zal zijn welke soorten verlichting er in de ruimte zijn. Is er daglicht en zo ja hoeveel? Moet het daglicht worden aangevuld met kunstlicht, hoeveel en wanneer? Moet het daglicht deels of misschien wel volledig worden geweerd om alleen met kunstlicht te werken? Vaak is de aanwezigheid van daglicht een gegeven omdat het oorspronkelijke ontwerp van de ruimte daarin heeft voorzien en de ruimte dus een deel van zijn karakter aan de verlichting ontleent. Tegelijkertijd is de keuze voor een manier van verlichten van de ruimte heel bepalend voor het uiteindelijke ontwerp van het gebouw of de tentoonstellingsruimte, voor de keuze van te exposeren objecten, voor de sfeer die in de tentoonstelling wordt gecreëerd en voor de oriëntatie van de bezoekers.

5.2 DAGLICHT

Een museum of tentoonstellingsgebouw is meer dan een schil om de collectie. Het gebouw zelf kan historisch of architectonisch interessant zijn. Tot aan de tweede helft van de 19e eeuw was nog geen elektriciteit voor verlichtingsdoeleinden beschikbaar en werd plaatselijk hooguit bijgelicht door lantaarns. Musea van voor die tijd zijn gebouwd als daglichtmuseum en dat is duidelijk terug te zien in de architectuur. De tentoonstellingszalen in daglichtmusea hebben op de bovenverdieping veelal een glazen plafond waardoor het buitenlicht naar binnen valt. Ook na de komst van elektrische verlichting zijn daglichtmusea gebouwd (figuur 5.1). Een voordeel van daglicht in het museum is dat de kleur van daglicht als natuurlijk en als aangenaam wordt ervaren. Daglicht heeft een continu spectrum, waardoor alle kleuren evenwichtig tot hun recht komen. Ook geeft daglicht de bezoeker het gevoel van contact met de buitenomgeving. Daglicht en uitzicht via ramen zorgen voor een relatie met buiten en dragen bij aan het oriëntatiegevoel. De zalen worden door wisselende weersinvloeden dynamisch en veelal levendig. Daglicht dat via glazen daken en plafonds binnen valt, biedt de mogelijkheid van een gelijkmatige aanlichting van wandvlakken. Licht dat van opzij door ramen in de gevel binnen valt, laat driedimensionale voorwerpen, zoals sculpturen, vaak goed uitkomen.

Er zijn vanzelfsprekend ook nadelen aan daglicht verbonden. Daglicht bevat veel energierijke straling (zie hoofdstuk 4) en is daardoor veel schadelijker dan licht van een gloeilamp of halogeenlamp. Wanneer daglicht in een museale omgeving toegepast wordt, is het noodzakelijk dit te kunnen beheersen.

Daglicht is erg wisselend van spectrale samenstelling en kent grote niveaoverschillen tussen bewolkte dagen en zonnige dagen gedurende de seizoenen. De zon kan ook plaatselijk voor extreem hoge verlichtingsniveaus zorgen. Hierdoor kunnen de verschillen in helderheid tussen raampartijen en objecten in de omgeving ervan zo groot zijn, dat de details ervan moeilijk te zien zijn. Het effect van daglicht is moeilijk op voorhand in te schatten. Om hier tijdens het ontwerp-proces een goed beeld van te kunnen krijgen, zijn tegenwoordig zeer geavanceerde computerprogramma's beschikbaar voor het berekenen van daglichtniveaus, luminanties en contrasten op elk moment van de dag. Voorbeelden zijn *Dialux*, *Relux*, *ReluxVision*, *Radiance* en *Autocad Viz3*.



Fig. 5.1 Voorbeelden van daglicht in musea. Museum Het Valkhof in Nijmegen (top) en het Gemeentemuseum Den Haag (onder)



Fig. 5.2 Toepassing van daglicht via het dak in het Gemeentemuseum Den Haag. De toepassing van prismaplaten en lamellen geven de visie van architect en museum in de jaren 1930 weer en hebben daarmee ook een historisch monumentale waarde



Fig. 5.3 Daglicht temperende doeken in de Alte Nationalgalerie



Fig. 5.4 Daglicht in combinatie met aanvullende verlichting in museum De Pont in Tilburg

Het meest constante licht in intensiteit en spectrale samenstelling is het licht uit het noorden. De indeling van beglazing in de daken van musea is dan dikwijls ook zo uitgevoerd dat alleen het licht uit het noorden binnenkomt. Bijkomend voordeel is dat er dan nooit directe zonnestrallen in de tentoonstellingszaal binnenvallen. Direct op objecten vallende zonnestraling moet namelijk te allen tijde worden voorkomen.

Indien er voldoende ruimte tussen glazen plafonds en glaskappen op het dak beschikbaar is, biedt dit diverse mogelijkheden om het daglicht te regelen (figuur 5.2). In deze ruimte kunnen bijvoorbeeld lamellen of reflectieschermen worden aangebracht om het licht te temperen en te sturen. De richting van het licht kan ook op andere wijze worden bepaald, bijvoorbeeld met kunststofpanelen met ingeslepen prisma's.

Beheersbaarheid van het daglicht (en UV-straling) via de zijramen kan verkregen worden door toepassing van gordijnen, vitrages, zonweringen, lamellen en/of zon- en UV-werende folies of coatings op de ramen. Het is belangrijk dat dergelijke maatregelen voor zover mogelijk in de architectuur van het gebouw worden opgenomen. Dit voorkomt dat dergelijke middelen afbreuk doen aan de kwaliteit van het gebouw en het interieur. Moeten ze later alsnog worden aangebracht, dan is de kans daarop veel groter en zijn de kosten in verhouding veel hoger (zie verder 8.2).

5.3 COMBINATIE VAN DAGLICHT EN KUNSTLICHT

Daglicht verschilt gedurende de dag en met het wisselen van de seizoenen sterk in intensiteit. Is het niet meer toereikend, dan moet het worden aangevuld met kunstlicht. Hierbij is het belangrijk om een lamptype te kiezen met het juiste kleurenspectrum (zie 6.3.1).

Daglicht kan soms ook als basisverlichting worden gebruikt met kunstlicht als aanvullende verlichting en als accentverlichting. Omdat daglichtniveaus over het algemeen veel hoger zijn dan de benodigde verlichtingssterkte, moet dat gedurende bepaalde tijden van de dag dan wel eerst sterk worden getemperd.

Wanneer bijvoorbeeld een algemeen verlichtingsniveau van 200 lux is gewenst en het daglicht 125 lux levert, kan dit worden aangevuld met 75 lux door de kunstverlichting. Hierdoor komt de belichting bij helder weer natuurlijk en egaal over. Wanneer het buiten donkerder wordt, wordt het aandeel van het kunstlichtniveau steeds groter.

In musea waar veel daglicht binnen kan vallen en geen lichtregeling wordt toegepast, zal de kunst in de avondsituatie veelal anders overkomen dan overdag. Dit hoeft in principe niet erg te zijn, maar het kunstlicht zou in dit geval op de twee verschillende situaties afgestemd moeten zijn.

Voor situaties waarin het wenselijk is om verschillen in verlichtingsniveaus zo beperkt mogelijk te houden, zijn er computergestuurde lichtregelsystemen beschikbaar om de kunstverlichting continu qua kleur en verlichtingssterkte aan te passen. Hierdoor blijven lichtkleur en verlichtingsniveau nagenoeg constant gedurende de dag.

Wanneer daklichten worden toegepast, kan ook hier de ruimte tussen glazen plafond en glaskap worden gebruikt voor het aanbrengen van de extra kunstverlichting. Bij een enigszins transparant glasplafond zullen de lichtbronnen dan wel in meer of mindere mate zichtbaar zijn (figuur 5.5 links). Bij toepassing van sommige soorten lichtdoorlatende kunststof spanplafonds is dit niet of in veel geringere mate het geval (figuur 5.5 rechts).



Fig. 5.5
Toepassing van
verschillende typen
lichtdoorlatende plafonds:
fluorescentielampen
boven glaspanelen (links)
en fluorescentielampen
boven spanplafond
(rechts)

Bij het overdag constant houden van het verlichtingsniveau door lichtregeling, kan door toepassing van lampen met verschillende lichtkleuren het daglicht zo optimaal mogelijk worden aangevuld. Deze moeten dan wel afzonderlijk kunnen worden geregeld. Ook kan hierdoor het licht in de ruimte op een sombere dag aangenamer worden gemaakt.

5.4 KUNSTLICHT

Wanneer een constante lichtsituatie is gewenst, bijvoorbeeld een lage verlichtingssterkte voor gevoelig materiaal, of wanneer een bepaalde sfeer gecreëerd moet worden, is het raadzaam een ruimte te gebruiken waarin het daglicht geheel is uitgesloten. Bij het tonen van lichtgevoelige objecten in een omgeving met een lage verlichtingssterkte, bijvoorbeeld 50 lux, voegt daglicht nauwelijks meer iets aan de beleving toe. Het weinige daglicht kan dan zelfs als onnatuurlijk worden ervaren door de relatief veel koeler aandoende lichtkleur dan die van de kunstverlichting.

Er zijn vele mogelijkheden om kunstlicht voor algemene verlichting in de ruimte toe te passen. Figuur 5.6 geeft hiervan een aantal voorbeelden.

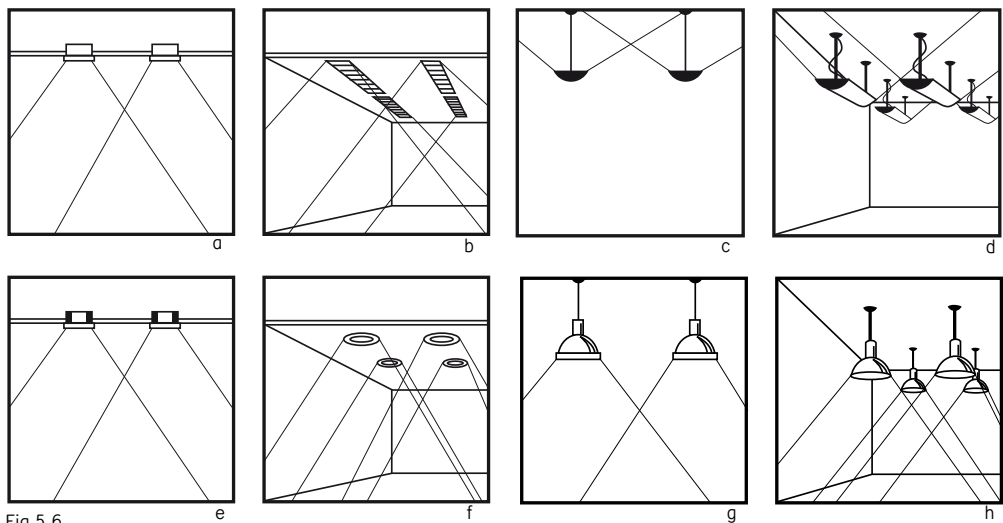
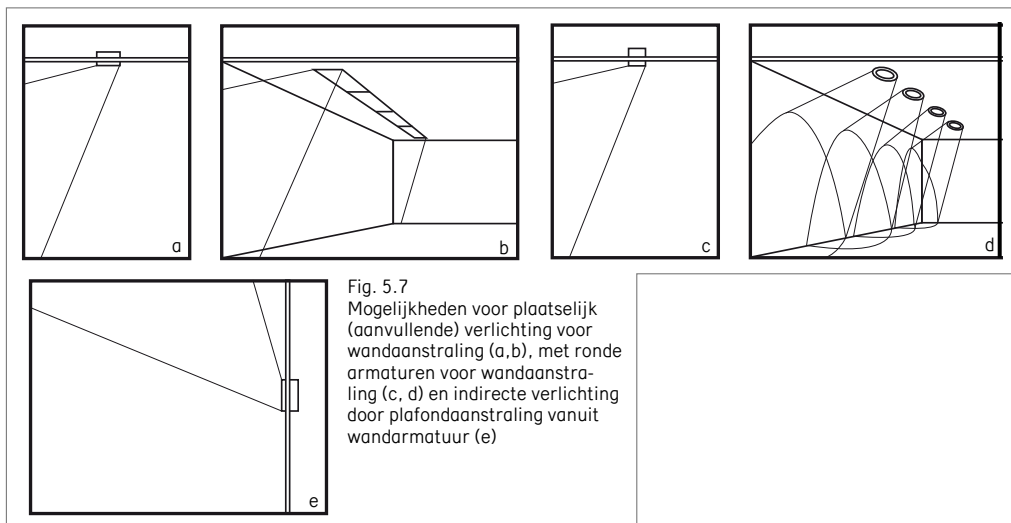


Fig. 5.6
Mogelijkheden voor
algemene verlichting
van de ruimte met
kunstlicht: met inbouw
of opbouw langwerpige
armaturen (a,b), met
langwerpige of vier-
kante pendelarmaturen
(c,d), met inbouw of
opbouw downlights (e,f)
en met ronde pendel-
armaturen (g,h)

Tevens zijn er tal van mogelijkheden voor plaatselijke verlichting en eventuele aanvulling op de algemene verlichting. In figuur 5.7 zijn hiervan enige voorbeelden gegeven.

Ook buiten de normale openingstijden is meestal kunstlicht nodig, onder andere voor schoonmaken. Vooral in grote musea is dit tevens het geval voor recepties en speciale evenementen. Andere soorten verlichting die vereist of nodig zijn betreffen noodverlichting om in geval van calamiteiten bezoekers en personeel een veilige weg naar buiten te kunnen bieden en beveiligingsverlichting.



5.5 SCHOONMAAK EN WERKVERLICHTING

Ten behoeve van schoonmaakwerkzaamheden of inrichtingswerkzaamheden zullen er andere eisen aan verlichting worden gesteld. Het is niet ondenkbaar dat voor dergelijke werkzaamheden een verlichtingssterkte van 200 lux of nog hoger nodig is. Om te voorkomen dat gevoelige objecten door deze verlichting schade ondervinden, mag deze alleen aan als er gewerkt wordt. Als er geen maatregelen worden genomen om de objecten te beschermen gedurende de tijd dat deze verlichting aan is, moet de belichtingsdosis die de objecten ontvangen van deze verlichting bij die van de tentoonstellingsverlichting worden opgeteld.

Aangezien dit verlichtingssysteem andere doeleinden dient dan de museale verlichting, zal dit in de meeste gevallen betekenen dat de twee systemen afzonderlijk van elkaar te gebruiken en te bedienen moeten zijn. Schade aan objecten als gevolg van schoonmaakverlichting kan worden beperkt door de verlichting langs de plinten, strijkend over de vloer of langs vitrineruiten te richten, zodat vuil en stof goed opvallen maar de bundels niet op de objecten vallen.

5.6 NOODVERLICHTING

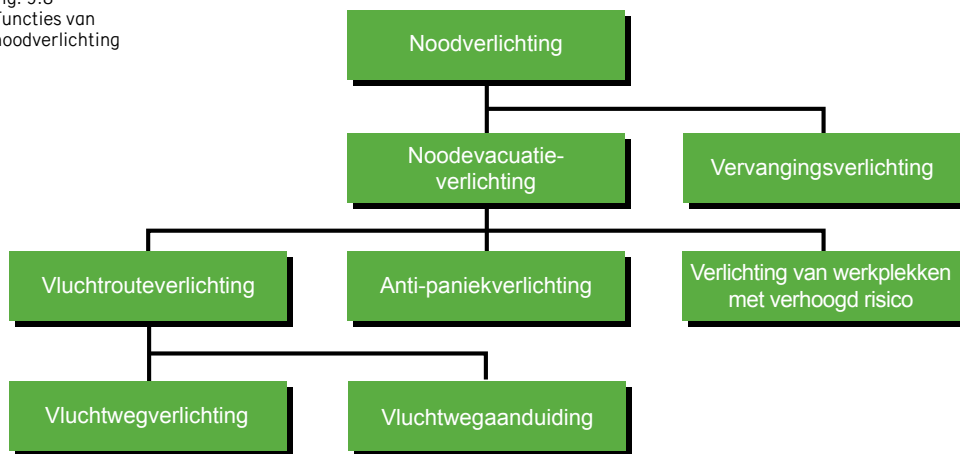
Noodverlichting moet de veiligheid van personen in openbare gebouwen of op de werkplek garanderen. Het doel van noodverlich-

ting is om bij stroomuitval voldoende licht te hebben om het pand te ontruimen. Als stelregel geldt dat bij stroomuitval de verlichtingssterkte van de vluchtwegverlichting overal minimaal 1 lux moet bedragen. Noodverlichting en vluchtwegverlichting maken onderdeel uit van hetzelfde plan. De voeding van dit systeem kan komen van accu's of van een noodstroom aggregaat. Er moet voldoende spanning worden opgewekt om durende de gehele periode die nodig is voor de ontruimingsprocedure stroom te hebben.

Onder de term noodverlichting vallen vervangingsverlichting (om normale activiteiten zo goed mogelijk te kunnen voortzetten, om voornamelijk technische en economische redenen) en noodevacuatieverlichting (voor de veiligheid van mensen die een locatie moeten verlaten). Onder die laatste vallen verlichting van werkplekken met een verhoogd risico (voor het uitvoeren van gepaste afsluitprocedures voor gevaarlijke processen), anti-paniekverlichting (om paniek te voorkomen en personen in staat te stellen vluchtroutes te herkennen en te bereiken, minimaal 0,5 lux) en vluchtrouteverlichting (voor het effectief herkennen en veilig gebruiken van de vluchtmogelijkheden). Binnen die laatste vallen vluchtwegverlichting (van de route zelf, minimaal 1 lux) en vluchtwegaanduiding (aanduiding met bepaalde pictogrammen en kleuren).

De noodverlichting is aan regels en goedkeuring van de overheid onderhevig en wordt vaak door de plaatselijke brandweer op soort en toepassing gekeurd. De eisen voor noodverlichting en vluchtwegverlichting zijn opgenomen in NEN-EN 1838 (1999): "Toegepaste verlichtingstechniek - Noodverlichting".

Fig. 5.8
Functies van
noodverlichting



Wanneer is voorzien in een algemene verlichting kan in principe een aantal armaturen als noodverlichtingsarmatuur worden uitgevoerd.

Voor aanduiding van vluchtwegen worden zogenaamde transparanten toegepast, de verlichte groene vluchtwegaanduidingsbordjes met witte pictogrammen. In overleg met de plaatselijke brandweer dient te worden bepaald waar de transparanten moeten worden geplaatst. De transparantverlichting moet evenals de vluchtwegverlichting centraal worden gevoed via een noodstroomvoorziening of individueel zijn voorzien van een accubatterij. De vluchtaanduiding hoort in principe permanent te branden, wat nog wel eens storend of zelfs schadelijk kan zijn. Indien er een beproefd systeem wordt toegepast, dat na een brandmelding automatisch in werking treedt, kan in overleg met de brandweer, gekeken worden of er van deze regel afgeweken kan worden.

In historische huizen kunnen de vluchtwegaanduidingen erg storend zijn en afbraak doen aan het interieur en de beleving ervan. De montage van de bordjes en de aanleg van de benodigde elektriciteit kunnen een aantasting van de integriteit van de ruimte en het oorspronkelijke interieur zijn. In overleg met de brandweer en de vergunningverlener kan worden overwogen of er een mogelijkheid is losse, aangelichte bordjes, klemmend op bouwdeelen of op een paal, te plaatsen. De gebruiksvergunning van een gebouw wordt mede op de effectiviteit van noodverlichting- vluchtwegverlichting en ontruimingsplan verleend.

5.7 BEVEILIGINGSVERLICHTING

Beveiligingscamera's in het gebouw en in de tentoonstellingszalen hebben voor de registratie van hun beelden permanent een gelijkmatige verlichting nodig, ook 's nachts. Afhankelijk van de te gebruiken camera's zal het verlichtingsplan hierop moeten worden afgestemd. Een videocamera vraagt om een bepaalde, minimum verlichtingssterkte in de ruimte voor een goede beeldweergave; digitale camera's hebben minder licht nodig; een infrarood-camera registreert infrarode warmtestraling en is daarom niet aangewezen op verlichting van de ruimte. Voor een heldere en kleurechte registratie door de camera's, kan de kleurweergave van de beveiligingsverlichting van belang zijn.

Het is te overwegen om 's nachts in tentoonstellingsruimtes of depots verlichting te schakelen met een (infrarood) bewegingsmelder. In dit geval schakelt het licht pas automatisch aan wanneer er onraad

Fig. 5.9
Voorbeelden van
separate noodverlichtingsarmaturen



Fig 5.10
Combinatie van
noodverlichting en
vluchtwegaanduiding

gesignaleerd wordt. Het is immers overbodig een camera te laten registreren zolang er geen onraad is. De medewerkers van een meldkamer zullen door het inschakelen van de verlichting en camera's extra alert zijn en zo lopen de objecten geen onnodige schade als gevolg van blootstelling aan licht op.

5.8 DEPOTVERLICHTING

In de depots moet licht zoveel mogelijk worden gemeden, maar op het moment dat men in het depot werkt, moet er licht zijn. Daglicht-toetreding moet worden geblokkeerd, bijvoorbeeld door ramen te blinderen (een staalplaat kan tegelijkertijd beveiliging bieden tegen inbraak) of het glas met een dekkende verf te voorzien. Lichtgevoelige objecten kunnen extra worden beschermd door ze af te dekken met bijvoorbeeld ongebleekt katoen of door ze in sluitende kasten of dozen te bewaren. Dit zijn maatregelen die meestal tegen andere risico's zoals stof, vuil en insecten worden gebruikt, maar ze kunnen tegelijkertijd bescherming bieden tegen licht en UV-straling.

In depots met meerdere gangpaden is het aan te bevelen verlichting te hebben die per gangpad kan worden aan- en uitgeschakeld. Verlichting die op een bewegingssensor reageert en automatisch weer uitgaat, heeft het voordeel dat het licht niet onnodig blijft branden als iemand vergeet het uit te doen.

5.9 ATELIERVERLICHTING

In (restauratie)ateliers waar gedetailleerd werk aan voorwerpen moet worden verricht, zijn hoge lichtniveaus nodig, 1000 lux of meer. Voor het aanbrengen van retouches is de kleurweergave van de lichtbron heel belangrijk. Wanneer kleuren worden geselecteerd bij een lichtbron met een discontinu spectrum of van een incorrecte kleurtemperatuur, kan onder een ander type belichting de retouche storend zichtbaar worden. Dit verschijnsel is bekend als metamerie: twee kleuren die onder de ene lichtbron op het oog identiek zijn, blijken onder een andere lichtbron te verschillen. Daarom wordt er in ateliers veelal de voorkeur gegeven aan daglicht, al dan niet kunstmatig.

Het verblijf in het atelier van een lichtgevoelig object dat moet worden tentoongesteld, is vaak onvermijdelijk. In die periode kan het echter worden blootgesteld aan een hoge belichtingsdosis, die al de voorzichtigheid bij tentoonstelling teniet doet. Stel dat een object 4 weken in het atelier is en 5 dagen in de week gedurende 10 uur met

1000 lx wordt belicht, dan is de belichtingsdosis $4 \times 5 \times 10 \times 1000 = 200.000 \text{ lx.uur}$. Dat is de dosis waarbij de ISO blauwe wol standaard nummer 1 een eerste juist waarneembare verandering ondergaat (zie hoofdstuk 7.3.4). Diezelfde dosis wordt verkregen bij tentoonstelling van het object gedurende 27 weken, 6 dagen in de week, 8 uur per dag bij 150 lx. Het is daarom aan te bevelen objecten, of delen van objecten waar niet aan wordt gewerkt, te beschermen tegen onnodige blootstelling aan straling.

In het tijdelijke restauratieatelier van het Rijksmuseum in het Instituut Collectie Nederland is in 2006 geëxperimenteerd met een proefopstelling voor dynamische kunstverlichting van Grontmij | Technical Management. Hierbij wordt met behulp van fluorescentiebuizen met verschillende kleurtemperatuur die via de gesloten delen van het dak reflecteren met behulp van een computer-programma het daglicht dat via een sheddak binnenvalt voortdurend aangevuld met kunstlicht. Op deze manier kan een continue verlichting van daglicht kwaliteit worden verkregen met elke gewenste kleurtemperatuur en verlichtingssterkte. Deze is inmiddels ook in de nieuwe restauratieateliers van het Rijksmuseum Amsterdam toegepast.

6 VERLICHTING VAN OBJECTEN EN VITRINES

6.1 INLEIDING

Het doel van verlichting op objectniveau is om de bezoeker in staat te stellen van de tentoongestelde voorwerpen te genieten en ze te bestuderen. Het is ook een manier om de aandacht van de bezoeker op een bepaald object, detail of op bepaalde informatie te richten. Dat betekent dat de belichting zodanig moet zijn dat vorm, kleur en textuur van object tot in detail bekeken kunnen worden en dat informatie goed leesbaar moet zijn. In sommige gevallen is lokale verlichting nodig om accenten te leggen, bepaalde effecten te creëren of een context voor objecten te scheppen.

Bij objectverlichting zal er altijd een evenwicht moeten worden gevonden tussen de algemene ruimteverlichting of achtergrondverlichting en de accentverlichting op het object. Hierbij spelen het contrast tussen het object of de tekst en de achtergrond of de omgeving de meest belangrijke rol. Dit betreft zowel het contrast in helderheid als in kleur. Daarnaast zijn de richting van het licht en de bundelbreedte sterk bepalend voor het uiteindelijke effect dat wordt bereikt.

Om het object optimaal tot zijn recht te laten komen moet objectverlichting een goede kleurweergave hebben en mag de kijker geen ongemak ondervinden van hinderlijke spiegeling of glans. De keuze van het verlichtingssysteem zal in sterke mate afhangen van de manier van opstellen, of objecten vrij in de ruimte staan, op schappen of in vitrines.

6.2 ACCENTVERLICHTING: CONTRAST, LICHTRICHTING EN BUNDELBREEDTE

6.2.1 Contrast in helderheid

Het oog reageert automatisch op de helderheid van de omgeving maar er is een grens aan dat vermogen. Een te grote helderheid wordt als schittering ervaren, dan kan er geen detail meer worden onderscheiden. In het ergste geval treedt verblinding op. Wanneer het oog veel overgangen in helderheid te verwerken heeft, leidt dit tot vermoeidheid bij de kijker. Het aanpassen aan de helderheid vergt tijd, wat afhankelijk is van de grootte en de richting van de overgang in helderheid. Aanpassen van licht naar donker vergt meer tijd dan

van donker naar licht. Naarmate mensen ouder zijn, hebben ze meer tijd nodig voor het aanpassen.

De verhouding tussen de helderheid van het door het voorwerp gereflecteerde licht en dat van de omgeving wordt weergegeven door de accentfactor. Voor een accentfactor die groter is dan 3:1 heeft het oog meer moeite om zich aan te passen. Bij een lichtgevoelig object dat maximaal 50 lux mag ontvangen mag de omgevingsverlichting daarom niet meer dan 150 lux bedragen, maar ook niet minder dan circa 15 lux. Voor een schilderijtentoonstelling wordt voor het aanlichten van de schilderijen meestal een niveau aangehouden dat tweemaal zo hoog is als dat in de omgeving. Om een theatrale uitlichting van een driedimensionaal object te krijgen wordt een accentfactor van minimaal 5:1 gebruikt. Zie voor het effect van verschillende accentfactoren figuur 6.1.

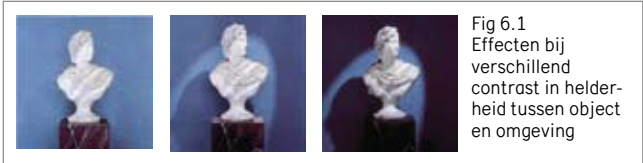


Fig 6.1
Effecten bij
verschillend
contrast in helder-
heid tussen object
en omgeving

Accent- factor	Omschrijving effect
2:1	waarneembaar
5:1	licht theatraal
15:1	theatraal
30:1	dramatisch
≥ 50:1	sterk dramatisch

6.2.2 Contrast in kleur

Behalve door het contrast in helderheid worden de zichtbaarheid en de accentuering van voorwerpen en hun details sterk bepaald door het contrast in kleur van de voorwerpen en hun omgeving. Dit is goed te zien in figuur 6.2.

Het contrast in kleur wordt mede bepaald door de kleurtemperatuur en de kleurweergave-index van het licht. De kleurtemperatuur kan ook gebruikt worden om bijvoorbeeld bepaalde partijen in een schilderij extra te accentueren. Een blauwe lucht wordt extra blauw als hij met een hoge kleurtemperatuur wordt aangelicht.



Fig. 6.2
Zichtbaarheid van voorwerpen
bij verschillende kleurcontrasten

6.2.3 Richting van het licht

Door verlichting is de ruimtelijkheid van een object te benadrukken of juist af te zwakken. De driedimensionale vorm van objecten en reliëf van oppervlakken komen pas tot uiting als gevolg van de schaduwwerking. De richting van het licht bepaalt hoe de schaduwen vallen en welke vormen worden geaccentueerd. In figuur 6.3 zijn verschillende lichtrichtingen geschetst. Wordt er gebruik gemaakt van één lichtbron, dan betekent dat een licht- en een schaduwzijde. Licht van boven geeft horizontaal symmetrische schaduwen terwijl de vorm door verticale schaduwen wordt verkregen. Verlichting van schuin boven het object geeft ook horizontale accenten. Bij twee of meerdere lichtbronnen uit verschillende richtingen worden de schaduwen gecompenseerd en verzwakt waardoor de ruimtelijkheid subtieler wordt. In figuur 6.4 is te zien hoe een object wordt waargenomen bij verschillende richtingen van het licht.

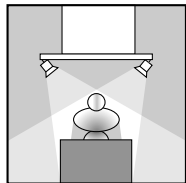
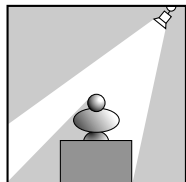
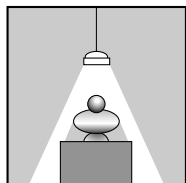


Fig 6.3
Accentueren van
vrijstaand object en
plaatsing van de spots
uit verschillende
richtingen



Fig.6.4
Effect van de richting van het licht op
de waarneming van voorwerpen

Niet alleen de richting maar ook de plaatsing van de lichtbron heeft zijn invloed op de ruimtelijkheid. Zo krijgen objecten die van onder worden aangelicht veelal iets onnatuurlijks, spookachtig of kunnen details zelfs verkeerd worden geïnterpreteerd, zoals de deuken in een ketel die bij licht van onder af worden gezien als bulten.

Ruimtelijkheid geldt niet alleen voor driedimensionale voorwerpen maar soms ook voor schilderijen. Dik opgebrachte olieverf of craquelé op een schilderij komen tot hun recht of worden juist storend afhankelijk van de richting en de plaatsing van het licht. Plaatsing van een lichtbron recht voor een gevernist schilderij geeft storende reflectie van het licht op het glanzende oppervlak. Veelal wordt een verlichtingshoek van 30° gehanteerd om de meest storende reflectie te vermijden. Lijsten van schilderijen, bijvoorbeeld uitstekende slagschaduw. De standaard verlichtingshoek van 30° op het doek zal in dit geval meestal niet gehanteerd kunnen worden. Waarschijnlijk moet er een aanvullende invulverlichting worden toegepast of met meerdere lichtbronnen worden belicht. Bij het lichtontwerp moet in dit geval extra aandacht worden besteed aan het inregelen en stellen van de lampen.

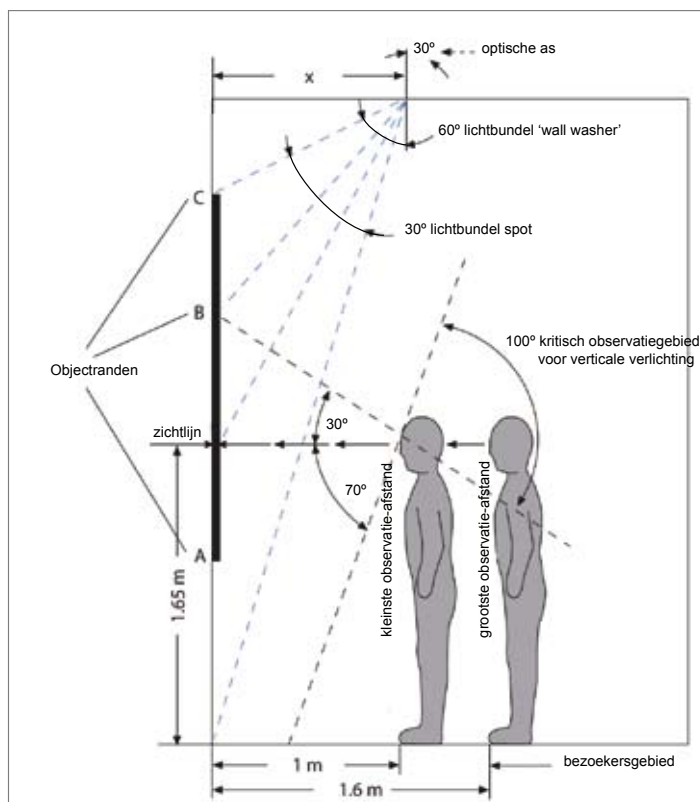


Fig. 6.5
Bepaling van de
positie van de
verlichtingsarma-
turen

6.2.4 Bundelbreedte

Bij de keuze van spots voor accentverlichting is het ook belangrijk om na te gaan wat het effect is van de lichtbundel en het te verwachten strooilicht naar de omgeving. Is het licht diffuus, dan worden het object en de omgeving gelijkmatig uitgelicht. Met een gerichte lichtbundel kunnen accenten worden gelegd en kan de beleving worden beïnvloed. Een aantal mogelijkheden en effecten van accentverlichting door variatie van de bundelbreedte zijn opgenomen in figuur 6.6. Algemeen geldt hoe smaller de bundelbreedte, hoe groter het contrast in helderheid tussen het voorwerp en zijn omgeving is en hoe sterker de schaduwwerking. Bij een bredere bundel kan er bij grote objecten een sterk verloop zijn van het heldere centrum van de bundel naar de zwakkere buitenkant, waardoor het risico bestaat dat het object onevenwichtig wordt uitgelicht. Dit heeft ook een invloed op de schadelijke inwerking van het licht. Omdat de verlichtingssterkte in het centrale deel van het voorwerp groter is dan aan de zijkanen, zal daar de meeste schade optreden. Bij het opstellen van het lichtplan en het verwerken van de aanvaardbare belichtingsdosis tot de acceptabele verlichtingssterkte en belichtingsduur, moet daarom van de hoogste waarden in het centrum worden uitgegaan.

Fig. 6.6
Effect van
verschillende
bundelbreedten bij
het aanlichten van
objecten:

- a: diffuse verlichting
- b: contourstraler zonder omgevingslicht
- c: verlichting met spot, 15 graden
- d: verlichting met 2 spots met bundelbreedte 15 graden en geen omgevingslicht
- e: spot met lens voor ovale lichtbundel



Uit al deze factoren blijkt duidelijk dat het bij het maken van het lichtontwerp van groot belang is om een juiste afweging te maken tussen de verschillende wensen en randvoorwaarden voor verlichting van zowel de tentoonstellingsruimtes als de voorwerpen die hierin tentoongesteld worden.

6.3 AANLICHTEN VAN WANDVLAKKEN EN ACCENTVERLICHTING

Indien wandvlakken, met daarop kunstobjecten, egaal uitgelicht worden, heeft dit een rustgevend effect. In veel gevallen kan een egale verlichting voldoende zijn om de objecten tot hun recht te laten komen. In dat geval is het relatief eenvoudig om een goede verlichtingssterkte in te stellen. Door wandvlakken waarop geen objecten hangen met gekleurd licht aan te stralen, kan een bepaalde sfeer worden geschapen. Bij theateraler of spannender uitlichten van objecten is het belangrijk rekening te houden met een mogelijk vlekkerige aanblik van de wanden. Dat kan er onrustig uitzien en is voor het oog vermoeiend omdat het oog zich telkens moet aanpassen. Wanneer men ervoor kiest per object aan te lichten, kan er wél beter op de licht/donker verhouding van de verschillende objecten ingespeeld worden, zodat objecten qua beleving gelijkmatiger worden. Nog sterker is een schatkamerachtig effect, wanneer alleen objecten aangelicht worden en er nauwelijks algemene verlichting aanwezig hoeft te zijn. Hierdoor staan de objecten centraal en is de omgeving minder aanwezig.

