

Het beperken van lichtschade aan museale objecten: lichtlijnen



Figuur 1. Bij vergelijking van voor- en achterkant van het tapijt (20ste eeuw, Turkije) valt op hoezeer de oranje-rode strook (wol geveerd met de synthetische kleurstof Fast Red AV) verbleekt is onder invloed van licht en ultraviolette straling. Foto ICN

Inleiding

Dit informatieblad

Dit informatieblad is geschreven voor collectiebeheerders, ontwerpers en architecten die zich bezighouden met verlichting in musea en historische ruimten. Het biedt de wetenschappelijke basis voor het inzicht in de relatie tussen belichting en schade en de richtlijnen voor collectiebeherende instellingen om lichtschade tot een acceptabel niveau te beperken. De informatie en richtlijnen kunnen ook worden gebruikt door bibliotheken. Voor archieven kunnen zij worden gebruikt zolang ze in overeenstemming zijn met de in de archiefwet geformuleerde normen (Rijksarchiefdienst, 2001). Dit informatieblad biedt geen praktische informatie over lampen, verlichtingssystemen en oplossingen voor specifieke situaties. Daarvoor wordt verwezen naar publicaties zoals van CIBSE (1994), IES (1996) en Cuttle (2004), naar adviserende instellingen en technische specialisten.

Doel van museumverlichting

Om vorm en kleur te zien is licht nodig, maar licht veroorzaakt schade. Het doel van museumverlichting is daarom driedig: (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.

Schade als gevolg van licht

Licht veroorzaakt 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 schade op zonder dat de kijker er ten volste van geniet. Een overbelicht voorwerp wordt extra beschadigd zonder dat het extra waardering oplevert. Een goede museumverlichting moet er dus voor zorgen dat een voorwerp zo goed mogelijk tot zijn recht komt met zo min mogelijk schade.

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 van het eind van de 19de eeuw, maar 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 beper-

ken 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.

Vernieuwde richtlijnen

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 welke belichting een voorwerp mag hebben. De vernieuwde richtlijnen die in dit informatieblad worden gepresenteerd sluiten aan bij die internationale ontwikkelingen en bij de recente publicatie van de Commission International de l'Eclairage (CIE, 2004). Ze vormen geen radicale verandering ten opzichte van de tot nu toe gehanteerde richtlijnen; het is meer een verandering in benadering. Voor lichtgevoelig materiaal geldt onverminderd dat dit met een lage verlichtingssterkte en een beperkte belichtingsduur moet worden getoond. Maar wanneer de collectiebeherende instelling een standpunt heeft ingenomen over de acceptabele schade en wanneer men over harde gegevens beschikt over welke belichting schade zal veroorzaken, 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

hetzelfde houvast als tot nu toe. 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.

Straling

Straling is energie

Straling is een complex fenomeen dat kan worden voorgesteld als een stroom van energiepakketjes, zogenaamde fotonen, die zich als golven voortbewegen. Die golven kunnen worden beschreven met een golflengte en een frequentie. Hoe korter de golflengte, hoe hoger de frequentie en hoe meer energie de fotonen bezitten (zie figuur 2 en 4). Wanneer fotonen met voldoende energie met moleculen van een materiaal botsen, kan een zogenaamde fotochemische reactie plaatsvinden.

Spectrum

Bij verlichting hebben we te maken met optische straling waarvan de golflengtes liggen tussen de 100 en 1.000.000 nm (1 nanometer= 10^{-9} m, een miljoenste millimeter). 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 380 nm is het gebied van de onzichtbare ultraviolette straling (UV). Omdat de gevoeligheid van het oog voor 380-400 nm zeer laag is terwijl de straling in dat gebied wel zeer schadelijk is, wordt als grens tussen licht en UV-straling voor musea 400 nm genomen. Van 780 nm tot 1.000.000 nm is het gebied van de eveneens onzichtbare infrarode straling (IR) (figuur 2).

Ultraviolette straling (UV)

Daglicht en ongefilterd kunstlicht bevatten allebei ultraviolette straling. Omdat de fotonen van UV-straling een hoge energie hebben, is het de meest schadelijke component in het spectrum. Glas houdt de hardste 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 $75 \mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$ geaccepteerd. Dit is het gemiddelde UV-gehalte van gloeilampen, de kunstlichtbron die in de tijd dat Thomson zijn richtlijnen opstelde, 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 en is er geen reden meer om een hoger UV-gehalte te hanteren.

Licht

Licht is het gedeelte van het spectrum dat ervoor zorgt dat wij ruimtes en voorwerpen 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 uitsstralen 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 straling. Licht heeft weliswaar minder energie dan UV-straling, maar is wel degelijk schadelijk. Vooral processen als verkleuren en verbleken zijn aan het zichtbare licht 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 de bovenste 40 μm (Michalski, 1987) (zie ook figuur 3).

Infrarode straling (IR)

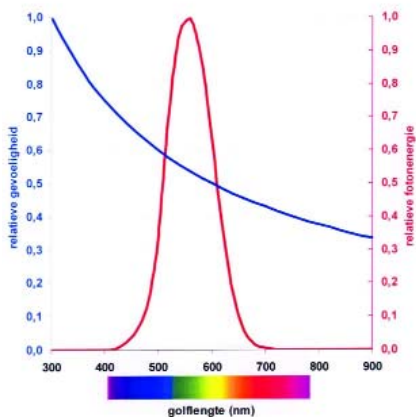
Infrarode straling kunnen wij niet zien, maar wel als warmte ervaren. Deze warmte is meestal niet voldoende om chemische reacties op te starten, maar als een chemische reactie al op gang is, zal warmte de reactie versnellen. IR-straling veroorzaakt bovendien opwarming van oppervlakken, wat kan leiden 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.

