

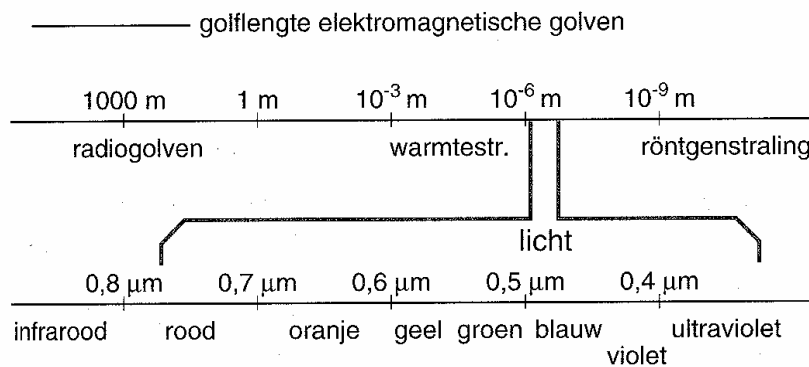
Licht, basisbegrippen, normen en eisen ten aanzien van verlichting

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. A.C. van der Linden

1 Inleiding, basisbegrippen

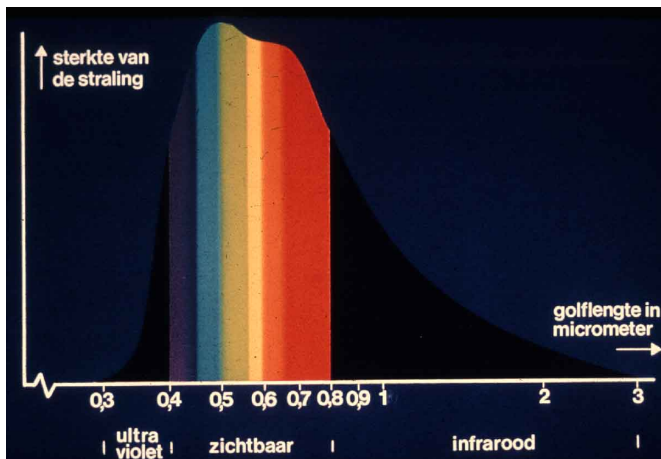
Licht speelt een zeer belangrijke rol in de architectuur. Door invallend zonlicht, door gerichte lampen (museum) ontstaat een levendig beeld. Meer indirect licht geeft een rustiger sfeer. Daarnaast is een goede verlichting van ruimten van belang voor de taken die er moeten worden uitgevoerd. Echter, dat betekent meer dan alleen maar “voldoende” licht. Er moet onder andere ook aandacht worden besteed aan zaken als kleurweergave, helderheidsverschillen en verblinding. Hierna worden vooral alle in dit kader relevante “meetbare” aspecten van licht besproken.



figuur 1. golflengte en eigenschappen van elektromagnetische straling

In het domein van de natuurkunde is licht een elektromagnetische straling, evenals de warmtestraling die men voelt als men een hand voor een warme radiator houdt. Ook radiogolven aan de ene kant en röntgen- en radioactieve straling aan de andere kant behoren tot hetzelfde natuurkundige verschijnsel. Het verschil zit in de golflengte (zie figuur 1). De voortplantingssnelheid is voor al deze golven gelijk, namelijk $0,3 \cdot 10^9$ m/s ofwel 300.000 km/s. Van het gehele spectrum van elektromagnetische straling is ons oog alleen gevoelig voor golflengten van 0,38 tot 0,78 μm ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$). Dit zijn ook de golflengten die het sterkst vertegenwoordigd zijn in het stralingsspectrum van de zon (zie figuur 2). In de loop van de evolutie is het menselijk oog uiteraard hierop afgestemd.