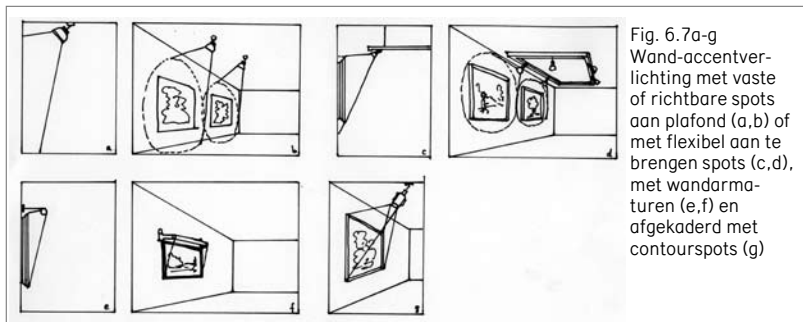


Fig. 6.7a-g Wand-accentverlichting met vaste of richtbare spots aan plafond (a,b) of met flexibel aan te brengen spots (c,d), met wandarmaturen (e,f) en afgekaderd met contoursots (g)

Bij grote schilderijen zijn vaak meerdere spots nodig, waarbij het lichtniveau van de spots voor de bovenzijde aangepast moeten worden aan het licht op de onderzijde van het schilderij. Wandarmaturen verdienen geen aanbeveling. Als ze dicht op het object zijn gemonteerd geven ze te veel licht aan de bovenzijde van het object en te weinig onderaan. Bovendien zorgen ze vaak voor hinderlijke reflecties.

6.4 VITRINES EN SPECIFIEKE RUIMTES

Verlichting heeft als bijeffect dat het in meer of mindere mate warmte produceert. Bij spots is dit bovendien sterk geconcentreerd in de lichtbundel. Bij het ontwerp van een museale ruimte is het noodzakelijk de warmteontwikkeling door de verlichting in de klimaatberekeningen op te nemen. Warmteontwikkeling en warmtestraling zijn twee grote bezwaren van lichtbronnen in de nabijheid van objecten. Dit geldt vooral voor objecten met donkere materialen en schilderijen met donkere partijen. Deze vlakken zullen sneller warmte opnemen waardoor er spanning in de huid van het object ontstaat en er plaatselijk een microklimaat kan worden gevormd.



Fig. 6.8
Voorkom
spiegelingshinder

Vanwege de warmteafgifte van armatuur en lichtbundel zou de voorkeur moeten uitgaan naar een lichtbronnen die buiten de vitrine worden geplaatst. In de museale praktijk blijkt echter dat men graag met lichtbronnen in vitrines werkt, vooral om de hinderlijke reflectie te voorkomen en omdat kant-en-klare vitrinekasten vaak met een verlichtingsmogelijkheid worden geleverd. Die reflectie kan worden verminderd door een juiste plaatsing van de lichtbron ten opzichte van vitrine en object (zie figuur 6.7). Wanneer men toch voor verlichting in de vitrines kiest, kan de lichtbron het beste worden gescheiden van de objecten in de vitrine door deze in een afzonderlijk compartiment op te nemen. Dit is onder andere mogelijk door tussen lichtbron en object een glazen of kunststof plaat aan te brengen. Dit vereist wel een goede warmteafvoer aan de bovenkant, zonodig met een geforceerde ventilatie. Materialen met een laag smeltpunt, zoals wassen beelden, kaarsen en chocolade, zijn gevoelig voor te hoge temperaturen. De meeste objecten die gemaakt zijn met organische materialen zijn gevoelig voor wisselingen in temperatuur. Met de temperatuurfluctuaties wisselt ook de relatieve luchtvochtigheid wat leidt tot het zwellen en krimpen van de materialen. Dit kan op den duur scheuren en barsten veroorzaken. Een vitrine mag daarom niet opwarmen en afkoelen als gevolg van het aan- en uitschakelen van de verlichting.

In dit opzicht zijn verlichtingstechnieken zoals glas- of kunststofvezelverlichting interessant voor musea omdat de lichtbron op afstand, buiten de vitrine, geplaatst wordt en het licht via optische vezels, optieken of spiegels op de juiste plaats komt zonder dat er warmte in de vitrine wordt geproduceerd. Glasvezelverlichting heeft weliswaar een beperkte lichtopbrengst maar kan in donkere ruimtes voor het aanlichten van prenten of kleine objecten goed gebruikt worden.

Led-verlichting is ook voor toepassing in musea en expositieruimten steeds meer in opkomst. Dit type verlichting is zeer duurzaam en energie-efficiënt. De lampjes zijn nagenoeg onzichtbaar in te bouwen. Voor accentverlichting kunnen ze worden voorzien van lenzen en/of reflectoren. Wel is het zo dat het realiseren van een constante kleurtemperatuur nog in ontwikkeling is. Intussen is wit licht mogelijk met verschillende kleurtemperaturen, variërend van circa 2700K tot 6000K. Bij toepassing van meerdere led-lampjes in een systeem moet men er op verdacht zijn dat er voor een bepaalde kleurtemperatuur nog vrij veel zichtbare variatie op kan treden. Dit probleem kan worden voorkomen door bij het bestellen van de led-lampjes een nauwe bandbreedte van de kleurtemperatuur te vragen. Op het moment van schrijven van dit document hebben de led-lampjes nog niet per definitie een voor museale doeleinden geschikte kleurweergave. Ook zijn er nog grenzen aan het vermogen van de lampjes waardoor de lichtopbrengst per led nog beperkt is. Speciale, wisselende effecten kunnen worden gerealiseerd door het mengen van leds in de kleuren rood, groen en blauw die naast elkaar zijn aangebracht. Door ze over een vlak te verdelen, op de wijze zoals dit ook bij kleurenbeeldschermen het geval is, kunnen niet alleen wisselend gekleurde vlakken worden gerealiseerd maar kunnen ook figuren en informatie worden getoond. Leds stralen geen warmte uit in de lichtbundel, echter wel aan de achterzijde! Deze warmte wordt veelal afgevoerd via het profiel waarop de leds zijn aangebracht. Ze dienen zo te worden ingebouwd, dat ze geen effect hebben op het vitrineklimaat.



Fig. 6.9
Led spot voor in
een vitrine van
Philips



< Fig. 6.10
Led verlichting toegepast in een
vitrine bij Ons' Lieve Heer op
Solder in Amsterdam

Per object zal de verlichting in vitrines bepaald moeten worden. Dit is iets wat al vroeg in het ontwerpproces van vitrines onderkend dient te worden.

Bij het aanlichten van schappen en objecten op planken onder elkaar is er vrij snel last van storende schaduwen. Dat kan worden vermeden door het aanbrengen van kleine lampjes onder de schappen en planken (figuur 6.12c)

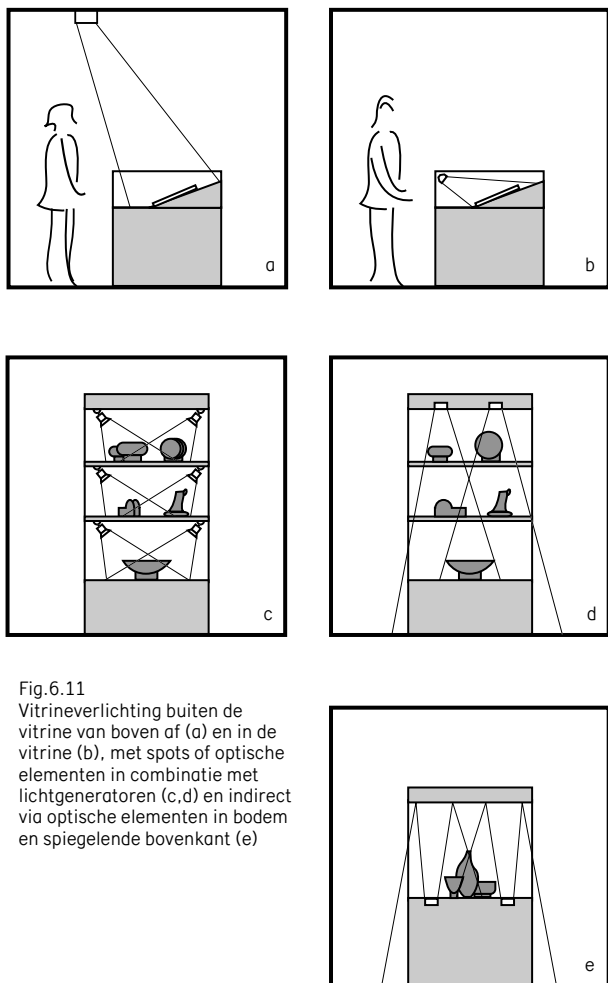
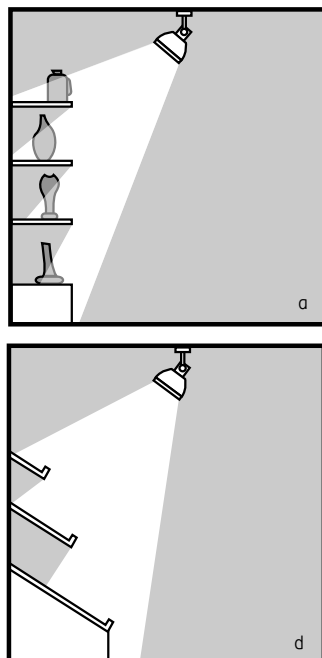


Fig. 6.11

Vitrineverlichting buiten de vitrine van boven af (a) en in de vitrine (b), met spots of optische elementen in combinatie met lichtgeneratoren (c,d) en indirect via optische elementen in bodem en spiegelende bovenkant (e)

Fig. 6.12

Verlichting van schappen vanaf het plafond (a-b), vanaf het plafond met verlichting onder de schappen (c) en met aangepaste schappen (d). Balies kunnen van boven worden verlicht (e) of van boven met aanvullende verlichting (f).

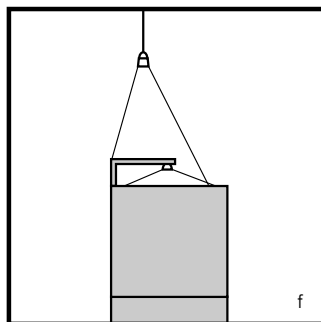
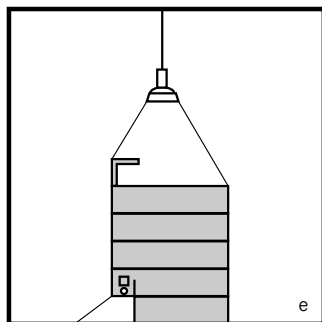
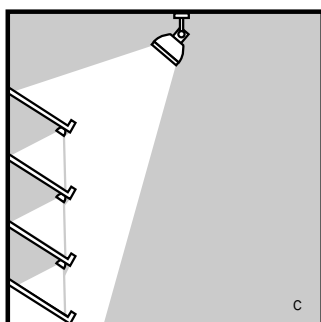
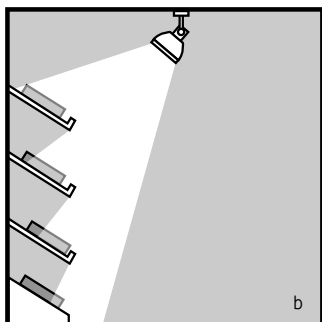
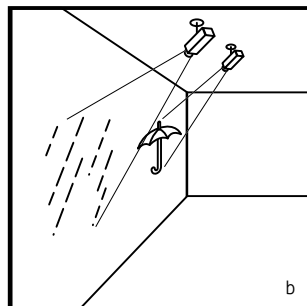
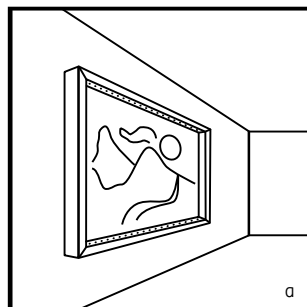


6.5 SPECIALE EFFECTEN

Om speciale, bijvoorbeeld theatrale, effecten te bereiken, zijn tal van verlichtingssystemen beschikbaar. Onder andere zijn dat programmeerbare spots, volgspots, spots met kleurfilters, spots met kleurenwiel of met oliefilters voor meer dynamische effecten, dia's of gobo's, (dynamische) fiber optic-systemen, elektro-luminescentiefolies - of panelen, decoratieve systemen met leds en lasers.

Door schijnwerpers met gobo's kan ook door middel van licht informatie op plafond, wanden of vloer worden geprojecteerd. Een nieuwe ontwikkeling in de theaterverlichting is de toepassing van videosignalen om spots of leds aan te sturen waardoor heel bijzondere effecten mogelijk zijn. Het voert te ver om alle mogelijkheden hier te beschrijven; lichtontwerpers en leveranciers kunnen daar meer over vertellen.

Fig. 6.13
Speciale effecten: Leds voor strijklicht (a) en spots voor speciale effecten (b)



7 SCHADE DOOR OPTISCHE STRALING EN HET BEPERKEN DAARVAN

7.1 INLEIDING

Om vorm en kleur te zien is licht nodig. Licht veroorzaakt echter schade aan materialen die daar gevoelig voor zijn. Zelfs kleine hoeveelheden zijn schadelijk, alleen duurt het langer voordat de schade opvalt. Lichtschade is cumulatief en onomkeerbaar. Elke hoeveelheid licht die op een voorwerp valt, voegt een beetje schade toe die niet meer ongedaan gemaakt kan worden. Een onderbelicht voorwerp loopt dus schade op zonder dat de kijker er ten volle van kan genieten. Een overbelicht voorwerp wordt extra beschadigd zonder dat het extra waardering oplevert. Het doel van museumverlichting is daarom drieledig: (1) de bezoeker moet de voorwerpen kunnen zien, (2) in een uitnodigend verlichte ruimte, (3) waarbij echter de schade als gevolg van licht tot een minimum beperkt blijft. Dit hoofdstuk gaat over schade door optische straling en bespreekt de richtlijnen voor museumverlichting die zijn verschenen in Informatie nr. 13 van het Instituut Collectie Nederland 'Het beperken van lichtschade aan museale objecten', ook bekend als de 'Lichtlijnen'.

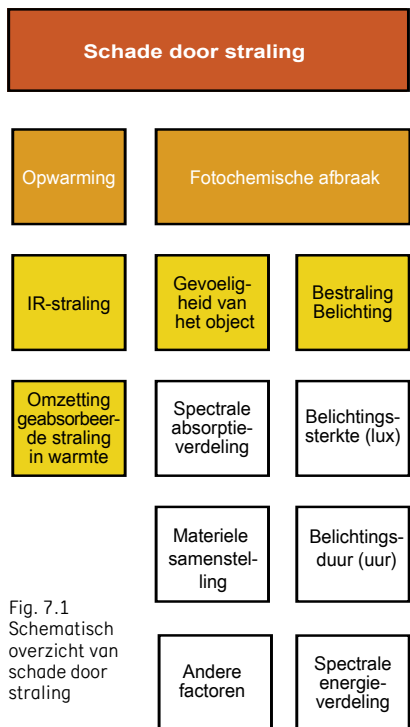


Fig. 7.1
Schematisch
overzicht van
schade door
straling

7.2 SCHADE DOOR OPTISCHE STRALING

Optische straling kan schade veroorzaken door fysische processen als gevolg van opwarming en door (foto)chemische reacties. (Zie ook hoofdstuk 4.2).

7.2.1 Opwarming

De infrarode straling (IR-straling) in een stralenbundel leidt direct tot opwarming. Een deel van het licht en de UV-straling die door een object worden geabsorbeerd wordt omgezet in warmte. Dit leidt uiteindelijk ook tot opwarming. Donkere materialen absorberen meer straling en warmen meer op dan lichte materialen. Door deze opwarming kunnen materialen uitzetten en vervormen. Ze kunnen ook uitdrogen, krimpen en scheuren. Tevens kunnen chemische reacties, die bij normale temperaturen niet zouden verlopen, bij hogere temperaturen wel plaatsvinden.

7.2.2 Fotochemische afbraak

Chemische reacties hebben altijd een bepaalde hoeveelheid energie nodig om op gang te komen (de activeringsenergie). Bij fotochemische reacties wordt die energie geleverd door de straling. Hoe energierijker de straling is, hoe destructiever de reacties kunnen zijn.

Fotochemische reactieprocessen zijn vaak complexe kettingreacties waar straling vooral een rol speelt bij de eerste stap (bandbreuk, radicaalvorming). De snelheid waarmee fotochemische reacties plaatsvinden en de mate waarin schade optreedt, hangt af van:

- ⌘ de gevoeligheid van het object;
- ⌘ de bestraling c.q. belichting;
- ⌘ omgevingsfactoren.

Gevoeligheid van het object

Een fotochemische reactie vindt alleen plaats als een materiaal de energie kan opnemen. Het moet straling, c.q. bepaalde golflengtes, absorberen. Het absorptiespectrum van een materiaal vertelt iets over de gevoeligheid. Daarnaast zijn er allerlei andere factoren die de gevoeligheid bepalen. Bij pigmenten speelt de grootte van de pigmentkorrels bijvoorbeeld een belangrijke rol. Kleine deeltjes verliezen sneller hun kleur dan grote deeltjes. Hoe hoger de pigmentconcentratie in een verf, hoe sneller het kleurverlies (Johnston-Feller in Cuttle, 1996). Bij een recent schoongemaakt schilderij houden het vuil en de vergeelde vernis niet langer licht tegen, de pigmenten zijn daarom gevoeliger voor lichtschade. Bij kleurstoffen op textiel maakt het verschil welke beits er is gebruikt en op welke ondergrond ze zijn aangebracht. Indigo op katoen is veel gevoeliger dan indigo op wol. Veel lichtgevoelige kleurstoffen verkleuren in het begin het snelst, daarna neemt de snelheid af. Dit betekent dat voorwerpen waarvan de kleuren 'als nieuw' zijn, hun grootste schade ondervinden bij de eerste tentoonstellingen. Dit betekent echter niet dat reeds vaak tentoongestelde voorwerpen daarom meer licht kunnen hebben. Andere soorten van schade, bijvoorbeeld fotochemische afbraak van het textiel of papier waarop de kleur is aangebracht, gaan gewoon door en kunnen de overhand nemen.

Bestraling c.q. belichting

De bestraling c.q. belichting hangt af van drie factoren:

- ⌘ de hoeveelheid energie die per tijdseenheid op het oppervlak valt; de bestralingssterkte of in het geval van licht de belichtingssterkte uitgedrukt in lux (lx);
- ⌘ de bestralingsduur of belichtingsduur uitgedrukt in uur (h);
- ⌘ de spectrale energieverdeling van de opvallende straling.

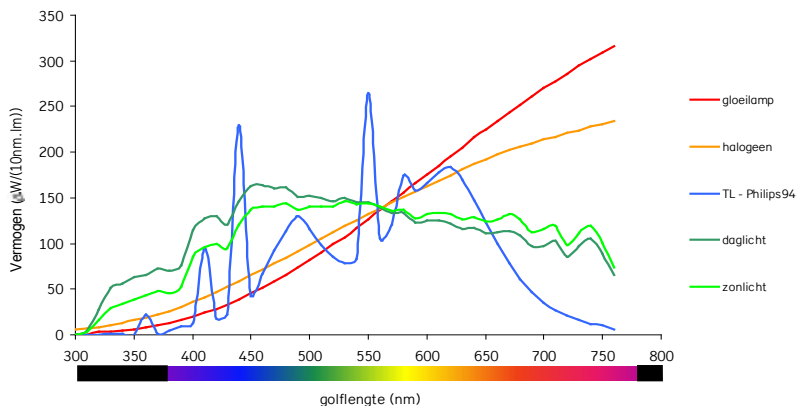
Dosis

Voor de bestralingssterkte en de bestralingsduur, geldt het zogenaamde 'Reciprociteitsprincipe'. Dit betekent dat eenzelfde uitkomst van de vermenigvuldiging van bestralingssterkte (E in $W.m^{-2}$) met bestralingsduur (t in h), dezelfde totale bestralingsdosis (H in $W.m^{-2}.h$) geeft en daarmee dezelfde schade oplevert ($H = E \times t$). Voor licht en de bijbehorende verlichtingssterkte en belichtingsduur gaat dat verhaal strikt gesproken niet op omdat die grootheden zijn gecorrigeerd voor de gevoeligheid van het oog en geen rekening houden met de energie die in het UV- en het IR-gebied aanwezig is. Dat is echter alleen een probleem bij zeer hoge verlichtingssterktes; bij de in de museumpraktijk gangbare verlichtingssterktes is het principe wel bruikbaar. Dit betekent dat 100 uur belichting met 50 lux dezelfde schade veroorzaakt als 50 uur belichting met 100 lux of 25 uur met 200 lux. De belichtingsdosis is in alle drie gevallen 5000 lx.h.

Spectrale energieverdeling

Als we ons een stralenbundel met UV-straling, zichtbaar licht en IR-straling voorstellen als een straal fotonen, dan bewegen alle fotonen met de lichtsnelheid, maar ieder foton heeft zijn eigen energie die afhangt van zijn golflengte. Hoe korter de golflengte (bij licht: hoe blauwer het licht), hoe meer energie een foton heeft en hoe groter de kans is dat die energie voldoende is om een schadelijke fotochemische reactie in een materiaal te initiëren. Iedere lichtbron heeft zijn karakteristieke spectrale energieverdeling die in een grafiek kan worden weergegeven (figuur 7.2). Daglicht heeft relatief veel blauwe, violette en UV-A straling. Gloeilamplicht heeft relatief veel geel en rood licht en is daarom minder schadelijk dan daglicht.

Fig. 7.2
Spectrale energieverdeling van verschillende lichtbronnen (gegevens van Thomson, 1986)



Omgevingsfactoren

De temperatuur speelt een rol bij de snelheid waarmee chemische reacties verlopen. Een lage temperatuur kan fotochemische afbraakprocessen vertragen. Hetzelfde geldt voor de relatieve luchtvochtigheid (RV). Bij een lage RV verlopen afbraakreacties langzamer. Luchtverontreiniging kan reacties versnellen. Voor oxidatiereacties is de aanwezigheid van zuurstof cruciaal. Veel fotochemische afbraakreacties kunnen daarom worden vertraagd door het voorwerp in een zuurstofarme omgeving, schoon, droog en koel te houden.

Harrisons's 'Damage function' (1953)

Harrison heeft in de jaren 1950 een manier bedacht om de schadelijkheid van verschillende lichtbronnen, zonder of met filters, te berekenen. Hij stelde de 'damage function' (DA) op die voor iedere golflengte aangeeft hoeveel schade die relatief veroorzaakt. Het is een kromme die lijkt op de energieverdeling van de fotonen, maar neemt de schadelijkheid, naarmate de golflengte afneemt, sneller toe dan de energie. Aan de hand van deze 'damage function' kon Harrison voor iedere lichtbron waarvan het spectrum bekend was de 'damage index' (DI) berekenen, wat een maat is voor de potentiële schade die een lichtbron, al dan niet voorzien van een filter, kan veroorzaken. Harrison's ideeën werden met de nodige scepsis ontvangen. De wetenschappelijke onderbouwing rammelde. De 'damage function' suggereert dat de meeste schade het gevolg is van UV-straling en dat straling met een golflengte boven de 550 nm niet schadelijk is. Dat is niet juist, want lichtgevoelige kleurstoffen zijn juist heel gevoelig voor zichtbare straling. Maar Harrison's werk heeft er wel toe geleid dat men algemeen accepteert dat UV-licht zeer schadelijk is en dat de schadelijkheid samenhangt met de energie, en dus de golflengte, van het opvallende licht.

7.3 RICHTLIJNEN VOOR MUSEUMVERLICHTING

7.3.1 Richtlijnen in het verleden

Dat licht schade aan voorwerpen kan veroorzaken is al eeuwen bekend. De eerste wetenschappelijke onderzoeken naar het effect van licht op museumvoorwerpen dateren uit het eind van de 19e eeuw. Het was Thomson die in 1961 de eerste richtlijnen voor museumverlichting opstelde voor de National Gallery in Londen. Als compromis tussen goed kunnen zien en schade beperken stelde hij voor om lichtgevoelige materialen met maximaal 50 lux en minder gevoelige materialen met maximaal 150 lux te verlichten. Deze waarden waren gebaseerd op de toen gangbare verlichting met gloeilampen en een gemiddelde museumbelichting van 3000 uur per jaar. Omdat men de schade bij deze verlichting acceptabel vond, werd bovendien ook het UV-gehalte van een gloeilamp (circa $75 \mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$) in zijn richtlijnen opgenomen. Thomson was zich er terdege van bewust dat ook bij

50 lux lichtschade optreedt en dat de duur van de belichting daarom ook een belangrijke rol speelt. In de loop van de jaren zijn Thomson's acceptabele bovengrenzen echter een eigen leven gaan leiden. Ze zijn uitgegroeid tot algemeen geaccepteerde 'veilige' normen waarbij het accent zo sterk op de verlichtingssterkte is komen te liggen dat de invloed van de belichtingsduur vaak over het hoofd wordt gezien.

7.3.2 Vernieuwde richtlijnen van het ICN in 2005

Intussen hebben er allerlei technische ontwikkelingen plaatsgevonden; er zijn nieuwe lampen en verlichtingssystemen ontwikkeld en er is veel meer en gedetailleerdere kennis beschikbaar over de gevoeligheid van veel verschillende materialen. Internationaal zijn er nu ontwikkelingen gaande waarbij wordt teruggegaan naar de bron: de relatie tussen belichting en schade. Daaraan gekoppeld is de vraag welke schade acceptabel is. Op basis van die twee gegevens kan een collectiebeherende instelling bepalen hoeveel belichting een voorwerp mag hebben. De vernieuwde richtlijnen die het Instituut Collectie Nederland in 2005 heeft gepubliceerd (ICN, 2005) sluiten aan bij die internationale ontwikkelingen en bij publicatie nr. 157 van de Commission International de l'Eclairage (CIE, 2004). Ze vormen geen radicale verandering ten opzichte van de tot dan toe gehanteerde richtlijnen, het is meer een verandering in benadering. Voor lichtgevoelig materiaal geldt onverminderd dat die met een lage verlichtingssterkte en een beperkte belichtingsduur moeten worden getoond. Maar wanneer de collectiebeherende instelling een standpunt heeft ingenomen over de acceptabele schade en wanneer men over harde gegevens beschikt over de relatie tussen belichtingsdosis en schadelijk effect, dan kan men een veel genuanceerdere beslissing nemen over de juiste verlichtingssterkte, belichtingsduur en lichtbron. Daarmee bieden de vernieuwde richtlijnen meer flexibiliteit in de omgang met belichting. Voor wie niet al te zeer in detail wil treden, bieden de algemene aanbevelingen nog altijd dezelfde houvast als vroeger. Hoewel de vernieuwde richtlijnen een grotere flexibiliteit in belichting lijken te bieden, mogen ze niet worden gezien als een vrijbrief voor onbeperkte en felle verlichting.

7.3.3 Bestraling beperken

UV-straling beperken

Omdat ons oog UV-straling (<400 nm) niet kan zien terwijl de straling veel energie bezit en potentieel erg schadelijk is, is het allereerst dus belangrijk de UV-straling in de bundel te vermijden. Reductie van het UV-gehalte in het licht tot $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ (gloeilampniveau) is meestal

geen probleem. Aangezien het tegenwoordig mogelijk is om alle straling met een golflengte korter dan 400 nm met filters, folies en de juiste lampen vrijwel volledig uit de lichtbundel te verwijderen, wordt dit sterk aanbevolen. UV-gehaltenes lager dan $10 \mu\text{W.lm}^{-1}$ zijn moeilijk te meten, daarom wordt die waarde als streefwaarde aangehouden. (Zie ook hoofdstuk 8.2.3.)

Verlichtingssterkte beperken

In theorie is er niet meer licht nodig dan de voor het optimaal zien noodzakelijke verlichtingssterkte. Dat is het principe achter tentoonstelling van aquarellen en gekleurde prenten in een donkere ruimte met minimale verlichting. Die aanpak is uiteraard niet overal mogelijk of gewenst. In ruimtes met ramen geeft invallend daglicht al een hoge omgevingsverlichting die een nog hogere accentverlichting vergt om objecten uit te lichten. Het beperken van invallend daglicht is daarom een zeer effectief middel om de totale verlichtingssterkte terug te brengen en schade te beperken.

Belichtingsduur beperken

Wanneer de verlichtingssterkte eenmaal vast staat, kan binnen de acceptabele belichtingsdosis worden gebleven door de belichtingsduur aan te passen. Dat kan bijvoorbeeld door te zorgen dat er geen licht op het voorwerp valt als het niet wordt bekeken, of door beperkingen te stellen aan de tentoonstellingsduur. (Zie ook hoofdstuk 8.6.1.)

IR-straling beperken

Opwarming van de voorwerpen en hun omgeving, bijvoorbeeld in een vitrine, moet worden voorkomen. Als controle vuistregel kan worden aangehouden dat wanneer een hand ter hoogte van het verlichte oppervlak opwarmt in de lichtbundel, er te veel warmte wordt geproduceerd. IR-straling in de bundel moet worden gereduceerd en opwarming door opvallend licht kan met aanpassing van de afstand en de sterkte van de lichtbron worden verminderd. Een groot deel van de energie die naar de verschillende lamponderdelen gaat, wordt niet omgezet in straling maar direct in warmte. De warmte van lichtbron en armatuur moet worden afgevoerd door ventilatie of door te zorgen dat de warmteproductie buiten de vitrine optreedt. (Zie ook hoofdstuk 8.2.3).

Spectrale energie beperken

Eventueel kan met speciale lichtbronnen de hoeveelheid energie in het opvallende licht nog worden verminderd. Er wordt geëxperimenteerd met het mengen van slechts drie specifieke golflengtes tot

wit licht. Doordat de andere golflengtes zijn verwijderd is de totale energie van het spectrum lager dan bij gangbaar wit licht (Cuttle, 2000). Tot nu toe is de kleurweergave van dit soort systemen nog niet goed genoeg om ze commercieel beschikbaar te maken.

7.3.4 Gevoeligheid van het voorwerp

Maat voor lichtechtheid

De beste maat voor lichtechtheid en de snelheid van ontkleuring is de ISO-classificatie, beter bekend als de 'blauwe wol standaard' (BWS) (ISO, 1995). De 'blauwe wol standaard' bestaat uit een kaart met acht stukjes wol die ieder met een andere blauwe kleurstof zijn geverfd. ISO 1 is het meest gevoelig voor licht, ISO 2 heeft de dubbele belichtingsdosis nodig om te verkleuren. ISO 3 heeft weer twee keer zoveel belichting nodig als ISO 2, enzovoort tot ISO 8 die het minst gevoelig is voor licht (figuur 7.3). De lichtgevoeligheid van een materiaal kan worden bepaald door het onder standaardcondities bloot te stellen

Fig. 7.3 ISO Blauwe wol standaard: acht stalen wol blootgesteld aan 120 Mlx.h (UV-rijk). Het kleurverschil tussen de belichte onderzijde en de onbelichte bovenzijde loopt van ISO 1 $\Delta E = 45$ (links, 30 jwv, totaal verbleekt) via ISO 4 $\Delta E = 15$ (10 jwv) tot ISO 8 $\Delta E = 1,5$ (rechts, 1 jwv).

	Röntgenstraling	UV-C	UV-B	UV-A							IR-A	IR-B
		100-300	300-315	315-400	400-430	430-460	460-500	500-560	560-610	610-700	700-900	900-1000000
lengte (nm)												
intensiteit (MJ/m ²)		0.1	0.05	0.01	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

aan een standaardbelichting en de verkleuring te vergelijken met een tegelijkertijd blootgestelde set blauwe wol standaarden. Daartoe wordt de helft van het materiaal afgeschermd tegen licht zodat verkleuring eenvoudig vast te stellen is door de twee helften van ieder stukje met elkaar te vergelijken. De gevoeligheid van een materiaal wordt gedefinieerd als de ISO-waarde van de blauwe wol standaard die bij dezelfde belichtingsdosis een zelfde kleurverandering toont.

Maat voor schade

Voor het gemak worden al de relaties tussen belichtingsdosis en optredende schade, dus de gevoeligheid van materialen, uitgedrukt in

vergelijkbare ISO-waarden. Hiervoor wordt gekozen omdat vergelijking en ontkleuring eenvoudig waarneembaar zijn en tot ieders verbeelding spreken. Bovendien is verkleuring in de meeste gevallen de eerste indicatie van schade. Krantenpapier, een van de meest lichtgevoelige dragers, vertoont eerst een vergeling voordat de vezels waarneembaar aan sterkte inboeten. Verkleuring kan goed worden gemeten met een kleurmeter of spectrofotometer.

CIELAB en ΔE

De $L^*a^*b^*$ kleurenruimte, ook bekend als CIELAB, is een in 1976 door de CIE gedefiniëerde manier om kleur uit te drukken als een punt ergens in een uniforme, bolvormige ruimte. De L^* is de lichtheid die van wit naar zwart loopt. De a^* geeft de groen-rood waarde en de b^* geeft de blauw-geel waarde. Iedere kleur heeft zijn eigen $L^*a^*b^*$ -coördinaten. Het verschil tussen twee kleuren, ΔE , wordt uitgedrukt als de afstand tussen de twee coördinaten in de bol (zie figuur 10.5).

Lichtgevoeligheid bepalen

Voor het bepalen van de lichtgevoeligheid van dragermaterialen zoals papier en textiel, wordt uitgegaan van het ongekleurde materiaal waaraan de eerste tekenen van afbraak als een kleurverandering te zien zijn. Materialen die niet verkleuren maar wel hun sterkte verliezen, worden ingedeeld in de ISO-klasse met de belichtingsdosis waarbij dat verlies opvalt.

Voorbeeld 1: In een donkergeverfde zijde is de zijde zelf mogelijk gevoeliger dan de kleurstof. Vergeling is onder de donkere kleur niet waarneembaar en schade valt pas op wanneer de zijde daadwerkelijk sterkte verliest. Bij belichting met UV-rijk licht heeft gewone zijde een lichtechtheid van ISO 6, verzwaarde zijde is echter ISO 1.

Voorbeeld 2: Polyetheenpapier waarop foto's worden afgedrukt is gevoelig voor UV-straling. Het bevat echter zeer veel titaandioxide om het wit te maken. Dit pigment is niet gevoelig voor licht of UV-straling en heeft zo'n dekkingskracht dat de afbraak van het polyetheen niet als kleurverandering opvalt. Bovendien katalyseert titaandioxide de fotochemische afbraak van polyetheen. Na verloop van tijd verliest een op polyetheenpapier afgedrukte foto dan ook zonder zichtbare waarschuwing zijn sterkte.

Juist waarneembare verandering

Voor de mate van verkleuring wordt de eenheid 'juist waarneembare verandering', jwv, geïntroduceerd. Dit komt overeen met de 'just noticeable fade' van de CIE (2004) en de 'perceptible change' van Ashley-Smith et al. (2002). Eén 'juist waarneembare verandering' is het kleurverschil dat nog net met het oog kan worden gezien. Het komt overeen met een meetbaar kleurverschil van $\Delta E=1,5$ volgens CIELAB. Denkend in termen van 'juist waarneembare verandering' kan als vuistregel worden gehanteerd dat een verzadigde kleur na circa 30 jwv volledig is ontkleurd ('total loss'). Een voorwerp dat zijn

karakter geheel aan zijn kleur ontleent, heeft na circa 10 jwv zijn tentoonstellingswaarde eigenlijk al verloren. Maar een jwv hoeft niet alleen een kleurverandering te zijn. Een materiaal kan ook zijn sterkte verliezen: een textielweefsel kan zoveel aan sterkte hebben verloren, dat het niet meer kan hangen maar moet worden ondersteund.