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

Figuur 2. Optische straling: het spectrum van golflengtes en frequenties



Figuur 3. Afbraak van polyurethaanschuim die zichtbaar wordt als vergeling. In de dwarsdoorsnede blijkt dat straling en zuurstof slechts in de bovenste 5 mm van het open-cel schuim doordringen en tot schade leiden.



Figuur 4. Standaardooggevoeligheidskromme (linker as) en de relatieve energie van straling met verschillende golflengtes (rechter as). De niet-zichtbare straling in het UV-gebied (<400 nm) heeft de meeste energie en is het schadelijkst.

Grootheden en eenheden

Omdat licht een vorm van straling is, zijn de maten waarin licht wordt uitgedrukt analoog aan die van straling. Voor straling worden de ‘energetische’ grootheden en eenheden gebruikt. De hoeveelheid energie die een stralingsbron per tijdseenheid in alle richtingen uitstraalt, de **stralingsstroom**, wordt uitgedrukt in Watt (W). De **bestralingssterkte** (irradiatie) is de hoeveelheid energie die per tijdseenheid op een bepaald oppervlak valt, uitgedrukt in Watt per vierkante meter ($W.m^{-2}$). De **bestralingsdosis** is de hoeveelheid energie die per tijdseenheid op een bepaald oppervlak valt vermenigvuldigd met de duur van belichting, uitgedrukt in ($W.m^{-2}.s$). Het is deze totale energiedosis die schade bepaalt. 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) (figuur 4). De hoeveelheid lichtenergie die een bron in alle richtingen uitstraalt, de **lichtstroom**, wordt uitgedrukt in lumen (lm). De **verlichtingssterkte** (illuminantie) is de hoeveelheid lichtenergie die per tijdseenheid op een bepaald oppervlak valt, uitgedrukt in lumen per vierkante meter ($lm.m^{-2}$) wat hetzelfde is als lux (lx). De **belichtingsdosis** is de hoeveelheid lichtenergie die per tijdseenheid op een bepaald oppervlak valt vermenigvuldigd met de duur van belichting, uitgedrukt in luxuur (lx.h) of bij grote getallen in klx.h (kilo=1000) of Mlx.h (mega=1.000.000).

Omdat schade aan materialen niet alleen door licht maar door het totaal aan stra-

lingsenergie wordt veroorzaakt, geeft het meten van de hoeveelheid licht geen compleet beeld. Vandaar dat het **UV-gehalte** in de lichtbundel altijd apart wordt opgegeven, uitgedrukt in micro-watt per lumen ($\mu W.lm^{-1}$).

Zien

Hoeveelheid licht

We hebben licht nodig om onze omgeving te kunnen zien, maar hoeveel licht we nodig hebben hangt af van verschillende factoren. Voor museumbezoekers is het belangrijk dat ze behalve vorm ook detail kunnen zien en kleur kunnen onderscheiden. De mate waarin ze dat kunnen, hangt niet alleen af van de hoeveelheid licht die er op een object valt maar ook van de manier van belichting, het contrast met de omgeving, de afstand tot het object en de gevoeligheid van de ogen.

Voor iedereen geldt dat er tussen 0,01 en 3 lux een overgang is van nacht-zien (zwart/wit, alleen de staafjes op het netvlies vangen een lichtsignaal op) naar kleur-zien (ook de kegeltjes vangen signaal op). Voor het kunnen onderscheiden van kleuren heeft de mens minstens 30 lux nodig (Crawford, 1973). Voor het onderscheiden van detail is meer licht nodig, bij heel kleine details kan dat oplopen tot daglicht (>1000 lux). Voor musea geldt dat boven de 200-400 lux de kwaliteit van het zien van objecten nauwelijks meer toeneemt (Loe et al., 1982). Die waarden gelden allemaal voor de gemiddelde, jonge persoon. Bij mensen boven de 50 is het oogvocht 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).

Kwaliteit van het licht

De kwaliteit van het licht bepaalt in sterke mate hoe de kijker zijn omgeving en de voorwerpen ervaart. De belangrijkste

Tabel 1. Verschillende lichtbronnen en hun karakteristieken

Lichtbron	UV-gehalte ^c ($\mu W.lm^{-1}$)	Kleurtemperatuur (K)	Kleurweergave index	Lamprendement ^d ($lm.W^{-1}$)	Levensduur ^e (h)
Daglicht	400-1500	5000-7000	100	-	-
Gloeilamp	60-80	2800-3000	100	10-25	1000
Halogeen ^a	40-200	3000-3500	100	20-40	2000-5000
Fluorescentie					
Philips TL 900 serie	50-80	2700-6500	92-96	70	20.000
Fluorescentie					
Philips TL 800 serie	65-90	2700-6500	80-85	100	20.000
Compacte					
fluorescentie	>100	2700-6000	>80	70	10.000
Metaalhalogenide	160-700	3000-5000	60-85	85	10.000
Hoge druk natrium	<50	2500	20-65	80-130	15.000
LED wit ^b	<5	2000-9000	90	20-50	>50.000

a. inclusief de ‘UV-STOP’ lampen

b. Light Emitting Diode

c. 300-400 nm

d.lichtopbrengst van de lamp per Watt

e. tijd tot vervanging van de lamp

factoren die daarbij een rol spelen zijn de kleurtemperatuur en de kleurweergave index.

De **kleurtemperatuur** (T_c) is een maat voor de kleur van het licht, uitgedrukt in graden Kelvin (K). De waarde verwijst naar de spectrale energieverdeling (zie verderop) van een zwarte straler bij een bepaalde temperatuur. Een 60 Watt gloeilamp heeft een kleurtemperatuur van 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 5000 K, er zit dan relatief veel blauw en violet licht in het spectrum waardoor het licht als 'koel' of 'koud' wordt ervaren.

Daglicht heeft een nog hogere kleurtemperatuur en doet koeler aan.