Vanaf de kortste golflengte (0,38 μm) tot de langste (0,78 μm) zijn alle kleuren van de regenboog vertegenwoordigd: violet, blauw, groen, geel, oranje en rood. Buiten het zichtbare gebied treft men nog het ultraviolet (bruin worden) en het infrarood (kortgolvlige warmtestraling) aan.



figuur 2. spectrale verdeling van de zonnestraling

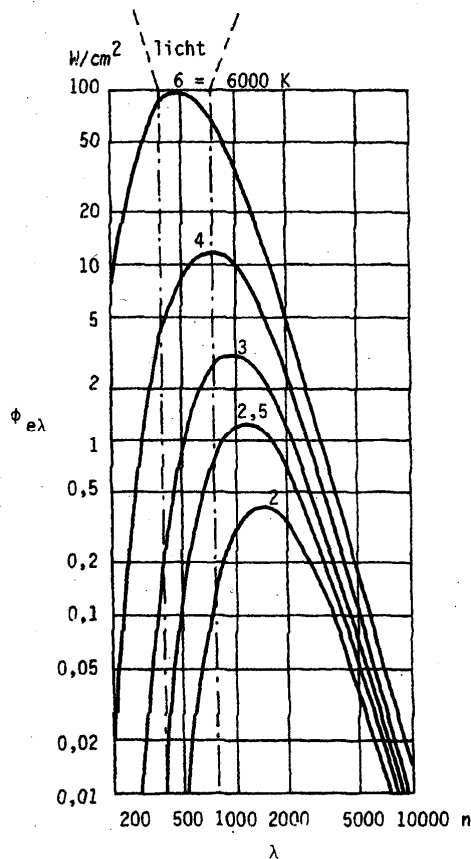
2 Kleur en kleurtemperatuur

Bij verschillende golflengten horen verschillende kleuren (zie figuren 1 en 2). Alle kleuren tezamen, zoals in zonlicht, worden ervaren als wit. Dit geldt ook voor het licht van bijvoorbeeld gloeilampen. Men ervaart echter het zonlicht over het algemeen als witter dan het lamplicht. Dit hangt af van de mate waarin de verschillende golflengten in het spectrum vertegenwoordigd zijn. Gloeilampen zijn, evenals de zon, temperatuurstralers. Bij lage temperaturen (radiatoren) wordt uitsluitend warmtestraling uitgezonden. Bij hogere temperaturen komt daar infrarood, zichtbaar licht en zelfs ultraviolet bij (zie figuur 3).



figuur 3. voorbeeld van een temperatuurstraler: pot gesmolten brons; de buitenkant van de pot heeft een lagere temperatuur dan het brons boven de pot

Bij de temperatuur van het oppervlak van de zon (gemiddeld circa 5750 K) ligt de top van de straling midden in het gebied van het zichtbare licht. Bij lagere temperaturen verschuift de top naar de langere golflengten, het rode gebied, en wordt het licht "geler" van kleur. Bij gloeilampen (2700-2900 K) ligt de top van de stralingskromme overigens buiten het zichtbare gebied in het infrarode gebied (zie figuur 4).



figuur 4. golflengte en sterkte van de uitgezonden straling afhankelijk van de temperatuur

De stralingstemperatuur is een maat voor de "sfeer" van het witte licht. Fluorescentielampen (TL-buizen) zijn geen temperatuurstralers en hebben daarom ook vaak een spectrum dat heel anders van vorm is dan dat van bijvoorbeeld een gloeilamp. Moderne fluorescentielampen met een hoge lichtopbrengst hebben een spectrum dat bestaat uit een aantal banden (drie of meer), die gezamenlijk toch als wit licht worden ervaren. Ook voor deze lichtbronnen gebruikt men een (fictieve) stralingstemperatuur om de kleur van het licht aan te duiden. Men spreekt dan van de toegevoegde kleurtemperatuur. Bij de temperaturen passen de volgende benamingen van de lichtkleur: <3300 K warm wit, 3300-5000 K wit, >5000 K koel wit.

De toegevoegde kleurtemperatuur wordt bepaald door het licht van de te onderzoeken lamp te vergelijken met het licht van een zwarte straler. De temperatuur waarbij de lichtkleur van de zwarte straler het meest overeenkomt met de lichtkleur van de te onderzoeken lamp, noemt men de "toegevoegde" kleurtemperatuur.