De belichtingsdosis die nodig is om in ieder van de acht ISO blauwe wol standaarden een kleurverschil van $\Delta E=1,5$ (1 jwv) te veroorzaken, is bepaald en gepubliceerd (CIE, 2004). In de CIE-publicatie worden belichtingsdoses voor twee soorten verlichting gegeven:

- ⋮ *UV-arm licht*: een spectrum waar alle straling met een golflengte van minder dan 400 nm uit is gefilterd; dit spectrum is alleen gebruikt voor lichtechtheidstest van 400 kleurstoffen en de blauwe wol standaarden. Deze waarden kunnen daarom eigenlijk alleen voor organische kleurstoffen worden gehanteerd.
- ⋮ *UV-rijk licht*: een spectrum waarin een bepaalde hoeveelheid UV-straling aanwezig is; dit is het spectrum van de Xenotest, de laboratoriumtest waarbij materialen aan een hoge dosis 'daglicht achter glas' worden blootgesteld.

In tabel 7.2 (pag. 66) is de belichtingsdosis voor een verkleuring van 1 jwv van de verschillende ISO-standaarden vermeld. Wanneer het UV-gehalte in het licht op gloeilampniveau zit ($75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$), mag met de waarden voor UV-arm licht worden gerekend. Voor alle twijfelgevallen wordt aangeraden om met de getallen voor UV-rijk licht te werken. In de tabel is tevens een kolom opgenomen met de tijd tot totale verbleking van de blauwe wol standaarden bij een verlichtingsterkte van 100 lx.

Juist waarneembare verandering (jwv) en 'total loss'

Bij lichtgekleurde voorwerpen of lichte partijen waarin relatief weinig kleurstof of pigment aanwezig is, gaat de benadering van de 30 jwv tot 'total loss' niet op. Bij een pasteltint, een transparante kleur of een glacis in een schilderij kan een absolute kleurverandering van $\Delta E=1,5$ (1 jwv) al in een paar stappen tot totaal kleurverlies leiden. Het aantal stappen kleurverlies dat tot 'total loss' leidt, moet dus altijd per geval worden bekeken. Zo is ook de plaats waar het kleurverlies optreedt bepalend voor de acceptatie. In een portret zijn de lichte tonen de zwakste plek, die bepalen juist veelal het karakter van de geportretteerde. Daar kunnen een paar stappen verandering de gezichtsuitdrukking al volledig vervagen en tot 'total loss' leiden.

7.3.4 Gevoeligheidsklassen

Materialen kunnen op basis van hun lichtgevoeligheid en ISO-waarde in drie klassen worden ingedeeld:

1. *Hoog gevoelig (ISO 1-3)*
2. *Gevoelig (ISO 4-6)*
3. *Laag gevoelig (ISO 7-8)*

Hier komen nog twee klassen bij:

0. *Als nieuw' (<ISO 1)*. Dit zijn materialen en voorwerpen die nog weinig licht hebben gezien en nog in hun oorspronkelijke toestand verkeren en daar hun waarde aan ontlelen. Voorbeelden zijn referentiecollecties. Omdat het verband tussen belichtingsdosis en verkleuring in veel gevallen niet lineair is en de grootste verkleuring in het begin optreedt, leidt belichting van dit soort 'maagdelijke' voorwerpen tot relatief grote schade.
4. *Niet gevoelig (>ISO 8)*. Dit zijn alle materialen en voorwerpen die geen schade ondervinden, zoals steen, metaal, onbewerkt glas, onbewerkt aardewerk en keramiek. Let wel, bewerkt glas en keramiek kunnen lichtgevoelige componenten bevatten. Een voorbeeld is mangaan ontkleurd glas dat op de lange duur paars wordt.

In tabel 7.1 en 7.2 zijn de klassen in de eerste kolom opgenomen. Tabel 7.1 (pag. 62) geeft een overzicht van de lichtgevoeligheid van verschillende materialen. De meeste gegevens komen uit tests waarin is belicht met 'daglicht achter glas', dus UV-rijk licht. De kennis over de lichtgevoeligheid groeit voortdurend. Onderzoeksresultaten zijn verspreid over de vakliteratuur te vinden. Het voert te ver om alle gegevens te bundelen, daarom is in tabel 7.1 getracht een bundeling te geven naar algemene groepen van materialen en objecten. In bijlage C is een beperkt aantal specifieke gegevens op een rij gezet. Om van een bepaald object de lichtgevoeligheid vast te stellen kan een in-situ test worden verricht met de Microfado.

Als maximaal toelaatbare belichtingsdosis voor een gevoeligheidsklasse wordt de laagste ISO-waarde binnen de klasse genomen. Nederland wijkt hiermee af van de Noord-Amerikaanse benadering waar met een gemiddelde gevoeligheid binnen een klasse wordt gewerkt. Het ICN vindt het echter onverantwoord om bij voorbaat het meest gevoelige materiaal op te offeren ten bate van het grotere gemiddelde. De richtlijnen laten het wel toe om met goede argumenten af te wijken van de gegeven maxima wanneer voor een klasse de ISO-waarde bekend is. Onbehandelde zijde valt in de klasse

‘gevoelig’ en zou als ISO 4 belicht moeten worden. Uit onderzoek weten we echter dat de gevoeligheid overeenkomt met ISO 6 en dat iets hogere belichting acceptabel is.

7.3.5 Acceptatie van schade door de collectiebeherende instelling

Als tentoonstellen per definitie het accepteren van schade is, dan is de cruciale vraag hoeveel schade acceptabel is en over welke periode die mag optreden. Dit is de verantwoordelijkheid van de collectiebeherende instelling die daarover een standpunt zal moeten innemen.

Aan de basis van ieder belichtingsregime ligt daarom de vraag: ‘In hoeveel tijd mag er 1 jwv optreden?’. Met andere woorden: ‘Hoelang moet het voorwerp meegaan?’.

Hierbij geven de volgende periodes enig houvast:

1 jwv per 10 jaar betekent dat een voorwerp dat zijn waarde aan zijn kleur ontleent, na ongeveer 100 jaar blootstelling zijn tentoonstellingswaarde verliest (bijvoorbeeld verbleking van bepalende kleurpartijen) en dat het in circa 300 jaar blootstelling al zijn kleur heeft verloren. Een materiaal dat zijn sterkte verliest zal na 100 jaar niet zonder ondersteuning kunnen worden getoond en na circa 300 jaar bros zijn en verkrumelen. Bij 1 jwv per 10 jaar ziet een mens gedurende zijn leven ongeveer vijf veranderingen optreden, bijvoorbeeld een opvallend kleurverlies of een opvallende achteruitgang in sterkte.

Acceptatie van schade

Schade is een verandering die leidt tot een verlies van waarde. Behoud is het voorkomen of beperken van waardeverlies. Een object zal altijd verschillende waarden hebben die in de loop van de tijd kunnen veranderen, bijvoorbeeld: cultureel, artistiek, historisch, informatief, documentair, authentiek, referentie, functioneel, presentatie, educatief, emotioneel en politiek. Iedere instelling zal zich voor zijn collectiebeleid en zijn behoudsplan moeten bezinnen op de vraag wat een bepaalde verandering betekent voor de waarde van een object. Zowel de waarde voor ons nu, als die voor generaties in de toekomst.

De roze bloesems in een schilderij uit eind 19de eeuw, zijn 100 jaar later wit omdat de rode kleurstof in de toplaag van de verf is afgebroken. Het schilderij is niet meer zoals het origineel was, maar heeft voor het museum toch nog steeds een hoge (tentoonstellings)waarde. Een brief die met rode inkt is geschreven en nu is ontkleurd, is niet meer leesbaar en heeft zijn belangrijkste waarde verloren. Dezelfde materiele verandering heeft voor het ene object dus andere consequenties dan voor het andere object. Het nadenken over veranderingen, hun consequenties en de acceptatie ervan is niet alleen van cruciaal belang in de besluitvorming bij museumverlichting, maar vormt de basis voor beheer en behoud, of het ruimere kader van ‘collectie risico management’.

1 jwv per 50 jaar betekent dat een voorwerp in ongeveer 500 jaar blootstelling zijn tentoonstellingswaarde heeft verloren en dat het in circa 1500 jaar blootstelling zijn waarde totaal heeft verloren. Een mens ziet in dit geval gedurende zijn leven één verandering optreden. Onze kleinkinderen gaat de schade pas opvallen als ze een vergelijking maken met documentatie uit onze tijd.

7.3.6 Belichtingsregime

Wanneer de gevoeligheid van het materiaal bekend is en men heeft besloten over welke periode 1 jwv wordt geaccepteerd, kan aan de hand van de toelaatbare belichtingsdosis het belichtingsregime worden opgesteld. In tabel 7.2 staan in de rechter helft voorbeelden van belichtingsregimes uitgewerkt.

Klasse 0: als nieuw

Voor de klasse voorwerpen waarvan de toestand nog zo goed als nieuw is en die daaraan waarde ontleen, moet de belichting tot een absoluut minimum worden beperkt. Belichting zal slechts bij uitzondering kunnen plaatsvinden en dan slechts voor zeer korte duur bij een zo laag mogelijke verlichtingssterkte en met totale uitbanning van UV-straling.

Klasse 1: hoog gevoelig

Voor de klasse voorwerpen die een lichtgevoeligheid hebben vergelijkbaar met ISO 1-3 moet de verlichtingssterkte zo laag mogelijk worden gehouden met maximale reductie van het UV-gehalte. Een verlichtingssterkte van 50 lux geldt hier als uitgangswaarde.

Bij schadeacceptatie van 1 jwv in 10 jaar kan een voorwerp onder deze omstandigheden 20% van de tijd worden tentoongesteld. Bij een UV-gehalte van maximaal $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ wordt dat 15% van de tijd. Bij een hogere verlichtingssterkte of bij een schadeacceptatie van 1 jwv in 50 jaar wordt de belichtingsduur evenredig korter.

Klasse 2: gevoelig

Voorwerpen die een lichtgevoeligheid hebben vergelijkbaar met ISO 4-6 kunnen met een iets hogere verlichtingssterkte worden belicht, tot 150 lux als uitgangswaarde, met maximale reductie van het UV-gehalte.

Bij schadeacceptatie van 1 jwv in 10 jaar kan een voorwerp onder die omstandigheden permanent worden tentoongesteld. Bij een UV-gehalte van maximaal $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ wordt dat 80% van de tijd. Bij een schadeacceptatie van 1 jwv in 50 jaar moet voor permanente tentoonstelling de verlichtingssterkte worden teruggebracht naar 50

lux met maximale reductie van het UV-gehalte. Wanneer er voor een hogere verlichtingssterkte wordt gekozen moet de belichtingsduur worden teruggebracht. Een sterkere verlichting mag niet tot schade aan gevoeligere voorwerpen in de directe omgeving leiden.

Klasse 3: laag gevoelig

Voorwerpen die een lichtgevoeligheid hebben vergelijkbaar met ISO 7-8 kunnen met een vrij hoge verlichtingssterkte worden belicht, maar omwille van een evenwichtige verlichting in een ruimte wordt een maximum van 200 lux aanbevolen. Het UV-gehalte moet worden gereduceerd tot maximaal $75 \mu\text{W.lm}^{-1}$. Bij schadeacceptatie van 1 jwv in 50 jaar kan een voorwerp onder die omstandigheden nog permanent worden tentoongesteld. Een sterkere verlichting mag niet tot schade aan gevoeligere voorwerpen in de directe omgeving leiden.

Klasse 4: niet gevoelig

Voorwerpen die ongevoelig zijn voor licht kunnen in principe zonder beperkingen worden tentoongesteld. Hierbij is het alleen van belang dat hun belichting die van gevoeligere voorwerpen niet stoort en dat de evenwichtigheid van de verlichting door het gebouw heen niet in het geding komt.

Permanente tentoonstelling

Onder permanente tentoonstelling wordt hier verstaan 8 uur belichting per dag, 3000 uur per jaar.

NB. Hierbij is geen rekening gehouden met verlichting buiten openingstijden zoals schoonmaak- en werkverlichting of verlichting tijdens recepties en andere evenementen en ook niet met noodverlichting en beveiligingsverlichting.



Verlichting in het Louvre in Parijs (links) en het Natuurmuseum in Tilburg (onder).



Tabel 7.1
Indeling van materialen in gevoeligheidsklassen
(naar CIE 2004)

Gevoeligheids- klasse	Algemene omschrijving	ISO waarde	Specifieke voorbeelden
Voorwerpen			
0. Als nieuw	supergevoelig materiaal of materiaal dat zelden aan licht is blootgesteld, nog in (bijna) originele staat verkeert en daar zijn waarde aan ontleent.	< 1	gekleurd referentiemateriaal bedrukt thermografisch papier Japanse prenten
1. Hoog gevoelig	de meeste plantaardige kleurstoffen	1	gekleurd werk op papier (aquarel, pastel, miniatures, gekleurde prenten, meeste kleurstoffen uit inkttekeningen) behang - gekleurd papier en textiel foto - 19de-eeuwse en experimentele technieken gekleurd textiel, tapijten meubels met gekleurde stoffering vloeistofpreparaten herbaria (gedroogde planten)
	de meeste kleurstoffen uit insecten		
	de meeste vroeg-synthetische kleurstoffen		
	veel goedkope synthetische kleurstoffen in verschillende media de meeste viltstiften		
2. Gevoelig	het meeste gekleurde papier van < 20ste eeuw	2	kleurenfotoafdrukken
	de meeste kleurenfoto's met 'colour' in procesnaam		
	sommige mineralen		
		3	
3. Laag gevoelig	sommige historische plantaardige kleurstoffen	4	Chinees lakwerk zwart-wit werk op goede kwaliteit papier (grafiet, houtskool, zwart krijt, etsen, gravures)
	het meeste bont, haar en vachten		
	de meeste kleurenfoto's met 'chrome' in procesnaam	5	
	schilderijen op doek, paneel, etc. beschilderd hout, polychromie, meubels		
3. Laag gevoelig		6	
	kunstenarspigmenten, 'AA'	7	zilver-gelatine foto's z/w (geen UV!)
	moderne pigmenten voor buitengebruik (autolak)		
4. Niet gevoelig	meeste moderne acrylverf - goede kwaliteit		
	structurele kleuren in insecten	8	
	de meeste anorganische materialen	> 8	
*Voor kunststoffen en rubbers moet de UV-straling uit het spectrum worden verwijderd.			

	Dragers	Afwerkingen, kleurstoffen, pigmenten
	krantenpapier leer - gekleurd leer - plantaardig geloid papier van slechte kwaliteit (reeds vergeeld) kunststoffen - gekleurd* PUR-ether (verkleurt)* zijde - verzwaaard gekleurde was polyamide - niet gestabiliseerd	Bismarck bruin curcuma (geelwortel) eosine indigokarmijn methylviolet op papier rubberlijm safflower saffraan inkten op kleurstofbasis Victoriablauw op papier
	mahonie finer vurenhout - onbehandeld ivoor natuurrubber polystyreen*	geelhout, fustic guttegorn (gamboge) henna karmijnrood (lak) cochennille op tinchloride in lijnolie meekrap op katoen en in lijnolie op aluin quercitron (lak) rodamine op papier
	linnen - onbehandeld kopieerpapier epoxyhars	cochennille op wol en katoen balpeninkt blauw indigo op papier, katoen en zijde meekrap op zijde woude met aluminium beits op wol ijzergallusinkt
	wol, flanel, gabardine, bont, vacht been, bot, hoorn leer - chroomgeloid veren, haar PVC*	lac-lac op wol zeewier op wol woude met tinbeits op wol bistre inkt
	perkament ebbehout	alizarine (synth) als lak en op wol sepia inkt galappel met ijzerbeits sinack (sumac) met ijzerbeits meeste zwarte natuurlijke kleurstoffen kleurpotloden - aantal moderne, pink, oranje, geel, rood
	zijde - onbehandeld PUR-ether (verkruijmt)*	cochennille op zijde vermiljoen
	papier - goede kwaliteit lompen polymethylmethacrylaat* Paraloid B72	indigo op wol, meekrap op wol chroomgeel, koningspurper wede
	parelmoer	cadmium rood, oranje en geel
	emaille, glas, keramiek, aardewerk, tegels, PVC film, metaal, steen	aardpigmenten, ijzeroxiden, witte pigmenten echte frescopigmenten, meeste minerale pigmenten kobaltblauw, ultramarijn, koolstof, houtskool, grafiet

Tabel 7.2
Samenvatting richtlijnen voor museumverlichting

Gevoeligheids- klasse	ISO	Belichtingsdosis (H) ^a tot 1 jwv		Tijd tot totale verble- king bij 100 lx	Richtlijnen voor museumverlichting E = aanbevolen H = belichtingsdosis tot 1 jwv (Mlx.h)	
					UV-arm ^f	UV-rijk
		UV-arm ^b (Mlx.h) ^e	UV-rijk ^c (Mlx.h) ^e	UV-rijk ^d (jaar)		
0. Als nieuw	<1				blootstelling aan licht tot een absoluut minimum beperken	blootstelling aan licht tot een absoluut minimum beperken
1. Hoog gevoelig	1	0,3	0,22	22	E: 50 lx	E: 50 lx
	2	1	0,6	66	H: 0,3 Mlx.h	H: 0,22 Mlx.h
	3	3	1,5	150		
2. Gevoelig	4	10	3,5	350	E: 150 lx	E: 150 lx
	5	30	8	800	H: 10 Mlx.h	H: 3,5 Mlx.h
	6	100	20	2000		
3. Laag gevoelig	7	300	50	5000	E: 200 lx	E: 200 lx
	8	1100	120	12000	H: 300 Mlx.h	H: 50 Mlx.h
4. Niet gevoelig	>8	1100	>120	>12000	E: aangepast aan omgeving H: geen eis UV: geen eis	E: aangepast aan omgeving H: geen eis UV: geen eis

a: $H = E \times t$; dosis-effect relaties naar CIE 157:2004 table 3.3.

b: geen straling met een golflengte <400 nm

c: daglicht achter glas, deel van UV-A straling nog aanwezig

d: 1 jaar = 3000 uur, uitgaande van de oorspronkelijke, verzadigde kleur van de blauwe standaard

e: Mlx.h = 1 miljoen lux uur

f: <75 $\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ (gloeilampniveau of lager)

g: 1 dag is 8 uur belichting

h: gebaseerd op 1 jwv in 10 jaar

i: gebaseerd op 1 jwv in 50 jaar

$H = E \times t$

Rekenvoorbeeld 1

Wanneer een belichtingsdosis van 0,3 Mlx.h tot 1 juist waarneembare verandering (jwv) leidt en er 50 lux nodig is om het voorwerp te kunnen zien, bedraagt de belichtingsduur tot 1 jwv:

$$t = H / E = \frac{300.000 \text{ lx.h}}{50 \text{ lx}} = 6000 \text{ h}$$

Belichtingsregime totaal aantal uur tot 1 jwv dag/jaar tot 1 jwv in 10 jaar ⁹ dag/jaar tot 1 jwv in 50 jaar ⁹		Tentoonstelling mogelijkheden en beperkingen
UV-arm ^f	UV-rijk	
		bij uitzondering tijdelijk
1 jwv: 6000 h @ 50 lx 1 jwv in 10 j: 75 d/j @ 50 lx 1 jwv in 50 j: 15 d/j @ 50 lx	1 jwv: 4400 h @ 50 lx 1 jwv in 10 j: 55 d/j @ 50 lx 1 jwv in 50 j: 11 d/j @ 50 lx	<20% van de tijd 50 lx ^h mits UV- gehalte <75 µW.lm ⁻¹
1 jwv: 67.000 h @ 150 lx 1 jwv in 10 j: 365 d/j @ 150 lx 1 jwv in 50 j: 167 d/j @ 150 lx	1 jwv: 23.000 h @ 150 lx 1 jwv in 10 j: 290 d/j @ 150 lx 1 jwv in 50 j: 57 d/j @ 150 lx	permanent 50 lx ⁱ of permanent 150 lx ^h mits UV- gehalte <75 µW.lm ⁻¹
1 jwv: 1.500.000 @ 200 lx 1 jwv in 10 j: 365 d/j @ 200 lx 1 jwv in 50 j: 365 d/j @ 200 lx	1 jwv: 67.000 h @ 150 lx 1 jwv in 10 j: 365 d/j @ 200 lx 1 jwv in 50 j: 365 d/j @ 200 lx	permanent 200 lx
		permanent aangepast aan omgeving

Rekenvoorbeeld 2

Wanneer een voorwerp 1 jwv in 50 jaar mag ondergaan, een belichtingsdosis van 3,5 Mlx.h tot 1 jwv leidt en er 100 lux nodig is om het voorwerp te kunnen zien, kan het in die 50 jaar worden tentoongesteld gedurende:

$$t = H / E = \frac{3.500.000 \text{ lx.h}}{100 \text{ lx}} = 35000 \text{ h}$$

$$\frac{35.000 \text{ h}}{8 \text{ h per dag}} = 4375 \text{ dag}$$

$$\frac{4375 \text{ dag}}{365 \text{ dag per jaar}} = 12 \text{ jaar}$$

(waarna 38 jaar in het donker)

$$\frac{12 \text{ jaar}}{50 \text{ jaar}} = 24\% \text{ van de tijd}$$

(bv. 2 uur per dag)

Rekenvoorbeeld 3

Wanneer een collectiebeherende instelling 1 jwv in 10 jaar accepteert, een belichtingsdosis van 0,22 Mlx.h tot 1 jwv leidt en het voorwerp 6 maanden tentoongesteld gaat worden, mag het belichte worden met:

$$E = H / t = \frac{220.000 \text{ lx.h}}{1500 \text{ h}} = 147 \text{ lx}$$

6 maanden = 1500 h
(maar dan is het lichtbudget voor de komende
10 jaar wel gebruikt)

8 VERLICHTINGSMIDDELEN EN GEBRUIKSMOGELIJKHEDEN

8.1 INLEIDING

In de vorige hoofdstukken zijn de voorwaarden en uitgangspunten voor een goed verlichtingsontwerp vastgelegd. In het verlichtingsontwerp is ook een keuze gemaakt voor het toe te passen type verlichting. Wanneer gebruik wordt gemaakt van daglicht, moeten er maatregelen worden getroffen om de hoeveelheid binnenvallend daglicht tot een acceptabel niveau te reduceren, de UV-straling te weren en opwarming te voorkomen. In de meeste gevallen zal gebruik gemaakt worden van kunstlichtbronnen, al dan niet in combinatie met daglicht. Dan moet er worden gekozen uit verschillende lampen en verlichtingsarmaturen. Beide zijn in tal van standaarduitvoeringen verkrijgbaar waarvan vele geschikt zijn voor toepassing in musea en expositieruimten. Soms is het echter gewenst of noodzakelijk om speciale armaturen te laten maken. Er zijn fabrikanten die hierop zijn ingericht.

De mogelijkheden om verlichting selectief te kunnen schakelen en dimmen kunnen van grote invloed zijn op de mogelijkheden voor flexibel gebruik van de inrichting, beperking van eventuele schade bij herinrichting, beperking van energiegebruik en voor het onderhoud. Deze mogelijkheden worden in belangrijke mate bepaald door de keuze van de lichtbronnen. De keuze van de verlichtingsarmaturen is bepalend voor de sfeer in de ruimte, terwijl de ruimte vaak weer beperkingen oplegt aan de keuzemogelijkheden. In een historisch interieur zal niet zo maar een lichtrail met halogeenspotjes worden gemonteerd. De wijze waarop de verlichting wordt aangesloten op het elektriciteitsnet is op zijn beurt weer bepalend voor de flexibiliteit van de accentverlichting.

Om een juiste keuze zo gemakkelijk mogelijk te maken worden in dit hoofdstuk de volgende onderwerpen nader toegelicht:

- ⌘ Toepassing van daglicht en middelen om dit te reguleren
- ⌘ Toepassingsmogelijkheden van kunstverlichting
- ⌘ Kunstlichtbronnen en hun eigenschappen
- ⌘ Armaturen en hun eigenschappen
- ⌘ Filters en afschermingmogelijkheden voor spots
- ⌘ Systemen voor verlichting via optische vezels
- ⌘ Toepassingsmogelijkheden van leds
- ⌘ Regel- en schakelmogelijkheden verlichting

8.2 TOEPASSING VAN DAGLICHT EN MIDDELEN OM DIT TE REGULEREN

De toepassingsmogelijkheden van daglicht zijn in hoofdstuk 5 al ter sprake gekomen. Belangrijke conclusie is dat daglicht een natuurlijke beleving van ruimten en voorwerpen bewerkstelligt waardoor deze als aangenaam worden ervaren. Tentoonstellingszalen worden door wisselende weersinvloeden dynamisch en veelal levendig. Ramen zorgen voor een relatie van de binnenruimte met de buitenwereld en dragen bij aan het oriëntatiegevoel. Het licht dat via de ramen binnenvalt, speelt een grote rol bij de weergave van de ruimtelijkheid van driedimensionale objecten. Daglicht heeft helaas ook nadelen. Bij toepassing van daglicht in een museale omgeving is het daarom veelal noodzakelijk om de daglichttoetreding te beheersen.

Daglicht heeft een continu lichtspectrum (figuur 8.1), waardoor alle kleuren goed tot hun recht komen. De mate waarin bepaalde kleuren voorkomen, verschilt met de weersomstandigheden, het tijdstip van de dag, de situering van daklichten en gevels en de reflectie van de buitenomgeving. Daglicht heeft een zeer hoog UV-gehalte. Daglicht dat door glas valt, bevat weliswaar geen straling met golflengten korter dan 315 nm., maar er zit nog altijd veel straling met golflengtes van 315-400nm in.

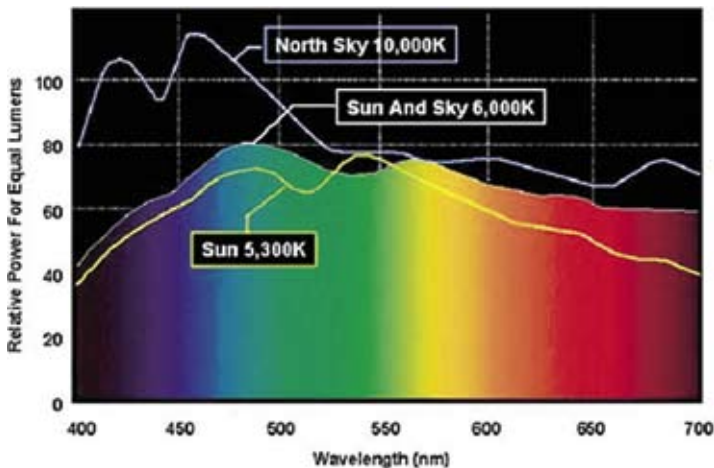


Fig. 8.1
Spectrale samenstelling van verschillende typen daglicht: noordelijke hemel (10.000 K), zonnige hemel (6000 K) en zon (5300 K). X-as golflengte (nm), Y-as relatieve vermogen (%)

Bron: www.gelighting.com

8.2.1 Direct invallend zonlicht vermijden

Het meest schadelijke soort daglicht is direct invallend zonlicht dat rechtstreeks op objecten valt. Behalve verkleuring en verbleking van

lichtgevoelige materialen als gevolg van blootstelling aan de hoge lichtniveaus heeft dit een sterke plaatselijke opwarming tot gevolg wat het risico van scheuren en barsten met zich meebrengt. Bovendien wordt het met invallend zonlicht moeilijk de temperatuur in de ruimte op een voor de collectie en de bezoekers aanvaardbaar niveau te houden.

Met luiken, gordijnen, zonwering voor de ramen, folies en speciale beglazing kan het invallende daglicht eenvoudig worden geweerd. Deze kunnen zelfs worden gestuurd met fotocellen, sensoren die na overschrijding van een ingestelde lichtintensiteit zorgen voor het neerlaten van rolgordijnen, het dichtdraaien van lamellen of het uitklappen van een markies. Bij een lage lichtintensiteit kunnen fotocellen er tevens voor zorgen dat het kunstlicht automatisch aangaat. Als het weren van direct invallend zonlicht op gebouwniveau op bezwaren stuit, moeten de objecten zo worden geplaatst dat er geen direct zonlicht op valt. Ook is het altijd nog mogelijk om objecten of vitrines af te dekken op momenten dat de zon naar binnen schijnt.

8.2.2 Daglicht sturen en reduceren

Daglicht wisselt constant in intensiteit. De zon kan plaatselijk voor erg hoge verlichtingsniveaus op objecten zorgen. Het meest constante

licht in intensiteit en spectrale samenstelling is het licht uit het noorden. De dakindeling is dan ook dikwijls zo uitgevoerd dat alleen dit licht binnenkomt (figuur 8.2). Bijkomend voordeel is dat er dan nooit directe zonnestrallen in de ruimte vallen.

Bij toepassing van daklichten biedt de ruimte tussen glazen plafonds en glaskappen op het dak vaak diverse mogelijkheden om voorzieningen op te nemen waarmee lichtniveaus kunnen worden geregeld.

Fig. 8.2
Toepassing
van shed-
daken met
ramen op
het noorden.
Museum De
Pont, Tilburg.





Fig. 8.3
Regeling van daglicht
door middel van instel-
bare lamellenstand
(Gemeentemuseum
Den Haag)

Zo kunnen bijvoorbeeld panelen, lamellen of reflectieschermen worden aangebracht om het licht te temperen en te sturen (figuur 8.3). Ook met kunststof panelen met ingeslepen prisma's kan de richting van het licht bepaald worden (zie ook figuur 4.2).

De verschillen in helderheid tussen raampartijen en objecten kunnen zo groot zijn dat de objecten moeilijk te zien zijn. De wanden naast ramen zijn daarom niet de meest geschikte om objecten te tonen. Objecten die in de buurt van een raam staan kunnen door het tegenlicht slecht zichtbaar zijn. Met luiken, (rol)gordijnen, vitrage, speciale producten zoals Verosol of SunFrame, schermen en matte folies op de ruiten kan het licht van raampartijen worden gereduceerd zonder dat het raam geheel uit de architectuur verdwijnt. Voor de mate van lichtreductie van verschillende materialen en systemen verwijzen we naar de leveranciers. Wanneer er percentages lichtwering worden opgegeven, moet men er wel rekening mee houden dat het percentage lichtwering niet zoveel zegt. Bij een lichtinval van 2000 lx en een wering van 50%, wordt er nog altijd 1000 lx doorgelaten. Uiteindelijk gaat het om de absolute verlichtingssterkte die op objecten valt. Een ander aandachtspunt bij lichtwering is dat de maatregelen de (natuurlijke) ventilatie en klimaatregeling van het gebouw niet ongunstig beïnvloeden.

8.2.3 Reductie van UV-straling en IR-straling

UV-straling

UV-straling is het meest schadelijke deel uit het spectrum dat in staat is moleculen af te breken wat leidt tot vergeling en verkleuring. Het is daarom altijd belangrijk naar een zo laag mogelijke UV-belasting te streven. Glas werkt al enigszins als een filter en haalt alle straling met een golflengte kleiner dan 320 nm uit het daglicht ('daglicht achter glas'). Maar de straling in het golflengtegebied van 320 tot 400 nm is ook nog zeer schadelijk en moet zoveel mogelijk worden vermeden. Tabel 8.1 geeft een overzicht van de hoeveelheid UV-straling die in verschillende types daglicht voorkomen.

Tabel 8.1
Overzicht van
de hoeveelheid
UV-straling in
verschillende types
daglicht.

Type daglicht	Kleurtempera- tuur (K)	Lichtsterkte gemiddeld (Lux)	Hoeveelheid UV-straling ($\mu\text{W}/\text{lm}$)
Zonlicht zomer 70° invalhoek		50.000	500
Blauwe zomer hemel	15.000	25.000	650
Idem - achter 4 mm glas	10.000	23.000	750
Bedekte zomer hemel	6.500	15.000	700
Zwaar bewolkte hemel		10.000	900
Zonlicht 30° invalhoek	5.500	-	350

* Lichtsterkte tussen 400 en 700 nm, UV-straling tussen 300 en 400 nm.

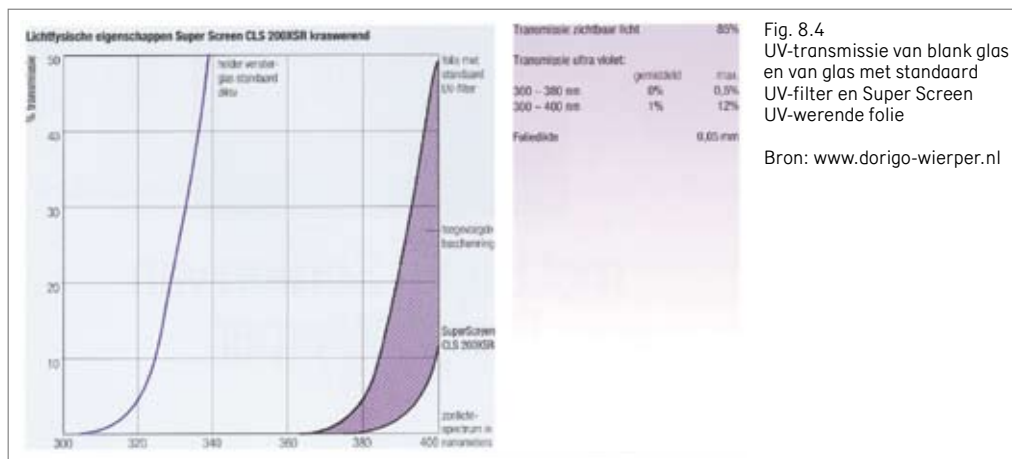
Wanneer gebruik wordt gemaakt van binnentredend daglicht, moet het UV-gehalte dus worden gereduceerd. Daglicht dat indirect wordt toegepast verliest al veel van zijn UV-straling als het eerst wordt weerkaatst via een witte muur. De witte verf moet dan wel op basis van titaandioxide zijn, dat pigment absorbeert namelijk UV-straling (zinkwit en loodwit ook). Kalkverf is niet geschikt, dat reflecteert UV-straling.

Voor de reductie van de UV-straling kan gebruik worden gemaakt van diverse typen UV-werende beglazing en folies. Een aantal acrylaten (Plexiglas, Perspex) en polycarbonaat (Lexaan) absorbeert van zichzelf vrij veel UV-straling. Daardoor breken de polymeren echter

langzaam af en na verloop van tijd verliezen deze kunststoffen hun UV-werende kwaliteiten. Plexiglas vergeelt op den duur en verliest zijn transparantie (wordt melkachtig).

Blank (isolatie)glas vertoont voor nagenoeg het gehele zonnespectrum een grote doorlaatbaarheid. Alleen in het bereik van de UV-B straling (golflengte 280 – 315 nm) is normaal floatglas vrijwel ondoorlaatbaar. Om vrijwel alle UV-straling (golflengte 280 – 380 nm) te weren wordt in de praktijk vaak zogenaamd gelaagd glas (twee glasbladen met daar tussen een kunststoffolie van polyvinylbutyral (PVB)) toegepast. Het PVB verlaagt de doorlaatbaarheid voor UV-straling tot minder dan 1%.

UV-folies kunnen op glas worden aangebracht, bij ramen liefst aan de binnenkant omdat ze anders onder invloed van weersomstandigheden verouderen. Ook UV-folies moeten na enige jaren worden gecontroleerd op hun filterende eigenschappen omdat die op den duur verminderen. Een extra voordeel van folies is dat ze tegenwoordig UV-wering en inbraakvertraging combineren waardoor glas tegen twee risico's wordt beveiligd.



UV-straling kan uit de ruimte worden geweerd door UV-reducerende maatregelen te nemen op gebouwniveau. UV-wering op objectniveau is echter ook mogelijk, bijvoorbeeld door UV-werend glas in een schilderijlijst te plaatsen of de vitrines van UV-wering te voorzien. In bijlage E is een overzicht opgenomen van de UV-werende eigenschappen van verschillende typen glas, kunststof en folies voor

museale doeleinden (getest door het ICN, 2006 en 2007). Een ideaal UV-werend materiaal houdt alle straling met de golflengte kleiner dan 400 nm tegen, terwijl het de straling met een golflengte groter dan 400 nm over het gehele zichtbare gebied met eenzelfde percentage doorlaat om een goede kleurweergave te hebben (in het spectrum moet de lijn van 400 tot 800 nm horizontaal lopen). In realiteit is dat moeilijk haalbaar, maar een aantal filterende materialen komt dicht in de buurt.