De **kleurweergave-index** (R) geeft de mate van overeenkomst weer van de kleur van een voorwerp dat met een bepaalde lichtsoort wordt verlicht met de kleur van hetzelfde voorwerp als dit met een referentieverlichting van dezelfde kleurtemperatuur wordt verlicht. Een kleurweergave-index van meer dan 90 is goed, lager dan 80 is niet geschikt voor museale doeleinden. Daglicht en gloeilampen hebben allebei een kleurweergave-index van 100. Hoewel gloeilampen iets meer accent leggen op oranje en rood, geven ze allebei een evenwichtig kleurbeeld. Andere lichtbronnen hebben vaak spectra waarin bepaalde golflengtes ontbreken of juist oververtegenwoordigd zijn; zij geven een vertekend kleurbeeld en hebben een lagere index (denk bijvoorbeeld aan de oranje hoge druk natrium straatverlichting). In tabel 1 staan voor de verschillende lichtbronnen karakteristieke waarden voor kleurtemperatuur en kleurweergave-index.

Schade door straling

Straling kan schade veroorzaken door fysische processen als gevolg van opwarming en door (foto)chemische reacties.

Opwarming

De IR-straling in een stralenbundel leidt direct tot opwarming, maar een deel van het licht en de UV-straling die door een object worden geabsorbeerd, wordt omgezet in warmte, wat ook tot opwarming leidt. Donkere materialen absorberen meer straling en warmen meer op dan lichte materialen. Door deze opwarming kunnen materialen uitzetten en vervormingen; ze kunnen ook uitdrogen, krimpen en scheuren. Tevens kunnen chemische reacties, die bij normale temperaturen niet zouden verlopen, bij hogere temperaturen vaak wel verlopen.

Fotochemische afbraak

Chemische reacties hebben altijd een bepaalde minimum hoeveelheid aan energie nodig om op gang te komen en te kunnen verlopen (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 Om een fotochemische reactie te kunnen ondergaan moet een materiaal de energie wel kunnen opnemen. Het moet straling, of bepaalde golflengtes, absorberen. Het absorptiespectrum van een materiaal vertelt dus 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 onder vinden 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:

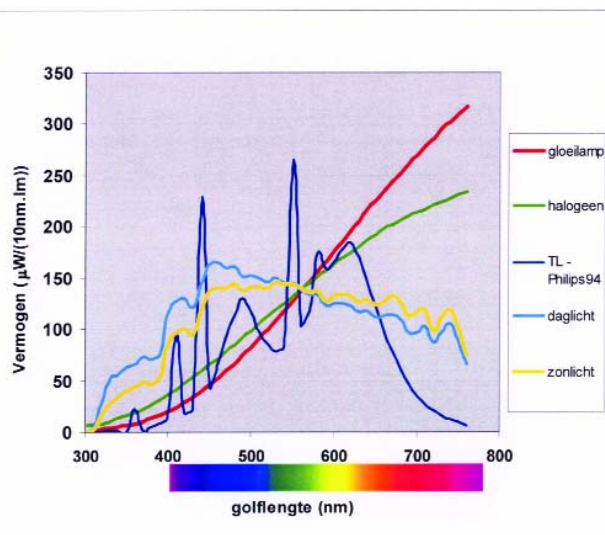
- de hoeveelheid energie die per tijdseenheid op het oppervlak valt; de bestralingssterkte of in het geval van licht de verlichtingssterkte (lx);



Figuur 5. Schematisch overzicht van schade door straling

Samenstelling en kwaliteit van belichting

De samenstelling en de kwaliteit van de belichting spelen een belangrijke rol bij het tonen van mineralen. In gewoon licht zien sommigen er saai uit, maar als er UV-straling op valt, fonkelen ze met prachtige kleuren (fluorescentie). Gerestaureerde objecten kunnen er onder bepaalde belichting prima uitzien. Onder een andere belichting kunnen restauraties zoals lijmnaden en ingekleurde lacunes, echter opeens storend zichtbaar worden (metamerie). Soms wordt geprobeerd om met gekleurd licht het oorspronkelijke uiterlijk van een verbleekt object na te bootsen. Dit kan juist meer schade veroorzaken als de gekozen kleur veel energierijke straling bevat.



Figuur 6. Spectrale energieverdeling van verschillende lichtbronnen (gegevens van Thomson, 1986)

Belichtingsduur beperken

Mogelijkheden voor het beperken van de belichtingsduur zijn o.a. gordijnen voor objecten, doeken over vitrines, objecten in laden die worden opengeschoven door de bezoeker, lichtschakelaars bij vitrines of objecten, contactsensoren of bewegingssensoren die de verlichting bij objecten of aan de ingang van een ruimte kunnen sturen, automatisch wisselende verlichtingssterktes tussen optimaal en gedimd licht. Objecten in de tentoonstelling kunnen rouleren met objecten uit het depot en bladzijden van tentoongestelde boeken kunnen met enige regelmaat worden omgeslagen. Voor oudere bezoekers kunnen een paar 'lichtdagen' per jaar worden georganiseerd. Tijdens die dagen is de verlichtingssterkte hoger dan de rest van het jaar.

CIELAB en ΔE

De L*a*b* kleurenruimte, ook bekend als CIELAB, is een in 1976 door de CIE gedefinieerde 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.

- de bestralingsduur of belichtingsduur (h);
- de spectrale energieverdeling van de opvallende straling.

Voor de bestralingssterkte en de bestralingsduur, geldt het zogenaamde 'Reciprociteitsprincipe'. Dit betekent dat een zelfde 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 (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 6). 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.

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 de 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.

Richtlijnen voor museumverlichting

Vanuit conserveringsperspectief is het doel van een verlichtingsplan voor een museum het effectief tonen van een voorwerp zodat we het optimaal kunnen zien, waarbij het echter zo min mogelijk aan schadelijke straling wordt blootgesteld.

