

Basisboek daglicht, energie en binnen- klimaat

Daglicht



Daglicht

Daglicht wordt al eeuwen gebruikt als primaire lichtbron in interieurs en is al zolang er gebouwen bestaan een impliciet onderdeel van de architectuur. Het vervangt niet alleen elektrisch licht overdag, waardoor er minder energie nodig is voor verlichting, het heeft ook invloed op de koel- en verwarmingsbelasting, wat het een belangrijke factor maakt in een energie-efficiënt ontwerp. Bovendien heeft recent onderzoek aangetoond dat daglicht een groot aantal voordelen biedt voor gezondheid en comfort waardoor het van cruciaal belang is voor de bewoners van het gebouw.

» Daglicht kan niet worden vervangen «

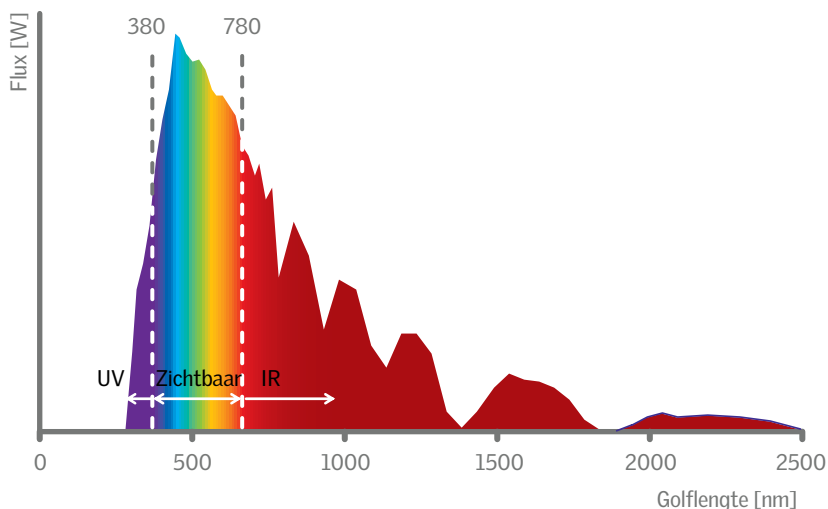
1.1 Daglicht

Daglicht is de combinatie van al het directe en indirecte licht dat overdag van de zon komt. 40% van alle zonne-energie die op aardoppervlak valt is zichtbare straling, de rest bestaat uit ultraviolette (UV) en infrarode (IR) golflengtes, zoals afgebeeld in figuur 1.1.

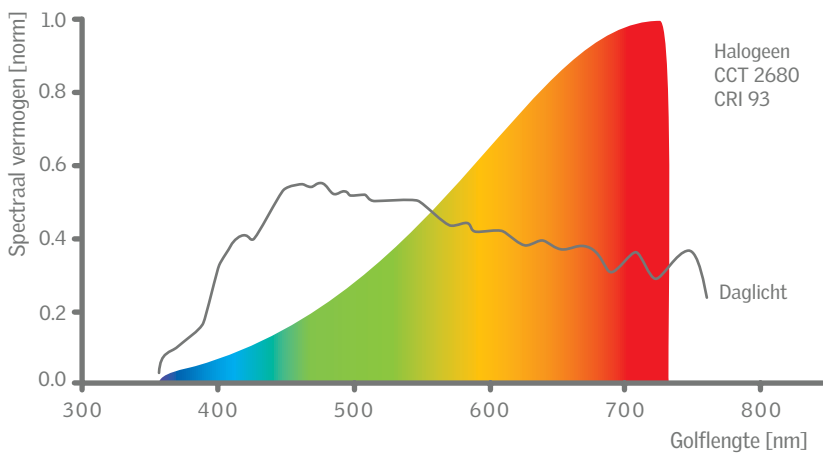
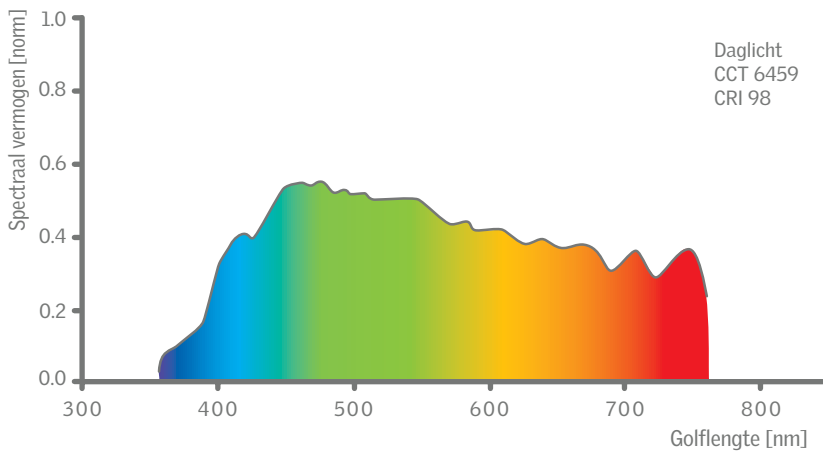
De beschikbaarheid van buitendaglicht verschilt per locatie door de veranderende baan van de zon en omstandigheden aan de hemel gedurende de dag, het seizoen en het jaar. Kort gezegd hangt de hoeveelheid licht op de grond af van de hoogte van de zon; hoe hoger de zon, hoe hoger de verlichtingssterkte

op de grond. De mate van daglicht op horizontale en verticale oppervlakken verschilt aanzienlijk per tijdstip en per seizoen, en houdt direct verband met de plaatselijke baan van de zon en omstandigheden aan de hemel.

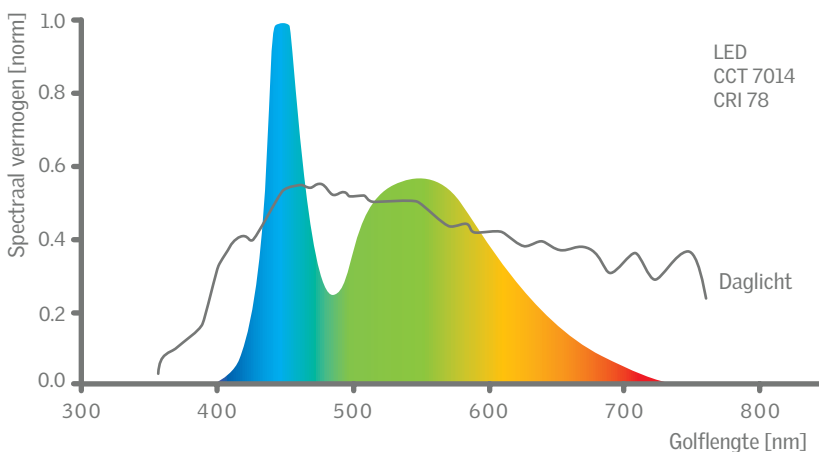
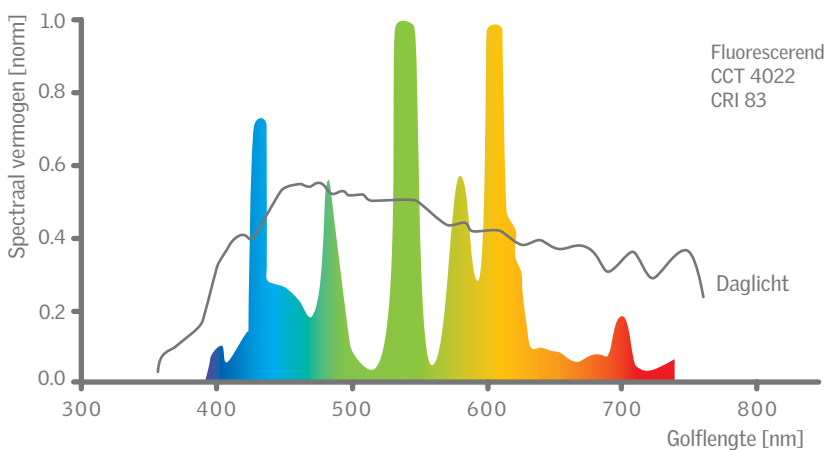
Hoewel er sommige elektrische lichtbronnen zijn die zo kunnen worden gemaakt dat ze sterk op een bepaald daglichtspectrum lijken, zijn er nog geen lichtbronnen die de variatie kunnen imiteren die zich op verschillende tijden, in verschillende seizoenen en onder verschillende weersomstandigheden in het lichtspectrum van daglicht voordoet (Boyce et al., 2003).



Figuur 1.1 Diagram van het elektromagnetische spectrum met de locatie van het zichtbare spectrum.



Figuur 1.2. Spectrale samenstelling van gangbare lichtbronnen: daglicht (pagina 10, boven), halogeenlicht (pagina 10, onder), fluorescerend licht (pagina 11 boven) en LED-licht (pagina 11, onder). Metingen door John Mardaljevic.



ⓘ Vergeet niet:

40% van alle zonne-energie die op aardoppervlak valt is zichtbaar licht, de rest bestaat uit ultraviolette (UV) en infrarode (IR) golflengtes.

Er is geen elektrische lichtbron die de eigenschappen van daglicht kan imiteren.

1.2 Daglichtinval

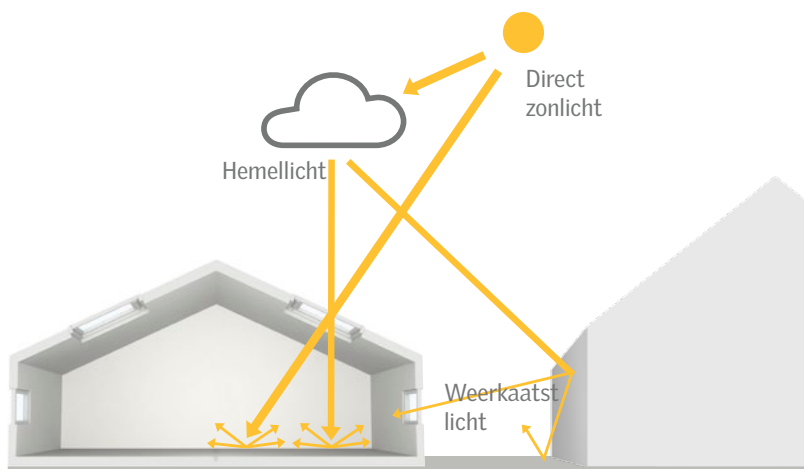
Daglichtinval is het gecontroleerde gebruik van natuurlijk licht in en om gebouwen (Reinhart, 2014). In de praktijk is dat het plaatsen van ramen, of andere transparante en reflecterende oppervlakken, zodat natuurlijk licht op effectieve manier overdag voor verlichting kan zorgen. De daglichtinval moet worden meegenomen in alle stadia van het ontwerpproces van het gebouw, van locatieplanning tot bouwkundige, interieur- en lichtontwerpen, om tot een goed eindresultaat te komen.

Het daglicht in gebouwen is een combinatie van verschillende factoren: direct zonlicht, diffuus hemellicht en licht dat weerkaatst van de grond en andere elementen in de omgeving. Het ontwerp voor daglichtinval dient rekening te houden met de richting, de kenmerken

van de locatie van het gebouw, de voorkant, en het dak, de grootte en plaatsing van de ramen, beglazings- en zonweringssystemen en de vorm en het reflectiecoëfficiënt. Een goede daglichtinval zorgt overdag voor voldoende licht.

Enkele basiskenmerken van buiten-daglicht:

- Direct zonlicht kenmerkt zich door zeer hoge intensiteit en continue beweging. De verlichtingssterkte op het aardoppervlak kan meer zijn dan 100.000 lux. De helderheid van direct zonlicht verschilt per seizoen, tijdstip, locatie en weersomstandigheden. In een zonnig klimaat dient bij het bouwontwerp zorgvuldig rekening gehouden te worden met het toelaten en dimmen van licht, zonwering en weerkaatsing.



Figuur 1.3 De onderdelen van daglicht

» Goede kwaliteit verlichting dient afgestemd te zijn op de gezondheid en andere behoeften van de personen die zich in de ruimte zullen bevinden. «

- Hemellicht kenmerkt zich door zonlicht dat verspreid wordt door de atmosfeer en de wolken, met een zacht, diffuus licht tot gevolg. De verlichtingssterkte van een bewolkte lucht kan in de winter 10.000 lux zijn en 's zomers op een licht bewolkte dag 30.000 lux. In een bewolkt klimaat is diffuus hemellicht vaak de belangrijkste bron van bruikbaar daglicht.
- Weerkaatst licht kenmerkt zich door licht (zonlicht en hemellicht) dat weerkaatst wordt vanaf de grond: van het terrein, de begroeiing, aangrenzende gebouwen, etc. De oppervlakteweerkaatsing van de omgeving heeft invloed op de totale hoeveelheid weerkaatst licht dat de voorkant van het gebouw bereikt. In dichtbebouwde situaties kan het weerkaatste licht van de grond en omgeving een significante bijdrage vormen aan het daglicht.

Het doel van daglichtinval in een ruimte is het afdoende verlichten van visuele taken, het creëren van een visueel

aantrekkelijke omgeving, het besparen van elektrische energie en het voorzien in onze biologische behoeften. Een goed verlichte omgeving is tegelijk comfortabel, aangenaam, relevant en geschikt voor het beoogde gebruik en gebruikers (Lam, 1977).

Daglichtsystemen kunnen heel eenvoudig zijn: van het combineren van raamontwerpen met de juiste interne en externe zonwering (bv. externe zonwering en interne jaloezieën) tot systemen die ontworpen zijn voor het richten van zonlicht naar het gewenste gebied (bv. lichtkoepels). Meer geavanceerde systemen kunnen worden ontworpen om met de zon mee te bewegen of om de richting van het zon- en hemellicht passief te regelen.

Daglichtinval is onlosmakelijk verbonden met de energievraag en binnenklimaat van een gebouw. De grootte en plaatsing van beglazing dient bepaald te worden in combinatie met het totale energieverbruik van het gebouw en de specifieke eisen aan de daglichtinval.

! Vergeet niet:

Het daglicht in gebouwen is een combinatie van verschillende factoren: direct zonlicht, diffuus hemellicht en licht dat weerkaatst van de grond en andere elementen in de omgeving.

Zonlicht is intens en gericht.

Hemellicht is zacht en diffuus.

Weerkaatst licht van de grond is vaak meer dan 15% van het totale daglicht dat de voorkant van een gebouw bereikt.

» Een ruimte verlicht met daglicht gebruikt voornamelijk natuurlijk licht en combineert tevredenheid met de visuele en thermische omgeving van bewoners met een laag totaal energieverbruik voor verlichting, verwarming en koeling «

1.3 Kwaliteit daglichtinval

Het ontwerpen van een goed verlichte omgeving vereist het begrijpen van de functie en capaciteiten van het visuele systeem, inzicht in visuele perceptie, kennis van de basiseigenschappen van licht en andere factoren zoals gezondheidsproblemen (CIE, 2004a-b, LRC, 2003). Hieronder valt ook kennis van ons visuele systeem met betrekking tot het aanpassen van het oog aan de heersende lichtsterkte, spectrale (kleur) kenmerken, de samenstelling van diffuus en direct licht, helderheidscontrast of luminantiegraad etc. Ook valt hieronder kennis van ons circadiaan (niet-visueel) systeem met betrekking tot factoren als de juiste signalen voor licht tijdens de dag en duisternis in de nacht (om een circadiaan ritme te behouden), de intensiteit van het licht en de tijd van de dag waarop het wordt toegepast, alsmede de spectrale eigenschappen.