IR-straling

Zonlicht bevat veel IR-straling die voor opwarming van de ruimte kan zorgen. Daarom is de zonzijde van een gebouw (zuiden) de eerst aangewezen plaats om zonwerende maatregelen te treffen. Luiken en jaloezieën die het licht aan de buitenkant van het raam tegenhouden, bieden de meest effectieve bescherming tegen zonne-instraling. Als het niet mogelijk is zonwering aan de buitenzijde van het gebouw te plaatsen, zijn (rol)gordijnen, draperieën, Verosol zonwering en IR-werende folies aan de binnenzijde een alternatief. Die kunnen echter nog een aanzienlijke opwarming van de ruimte veroorzaken. Verosol zonwering is een merknaam voor producten van een speciaal gecoate stof, die voor zonwering gebruikt worden als rolgordijn, scherm of geplisseerde raambekleding. Er zijn verschillende typen in de handel. Eén ervan houdt ook de UV-straling enigszins tegen.

IR-folies zijn er in verschillende types, variërend van zilver en bronskleurig tot neutraal grijs, al dan niet spiegelend. Afhankelijk van het type worden ze aan de binnenkant of aan de buitenkant van het glas aangebracht. Ze kunnen het uiterlijk van het gebouw erg beïnvloeden.

8.3 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN KUNSTVERLICHTING

Om te kunnen bepalen welke lampen en armaturen toegepast kunnen worden voor bepaalde toepassingen in musea en expositieruimten is het in de eerste plaats belangrijk om te weten welke eigenschappen ze hebben. Voor wat betreft de lampen heeft dit vooral betrekking op:

- ⌘ lichtkleur (kleurtemperatuur T_c in Kelvin)
- ⌘ kleurweergave-eigenschappen (kleurweergave-index R_a)
- ⌘ spectrale samenstelling, ook met betrekking tot UV- en IR-straling
- ⌘ beschikbare vermogens c.q. lichtstromen
- ⌘ eventueel vereiste transformator, driver of voorschakelapparatuur
- ⌘ regelbaarheid

- ⌘ energie-efficiëntie
- ⌘ levensduur
- ⌘ afmetingen
- ⌘ onderhoud
- ⌘ prijs

De keuze van de armaturen wordt in grote lijnen bepaald door:

- ⌘ gewenste toepassing (bijv. algemene verlichting, accentverlichting, decoratief)
- ⌘ hierin gewenste lichtbron (is ook van invloed op de eventueel hierin of separaat te plaatsen voorschakelapparatuur of transformator)
- ⌘ verdeling van het licht (rondom lichtuitstralend, breed stralend, brede lichtbundel, smalle lichtbundel)
- ⌘ plaatsingsmogelijkheden (bijv. inbouw, opbouw, pendel, aan spanningsrail)
- ⌘ uitvoeringsvormen (afmetingen, vormgeving, instelmogelijkheden, mogelijkheden om filters en/of voorzieningen voor afscherming van de lamp te plaatsen)
- ⌘ onderhoud
- ⌘ prijs

8.3.1 Kunstlichtbronnen en hun eigenschappen

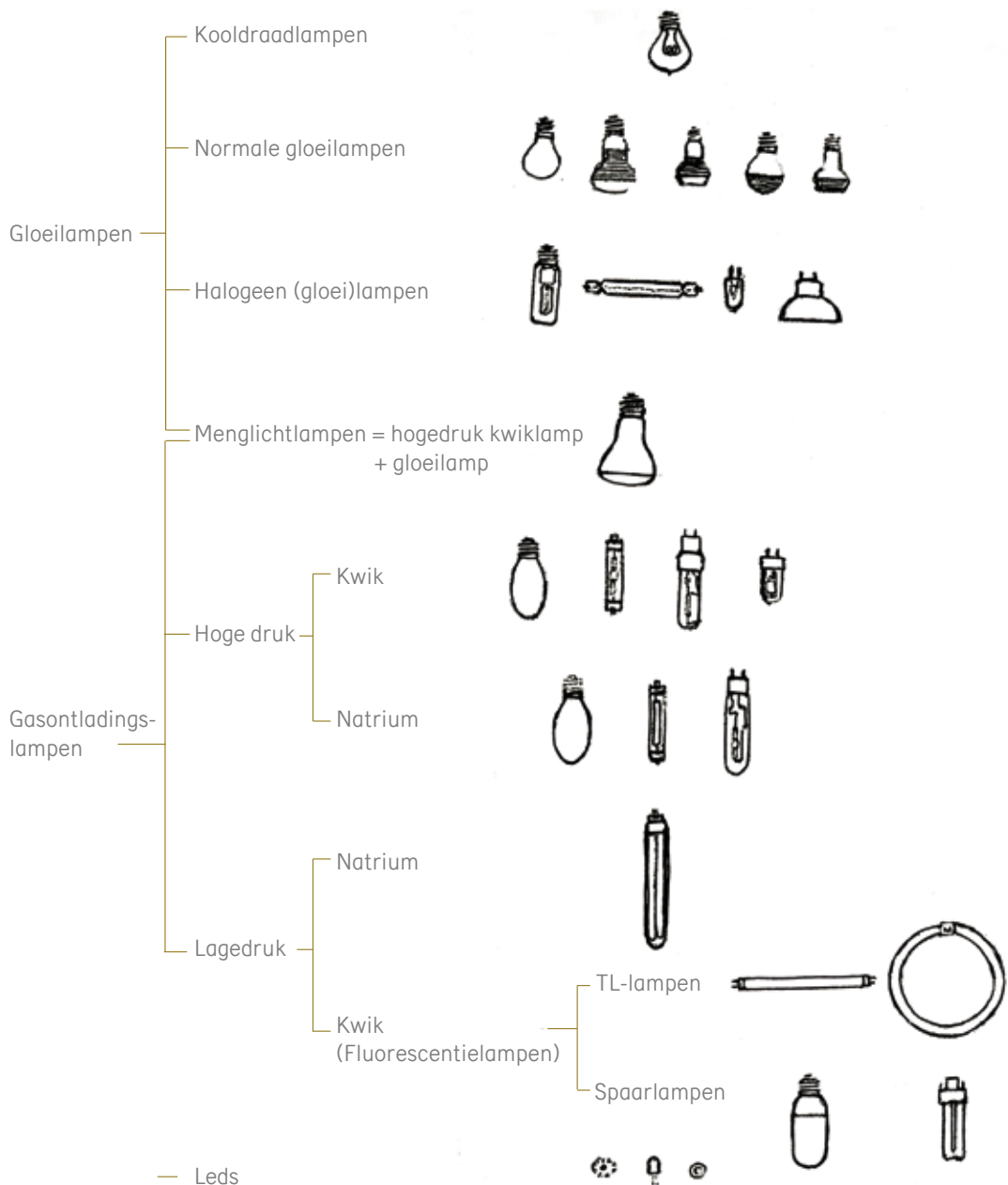
Onder kunstlichtbronnen worden alle lichtbronnen verstaan die niet van nature aanwezig zijn, maar op kunstmatige wijze worden verkregen. Voor verlichting in musea wordt in principe alleen gebruik gemaakt van elektrische kunstlichtbronnen of lampen.

De eigenschappen van de beschikbare elektrische lampen hangen in grote mate af van het lamptype. Zo kan voor toepassing in musea en expositieruimten in grote lijnen onderscheid worden gemaakt tussen temperatuurstralers, gasontladingslampen en halfgeleiders. In het volgende wordt een overzicht gegeven van de meest belangrijke eigenschappen en de meest voorkomende uitvoeringen.

Temperatuurstralers

Bij de temperatuurstralers wordt licht verkregen door de verhitting die plaatsvindt in een dunne gloeidraad wanneer daar een elektrische stroom doorheen wordt geleid. Voorbeelden van temperatuurstralers die voor verlichtingsdoeleinden worden gebruikt zijn gloeilampen en halogeenlampen. De eerste gloeilampen die in de handel werden gebracht hadden een draad van bamboe en later van tot dunne draden geperste koolstof (kooldraadlampen). Later werd hiervoor wolfram gebruikt. Bij de standaarduitvoeringen wordt de glasballon vacuüm

Fig. 8.5 Overzicht van verschillende soorten lampen



getrokken en voorzien van een gas, meestal het edelgas argon, dat er voor zorgt dat de gloeidraad minder snel doorbrandt. Een latere ontwikkeling is de halogeenlamp. Deze is veel kleiner van afmetingen en heeft een ballon waarin ook een halogeenverbinding is opgenomen. Het halogeen zorgt ervoor dat door de hitte gesmolten wolframdeeltjes uiteindelijk weer terecht komen op de gloeidraad. Door dit proces is ook een hogere temperatuur van de gloeidraad mogelijk dan bij gloeilampen en kan een langere levensduur worden bereikt. Temperatuurstralers hebben een continu spectrum waarin alle golflengten van het zichtbare deel van het elektromagnetisch spectrum aanwezig zijn. Hierdoor hebben ze per definitie een optimale kleurweergave en de maximale kleurweergave-index van 100. De kleurtemperatuur van temperatuurstralers hangt af van het type.

Kooldraadlamp

Kooldraadlampen worden nog steeds in de handel gebracht. Het rendement is echter zeer laag. Ze worden daarom alleen nog voor decoratieve doeleinden gebruikt, met name door de fraaie vorm van de gloeidraad en de zeer warme lichtkleur.

Gloeilamp

Gloeilampen zijn in tal van uitvoeringen verkrijgbaar. Ze kunnen worden toegepast voor algemene verlichting. Tevens zijn er uitvoeringen met een in de ballon opgenomen reflector. Deze kunnen worden gebruikt voor accentverlichting.

Beschikbare vermogens van 15 tot 500 W.
Levensduur: 1000 branduren (PAR-lampen 2000)
UV-straling: ca. 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Voordelen:

- ⌘ zeer goedkoop in aanschaf
- ⌘ groot aantal uitvoeringsvormen
- ⌘ eenvoudig dimbaar (bij dimmen daalt de kleurtemperatuur op natuurlijke wijze)

Nadelen:

- ⌘ relatief zeer laag rendement (6 – 16,5 lm/W, afhankelijk van vermogen en uitvoering) en hierdoor een
- ⌘ hoge warmteontwikkeling. Bij reflectorlampen wordt ook de IR-straling gebundeld.
- ⌘ zeer geringe levensduur en daardoor veel vervanging nodig en hoge onderhoudskosten
- ⌘ trillingsgevoelig

Fig. 8.6
Kooldraadlamp



Fig. 8.7 Gloeilampen



Fig. 8.8
Laagspannings-
halogeenlampen



Fig. 8.9
Netspanning-
halogeenlampen



Halogeen(gloeii)lamp

Ook halogeenlampen zijn inmiddels in tal van uitvoeringen verkrijgbaar, voor zowel algemene verlichting als accentverlichting en decoratieve toepassingen. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen halogeenlampen die rechtstreeks op de netspanning kunnen worden aangesloten en laagspanningshalogeenlampen die een transformator nodig hebben. Laagspanningshalogeenlampen hebben een zeer kleine gloeidraad en zeer geringe afmetingen. Reflectorlampen hebben een reflector van glas voorzien van een speciale laag, bestaande uit een aantal zogenaamde dichroïde coatings of ze hebben een reflector van aluminium. Het voordeel van het eerste type is dat een groot deel van de warmte naar achter wordt uitgestraald, waardoor de IR-straling in de richting van de lichtbundel veel geringer is.

Laagspanningshalogeenlampen

Beschikbare vermogens: 5 – 150 W

Levensduur: 2000 – 4000 branduren (speciale uitvoeringen tot 10.000 branduren)

UV-straling: 10 – 200 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Netspanningshalogeenlampen

Beschikbare vermogens: 25 – 500 W

Levensduur: 2000 branduren

UV-straling: 40 – 200 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Voordelen:

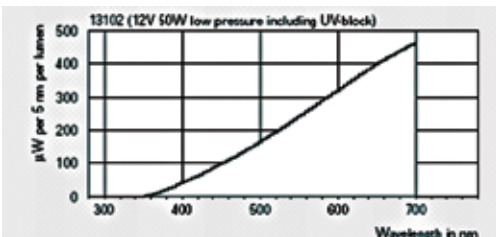
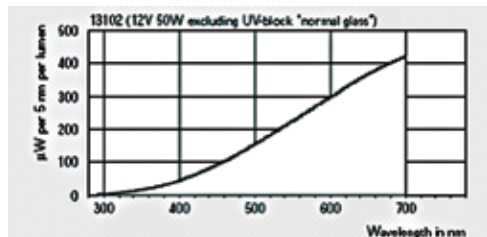
- ⋮ voor algemene toepassingen
- ⋮ redelijk goedkoop in aanschaf
- ⋮ groot aantal uitvoeringsvormen
- ⋮ relatief geringe afmetingen
- ⋮ eenvoudig dimbaar (bij dimmen daalt de kleurtemperatuur op natuurlijke wijze)
- ⋮ sommige uitvoeringen zijn voorzien van een UV-filter. Hierdoor kan de UV-straling worden beperkt tot zelfs 10 $\mu\text{W}/\text{lm}$. In figuur 8.10 is aangegeven wat de invloed is van zo'n filter op de spectrale samenstelling van de lamp.

Nadelen:

- ⋮ relatief laag rendement (laagspanningslampen 12 – 26 lm/W en lampen voor netspanning 11-24 lm/W)
- ⋮ voor laagspanningsuitvoeringen is transformator nodig
- ⋮ relatief geringe levensduur

Fig. 8.10

Spectrale samenstelling van een laagspanning halogeenlamp zonder (links) en met UV-filter (rechts). Bron: <http://www.lighting.philips.com>



Gasontladingslampen

Bij gasontladingslampen wordt het licht niet rechtstreeks opgewekt in een vaste stof maar via een gas. Dergelijke lampen bestaan uit een glazen ballon of buis waarin twee elektroden zijn opgenomen.

De ballon of buis is gevuld met een of meer edelgasen en een metaaldamp (kwik of natrium) of halogeenmetaalverbindingen die tijdens het ontsteken van de lamp worden verdampt. Door ze aan te sluiten op een elektrische spanningsbron wordt de metaaldamp of het gas geïoniseerd. Door de elektronen die terugvallen in hun oorspronkelijke baan worden licht en UV-straling uitgezonden.

Gasontladingslampen hebben een zogenaamd lijnenspectrum in tegenstelling tot het continue spectrum van de temperatuurstralers. Een aantal specifieke golflengtes voeren de boventoon in het spectrum. Hierdoor wijken de kleurweergave-eigenschappen in meer of mindere mate af van die van temperatuurstralers en daglicht. Om het rendement te verhogen en een zo goed mogelijke kleurweergave te verwezenlijken wordt de UV-straling zoveel mogelijk door middel van fluorescentiepoeders omgezet in zichtbaar licht. Hierdoor is het mogelijk om een meer continu spectrum te maken met een kleurweergave-index tot meer dan 90.

De lampen kunnen niet rechtstreeks op het lichtnet worden aangesloten. De stroom moet worden begrensd door middel van een zogenaamd voorschakelapparaat. Ook zijn er voorzieningen nodig om de gasontlading goed op gang te brengen, de zogenaamde gloeistarters of startapparatuur. Bij hogedruk ontladingslampen duurt het vaak

Bij gasontladingslampen is het steeds gebruikelijker dat het typenummer direct verwijst naar kleurweergaveindex (eerste cijfer) en kleurtemperatuur (tweede en derde cijfer).

Een type 930 heeft een kleurweergave-index van minimaal 90 en een kleurtemperatuur van 3000 K.

zelfs enige minuten voordat de lamp stabiel brandt en zijn lichtkleur heeft bereikt. Het vraagt ook enige tijd voordat gasontladingslampen hun nominale lichtstroom leveren.

Bij gasontladingslampen kan in grote lijnen onderscheid worden gemaakt tussen lagedruk gasontladingslampen en hogedruk gasontladingslampen. Voor toepassing in musea komen vooral de volgende typen gasontladingslampen in aanmerking:

- ⌘ lagedruk kwiklampen (fluorescentielampen en inductielampen)
- ⌘ hogedruk kwiklampen met metaalhalogeniden (metaalhalogenidelampen)
- ⌘ (super)hogedruk natriumlampen

Lagedruk kwiklampen: fluorescentielampen

De lagedruk gasontladingslampen zijn relatief groot van afmeting in relatie tot de afgegeven lichtstroom. De meest bekende zijn de buisvormige en ronde fluorescentielampen, veelal aangeduid als TL-lampen. Ze zijn in verschillende lengten en doorsneden verkrijgbaar. Het UV-gehalte van deze fluorescentielampen is vergelijkbaar met dat van gloeilampen. Er zijn speciale uitvoeringen met een laag UV-gehalte ($< 10 \mu\text{W}/\text{lm}$). Een andere optie om het UV-gehalte te reduceren is gebruik te maken van een armatuur met bijvoorbeeld een opaline kap die de straling tegenhoudt.

Beschikbare vermogens buisvormige uitvoeringen: 4 – 80W
 Levensduur: 8.000 tot 16.000 uur. In speciale long life uitvoering tot 80.000 uur
 UV-gehalte: 65 – 90 $\mu\text{W}/\text{lm}$ (er zijn speciale uitvoeringen met een laag UV-gehalte $< 10 \mu\text{W}/\text{lm}$)
 Kleurtemperatuur: 2700 – 8000K
 Kleurweergave-index Ra: ca. 65 - 95

Fig. 8.11
Fluorescentielampen



Voordelen:

- ⌘ zeer hoog rendement, tot circa 100 lm/W
- ⌘ grote keuze in lichtkleuren, van warmwit tot zeer koel
- ⌘ luxe uitvoeringen met zeer goede kleurweergave
- ⌘ dimbaar

Nadelen:

- ⌘ relatief grote afmetingen
- ⌘ voorschakelapparatuur nodig
- ⌘ bij dimmen geen verandering van kleurtemperatuur
- ⌘ niet geschikt voor accentverlichting

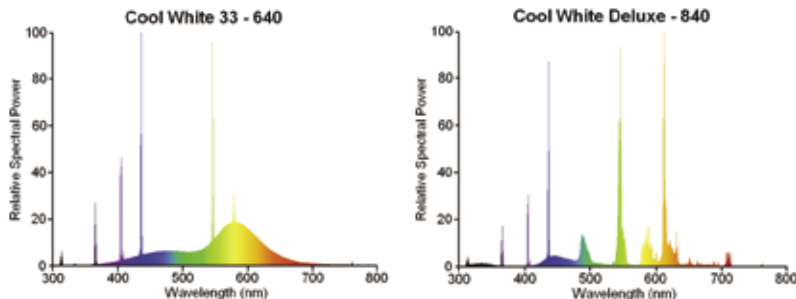


Fig. 8.12
Spectrale energieverdeling van een fluoresciëntielamp met een T_c van 4000K; links een lamp met kleurweergave 64, rechts luxe lamp met kleurweergave 85.

Bron:
www.sylvania-lamps.com

Compacte fluoresciëntielampen

Om fluoresciëntielampen ook geschikt te maken voor toepassing in armaturen met geringe afmetingen kunnen ze compacter worden gemaakt door bijvoorbeeld twee buisvormige elementen parallel te plaatsen en ze onderling te verbinden (zie figuur 8.13 rechts). De hoeveelheid licht die een fluoresciëntielamp kan leveren hangt mede af van de lengte. Om de lampen nog compacter te maken kunnen ook meerdere buisjes of gebogen elementen naast elkaar worden geplaatst en onderling worden doorverbonden. Tegenwoordig zijn het voorschakelapparaat en de eventueel benodigde starter al in de voet van de lamp opgenomen en kunnen de lampen in een gloeilamp fitting worden gebruikt. Dit heeft echter als nadeel voor het milieu dat bij vervanging van de lamp ook de extra apparatuur wordt weggegooid.

Beschikbare vermogens: 3 – 120W
Levensduur: 8.000 tot 15.000 uur
UV-gehalte: 65 – 90 $\mu\text{W/lm}$
Kleurtemperatuur: 2500 – 6000K
Kleurweergave-index Ra: ca. 65 - 95

Voordelen:

- ⌘ hoog rendement, van 30 – 87 lm/W
- ⌘ compacter dan buisvormige fluoresciëntielampen, hierdoor geschikt voor relatief kleine armaturen
- ⌘ grote keuze in lichtkleuren, van warmwit tot zeer koel
- ⌘ luxe uitvoeringen met zeer goede kleurweergave
- ⌘ dimbaar

Nadelen:

- ⌘ lichtstroom in enige mate brandstand afhankelijk
- ⌘ voorschakelapparatuur nodig
- ⌘ bij dimmen geen verandering van kleurtemperatuur
- ⌘ minder geschikt voor accentverlichting

Fig.8.13
Compacte fluoresciëntielampen zonder voorschakelapparaat en starter



Fig. 8.14
Inductielampen



Lagedruk kwiklampen: inductielampen

Een bijzondere uitvoering van lagedruk ontladingslampen zijn de zogenaamde inductielampen. In werking komen deze overeen met TL-lampen. Ze zijn echter compacter van vormgeving dan fluorescentielampen en hebben geen elektroden die defect kunnen raken. Hierdoor hebben ze een veel langere levensduur. In plaats van elektroden hebben een spoel met een buisvormige ferrietstaafkern die in een glasballon zijn ondergebracht of twee spoelen die om de korte zijden van een rechthoekig gebogen buis zijn aangebracht.

Deze zijn aangesloten op een elektronisch voorschakelapparaat dat een hoogfrequente spanning opwekt.

Beschikbare vermogens: 55– 165W

Levensduur: tot 100.000 uur in combinatie met het voorschakelapparaat

UV-gehalte: 65 – 90 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Kleurtemperatuur: 2700 – 4000K

Kleurweergave-index Ra: ca. 85

Voordelen:

- ⋮ relatief hoog rendement: 65-80 lm/W
- ⋮ zeer lange levensduur

Nadelen:

- ⋮ relatief groot, hierdoor alleen geschikt voor algemene verlichting
- ⋮ niet dimbaar

Fig. 8.15
Hogedruk
kwiklampen met
metaalhalogeniden



Hogedruk kwiklampen met metaalhalogenide: metaalhalogenidelampen

Hogedruk kwiklampen zijn in diverse uitvoeringen verkrijgbaar.

Een groot verschil met de lagedruk ontladingslampen is dat ze veel compacter van vorm zijn. Het ontladingsbuisje of –ballonnetje is zelfs zeer klein. Deze is opgenomen in een grotere glasballon die als bescherming dient. De beschikbare vermogens gaan zelfs tot 3500 W. Een nadeel is dat ze in principe een zeer koele lichtkleur hebben en dat de kleurweergave in het algemeen zeer matig is. Door toevoeging van metaalhalogeenverbindingen wordt echter een veel betere spectrale samenstelling bereikt en is een zeer goede kleurweergave mogelijk.

Door de geringe afmetingen kunnen metaalhalogenidelampen ook uitstekend worden gebruikt voor accentverlichting. Dit is mogelijk door ze in een reflector te plaatsen. Ze zijn ook als reflectorlamp leverbaar. Ze zijn in veel gevallen als een goed alternatief voor

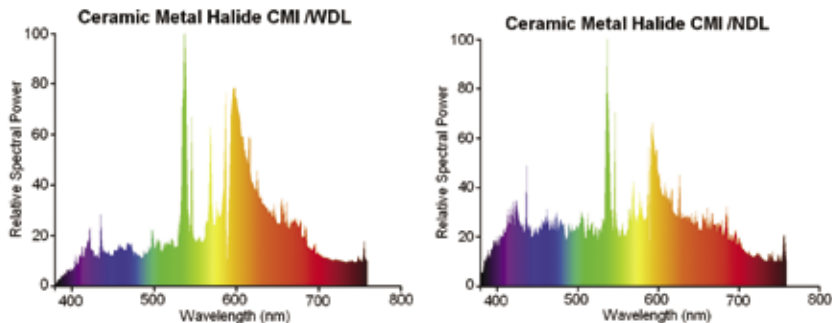


Fig. 8.16
Spectrale energieverdeling van keramische metaal-halogeenvlamp: links een Tc van 3000K, rechts 4200K.

Bron:
www.sylvania-lamps.com

halogeenvlampen te gebruiken als het gaat om een zo gering mogelijke warmteontwikkeling en geringer energiegebruik en onderhoud.

De lampen hebben enige minuten nodig voordat ze stabiel branden.

Als ze uitgeschakeld worden is bovendien enige tijd nodig om ze af te laten koelen voordat ze opnieuw kunnen worden ingeschakeld.

Hierdoor zijn ze niet geschikt voor toepassingen in combinatie met aanwezigheidsmelders of voor noodverlichting.

Beschikbare vermogens voor toepassingen binnen: 20 – 250 W

Levensduur: 6000 – 9000 branduren

UV-gehalte: > 160 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Kleurtemperatuur: 3000 - 4200K

Kleurweergave-index Ra: ca. 80 - 95

Voordelen:

- ⋮ hoog rendement: ca. 85 – 100 lm/W
- ⋮ zeer geschikt voor zowel algemene als accentverlichting
- ⋮ langere levensduur dan halogeenvlampen
- ⋮ zeer goede kleurweergave mogelijk

Nadelen:

- ⋮ zeer veel UV-straling
- ⋮ niet dimbaar (mogelijk in de nabije toekomst van 50-100%)

Hogedruk natriumlampen

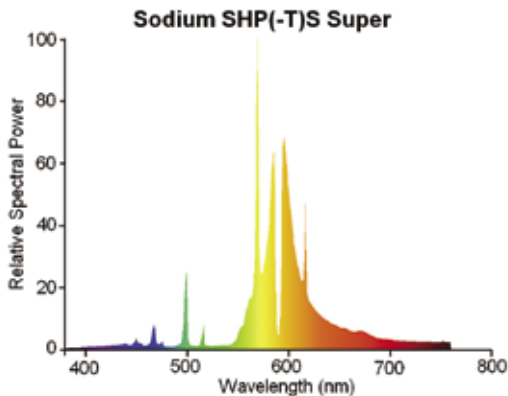
Hogedruk natriumlampen hebben evenals de hogedruk kwiklampen relatief geringe afmetingen. Ze geven echter een veel warmer licht, maar ook van dit lamptype is de kleurweergave zeer matig. Dit type lamp wordt veel in snelwegverlichting gebruikt. Vooral de koele kleuren worden matig of slecht weergegeven. Philips heeft echter een zeer bijzondere uitvoering, die door een hogere druk dan bij de andere uitvoeringen een iets witter licht (maar nog wel warmer dan gloeilamplicht) geeft en goede kleurweergave-eigenschappen heeft.

Fig. 8.17
Superhogedruk natriumlamp



Fig. 8.18
Spectrale energieverdeling van een superhoge-druk natriumlampmet een Tc van 2050K

Bron:
www.sylvania-lamps.com



Beschikbare vermogens voor toepassingen binnen: 35 – 100 W

Levensduur: 6000 branduren

UV-gehalte: > 160 $\mu\text{W}/\text{lm}$

Kleurtemperatuur: 2500K

Kleurweergave-index Ra: 81

Voordelen:

- ⋮ rendement iets hoger dan van halogeenlampen: 37 - 50 lm/W
- ⋮ langere levensduur dan halogeenlampen
- ⋮ goede kleurweergave mogelijk als zeer warmwit licht is gewenst

Nadelen:

- ⋮ alleen met zeer warmwitte lichtkleur beschikbaar
- ⋮ relatief weinig verschillende lampvermogens

Fig. 8.19
Diverse uitvoeringen van leds



Halfgeleiders

Een lichtbron die de afgelopen jaren zeer veel opgang heeft gemaakt is de Led (Light Emitting Diode). Zoals de naam al aangeeft is dit een zogenaamde halfgeleider die, als er onder bepaalde voorwaarden een elektrische stroom door wordt gevoerd, licht geeft ter plaatse van het halfgeleidermateriaal. Dit zijn vaste stoffen, waardoor de lichtbron dan ook niet gevoelig is voor trillingen en schokken. Het overgangsgedebied van het ene naar het andere halfgeleidermateriaal is zeer klein waardoor de hoeveelheid licht zeer beperkt is. Het maximale vermogen van leds die commercieel nog aantrekkelijk zijn is 3W. Deze leveren echter nog steeds relatief weinig licht, vergelijkbaar met een 5 W halogeenlampje. Om meer licht te krijgen worden de leds daarom op strips of in clusters geleverd.

Leds zijn in diverse kleuren verkrijgbaar. Het spectrum van de betreffende kleuren is zeer smal. Ook zijn witte leds verkrijgbaar met verschillende kleurtemperaturen. Een groot voordeel van de witte en gekleurde leds is dat ze een zeer lange levensduur hebben en geen UV-straling afgeven. Ook de IR-straling in de richting van de lichtbundel is zeer gering. Wel worden leds aan de achterkant warm. Deze warmte moet worden afgevoerd om te voorkomen dat de levensduur sterk terugloopt en de lichtstroom afneemt. Vooral de leds vanaf 1W moeten daarom worden geplaatst op een koellichaam van bepaalde afmetingen. Vooralnog zijn ze vooral geschikt voor plaatselijke verlichting en accentverlichting, met name in 50 lux-ruimten.

Beschikbare vermogens: 0,1 – 3W

Levensduur: tot 20.000 - 100.000 branduren

UV-gehalte: nihil

Kleurtemperatuur: ca. 3000 - 6000K

Kleurweergave-index Ra: ca. 70 - 95

Voordelen:

- ⌘ rendement iets hoger dan van halogeenlampen: tot 30 lm/W
- ⌘ zeer lange levensduur

Nadelen:

- ⌘ relatief lage vermogens
- ⌘ zeer temperatuurgevoeling
- ⌘ kleurweergave laat nog te wensen over
- ⌘ kleurtemperatuur kan per lampje afwijken, er zijn systemen om dat te compenseren

Tabel 8.2

Eigenschappen van verschillende lamptypen die geschikt zijn voor toepassing in musea.

Type lamp	Rendement in lm/W	Kleurtemperatuur in K	Kleurweergave-index Ra	UV-gehalte in $\mu\text{W}/\text{lm}$	Schadefactor D/lx	Levensduur in uren
Daglicht	n.v.t.	5000-7000	100	400-1500	0,4-1,6	
Gloeilamp	6-16	2700	100	70-80	0,07-0,1	1.000
Halogeen netspanning	11-17	3000-3100	100	40-200	0,1	1.500-2.500
Halogeen laagspanning	12-22	3000-3100	100	10-200	0,1	2.000-4.000
Fluorescentie TL 900-serie	70	2700-6500	92-96	50-80	0,15-,25	8.000-16.000
Fluorescentie TL 800-serie	30-100	2700-6500	80-85	65-90	0,2-0,25	8.000-20.000
Compacte fluorescentie	30-87	2700-6000	85-95	>100		8.000-20.000
Metaalhalogeen	64-120	3000-6000	60-95	160-700	0,2-0,5	6.000-9.000
Superhoge-druk natrium	37-52	2500	81		0,1-0,13	6.000-8.000
Inductie	64-80	3000-4000	85			60.000-100.000
Glasvezel		3000-5000		<10		
Led, wit	< 30	3000-6000	70-95	<10		50.000

De bekende producenten hebben dit type lampen in hun programma's – zie General Electrics, Philips, Osram-Sylvania, verkrijgbaar via de detailhandel.

Speciale uitvoeringen die interessant zijn voor museale toepassingen:

- ⌘ UV-arme halogeenlampen
- ⌘ UV-arme fluorescentielampen
- ⌘ fluorescentielampen met kunststof coating die glas bijeen houdt in geval van breuk
- ⌘ long life gloeilampen (3000 uur), long life halogeenlampen (10.000 uur) en long life fluorescentielampen (tot 80.000 uur)

Opmerkingen:

- ⌘ sommige uitvoeringen van bepaalde lamptypen hebben een beperkte brandstand
- ⌘ een aantal lamptypen is ook in speciale uitvoeringen verkrijgbaar, zoals in kleur, met afwijkende kleurtemperaturen of in speciale vormen
- ⌘ lampen met de toevoeging UV-werend glas of UV-filter hebben een aanzienlijk lager UV-gehalte in hun bundel, maar de filtering slaat op straling tot 380nm en ze kunnen nog een aanzienlijke hoeveelheid straling tussen 380-400nm in hun spectrum hebben. Bij gebruik van deze lampen verdient het aanbeveling eerst het UV-gehalte te controleren.

8.3.2 Armaturen en hun eigenschappen

Verlichtingsarmaturen zijn in tal van uitvoeringen verkrijgbaar. Het voornaamste doel van verlichtingsarmaturen is om de lamp erin onder te brengen, al dan niet in combinatie met een reflector om het licht van de lamp op een gewenste manier in de ruimte te kunnen verdelen of in een bepaalde richting uit te stralen. Ook kunnen eventuele voorzieningen worden opgenomen om de lichtbron af te schermen of het licht te verstrooien om verblinding te voorkomen.

Belangrijk bij keuze van een verlichtingsarmatuur zijn onder andere de uitvoering en vormgeving, de toe te passen lichtbron en de eventuele extra hulpapparatuur, de verdeling van het licht, de aansluitings- en plaatsingsmogelijkheden, de mogelijkheden voor het aanbrengen van filters en/of afschermingen en de prijs.

De lichtbron

Hiervoor zijn de verschillende lamptypen en hun eigenschappen uitvoerig beschreven. Op basis hiervan kan een keuze worden gemaakt voor de toe te passen lichtbron. Bij de keuze van de lamp zal ook de afmeting van de lamp, en derhalve de armatuur, meespelen. Dit geldt met name voor armaturen die ingebouwd moeten worden in plafond, wanden of vloer, maar ook voor vrij in een ruimte te hangen

of te plaatsen armaturen kan dit van belang zijn. De keuze van de lichtbron bepaalt ook of deze rechtstreeks op het lichtnet kan worden aangesloten of via hulpapparatuur. Die kunnen in de armatuur zijn opgenomen, maar kunnen om bepaalde redenen ook separaat worden meegeleverd.

Lichtverdeling

De manier waarop een lamp is aangebracht, bepaalt in belangrijke mate hoe het licht in de ruimte wordt verdeeld. Armaturen kunnen ervoor zorgen dat het licht rondom uitstraalt (figuur 8.20), in een brede bundel naar onderen straalt (figuur 8.21), zijdelings en/of naar boven uitstraalt (figuur 8.22), breeduit in een bepaalde richting uitstraalt of juist sterk gebundeld straalt (figuur 8.23). Om het licht in een bepaalde richting te sturen kan gebruik worden gemaakt van reflectoren, diffuserende platen of omhullingen, prismatische kappen of platen en lenzen.

Om te kunnen bepalen of een armatuur geschikt is voor een bepaalde toepassing wordt het door een armatuur uitgestraalde licht in alle richtingen rondom gemeten in een goniometrische fotometer. De lichtverdeling wordt vastgelegd in een zogenaamd lichtsterktediagram, dit toont de specifieke lichttechnische karakteristiek voor de betreffende armatuur. Op basis van de wijze van uitstraling kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- ⌘ armaturen voor een algemene verlichting (direct, indirect of een combinatie van beide)
- ⌘ armaturen voor aanvullende, plaatselijke verlichting
- ⌘ armaturen voor accentverlichting (al dan niet richtbaar)
- ⌘ armaturen voor decoratieve effecten

Het lichtsterktediagram wordt vooral voor spots ook wel op een andere wijze vastgelegd. Hiervan geeft figuur 8.25 voorbeelden voor spots met verschillende bundelbreedtes.