Optimaal zien

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 3 x meer licht nodig;
 - om details in een contrastarm voorwerp te zien is tot 3 x meer licht nodig;
 - om details in een voorwerp op afstand te zien is tot 3 x meer licht nodig;
 - voor het uitvoeren van gedetailleerd werk is tot 3 x 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.
- Als voor optimaal zien meer dan 50 lux nodig is, moet de belichtingsduur worden aangepast om de acceptabele belichtingsdosis niet te overschrijden.

Bestraling beperken

UV-straling beperken Uit figuur 4 blijkt dat ons oog UV-straling (<400 nm) niet kan zien, terwijl de straling veel energie bezit en potentieel erg schadelijk is. Allereerst is het dus belangrijk de UV-straling uit de lichtbundel te verwijderen. Reductie van het UV-gehalte in de straling tot 75 $\mu W.lm^{-1}$ (gloeilampniveau) is meestal geen probleem. Aangezien het tegenwoordig mogelijk is 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 aangeraden. UV-gehalten lager dan 10 $\mu W.lm^{-1}$ zijn moeilijk te meten; daarom wordt die waarde als streefwaarde aangehouden.

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 is vastgesteld welke verlichtingssterkte voor optimaal zien nodig is en in een gegeven situatie realiseerbaar is, kan de belichtingsdosis worden beperkt door de belichtingsduur te beperken. 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.

IR-straling en opwarming beperken Opwarming van de voorwerpen en hun omgeving, bijvoorbeeld in een vitrine, moet worden voorkomen. Als vuistregel kan worden aangehouden dat wanneer de eigen hand ter hoogte van het verlichte oppervlak opwarmt in de lichtbundel, er te veel warmte wordt geproduceerd. IR-straling kan uit de bundel worden verwijderd 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 lamp 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.

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 drie specifieke golflengtes tot wit licht, zodat de totale energie van het spectrum kan worden verminderd (Cuttle, 2000). Tot nu toe is de kleurweergave van dit soort systemen nog niet goed genoeg om ze commercieel beschikbaar te maken.

Gevoeligheid van het object

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).

De lichtgevoeligheid van een materiaal kan worden bepaald door het onder standaardcondities bloot te stellen 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 vergelijking voordat de vezels waarneembaar aan sterkte inboeten. Verkleuring kan goed worden gemeten met een kleurmeter of spectrofotometer.

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 ontleurd ('total loss'). Een voorwerp dat zijn karakter geheel aan zijn kleur ontleent, heeft na circa 10 jwv zijn tentoonstellingswaarde eigenlijk verloren. Maar een jwv hoeft niet alleen een kleurverandering te zijn. Een materiaal kan ook zijn sterkte verliezen: een textiel weefsel 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



Figuur 7. ISO Blauwe wol standaard: acht stalen wol blootgesteld aan 120 Mlx.h (UV-rijk). Het kleurverschil tussen de belichte linker- en onbelichte rechterkant loopt van ISO 1 $\Delta E = 45$ (boven, 30 jwv: totaal verbleekt) via ISO 4 $\Delta E = 15$ (10 jwv) tot ISO 8 $\Delta E = 1,5$ (onder, 1 jwv).

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. Vergelijking 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 kataliseert titaandioxide fotochemische afbraak. Na verloop van tijd verliest een op polyetheenpapier afgedrukte foto dan ook zonder zichtbare waarschuwing zijn sterkte.

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 glacijs in een schilderij kan een absolute kleurverandering van $\Delta E=1,5$ (1 jwv) al in één stap tot totaal kleurverlies leiden. Het aantal stappen kleurverlies dat tot 'total loss' leidt, moet dus altijd per geval worden bekeken. Zo is in een kleurenfoto 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.

Acceptatie van schade

Schade is het verlies van waarde. Behoud is in feite 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 volgende 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 top laag van de verf is afgebroken. Het schilderij is niet meer zoals het origineel was, maar heeft voor het museum toch nog een hoge (tentoonstellings)waarde. Een brief die met rode inkt is geschreven en nu is ontleurd, is niet meer leesbaar en heeft zijn belangrijkste waarden 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'.

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 3 is de belichtingsdosis voor een verkleuring van 1 jwv van de verschillende ISO-standaarden vermeld in de gele kolommen. 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 hoeveelheid stralingsenergie die nodig is voor 1 jwv. Sommige lichtmeters hebben tegenwoordig de mogelijkheid om naast lux ook deze waarde ($W.m^{-2}$) te bepalen.

Gevoeligheidsklassen

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

Hoog gevoelig (ISO 1-3)

Gevoelig (ISO 4-6)

Laag gevoelig (ISO 7-8).

Hier komen nog twee klassen bij:

Als nieuw' (<ISO 1)

Dit zijn materialen en voorwerpen die nog in hun oorspronkelijke toestand verkeren en daar hun waarde aan ontleunen. Voorbeelden zijn referentiecollecties.

Omdat het verband tussen belichtingsdosis en verkleuring niet lineair is en er in veel gevallen voor de eerste stappen ontkleuring een lagere belichtingsdosis nodig is dan voor latere stappen, leidt belichting van dit soort 'maagdelijke' voorwerpen tot relatief grote schade.

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, bewerkte glas en keramiek kunnen lichtgevoelige componenten bevatten. Een voorbeeld is mangaan ontleurd glas dat op de lange duur paars wordt.

In tabel 3 zijn de klassen in de eerste kolom opgenomen.

Tabel 2 geeft een overzicht van de lichtgevoeligheid van verschillende materialen. De meeste waarden komen uit tests waarin is belicht met 'daglicht achter glas', dus UV-rijk licht. Deze lijst wordt

voortdurend uitgebreid met nieuwe onderzoeksgegevens. De meest actuele lijst is te vinden op de ICN-website: www.icn.nl.