De kleurtemperatuur zegt echter nog niets over de kwaliteit van de kleurweergave bij het licht van de beschouwde lamp. Immers, een voorwerp met een bepaalde kleur wordt alleen maar met die kleur gezien als in het erop vallende licht die kleur ook voldoende is vertegenwoordigd. Verschillende fluorescentielampen kunnen bij eenzelfde toegevoegde kleurtemperatuur een verschillend spectrum, en derhalve een andere kleurweergave hebben.

3 Kleurweergave-index

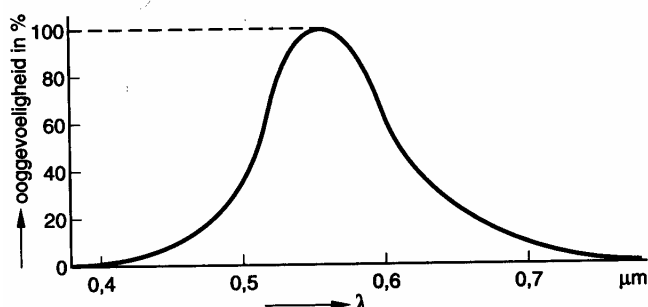
Om de kleurweergave te kunnen beschrijven, is de kleurweergave-index R_a ingevoerd. Deze index geeft aan in welke mate de kleurindruk van een aantal monsters, onder het licht van de te onderzoeken lichtbron, overeenstemt met de kleurindruk van dezelfde monsters onder het licht van een referentiebron onder nauwkeurig omschreven omstandigheden. Voor lichtbronnen met een (toegevoegde) kleurtemperatuur <5000 K is de referentie lichtbron een zwarte straler bij dezelfde temperatuur als de (toegevoegde) kleurtemperatuur van de te onderzoeken lichtbron. Boven 5000 K moet een referentielichtbron worden gebruikt met een spectrale energieverdeling die overeenkomt met het C.I.E. standaard daglicht D (C.I.E. = Commission Internationale de l'Eclairage).

De algemene kleurweergave-index wordt bepaald door de mate van kleurverschuiving zoals die optreedt bij een achttal proefkleuren. Deze algemene index kan worden aangevuld met de kleurverschuiving van nog zes andere kleurmonsters, waarbij van één of meer van de in totaal 14 monsters eventueel nog de individuele kleurweergave-index kan worden gegeven. Als de kleurweergave-index van twee lichtbronnen overeenstemt, maar de toegevoegde kleurtemperatuur niet, kan de kleurweergave op zich wel verschillen. Bij het vergelijken van twee lichtbronnen moet men dus altijd beide grootheden in beschouwing nemen.

De maximale waarde van de kleurweergave-index is $R_a = 100$. Deze wordt gevonden als er in het geheel geen kleurverschuiving optreedt. De kleurweergave-index van gloeilampen benadert dikwijls het maximum; immers, het zijn temperatuurstralers. Ook met fluorescentielampen zijn zeer hoge waarden haalbaar. Vroeger ging dat ten koste van het rendement, maar met zogenaamde "drie-band" lampen is men erin geslaagd een heel redelijke kleurweergave te bereiken bij een hoog rendement.

4 Grootheden; maten voor de hoeveelheid licht en de verlichting van vlakken

Wanneer men praat over verlichting is men geïnteresseerd in de hoeveelheid zichtbaar licht, niet in de straling die buiten het zichtbare gebied ligt. Echter, omdat het oog niet voor iedere golflengte even gevoelig is, kan men niet volstaan met rechtstreeks de hoeveelheid energie binnen het golflengtegebied van het zichtbare licht te meten. Overigens, de ooggevoeligheid is niet alleen afhankelijk van de golflengte maar ook van de sterkte van het licht. Voor het gebied waarmee men in de bouwfysica te maken heeft, wordt de relatieve ooggevoeligheid weergegeven in figuur 5. Het blijkt dat het oog voor licht met een golflengte van $0,555$ m (geel-groen) maximaal gevoelig is.



figuur 5. gevoeligheid van het menselijk oog bij verschillende golflengten van licht bij gemiddelde omstandigheden in de gebouwde omgeving