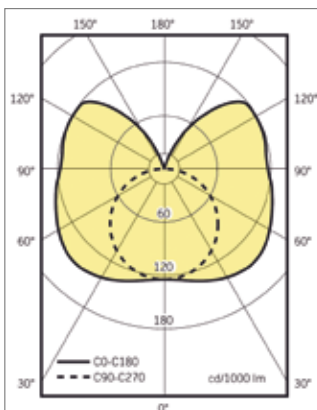


Fig. 8.20
Lichtsterktediagram van een
rondom uitstralend armatuur

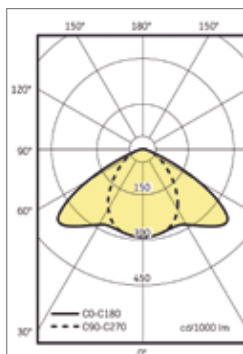


Fig. 8.21
Lichtsterktediagrammen
van breedstralende
armaturen

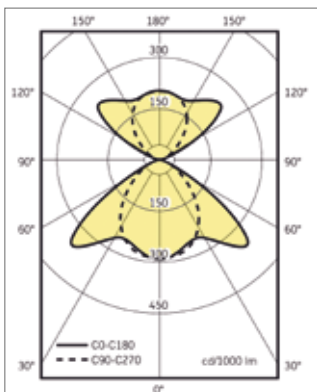


Fig. 8.22
Lichtsterktediagram voor een
directe/indirecte verlichting

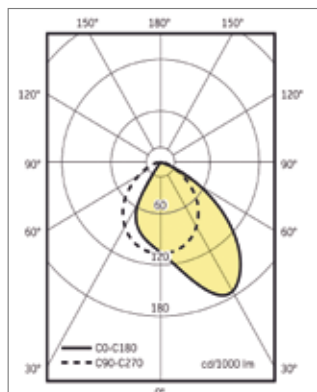


Fig. 8.23
Lichtsterktediagram asymmetrisch
armatuur

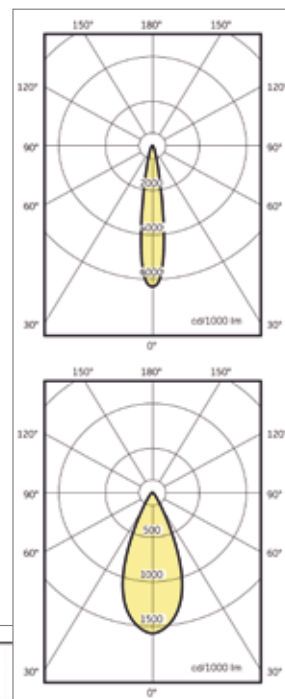


Fig. 8.24
Lichtsterk-
diagram
accentspot

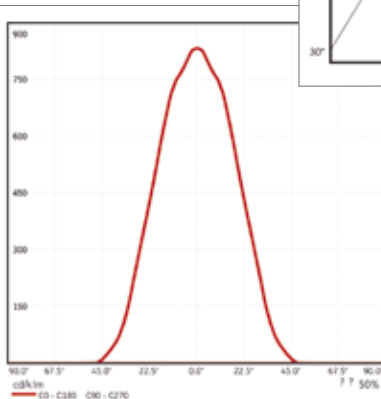
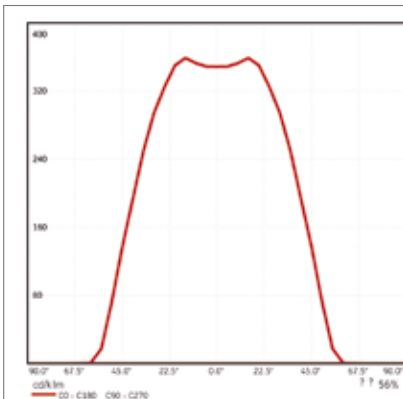


Fig. 8.25
Afwijkende
lichtsterk-
diagrammen
voor spots

Uitvoering en vormgeving

Verlichtingsarmaturen zijn in tal van uitvoeringen verkrijgbaar. Naast de gewenste lichtverdeling en toe te passen lamp kunnen ook bepalend zijn voor de keuze van de toe te passen armaturen:

- ⋮ materiaalkeuze (eventueel recyclebaarheid) en afwerking
- ⋮ design
- ⋮ aansluitings- en plaatsingsmogelijkheden
- ⋮ flexibiliteit bij herinrichting van ruimten
- ⋮ bescherming tegen externe invloeden (vandalisme, stof en/of vocht)
- ⋮ mogelijkheden voor verwisselen lamp en onderhoud
- ⋮ mogelijkheden voor plaatsing van afschermingen, filters, gobo's en lenzen

De plaatsingsmogelijkheden zijn in sterke mate bepalend voor de vormgeving. Bij inbouwarmaturen is slechts een zijde van de armaturen zichtbaar, bij opbouwarmaturen is dit rondom. Indien armaturen gemakkelijk verplaatst moeten kunnen worden, moeten ze zijn voorzien van een adapter om ze op een spanningsrail of los adapterelement aan te kunnen brengen.

Aansluitings- en plaatsingsmogelijkheden

Er zijn tal van mogelijkheden om armaturen een plaats te geven in het interieur. Indien een verlaagd plafond aanwezig is, kunnen armaturen op een relatief weinig zichtbare wijze worden ingebouwd. Alle elektrische aansluitingen, separate voorschakelapparaten en transformatoren kunnen ook achter het plafond worden weggewerkt. Voor inbouwarmaturen moet boven het verlaagde plafond in vooraf bepaalde elektrische aansluitpunten worden voorzien. In de volgende overzichten en figuren wordt een beeld van de mogelijkheden gegeven voor toe te passen armaturen voor plaatsing in of aan plafond, wanden, vloer en meubilair, zoals balies.

Plafond

- ⌘ inbouw (direct of via stekerverbinding)
- ⌘ opbouw
- ⌘ halfinbouw
- ⌘ pendel
- ⌘ koof
- ⌘ spanningsrail
- ⌘ grid van vaste aansluitpunten



Fig. 8.26
Diverse typen armaturen voor plaatsing in of aan het plafond

Wand

- ⌘ inbouw
- ⌘ opbouw
- ⌘ halfinbouw
- ⌘ aan uithouder
- ⌘ aan spanningsrail

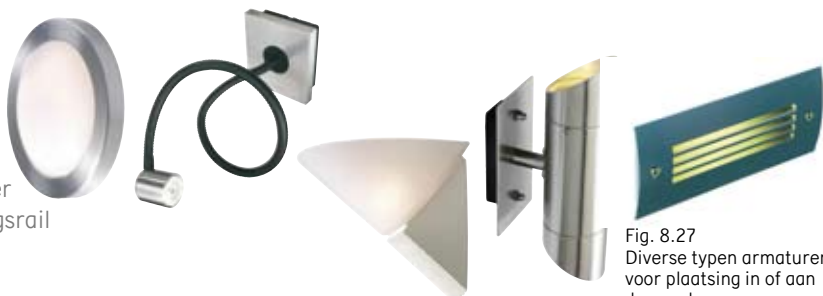


Fig. 8.27
Diverse typen armaturen voor plaatsing in of aan de wand

Vloer

- ⌘ inbouw
- ⌘ opbouw
- ⌘ halfinbouw
- ⌘ staand



Fig. 8.28
Diverse armaturen voor plaatsing in of op de vloer

Meubilair

- ⌘ staand
- ⌘ inbouw



Fig. 8.29
Diverse armaturen voor plaatsing in of op meubilair

Mogelijkheden voor het aanbrengen van filters en afschermingen

Het kan wenselijk zijn om op of in armaturen, al dan niet tijdelijk, bepaalde voorzieningen aan te kunnen brengen om het licht te beïnvloeden, af te schermen of te beperken. Zo kan het wenselijk zijn om bepaalde kleuren uit het zichtbare spectrum in meer of mindere mate weg te filteren of om UV- of IR-straling uit de bundel te filteren. De armatuur moet dan wel geschikt zijn om zo'n filter aan te kunnen brengen en zo mogelijk ook te kunnen vervangen door andere filters.

Naast warmtewerende infrarood-filters, ultravioleto-filters en diffuserende filters bestaan er ook filters om de kleurtemperatuur te verhogen. Het is mogelijk met deze filters de kleurtemperatuur van gloeilampen te verhogen tot die van daglicht. Maar ook kleinere kleurtemperatuurverhogingen zijn mogelijk. Een verhoging van de kleurtemperatuur van circa 500K betekent bijvoorbeeld een aanzienlijk betere blauwweergave in schilderijen met wolkenluchten. Voor kleureffecten kunnen filters op basis van folie of glas worden toegepast. Beide filtersoorten zijn in honderden verschillende kleuren en gradaties te koop. Bij foliefilters is de kleurstof homogeen door het filtermateriaal gemengd of later op de filterdrager gespoten. In het eerste geval is het filter beter hittebestendig en minder gevoelig voor verkleuring dan gespoten filters. Het voordeel van foliefilters is de lage prijs en enorm grote hoeveelheid beschikbare kleuren. Nadeel is de hittegevoeligheid en het verbleken van vooral de donkere kleuren. De nieuwste generatie foliefilters is aanzienlijk verbeterd ten opzichte van de oudere producten. Bij glasfilters wordt tegenwoordig een kleurlaag opgedampt. Ook deze dichroïde filters zijn bij gespecialiseerde leveranciers in tientallen kleuren verkrijgbaar. De standaardkleuren die leveranciers aanbieden zijn echter vrijwel altijd onbruikbaar. Voor een tentoonstellingstijd van langer dan drie maanden is het af te raden filters in folievorm te gebruiken. Glazen filters zijn veel duurzamer en minder brandgevaarlijk. Toepassing van filters gaat vrijwel altijd gepaard met een afname in verlichtingssterkte.

Fig. 8.30
Verschillende accessoires
voor spots, filters (a) en
afschermingen (b)



a



b

Er bestaan ook filters, zowel van glas als van folie, om de karakteristiek van de lichtbundel te beïnvloeden. Diffusiefilters maken de bundel zachter en groter. Streepglas maakt de ronde bundel ovaal. Beide soorten bestaan in verschillende gradaties voor een meer of minder sterk effect.



Fig. 8.31
Diverse soorten
kleurenfilters

Gespecialiseerde fabrikanten leveren correctiegaas filters met gaas in verschillende dichtheden (20, 30, 50 mesh) waarmee de lichthoeveelheid van de spot kan worden gereduceerd zonder de kleurtemperatuur te veranderen. Ook zijn er getrapte gaasfilters waarmee het mogelijk is de boven en onderzijde van een schilderij even sterk te belichten.

Om hinder van de verlichting voor bezoekers te voorkomen kan gebruik worden gemaakt van anti-verblindingskleppen of –ringen en honingraatrasters. Honingraatrasters geven de beste afscherming bij nauwe bundels. Brede bundels worden teveel verstoord door een honingraatraster waardoor er vreemde vlekken ontstaan in de lichtbundel. Voor brede bundels kunnen het best 'egg-crate' rasters of ringrasters worden toegepast. De door de meeste leveranciers geleverde anti-verblindingskleppen, ook wel 'barn doors' genoemd, moeten niet worden verward met accessoires om de bundel te beïnvloeden. Ze zijn er in eerste instantie om te voorkomen dat de bezoeker in de lichtbron kijkt. Ofschoon de kleppen in principe ook de mogelijkheid bieden om de bundel optimaal af te stemmen op de gegeven situatie, zijn de toegepaste kleppen veelal te klein en te kort om de lichtbundel effectief te beïnvloeden. Beter is het om de hierboven genoemde afschermingen toe te passen. Op 'flood lights' kunnen dergelijke kleppen, mits zwart, wel een functie vervullen.

Om lichtbundels effectief te beïnvloeden zijn er zogenaamde profiel-spots die door middel van een lenzenstelsel het licht bundelen. Met behulp van zogenaamde messen kan de lichtbundel worden afgesneden. Ook kunnen in deze spots gobo's worden geplaatst waarmee afbeeldingen, al dan niet abstract, kunnen worden geprojecteerd.



Fig. 8.32
Contourlens en beeld-
masker (gobohouder).



Fig. 8.33
Voorzieningen om verblin-
ding te voorkomen

Kosten van armaturen

De aanschaffkosten voor armaturen hangen af van alle hiervoor genoemde factoren maar vooral de kwaliteit en degelijkheid zijn prijsbepalend. Steeds opnieuw blijkt dat goedkoop in de toekomst duurkoop is. Ook het gemak van montage speelt mee in de prijs en bovendien moet rekening worden gehouden met de elektrische installatie die nodig is voor aansluiting van de armaturen. Dat hangt ondermeer weer af van het te installeren vermogen. Ook is het van belang om na te gaan wat de te verwachten kosten zijn voor het energiegebruik van de verlichting en, indien van toepassing, ook voor het koelen.

Bepalen van het geïnstalleerd vermogen en het energiegebruik voor de verlichting

Het energiegebruik en het specifiek vermogen P_s uitgedrukt in W/m^2 , kunnen worden bepaald aan de hand van het gewenste lichtniveau E , het systeemrendement van de toegepaste lichtbron en eventueel benodigde voorschakelapparaat of transformator in lm/W , het verlichtingsrendement η (verhouding tussen de lichtstroom die het te verlichten vlak bereikt en de lichtstroom van de lichtbron) en de geplande behoudsfactor d (factor waarmee wordt aangegeven in welke mate het niveau bij een nieuwe installatie moet zijn als rekening wordt gehouden met vervuiling en veroudering van lampen, armaturen en relevante vlakken in een ruimte en wordt dus uitgedrukt in een getal groter dan 1).

Het specifieke vermogen van de installatie kan dan worden berekend met de volgende formule:

$$P_s = E / \{\text{Systeemrendement}\} \cdot \eta \cdot d$$

Uiteraard moet hierbij duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen de algemene verlichting van de verschillende ruimten in de installatie en de accentverlichting voor de tentoongestelde voorwerpen.

Heel globaal kan worden gesteld dat rekening kan worden gehouden met:

- ⋮ een geïnstalleerd vermogen van 2 - 4 $W/m^2/100$ lux voor algemene verlichting
- ⋮ een geïnstalleerd vermogen van 8 - 16 $W/m^2/100$ lux voor accentverlichting

Indien bijna uitsluitend halogeenlampen worden toegepast moet ca. 20 $W/m^2 / 100$ lux worden aangehouden.

8.4 SYSTEMEN VOOR VERLICHTING VIA OPTISCHE VEZELS

Gebruik van glas- en kunststofvezelverlichting heeft als voordeel dat aanlichting van objecten mogelijk is zonder warmte- en UV-straling. Dit komt omdat de lichtbron zich op afstand bevindt en de vezels via welke het licht wordt getransporteerd nagenoeg geen andere optische straling doorlaten, zoals IR- en UV-straling. Bovendien kan met kleine lichtpunten worden gewerkt. Dit is bijvoorbeeld voor miniaturen, poppenhuizen en andere kleine settings heel aantrekkelijk. Om schade door optische straling, vocht, stof en ongedierte te voorkomen worden vitrines steeds beter afgesloten en hebben vaak een eigen klimaatregeling. Door de lichtbron buiten de vitrine te houden komt de warmte hiervan niet in te vitrine terecht.

Bij systemen met lichtgeleiding via optische vezels is de lichtbron in een speciaal hiervoor ontwikkelde unit opgenomen, ook wel aangeduid als lichtgenerator of (licht)box, en wordt het licht via glasvezels of transparante kunststofvezels uitgestraald. De meest gebruikte lichtbronnen voor de unit zijn halogeenlampen en hogedruk gasontladingslampen.

In de unit wordt door de lichtbron warmte geproduceerd, die afgevoerd moet worden. Dit kan op natuurlijke wijze via ventilatieopeningen en/of koelribben, maar bij een lampvermogen van meer dan 35 W, is veelal geforceerde koeling nodig door middel van een ventilator. Dit heeft als nadeel dat de unit in meer of mindere mate geluid geven. Dit is afhankelijk van fabrikaat, type en kwaliteit. Is het geluid onacceptabel, dan kan de unit buiten de ruimte worden geplaatst of moeten speciale akoestische voorzieningen worden getroffen.

Voor situaties waarin relatief weinig licht vereist is, zijn inmiddels ook units met een led als lichtbron beschikbaar.

Afhankelijk van de uitvoering van de unit kunnen een of meer glasvezelbundels of kunststofvezels worden aangesloten. De toegepaste glasvezels zijn zeer dun om buiging mogelijk te maken en altijd met een aantal gebundeld om voldoende licht te kunnen transporteren. Kunststofvezels zijn op zich flexibel en kunnen in verschillende diameters worden geleverd.

Verdeling van het licht via optische vezels is op verschillende manieren mogelijk. Zo kan het licht over de hele lengte van de vezel worden uitgestraald bij de zogenaamde zijlichtvezels.

Veel meer worden eindlichtvezels gebruikt, waarbij (zoals de naam al aangeeft) het licht aan het eind van de vezel wel direct of via een optisch element wordt uitgestraald.

Belangrijk is om rekening te houden met de lichtdoorlatende eigenschappen van de toegepaste vezels. Zo wordt afhankelijk van de soort en kwaliteit van de vezel het licht gedempt. Hoe langer de vezel is, des te minder licht zal aan het eind uitgestraald worden. De mate waarin is bovendien afhankelijk van de golflengte en kan dus voor de ene kleur meer of minder zijn dan voor andere.

Optische elementen of armaturen kunnen worden toegepast voor decoratieve effecten, maar worden meestal gebruikt om het licht rondom of in meer of mindere mate gebundeld uit te stralen. Het zijn dus eigenlijk armaturen zonder lamp en zijn in tal van uitvoeringen verkrijgbaar. Bepaalde uitvoeringen maken het bijvoorbeeld mogelijk om hele kleine objecten van zeer dichtbij te accentueren. Door middel van een speciale voorziening is ook afkadering mogelijk, waardoor vierkante of rechthoekige objecten exact kunnen worden uitgelicht. Door toepassing van spiegels of meer lokaal met spiegeltjes kunnen de optische elementen nagenoeg onzichtbaar worden geplaatst.

Fig. 8.34
Systeem voor verlichting via optische
vezels



Fig. 8.35 a -b
Glasvezelverlichting toegepast
bij tentoonstellingen in het
Rijksmuseum Amsterdam



8.5 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VOOR LEDS EN LED-ARMATUREN

Leds (Light Emitting Diodes) bieden in musea vooral mogelijkheden voor plaatselijke en aanvullende plaatselijke verlichting, zoals in vitrines. Zo zijn leds op strips leverbaar, die eenvoudig onder of verwerkt in een schap kunnen worden aangebracht of boven een lade. Er zijn nog weinig (instelbare) spots met leds beschikbaar. Wel neemt dit aantal gestaag toe door de snelle ontwikkelingen op het gebied van leds. Zo zijn inmiddels wel een aantal al dan niet richtbare kleine spotjes verkrijgbaar en spots met een hogere lichtopbrengst door een aantal leds te combineren. Het maximale vermogen van de meest voorkomende typen leds is tot nu toe 3 W.

De kleine spotjes zijn vooral geschikt voor toepassing in vitrines. Het voordeel van leds is dat, evenals bij lichtvezelsystemen nagenoeg geen warmte- en UV-straling in de lichtbundel aanwezig is.

Een groot verschil is echter dat leds aan de achterkant wel warmte produceren. Deze moet op een goede wijze worden afgevoerd.

Gebeurt dit niet, dan gaat dit ten koste van de lichtopbrengst en de levensduur en wordt toch een hoeveelheid warmte ontwikkeld in de vitrine, die veelal niet toelaatbaar is.

Een ander voordeel van leds is dat ze een zeer lange levensduur hebben, die afhankelijk van de uitvoering en het vermogen 25.000 tot 50.000 uur kan bedragen. Sommige fabrikanten geven zelfs hogere aantallen op. Hiervoor is al vermeld dat de levensduur ook afhankelijk is van de wijze waarop de door de leds ontwikkelde warmte wordt afgevoerd. Ook geven de leds, evenals de meeste andere lichtbronnen, gedurende het gebruik steeds minder licht. Deze afname is mede bepalend voor de periode waarin de leds functioneel kunnen worden gebruikt. Het is dus belangrijk om van de leverancier de juiste informatie hierover te ontvangen.

Leds zijn in verschillende kleuren licht verkrijgbaar en ook met wit licht, variërend van warmwit tot zeer koelwit licht. Tot nu toe hebben witte leds een matige kleurweergave, met uitzondering van de koelwitte leds, die wel met goede kleurweergave-eigenschappen beschikbaar zijn. Tot nu toe is hierover met name voor museale toepassing nauwelijks bruikbare informatie beschikbaar. Hierdoor kunnen ze voor expositiedoeleinden nog maar beperkt worden toegepast.

Bij spots waarin meerdere leds zijn opgenomen wordt ook wel een mix van warmwitte en koelwitte leds toegepast. Door deze lichtkleuren



Fig. 8.36
Voorbeeld van gekleurde
ledarmatuur voor
inbouw in meubilair

afzonderlijk te regelen, kan elke gewenste kleurtemperatuur worden ingesteld. Wel dient dan door gegevens van de fabrikant of door meting te worden nagegaan of de kleurweergave bij een bepaalde instelling nog aan de gewenste blijft voldoen.

Door hun geringe afmetingen en eenvoudige wijze om ze te regelen kunnen leds bijzonder goed worden gebruikt voor decoratieve toepassingen, (kleur)effecten en voor het aangeven van de routing. Door bij een combinatie van rode, groene en blauwe leds deze afzonderlijk aan te sturen kunnen tal van kleuren licht worden gerealiseerd.

8.6 MAATREGELEN OM SCHADE DOOR KUNSTLICHT TE BEPERKEN

Om lichtschade te beperken moet de belichtingsdosis zo laag mogelijk worden gehouden. Dat kan ten eerste door de verlichtingssterkte terug te brengen, bijvoorbeeld door de lichtbron te dimmen, een lager wattage lamp te gebruiken of de afstand tussen lichtbron en object te vergroten. Ten tweede kan de belichtingsduur worden beperkt. Het eerste dat men kan doen, is zorgen dat voorwerpen alleen belicht worden wanneer dat nodig is. Op die manier kan de duur van de blootstelling worden teruggebracht. De meest eenvoudige manier is objecten en vitrines af te dekken als er niemand naar kijkt, of platte objecten in schuifladen te presenteren die de bezoeker zelf moet opentrekken (figuur 8.37). Daarnaast zijn er tal van technische mogelijkheden met schakel- en regelsystemen die ervoor zorgen dat het licht alleen brandt als er een bezoeker naar het object kijkt. Ten derde kan voor een lichtbron met een zo min mogelijk schadelijk spectrum worden gekozen. Een voorbeeld is de rode lamp in de werkruimte van de fotograaf. Voor objecten is dat vanuit esthetisch oogpunt niet altijd een geschikte oplossing. Bovendien moet men voorzichtig zijn geen onbedoelde verschuiving in de kleurenbalans van het object teweeg te brengen door verkleuring van bepaalde partijen als gevolg van gekleurde verlichting. Een vierde strategie om schade te beperken is het rouleren van de objecten zelf. Dat betekent echter dat er een groter aantal objecten tentoongesteld moet worden, die allemaal

Fig. 8.37
Bescherming van
lichtgevoelig object
door afdekken van
vitrine (links) en tonen
in schuifladen die
bezoeker open trekt
(rechts)



enige mate van schade zullen ondervinden. De schade wordt dus als het ware 'uitgesmeerd' over een groter deel van de collectie. Bovendien kan het veelvuldig hanteren van de voorwerpen weer andere risico's voor het behoud met zich meebrengen. Deze laatste optie vergt een beleidsmatige beslissing.

8.6.1 Lichtschakel- en regelsystemen

Voor veel situaties kan regelen en schakelen van de verlichting wenselijk zijn. Dit kan groepsgewijs of individueel per armatuur gebeuren. Bezoekers kunnen zelf de verlichting aandoen waarbij een tijdschakelaar ervoor zorgt dat het licht automatisch weer uit gaat. Het is ook mogelijk om aanwezigheidsmelders te installeren die zorgen dat het licht aangaat als er iemand binnen het bereik van de melder komt. Na verloop van tijd schakelt de verlichting automatisch weer uit. De verlichting kan ook worden gekoppeld aan contactmatten. Bij toepassing van fluorescentielampen moet wel worden voorkomen dat zij te vaak worden in- en uitgeschakeld omdat dit van invloed is op de levensduur. Hogedruk gasontladingslampen komen in het geheel niet in aanmerking voor regelmatig in- en uitschakelen, aangezien ze een bepaalde opstarttijd nodig hebben om stabiel te kunnen branden. Bijkomende voordelen van schakelen op publieksaanwezigheid zijn dat de energiekosten voor verlichting omlaag gaan; de warmteproductie is minder wat vooral in de zomer een energiebesparing op de koeling kan betekenen; ook voor de lichtbronnen zelf is minder koeling nodig, denk aan bronnen voor glasvezelverlichting; en vooral gloeilampen en halogeenlampen gaan langer mee omdat ze niet permanent branden. Het beperken van onnodige verlichting is niet alleen beter voor het behoud van de collectie maar ook voor dat van het milieu.

De verlichtingssterkte van kunstverlichting kan worden vermindert door dimmen. Dat kan per individuele lichtbron of per groep armaturen op verschillende manieren, zowel handmatig als vooraf geprogrammeerd. Voor geprogrammeerd regelen zijn speciale transformatoren of voorschakelapparaten vereist, omdat ze afgestemd moeten zijn op het vereiste protocol voor de regeling. Bekende voorbeelden hiervan zijn DALI en DMX512. Niet alle lampen zijn echter dimbaar. Inductielampen en hogedruk gasontladingslampen kunnen niet worden gedimd, maar de lichtopbrengst kan wel worden gereduceerd door middel van mechanische dimmers of correctiegaasfilters. Voor de andere besproken typen lampen zijn verschillende mogelijkheden beschikbaar. Leds vereisen een speciale dimmer die de stroomsterkte reduceert in plaats van de spanning wat gebrui-

kelijk is. Er zijn armaturen in de handel die standaard zijn voorzien van een dimmer. Deze kunnen dan optimaal worden ingeregeld voor een bepaalde toepassing. Wel moet er bij individueel dimmen op worden gelet dat er onderling niet onacceptabele lichtkleurverschillen ontstaan. Het dimmen van lichtbronnen gaat met veranderingen in kleurtemperatuur en kleurweergave gepaard en moet daarom met beleid worden gedaan. Vaak is het verstandiger om een lichtbron met een lager vermogen te gebruiken.

8.6.2 Plaatsing van object ten opzichte van lichtbron

De plaatsing van de voorwerpen en lichtbronnen ten opzichte van elkaar bepaalt mede de hoeveelheid straling die op de voorwerpen valt. Hierbij speelt de afstand tussen lichtbron en voorwerp een belangrijke rol. Bij een puntbron (bijvoorbeeld gloeilamp) leidt het verdubbelen van de afstand tot een viervoudige vermindering van de verlichtingssterkte op het voorwerp. Dus, als het voorwerp op 1 meter van de gloeilamp bijvoorbeeld 200 lux ontvangt dan ontvangt het op 2 meter van die lamp 50 lux. Bij een lijnbron, zoals een rij tl-buizen, wordt de hoeveelheid licht gehalveerd als de afstand wordt verdubbeld. Het is overigens beter om een lamp met een lager wattage dicht bij een object te plaatsen, dan een lamp met een hoger wattage op grotere afstand omdat het UV-gehalte bij een laag wattage ook lager is.

Om opwarming van objecten door opvallend licht te beperken, kan men eveneens de afstand tussen het object en de lichtbron vergroten. Ook kan men gebruik maken van lampen in combinatie met een reflector die een dichroïde coating heeft. Dit systeem wordt een koudlichtreflector of koudlichtspiegel genoemd. De coating van de reflector weerkaatst het licht terwijl het grootste deel van de warmte naar achteren wordt doorgelaten. Van alle kunstlichtbronnen geven gloeilampen en halogeenlampen naar verhouding de meeste warmte af. Gebruik deze lampen dus nooit in een afgesloten ruimte zoals een vitrine, tenzij er een apart lichtcompartiment is met een ventilator. Een andere manier is het toepassen van glasvezelverlichting, waarbij de lichtbron buiten de vitrine geplaatst wordt. Het geluid van de ventilatoren kan echter weer zeer storend zijn in de tentoonstellingsruimte.

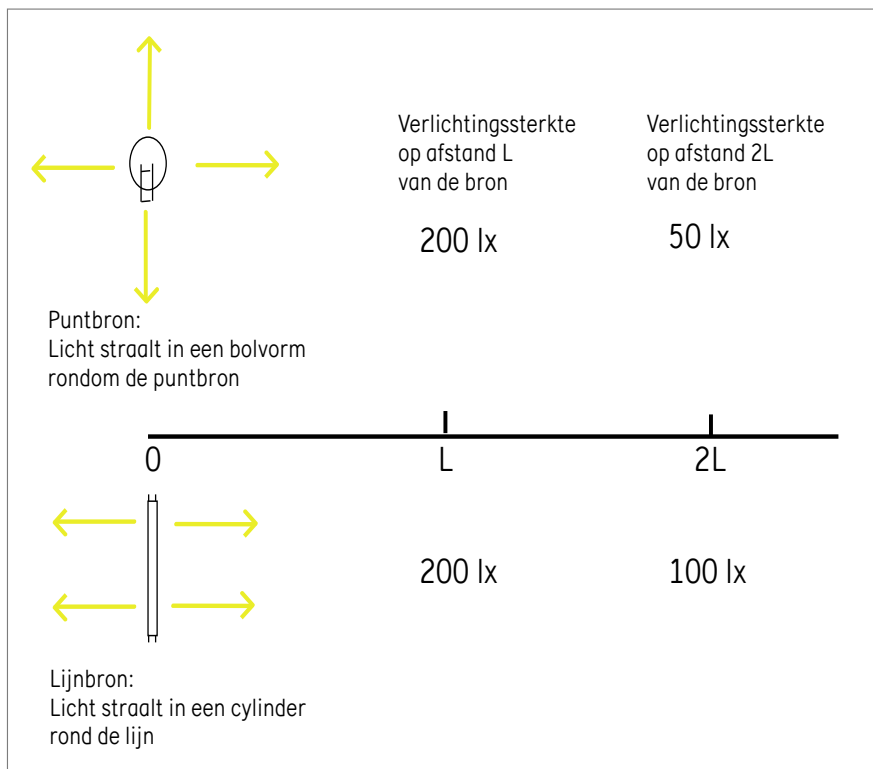


Fig. 8.38
Verband tussen verlichtingssterkte en afstand tot de lichtbron voor puntbron (gloeilamp) en lijnbron (TL-buis).

9 INVESTERINGEN, EXPLOITATIE EN ONDERHOUD

9.1 INLEIDING

Aanschaf en gebruik van kunstverlichting vergt investering terwijl ook het regelen en controleren van daglicht financiële consequenties heeft. Bij de aanschaf zijn de keuze van armaturen en lampen en de gewenste flexibiliteit de meest bepalende factoren. Die keuze is echter ook van invloed op de kosten voor de lichtinstallatie, de eventueel gewenste regelsystemen. Eenmaal aangelegd worden de kosten voor het gebruik van verlichting in grote mate bepaald door het energiegebruik, onderhoud en schoonmaak en het vervangen van defecte lampen en armaturen. Het is daarom van groot belang om tijdens het ontwerp een goed beeld te krijgen van alle kosten die met de gewenste verlichting gemoeid zijn. In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de investerings- en exploitatiekosten voor de verlichting en is aangegeven hoe deze het beste kunnen worden bepaald.

9.2 INVESTERINGSKOSTEN

De investeringskosten omvatten:

- ⌘ de kosten voor advies en een goed lichtplan
- ⌘ de kostprijs voor de armaturen, de lampen en de regelapparatuur
- ⌘ toeslagen die door de installateur in rekening kunnen worden gebracht
- ⌘ de installatiekosten voor de plaatsing en de aansluiting van de armaturen, inclusief alle toebehoren (voedingskabels, verdeelborden, regelapparatuur, sensoren, enz)

9.3 EXPLOITATIEKOSTEN

De exploitatiekosten worden bepaald door:

- ⌘ de afschrijvingskosten van de investering in functie van de branduren per jaar en het totaal opgenomen vermogen
- ⌘ het energiegebruik van lampen, voorschakelapparatuur en eventuele dimmers, sensoren, enz.
- ⌘ de jaarlijkse lamp- en de lampvervangingskosten bepaald door de levensduur van de gekozen lichtbron
- ⌘ de jaarlijkse onderhoudskosten voor de reiniging van de armaturen bepaald door de vervuilingsfactor

Afschrijvingsperiode

Algemeen wordt voor vast aangebrachte verlichtingsarmaturen een afschrijvingsperiode aangehouden van 10-15 jaar. Indien spots regelmatig worden verplaatst kunnen deze gemakkelijk beschadigen en moet een kortere afschrijvingsperiode worden aangehouden. In de praktijk worden de armaturen veel langer gebruikt. Dat lijkt een besparing maar het risico bestaat dat nieuwe, duurzamere ontwikkelingen worden gemist.

9.4 ONDERHOUD

De verlichtingssterkte blijft niet constant maar vermindert in de tijd als gevolg van de veroudering en de vervuiling van de toegepaste materialen. Om het lichtniveau op peil te houden is onderhoud van de installatie en vervanging van sommige onderdelen na verloop van tijd een noodzaak.

Vermindering van de lichtstroom van de lichtbron

De lichtstroomterugval, die voorkomt bij alle lichtbronnen, is afhankelijk van het lamptype en moet voornamelijk bij (compacte) fluorescentielampen en metaalhalogeenlampen in het oog gehouden worden. De kromme voor de lichtstroomafname van de lamp tijdens het gebruik zal hieromtrent informatie kunnen verschaffen. De verliezen die hierbij optreden kunnen sterk verminderd worden door een regelmatige lampvervanging.

Lampuitval

De levensduur van een lichtbron is afhankelijk van het lamptype en bij ontladingslampen zeker ook van de toegepaste voorschakelapparatuur en het aantal schakelingen. Om lichtverlies en zeker donkere zones te vermijden, is het noodzakelijk individuele lampvervanging uit te voeren. Het levensduurverloop van de lamp is hierbij een nuttige informatie. Vele fabrikanten van lichtbronnen geven een gecumuleerde kromme van lichtstroomafname en levensduur, waarbij het totale lichtbehoud in de tijd wordt weergegeven. Het tijdstip waarbij in dit geval nog 80% licht verkregen wordt, zal men soms aanduiden met de nuttige of economische levensduur. Gedetailleerde informatie betreffende lichtbehoud en levensduur van de verschillende lichtbronnen kan verkregen worden bij de fabrikanten hiervan.

Vervuiling van armatuur en lampen

Deze parameter veroorzaakt meestal de grootste lichtterugval en is voornamelijk afhankelijk van de omgeving en de samenstelling van het armatuur. Tabel 9.1 geeft enige informatie van Sylvania over de te verwachten behoudsfactor voor verschillende armatuurtypes en de omgeving waarin ze worden toegepast.

Gebruiksduur		1 jaar			2 jaar			3 jaar		
Armatuurtype	Omgeving	S	N	V	S	N	V	S	N	V
A	montagebalk	0.93	0.89	0.83	0.89	0.84	0.78	0.85	0.79	0.73
B	met sleuven in reflector	0.90	0.86	0.83	0.84	0.80	0.75	0.79	0.74	0.68
C	met gesloten reflector	0.89	0.81	0.72	0.80	0.69	0.59	0.74	0.61	0.52
D	met beschermingsgraad IP 2X	0.88	0.82	0.77	0.83	0.77	0.71	0.79	0.73	0.65
E	met beschermingsgraad IP 5X (stofdicht)	0.94	0.90	0.86	0.91	0.86	0.81	0.90	0.84	0.79
F	Uplighter (indirect licht)	0.86	0.81	0.74	0.77	0.66	0.57	0.70	0.55	0.45

Tabel 9.1
Te verwachten behoudsfactor voor verschillende armatuurtypes en omgeving waarin ze worden toegepast (gegevens Sylvania). Gebruikte afkortingen voor omgeving: S=schoon, N=normaal, V=vuil

Vervuilingsfactor van de ruimte

De vervuilingsfactor heeft alleen betrekking op de door de binnen-vlakken gereflecteerde lichtstroom en zal voornamelijk bij indirecte en breed uitstralende lichtverdeling een belangrijke invloed op de lichtterugval hebben. Periodieke reiniging en/of opnieuw schilderen van de wanden en het plafond zal het lichtniveau en de luminantieverhoudingen in de ruimte weer op peil brengen.