1.3.1 Visuele behoeften

We hebben bij het ontwerpen van ons werk altijd de focus gelegd op het creëren van lichtomstandigheden die geschikt zijn voor de visuele taken die in een ruimte worden uitgevoerd en die tegelijk passen bij onze individuele behoeften. Er moet zowel rekening gehouden worden met ons centrale zicht (verlichting van een voorwerp) als met ons perifere zicht (verlichting van de omgeving). Ons perifere zicht geeft een indruk van de omgeving waarin we ons bevinden; de afmetingen en vorm

van de ruimte, sfeer, materialen en lichtverdeling. In de ontwerpfase wordt dit ondersteund door de juiste grootte en plaatsing van de ramen om een intelligent evenwicht te krijgen tussen de intensiteit van het licht en de locatie en richting ervan.

Visueel comfort

Het licht in een ruimte mag ons zicht niet hinderen of beperken, zodat we ons altijd eenvoudig kunnen oriënteren en vrijelijk door de kamers en het gebouw kunnen bewegen. Als de verlichting in een ruimte niet geschikt of niet voldoende is, en het lastig maakt om goed te kunnen zien, heeft dat invloed op onze prestaties (het visuele systeem), evenals op onze gezondheid (het circadiaan systeem) en persoonlijk welzijn (het waarnemingssysteem). Dit kan leiden tot onnodig belasten van de ogen en daarmee tot klachten als irritatie van de ogen, vermoeidheid en hoofdpijn. Verlichtingsomstandigheden die deze klachten kunnen veroorzaken zijn lage helderheid en laag contrast, hoge luminantie en knipperingen.

Een goed ontwerp voor daglichtinval biedt grote hoeveelheden licht zonder te verblinden. Een slecht ontwerp daarentegen biedt ofwel niet genoeg licht, zodat er regelmatig elektrische verlichting nodig is, of heel veel licht dat verblindend is ((Boyce et al., 2003). Bovendien bestaat ons dagelijks leven uit diverse visuele taken, waardoor de hoeveelheid licht die nodig is ook varieert.

Het veranderende licht in ons gezichtsveld kan van invloed zijn op visueel comfort en visuele prestaties. Om goed te kunnen zien, is een zekere hoeveelheid gelijkmatig verspreid licht wenselijk. Slecht zicht en visueel ongemak, zoals verblind worden, kan voorkomen als het oog zich te snel moet aanpassen aan een aantal verschillende lichtsterktes.

Te hoog of te laag contrast kan ook leiden tot vermoeidheid, hoofdpijn en ongemak. Hoewel er geen specifieke richtlijnen bestaan voor woonhuizen, wordt algemeen aangenomen dat een luminantie van ongeveer 10:1 geschikt is voor een ontwerp voor daglichtinval. Over het algemeen kan het menselijk oog een grotere luminantie aan in ruimtes die worden verlicht met daglicht dan in ruimtes met kunstlicht.

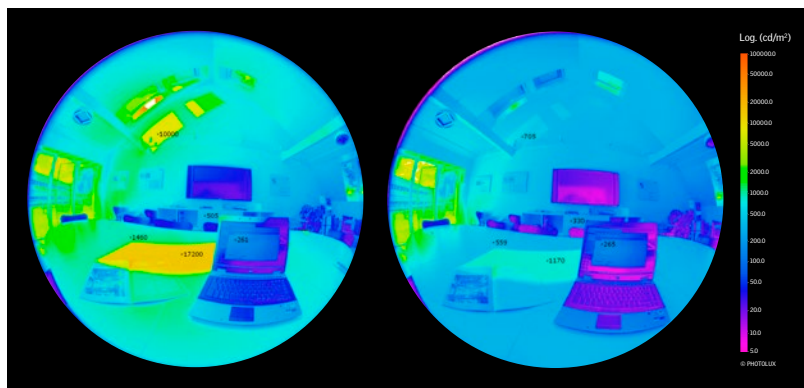
Verblinding kan voorkomen bij een luminantiebereik van meer dan 20:1 tot 40:1 (Rea, 2000). Als het oog wordt verblind, past het zich aan aan het felle licht van de bron, waardoor het lastig wordt om de details in het werkgebied te zien omdat dit nu te donker is. Verblinding door daglicht kan komen vanuit verschillende mogelijke bronnen, zoals de zon, een heldere lucht en wolken en oppervlakken die de zon weerkaatsen.

Er zijn hoofdzakelijk drie soorten verblinding:

- Hinderlijke verblinding: het effect van verspreid licht in het oog, waardoor

zicht en visuele prestaties afnemen. Dit gebeurt als de verblindende bron met hoge luminantie (bv. de zon, of een weerspiegeling daarvan) zich in het gezichtsveld bevindt. In interieurs met daglicht komt het vaak voor dat ongemakkelijke verblinding gemeld wordt voordat de hinderlijke verblinding een probleem wordt.

- Ongemakkelijke verblinding: heeft een vervelend of afleidend, maar niet noodzakelijk hinderlijk, effect. In de meeste gevallen wordt ongemakkelijke verblinding dan ook minder erg gevonden dan hinderlijke verblinding. Ongemakkelijke verblinding binnen wordt beïnvloed door de gehele visuele omgeving, waaronder ramen, weerkaatsingen (in het bijzonder weerspiegelingen), de externe omgeving en/of interne oppervlakken. Ongemakkelijke verblinding kan op termijn bij- of nawerkingen veroorzaken in de vorm van hoofdpijn of vermoeidheid.
- Weerkaatsing of verhullende verblinding: weerkaatsing op een beeldscherm of ander werkmateriaal (bv. papier) verlaagt het contrast tussen achtergrond en voorgrond voor de visuele taak en vermindert zo de leesbaarheid. Weerkaatsing doet zich voor wanneer een bron van fel licht (bv. een raam) zich in het weerkaatste veld of beeld van het scherm bevindt.



Figuur 1.5. Luminantieweergave van een taakplek waar plekken met veel zonlicht verblinding veroorzaken.

Luminantieweergave van een taakplek waar verblinding onder controle is door middel van externe zonwering.

Om verblinding te verminderen, kan zonwering worden gebruikt. Figuur 1.5 hieronder geeft een situatie weer waarin verblinding onder controle is door externe zonwering (zonnekappen). Zonwering zoals jaloezieën, zonnepanelen, lamellen en rolluiken zijn geschikt hiervoor, maar de kenmerken van het specifieke materiaal dienen in de overweging te worden meegenomen. Een verstelbaar of intrekbare apparaat kan apart ingesteld worden, terwijl bij vaststaande apparaten extra zonwering nodig kan zijn om aan de individuele eisen voor bescherming tegen verblinding te voldoen. Met ramen op meerdere plekken, of in het dak, kan de verlichting door daglicht voor visuele taken voldoende worden behouden, evenals het uitzicht naar buiten, in plaats van deze af te dekken met zonwering om mogelijke verblinding te voorkomen.

Beschikbaarheid van daglicht

Het primaire doel van de daglichtinval in gebouwen is over het algemeen het verschaffen van genoeg licht in de kamer en op het werkoppervlak, zodat daglicht overdag de grootste, of enige, (autonome) lichtbron is. Er zijn diverse meeteenheden voor de beschikbaarheid van daglicht voor een taak en/of ruimte, en een belangrijk aspect van daglicht is dat het variabel is: de hoeveelheid licht hangt af van het jaargetijde, het tijdstip en het weer. Daarom zijn meeteenheden voor de beschikbaarheid van daglicht vaak gebaseerd op relatieve waarden, in plaats van absolute. Dit wordt vaak aangeduid met de relatie tussen het licht dat in verschillende posities binnen beschikbaar is en het licht dat buiten beschikbaar is (bv. de daglichtfactor, DF).

» Ons lichaam gebruikt licht op dezelfde manier als voedsel en water, om de stofwisselingsprocessen op gang te houden «

De absolute verlichtingssterkte die nodig is voor een visuele taak hangt af van het soort taak en de visuele omgeving waar deze wordt uitgevoerd. De Chartered Institution of Building Services Engineers, of CIBSE (CIBSE, 2006) raadt bijvoorbeeld het volgende aan met betrekking tot lichtsterkte:

Zie sectie 1.7.1. ➡

- 100 lux voor interieurs waar de visuele taak beweging is, met oppervlakkig zicht zonder details waar te nemen.
- 300 lux voor interieurs waar de visuele taken relatief eenvoudig zijn.
- 500 lux voor interieurs waar de visuele taken relatief lastig zijn en het onderscheiden van kleuren nodig is, bv. kantoren en keukens.
- 1 000 lux voor interieurs waar de visuele taken zeer lastig zijn, en waar kleine details moeten kunnen worden waargenomen.

De vereisten voor daglicht moeten nog concreet worden vastgelegd in verlichtingssterktes, maar er is genoeg bewijs in literatuur dat erop wijst dat verlichtingssterktes tussen 100 en 3000 lux

zeer waarschijnlijk kunnen leiden tot een significante vermindering in het gebruik van elektrische verlichting (Mardaljevic, 2008).

Uitzicht

Het voldoen aan de behoefte tot contact met de buitenwereld is een belangrijk psychologisch aspect dat verband houdt met de daglichtinval (Robbins, 1986). Het verschaffen van daglicht alleen is niet genoeg om te voldoen aan de wens van de gebruiker, die naar buiten wil kijken. Ramen bieden contact met de buitenwereld, verschaffen informatie over oriëntatie, veranderingen in het weer en laten ons zien hoe de tijd gedurende de dag verstrijkt.

Een gelaagd uitzicht met zowel lucht, stad of landschap en grond (Boyce et al., 2003) gaat vermoeiende eentonigheid en een opgesloten gevoel tegen. De grootte en positie van de raamsystemen moet goed afgestemd worden op de ooghoogte van de bewoners van het gebouw.

! Vergeet niet:

Daglicht moet zorgen voor genoeg licht in de ruimte en op het werkoppervlak om overdag de grootste, of zelfs enige, bron van licht te zijn.

In een ruimte die verlicht is met daglicht, kunnen bewoners beter tegen een groter verschil in luminantie dan in een ruimte die kunstmatig verlicht is.

Een variatie in luminantie van 10:1 is geschikt voor een ontwerp voor daglichtinval.

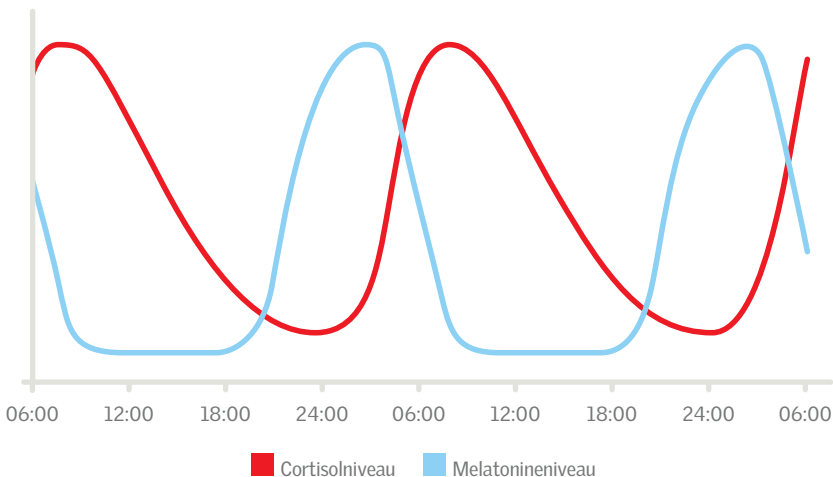
Verblinding kan voorkomen bij een luminantiebereik van meer dan 20:1 tot 40:1.

1.3.2 Niet-visuele effecten van licht

Daglicht heeft op veel verschillende manieren invloed op de mens, die veel verder gaan dan onze behoefte om te kunnen zien. Dit noemen we vaak de niet-visuele effecten van licht. Als we het hebben over gezondheid, evenwicht en fysiologische regulering, bedoelen we daarmee de belangrijkste functies die het lichaam gezond houden: het zenuwstelsel en het hormoonstelsel. Deze belangrijke controlecentra van het lichaam worden direct gestimuleerd en gereguleerd door licht (Edwards en Torcellini, 2002), door een bepaald subtype retinale ganglioncel: de intrinsiek fotosensitieve retinale ganglioncellen (ipRCG). Net als ons visuele systeem zijn deze ganglioncellen gevoelig voor licht.

Circadiaan ritme

Veel aspecten van de fysiologie en het gedrag van mensen worden beheerst door een 24-uursritme dat grote invloed heeft op onze gezondheid en ons welzijn. Het reguleert slaap/waakcycli, alertheid en prestaties, het ritme van de lichaamskerntemperatuur en het aanmaken van de hormonen melatonine en cortisol ((Pechacek et al., 2008). Deze dagelijkse ritmes worden circadiane ritmes genoemd en de regulering ervan hangt in grote mate af van de omgeving waar we in leven. De variatie in hoeveelheid licht, zowel dagelijks als per seizoen, is een cruciale factor in het vinden en behouden van ons dagelijkse 24-uursritme – ons circadiane ritme – dat op zijn beurt weer een sleutelrol speelt in het reguleren van de



Figuur 1.6. Aanmaken van de hormonen melatonine en cortisol (Brainard, 2002).

slaap-waakcyclus. Een verstoorde nachtrust hangt samen met een verminderde cognitieve functie stress, depressies, verminderde sociale interactie, problemen met de spijsvertering, hart- en vaatziekten, een verhoogd risico op infecties en zelfs op kanker. Een juiste mate van licht overdag en duisternis 's nachts is daarom cruciaal voor de belangrijkste aspecten van onze gezondheid (Circadian House, 2013). Het ochtendlicht is bijvoorbeeld het meest belangrijke signaal om onze innerlijke klok gelijk te zetten. Licht in de ochtend maakt ons ook alerter, waardoor we aan het begin van de dag beter kunnen presteren. Het afnemen van licht in de avond stimuleert daarbij juist de slaap voor de nacht. Er zijn andere externe factoren die de tijd aangeven, maar de voor daglicht kenmerkende verandering van licht naar donker, continuïteit en spectrale samenstelling synchroniseren ons circadiaan ritme op voortreffelijke wijze. Het is nu overduidelijk dat daglicht niet alleen belangrijk is om te kunnen zien, maar ook een sleutel-element in het reguleren van een groot aantal gebieden van menselijke gezondheid. Figuur 1.6 geeft de productieritmes van de hormonen melatonine en cortisol weer.

De biologische functie van licht

De reactie van onze biologie op de intensiteit, duur, tijd en het spectrum van licht is zeer complex en varieert behoor-

lijk tussen ons visuele en circadiaan systeem. Al deze kenmerken worden gebruikt als eerste stap op weg naar het voorschrijven van gezonde verlichting in gebouwen (Veitch, 2002). Onvoldoende blootstelling aan licht kan het normale circadiane ritme verstoren en een negatief effect hebben op menselijke prestaties, alertheid, gezondheid en veiligheid. We weten dat we door dagelijkse blootstelling aan buitenlicht ons slaap/waakritme en onze alertheid kunnen reguleren. Maar in werkelijkheid brengen we 90% van onze tijd binnen door (Klepeis, 2001; Leech, 2002; Schweizer, 2007), waar we blootgesteld worden aan relatief weinig licht met een beperkt spectrum, en met een onregelmatig patroon van licht en donker. Er is voorlopig bewijs dat blootstelling aan te weinig licht gerelateerd is aan een verslechtering van gezondheid en lager welzijn en kan leiden tot verminderde slaapkwaliteit, somberheid, gebrek aan energie en slechtere sociale relaties.