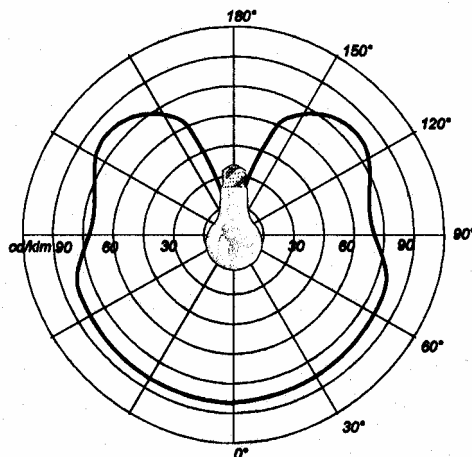
4.1 lichtstroom, lumen (lm)

De grootheden waarin licht wordt gemeten, zijn oorspronkelijk vastgelegd op basis van een visuele helderheidsvergelijking. Hierbij liet men licht vallen op een referentievlak. De verlichtingssterkte van een bekende lichtbron werd gevarieerd (door verandering van de afstand of door filteren) totdat dezelfde helderheidsindruk ontstond als bij de te meten lichtbron. Hierbij werd als standaard lichtbron onder andere een kaars van bepaalde grootte en samenstelling gebruikt. De standaard kaars - gezien als puntbron met een lichtsterkte van een candela - verlichtte een vlak op een meter afstand met een verlichtingssterkte van een lux. Later zijn de verlichtingsgrootheden afgeleid uit de energiestroom die het licht (de elektromagnetische straling) vertegenwoordigt. Naast de lichtsterkte (candela, cd) en de verlichtingssterkte (lux) is daarom ook de lichtstroom ten tonele gevoerd. Onder de lichtstroom verstaat men dat deel van de totale uitgestraalde elektromagnetische straling, dat een menselijk oog als licht ervaart, rekening houdend met de hiervoor gegeven ooggevoeligheid. De lichtstroom wordt uitgedrukt in lumen (lm).

4.2 Lichtsterkte, candela (cd)

De lichtsterkte geeft aan hoe groot de lichtstroom is die in een bepaalde richting wordt uitgestraald. Daarvoor wordt een denkbeeldige bol met een straal van één meter om de (punt)bron aangenomen. Een complete bol beslaat een ruimtehoek van 4π steradianen (sr), een achtsde bol, of andere al dan niet regelmatig gevormde bundel die dezelfde ruimtehoek beslaat is $0,5 \pi$ steradianen groot.

Als voorbeeld wordt in figuur 6 het lichtsterktediagram van een gloeilamp gegeven. Dit diagram is genormeerd op 1000 lm. Als de lamp in alle richtingen evenveel licht zou uitstralen, zou de lichtsterkte in alle richtingen $1000/4\pi = 80 \text{ lm/sr} = 80 \text{ cd}$ bedragen.



figuur 6. polair lichtsterktediagram van een gloeilamp, genormeerd op een totale lichtstroom van 1000 lm

Ook bestaan er lichtsterktediagrammen van armaturen (met daarin een bepaald type lamp). Daaruit kan men bepalen welk soort armatuur voor een bepaald doel het meest geschikt is (algemene verlichting, brede bundel, voorwerp verlichten (spot), smalle bundel, enzovoort). Stel dat de 1000 lm van het voorbeeld in figuur 6 door gebruikmaking van een spiegeloptiek of dergelijke wordt uitgestraald in een ruimtehoek, overeenkomend met 1/8-bolsegment. In dat geval wordt de lichtsterkte achtmaal zo hoog: 640 cd in plaats van 80 cd. Hetzelfde geldt voor de verlichtingssterkte op een vlak op zekere afstand van de lichtbron.

4.3 Verlichtingssterkte, lux

De verlichtingssterkte is de belangrijkste grootheid als het gaat om het uitvoeren van de "oogtaak". De verlichtingssterkte geeft aan hoeveel lumen er op een m^2 valt. De eenheid van verlichtingssterkte is daarom eigenlijk $lumen/m^2$, maar deze heeft de eigen naam "lux" gekregen.