Behoudsfactor

Bij het ontwerp van een lichtplanning moet met al deze parameters rekening worden gehouden. Daartoe is bij de lichtberekeningen de “behoudsfactor” ingevoerd die het product is van de vier bovenvermelde factoren die een lichtterugval kunnen veroorzaken. Het is de verhouding tussen de praktijkverlichtingssterkte (de gemiddelde

verlichtingssterkte na verloop van tijd, rekening houdend met de verschillende parameters van lichtterugval) en de initiële verlichtingssterkte. Het is de taak van de lichtontwerper deze behoudsfactor te bepalen maar wel in nauw overleg met de eindgebruiker want deze factor is maatgevend voor het tijdstip van onderhoud (reiniging, vervanging, enz.) van de installatie.

Voorbeeld:

Lamplevensduur = 16.000 uur

Aantal branduren per jaar = 3000 uur

Lampvervanging in groep na 12.000 uur of 4 jaar

Lichtbehoud na 12.000 branduren = 0.90

Lampuitval na 12.000 branduren = 10%, maar individueel vervangen dus behoudsfactor = 1

Armatuurtype met beschermingsgraad IP2X : type D

Omgeving = schoon S

Lamp- en armatuurreiniging na 2 jaar: behoudsfactor = 0.83

Vervuiling van de ruimte is geen rekening mee gehouden

Behoudsfactor = $0.90 \times 1.00 \times 0.83 = 0.75$

9.5 LAMPVERVANGING

Voor de vervanging van de lampen in een installatie kan in grote lijnen worden gekozen uit drie verschillende werkwijzen:

- ⌘ Individuele vervanging waarbij elke defecte lamp vervangen wordt en dit op een tijdstip dat overeenkomt met de gemiddelde levensduur.
- ⌘ Groepsvervanging waarbij alle lampen (defect of niet) tegelertijd vervangen worden op een tijdstip dat korter is dan de gemiddelde levensduur en meestal overeenkomt met de nuttige levensduur.
- ⌘ Gecombineerde vervanging waarbij voor de groepsvervanging ook defecte lampen vervangen worden. Dit systeem zal toegepast worden in die installaties waar het uitvallen van een lamp een gevaarlijke of hinderlijke situatie kan opleveren.

Het meest economische systeem kan aan de hand van de volgende formules bepaald worden:

Individueel vervanging: $K_i = (L + I) \times R/A$

Groepsvervanging: $K_g = (L + G) \times R/B$

Gecombineerde vervanging: $K_c = K_g + F \times (L + I) \times R/B$

waarin:

K_i = Totale jaarlijkse kosten per lamp voor individuele vervanging

K_g = Totale jaarlijkse kosten per lamp voor groepsvervanging

K_c = Totale jaarlijkse kosten voor gecombineerde vervanging

L = Kostprijs van de lamp

I = Loonkosten voor de individueel vervanging van een lamp

G = Loonkosten voor de groepsvervanging van een lamp

R = Aantal branduren per jaar

A = Gemiddelde levensduur van de lampen

B = Levensduur van de lampen bij de groepsvervanging

F = % defecte lampen bij groepsvervanging

Voorbeeld:

Kostprijs van de lamp = 5,00 €

Individuele vervanging = 20 min. à 30,00 €/u => 10,00 €/lamp

Groepsvervanging = 5 min. à 30,00 €/u => 2,50 €/lamp

Aantal branduren per jaar = 3000 u:

Gemiddelde levensduur = 16.000 u

Levensduur bij groepsvervanging = 12.000 u

% defecte lampen bij groepsvervanging = 10%

$K_i = (5+10) \times 3000/16000 = 2.81 \text{ €/lamp}$ 100%

$K_g = (5+2.50) \times 3000/12000 = 1.88 \text{ €/lamp}$ 67%

$K_c = 1.88 + 0.10 \times (5 + 10) \times 3000/12000 = 2.25 \text{ €/lamp}$ 80%

Afvoer van defecte lampen en armaturen

Op 13 augustus 2005 werd het *Besluit Beheer elektrische en elektronische apparatuur* van kracht voor fluorescentielampen, gasontladingslampen en verlichtingsarmaturen. Deze wetgeving heeft tot doel om elektrisch afval te voorkomen of te verminderen door hergebruik of recyclen van onderdelen. Er is daarvoor een inzamelsysteem opgezet waarbij de betreffende lampen bij een inzamelpunt of gemeentedeponie kunnen worden ingeleverd. Het systeem wordt gefinancierd met de verwijderingsbijdrage die wordt betaald bij aanschaf van de nieuwe producten.

9.6 ARMATUURREINIGING

De wijze waarop een armatuur kan worden schoongemaakt hangt af van het type armatuur en de toegepaste materialen. Bij het schoonmaken van aluminium reflectoren moet altijd de nodige voorzichtigheid in acht worden genomen, anders blijven er strepen achter. Door

ze in een ultrasoon bad te reinigen worden de strepen vermeden. Kunststof reflectoren met een opgedampte metaallaag moeten heel voorzichtig worden behandeld. Door toepassing van verkeerde schoonmaakmiddelen kan deze laag worden weggeveegd. Volg daarom altijd de voorschriften van de fabrikant op met betrekking tot de toe te passen schoonmaakmiddelen en de wijze waarop deze moeten worden aangebracht en verwijderd.

Het meest voor de hand liggende tijdstip om tot armatuurreiniging over te gaan, is op het moment dat de kostprijs van de lichtterugval, veroorzaakt door vervuiling van armatuur en lampen, gelijk is aan de kostprijs van de reiniging. Om dit te bepalen kan de volgende vereenvoudigde formule gehanteerd worden:

$$T = K_r \times (1-d) / (d \times K_j)$$

waarbij:

T = tijdstip voor de meest aangewezen armatuurreiniging

K_r = kostprijs van de reiniging

d = vervuilingsfactor van het armatuur gedurende eerste jaar (Tabel 9.2)

K_j = totale jaarlijkse kostprijs van de installatie
(exploitatiekosten exclusief reinigingskosten
+ afschrijving van de investering)

Armatuurtype \ Omgeving	A	B	C	D	E	F
Schoon	0.07	0.10	0.11	0.12	0.06	0.14
Normaal	0.11	0.14	0.19	0.18	0.10	0.19
Vuil	0.17	0.17	0.28	0.23	0.14	0.26

Tabel 9.2

Vervuilingsfactor van de installatie gedurende het eerste jaar (afgeleid van tabel 9.1)

Voorbeeld:

Armatuurtype type D 2x36W HF

Kostprijs + installatiekosten van armatuur = 200 €

Afschrijvingsperiode = 10 jaar

Lampkosten = 10 €/armatuur

Lampvervangingskosten (groepsvervanging na 12000 u) = 5€/armatuur

Reinigingskosten Kr = 30 min. aan 30,00 €/u => 15 €/armatuur

Totaal opgenomen vermogen = 73W

Branduren = 3000 u/jaar

Lampvervangingsperiode = 4 jaar

kWh-kostprijs = 0.15 €/kWh

Omgeving = schoon S

Vervuilsfactor d = 0.12

De totale jaarlijkse kostprijs (exclusief de reinigingskosten) per armatuur van de installatie bedraagt:

Afschrijving = $200 / 10 = 20$ €/ jaar

Lampkosten = $(10 + 5) \times 3 / 12 = 3.75$ €/ jaar

Verbruikskosten = $73 \times 3000 \times 0.15 / 1000 = 32.85$ €/ jaar

Totaal Kj = 56,60 €/ jaar

De meest aangewezen reinigingsperiode van het armatuur is:

$T = 15 \times 0,88 / (0.12 \times 56.60) = 1,94$ jaar

Bij een lampvervangingsperiode van 4 jaar, moeten de armaturen en de lampen dus halverwege, na 2 jaar, een keer worden gereinigd. Voor armaturen van type A, met een vrij korte levensduur van 2000 à 5000 uur, zal de reiniging geschieden bij de lampvervanging.

10 METEN VAN OPTISCHE STRALING

10.1 INLEIDING

Om te weten of wordt voldaan aan de uitgangspunten voor het voorkomen en beperken van schade aan voorwerpen moeten metingen worden uitgevoerd bij een eventuele proefverlichting tijdens de ontwerpfase, bij oplevering en later ook regelmatig in de praktijk. Belangrijk hierbij is de keuze van de meetinstrumenten met betrekking tot mogelijkheden en nauwkeurigheid.

Er zijn diverse meetinstrumenten verkrijgbaar waarmee verschillende eigenschappen van het aanwezige licht en de invloed hiervan op de kleurweergave kan worden bepaald. In musea en expositieruimtes wordt het meest gebruik gemaakt van luxmeters (verlichtingssterkte in lux), UV-meters (in $\mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ of $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$), luminantiemeters (luminantie in $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ en luminantiecontrasten), en dosimeters voor verlichtingssterkte (lux.uur) en UV-straling (in $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{uur}$). Daarnaast zijn ook beschikbaar kleurmeters of chroma meters (exacte vastlegging van kleuren en kleurveranderingen) en spectrofotometers (spectrale samenstelling kleuren, ook bij verschillende lichtbronnen en bepaling metamerie). Er zijn ook meetinstrumenten in de handel waarmee meerdere lichtmetingen kunnen worden uitgevoerd, zoals verlichtingssterkten en luminanties. Deze kunnen zelfs ook nog gecombineerd zijn met mogelijkheden voor andere soorten metingen, zoals temperatuur en relatieve luchtvochtigheid. Dergelijke meters hebben echter in het algemeen een geringere nauwkeurigheid.

10.2 BETROUWBAAR METEN

Om betrouwbare meetresultaten te verkrijgen moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan. Dit geldt zowel voor de meetinstrumenten zelf als voor de uitvoering van de metingen. Soms moeten aanvullende metingen worden uitgevoerd om de verkregen meetresultaten op een juiste wijze te kunnen interpreteren. Zo moet bijvoorbeeld voor een nauwkeurige meting van de verlichtingssterkte op plaatsen waar gasontladingslampen zijn toegepast, ook de omgevings-temperatuur worden gemeten en veelal ook de netspanning.

Ook moeten de lampen al een bepaalde tijd hebben gebrand om op volle sterkte te zijn. Andere factoren die van invloed kunnen zijn op de resultaten moeten juist worden geëlimineerd of in rekening worden gebracht.

Meetapparatuur

De meetinstrumenten moeten voldoen aan bepaalde eisen met betrekking tot de maximaal toelaatbare foutenmarges. Deze betreffen bijvoorbeeld voor het meten van de verlichtingssterkte:

- ⋮ aanpassing aan de relatieve spectrale ooggevoeligheid
- ⋮ UV-gevoeligheid
- ⋮ IR-gevoeligheid
- ⋮ correctie voor niet-loodrecht invallend licht (cosinus-correctie)
- ⋮ afwijking van de lineariteit
- ⋮ afwijking van het meetinstrument
- ⋮ temperatuurcoëfficiënt
- ⋮ vermoeidheid
- ⋮ frequentie-afhankelijkheid van de lichtfluctuatie
- ⋮ justeerfout

Hierbij kan worden opgemerkt dat de meetinstrumenten veelal in verschillende nauwkeurigheidsklassen verkrijgbaar zijn. Voor de verschillende klassen is dan aangegeven welke maximaal toelaatbare specifieke en totale foutenmarge is toegestaan. In het algemeen heeft nauwkeurigere apparatuur een hogere aanschafprijs. Omdat bepaalde instellingen in de loop van de tijd kunnen veranderen, dienen meetinstrumenten regelmatig (tenminste een maal per jaar) te worden gekalibreerd. Dat kan via de leverancier of bij een onafhankelijk meetinstituut.

Wijze van meten

Om betrouwbare resultaten te krijgen bij het meten van UV-straling moet in de juiste volgorde worden gemeten: eerst de verlichtingssterkte, dan de UV-straling. Bij een lage verlichtingssterkte (minder dan 20 lux) is de UV-waarde namelijk onbetrouwbaar. Voor een aantal metingen is in een norm vastgelegd hoe ze moeten worden uitgevoerd. Een voorbeeld is de NEN 1891 voor het meten van verlichtingssterkten en luminanties. Indien er geen normen zijn, moet men zich aan de handleiding van het apparaat houden. Het is zinvol om meetresultaten regelmatig te vergelijken met overeenkomstige meetinstrumenten. Op die manier kan ook worden gecontroleerd of de kalibratie nog in orde is.

10.3 HET METEN VAN VERLICHTINGSSTERKTEN

Luxmeters dienen voor het meten van verlichtingssterkten in lux. Sommige meters van Amerikaanse afkomst geven ook de waarden in footcandles aan (1 footcandle = 10,76 lux). Luxmeters zijn in

diverse uitvoeringen verkrijgbaar, zowel met analoge als met digitale aanwijzing en met ingebouwde of losse fotocel. Met laatstgenoemde uitvoering is het gemakkelijker om de meetresultaten af te lezen bij meting op grotere hoogten en wordt voorkomen dat degene die meet zelf een belemmering vormt. Een goede meter is gecorrigeerd voor de relatieve, spectrale ooggevoeligheid en geeft een cosinuscorrectie voor de meetcel. De fotocel, of de meter in het geval de fotocel is ingebouwd, moet geschikt zijn voor een starre bevestiging, bijvoorbeeld op een statief.

De eisen waaraan luxmeters moeten voldoen met betrekking tot maximaal toelaatbare specifieke en totale foutenmarges zijn opgenomen in NEN 1891: Binnenverlichting - Meetmethoden voor verlichtingssterkten en luminanties. Ook zijn hierin de voorwaarden opgenomen voor de juiste wijze van het uitvoeren van metingen en het vastleggen van de meetresultaten. Aangegeven wordt dat voor het meten de verlichtingssterkte stabiel moet zijn, wat gewoonlijk circa 30 min na inschakelen van de installatie het geval is. Verder moet daar worden gemeten waar de visuele taak zich afspeelt, in musea bijvoorbeeld op de plaats van het verlichte object. Bij grotere schilderijen moeten metingen op een passend meetraster worden verricht, om de 0,2 m (20 cm). Op die manier blijkt snel of een object homogeen is verlicht of dat er bijvoorbeeld in het midden veel hogere verlichtingssterktes zijn dan aan de rand. Tevens zijn onder andere ook uitgangspunten opgenomen voor bepaling van gemiddelde verlichtingssterkten op een bepaald vlak en voor een globale berekening van de luminantie van diffuse oppervlakken waarvan de reflectiefactor bekend is, in het geval geen luminantiemeter voorhanden is.

Positie van de lichtmeter

De verlichtingssterkte (lux) is een grootheid die de lichtstroom per oppervlakte-eenheid uitdrukt. De lichtmeter moet in dezelfde oriëntatierichting worden gehouden als het oppervlak waar het licht op valt. Wanneer een stralenbundel onder een hoek op een oppervlak valt (van boven of van opzij komt) wordt de bundel over een groter oppervlak verspreid dan wanneer de bundel loodrecht op het oppervlak valt. Sensoren die 'cosinus gecorrigeerd' zijn, houden rekening met dit gegeven en geven de lux-waarde zoals het oppervlak dat ondervindt. Daarom moet bij vlakke objecten een luxmeter met een

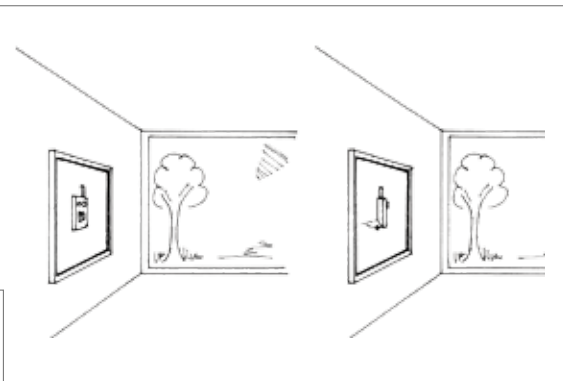


Fig. 10.1
Verschillende typen
luxmeters met losse
fotocel; links digitaal,
rechts analog

Om een gevoel voor de verlichtingssterkte te krijgen en om te controleren of een luxmeter nog enigszins betrouwbare resultaten geeft, kan de volgende vuistregel worden aangehouden: een nieuwe 60 Watt gloeilamp geeft op 1m afstand een verlichtingssterkte van circa 200 lux.

cosinus gecorrigeerde sensor parallel aan het te meten oppervlak worden gehouden (figuur 10.2 links). Wanneer men loodrecht op de bundel meet, geeft de meting een onterecht hoge waarde (figuur 10.2 rechts). De meting moet in het centrum van de bundel worden gedaan, daar is het licht het meest geconcentreerd. Voor 3-dimensionale objecten moet wel rekening worden gehouden met het feit dat het licht van verschillende kanten komt. Daar moet aan alle relevante zijden worden gemeten. Uiteindelijk gaat het erom dat de plaatsen met de hoogste verlichtingssterkte binnen het acceptabele niveau blijven.

Fig. 10.2
Positie van de luxmeter.
Met een cosinus gecorrigeerde sensor moet bij vlakke objecten parallel aan het oppervlak worden gemeten (links). Loodrecht op de lichtbundel zou een onterecht hoge waarde worden gemeten (rechts)



10.4 HET METEN VAN UV-STRALING

Een veel gebruikt type UV-meter in musea is een zogenaamde radiometer. Deze meet het energieaandeel van de UV-straling (320-380 nm) in de lichtbundel, uitgedrukt in $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$. UV-radiometers meten de hoeveelheid UV-stralingsenergie (eventueel van bepaalde golflengtes) die een lichtbron uitzendt of die door een oppervlak wordt ontvangen, uitgedrukt in W/m^2 . Dit is de directe hoeveelheid energie die daadwerkelijk de schade veroorzaakt. In principe zegt deze grootte het meest over de schadelijkheid van de straling. Maar traditioneel heeft men altijd met radiometers gewerkt en zijn de waarden in $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$ ingeburgerd. Mits de verlichtingssterkte tot een voor museale toepassingen gebruikelijk niveau is teruggebracht, is deze verhouding een goed bruikbare grootheid. Tegenwoordig zijn er meters die de hoeveelheid UV-straling in beide grootheden uitdrukken (bijvoorbeeld de Elsec meters).

Voor sommige typen meters zijn verschillende meetcellen voor bepaalde UV-golflengtegebieden beschikbaar. Met sommige typen is

het tevens mogelijk om de UV-dosis in een vooraf ingestelde tijd te meten en om een kleurcorrectiefactor in te stellen voor het nauwkeurig meten van de straling van verschillende lamptypen.

10.5 HET METEN VAN LUMINANTIES

Luminantiemeters dienen voor het objectief meten van de helderheid. Ze zijn in diverse uitvoeringen verkrijgbaar. Soms is de mogelijkheid voor het meten van verlichtingssterkten en van luminanties in een meetinstrument ondergebracht. Voor het meten van de luminantie van kleine oppervlakken dient de meethoek niet meer dan 2° te bedragen. Voor het meten van de gemiddelde luminantie van grote oppervlakken is een meethoek toelaatbaar die hierop is afgestemd. De eisen waaraan luminantiemeters moeten voldoen met betrekking tot maximaal toelaatbare specifieke en totale foutenmarges zijn eveneens opgenomen in NEN 1891: Binnenverlichting - Meetmethoden voor verlichtingssterkten en luminanties.

Er zijn ook zogenaamde luminantiecamera's verkrijgbaar. Hiermee kan direct informatie worden afgelezen van alle voorkomende luminanties en luminatieverhoudingen in een ruimte vanuit een bepaalde positie.

10.6 LOGGERS EN DOSIMETERS

Metingen met handmeters geven slechts een momentopname. Ze geven geen indicatie van het verloop van de waarden over de dag en laten niet zien of er situaties zijn waar wordt afgeweken van de afspraken. Omdat schade als gevolg van optische straling afhankelijk is van de totale dosis straling die over de tijd op het voorwerp valt, is het wenselijk om een inzicht te krijgen in het verloop van de belichting over de tijd. Daartoe zijn loggers ontwikkeld die automatisch, continu of op gezette tijden, meting verrichten en de gegevens opslaan.



Fig. 10.3
Voorbeeld van gecombineerde handmeter voor verlichtingssterkte, UV-gehalte, temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, de vier grootheden die musea willen meten (Elsec 764)

Ze kunnen licht en/of UV-straling meten, maar ook de temperatuur en de relatieve vochtigheid. De meetresultaten kunnen met behulp van de computer in combinatie met de hiervoor benodigde software op de gewenste wijze worden afgelezen en vastgelegd. Door het vastleggen van bepaalde grenswaarden is het mogelijk om overschrijding hiervan te signaleren en eventueel te alarmeren. Hierna kunnen de nodige maatregelen worden getroffen. Voorbeelden zijn de Lux-bug en de UV-bug van Hanwell.

Voor bepaling van de dosis kunnen ook de Blauwe Wol Standaarden (BWS) worden gebruikt (zie hoofdstuk 7.3.4). Dit zijn lapjes wol die met verschillende blauwe kleurstoffen zijn geveerd en waarvan bekend is bij welke belichtingsdosis (met of zonder UV-straling) ze verbleken (zie tabel 7.2.) Voor praktische toepassingen is de blauwe wol standaard uitgevoerd als een karton met passe-partout waarachter een deel van de lapjes tegen het licht is afgeschermd. Op deze manier kan gedurende een tentoonstelling worden bijgehouden of de acceptabele dosis wordt overschreden. Het is ook mogelijk om voorafgaande aan een tentoonstelling met de blauwe wollen te bepalen of er gedurende de geplande tentoonstellingsduur een verbleking op zal treden.

Speciaal voor fotografisch materiaal in museale collecties is de Light Check dosimeter ontwikkeld. Dit is een glasplaatje of een kunststof strip die is voorzien van een kleurstof die onder invloed van licht van kleur verandert. Met een referentiekaartje kan de kleurverandering gerelateerd worden aan de ontvangen belichtingsdosis (aantal lux.uur). Let wel, de dosimeters zijn ontworpen voor gebruik in een situatie zonder UV-straling. Er zijn twee types, de LightCheck Ultra (LCU) die bij 120.000 lux.uur totaal is verbleekt, en de LightCheck Sensitive (LCS) die in het gebied van 60.000 tot 400.000 lux.uur kan worden gebruikt. Deze dosimeters zijn gevoeliger dan blauwe wol standaard nr 1, waardoor ze als 'early warning' systeem kunnen worden gebruikt. Eenmaal verkleurd, zijn de strips niet meer bruikbaar. Om de gebruikskosten van de strips te verminderen, kunnen ze in kleinere reepjes worden geknipt of voor een deel worden afgeschermd voor het licht.

10.7 HET METEN VAN KLEUREN EN KLEURVERANDERINGEN

Met colorimeters, ook wel aangeduid als kleurmeters en chromameters, kunnen kleuren, en in de loop van de tijd ook kleurveranderingen, exact worden gemeten en vastgelegd. Dit gebeurt op basis van het trichromatisch stelsel, dat is afgeleid van de spectrale gevoelig-

heid van het menselijke oog (colorimetrische standaardwaarnemer van de CIE). Met behulp hiervan kunnen kleuren worden berekend en vastgelegd door middel van kleurcoördinaten in verschillende gedefinieerde kleurenstelsels, zoals de (CIE-)kleurendriehoek Yxy, en de kleurenruimtes $L^*u^*v^*$, L^*C^*h en $L^*a^*b^*$ (CIELAB) (figuur 10.5) en de Hunter Lab-kleurenruimte.

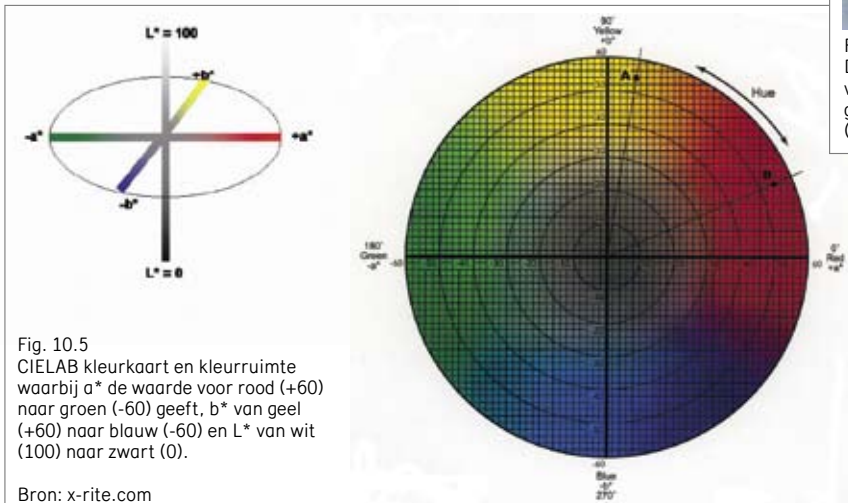


Fig.10.4
Datalogger voor verlichtingssterkte met geïntegreerde sensor (Hanwell Luxbug)

10.8 HET METEN VAN STRALINGSGROOTHEDEN

Een nog geavanceerdere wijze voor meting van kleuren is mogelijk met spectrofotometers. Hiermee worden de stralingsgrootheden in kleine golflengte-intervallen over een gegeven golflengtegebied gemeten, volgens een gegeven spectrale ooggevoeligheidsfunctie, ook voor verschillende toegepaste typen lichtbronnen. Hiermee kunnen kleuren niet alleen op de bij de colorimeters aangegeven wijzen worden vastgelegd, maar kan ook de spectrale samenstelling van kleuren worden gemeten en vastgelegd in het zichtbare gebied van het spectrum. Door deze wijze van meten kunnen ook verschijnselen als metamerie worden gekwantificeerd. Metamerie is een verschijnsel dat voorkomt bij materialen van verschillende aard, waarbij de kleur onder een bepaalde lichtbron identiek lijkt, maar bij een andere verschillend.

STRALING, GROOTHEDEN EN EENHEDEN

Elektromagnetische straling

1 Emissie of overdracht van energie in de vorm van elektromagnetische golven met de bijbehorende fotonen

2 Deze elektromagnetische golven of deze fotonen

Optische straling

Elektromagnetische straling, waarvan de golflengten tussen het overgangsgedebied naar de Röntgenstralen ($\lambda = 1 \text{ nm}$) en het overgangsgedebied naar de radiogolven ($\lambda = 1 \text{ mm}$) liggen

Zichtbare straling

Optische straling die direct een visuele waarneming kan oproepen. Wanneer er over 'licht' wordt gesproken, is dat per definitie 'zichtbare straling'.

Opmerking:

In de literatuur wordt voor het bereik van zichtbare straling veelal 380 nm tot 780 nm aangehouden.

Er bestaan hiervoor echter geen exacte grenzen, omdat deze van de hoeveelheid stralingsvermogen welke het netvlies bereikt en de gevoeligheid van het oog van de waarnemer afhangen.

Als ondergrens worden daarom ook wel waarden tussen 360 nm en 400 nm aangehouden en als bovengrens 760 nm tot 830 nm.

Ultraviolette straling

Optische straling waarvan de golflengten kleiner zijn dan die van zichtbare straling en groter dan die van Röntgenstraling. Het bereik van ultraviolette straling tussen 100 nm en 400 nm wordt in het algemeen onderverdeeld in:

UV-A	315 – 400 nm
UV-B	280 – 315 nm
UV-C	100 – 280 nm

Infrarode straling

Optische straling waarvan de golflengten groter zijn dan die van zichtbare straling en kleiner dan die van radiostraling.

Het bereik van infrarode straling tussen 780 nm en 1 mm wordt in het algemeen onderverdeeld in:

IR-A	780 – 1400 nm
IR-B	1,4 – 3 μm
IR-C	3 μm – 1 mm

Monochromatische straling

Straling die gekenmerkt wordt door één enkele frequentie.

In de praktijk straling met een zeer klein frequentiebereik, dat kan worden beschreven door het aangeven van één enkele frequentie

Spectrum (van een straling)

Afbeelding of kenmerk van de monochromatische componenten van de desbetreffende straling.

Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen:

- lijnenspectra, continue spectra en spectra die beide kenmerken hebben
- spectraal rendement

Golflengte (λ)

Afstand tussen twee opeenvolgende punten van gelijke fase van een periodieke golf, gemeten in de voortplantingsrichting van die golf.

Opmerking over grootheden en eenheden:

Voor straling worden de 'energetische' grootheden en eenheden gebruikt. Deze grootheden zijn te herkennen aan het subscript 'e'. Omdat licht alleen de zichtbare straling is, is er een aparte set maten om de hoeveelheid licht in uit te drukken. In deze 'fotometrische' grootheden en eenheden is de gevoeligheid van het menselijke oog verwerkt. Dat is het meest gevoelig voor een golflengte van 555 nm (groen). De gevoeligheid neemt naar het violet aan de ene kant en het rood aan de

andere kant geleidelijk af. Buiten het zichtbare gebied is de gevoeligheid van het oog nul. De gevoeligheid is vastgelegd in de standaardooggevoeligheidskromme (CIE, 1924) (zie figuur 4.2). Fotometrische grootheden kunnen worden verkregen door vermenigvuldiging van de energetische grootheden met de standaardooggevoeligheidskromme.

Candela (cd)

SI-eenheid van de lichtsterkte: de candela is de lichtsterkte in een gegeven richting van een bron die monochromatische straling met een frequentie van 540×10^{12} hertz uitzendt en waarvan de stralingssterkte in de richting $1/683$ watt per steradiaal bedraagt.

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} \cdot \text{sr}^{-1}$$

Steradiaal (Ω , ω)

De steradiaal (sr) is de ruimtehoek die, wanneer zijn top samenvalt met het middelpunt van een bol, op die bol een oppervlak uitsnijdt gelijk aan die van een vierkant met de staal van de bol als zijde.

De totale driedimensionale ruimte omvat 4π sr.

Lumen (lm)

Afgeleide SI-eenheid van lichtstroom: de lichtstroom die in de eenheid van ruimtehoek (steradiaal) door een isotrope puntbron met een lichtsterkte van 1 candela wordt uitgezonden.

Lux (lx)

Afgeleide SI-eenheid van verlichtingssterkte: verlichtingssterkte op een vlak van 1 vierkante meter ten gevolge van een lichtstroom van 1 lumen die gelijkmatig over dat vlak is verdeeld.

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$$

Stralingsstroom (Φ_e ; Φ ; P)

In de vorm van straling uitgezonden, doorge laten of ontvangen vermogen.

Eenheid: W (watt)

Lichtstroom (Φ_v ; Φ)

Grootheid die wordt verkregen uit de stralingsstroom door de straling te evalueren volgens

haar effect op de fotometrische standaard-waarnemer (van de CIE). Het gaat dus om het vermogen van de stralingsstroom, zoals dit door het oog wordt gewaardeerd.

Eenheid: lm (lumen)

Stralingsenergie (Q_e ; Q)

Tijdsintegraal van het stralingsvermogen Φ_e over een bepaalde tijdsperiode Δt .

Eenheid: J (joule) = W.s (wattseconde)

Hoeveelheid licht (Q; Q)

Tijdsintegraal van de lichtstroom Φ_v over een bepaalde tijdsperiode Δt .

Eenheid lm.s (lumenseconde) of lm.h (lumenuur)

Stralingssterkte: stralingsintensiteit (van een bron in een gegeven richting) (I_e ; I)

Quotiënt van de stralingsstroom $d\Phi_e$ die door een bron in een ruimtehoekenelement $d\Omega$ dat de gegeven richting bevat wordt uitgezonden en het ruimtehoekenelement.

Eenheid: $\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$ (watt/steradiaal)

Lichtsterkte; lichtintensiteit (van een bron in een gegeven richting) (I_v ; I)

Quotiënt van de lichtstroom $d\Phi_v$ die door een stralingsbron in een ruimtehoekenelement $d\Omega$ dat de gegeven richting bevat wordt uitgezonden en het ruimtehoekenelement.

Eenheid: cd (candela) = $\text{lm} \cdot \text{sr}^{-1}$ (lumen/steradiaal)

Luminantie (in een gegeven richting, in een gegeven punt van een vlak) (L; L)

Lichtintensiteit per eenheid van oppervlak.

Eenheid: $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (candela/ m^2)

Bestralingssterkte of stroomdichtheid (in een punt van een vlak) (E_e ; E)

Quotiënt van de stralingsstroom $d\Phi_e$ dat op een element van het vlak valt waarbinnen zich het punt bevindt en de oppervlakte dA van dit element.

Eenheid: W/m^2 (watt/ m^2)

Verlichtingssterkte (in een punt van een oppervlak) (Ev; E)

Quotiënt van de lichtstroom $d\Phi$ m⁻²
(lumen/ m² = lx)

Bestralingsdosis (in een punt van een vlak, gedurende een gegeven tijd) (He; H)

Quotiënt van dQ_e , de stralingsenergie die op een element van het vlak valt dat het punt gedurende de gegeven tijd bevat en de oppervlakte dA van dit element.

Eenheid J/m² (joule/ m²) = W/s/m² (watt/ seconde/ m²)

Belichtingsdosis (in een punt van een vlak, gedurende een gegeven tijd) (H; H)

Quotiënt van dQ_v , de hoeveelheid licht die op een element van het vlak valt dat het punt gedurende de gegeven tijd bevat en de oppervlakte dA van dit element.

Eenheid J · m⁻² (joule/m²) = W/s/m² (watt/ seconde/ m²)

UV-gehalte

Stralingsstroom in het UV-gebied van het spectrum per eenheid van lichtstroom, uitgedrukt in W/lm of μ W/lm.

UV-belasting

Bestralingssterkte c.q. stroomdichtheid in het UV-gebied van het spectrum per eenheid van oppervlak, uitgedrukt in W/ m² (watt/ m²)

Damage-factor (kleurschadefactor)

Op basis van de damage function (tabel met factoren voor de *probable relative damage* van verschillende golflengtegebieden van het spectrum van het National Bureau of Standards in Washington) berekende grootte die het vermogen tot structurele beschadiging van kleuren aangeeft. Deze grootte wordt uitgedrukt in een relatieve schaal met een willekeurig genormeerde eenheid D/lx (*damage per lux*).

ZIEN, KLEUR EN KLEURWEERGAVE

HET OOG

Netvlies (retina)

Lichtgevoelig weefsel achterin de binnenkant van het oog. Het bevat fotoreceptoren, de kegeltjes en de staafjes, en zenuwcellen welke de signalen als gevolg van de prikkeling van de fotoreceptoren doorgeven aan het visuele gedeelte van de hersenen via de oogzenuwen.

Kegeltjes

Fotoreceptoren in het netvlies die pigmenten bevatten die fotopisch zien mogelijk maken (kleurenzien). Er kunnen drie verschillende soorten worden onderscheiden. Elke hiervan is gevoelig voor een bepaald deel van het spectrum en wel voor resp. voornamelijk blauw, groen en rood.

Staaftjes

Fotoreceptoren in het netvlies die een pigment bevatten dat scotopisch zien mogelijk maakt (nachtzien). Hiermee kunnen geen kleuren worden waargenomen.

Fovea (netvlieskuiltje)

Dunner en dieper gelegen centraal gedeelte van het netvlies dat vrijwel alleen kegeltjes bevat en dat de plaats vormt waar het duidelijkst wordt gezien.

Het netvlieskuiltje komt overeen met een gezichtsveld van ongeveer 0,026 rad (1,5°)

Fotopisch zien

Zien van het normale oog wanneer het aan luminantieniveaus van tenminste enige candela's per vierkante meter is geadapteerd.

Scotopisch zien

Zien van het normale oog wanneer het aan luminanties van minder dan enige honderdsten candela's per vierkante meter is geadapteerd.

Mesopisch zien

Zien in het gebied tussen fotopisch en scotopisch zien. Hierbij spelen zowel de kegeltjes als de staafjes een actieve rol.