Lichtintensiteit

De meeste mensen kunnen werken bij een dagelijkse lichtsterkte van 500 lux, maar een uur lang blootgesteld worden aan 500 lux is mogelijk niet genoeg om het circadiane ritme op gang te brengen (intensiteit). In een onderzoek door Mardaljevic et al. (2012) werd een casus met en zonder dakramen onderzocht om het effect van lichtintensiteit te bepalen. De casus met alleen ramen

» We hebben meer licht nodig op het juiste tijdstip en van het juiste soort. «

aan de voorzijde toont aan dat de mate van lichtintensiteit het grootste is op de gezichtspunten het dichtst bij of in de richting van het raam. De casus met dakramen toonde een grotere intensiteit op alle locaties in de kamer en niet meer uitsluitend op de gezichtspunten in de richting van het raam. Dit illustreert hoe belangrijk het gebruik van daglicht is als belangrijkste bron van licht om het aanmaken van melatonine te onderdrukken, aangezien de lichtsterkte die nodig is rond de 1000 lux zou kunnen liggen, afhankelijk van het spectrum.

Een ander voorbeeld is een onderzoek in San Diego gedurende een gematigde en een zonnige periode, dat aantoonde dat, in wakkere toestand, de gemiddelde persoon 4% van elke 24 uur (gemiddeld 130 minuten) doorbracht in een lichtsterkte boven 1000 lux, en meer dan 50% van de tijd in een lichtsterkte van 0,1 tot 100 lux (Espiritu et al., 1994); de personen die dagelijks het minst werden blootgesteld aan een hoge lichtsterkte (boven 1000 lux) voelden zich het minst opgewekt.

Andere onderzoeken naar blootstelling aan licht tonen een gelijksoortige trend. We weten dat daglicht een veel hogere lichtsterkte kan verschaffen dan elektrische verlichting en in grote mate kan bijdragen aan een grotere dosis licht voor mensen die het grootste gedeelte van hun tijd binnen doorbrengen. Ter ondersteuning hiervan heeft een groot epidemiologisch onderzoek in Finland aangetoond dat mensen die binnen aan

meer licht werden blootgesteld een hogere kwaliteit van leven hadden wat gezondheid betrof.

Duur en tijd

Het visuele systeem reageert op en verwerkt licht in een fractie van een seconde, terwijl de biologische klok daar minuten of uren voor nodig heeft (duur). Dit betekent dat zowel de verlichting voor het oog en de duur van de blootstelling belangrijk zijn voor het effect van het licht op ons circadiaan systeem. Het tijdstip waarop het licht op het netvlies wordt geregistreerd heeft ook duidelijk een verschillend effect op het visuele systeem en circadiane ritme (tijd). Blootstelling aan fel licht in de ochtend kan de biologische klok terugzetten naar een eerder tijdstip ('vroeger opstaan'), terwijl fel licht in de avond de klok juist vooruit zet ('later opstaan'). Dit is, in het kort, het jetlag-syndroom, dat wordt veroorzaakt door een botsing tussen het biologische en het geografische tijdstip. Het visuele systeem reageert hetzelfde, ongeacht hoe laat het is.

Ook moet rekening worden gehouden met specifieke vereisten voor verschillende leeftijdsgroepen. De biologische klok van pubers en jongvolwassenen loopt wat achter en deze hebben dus meer licht nodig in de ochtend (in de slaapkamer, ontbijtkamer, klaslokaal, etc.), terwijl de biologische klok van ouderen juist voor loopt (wat leidt tot 's avonds vroeg in slaap vallen en

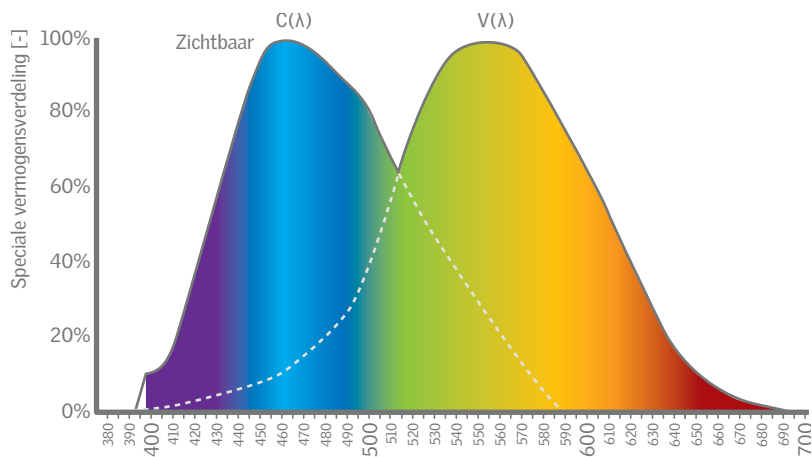
's ochtends vroeg wakker worden) (Wirz-Justice en Fournier, 2010).

Spectrum

Ten opzichte van gangbare elektrische lichtbronnen heeft daglicht de hoogste mate van licht die nodig is voor de biologische functies (Hathaway et al., 1992).

Het licht dat belangrijk is voor ons circadiane ritme ($C(\lambda)$) is niet hetzelfde als het licht dat belangrijk is voor ons visuele systeem ($V(\lambda)$), vanwege de

spectrale verschillen in de lichtgevoeligheid van de individuele fotoreceptorcellen. Het circadiaan systeem ($C(\lambda)$) wordt het meest beïnvloed door de golflengtes tussen 446 en 488 nm, terwijl het visuele systeem ($V(\lambda)$) het meest wordt beïnvloed door een golflengte van ongeveer 555 nm, zoals te zien in figuur 1.7. In de figuren 1.1. en 1.2. die hiervoor werden afgebeeld, is te zien dat de spectrale samenstelling van daglicht veel gevarieerder is op dit gebied van het elektromagnetisch spectrum dan gangbare elektrische lichtbronnen.



Figuur 1.7. De reactie van het circadiaan ($C(\lambda)$) en visueel ($V(\lambda)$) systeem op licht (Pechacek et al., 2008).

! Vergeet niet:

Mensen in een moderne samenleving krijgen dagelijks niet genoeg licht en moeten gedurende langere tijd worden blootgesteld aan hogere lichtsterktes. We moeten dagelijks blootgesteld worden aan licht, vanwege het rijke spectrum van daglicht waar het niet-visuele systeem het meest gevoelig voor is. Gezond licht gaat samen met gezonde duisternis.



Maison Air et Lumière, Frankrijk.

1.4 Voordelen van daglicht

1.4.1 Voordelen voor de mens

We weten dat een juiste mate van licht overdag en duisternis 's nachts cruciaal is voor de belangrijkste aspecten van onze gezondheid. Het ochtendlicht is het meest belangrijke signaal om onze innerlijke klok gelijk te zetten. Licht in de ochtend maakt ons ook alerter, waardoor we aan het begin van de dag beter kunnen presteren. Van halverwege de ochtend tot vroeg in de avond kunnen we dankzij veel daglicht ons slaap/waakritme en mate van alertheid reguleren, terwijl het afnemen van licht in de avond en een donkere kamer met verduistering juist slaap voor de nacht stimuleert. Als het niet mogelijk is om bewoners van een gebouw te voorzien van een goed verlichte totaalomgeving, kan dit gevolgen hebben voor de gezondheid en zware druk leggen op het individu, de samenleving en de bredere economie.

Prestaties en productiviteit

Over het algemeen wordt aangenomen dat helder licht mensen alerter maakt, en ruimtes met veel daglicht worden vaak door bewoners 'beter' gevonden dan schemerige ruimtes (Mardaljevic et al., 2012). Daglichtinval houdt verband met een goed humeur, een verhoogd moreel, minder vermoeidheid en verminderde vermoeidheid van de ogen (Robbins, 1986). Een groot aantal onderzoeken toont aan dat de prestaties en productiviteit van werknemers in een kantoor-, industriële of winkelomgeving verbeterd

kunnen worden met de kwaliteit van het licht. Bedrijven melden een stijging van ongeveer 15% in de productiviteit van hun werknemers na een verhuizing naar een ander gebouw met meer daglicht, wat leidde tot een behoorlijke financiële winst (Edwards and Torcellini, 2002). Een andere onderzoek toont aan dat een hogere tevredenheid met de verlichtingsomstandigheden (zowel daglicht als elektrische verlichting) bijdraagt aan tevredenheid met de omgeving, dat op zijn beurt leidt tot meer werktevredenheid (Veitch et al., 2008). Onderzoek toont ook aan dat omgevingen met daglicht leiden tot effectievere leerprestaties. Leerlingen in het klaslokaal met het grootste raamoppervlak of het meeste daglicht scoorde 7% tot 18% hoger op een gestandaardiseerde toets dan de leerlingen in het klaslokaal met het kleinste raamoppervlak of het minste daglicht.

Voordelen van een hogere dosis licht

We hebben geen bewijs voor 'de dosis licht die nodig is', maar we hebben wel een duidelijke indicatie dat de dosis licht die nodig is hoger is dan de mate van binnenlicht die in standaarden en verordeningen wordt voorgeschreven voor elektrisch licht. Onderzoeken wijzen erop dat mensen zich positiever voelen over het leven bij een hogere dosis (Espirito et al., 1994), terwijl men in sociale interactie na een blootstelling aan meer dan 1000 lux meer bereid was tot samenwerken en minder snel ruzie zocht (Aan het Rot et al., 2008).

» Eisen voor de gezondheid in woongebouwen wijzen erop dat er meer daglicht zou moeten worden gebruikt dan nu het geval is. Dit biedt mogelijkheden tot energiebesparing «



CarbonLight Homes

Tevredenheid van gebruikers

Enkele onderzoeken in woonhuizen tonen aan dat natuurlijk licht het meest belangrijke kenmerk is in een woning. Meer dan 60% van de deelnemers noemde het belangrijk (Finlay, 2012). Een enquête van de Wereldgezondheidsorganisatie in acht Europese steden toonde aan dat personen die vonden dat hun huis onvoldoende natuurlijk licht bevatte, groter risico liepen om depressief te raken of te vallen.

Voordelen van een uitzicht

Het interieur van een gebouw moet zo ontworpen zijn dat het tegemoetkomt aan de menselijke behoefte om verbonden te zijn met de natuurlijke omgeving, door deze zo weinig mogelijk te overschaduw en uitzicht te bieden op de verte (Wirz-Justice, 2010). Een uitzicht op de natuur wordt meer gewaardeerd dan een op door de mens gecreëerde omgeving, en een weids en ver uitzicht heeft de voorkeur boven een krap uitzicht dichtbij. Een divers en dynamisch uitzicht is interessanter dan een eentonig uitzicht. Het uitzicht kan van invloed zijn op de huur- of kostprijs van hotels, huizen en kantoorgebouwen (Kim and Wineman, 2005). Een uitzicht op de natuur kan een positief effect hebben op: het welzijnsgevoel van mensen (Kaplan, 2001); de subjectieve gezondheid (Kaplan, 1993); tevredenheid met de omgeving (Newsham et al., 2009); het humeur (Grinde and Grindal Patil, 2009);

gezondheidsproblemen (Heschong Mahone Group, 2003); werktevredenheid; de revalidatie van operatiepatiënten (Ulrich, 1984); ervaringen die stress veroorzaken (Ulrich et al., 1991); en voorkeur voor een plaats om te zitten (Wang and Boubekri, 2010, 2011). In een onderzoek door Ariës et al. (2010), werd aangetoond dat het uitzicht van een kantoor dat onafhankelijk werd beoordeeld als meer aantrekkelijk, werd gekoppeld aan minder ongemak, en dit effect leidde weer tot een betere nachtrustkwaliteit.

Effect van daglicht in een ziekenhuiskamer

Er is bewijs dat blootstelling aan daglicht de postoperatieve uitkomst van een patiënt kan beïnvloeden en daaruit volgt dat daglicht meegenomen dient te worden in het ontwerpen van een ziekenhuis. Ulrich (1984) gaf aan dat ziekenhuispatiënten met een uitzicht op groen, in tegenstelling tot patiënten met uitzicht op een blinde bakstenen muur, sneller herstelden van hun operatie en minder postoperatieve pijnmedicatie nodig hadden. Beauchemin en Hays (1998) ontdekten dat het sterftecijfer van patiënten aan de zonkant van een hartbewakingsafdeling lager was dan dat van patiënten aan de andere kant. Een andere studie stelde vast dat blootstelling aan zonlicht te maken had met zowel een verbeterde subjectieve beoordeling van de patiënten als met de verminderde pijnmedicatie die gewoonlijk werd toegediend tegen de postoperatieve pijn (Walch et al., 2005). Het belang van de hoeveelheid daglicht in de kamer van een patiënt heeft ook invloed op de lengte van het verblijf van de patiënt: na een bypassoperatie nam de duur van het ziekenhuisverblijf van de patiënt af met 7,3 uur per stijging van de hoeveelheid daglicht van 100 lux (Joarder and Price, 2013).

Voorkomen van een seizoensafhankelijke depressie (SAD)

Een seizoensafhankelijke depressie is een aandoening die gerelateerd is aan de beschikbaarheid van en verandering in buitenlicht in de winter. Rapporten wijzen erop dat 0,4% tot 9,7% van de wereldbevolking mogelijk lijdt aan een SAD, terwijl nog meer dan drie keer zoveel mensen tekenen van deze aandoening vertonen (een zogenaamde subsyndromale SAD, of S-SAD) zonder dat dit gezien wordt als een echte depressie (dit komt voornamelijk voor in Noord-Amerika en Noord-Europa) (Rosen, et al., 1990). Lichttherapie met een blootstellingsniveau aan het oog tussen 2500 lux (2 uur lang) of 10.000 lux (30 minuten) is bewezen effectief gebleken tegen een SAD (Sloane, 2008). Blootstelling aan buitendaglicht (~1000 lux) kan de symptomen van een SAD ook bestrijden (Wirz-Justice et al., 1996). Omdat een seizoensgebonden stemmingsstoornis dus vrij algemeen voorkomt, is de hoeveelheid daglicht in ons huis of op onze werkplek dus uitermate belangrijk – hoewel de effectieve waarde van het daglicht afhangt van het bouwkundige ontwerp van een ruimte en de voorzijde (Pechacek et al., 2008). Lichttherapie kan ook worden gebruikt om andere aan depressie gerelateerde symptomen te behandelen (bv. niet-seizoensafhankelijke depressies, pms of boulimia).