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. Wij vinden 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 er geen materiaal van de gevoeligste ISO binnen een bepaalde klasse bij de tentoonstelling te stellen voorwerpen aanwezig is. Leer valt bijvoorbeeld in de klasse 'gevoelig'. Wanneer er niets bekend is over het leer, moet het als meest gevoelige binnen de klasse, te weten ISO 4, worden belicht. Wanneer echter vaststaat dat het chroom geloid leer is en dat er geen kwetsbaarder leer in de omgeving is, kan het iets minder streng als ISO 6 worden belicht.

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 daar een standpunt over in zal moeten nemen. Aan de basis van ieder belichtingsregime ligt daarom de vraag: 'In hoeveel tijd mag er 1 jwv optreden?'. Met andere woorden: 'Hoe lang moet het voorwerp meegaan?'. Hierbij geven de volgende periodes enig houvast:

1 jwv in 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 verkrummen. Bij 1 jwv in 10 jaar ziet een mens gedurende zijn leven ongeveer 5 veranderingen optreden, bijvoorbeeld een opvallend kleurverlies of een opvallende achteruitgang in sterkte.

1 jwv in 50 jaar betekent dat een voorwerp in ongeveer 500 jaar blootstelling zijn tentoonstellingswaarde heeft verlo-

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

Belichtingsregime

Wanneer de gevoeligheid van het materiaal bekend is en een besluit is genomen over welke periode 1 jwv wordt geaccepteerd, kan aan de hand van de toelaatbare belichtingsdosis het belichtingsregime worden opgesteld. In tabel 3 staan in de rechter helft een aantal voorbeelden van belichtingsregimes uitgewerkt.

Klasse 0: Als nieuw Voor de klasse voorwerpen waarvan de toestand nog zo goed als nieuw is en die daaraan zijn waarde ontleent, moet 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, 50 lux, met maximale reductie van het UV-gehalte. 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, 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 $75 \mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$. 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.

Flitslicht en kopiëren

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 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, bijvoorbeeld van 1-2 lux. 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.

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 noodverlichting, beveiligingsverlichting en schoonmaakverlichting of verlichting tijdens recepties en andere evenementen.

Contrast

Bij het uitlichten van een object is het contrast met zijn omgeving heel belangrijk; zowel contrast in kleur als in helderheid. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat bij een voorwerp dat met 50 lux moet worden uitgelicht, het omgevingslicht niet meer dan 40 lux mag bedragen. Bij een voorwerp dat met 150 lux wordt uitgelicht, mag het omgevingslicht niet meer dan 125 lux bedragen. Een achtergrond die minder reflecteert dan het object zelf draagt bij aan de vergroting van het contrast; een licht object heeft met een donkere achtergrond veel minder extra licht nodig om ertegen af te steken dan met een lichte achtergrond.

Lichtgevoeligheid van schilderijen

Schilderijen kunnen niet over een kam worden geschoren. De meeste 17de eeuwse doeken en panelen zijn over het algemeen met een duurzaam palet geschilderd. Zeker wanneer ze zijn voorzien van een goede vernislaag, vallen ze in ISO 5-6. Wanneer de vernislaag ontbreekt, zijn ze echter gevoeliger. De 19de eeuwse schilderijen zijn veelal gevoeliger, vooral de partijen met synthetische kleurstof bevattende verf, vallen in ISO 1-3. Wanneer de werken bovendien niet zijn gevernist, zijn ze extra gevoelig. Waar het uitgangspunt voor een Rembrandt 150 lux is, is dat voor een lichtgevoelige Van Gogh 50 lux. Bij moderne schilderijen hangt de gevoeligheid sterk af van de gekozen materialen en werkwijze, door de sterk individuele benadering van de kunstenaar is daar niet iets algemeen over te zeggen.

Procedure voor museumverlichting

Planning

1. Lichtgevoeligheid

Bepaal de lichtgevoeligheidsklasse van het tentoon te stellen voorwerp op basis van het meest gevoelige materiaal dat erin is verwerkt. Als de materialen niet bekend zijn, ga dan uit van de voorwerpvoorbeelden en maak een conservatieve inschatting (Tabel 2).

2. Schadeacceptatie

Besluit over welke periode 1 jwv mag optreden.

3. UV-reductie

Reduceer het UV-gehalte in het licht (golflengte < 400 nm); als mogelijk <10 $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$, in ieder geval <75 $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$.

Houd daarbij vooral ook rekening met binnenvallend daglicht, dat vaak de grootste bron is voor UV-straling.

4. Belichtingsdosis

Bepaal de belichtingsdosis die bij het haalbare UV-gehalte tot 1 jwv zal leiden (Tabel 3).

5. Effectieve belichting

Bepaal de minimale verlichtingssterkte die het voorwerp nodig heeft om het optimaal te kunnen zien.

6. Belichtingsregime

Werk een aantal mogelijke belichtingsregimes uit (belichtingsduur bij verschillende verlichtingssterktes) en overleg over de consequenties voor het tentoonstellingsontwerp.

7. Afstemmen effectieve belichting en belichtingsdosis

Stem in overleg de effectieve belichting af op de acceptabele belichting (aanpassing belichtingsduur, type verlichting, opstelling). Houd rekening met binnenvallend daglicht en temper dat zodanig om een goede achtergrondsituatie voor uitlichten te bereiken.

8. Opwarming

Controleer of het voorwerp of de vitrine waarin het voorwerp zich bevindt, niet opwarmen als gevolg van opvallende straling of warmteproductie door armaturen. Warmte mag met de hand in de bundel niet voelbaar zijn.

Tentoonstelling

9. Monitoring

Controleer regelmatig verlichtingssterkte, UV-gehalte, belichtingsduur en opwarming bij het voorwerp (handmeters, lichtloggers, dosimeters).