Adaptatie

Proces waarbij de toestand van een visueel systeem wordt gewijzigd doordat het blootgesteld is geweest of wordt blootgesteld aan lichtprikkels van verschillende luminantie, spectrale verdeling en geometrische uitbreidheid.

Men spreekt ook van lichtadaptatie en donkeradaptatie afhankelijk van het feit of de luminantie van het gezichtsveld minstens enige candela per vierkante meter is of kleiner dan enige honderden candela per vierkante meter.

Chromatisch adaptatie

Adaptatie ten gevolge van lichtprikkels waarbij de invloed van verschillen in relatieve spectrale verdeling overheerst.

Standaardooggevoeligheidskromme (CIE 1924)

Grafiek die de gevoeligheid van het menselijke oog voor iedere golflengte weergeeft (zie figuur 4.2). Vastgelegd door de Commission International d'Eclairage in 1924.

LICHT EN KLEUR

Licht

Algemeen en wezenlijk kenmerk van alle waarnemingen en gewaarwordingen die eigen zijn aan het visuele systeem. Licht wordt normaliter, maar niet uitsluitend, waargenomen door de inwerking van lichtprikkels op het visuele systeem.

Kleur

Eigenschap van de visuele waarneming met de een of andere combinatie van een chromatisch of achromatisch element. Deze eigenschap kan worden beschreven door chromatische kleurnamen zoals: rood, roze, oranje, bruin, geel, groen, blauw, purper, enz. of door achromatische kleurnamen zoals: wit, grijs, zwart, enz. en kan nader worden bepaald door adjectieven als helder, donker, enz. of door combinaties van deze namen en adjectieven.

Helderheid

Kenmerk van een visuele waarneming op grond waarvan een oppervlak meer of minder licht lijkt uit te stralen.

Kleurtoon

Kenmerk van een visuele waarneming op grond waarvan een oppervlak één van de kleuren rood, geel, groen of blauw of een combinatie van twee van deze kleuren lijkt te vertonen.

Verzadiging

Kleurigheid van een oppervlak, beoordeeld met betrekking tot zijn helderheid.

VISUELE FENOMENEN

Accommodatie

Aanpassing van de brandpuntsafstand van de ooglenzen waardoor een zich op een bepaalde afstand bevindend voorwerp op het netvlies wordt afgebeeld.

Luminantiedrempel

Kleinste luminantie die een prikkel moet hebben om te kunnen worden waargenomen.

Contrast

Evaluatie van het verschil in aspect tussen twee of meer delen van het gezichtsveld die tegelijk of na elkaar worden waargenomen (vandaar helderheidscontrast, lichtheidscontrast, kleurcontrast, simultaancontrast, successief contrast, enz.).

Verblindings

Gezichtstoestand die als onbehaaglijk wordt ervaren of waarbij er een vermindering is van het vermogen om details of voorwerpen te zien als gevolg van een ongunstige luminantie-verdeling of door overmatige contrasten.

Directe verblindings

Verblindings veroorzaakt door zelflichtende voorwerpen die zich binnen het gezichtsveld bevinden, in het bijzonder in de buurt van de kijkrichting.

Verblinding door reflectie

Door reflectie veroorzaakte verblinding vooral wanneer de gereflecteerde beelden in dezelfde richting of bijna in dezelfde richting als het waargenomen voorwerp voorkomen.

Verblindende reflecties

Spiegelende reflecties die op een waargenomen object verschijnen en door contrastvermindering de details gedeeltelijk of geheel maskeren.

Hinderlijke verblinding (onbehaaglijke verblinding)

Verblinding die onbehagen veroorzaakt zonder noodzakelijkerwijs de waarneming van voorwerpen nadelig te beïnvloeden.

Maskerende verblinding (storende verblinding)

Verblinding die de waarneming van voorwerpen nadelig beïnvloedt zonder noodzakelijkerwijs onbehagen te veroorzaken.

KLEURWEERGAVE

Kleurweergave

Effect van een lichtsoort op de kleurindruk van voorwerpen die daarmee worden verlicht bij bewuste of onbewuste vergelijking met de kleurindruk van dezelfde voorwerpen bij verlichting door een referentielichtsoort.

Referentielichtsoort

Lichtsoort waarmee andere lichtsoorten worden vergeleken.

Kleurweergave-index (R)

Kwantitatieve evaluatie van de mate van overeenkomst van de kleur van een voorwerp dat met de te onderzoeken lichtsoort wordt verlicht met de kleur van hetzelfde voorwerp als dit met de referentielichtsoort wordt verlicht waarbij op de juiste wijze rekening wordt gehouden met de chromatische adaptatie.

KLEURMETING

Kleurprikkel

Zichtbare straling die het oog binnendringt en een chromatische of achromatische kleurwaarneming veroorzaakt.

Metamerie

Metamere kleurprikkel zijn spectraal verschillende kleurprikkel met gelijke trichromatische componenten.

Lichtsoort

Straling van een bepaalde relatieve spectrale verdeling, gedefinieerd voor het golflengtebereik dat de kleurwaarneming van voorwerpen beïnvloedt.

Daglicht

Lichtsoort met de aan een fase van het daglicht gelijke of bijna gelijke relatieve spectrale verdeling.

Standaard lichtsoorten van de CIE

De lichtsoorten A, C, D65, alsmede andere lichtsoorten D waarvan de relatieve spectrale verdelingen door de CIE zijn vastgelegd (CIE-publicatie nr. 15).

Met deze lichtsoorten zijn bedoeld:

- A Zwarte straler met een temperatuur van ongeveer 2856 K
- C Gemiddeld daglicht
- D65 Daglicht inclusief UV-aandeel

Additieve kleurmenging

Stimulering die de werking van verschillende kleurprikkel op het netvlies combineert zodanig dat deze niet gescheiden kunnen worden waargenomen. Menging van gekleurd licht is additief.

Subtractieve kleurmenging

De uiteindelijke kleur wordt verkregen door de absorptie, het wegnemen, van golflengtes uit het gereflecteerde licht. Menging van verf is subtractief.

Trichromatisch stelsel

Systeem voor de beschrijving van kleurprikkel op basis van trichromatische componenten dat berust op additieve kleurmenging van drie geschikt gekozen referentiekleurprikkel.

Trichromatische componenten (van een kleurprikkel)

Hoeveelheden van de drie referentiekleurprikkel die in een gegeven trichromatisch stelsel nodig zijn om voor de onderzochte kleurprikkel kleurgelijkstelling te verkrijgen.

Kleurcoördinaten

Verhouding van elk van de drie trichromatische componenten tot hun som.

Kleursoort

Eigenschap van een kleurprikkel, beschreven door zijn kleurcoördinaten of door de combinatie van zijn dominante of complementaire golflengte en de verzadigingsgraad.

Kleurendriehoek

Grafische voorstelling in een plat vlak waarin punten die door hun kleurcoördinaten worden bepaald de kleursoorten van kleurprikkel weergeven.

Zwarte-stralerkromme

Kromme in een kleurendriehoek die kleursoorten van de zwarte straler bij verschillende temperaturen weergeeft.

Kleurtemperatuur (T_c)

Temperatuur van een zwarte straler waarvan de straling dezelfde kleursoort heeft als die van een gegeven kleurprikkel.

Eenheid: K

Toegevoegde kleurtemperatuur (T_{cp})

Temperatuur van de zwarte straler waarvan de kleur onder gespecificeerde waarnemingsomstandigheden het meest overeenkomt met een gegeven kleurprikkel bij gelijke helderheid en onder gespecificeerde waarnemingsomstandigheden.

Eenheid: K

Uniforme kleurenruimte

Kleurenruimte waarin gelijke afstanden worden geacht verschillen van gelijke grootte in de waargenomen kleur, aan of boven de drempel, weer te geven.

Uniform kleurenvlak

Tweedimensionaal diagram waarin de coördinaten zijn gedefinieerd met het doel om gelijke afstanden, overal in het diagram, zo goed mogelijk te laten overeenkomen met gelijke stappen in kleuronderscheiding van kleurprikkel met dezelfde luminantie.

($L^*a^*b^*$) kleurenruimte van de CIE 1976

Driedimensionale, bij benadering uniforme kleurenruimte die ontstaat door in een rechtehoek coördinatenstelsel de volgens vergelijkingen gedefinieerde grootheden L^* , a^* en b^* uit te zetten.

Meer begrippen en grootheden zijn onder andere te vinden in het "Internationaal woordenboek voor de verlichtingskunde", de Nederlandse uitgave van CIE publicatie No. 17.4.

BIJLAGE B

VOORBEELDEN VOOR HET UITREKENEN
VAN EEN BELICHTINGSREGIME

Bij het rekenen met verlichtingssterkte en belichtingsduur wordt uitgegaan van het zogenaamde 'reciprociteitsprincipe'. Uitgangspunt hierbij is dat de schade die door een bepaalde belichtingsdosis wordt veroorzaakt, altijd hetzelfde is. Omdat de dosis het product is van de verlichtingssterkte maal de belichtingsduur, betekent dit dat als bij een bepaalde dosis de verlichtingssterkte wordt verhoogd en de belichtingsduur evenredig wordt verkort, het materiaal dezelfde schade zal ondergaan. In getallen wil het zoveel zeggen als:

1 uur belichten met 400 lux geeft evenveel schade als 2 uur belichtingen bij 200 lux of 4 uur belichten bij 100 lux. Uiteindelijk is de dosis namelijk in alle gevallen 400 lux.uur.

Verder wordt aangenomen dat verkleuring een lineair proces is. Als een materiaal met een lichtgevoeligheid die overeenkomt met ISO 2 na 1 miljoen lux.uur onder UV-arme omstandigheden één juist waarneembare verandering vertoont, zal het na 2 miljoen lux.uur twee stappen verkleuring vertonen en na 10 miljoen lux.uur 10 stappen.

Met deze uitgangspunten kan worden berekend na hoeveel tijd een materiaal bij een gegeven verlichtingssterkte een bepaalde mate van verkleuring vertoont. Of hoe hoog de verlichtingssterkte mag zijn om binnen een bepaalde tijd nog geen verkleuring te zien. Als hulpmiddel voor deze berekeningen zijn de combinatie van verlichtingssterkte en belichtingsduur die steeds dezelfde dosis opleveren in een grafiek gezet.

Met behulp van deze 'Lux-Uur-Grafiek' kan zonder rekenwerk worden afgelezen welke combinaties van verlichtingssterkte en belichtingsduur een acceptabele verkleuring geven.

Er zijn twee versies van de grafiek.

Figuur B.1, de blauwe versie, geldt voor situaties waarbij het UV-gehalte laag is (gloeilamp-niveau of lager). Figuur B.2, de oranje versie, geldt voor situaties met een hoog UV-gehalte. In beide grafieken zijn voor drie gevoeligheidsklassen, hoog gevoelig (I, rood), gevoelig (II, groen) en laag gevoelig (III, blauw), lijnen uitgezet voor de belichtingsdosis die leidt tot 1 juist waarneembare verandering (vette lijn), 10 juist waarneembare veranderingen (zover verkleurd dat de tentoonstellingswaarde zwaar aangetast is, onderbroken lijn) en 30 juist waarneembare veranderingen (totaal kleurverlies van verzadigde kleuren, stippellijn).

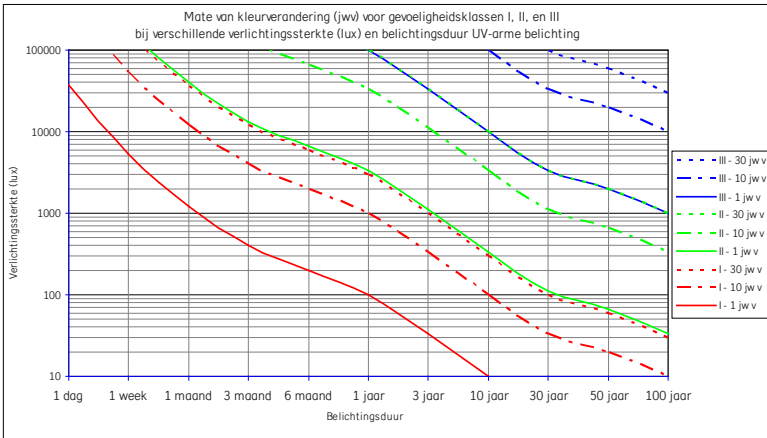


Fig. B.1.a. Lux-Uur-Grafiek voor situaties met een laag UV-gehalte.

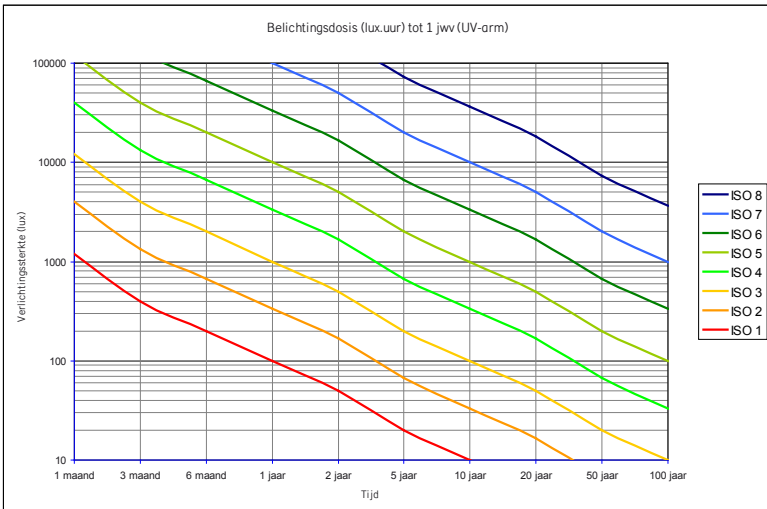


Fig. B.1.b. Belichtingsdosis tot 1 jwv voor de 8 ISO gevoeligheden in UV-arm licht

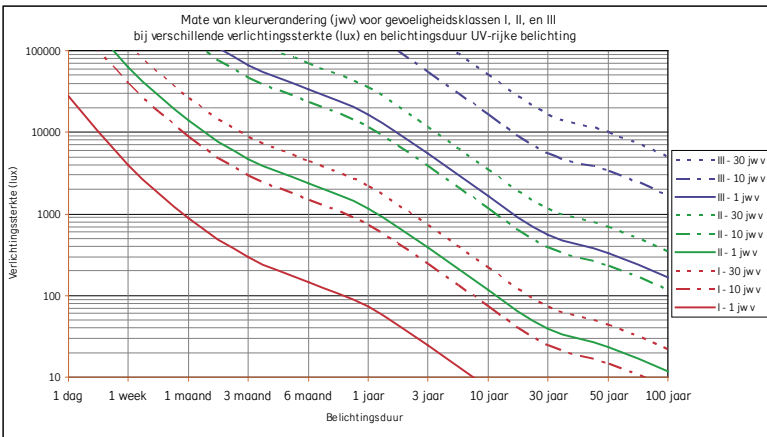
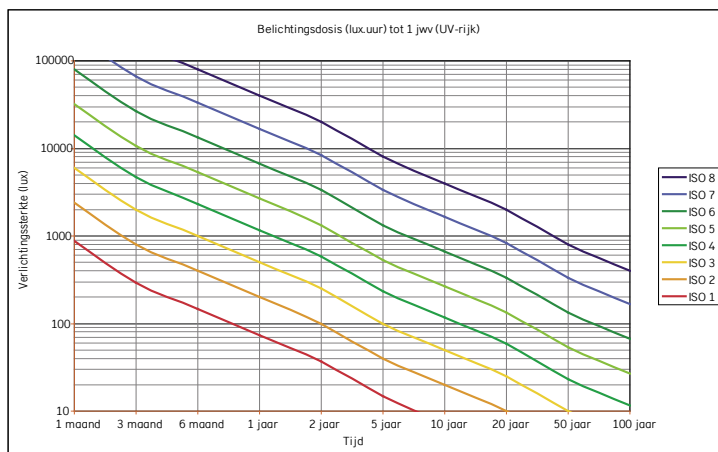


Fig.B.2.a. Lux-Uur-Grafiek voor situaties met een hoog UV-gehalte.

Fig. B.2.b.
Belichtingsdosis tot
1 jwv voor de 8 ISO
gevoeligheden in
UV-rijk licht



Voorbeeld 1

Prent, ingekleurd met waterverf, op lompenpapier, al vaker getoond, er zijn meerdere exemplaren

1. Gevoeligheid

De prent is al vaker getoond en is dus niet meer als nieuw. Het meest gevoelig in het object is de aquarelverf, volgens tabel 7.1 valt het object dan in gevoeligheidsklasse 1 - Hoog gevoelig (ISO 1). Omdat de aquarelverf zo verdund is aangebracht (geen verzadigde kleur), is de verwachting dat de kleur na 10 jwv al totaal verdwenen zal zijn. De drukinkt en het papier hebben een lagere gevoeligheid.

2. Schadeacceptatie

Stel: de instelling maakt de keuze om deze prent te tonen om de zichtbaarheid van zijn collectie te vergroten en aanvaardt kleurverlies in deze prent omdat er nog meerdere exemplaren van zijn, die niet zullen worden getoond. De instelling accepteert totaal kleurverlies (in dit geval 10 jwv) in 100 jaar, dus 1 jwv in 10 jaar. De prent heeft na die periode niet al zijn waarde verloren; de zwart-wit afbeelding is nog goed.

3. UV-reductie

Stel: voor de instelling is reductie tot gloeilamp $75 \mu\text{W} \cdot \text{lm}^{-1}$ goed mogelijk (= UV-arm licht).

4. Belichtingsdosis

Zie tabel 7.2 – Gevoeligheidsklasse I, ISO 1 – UV-arm licht: 1 jwv na $0,3 \text{ Mlx} \cdot \text{h}$ of $300.000 \text{ lux} \cdot \text{uur}$. Zie ook figuur B.1. de rode lijnen.

5. Effectieve belichting

Zwarte contourlijnen zijn goed zichtbaar, jonge ogen kunnen zachte kleuren bij 50 lux zien, bezoekers ouder dan 50 jaar zullen meer licht nodig hebben. Uitgangspunt voor het belichtingsregime is 50 lux.

6. Belichtingsregime

Zie tabel 7.2 – Gevoeligheidsklasse I, ISO 1 – UV-arm licht: 1 jwv treedt op na 6000 uur bij 50 lux. Bij acceptatie van 1 jwv in 10 jaar, kan de prent 20% van de tijd worden belicht met 50 lux mits hij de rest van de tijd in het donker wordt bewaard. Tentoonstelling is dus bijvoorbeeld 75 dagen per jaar mogelijk, de prent kan ook 1 jaar tentoongesteld

bij 50 lux maar moet daarna 4 jaar in het donker, of de prent kan bijna 2 uur per dag bij 50 lux worden getoond. Bij verhoging van verlichtingssterkte tot 100 lux moeten de tijden tot de helft worden teruggebracht.

In de Lux-Uur-Grafiek (figuur B.3.) kan iedere combinatie van verlichtingssterkte en belichtingsduur op de vette rode lijn worden genomen. Bij acceptatie van 1 jwv in 10 jaar, kan de prent 10 jaar lang bij 10 lux worden getoond of 2 van de 10 jaar bij 50 lux of 1 van de 10 jaar bij 100 lux.

Voorbeeld 2

Schilderij uit de 17e eeuw, olieverf op paneel, gevernist, in een historisch huis zonder speciale maatregelen om UV-straling te weren

1. Lichtgevoeligheid

Bij gebrek aan informatie over specifiek materiaalgebruik, geldt als generalisatie voor schilderijen op doek of paneel dat ze vallen onder gevoeligheidsklasse 2,

ISO 5 (tabel 7.1). Zeventiende-eeuwse schilderijen zijn meestal met deugdelijke pigmenten geschilderd en als ze al jaren blootstelling aan licht achter de rug hebben zijn eventueel gevoelige materialen al zo veranderd dat dat nu niet meer opvalt.

2. Schadeacceptatie

Stel: de instelling wil het schilderij nog minstens 500 jaar in goede staat behouden, maar wil het wel zoveel mogelijk tentoonstellen, dus accepteert het enige verandering gedurende die tijd: 1 jwv in 100 jaar.

3. UV-reductie

Stel: de instelling heeft binnenvallend daglicht en geen speciale maatregelen om UV-straling te weren. Het schilderij hangt op een plaats waar het aan UV-rijk licht bloot staat.

4. Belichtingsdosis

Zie tabel 7.2. – Gevoeligheidsklasse II, ISO 5 – UV-rijk licht: 1 jwv na 8 Mlx.h of 8.000.000 lux.uur.

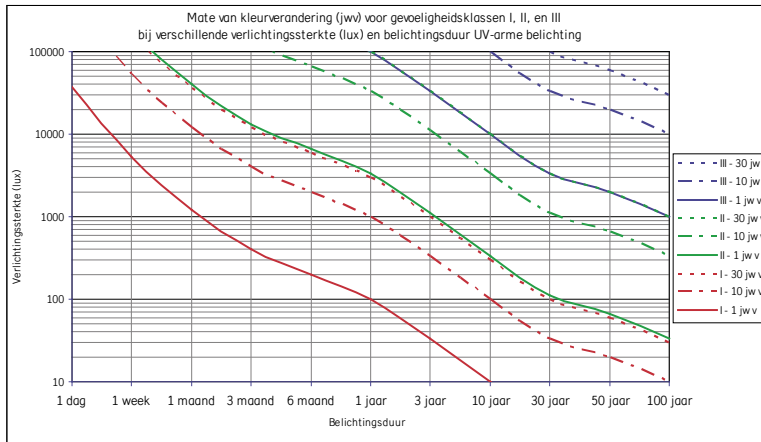


Fig B.3.
Lux-Uur-Grafiek voor het voorbeeld van de uitwerking van het belichtingsregime voor de ingekleurde prent

5. Effectieve belichting

Kleuren en textuur zijn bij 150 lux van 2 meter afstand goed genoeg te zien als de sterkte van het omgevingslicht juist is afgesteld. Dat nemen we als uitgangswaarde voor de berekeningen.

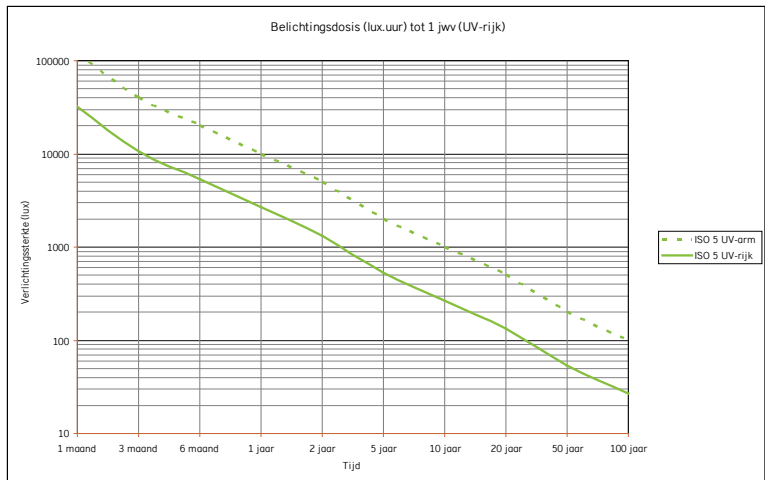
6. Belichtingsregime

Zie tabel 7.2. – Gevoeligheidsklasse 2.

De voorbeelden zijn uitgewerkt voor ISO 4. Voor ISO 5 – UV-rijk licht geldt dat we bij 150 lux, 1 jwv bereiken na 8000000 lux.uur gedeeld door 150 lux is 53.333 uur. Met een gemiddelde van 3000 uur museumbelichting per jaar is dat 53.333 gedeeld door 3000 is circa

18 jaar. Bij acceptatie van 1 jwv in 100 jaar is tentoonstelling bij 150 lux UV-rijk licht dus 18 jaar mogelijk, ofwel circa 20% van de tijd. Voor permanente tentoonstelling in het historische huis zullen dus maatregelen moeten worden getroffen om de belichtingsduur te reduceren of het verlichtingsniveau te verlagen. Het reduceren van het UV-gehalte in het licht verhoogt de belichtingsduur met een factor 4. Samen met een reductie van de verlichtingssterkte zou dan permanente tentoonstelling mogelijk zijn binnen de gestelde schadeacceptatie.

Fig. B.4.
Belichtingsdosis
grafiek voor het
voorbeeld van
het 17e eeuwse
schilderij



OVERZICHT GEVOELIGHEID MATERIALEN

BIJLAGE C

Gegevens uit de literatuur (zie referenties) en uit eigen bepalingen met de Xenotest bij het Instituut Collectie Nederland (ICN). Samengesteld door A.W. Brokerhof (2006).

Alle ISO-klasse waarden zijn gebaseerd op blootstelling aan UV-rijke straling (daglicht achter glas). Wanneer specifiek vermeld wordt dat het 'geen UV' betreft, dan is de voor de opgegeven ISO-klasse ook de 'geen UV' referentie genomen (waarden cursief).

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Drager of materiaal			
Emaille - kleuren van echt glas emaille	IV	>8	4
Glas	IV	>8	2
Goede kwaliteit papier	II	4	7
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - grijs	III	7	17
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - grijs met schellakpolitoer	III	7	17
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - grijs met was	III	7	17
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - oranje	II	5	17
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - oranje met schellakpolitoer	II	5	17
Hout - coromandelhout, Makassar ebbenhout - oranje met was	II	5	17
Keramiek	IV	>8	2
Kleur van meeste bont	II	4-6	4
Kleur van meeste veren	II	4-6	4
Kozo papier in ukiyo-e prenten	I-II	3-4	5
Krantenpapier	I	1	7
Leer - chroom geloid	II	6	4
Leer - plantaardig geloid	II	4	4
Metaal	IV	>8	2
Papier - verkleurd	I	1-4	2
Pitriet	III	8	18
Plastics	I	1-4	2
Polyvinylchloride - geel	III	>7	13
Polyvinylchloride - geranium en rood	II	4-6	13
Steen	IV	>8	2

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Textiel - gekleurd	I	1-4	2
Was - gekleurd	I	1-4	2
Zijde - 2x verzaamd met tinfoosfaat en 1x met waterglas	II	4	19
Zijde - onbehandeld	II	5-6	19
Zijde - volledig verzaamd	I	1	19
Fotomateriaal			
Afdrukken met gekleurd pigment (niet aardpigmenten) zoals carbon, bichromaat, Woodburytype	I		9.c
Afdrukken op PE papier (resin coated)	I		9.c
Albumine druk	I-II		9.c
Alle 19e eeuwse afdrukken	I	1-3	9.d
Autochromen en vroege kleurstof processen	0		9.c
Behuizing van daguerreotypie en ambrotypie	I		9.c
Carbon, bichromaat en Woodburytype met aardpigment of koolstof	II		9.c
Chromogene kleurafdrukken	I	1-3	9.d
Collodium en gelatine POP	I-II		9.c
Cyanotypie, fotostat, Van Dyke afdruk	I		9.c
Dia - agfachrome film	I	<4	11
Dia - cibachrome film	I	<4	12
Dia - ektachrome film	I	<4	11
Dia - fujichrome film	I	<4	11
Dia - kodachrome film	I	<4	11
Dye transfer	II	4-6	9.d
Experimentele technieken zoals niet gefixeerde zoutdrukken	0		9.c
Fotomechanische afdrukken zoals fotogravures, halftoon, collotypie	II		9.c
Foto's met gekleurde drager of bindmiddel zoals in albumine en collodium POP	I		9.c
Gekleurd papier en opzetkarton	I		9.c
Hand ingekleurd foto's	I		9.c
Inkt jet afdrukken	I		9.c
Kleurprocessen zoals dia's voor 1990, polaroids, Ciba/Ilfochrome	I		9.c
Pigment afdrukken	III	7-8	9.d
Platina en palladium afdruk	I-II		9.c
Polaroids, direct-klaar foto's	I	1-3	9.d

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Silver dye bleach (Ilfochrome classic)	II	4-6	9.d
Slecht ontwikkelde of gedegradeerde afdrukken - ontkleurd, vergeeld	I		9.c
Zilver gelatine afdrukken - gestabiliseerd	0		9.c
Zoutdruk	I-II		9.c
Zwart/wit afdrukken op bariet papier	III	7-8	9.d
Zwart/wit afdrukken op PE papier (resin coated)	II	4-6	9.d
Zwart/wit foto's op vezeldrager	II-III	5-8	2
Zwart/wit zilver gelatine afdruk op bariet papier	II		9.c
Zwart/wit zilver-gelatine foto's, niet op RC papier - geen UV	III	7-8	4
Kleurstoffen			
Alizarin - 2% op wol (aluin en wijnsteen)	II	5-6	19
Alizarin Red PS - 2% op wol (aluin en wijnsteen)	III	>6	19
Alizarin Red S - 2% op wol (aluin en wijnsteen)	III	>6	19
Alizarin Red SS - 2% op wol (25% aluin en 6% wijnsteen)	III	>6	19
Alizarine op wol	II	5	4
Alizingelb, Alizarin Yellow GGN - 2% op wol (aluin en wijnsteen)	I-II	3-4	19
Amaranth - 2% op wol	II	5	19
Amido Naphthol Red G - 2% op wol	II	6	19
Amidoschwarz 10B, Amido Black - 2% op wol	II	6	19
Archil Red - 1,5% op wol	I-II	3-4	19
Archil Red - 3% op wol	II-III	6-7	19
Auramine - 1% op wol	I	3	19
Azo Flavine 3 R - 2% op wol	I	2-3	19
Azo Fuchsine 6B - 2% op wol	II	6	19
Baumwollscharlach, Cotton Scarlet - 2% op wol	III	>6	19
Beni rood - Carthamus bloemen met citroenzuur beits, op zijde	I	1	6
Berliner Blau, Prussian Blue - op katoen	III	>6	19
Brillantgelb, Brilliant Yellow - 2% op wol	III	>6	19
Catechu	I-II	3-4	21
Chinolingelb, Quinoline Yellow - 2% op wol	I	3	19
Chrysoidine - 2% op wol	I	1	19
Chrysoin - 2% op wol	I-II	3-4	19
Cochenille op wol en katoen	I	3	4

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Cochénille op zijde	II	6	4
Cochénilleroet A, Cochineal Red A - 2% op wol	II	6	19
Congorot, Congo Red - 2% op wol	I	2	19
Croceïne Orange G - 2% op wol	III	>6	19
Crystal Violet - 1% op wol	I	2	19
Curcuma	I	1	4
Curcuma	I	1	6
Curcuma	I	1	21
Curcuma geel (Ukon) in ukiyo-e prenten op kozo papier	I	2?	5
Dayflower blue (Aigami) gekwast op filtreerpapier	0	<1	6
Dayflower blue (Aobana) in ukiyo-e prenten op kozo papier	I-II	3-4	5
Diamantgrün B, Diamond Green - 1% op wol	II	4	19
Diamantgrün G, Diamond Green - 1% op wol	I	3	19
Echtrot AV, Fast red AV (BASF) - 2% op wol	II	5	19
Echtrot B, Fast red B - 2% op wol	II-III	6-7	19
Echtrot E, Fast red E - 2% op wol	II	4-5	19
Echtsaure fuchsin B, Fast Acid Magenta B - 2% op wol	I	3	19
Enju geel - Sophora bloemknop met aluminiumacetaat beits, op zijde	I	3	6
Eosine	I	1	4
Eosine A - 1% op wol	I	2	19
Erythrosine - 1% op wol	I	1	19
Flavazine L - 2% op wol	III	>6	19
Fuchsin, Magenta - 1% op wol	II	4	19
Gardenia	I	1	21
Geelhout - fustic	I	2	4
Geelhout, fustic - van jong Rhus cotinus hout	I	1	21
Indigo	I-II	3-4	6
Indigo - gesulfoneerd	I	1	4
Indigo - op katoen	II	4-5	21
Indigo - op wol	II	>5	21
Indigo (Ai) gekwast op filtreerpapier	I	3	6
Indigo (Ai) in ukiyo-e prenten op kozo papier	II	4	5
Indigo Carmine - 2% op wol (25% aluin en 6% wijnsteen)	II	2-3	19

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Indigo op papier, katoen en zijde	I	3	4
Indigo op wol	III	7	4
Kariyasu geel, aluminium beits, op zijde	I	2	6
Kleurstoffen op basis van insectenextracten in alle media	I	1-3	4
Kristallponceau 6R - 1,5% op wol	I	3	19
Lac-lac op wol	II	4	4
Lichtgrun SF blauich, Light Green SF Bluish - 2% op wol	II	4	19
Ling heide op wol	II	4	4
Martiusgelb, Martius Yellow - 3% op wol	I	1-2	19
Mauveine - 1% op wol	I	3	19
Meekrap op katoen	I	2	4
Meekrap op wol	III	7	4
Meekrap op zijde	I	3	4
Meeste kleurstoffen voor kleuren van papier van voor de 20e eeuw	I	1-3	4
Meeste plantaardige kleurstoffen in alle media	I	1-3	4
Meeste vroeg-synthetische kleurstoffen in alle media	I	1-3	4
Metanilgelb, Metanil Yellow - 2% op wol	I	2-3	19
Methyl Violet - 1% op wol	I	2	19
Methylene Blue - 1% op wol	I	1	19
Methylviolet	I	1	4
Murexide - op wol	I	3	19
Naphthylamin Brown F - 2% op wol	I-II	3-4	19
Naphtolgelb S, Napthol Yellow S (BASF) - 3% op wol	I	1	19
Nigrosin Wasserloslich, Nigrosine water soluble - 8,5% op wol	II	4	19
Orange GG - 2% op wol	II	4	19
Orange I - 2% op wol	I-II	3-4	19
Orange II - 2% op wol	I-II	3-4	19
Orange IV - 2% op wol	I	2-3	19
Orchil - rood van korstmossen	I	1	21
Orlean - zaden van Bixa orellana	I	1	21
Pagoda tree yellow (Enju) gekwast op filtreerpapier	I	1	6
Patent Blue V - 2% op wol	II	4	19
Pikrinszure, Picric Acid - 2,5% op wol	0	<1	19
Ponceau 2R - 2% op wol	II	4-5	19

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Ponceau 3 RO - 2% op wol	II	5-6	19
Ponceau 6R - 2% op wol	II	6	19
Ponceau G - 2% op wol	II	6	19
Pruisisch blauw (bero-ai) in ukiyo-e prenten op kozo papier	I-II	3-4	5
Quercitron	I-II	3-4	21
Rhodamin 6G - 1% op wol	II	4	19
Rhodamin B - 1% op wol	I	3	19
Rhodamin B - 1% op wol	II	5	19
Rhodamine op papier	I	2	4
Safflower (Beni) gekwast op filtreerpapier	I	1	6
Safflower half rood (Katabeni) in ukiyo-e prenten op kozo papier	I	3	5
Safflower puur rood (Honbeni) in ukiyo-e prenten op kozo papier	I	1-2	5
Safran	I	1	4
Safranin T, Safranine T - 1% op wol	I	1	19
Sandelhout	I	1	21
Scharlach N fur Seide, Scarlet N for Silk -2% op wol	II	4-5	19
Shikon violet - Lythospermum wortel met aluminiumacetaat beits, op zijde	I	3	6
Shikon violet - Lythospermum wortel met aluminiumacetaat en kalk beits, op zijde	I	3	6
Suwo bruin - Caesalpinia hout met aluminiumacetaat en ijzeracetataat beits, op zijde	II	4	6
Suwo rood - Caesalpinia hout met aluminium beits, op zijde	I	3	6
Tartrazine - 2% op wol	III	>6	19
Tesu - Butea frondosa bloemen	I	1	21
Tuchscharlach, Cloth Scarlet - 2% op wol	II	6	19
Ukon geel - Curcuma wortel met citroenzuur beits, op zijde	0	<1	6
Uranine A - 1% op wol	I	2	19
Veel moderne kleurstoffen voor het kleuren van papier	I	1	4
Veel van de goedkope synthetische kleurstoffen in alle media	I	1-3	4
Vesuvine BA - 2% op wol	I	1	19
Victoria blue	I	1	4
Victoria blue B - 1% op wol	I	2	19
Victoria blue R - 1% op wol	I	2	19
Wasserblau IN neu, Water Blue IN New - 2% op wol	II	4	19