» Mits goed uitgezocht en geïnstalleerd, kan een energie-efficiënte lichtstraat zorgen voor minimale kosten voor verlichting, verwarming en koeling «

1.4.2 Energiebesparing van elektrische verlichting

Een ander voordeel van het gebruik van daglicht om de omgeving en/of taken te verlichten in een ruimte is het besparen van energie omdat er minder elektrische verlichting nodig is. Verschillende onderzoeken in kantoorgebouwen hebben een energiebesparing vastgesteld van 20% tot 60% door het gebruik van daglicht in plaats van elektrische verlichting, maar het is afhankelijk van het controlesysteem van de verlichting hoe goed de daglichtinval is tijdens werkuren en het beoogde gebruik van de ruimte. Als er geen controlesysteem is geïnstalleerd, doet de persoon die een ruimte binnenkomt vaak het elektrische licht aan. Waarom personen de kantoorverlichting precies aan of uit doen is niet altijd duidelijk, maar het is zelfs nog minder duidelijk in een huishoudelijke omgeving, waar de behoefte aan licht vaak afhangt van wat mensen willen en nodig hebben.

Voor ruimtes in niet-woonomgevingen zijn er officieel aanbevolen lichtsterktes bepaald. Deze zijn afhankelijk van het soort ruimte dat verlicht moet worden en functies erbinnen, en zijn gebaseerd op zowel de functionele efficiëntie van de verwachte taken die in de ruimte worden uitgevoerd als het visuele comfort (IEA, 2006). Ook bestaan er vaak richtlijnen en aanbevelingen voor de verlichting in een gemeenschappelijk woongebouw, maar niet voor eengezinswoningen.

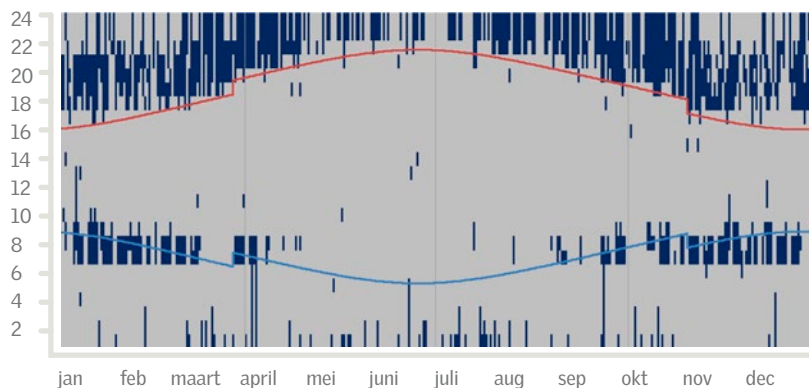
Voor een schatting van de besparingsmogelijkheden in een woonomgeving is een gebruikersprofiel nodig, en modellen om het licht aan en uit te doen. In een onderzoek door Mardaljevic et al. (2012), werd het Franse RT 2005-model gebruikt. Ze analyseerden op acht locaties in Europa de mogelijkheid tot het verschaffen van meer daglicht in een huis met of zonder lichtstraat om energie voor elektrische verlichting te besparen. Het onderzoek toont aan dat meer daglicht naar schatting leidt tot een verminderde noodzaak voor kunstlicht van 16-20%, afhankelijk van de locatie en ligging van het huis.

[Zie sectie 1.6.6.](#) ▶

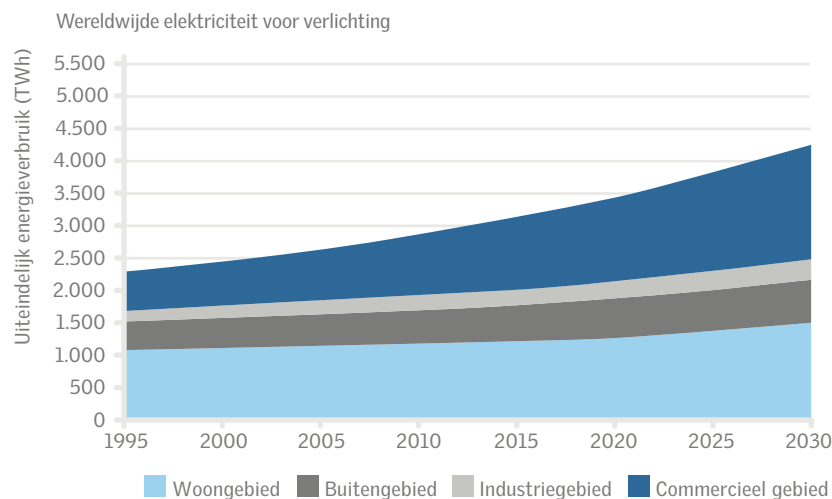
In het LichtAktiv Haus in Duitsland wordt de elektrische verlichting in de keuken sterk beïnvloed door de mate van binnendaglicht: de verlichting wordt meestal aangezet voor zonsopkomsten na zonsondergang. Er is een redelijk verband tussen veel daglicht en hoe waarschijnlijk het is om het licht aan te doen, terwijl het weer buiten en de dag van de week minder invloed heeft (bv. voor een gezin met kinderen).

» Het gebruik van elektriciteit voor kunstlicht is een grote bron van CO₂-kosten voor kantoren: tot 30% van het totaal. Daarom is een goede daglichtinval zo belangrijk in duurzame architectuur «

Elektrisch licht in de keuken



Figuur 1.10 LichtAktiv Haus. Tijdkaart van het gebruik van verlichting in de keuken (2012), met de tijd waarop de zon opkomt (blauw) en ondergaat (rood). Het gebruik van verlichting en de zonsopkomst/ondergang zijn afhankelijk van de plaatselijke tijd, rekening houdend met de zomer/wintertijd.



Figuur 1.11 Het wereldwijd elektriciteitsverbruik voor verlichting gaat naar verwachting omhoog door de huidige sociaal-economische trends en beleidsmaatregelen. De werkelijke groei hangt af van de vraag naar kunstlicht en de efficiëntie van verlichtingstechnologieën. Dit zijn slechts twee van de factoren die van invloed zijn op het verhoogd verbruik (IEA, 2006).

De IEA-publicatie *Light's Labours Lost* stelt dat beleidsplannen om beter gebruik te maken van daglicht meestal de volgende maatregelen implementeren om besparingen uit het gebruik van daglicht te stimuleren:

- Het implementeren van een zomer/wintertijdregeling
- Het aannemen van maatregelen voor daglicht in bouwverordeningen
- Het ondersteunen van R&D de verspreiding van daglichttoepassingen en -technologieën
- Het classificeren en certificeren van ramen

1.4.3 Voordelen voor het milieu

Het toenemend gebruik van natuurlijke bronnen zoals daglicht en lucht in onze gebouwen, door het gebruik van ramen in gevels en daken, kan van invloed zijn op onze afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en bovendien de verbranding van broeikasgassen verminderen.

Verlichting is een van de grootste verbruikers van elektriciteit en een van de grootste oorzaken van energie-gerelateerde uitstoot van broeikasgassen. De hoeveelheid elektriciteit die wordt verbruikt door verlichting is bijna gelijk aan de hoeveelheid die wordt geproduceerd door alle gas-aangedreven centrales en bijna 15% meer dan de hoeveelheid die wordt geproduceerd door water- of kerncentrales. Voor binnenverlichting in gebouwen in de tertiaire sector wordt de meeste energie voor elektrische verlichting gebruikt, bijna net zoveel als in woonhuizen en industriële gebouwen samen. Gemiddeld genomen wordt 34% van het totale energieverbruik in de tertiaire sector gebruikt voor verlichting, terwijl daar in woonhuizen in OESO-landen 14% van het verbruik voor wordt gebruikt. In landen die geen lid zijn van de OESO zijn deze percentages vaak hoger. (IEA, 2006)

Vergeet niet:

Een omgeving met daglicht zorgt voor betere (leer)prestaties en productiviteit. Lichttherapie met een blootstellingsniveau aan het oog tussen 2500 lux (2 uur lang) en 10.000 lux (30 minuten) is bewezen effectief gebleken tegen een SAD en andere depressie-gerelateerde klachten.

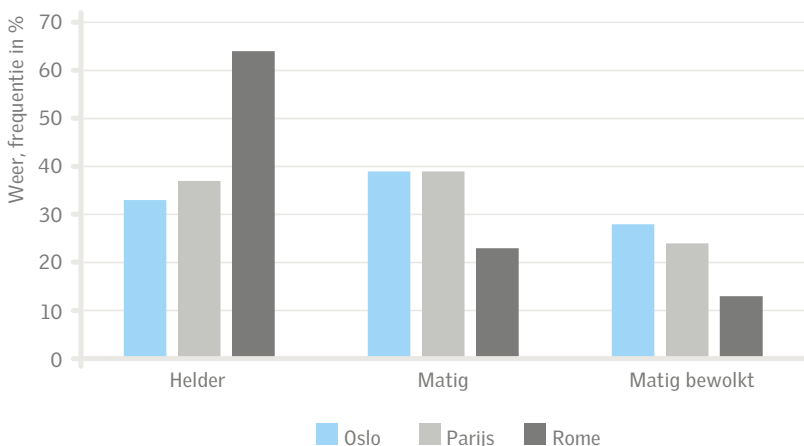
1.5 Factoren van invloed op de prestatie van de daglichtinval

1.5.1 Klimaat

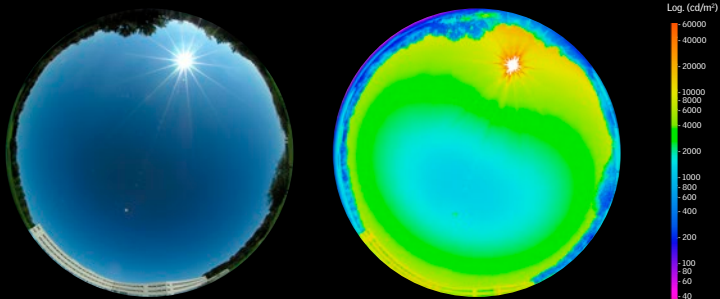
De heersende klimaatomstandigheden op de locatie van een gebouw bepalen de eerste vereisten voor het ontwerp voor de daglichtinval met betrekking tot de beschikbaarheid van zonlicht, visueel comfort, thermisch comfort en energieprestaties. In Figuur 1.13 t/m 1.15 wordt het effect van klimaatomstandigheden op de hemellichtverdeling en -intensiteit

Voorbeeld

De grafiek hieronder geeft een overzicht van de maandelijkse hemelomstandigheden op drie plaatsen in Europa: Rome, Parijs en Oslo. De cumulatieve gegevens van de beschikbaarheid van daglicht binnen werkuren tonen aan dat voor 60-80% van de werkuren een horizontale lichtsterkte van 10.000 lux beschikbaar kan zijn, en voor 30% van de werkuren een lichtsterkte van 20.000 lux. De totale lichtsterkte (luminantie van zonlicht plus hemellicht) verschilt daarentegen sterk per breedtegraad. In Oslo komt in 35% van de werkuren een totale lichtsterkte van meer dan 30.000 lux voor, maar in Rome is dat 65% van de werkuren.

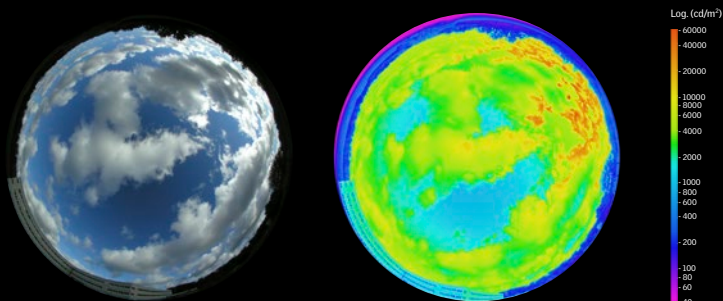


Figuur 1.12 Weerfrequentie in % in drie verschillende Europese steden.



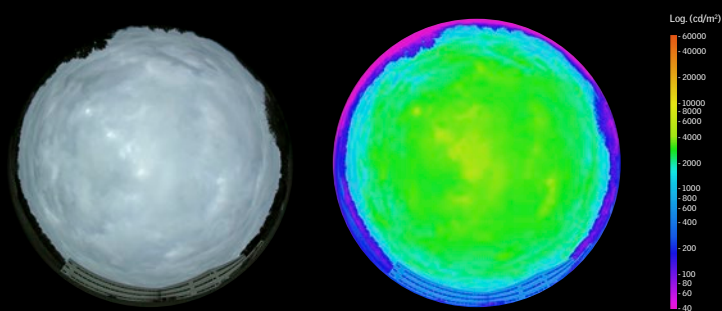
1) Figuur 1.13 Luminantie van een heldere, zonnige hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een heldere hemel. De luminantie van een heldere hemel is aan de

horizon bijna tien keer hoger dan op het hoogste punt. Naast de hemelluminantie is er ook de luminantie van de zon. De zon is een dynamische lichtbron met zeer hoge intensiteit.



2) Figuur 1.14 Luminantie van een matig heldere hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een matig heldere hemel. In dit specifieke geval wordt de zonnenergie door de wolken verspreid, wat zorgt

voor een minder abrupte overgang van de zeer intense luminantie van de zon en de luminantie van de hemel. Het is te zien dat de wolken (verlicht door de zon) een hogere luminantiewaarde hebben dan de hemel.



3) Figuur 1.15 Luminantie van een bewolkte hemel. De afbeelding hierboven toont de luminantieverdeling van een bewolkte hemel.

Als de hemel volledig bewolkt is, is de hemelluminantie in alle richtingen hetzelfde, en is deze in het zenit ongeveer drie keer hoger dan aan de horizon.

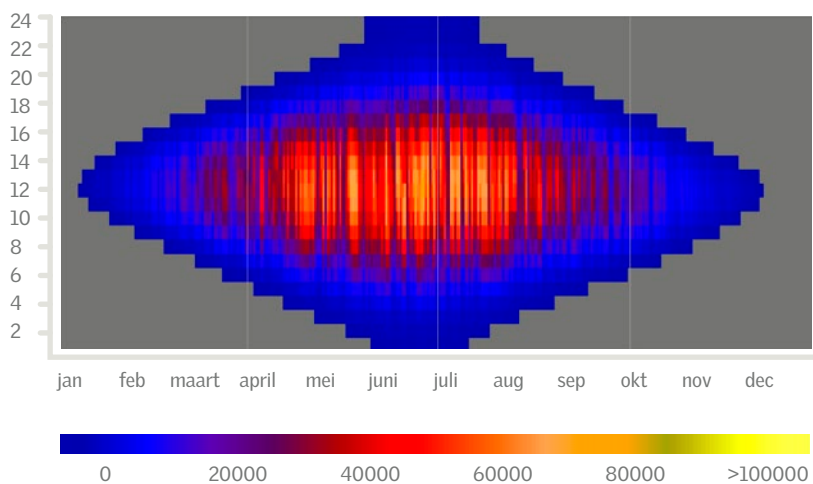
1.5.2 Breedtegraad

De breedtegraad van de locatie van een gebouw bepaalt de zonnehoogte gedurende de dag en het jaar. De hoogte van de zon in de zomer en winter op een bepaalde locatie is een belangrijke ontwerpfactor voor de regulering van directe zonnestraling. De breedtegraad bepaalt ook de lengte van de dag en de beschikbaarheid van zonlicht in verschillende seizoenen van het jaar. De maximale en minimale zonnehoogte zijn afhankelijk van de

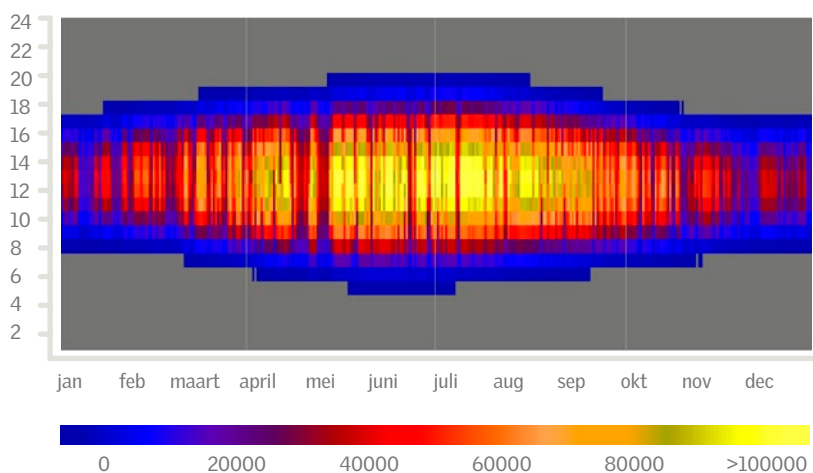
breedtegraad van de locatie: het verschil tussen zomer en winter wordt groter naarmate de breedtegraad ten noorden of zuiden van de evenaar hoger is. Figuur 1.16 geeft het verschil in de buitenlichtsterkte weer op plaatsen in het noorden en zuiden van Europa.