Controleer of maatregelen om belichting te beperken, voldoende.

10. Lichtlog

Houd voor ieder voorwerp de belichting bij in een logboek of in het collectieregistratiesysteem.

Rekenvoorbeelden belichtingsregime

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

1. Gevoeligheid

Meest gevoelig zijn de natuurlijke kleurstoffen: klasse 1 - *Hoog gevoelig* (ISO 1), des te meer omdat ze verdund zijn aangebracht. De instelling schat in dat de prent in 10 jwv zijn kleur totaal heeft verloren. De drukinkt en het papier hebben een lagere gevoeligheid. De prent is al vaker getoond en is niet meer als nieuw.

2. Schadeacceptatie

Stel: de instelling maakt de keuze om deze prent te tonen om de zichtbaarheid van zijn collectie te vergroten en aanvaardt het kleurverlies in deze prent omdat er nog meerdere exemplaren van zijn, die niet zullen worden getoond. De instelling accepteert totaal kleurverlies 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 75 $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$ goed mogelijk (= UV-rijk licht).

4. Belichtingsdosis

Tabel 3 – Klasse 1 – UV-rijk licht: 1 jwv na 0,22 Mlx.h of 220 klx.h

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 50 lux.

6. Belichtingsregime

Tabel 3 – Klasse 1 – UV-rijk licht: 1 jwv treedt op na 4400 uur bij 50 lux.

Tentoonstelling is mogelijk 55 dagen per jaar bij 50 lux, de prent kan 1,5 jaar tentoongesteld bij 50 lux maar moet dan 8,5 jaar in het donker, of de prent kan ruim 1 uur per dag bij 50 lux worden getoond. Bij verhoging van verlichtingssterkte tot 100 lux moeten de tijden tot de helft worden teruggebracht. Verdere reductie van het UV-gehalte levert 20 extra dagen belichting bij 50 lux per jaar op.

Schilderij 17de eeuw, olieverf op paneel, gevernist

1. Lichtgevoeligheid

Bij gebrek aan informatie over specifiek materiaalgebruik, geldt algemeen voor schilderijen op doek of paneel: klasse 2 - *Gevoelig*, met de toevoeging dat in dit geval ISO 5 aangehouden mag worden omdat het schilderij van een goede vernislaag is voorzien.

2. Schadeacceptatie

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

3. UV-reductie

Stel: de instelling heeft geïnvesteerd in reductie van het UV-gehalte tot 10 $\mu\text{W}\cdot\text{lm}^{-1}$

4. Belichtingsdosis

Tabel 3 – Klasse 2 – UV-arm licht: algemeen 1 jwv na 10 Mlx.h, maar voor ISO 5 is dat 30 Mlx.h

5. Effectieve belichting

Kleuren en textuur zijn bij 150 lux van 2 meter afstand goed genoeg te zien als omgevingslicht juist is afgesteld.

6. Belichtingsregime

Tabel 3 – Klasse 2 – UV-arm licht: 1 jwv treedt voor ISO 5 bij 150 lux op na 201.000 uur. Bij acceptatie van 1 jwv in 100 jaar is tentoonstelling bij 150 lux UV-arm licht gedurende 67% van de tijd mogelijk; bijvoorbeeld 250 dagen per jaar of 5,5 uur per dag. Er moet wel rekening worden gehouden met het vergelen of degraderen van het vernis dat gedurende de behoudsperiode van 500 jaar mogelijk moet worden vervangen.

Tabel 2. Indeling van materialen in lichtgevoeligheidsklassen (CL 1996; Michalski 1997, 1999; Ashley-Smith et al. 2002; CIE 157:2004, testresultaten ICN)

Gevoeligheids-klasse	Algemene omschrijving	ISO waarde	Specifieke voorbeelden		
			Voorwerpen	Dragers	Afwerkingen, kleurstoffen, pigmenten
o. Als nieuw	gevoelig materiaal dat nooit of zelden aan licht isblootgesteld, nog in (bijna) originele toestand verkeert en daar zijn waarde aan ontleent	<1			
1. Hoog gevoelig	de meeste plantaardige kleurstoffen	1	gekleurd werk op papier (aquarel, pastel, miniatures, gekleurde prenten, meeste kleurstoffen uit inkttekeningen)	krantenpapier leer - gekleurd leer - plantaardig geloid	Bismarck bruin curcuma (geelwortel) eosine
	de meeste kleurstoffen uit insecten		behang - gekleurd papier en textiel	papier van slechte kwaliteit (vergeeld)	indigokarmijn
	de meeste vroeg-synthetische kleurstoffen		foto - 19de-eeuwse en experimentele technieken	kunststoffen - gekleurd PUR-ether (verkleurt)	methylviolet op papier rubberlijm
	veel goedkope synthetische kleurstoffen in verschillende media		gekleurd textiel, tapijten meubels met gekleurde stoffering	zijde - verzwaard gekleurde was	safflower saffraan
	de meeste viltstiften	2	vloeistofpreparaten herbaria (gedroogde planten)	polyamide - niet gestabiliseerd	inkten op kleurstofbasis Victoriablauw op papier
	het meeste gekleurde papier van <20ste eeuw		kleurenfotoafdrukken	mahonie finer vurenhout - onbehandeld ivoor natuurrubber polystyreen	geelhout, fustic guttegom (gamboge) henna karmijnrood (lak) cochenille op tinchloride in lijnolie meekrap op katoen en in lijnolie op aluin quercitron (lak) rodamine op papier
	de meeste kleurenfoto's met 'colour' in procesnaam				
	sommige mineralen	3		linnen - onbehandeld kopieerpapier epoxyhars	cochenille op wol en katoen balpeninkt blauw indigo op papier, katoen en zijde meekrap op zijde woude met aluminium beits op wol ijzergallusinkt
2. Gevoelig	sommige historische plantaardige kleurstoffen	4	Chinees lakwerk	wol, flanel, gabardine bont, vacht	lac-lac op wol zeewier op wol
	het meeste bont, haar en vachten		zwart-wit werk op goede kwaliteit papier (grafiet, houtskool, zwart krijt, etsen, gravures)	been, bot, hoorn leer - chroomgeloid veren, haar PVC	woude met tinbeits op wol bistre inkt
	de meeste kleurenfoto's met 'chrome' in procesnaam				
	schilderijen op doek, paneel, etc.	5	kleurenfoto's volgens silver-dye bleach, bv cibachrome	perkament ebbenhout	alizarine (synth) als lak en op wol sepia inkt galappel met ijzerbeits smack (sumac) met ijzerbeits
	beschilderd hout, polychromie, meubels	6	zwart-wit foto's op papier	zijde - onbehandeld PUR-ether (verkruiemt)	meeste zwarte natuurlijke kleurstoffen kleurpotloden - aantal moderne, pink, oranje, geel, rood cochenille op zijde vermiljoen
3. Laag gevoelig	kunstenarspigmenten 'permanent', 'AA'	7	zilver-gelatine foto's z/w (geen UV!)	papier - goede kwaliteit lommen polymethylmethacrylaat Paraloid B72	indigo op wol, meekrap op wol chromgeel, koningspurper wede
	moderne pigmenten voor buitengebruik (autolak)				
	meeste moderne acrylverf - goede kwaliteit	8		parelmoer	cadmium rood, oranje en geel
	structurele kleuren in insecten				
4. Niet gevoelig	de meeste anorganische materialen	>8		emaille glas keramiek, aardewerk tegels PVC film metaal steen	aardpigmenten, ijzeroxiden witte pigmenten echte frescopigmenten meeste minerale pigmenten kobaltblauw, ultramarijn koolstof, houtskool, grafiet zilverstift