4.4 Helderheid en luminantie

Een fel verlicht vlak heeft een grote helderheid. De natuurkundige grootheid die dit beschrijft heet "luminantie". Bij het beschrijven van de lichtsterkte werd uitgegaan van een puntbron. Echter, in werkelijkheid heeft een lichtbron altijd zekere afmetingen. Als al het licht door een relatief klein vlak wordt uitgestraald, is dit veel helderder dan bij een groot oppervlak. De luminantie is in feite de lichtsterkte per oppervlakte-eenheid en wordt uitgedrukt in cd/m^2 .

4.5 Verlichtingssterkte versus luminantie; reflectie

Wat wij waarnemen, is altijd de luminantie van een oppervlak en niet de verlichtingssterkte. We zien alleen het licht dat wordt uitgestraald (lamp, hemelkoepel) of dat wordt gereflecteerd (bureaublad, binnenwanden, gebouwen, bomen). Een goed verlichte zwarte wand blijft donker. Een wand met een zekere kleur reflecteert alleen het "gele" gedeelte van het witte licht. Als er groen licht op een rode wand valt, wordt er niets gereflecteerd. De wand blijft donker.

Voor het beschrijven van de mate van reflectie wordt de reflectiefactor (r) gebruikt. Deze geeft de verhouding aan van de gereflecteerde lichtstroom tot de opvallende lichtstroom. De meeste oppervlakken geven een diffuse reflectie. Dat betekent, dat de luminantie in alle richtingen even groot is. De helderheid van het vlak blijft gelijk, onafhankelijk van de hoek waaronder het vlak wordt gezien. Lichte vlakken (wit pleisterwerk) hebben een reflectiefactor $r = 0,70-0,80$. Als ze oud (en vuil) worden, loopt dit terug tot $r = 0,30-0,60$. Voor baksteen gelden waarden van $r = 0,10-0,30$ (nieuw) en $r = 0,05-0,15$ (oud). Beton zit daar tussenin. Voor een effectieve binnenverlichting zijn lichte kleuren in het interieur aan te bevelen.

5 Eisen te stellen aan binnenverlichting

Voor binnenverlichting van verblijfsruimten zijn er geen rechtstreekse wettelijke eisen in het Bouwbesluit. In het Bouwbesluit wordt alleen wat geregeld voor de daglichttoetreding, maar dit gebeurt in de vorm van een minimaal vereiste daglichtopening in de gevel. Voor arbeidsplaatsen staan dit soort eisen in het Arbobesluit (uitvoeringsbesluit van de Arbowet).

Voor arbeidsplaatsen zegt de wet wel wat over binnenverlichting (Arbobesluit artikel 6.3: Daglicht en kunstlicht):

1. arbeidsplaatsen en de directe toegang daartoe zijn gedurende de aanwezigheid van de werknemers door daglicht, door kunstlicht of door beide voldoende en doelmatig verlicht;
2. het kunstlicht is zodanig aangebracht dat gevaar voor ongevallen is voorkomen;
3. de voor kunstlicht gebruikte kleur mag de waarneming van veiligheids- en gezondheidssignalering niet wijzigen of beïnvloeden.

Deze doelbepalingen worden in de "Beleidsregels arbowetgeving" nader uitgewerkt. Arbeidsplaatsen en de directe toegangen daartoe zijn gedurende de aanwezigheid van de

werknemers voldoende en doelmatig verlicht door daglicht, door kunstlicht of beide, indien is voldaan aan de Nederlandse norm NEN 3087:1997 “Visuele ergonomie in relatie tot verlichting – Principes en toepassingen”.

Met deze norm en de achterliggende regelgeving als basis worden hier globale richtlijnen gegeven zoals die ook door de Rijksgebouwendienst worden gehanteerd (zie www.Rijksgebouwendienst.nl: publicatie Bouwfysische kwaliteit Rijkshuisvesting / september 1999, te downloaden als pdf). Deze publicatie verwijst voor concreet toe te passen verlichtingssterktes naar de norm NEN 1890:1991 “Binnenverlichting – functionele eisen”. De benodigde verlichtingssterkte hangt af van de “kritische detailgrootte” van de oogtaak. Dat betekent, hoe kleiner de zaken zijn die moeten worden waargenomen, des te hoger is de benodigde lichtsterkte. Een globale indeling (uit NEN 3087) is gegeven in tabel 1. Tabel 2 toont het verder uitgewerkte overzicht van de NEN 1890. Deze verlichtingssterkten worden algemeen aangehouden bij het ontwerpen van verlichtingsinstallaties.