De grootste piek in totale lichtsterkte vindt plaats in de zomer (op het noordelijk halfrond), wanneer de zon op het hoogste punt staat, en is bijna 2,5 keer zo hoog als de laagste piek in de winter, wanneer de zon op het laagste punt staat.

Totale lichtsterkte in Kiruna, Zweden (67.85°N)



Totale lichtsterkte in Rome, Italië (41.90°N)

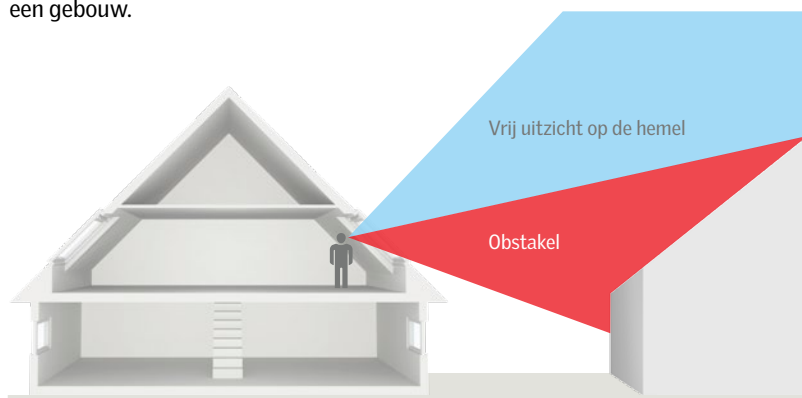


Figuur 1.16 Totale lichtsterkte in plaatsen in het noorden en zuiden van Europa.

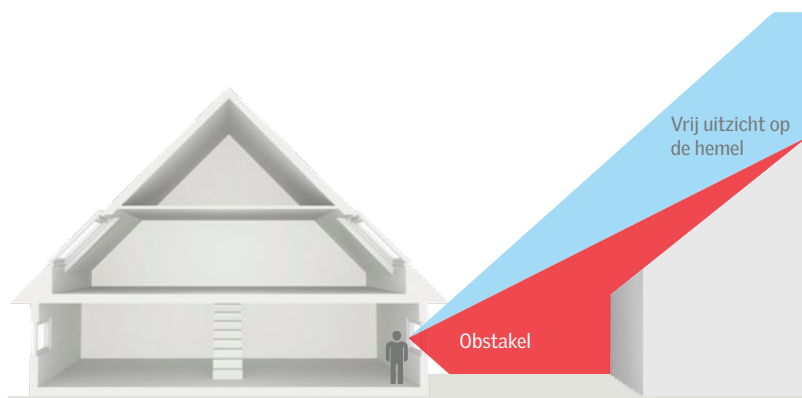
1.5.3 Obstakels en weerspiegelingen op locatie

Weerkaatsingen en belemmeringen van omringende objecten die zich buiten op de locatie van het gebouw bevinden (andere gebouwen, begroeiing, grondoppervlak, etc.) zijn van invloed op de hoeveelheid daglicht binnen in een gebouw.

Dakramen en lichtstraten hebben over het algemeen minder last van hinder door zand en hebben een groter uitzicht op de hemel dan verticale ramen, zoals te zien op Figuur 1.17 en 1.18.



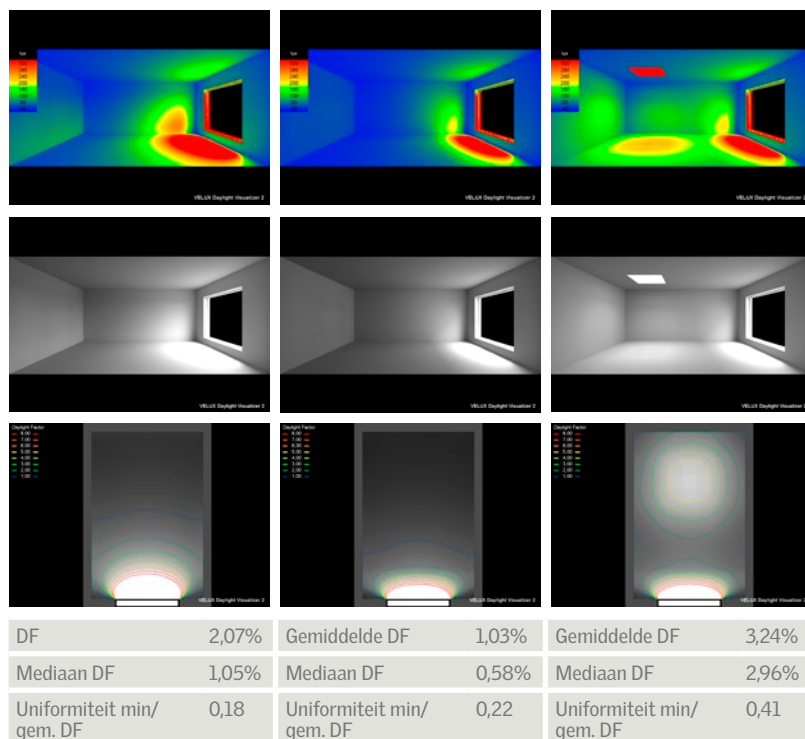
Figuur 1.17 Samenstelling van het uitzicht met dakraam



Figuur 1.17 Samenstelling van het uitzicht met verticale raam

Voorbeeld

Deze afbeelding geeft het effect weer van een obstakel op het daglicht in een eenvoudige kamer met een verticaal raam, en het effect van een toegevoegd plat-dakraam om het daglicht verder in de kamer te laten vallen. Het resultaat toont aan dat een obstakel grote invloed kan hebben op de hoeveelheid daglicht binnen in een gebouw, en hoe het plaatsen van een raam op het dak met vrij zicht voor veel meer daglicht kan zorgen.



Figuur 1.19 Vergelijking van daglicht in een kamer zonder (links) en met externe obstakels (midden en rechts)

1.5.4 Bouwontwerp

Vorm

De vorm van een gebouw heeft invloed op de mogelijkheid tot het verschaffen van genoeg daglicht in het interieur. In een diep gebouw is een daglichtinval met alleen verticale ramen maar beperkt mogelijk. Hoe veel glas er ook in het front geplaatst is, de daglichtverdeling is slechts voldoende ($DF > 2\%$) binnen een paar meter van het front, zoals te zien in figuren 1.20 en 1.21.

Maatregelen als lichtplanken en weerskaatsende plafonds kunnen zorgen dat het licht van het front iets wordt verdeeld, maar deze oplossingen zorgen vaak voor visueel ongemak. De meest effectieve manier om daglicht dieper in een gebouw te laten vallen is door gebruik te maken van licht op het dak met producten als dakramen en lichtspots van VELUX.

Voorbeeld: daglicht in een diep gebouw

In de simulaties hieronder wordt weergegeven hoe het daglicht valt in een diepe kamer met drie verschillende raamsamenstellingen.

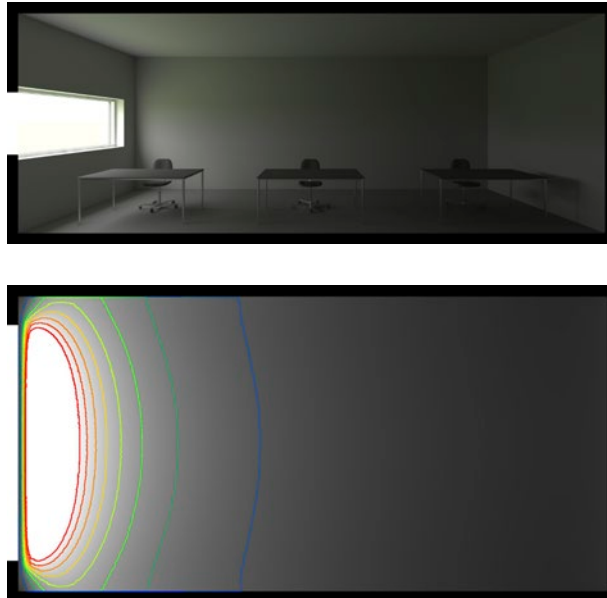
Afmetingen van de kamer: 8 m (d) x 4 m (b) x 3 m (h)

Zichtbare transmissie venster (τ_v): 0.78

Oppervlakteweerskaatsing: 0,5 (vloer), 0,66 (muur), 0,90 (plafond)

1) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 10% (alleen verticale raam).

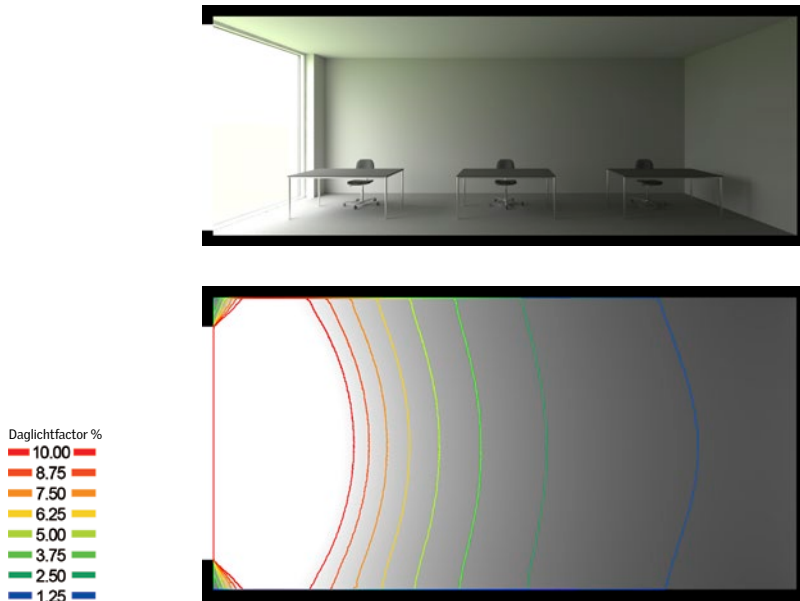
Het resultaat van scenario 1 toont aan dat een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 10% slechts binnen een paar meter van het front een DF van 2% bereikt, en dat de lichtsterkte achter in de kamer zeer laag blijft. Hoewel de gemiddelde DF van de kamer gelijk is aan 1,9%, heeft slechts een klein deel van het werkoppervlak een waarde van meer dan 2% en is slechts een van de drie werkplekken echt verlicht met daglicht.



Figuur 1.20 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 1.

2) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 30% (alleen verticale raam).

Het resultaat van scenario 2 toont aan dat een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 30% leidt tot een DF van 2% tot ongeveer 4,5 meter van het front. De gemiddelde DF is gelijk aan 5,1%, maar is zeer niet-uniform en niet gelijkmatig verdeeld over het werkoppervlak. De waarden bij het raam zijn zeer hoog, en die achterin de kamer zeer laag, wat zeer waarschijnlijk leidt tot visueel ongemak en verblinding. In dit scenario zijn twee van de drie de werkplekken goed verlicht met daglicht.

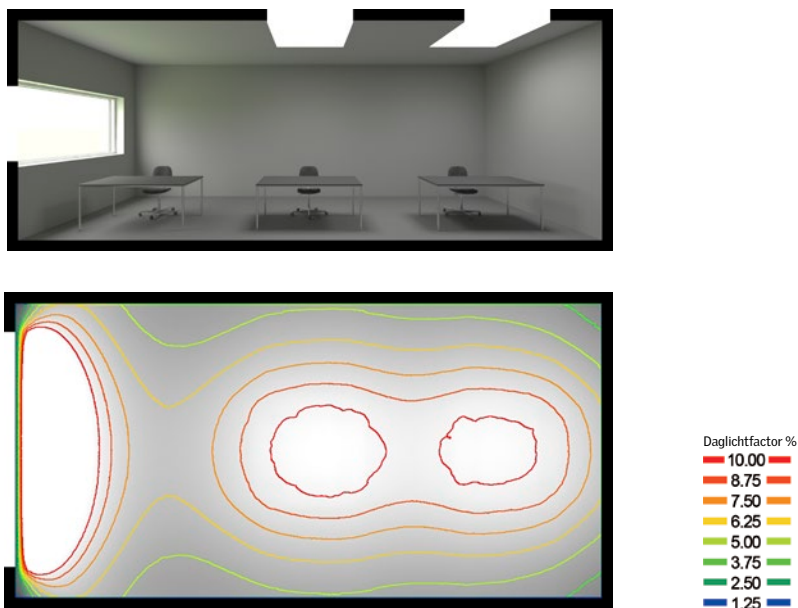


Figuur 1.21 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 2.

3) Situatie met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 20% (11% verticale raam + 9% dakraam).

Het resultaat van scenario 3 toont aan dat een combinatie van front- en dakramen met een ratio van beglazing tot vloeroppervlak van 20% een hoge en bruikbare DF oplevert op het gehele werkoppervlak, met een gemiddelde DF van 6,4%. Het resultaat geeft aan dat het gebruik van dakramen zorgt voor beter daglicht en een goed verlichtte omgeving waar weinig verblinding en visueel ongemak optreedt. In dit scenario zijn alle drie de werkplekken goed verlicht met daglicht.

Simulaties uitgevoerd met de VELUX Daylight visualizer. In scenario 3 zijn CVP VELUX dakramen gebruikt.