Voor kunststoffen en rubbers moet de UV-straling uit het spectrum worden verwijderd.

Voor het meest actuele overzicht zie www.icn.nl

Tabel 3. Samenvatting richtlijnen voor museumverlichting

Gevoeligheids-klasse	ISO	Belichtingsdosis (H) ^a tot 1 jwv			Richtlijnen voor museumverlichting E: aanbevolen verlichtingssterkte H: belichtingsdosis tot 1 jwv (Mlx.h)		Belichtingsregime totaal aantal uur tot 1jwv dag/jaar tot 1jwv in 10 jaar ^h dag/jaar tot 1jwv in 50 jaar ^h		Tentoonstelling mogelijkheden en beperkingen
		UV-arm ^b (Mlx.h) ^e	UV-rijk ^c (Mlx.h) ^e	UV-rijk ^d (W.m ⁻² .h)	UV-arm (<10) ^f	UV-rijk ^g	UV-arm (<10) ^f	UV-rijk ^g	
o.Als nieuw	<1				blootstelling aan licht tot een absoluut minimum beperken	blootstelling aan licht tot een absoluut minimum beperken			bij uitzondering tijdelijk
1.Hoog gevoelig	1	0,3	0,22	90	E:50 lx	E:50 lx	1 jwv:6000 h @ 50 lx	1 jwv:4400 h @ 50 lx	<20% van de tijd 50 lx ⁱ mits UV-gehalte <10 µW.lm ⁻¹
	2	1	0,6	240	H:0,3 Mlx.h	H:0,22 Mlx.h	1 jwv in 10j:75 d/j @ 50 lx	1 jwv in 10j:55 d/j @ 50 lx	
	3	3	1,5	600			1 jwv in 50j:15 d/j @ 50 lx	1 jwv in 50j:11 d/j @ 50 lx	
2.Gevoelig	4	10	3,5	1400	E:150 lx	E:150 lx	1 jwv:67.000 h @ 150 lx	1 jwv:23.000 h @ 150 lx	permanent 50 lx ^k of permanent 150 lx ⁱ mits UV-gehalte <10 µW.lm ⁻¹
	5	30	8	3200	H:10 Mlx.h	H:3,5 Mlx.h	1 jwv in 10j:365 d/j @ 150 lx	1 jwv in 10j:290 d/j @ 150 lx	
	6	100	20	8100			1 jwv in 50j:167 d/j @ 150 lx	1 jwv in 50j:57 d/j @ 150 lx	
3.Laag gevoelig	7	300	50	20.000	E:200 lx	E:200 lx	1 jwv:1.500.000 h @ 200 lx	1 jwv:250.000 h @ 200 lx	permanent 200 lx
	8	1100	120	50.000	H:300 Mlx.h	H:50 Mlx.h	1 jwv in 10j:365 d/j @ 200 lx 1 jwv in 50j:365 d/j @ 200 lx	1 jwv in 10j:365 d/j @ 200 lx 1 jwv in 50j:365 d/j @ 200 lx	
4.Niet gevoelig	>8	>1100	>12	>50.000	E: aangepast aan omgeving H: geen eis UV: geen eis	E: aangepast aan omgeving H: geen eis UV: geen eis			permanent aangepast aan omgeving

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: berekend voor spectrum van Atlas Xenotest, UV-energie in het gebied 300-400 nm
 e: $Mlx\ h = 1$ miljoen lux uur
 f: <10 µW.lm⁻¹

g: hanteer deze waarden voor gloeilamp niveau (75 µW.lm⁻¹)
 h: 1 dag is 8 uur belichting
 i: gebaseerd op 1 jwv in 10 jaar
 k: 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:

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

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:

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

$$\frac{35000\ h}{8\ h\ per\ dag} = 4375\ dag$$

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

(waarna 38 in het donker)