Naast de verlichtingssterkte is ook de verhouding van luminanties binnen het gezichtsveld van belang. De verschillen mogen niet te groot zijn, anders weet het oog niet waarop het zich moet instellen. Voor de verhouding van de luminantie van de oogtaak (papier op bureau) wordt over het algemeen aangehouden : directe omgeving (bureaublad) : verdere omgeving (vertrekkomwandingen) van 10 : 3 : 1. Luminantieverhoudingen groter dan 10 leiden tot overmatige vermoeidheid en verlies aan waarneming.

Heldere lichtbronnen binnen het gezichtsveld kunnen ook grote problemen veroorzaken. Afhankelijk van de hoek waaronder ze gezien worden ten opzichte van de normale kijkrichting worden in NEN 1890 ook grenswaarden voor de luminantie gegeven. Moderne (kantoor)verlichtingsarmaturen zijn over het algemeen echter uitstekend afgeschermd. Echter, het is zaak hier goed op te letten bij het kiezen van de armaturen.

standaardverlichtingssterkte	toepassing
10 lx tot 200 lx	<i>Oriëntatieverlichting.</i> Verlichting in ruimten die niet of slechts kortdurend als werkruimte worden gebruikt en waar de visuele taak niet moeilijk is. In het algemeen zal plaatselijk een aanvullende werkverlichting nodig zijn voor het lezen van drukwerk of taken met een vergelijkbare detailgrootte.
200 lx tot 800 lx	<i>Werkverlichting.</i> Verlichting in ruimten die geregeld als werkruimte worden gebruikt. De meeste visuele taken kunnen worden verricht in dit gebied van verlichtingssterkten. De hoge niveaus binnen dit gebied dienen te worden toegepast, waar men direct zicht heeft op een binnenruimte met een hogere verlichtingssterkte of in dieper gelegen delen van de ruimte van waar men direct zicht heeft op de hoge lichtniveaus nabij het raam. Ook combinaties van kleine details en zwakke contrasten kunnen vooral ten behoeve van ouderen er toe leiden dat een hoog verlichtingsniveau binnen deze klasse moet worden gekozen.
800 lx tot 3000 lx	<i>Speciale werkverlichting.</i> Verlichting, die als plaatselijke verlichting wordt toegepast voor speciale taken. Vooral bij het vermijden of opwekken van effecten van glans en/of schaduw, die de zichtbaarheid van de taak beïnvloeden, is het plaatselijk karakter van de verlichting gewenst.

tabel 1. overzicht standaardverlichtingssterkten uit NEN 3087

klasse	aard van de verlichting	sub-klasse	typering van de taak	standaardverlichtingssterkte lx	voorbeelden van taken en/of ruimten
I	oriëntatie-verlichting (geen of slechts incidenteel gebruik van de ruimte als werkruimte)	a	waarnemen van grote objecten en beweging van personen	50	opslagruimte parkeergarage
		b	waarnemen van zeer grove details en herkenning van personen	100	gang trappehuis
II	werkverlichting (permanent gebruik van de ruimte als werkruimte)	a	waarnemen van grove details	200	grof constructiewerk, smederij, (werk)magazijn
		b	lezen en schrijven en vergelijkbare details en contrasten	400	kantoor, leslokaal
		c	waarnemen van kleinere details en zwakkere contrasten dan bij II b	800	tekenkamer, fijn montagewerk
III	speciale werkverlichting	a	waarnemen van zeer fijne details en zwakke contrasten op donkere achtergrond	1600	precisiewerk, kadastraal tekenwerk, fijn inspectiewerk
		b	waarnemen aan de grens van het gezichtsvermogen	> 3200	microminiaturisatie operatietafel

tabel 2. standaardverlichtingssterkten voor diverse toepassing uit NEN 1890