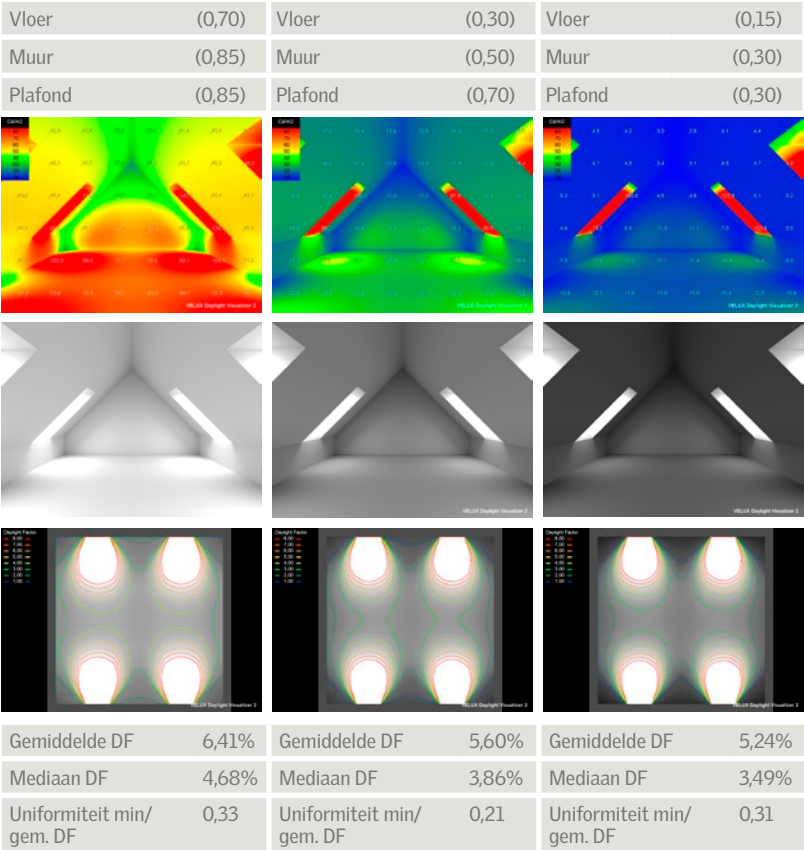


Figuur 1.22 Luminantie en daglichtfactorsimulatie van scenario 3.

Eigenschappen van het materiaal

De kleur en weerkaatsing van oppervlakken in de ruimte zijn onderdeel van het verlichtingssysteem. Donkere oppervlakken weerkaatsen minder licht dan lichte oppervlakken, en het resultaat is waarschijnlijk een onbevredigend verlichte omgeving met

weinig indirect of weerkaatst licht. Lichte verticale oppervlakken in de ruimte hebben over het algemeen de voorkeur boven donkere, maar zonwering om zonlicht te reguleren moeten juist gemaakt zijn van donker materiaal om het risico op verblinding te verkleinen (bv. grijze zonneschermen).



Figuur 1.23 Een luminantiesimulatie toont het effect van oppervlakteweerkaatsing op de hoeveelheid daglicht.

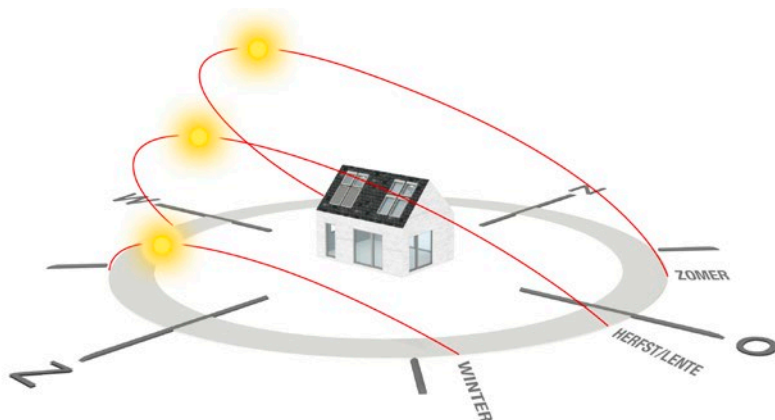
1.5.5 Ramen en lichtstraten

Richting

De richting van de ramen is van invloed op de beschikbaarheid en de kwaliteit van daglicht in het interieur. Op het noordelijk halfrond bestaat het licht uit noordelijke richting vaak uit diffuus hemellicht, wat zorgt voor een functioneel en aangenaam licht dat gedurende de dag vrij stabiel blijft.

Licht uit het zuiden, oosten en westen zorgt vaak voor direct zonlicht in het interieur, dat gedurende de dag sterk varieert vanwege de zon die zijn baan om de aarde trekt.

Dakramen en lichtstraten in licht hellende daken en platte daken krijgen vaak direct zonlicht.



Figuur 1.24 Een diagram dat de baan van de zon weergeeft tijdens de winterzonnewende (kortste dag), de equinox (dag en nacht bijna even lang) en de zomerzonnewende (langste dag).

Afmetingen van de beglazing

De hoeveelheid daglicht die in een kamer valt, houdt verband met het totale beglazingsoppervlak van de ramen in die ruimte.

Transmissie van beglazing

De hoeveelheid daglicht die door een venster valt neemt af naarmate er meer lagen in het glas zitten. Een vuistregel is dat dubbele beglazing (zonder coating) ongeveer 80% van het licht doorlaat, terwijl driedubbele beglazing (zonder coating) ongeveer 70% van het licht binnenlaat (ten opzichte van een open raam). Gekleurd of geccoat glas kan de zichtbare transmissie van een venster zelfs terugbrengen tot 20% en grote invloed hebben op de spectrale kwaliteit van het doorgelaten licht, evenals het waarnemen van kleuren van oppervlakken in het interieur.

ⓘ **Vergeet niet:**

Een vuistregel is dat dubbele beglazing ongeveer 80% van het licht doorlaat, en driedubbele beglazing ongeveer 70% van het licht binnenlaat.

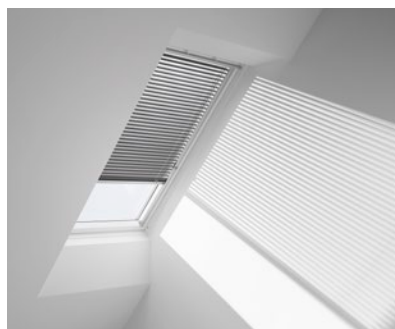
Gekleurd of geccoat glas kan de zichtbare transmissie van een raam zelfs terugbrengen tot 20%.

» Het is onmogelijk om het daglicht in gebouwen te 'optimaliseren' met alleen statische beglazing, omdat de intensiteit van daglicht sterk varieert «

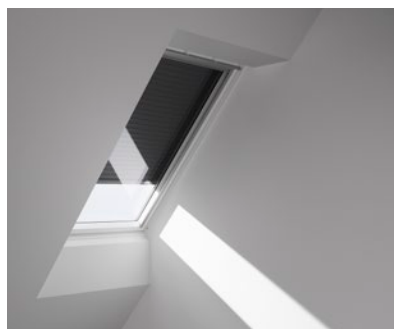
Zonwering

Zonwering en zonneschermen zijn net zo belangrijk voor een goede daglichtinval als het raam zelf. Plisségordijnen en jaloezieën kunnen worden gebruikt om de hoeveelheid daglicht in een ruimte aan te passen en om de luminantie van ramen te verminderen om verblinding tegen te gaan. Jaloezieën kunnen ook worden gebruikt om het licht in een

kamer een andere richting te geven. De meest effectieve oplossing om directe zonnestraling in het gebouw te voorkomen is het gebruik van externe zonwering. Voorbeelden van externe zonwering zijn rolluiken en zonneschermen. Een donkergrijs scherm (VELUX zonnescherm 5060) vermindert de lichtsterkte en luminantie zodanig dat het risico op verblinding wordt voorkomen.



Binnenzonwering, jaloezieën



Buitenzonwering, rolluik



Binnenzonwering, plisségordijn



Buitenzonwering, zonnescherm

Figuur 1.25 Verschillende zonweringen

Positie

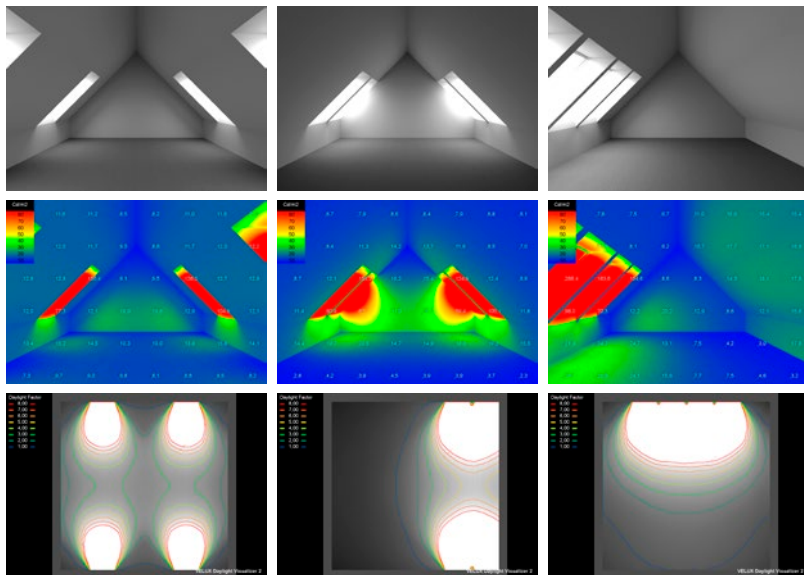
De positie van de ramen heeft invloed op de verdeling van daglicht in de kamer en bepaalt de hoeveelheid 'bruikbaar' daglicht. Bij het bepalen van de positie van een raam moet ook rekening worden gehouden met het uitzicht op de omgeving en de ooghoogte van de bewoners.

Kozijnen

De vorm en diepte van een raamkozijn is van invloed op de hoeveelheid daglicht die in een kamer valt, en kan worden gebruikt om de overgang van de hoge luminantie van het raam naar de oppervlakken in de kamer geleidelijker te laten verlopen.

Voorbeeld

Op de afbeelding hieronder wordt het effect weergegeven van verschillende raamposities in een zolder met vier dakramen. Het resultaat toont aan dat de gemiddelde DF-waarde in de kamer varieert, maar niet zo sterk als de mediaan van de DF-waarden, die een beter beeld geven van de bruikbare hoeveelheid daglicht in de kamer. Ook is het opvallend hoe de plaatsing van ramen invloed heeft op de uniformiteit van daglicht in de kamer, en het is verstandig om hier rekening mee te houden in het ontwerpen van het gebouw en de raamindeling.



Gemiddelde DF	5,63%	Gemiddelde DF	4,45%	Gemiddelde DF	5,88%
Mediaan DF	3,88%	Mediaan DF	1,60%	Mediaan DF	2,94%
Uniformiteit min/ gem. DF	0,22	Uniformiteit min/ gem. DF	0,06	Uniformiteit min/ gem. DF	0,14

1.5.6 Lichtspots

Richting

Richting is een cruciale factor in de prestaties van de lichtspot. Deze producten zijn bedoeld om intens zonlicht te transporteren en het te verstrooien tot bruikbaar daglicht voor gebieden achter in een gebouw, waar geen raam nodig is maar wel daglicht gewenst is. Lichtspots moeten zo gericht worden dat ze maximaal zijn blootgesteld aan direct zonlicht.

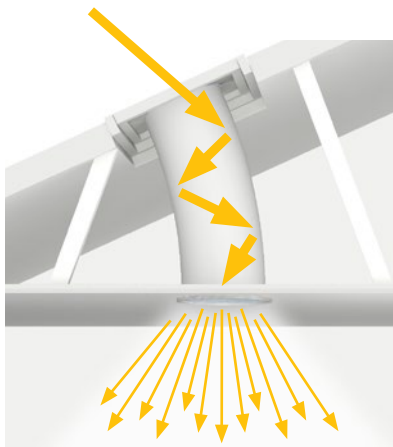
Lengte en opstelling

De lengte van een lichtspot is van invloed op het aantal interreflecties dat nodig is zodat het zonlicht de kamer kan bereiken. Hoewel korte lichtspots

zorgen voor meer licht, kan zonlicht door het zeer reflecterende metaal dat er in gebruikt wordt efficiënt tot 6 meter ver worden getransporteerd. Harde lichtspots zorgen voor meer licht dan flexibele spots.

Transmissie van de verdeler

De transmissie en optische eigenschappen van de verdeler zijn zowel van invloed op de hoeveelheid licht als de verdeling ervan door lichtspots. Zoals blijkt uit de naam, wordt het directe zonlicht dat in de lichtspot valt door de verdeler gelijkmatig verdeeld voor een goede verspreiding van daglicht in de kamer.



Figuur 1.26 Diagram dat weergeeft hoe zonlicht in een lichtspot getransporteerd wordt.

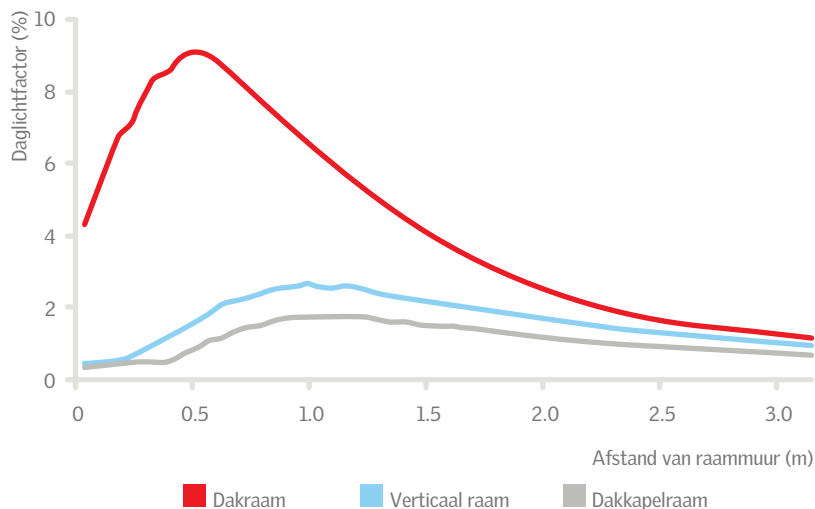
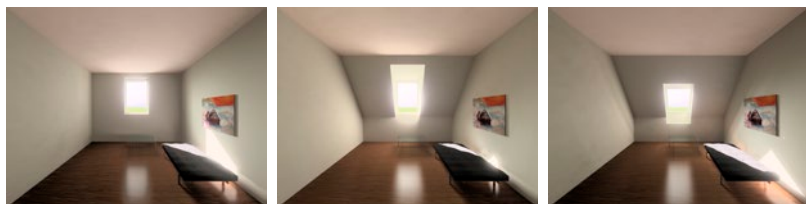
» Dakramen en lichtstraten bieden veel meer licht dan verticale en dakkapellen «

1.6 Daglicht met dakramen, dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten

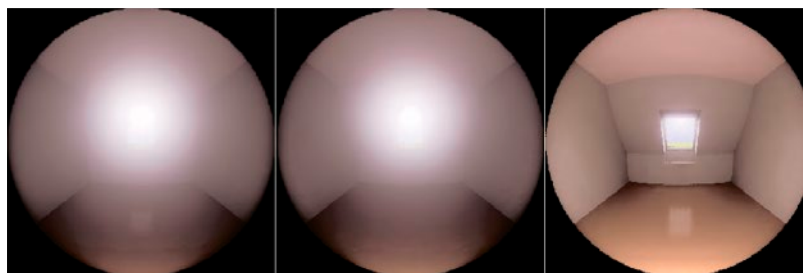
1.6.1 Invloed van configuraties met drie ramen op de daglichtomstandigheden

Het is aangetoond dat, onder vergelijkbare omstandigheden, dakramen zorgen voor minstens twee keer zoveel licht als

verticale ramen en drie keer zoveel licht als dakkapellen die even groot zijn. Zie Figuur 1.27. Het dakraam biedt ook meer variatie in de hoeveelheid licht, wat de kamer visueel interessanter maakt (Johnsen et al., 2006).



Figuur 1.27 Vergelijking van de daglichtfactor over de diepte van de kamer.