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

(bijvoorbeeld 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 belicht worden met:

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

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

Voor rekenmodel zie www.icn.nl

Referenties

- 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'; in *Preprints of the 13th ICOM-CC Triennial Meeting Rio de Janeiro*, ICOM-CC, pp. 3-8.
- Boyce, P.R.** (1987) '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.
- Centraal Laboratorium (CL)** (1997) 'Een kleurrijk verleden'; verslag van de 25ste CL-Themadag, Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap, Amsterdam, 92 pp. (richtlijnen pp. 84-87)
- CIBSE** (1994) 'Lighting for museums and art galleries'; The Chartered Institution of Building Services Engineers, London, 56 pp.
- Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)** (1924) 'standaard-ooggevoeligheidskromme'
- Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)** (2004) 'Control of damage to museum objects by optical radiation'; Technical Report CIE 157:2004, Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, 29 pp.
- Crawford, B.H.** (1973) 'Just perceptible colour differences in relation to level of illumination'; *Studies in Conservation*, 18:159-166.
- Cuttle, C.** (1996) 'Damage to museum objects due to light exposure'; *Lighting Research and Technology*, 28(1):1-9.
- Cuttle, C.** (2000) 'A proposal to reduce the exposure to light of museum objects without reducing illuminance or the level of visual satisfaction of museum visitors'; *Journal of the American Institute of Conservation*, 39:229-244.
- Cuttle, C.** (2003) *Lighting by design*; Architectural Press, Oxford, 214 pp.
- Derbyshire, A. and Ashley-Smith, J.** (1999) 'A proposed practical lighting policy for works of art on paper at the V&A'; in *Preprints of the 12th ICOM-CC Triennial Meeting Lyon*, ICOM-CC, pp. 38-41.
- Feller, R.L.** (1964) 'The deteriorating effects of light on museum objects'; *Museum*, 17(2):57-98.
- Harrison, L.S.** (1953) 'Report on the deteriorating effects of modern light sources'; The Metropolitan Museum of Art, New York, 20 pp.
- Harrison, L.S.** (1954) 'An investigation of the damage hazard in spectral energy'; *Illuminating Engineering*, 49:253-257.
- Hilbert, G.S., Aydinly, S. und Krochman, J.** (1991) 'Zur Beleuchtung musealer Exponate'; *Restauro*, 5:313-321.
- IES** (1996) 'Museum and Art Gallery Lighting: A Recommended practice'; Illuminating Engineering Society of North America, New York, 91 pp.
- ISO** (1995) 'ISO 105-Bo8:1995: Textiles – Tests for colour fastness – Part Bo8 Quality control of blue wool reference materials 1 to 7'; International Organisation for Standardization, Geneva.
- Krochmann, J.** (1988) 'Beleuchtung von lichtempfindlichen Ausstellungsstücken'; *Restauro*, 3:227-234.
- Loe, D.L., Rowlands, E., and Watson, N.F.** (1982) 'Preferred lighting conditions for the display of oil and watercolour paintings'; *Lighting Research and Technology*, 14(4):173-192.
- Michalski, S.** (1997) 'Artifacts and lighting: visibility vs. vulnerability'; Table version 3.1, CCI, Ottawa.
- Michalski, S.** (1990) 'Towards specific lighting guidelines'; in *Preprints of the 9th ICOM-CC Triennial Meeting Dresden*, ICOM-CC, pp. 583-588.
- Michalski, S.** (1987) '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.
- Neevel, J.G.** (1995) 'UV-Belastung durch Elektronenblitze und Kopiergeräte'; *Restauro*, 101(2):98-101.
- NSVV** 'Praktijkdocument museumverlichting', NSVV, Arnhem, in voorbereiding.
- Rijksarchiefdienst** (2001) Regeling 'Bouw en inrichting van archiefruimtes en archiefbewaarplaatsen'; Nationaal Archief, Den Haag, 51 pp.
- Saunders, D. and Kirby, J.** (1994) 'Wavelength-dependent fading of artists' pigments'; in *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, International Institute for Conservation (IIC), London, pp. 190-194.
- Thomson, G.** (1961) 'A new look at colour rendering, level of illumination, and protection from ultraviolet radiation in museum lighting'; *Studies in Conservation*, 6:49-70.
- Thomson, G.** (1986) *The museum environment*, 2nd edition; Butterworth, London.
- Visser, R.** (1992) 'Verlichting en interieur', Dekker/v. d. Bos & Partners bv, Amersfoort, 215 pp.

ICN-Informatie
Nummer 13, mei 2005
Verschijnt onregelmatig

Redactiesecretariaat ICN
Postbus 76709
1070 KA Amsterdam
T 020 305 445 45

Druk Mart.Spruijt bv

Issn 1566-760x

I N S T I T U U T
I N S T I T U U T
C O L L E C T I E
N E D E R L A N D

Eerder verschenen nummers van *ICN-Informatie* (*alleen digitaal op www.icn.nl):

1. Inktvraat*
2. vervangen door *ICN-Kwaliteitseisen voor archieven, bibliotheken en musea**
3. Het nummeren met schrijf stiften van museumvoorwerpen*
4. De steekproef als hulpmiddel bij collectiebeheer
5. Faciliteitenrapport*
6. Natuurrubber*
7. The solar tent*
8. Omgaan met objecten in tuinen en parken*
9. Het bewaren van fotografisch materiaal
10. Spreken is zilver...
11. Zorg voor textiele objecten met glazen kralen
12. De microklimaatdoos

Deze publicatie is tot stand gekomen in samenwerking met het Landelijk Contact Museumconsulenten.

© 2005 Instituut Collectie Nederland (ICN). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande toestemming van het ICN. Het ICN kan niet verantwoordelijk worden gesteld voor schade veroorzaakt door het toepassen van de beschreven methoden en/of materialen.