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Waterlelie wortel (zwart) op wol	III	7	4
Wollrot B, Wool Red B - 3% op wol	III	>6	19
Woude, aluin gebeitst op wol	I	3	4
Woude, tin gebeitst op wol	II	4	4
Yama-momo bruin - aluminium beits, op zijde	I	2	6
Zeewier op wol	II	4	4
Object voorbeelden			
Aquarel	I	1-4	2
Aquarel - geen UV	I	1-2	7
Aquarel - UV-rijke straling	I	1-2	7
Gepolychromeerde beelden	II-III	5-8	2
Grafiettekening op goed papier	II-III	5-8	2
Gravures - zwart/wit	II-III	5-8	2
Houtskooltekening op goed papier	II-III	5-8	2
Inkttekeningen	I	1-4	2
Meubels - beschilderd	II-III	5-8	2
Meubels - originele stoffering	I	1-4	2
Miniaturen - gekleurd, portret, Indiase	I	1-4	2
Olieverf op doek - geen UV	I	3	7
Olieverf op doek - UV-rijke straling	I-II	3-4	7
Pastels	I	1-4	2
Prenten - gekleurd	I	1-4	2
Prenten - Japanse	I	1-4	2
Prenten - zwart/wit	II-III	5-8	2
Schilderijen	II-III	5-8	2
Structurele kleuren van insecten - geen UV	III	7-8	4
Zwart krijt op goed papier	II-III	5-8	2
Pigmenten en verf			
Alizarine - synthetische lak	II	4-5	6
Alizarine lak	III	7	4
Bismarck bruin	I	1	4
Brazieelhout met meekrap op aluminiumsulfaat - lijnolie	I	2	20
Brazieelhout met meekrap op aluminiumsulfaat - lijnolie met loodwit	I	2	20

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Brazilhout met meekrap op aluminiumsulfaat - paraloid B72	I	1	20
Brazilhout op aluminium-kaliumsulfaat - lijnolie	II	4-5	20
Brazilhout op aluminium-kaliumsulfaat - lijnolie met loodwit	0	<1	20
Brazilhout op aluminium-kaliumsulfaat - paraloid B72	I	2	20
Brazilhout op tinchloride - lijnolie	0	<1	20
Brazilhout op tinchloride - lijnolie met loodwit	0	<1	20
Cadmiumrood, oranje en geel	III	8	4
Chroomgeel	III	7	4
Cochenille op tinchloride - lijnolie	II	>5	20
Cochenille op tinchloride - lijnolie met loodwit	I	2	20
Cochenille op tinchloride met stijfjel - lijnolie	II	4	20
Cochenille op tinchloride met stijfjel - paraloid B72	I	2	20
Cochenille op tinchloride met stijfjel- lijnolie met loodwit	I	3	20
Echte fresco pigmenten	IV	>8	4
Eosine op aluminiumsulfaat - lijnolie	0	<1	20
Eosine op aluminiumsulfaat - lijnolie met loodwit	0	<1	20
Eosine op aluminiumsulfaat - paraloid B72	0	<1	20
Guttegom - gamboge	I	2	4
Guttegom - gamboge	I	2-3	6
IJzeroxide zwart	IV	>8	4
Indian red (ijzeroxide)	IV	>8	4
Karmijn lak	I	2	4
Karmijn lak	I	1-2	6
Kobalt blauw	IV	>8	4
Kopp's purpurine op aluminiumsulfaat - lijnolie	I	1	20
Kopp's purpurine op aluminiumsulfaat - lijnolie met loodwit	I	1	20
Kopp's purpurine op aluminiumsulfaat - paraloid B72	II	4-5	20
Kunstenaarsverf die het predicaat 'permanent' draagt	III	7-8	4
Kunstenaarsverf die voldoet aan ASTM D4303 Categorie 1	III	7-8	4
Kunstenaarsverf 'Winsor and Newton, klassificatie AA'	III	7-8	4
Meekrap op aluminium-kaliumsulfaat - lijnolie	I	2	20
Meekrap op aluminium-kaliumsulfaat - lijnolie met loodwit	I	2-3	20
Meekrap op aluminium-kaliumsulfaat - paraloid B72	II	>5	20

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
Meeste, maar niet alle, minerale pigmenten	IV	>8	4
Oker	IV	>8	4
Omber	IV	>8	4
Quercitron lak	I	2	4
Sienna	IV	>8	4
Ultramarijn	IV	>8	4
Veel moderne verven en lakken voor gebruik buiten, zoals autolak	III	7-8	4
Verf - acryl - Golden Fluid Acrylics - 12 geteste kleuren	III	>7	16
Verf - acryl - Golden Fluid Acrylics - titanium white, titan buff, ultramarine blue	II	5-6	16
Vermiljoen	III	7	4
Witte pigmenten - alle	IV	>8	4
Schrijf- en tekenmateriaal			
Grafiet	IV	>8	4
Houtskool	IV	>8	4
IJzergallusinkt - oud 0% FeSO ₄ / 100% Galluszuur	I	2	8
IJzergallusinkt - oud 100% FeSO ₄ / 0% Galluszuur	0	<1	8
IJzergallusinkt - oud 12,5% FeSO ₄ / 87,5% Galluszuur	I	3	8
IJzergallusinkt - oud 25% FeSO ₄ / 75% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - oud 37,5% FeSO ₄ / 62,5% Galluszuur	0	<1	8
IJzergallusinkt - oud 50% FeSO ₄ / 50% Galluszuur	0	<1	8
IJzergallusinkt - oud 62,5% FeSO ₄ / 37,5% Galluszuur	0	<1	8
IJzergallusinkt - oud 75% FeSO ₄ / 25% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - oud 87,5% FeSO ₄ / 12,5% Galluszuur	0	<1	8
IJzergallusinkt - verouderd	0	<1	8
IJzergallusinkt - vers	I	1-2	8
IJzergallusinkt - vers 0% FeSO ₄ / 100% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - vers 100% FeSO ₄ / 0% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - vers 12,5% FeSO ₄ / 87,5% Galluszuur	I	1-2	8
IJzergallusinkt - vers 25% FeSO ₄ / 75% Galluszuur	I	1-2	8
IJzergallusinkt - vers 37,5% FeSO ₄ / 62,5% Galluszuur	I	1-2	8
IJzergallusinkt - vers 50% FeSO ₄ / 50% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - vers 62,5% FeSO ₄ / 37,5% Galluszuur	I	1	8
IJzergallusinkt - vers 75% FeSO ₄ / 25% Galluszuur	0	<1	8

Specifiek materiaal of voorbeeld van object	Gevoeligheidsklasse	ISO	Referentie
IJzergallusinkt - vers 87,5% FeSO ₄ / 12,5% Galluszuur	I	1	8
Inkten op basis van kleurstoffen	I-II		9.c
Kleurpotlood - Bruynzeel Aquarel Serie 3535 - pink 459	I	1	15
Kleurpotlood - Bruynzeel Aquarel Serie 3535 - vrijwel alle	III	>6	15
Kleurpotlood - Bruynzeel Eurocolor - oranje, midden rood, rood/violet, violet/rood	II	4	15
Kleurpotlood - Bruynzeel Eurocolor - vrijwel alle	III	>6	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Aquarelle Neocolor II - bruin/oranje 030	II	5	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Aquarelle Neocolor II - vrijwel alle	III	>6	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Prismalo I Serie 999	II	5	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Prismalo I Serie 999 - paars 110	I	3	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Supracolor II soft 3888 - bruin 059; blauw 371	II	5	15
Kleurpotlood - Caran d'Ache Supracolor II soft 3888 - vrijwel alle	III	>6	15
Kleurpotlood - Faber Castell Albrecht Durer Serie 8200 - oranje 113	II	5	15
Kleurpotlood - Faber Castell Albrecht Durer Serie 8200 - vrijwel alle	III	>6	15
Kleurpotlood - Karisma Berol Karismacolor - vrijwel alle kleuren	III	>6	15
Kleurpotlood - Karisma Berol Karismacolorn - light blue 904, pink, orange	II	5	15
Potlood	IV	>8	4
Viltstift - meeste inclusief zwart	I	1-3	4
Viltstift - zwart met specificatie 'permanent' of 'lichtecht'	III	>7	14
Zilverpunt	IV	>8	4

1. Derbyshire, A. and Ashley-Smith, J. (1999) **A proposed practical lighting policy for works of art on paper**; Preprints of the ICOM-CC 12th Triennial Meeting, Lyon, p. 38-41
2. Ashley-Smith, J., Derbyshire, A. and Pretzel, B. (2002) **The continuing development of a practical lighting policy for works of art on paper and other object types at the Victoria and Albert Museum**; Preprints of the ICOM-CC 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, p. 3-8
3. Hallet, K. and Bradley, S. (2003) **Ultraviolet-filtered lighting and cellulose degradation: evaluating the effect of light exposure on ethnographic collections**; The Conservator, 27:3-12
4. Commission Internationale de L'Eclairage (2004) **Control of damage to museum objects by optical radiation**; CIE Technical Report, CIE 157:2004, Paris, 29 pp.
5. Sasaki, S. (2000) **Colours in Japanese prints - a study of safflower red and dayflower blue**; Final project report, MA Paper Conservation, Royal College of Art, Victoria and Albert Museum, London, 72 pp.

6. Feller, R.L., Curran, M. and Bailie, C. (1984) *Identification of traditional organic colorants employed in Japanese prints and determination of their rates of fading*; in: A Catalogue of the Mary A. Ainsworth Collection, Oberlin Ohio, Allen Memorial Art Museum, p. 253-266
7. Krochmann, J. (1988) *Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken*; *Restauro*, 3:227-234
8. Reissland, B. and Cowan, M.W. (2002) *The light sensitivity of iron gall inks*; in: *Works of art on paper, books, documents and photographs, techniques and conservation* (V. Daniels, A. Donnithorne and P. Smith eds.); Contributions to the Baltimore Congress, IIC, London, pp. 180-184, plate 12.
- 9.a. Waldthausen, C.C. von (2003) *Exhibition of photographic materials in library and archive collections*; in: *Topics in Photographic Preservation*, 10
- 9.b. Waldthausen, C.C. von (2005) *Photographic materials - Exhibition problems and standards*; *Papier Restaurierung*, 6(1):13-19
- 9.c. Cross reference to Wagner, S., McCabe, C. and Lemmen, B. (2001) *Guidelines for exhibition light levels for photographs* (Library of Congress guidelines); in: *Topics in Photographic Preservation*, 9:127-128
- 9.d. Cross reference to Lavédrine, B., Gandolfo, J-P. and Monod, S. (2003) *A guide to the preventive conservation of photograph collection*; Getty Publications, Los Angeles
10. Johnston-Feller, R., Feller, R.L., Bailie, C.W., and Curran, M. (1984) *The kinetics of fading: opaque paint films pigmented with alizarin lake and titanium dioxide*; *Journal of the American Institute of Conservation*, 23:114-129
11. Townsend, J.H., and Tennent, N.H. (1993) *Colour transparencies: studies on light fading and storage stability*; Preprints of the ICOM-CC 10th Triennial Meeting, Washington, p. 281-286
12. Bermann, D. (1974) *On the resistance to fading of silver dye bleach transparencies*; *Journal of Photographic Science*, 22:84-92
13. Brighton, C.A. (1966) *Correlation of accelerated and natural weathering test*; in: *Weathering and degradation of plastics* (S.H. Pinner ed.), Columbine Press, Manchester, pp. 49-65.
14. Instituut Collectie Nederland (2003) *Het nummeren van museumvoorwerpen met schrijfstiften (update)*; www.icn.nl
15. Roelofs, W. en Hofenk de Graaff, J. (1996) *Onderzoek naar de lichtechtheid van kleurpotloden t.b.v. de restauratie van Panorama Mesdag*; Centraal Laboratorium, Amsterdam, onderzoeksrapport wknr 96-077.
16. Roelofs, W. en Hummelen, I.J. (1994) *Lichtechtheid van Golden Fluid Acrylics*; Centraal Laboratorium, Amsterdam, onderzoeksrapport wknr 94-062.
17. Leeuwen, A-S. van (2003) *Verbleekte meubeloppervlakken*; Instituut Collectie Nederland, Amsterdam, afstudeerverslag, 84 pp.
18. Groot, S. de (2005) Instituut Collectie Nederland, Amsterdam
19. Broekhof, A.W. (2005) *Unpublished results from Xenotest*; Instituut Collectie Nederland, Amsterdam
20. Berg, K.J. van den, Burnstock, A., Carlyle, L. Clarke, M., Hendriks, E. Kirby, J., Lanfear, I. (2005) *Relative rates of fading of redlake paints after Vincent van Gogh*; Preprints of the ICOM-CC 14th triennial meeting, The Hague
21. Padfield, T. and Landi, S. (1966) *The light-fastness of the natural dyes*; *Studies in Conservation*, 11(4):181-196

FLITSLICHT, KOPIËREN EN SCANNEN

Normale flitsapparaten geven op een afstand van 1 m een belichting die vergelijkbaar is met 12 sec tot 2 min gloeilamp belichting met 50 lux. In een trouwzaal waar per week circa 700 foto's worden genomen op 5 m afstand van voorwerpen, levert dat per week gemiddeld 1 uur gloeilamp belichting met 50 lux extra op (Neevel, 1995). De meeste flitsapparaten hebben tegenwoordig een UV-filter, dat is wel een vereiste voor gebruik in musea. Digitale camera's kunnen bij weinig licht zonder flits nog goede foto's nemen. Dat is dan ook het beste. Datzelfde geldt voor video-opnames. In het geval van filmopnames kan in het contract worden opgenomen dat de verlichtingssterkte niet boven een bepaalde waarde mag komen. De filmploeg kan dan (digitale) camera's met een hoge lichtgevoeligheid meenemen. De huidige generatie digitale video camera's functioneert met minimaal 100 lux. Dat is al een aanzienlijke reductie ten opzichte van de 1000 tot 2000 lux die de oudere video camera's nodig hebben. Kopieerapparaten geven per kopie een UV-belasting die gemiddeld vergelijkbaar is met 3 min gloeilampbelichting bij 50 lux per kopie (Neevel, 1995).

Scanapparaten zijn over het algemeen langzamer dan kopieerapparaten en vergen per scan een langere belichtingsduur. Zij geven een licht- en UV-belasting die gemiddeld vergelijkbaar is met 30 min gloeilampbelichting bij 50 lux per scan.

Tabel E.1.

Gehanteerde criteria voor UV-werend materiaal voor museale doeleinden. De UV-wering 300-400 nm geeft het percentage filtering ten opzichte van het ongefilterde spectrum in het gebied van 300 tot 400 nm. De transmissies bij individuele golflengtes ten opzichte van 550 nm die Thomson (1986) hanteerde zijn ook gegeven.

Oordeel >	Slecht	Matig	Goed	Zeer goed
UV-wering 300-400 nm (%)	<70	70-90	>90	>98
Transmissie bij 320 nm t.o.v 550 nm (%)	>1		<1	
Transmissie bij 380 nm t.o.v 550 nm (%)	>1		<1	
Transmissie bij 400 nm t.o.v 550 nm (%)	>50		<50	

UV-WERENDE EIGENSCHAPPEN VAN VERSCHILLENDE TYPEN GLAS, KUNSTSTOF EN FOLIES VOOR MUSEALE DOELEINDEN

In 2006 en 2007 heeft het Instituut Collectie Nederland de in Nederland meest gebruikte glassoorten en kunststoffen die worden gebruikt voor het inlijsten van foto's, prenten, tekeningen, schilderijen, textilia etc getest op hun UV-werende kwaliteiten. Ter vergelijking zijn ook twee UV-werende folies getest die op ramen worden gebruikt ter filtering van het binnenvallende daglicht.

Omdat de energierijke UV-straling zware schade aan objecten toe kan brengen, is verwijdering van de UV-component uit het spectrum van groot belang voor stralingsgevoelige materialen. Een ideaal UV-filter houdt alle straling met de golflengte kleiner dan 400 nm tegen, terwijl het de straling met een golflengte groter dan 400 nm over het gehele zichtbare gebied met eenzelfde percentage doorlaat om een goede kleurweergave te hebben (in het spectrum moet de lijn van 400 tot 800 nm horizontaal lopen). In realiteit is dat moeilijk haalbaar, maar een aantal filterende materialen komt dicht in de buurt.

Een eerder onderzoek op dit gebied dateert uit 1990 (Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Amsterdam). De criteria die toen werden gehanteerd waren dezelfde als die Thomson (1986) hanteerde. Hij stelde dat een goed filter bij 320 en 380 nm minder dan 1% van de transmissie van 550 nm mocht hebben en bij 400 nm minder dan 50% van de transmissie van 550 nm.

De criteria die in het onderzoek uit 2006 zijn gehanteerd staan in tabel E.1. Uitgangspunt voor de beoordeling is de totale UV-wering in het gebied van 300-400 nm. Om de kwalificatie 'Goed' te krijgen is een UV-wering van minimaal 90% nodig. Deze kwalificatie 'Goed' komt overeen met die van Thomson. De richtlijnen van Thomson zijn voor de volledigheid ook in de tabel vermeld.

De transmissiespectra van de verschillende materialen zijn opgenomen met een Avantes AvaSpec 2048 Spectrofotometer met glas-fiber optica en een Avantes DH-2000 Deuteriumlamp zonder filters met een bereik van 250 tot 850 nm.

Resultaten

In tabel E.2. staan de resultaten van de geteste materialen op een rijtje. Alle onderzochte materialen zijn geleverd door glashandel Wybenga in Kootstertille. De twee UV-werende folies zijn afkomstig van de firma Dorigo Wierper in Duiven. Voor de volledigheid is in de tabel de naam van de producent van het geteste product vermeld.

Glas zonder UV-werende coating biedt geen bescherming tegen de schadelijke inwerking van UV-straling. Het laat golflengtes kleiner dan 300 nm nauwelijks door, maar tussen 300 en 400 nm is de transmissie hoog. De geteste glassoorten met een UV-coating beloven soms meer dan ze waar kunnen maken. Alleen het geel getinte UV Clear glas (Tegla), het lichtgeel getinte Mirogard Protect (Schott), Museum glass en Conservation Clear (beide Tru Vue) voldoen aan het ICN criterium voor 'Goed' met de opmerking dat ze dat bij Thomson net niet gehaald zouden hebben. De hoge waarden voor UV-wering die de producenten hanteren, hebben betrekking op het gebied 300-380 nm. Vanuit het oogpunt van conservering is er in deze test echter gekeken naar het gehele gebied van 300-400 nm; straling waarvoor het menselijke oog ongevoelig is, maar die wel zeer schadelijk kan zijn. Artcontrol UV90 waarbij de producent opgeeft dat het 90% UV-werend is, houdt inderdaad 90% van de straling in het gebied 300-380 nm tegen, maar vanaf 380 nm laat het vrij veel straling door waardoor de totale filtering over het gebied 300-400 nm nog maar 79% bedraagt.

De beste UV-werende materialen uit deze test zijn Plexiglas XT UV100MR, Plexiglas XT UV100AS en de beide folies, die meer dan 98% van de straling onder 400 nm filteren. De Plexiglas typen XT UV100, XT UV100AR, Degussa GS 231 en de geteste Lexaan scoren in deze test 'Goed'. Ook hierbij moet echter worden opgemerkt dat deze groep bij Thomson teveel straling bij 380 en 400 nm doorlaten om voor de kwalificatie 'Goed' in aanmerking te komen. Ook voor acrylaten (Plexiglas, Perspex) en polycarbonaat (Lexaan) geldt dat er verschillende kwaliteiten zijn. Alleen wanneer er een goede UV-absorber in het materiaal is verwerkt, voldoet het aan de conserveringscriteria.

Wanneer er straling in het gebied 380-420 nm wordt tegengehouden, betekent dit dat er violet en blauw licht wordt geabsorbeerd. Dat heeft tot gevolg dat het materiaal een (licht)gele tint krijgt. Voor gekleurde objecten kan dit ongewenst zijn. Voor zwart-wit werken is dit meestal niet storend omdat de hersenen het gelige beeld corrigeren naar wit. In deze test is de kleurweergave niet beoordeeld omdat die sterk van de situatie afhangt. Wel is de kleur van het materiaal vermeld.

De materialen zijn ook niet beoordeeld op reflectie of weerspiegeling. Dat moet worden bekeken met een object in de lijst omdat diepte en kleur van het passe-partout een sterke invloed op de reflectie hebben. Ook de locatie en de manier van belichten bepalen of er een storende reflectie optreedt.

Tot slot moet worden opgemerkt dat dit onderzoek is uitgevoerd met nieuwe, niet-verouderde materialen. De kwaliteit van UV-werende materialen moet regelmatig worden gecontroleerd omdat die in de loop van de jaren afneemt.

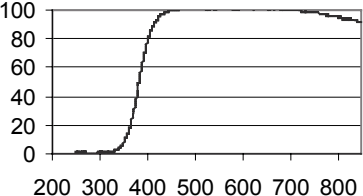
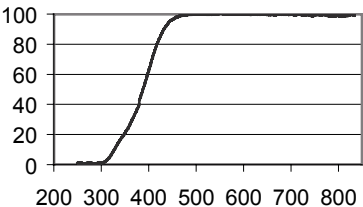
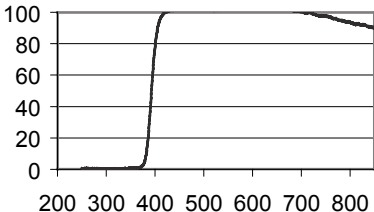
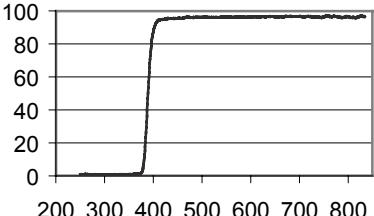
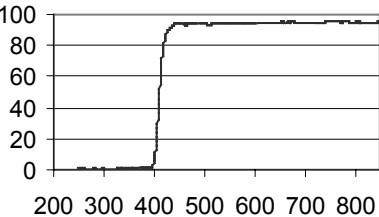
Referenties

Mosk, J. (ed) (1990) 'UV-werend materiaal voor museumdoeleinden'; CL-Informatie nr. 6, Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Amsterdam, 10 pp.
 Thomson, G. (1986) 'The Museum Environment', 2nd ed.; Butterworths, London, 293 pp.

Tabel E.2.
 Resultaten van het onderzoek naar de UV-werende eigenschappen van verschillende typen glas, kunststof en folies voor museale doeleinden (ICN, 2006-2007).

Type	Product	Grafiek Transmissie (%) versus golflengte (nm)	Testoordeel UV-wering ICN 2006
Glas			
Floatglas glas kleurloos 2 mm dik	TEGLA Berliner Glas Gruppe		Oordeel: Slecht %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 34 T320/550 33 T380/550 96 T400/550 98
Reflo Eenzijdig ontspiegeld glas kleurloos 2 mm dik	TEGLA Berliner Glas Gruppe		Oordeel: Slecht %UV-wering ₃₀₀₋₄₀ 46 T320/550 24 T380/550 90 T400/550 93

Type	Producent	Grafiek Transmissie (%) versus golflengte (nm)	Testoordeel UV-wering ICN 2006
Galerieglass Eenzijdig ontspiegeld glas kleurloos 2 mm dik	TEGLA Berliner Glas Gruppe		Oordeel: Slecht %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 22 T320/550 73 T380/550 96 T400/550 97
Miniflex Tweezijdig ontspiegeld glas kleurloos 2 mm dik	TEGLA Berliner Glas Gruppe		Oordeel: Slecht %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 42 T320/550 20 T380/550 92 T400/550 95
Waterwhite Denglas Tweezijdig ontspiegeld glas kleurloos 2 mm dik	Denton gestopt april 2006 verge- lijk- baar verkrijg- baar van Schott		Oordeel: Slecht %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 34 T320/550 42 T380/550 86 T400/550 92
UV clear 'UV-werend' glas Geel getint 2 mm dik	TEGLA Berliner Glas Gruppe		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 94 T320/550 1 T380/550 7 T400/550 50
Denglas UV Tweezijdig ontspiegeld 'UV-werend' glas Lichtgeel getint 2 mm dik	Denton gestopt april 2006 verge- lijk- baar verkrijg- baar van Schott		Oordeel: Matig %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 78 T320/550 1 T380/550 47 T400/550 72

Type	Producent	Grafiek Transmissie (%) versus golflengte (nm)	Testoordeel UV-wering ICN 2006
Artcontrol UV90 Tweezijdig ontspiegeld '90%UV-werend' glas Lichtgeel getint 2 mm dik	Flabeg		Oordeel: Matig %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 79 T320/550 1 T380/550 47 T400/550 78
Mirogard Magic Plus Tweezijdig ontspiegeld 'UV-werend' glas Lichtgeel getint 2 mm dik	Schott		Oordeel: Matig %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 76 T320/550 6 T380/550 43 T400/550 63
Mirogard Protect Gelaagd 2.2.1 glas Lichtgeel getint 4 mm dik	Schott		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 91 T320/550 0 T380/550 7 T400/550 79
Kunststof			
Plexiglas XT UV 100 Helder 'UV-werend 99,7%' Acrylaat Lichtgeel getint 3 mm dik	Rohm en Haas		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 89 T320/550 1 T380/550 7 T400/550 91
Plexiglas XT UV 100 MR Tweezijdig krasvast 'UV-werend 99,7%' Acrylaat Geel getint 3 mm dik	Rohm en Haas		Oordeel: Zeer goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 99 T320/550 1 T380/550 1 T400/550 6

Type	Producent	Grafiek Transmissie (%) versus golflengte (nm)	Testoordeel UV-wering ICN 2006
Plexiglas XT UV 100 AS Tweezijdig antistatisch 'UV-werend 99,7%' Acrylaat Geel getint 3 mm dik	Rohm en Haas		Oordeel: Zeer goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 99 T320/550 1 T380/550 1 T400/550 5
Plexiglas XT UV 100 AR Eenzijdig ontspiegeld 'UV-werend 99,7%' Acrylaat Lichtgeel getint 3 mm dik	Rohm en Haas		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 91 T320/550 1 T380/550 6 T400/550 87
Plexiglas Degussa GS PMMA Röhm 231 Acrylaat Lichtgeel getint 3 mm dik	Rohm en Haas		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 91 T320/550 1 T380/550 3 T400/550 89
Perspex XT PMMA Acrylaat Lichtgeel getint 3 mm dik	Lucite		Oordeel: Matig %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 75 T320/550 1 T380/550 68 T400/550 98
Lexaan 80330 polished kleurloos polycarbonaat 0,750 mm dik	General Electric		Oordeel: Goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 95 T320/550 1 T380/550 2 T400/550 69

Type	Producent	Grafiek Transmissie (%) versus golflengte (nm)	Testoordeel UV-wering ICN 2006
Dorigo-Wierper CLS 200 XSR Folie Lichtgeel getint 0,2 mm dik	Madico France		Oordeel: Zeer goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 98 T320/550 0 T380/550 1 T400/550 29
Dorigo-Wierper TG 21 XSR-CL Folie Donker grijs getint	Madico France		Oordeel: Zeer goed %UV-wering ₃₀₀₋₄₀₀ 99 T320/550 2 T380/550 2 T400/550 37 Geeft een andere kleurbeleving

REFERENTIES EN BIBLIOGRAFIE

AANBEVELINGEN

Control of damage to Museum objects by optical radiation, Technical Report CIE 157, Commission Internationale de l'Eclairage, Vienna, 29 pp., 2004

Guide on interior lighting, CIE publicatie 29.2, 1986

Het beperken van lichtschade aan museale objecten – Lichtlijnen, ICN-Informatie nr 13, Instituut Collectie Nederland, Amsterdam, 8 pp., 2004

Lighting for museums and art galleries, Lighting Guide CIBSE, 1994.

Maintenance of indoor electric lighting systems, CIE publicatie 97

Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended Practice, IES Publicatie RP-30-96, 1996

Thomson, G., *The museum environment*, Butterworth-Heinemann, London, 2nd edition, 293 pp., 1986

ALGEMENE LITERATUUR

Cuttle, C., *Lighting by design*, Architectural Press, Oxford, 214 pp., 2003

Duits vakblad Licht, themanummer *Museumbeleuchtung*, nr. 6, 1995 met diverse publicaties

Handboek Verlichtingstechniek – Bouwstenen en richtlijnen voor een succesvol verlichtingsplan, Ten Hagen en Stam uitgevers in samenwerking met Uneto en NSVV

Hubel, D.H., *Eye, Brain, and Vision*, 1988

Lange, H., *Handbuch für Beleuchtung 5, hoofdstuk Museum und Ausstellung*, Ecomed, ISBN 3 609 75405 2, 1992

Meutzner, H.J.J., *Daglicht- en kunstlichtcombinaties in musea*, Syllabus Jubileumcongres NSVV 1998

Nederlandse Vereniging van Fabrikanten van Noodverlichting, *Ontwerpgids Noodverlichting*, NVFN, Zoetermeer, 16 pp., 2003

NEN-EN 1838, *Toegepaste verlichtingstechniek – Noodverlichting*, NEN, Delft, 16 pp., 1999

NEN-EN-IEC 60598-2-22, *Bijzondere eisen – Verlichtingsarmaturen voor noodverlichting*, 2002

NEN 6088, *Brandveiligheid van gebouwen – Vluchtwegaanduiding – Eigenschappen en bepalingsmethoden*, NEN, Delft, 10 pp., 2002

NEN-EN 50172 (Ontwerpnorm), *Noodverlichtingssystemen voor vluchtwegen*, NEN, Delft, 20 pp., 1996

NEN 1891, *Binnenverlichting – Meetmethoden voor verlichtingssterkten en luminanties*, NEN, Delft, 16 pp., 1994

Santen, C. van en Hansen, A.J., *Daglicht/ kunstlicht*, Delft University Press, ISBN 90 6275 500 3 - 1989

Timson, P. en Gregson, B., *Fibre Optic Lighting and Sensing Technology*, 1993

Turner, J., *Designing with Light - Public Places - Lighting solutions for exhibitions, museums and historic spaces*, RotoVision SA, Zwitserland - ISBN 2 88046 333 5, 1998

Vakblad International Lighting Review, thema-nummer **Museums**, nr. 2, 1994 met diverse publicaties

LITERATUUR BETREFFENDE VERLICHTINGSTECHNIEK

Aghemo, C., Filippi, M., Pellegrino, A., en Salvini, M., **Lighting to show: Designing experiments for some temporary exhibitions**, Proceedings Lux Europa 1997

Barlt, A., **Beleuchtung im Museum - die Verwendung von Niedervolt-Halogen-Kaltreflectorlampen**, *Restaura* 1/93

Boltz, K., **Lichttechnik für Museen**, *Licht* 9/99, 1999

Covitti, A. en Reggiani, A., **A finite elements method to study the luminance contents of the images. An application on architectural elements, among the principle expressions of historical evolution of architectural style**, Proceedings Lux Europa 1997

Cuttle, C., **Damage to museum objects due to light exposure**, *Lighting Research and Technology*, 28(1):1-9, 1996

Dijk, P. van, **Zoeken naar licht uit Arles, Van Gogh Museum benadert originele lichtomstandigheden**, *Licht*, september 1996

Kunstlichtbronnen, stand der techniek 1996, Novem, Utrecht, 29 pp., 1997

Palermo, G. en Rogora, A., **Lighting project for museum spaces. Experiences and applications of the Disano lighting group**, Proceedings Lux Europa 1997

Palermo, G. en Rogora, A., **The Art of Illuminating Art**, Proceedings Right Light 4, 1997

Reggiani, A., **Colours and light sources: Visual perception in art**, Proceedings Lux Europa 1997

LITERATUUR BETREFFENDE VERLICHTING EN CONSERVERING

Ashley-Smith, J., Derbyshire, A. and Pretzel, B., **The continuing development of a practical lighting policy for works of art on paper and other object types at the Victoria and Albert Museum**, in: Preprints of the 13th ICOM-CC Triennial Meeting, ICOM-CC, pp. 3-8, 2002

Boyce, P.R., **Visual acuity, colour discrimination and light level**, in: Lighting, pre-prints of a conference on lighting in Museums, Galleries and Historic Houses, Bristol University, The Museums Association/UKIC, London, pp. 50-57, 1987

Covitti, A. en Reggiani, A., **Approach to the method enable to find the spectrum of a lighting source to illuminate a painting with a definite chromatic content. Case of study: Some paintings of the Uffizi gallery in Florence**, Proceedings Lux Europa 1997

Crawford, B.H., **Just perceptible colour differences in relation to level of illumination**, *Studies in Conservation*, 18:159-166, 1973

Crone, J., **Licht op Van Gogh, normen museumverlichting ter discussie**, *Bouw* nr. 7/8, 1999

Cuttle, C., **Damage to museum objects due to light exposure**, *Lighting Research and Technology*, 28(1): 1-9, 1996

Derbyshire, A. and Ashley-Smith, J., **A proposed practical lighting policy for works of art on paper at the V&A**, in: Preprints of the 12th ICOM-CC Triennial Meeting, ICOM-CC, pp. 38-41, 1999

Harrison, L.S., *Report on the deteriorating effects of modern light sources*, The Metropolitan Museum of Art, New York, 20 pp, 1953

Harrison, L.S., *An investigation of the damage hazard in spectral energy*, Illuminating Engineering, 49:253-257, 1954

Hilbert, G.S. en Aydinli, S., *Museumbeleuchtung - Zur Beleuchtung musealer Exponate unter Beachtung neuer konservatorischer Erkenntnisse*, Licht 7-8, 1991

Hilbert, G.S., *Die Erfindung der 50 Lux*, Licht (Did), 2-3/97

ISO 105-B08:1995, *Textiles – Tests for colour fastness – Part B08 Quality control of blue wool reference materials 1 to 7*, International Organisation for standardization, Geneva, 1995

Kesner, C.W., *Museum exhibition lighting: Effectiveness of subjective and objective evaluation measures*, Lighting Research and Technology, Vol. 25, No. 2, 1993

Krochmann, J., *Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken*, Restauero, 3:227-234, 1988

Lemaigre-Voreaux, P., *The Harmony between light and painting*, International Lighting Review nr. 2, 1994

Loe, D.L., Rowlands, E., en Watson, N.F., *Preferred lighting conditions for the display of oil and watercolour paintings*, Lighting Research and Technology, 14(4):173-192, 1982

Michalski, S., *Towards specific lighting guidelines*, in: Preprints of the 9th ICOM-CC triennial Meeting, ICOM-CC, pp. 583-588, 1990

Michalski, S., *Damage to museum objects by visible radiation (light) and ultraviolet radiation (UV)*, in: Lighting, pre-prints of a conference on lighting in Museums, Galleries and Historic Houses, Bristol University; The Museums Association/UKIC, London, pp. 3-16, 1987

Prahl, W. en Roessler, G., *Ermittlung minimaler Schädigungspotentiale für die Beleuchtung von Exponaten in Museen und deren praktische Umsetzung*, Tagungsband Licht 98, 1998

Saunders, D. and Kirby, J., *Wavelength-dependent fading of artists' pigments*, in: Preventive Conservation: Practice, Theory and Research, International Institute for conservation (IIC), London, pp. 190-194, 1994

Thomson, G., *A new look at colour rendering, level of illumination, and protection from ultraviolet radiation in museum lighting*, Studies in Conservation, 6:49-70, 1961

Visser, R., *Museumcollecties gebaat bij aangepaste verlichting, vaak onherstelbare schade door licht en uv-straling*, Licht, 9/1996

Visser, R., *Better management of art and cultural heritage through a correct lighting for museums, galleries and exhibitions*, Proceedings Lux Europa 1997

WEBSITES

Advisering musea

www.icn.nl

www.museumconsulenten.nl

www.erfgoedinspectie.nl

Instituut Collectie Nederland

Landelijk Contact van Museumconsulenten

Erfgoedinspectie

Brancheverenigingen verlichting

www.nsvv.nl

www.pld-a.com

www.cie.co.at/cie

www.nvfm.nl

Nederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde

Professional Lighting Designers' Association

Commission International d'Eclairage

Nederlandse Vereniging van Fabrikanten van
Noodverlichting