Verticaal

Dakkapel

Dak

Figuur 1.28 Vissenogweergave van een zicht op een muur met een raam rond het middaguur op een zonnige decemberdag. De afbeeldingen laten zien dat het zonlicht in alle drie gevallen direct in het gezichtsveld valt. Door het dakraam lijkt het zonlicht echter minder verblinding te veroorzaken.

Naast het bieden van meer daglicht, is ook aangetoond dat dakramen zorgen voor een hogere muurluminantie dan verticale ramen en dakkapellen, wat leidt tot een gelijkmatiger overgang van de hoge luminantie van het raam

en de naastgelegen muur, waardoor het risico op verblinding minder wordt. De afbeelding hierboven geeft het verschil weer tussen de waargenomen verblinding van een verticale raam, dakkapel en dakraam.



Solhuset kleuterschool

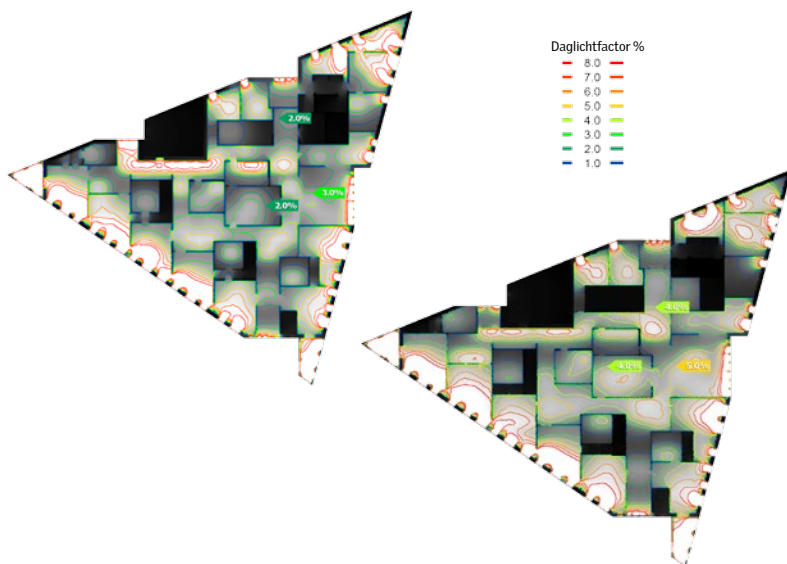
1.6.2 Effect van dakramen in de kleuterschool Solhuset

Architectenbureau Christensen & Co Architects (CCO) heeft daglichtfactor-simulaties gebruikt om het daglicht in dit kleuterschoolproject te bepalen en optimaliseren.

De daglichtfactorsimulatie liet zien dat het licht op sommige plekken in het gebouw niet voldoende was, zoals in de gymzaal in het middelste deel van het gebouw en eetzaal die op het oosten lag (bv. een DF van 5% in plaats van 2%). Daarentegen liet de simulatie ook

veel licht zien op bepaalde plekken dat kon worden gebruikt om het daglicht in het hele gebouw te optimaliseren.

Volgens de architect is de positie en het ontwerp van de raamkozijnen in het uiteindelijke ontwerp geperfectioneerd voor optimaal daglicht in alle belangrijke plekken in het gebouw en voor het stimuleren van een betere oplossing voor de constructie van het plafond. De daglichtfactorsimulatie in het uiteindelijke ontwerp, zoals weergegeven in de afbeelding hieronder, laat een sterke verbetering zien ten opzichte van het resultaat van het oorspronkelijke ontwerp.



Figuur 1.30 Daglichtfactorsimulatie in het oorspronkelijke ontwerp (links) en het uiteindelijke ontwerp (rechts) van de Solhuset kleuterschool.

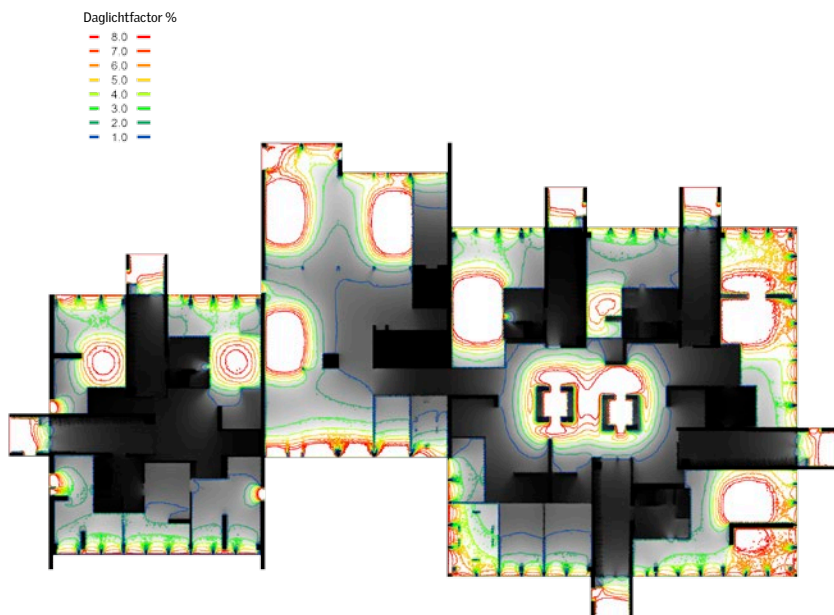


Drømmebakken kleuterschool

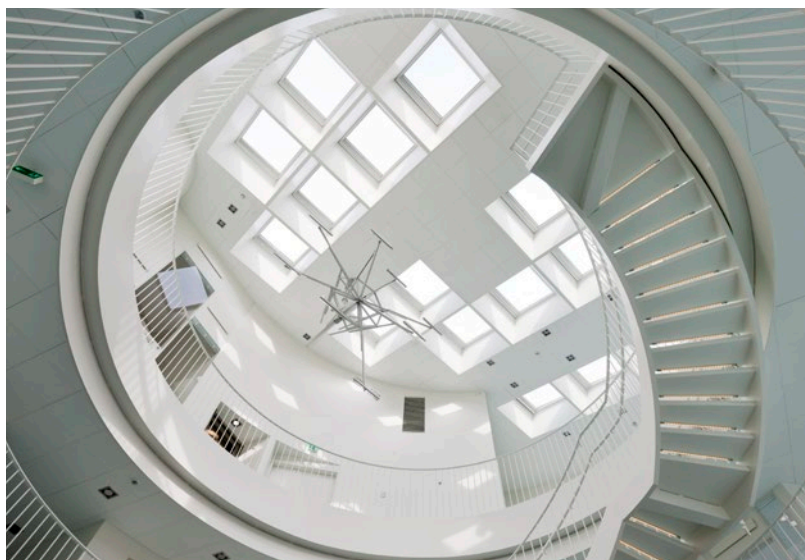
1.6.3 Effect van het plaatsen van dakramen voor plat dak en modulaire lichtstraten in een voormalig stadhuis, nu een kleuterschool

Daglicht is het perfecte materiaal om het binnenklimaat te verbeteren bij het verbouwen van bestaande gebouwen. Het verbeteren van de daglichtinval kan het gebruik van een ruimte nieuw leven inblazen en zorgen voor meer comfort en welzijn voor de bewoners.

Dit kleuterschoolproject was vroeger een stadhuis met een plat dak zonder ramen of lichtspots voor de verbouwing. De architecten van CASA gebruikten modulaire lichtstraten van VELUX en plat-dakramen om daglicht te brengen op de belangrijkste plaatsen in het project om zo te zorgen voor lichte ruimtes voor de kinderen.



Figuur 1.32 Weergave van daglichtfactor in het Drømmebakken kleuterschoolproject in Denemarken.



Green Lighthouse.

1.6.4 Effect van dakramen in het Green Lighthouse

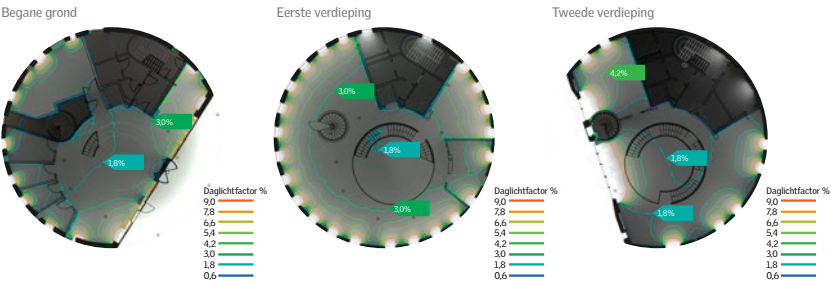
Het daglicht in het Green Lighthouse, een VELUX 2020 modelhuis is onderworpen aan een daglichtfactorsimulatie. Om het effect aan te tonen van de VELUX dakramen werd een vergelijking uitgevoerd tussen de hoeveelheid daglicht met en zonder het gebruik van dakramen.

Het resultaat, te zien in figuur 1.34, toont aan dat de dakramen zorgen

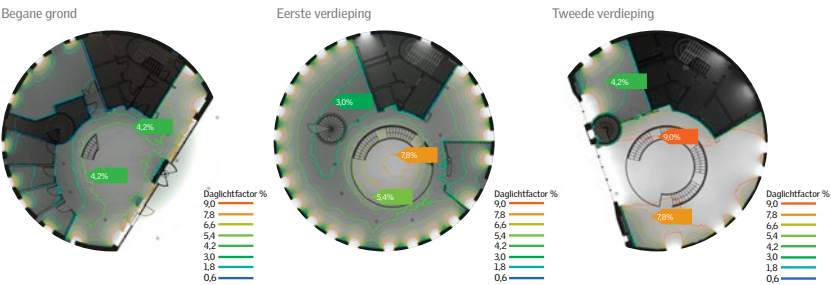
voor veel daglicht in de lounge op de tweede verdieping, wat leidt tot een gezond en goed verlicht binnenmilieu met zicht op de lucht voor de personen in het gebouw.

Het resultaat toont ook aan dat het gebruik van dakramen sterk bijdraagt aan meer daglicht op de lageregelegen verdiepingen door de lichte ruimte in het atrium, en leidt tot een betere verdeling van daglicht op alle verdiepingen door de balans met het licht van de frontramen.

Daglicht zonder dakramen



Daglicht met dakramen



Figuur 1.34 Weergave van daglichtfactor in het Green Lighthouse met vergelijking van daglicht met en zonder dakramen.

1.6.5 Effect van dakramen bij het verbouwen van schoolgebouwen

Het effect van het plaatsen van dakramen in de Langebjergschool werd beoordeeld met een daglichtfactor-simulatie waarin het daglicht werd vergeleken voor en na de verbouwing, waarbij vier dakramen werden geplaatst in elk klaslokaal, evenals in de loopruimtes. Figuur 1.36 geeft de resultaten van de daglichtfactor weer in het oorspronkelijke ontwerp, waarin de klaslokalen waren voorzien van twee dakramen. Het resultaat van de simulatie toont aan dat de DF in de

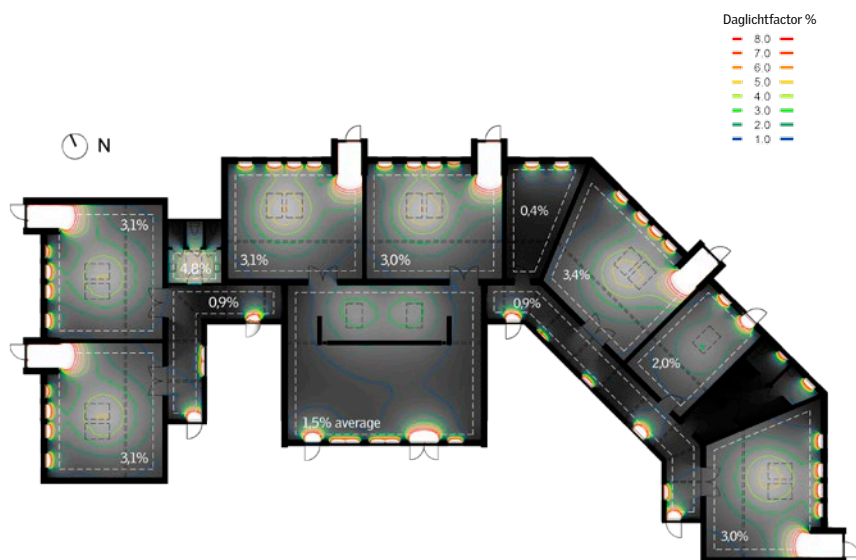
klaslokalen ongeveer 3-3,4% was, met uitzondering van een lokaal met een DF van 1,5%.

De daglichtfactoren in het nieuwe voorstel voor de school worden weergegeven in figuur 1.37. Het plaatsen van drie tot vier ramen in elk klaslokaal leidde tot een hogere DF tussen 4,4% en 5,3%, maar zorgde nog belangrijker voor een veel betere verdeling van licht in de lokalen, zodat elke tafel van een leerling genoeg daglicht kreeg en het verschillen in de hoeveelheid daglicht in de ruimte verminderd werden.

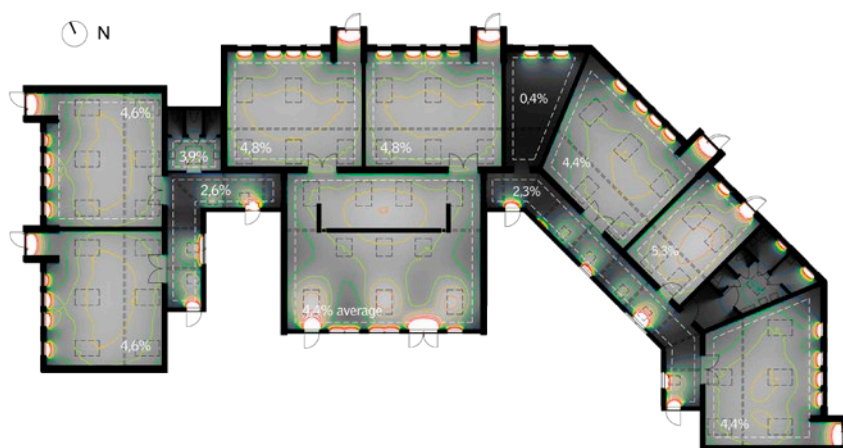


Langebjergschool.

» Nieuwe klaslokalen met meer en beter verspreid daglicht «



Figuur 1.36 Daglichtfactorsimulatie voor de verbouwing.



Figuur 1.36 Daglichtfactorsimulatie na de verbouwing.

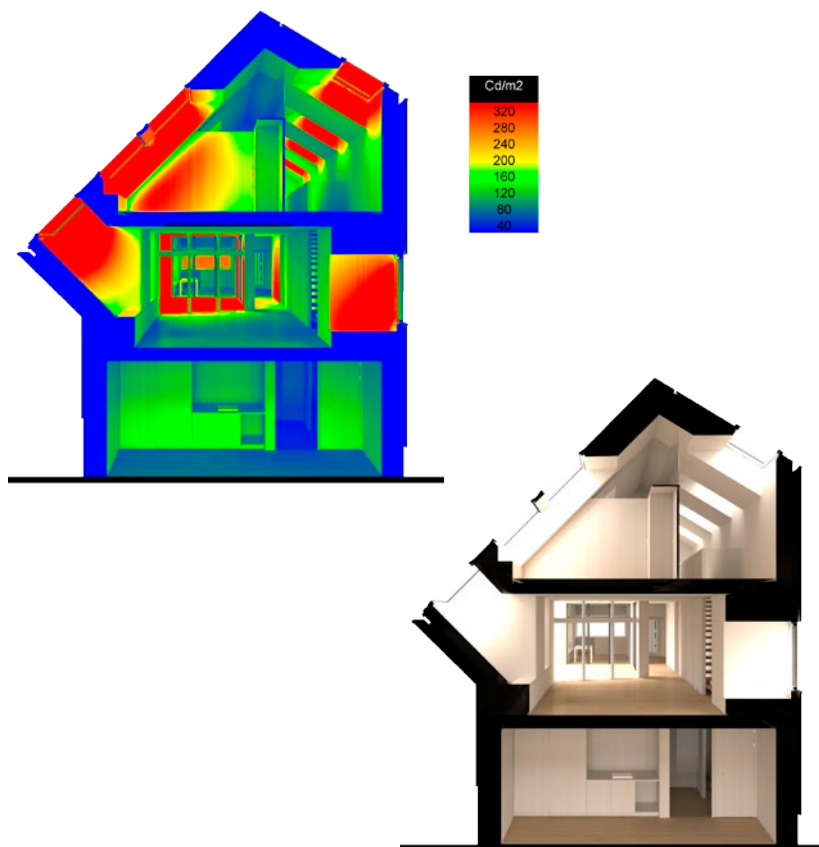


Sunlighthouse.

1.6.6 Effect van dakramen in het MH2020 Sunlighthouse

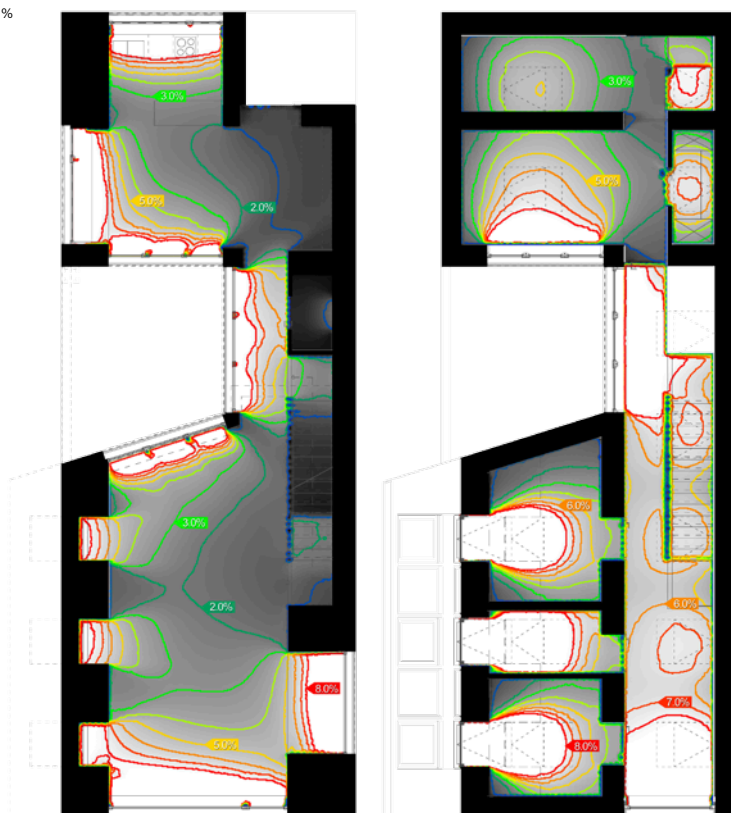
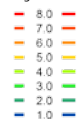
VELUX dakramen worden zowel gebruikt voor daglicht op de begane grond als op de eerste verdieping, zoals te zien in Figuur 1.39. Uit een weergave van de daglichtfactor op de begane grond en de

eerste verdieping blijkt dat er ruim voldoende daglicht is in alle belangrijke leefruimtes, met een DF van meer dan 5%. Zie figuur 1.40. Uit de analyse blijkt ook dat het huis en de bewoners kunnen profiteren van lichte loopruimtes onder het dakraam op de eerste verdieping en om de binnenplaats op de begane grond.



Figuur 1.39 Doorsnee van een luminantieweergave met de daglichtverdeling in kleurenschema (links) en fotorealistisch (rechts).

Daglichtfactor %

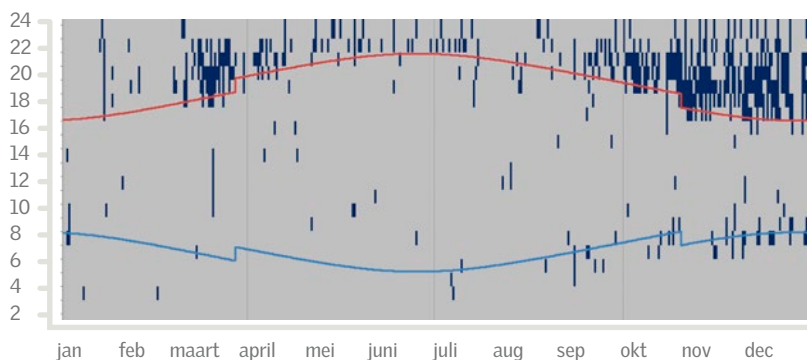


Figuur 1.40 Weergave van de daglichtfactor op de begane grond (links) en eerste verdieping (rechts) van het Sunlighthouse.

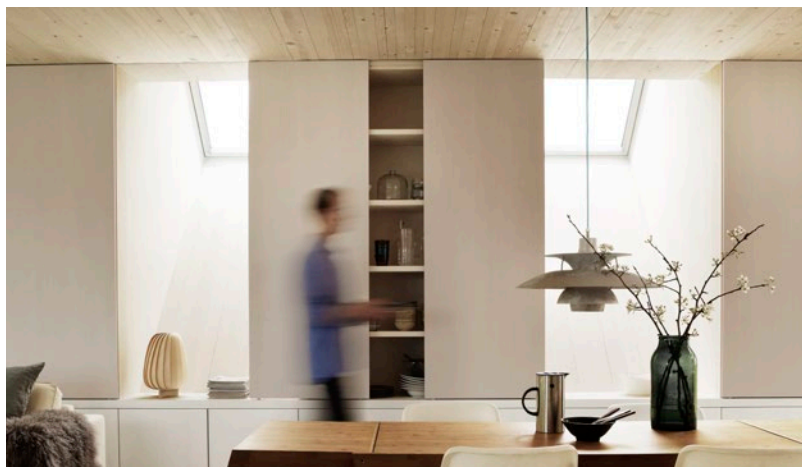
Het bouwtoezichtsverslag van het Sunlighthouse laat ook het effect zien van een goede daglichtinval: er waren maar weinig uren in het jaar waarop overdag de elektrische verlichting

werd gebruikt. De afbeelding hieronder geeft het gebruik van de elektrische verlichting in de keuken weer van januari tot november.

Elektrisch licht in de keuken



Figuur 1.41 Tijdkaart van het gebruik van elektrische verlichting in het Sunlighthouse. De blauwe lijn staat voor het tijdstip van zonsopkomst en de rode lijn voor dat van zonsondergang.

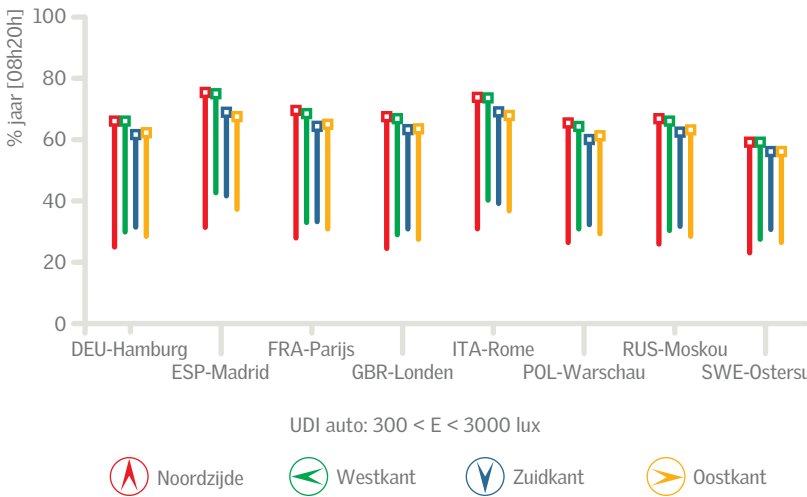


Green Lighthouse.

1.6.7 Effect van dakramen bij het verbouwen van woonhuizen

Een recent onderzoek naar het effect van dakramen in een eengezinswoning heeft aangetoond dat dakramen en beter daglicht gekoppeld kunnen worden aan verschillende positieve effecten, in alle Europese klimaatomstandigheden.

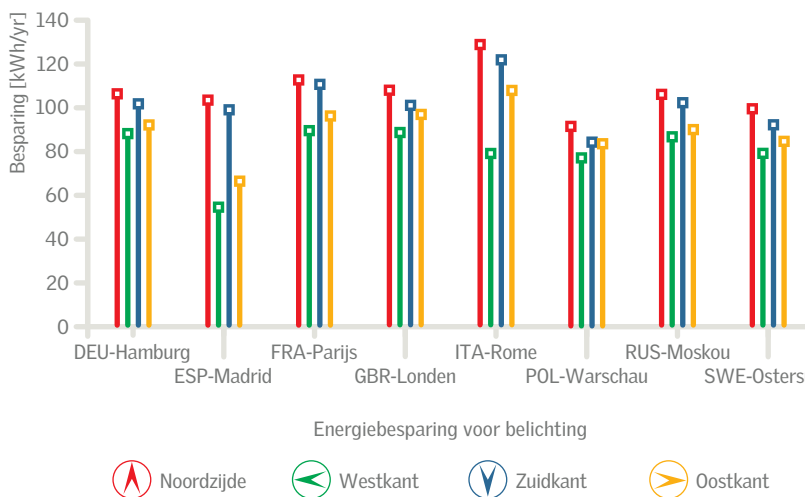
Allereerst leidde het plaatsen van dakramen tot aanzienlijk meer daglicht, en bereikte het veel vaker een autonome UDI van 300-3000 lux. De afbeelding hieronder geeft de stijging in daglicht weer in een bereik van 40% door het plaatsen van dakramen in de keuken in alle klimaten en richtingen die getest zijn (Mardaljevic et al., 2012).



Figuur 1.43 Effect van het plaatsen van dakramen op het voorkomen van daglichtsterktes van 300-3000 lux.

De grotere hoeveelheid daglicht leidt tot minder uren waarin elektrische verlichting nodig is, wat weer leidt tot aanzienlijke energiebesparing op verlichting.

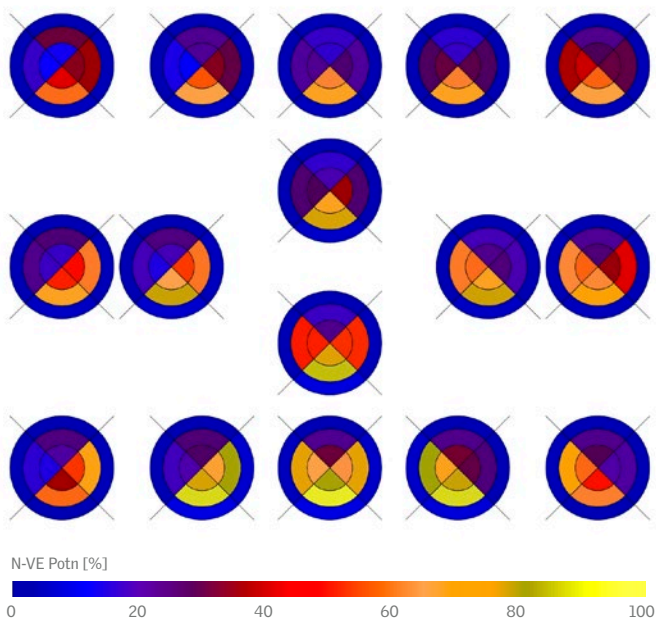
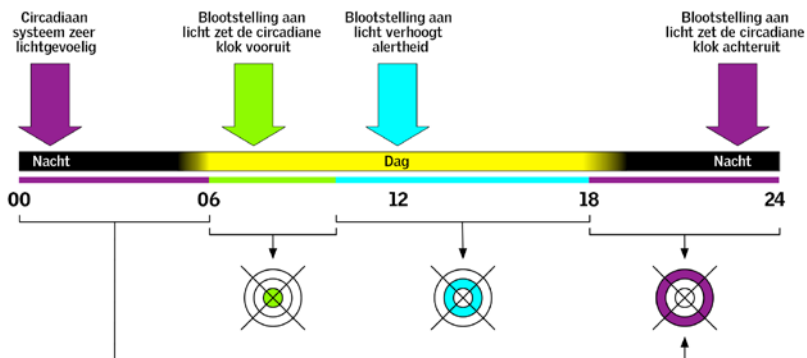
De afbeelding hieronder geeft een energiebesparing weer van 100 KWh per jaar in alle klimaten en richtingen die getest zijn (Mardaljevic et al., 2012).



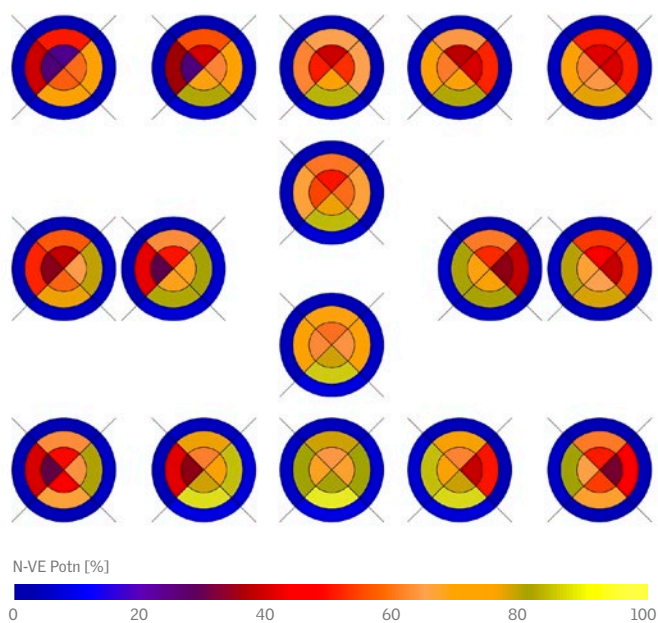
Figuur 1.44 Effect van het plaatsen van dakramen op energiebesparing voor verlichting

In het onderzoek werd ook gekeken naar het effect van het plaatsen van dakramen op de hoeveelheid daglicht op ooghoogte op bepaalde tijdstippen overdag en 's nachts, om zo de niet-visuele effecten van licht te beoordelen. Figuur 1.45 geeft het resultaat in een woonkamer in Rome weer. Elke cirkel staat voor een bepaald gezichtspunt met vier blikrichtingen en drie tijdsperiodes.

Het resultaat laat een aanzienlijke stijging zien van mogelijke niet-visuele effecten van daglicht door de plaatsing van dakramen: een stijging van 25% in de ochtendperiode en een stijging van 45% in de middagperiode. In alle kamers in alle klimaten en richtingen die getest zijn werd een vergelijkbare stijging waargenomen.



Tijdstip	MED	GEM	MAX	MIN
06.00-10.00	33 %	38 %	80 %	7 %
10.00-18.00	29 %	42 %	89 %	10 %
18.00-06.00	0 %	0 %	5 %	0 %



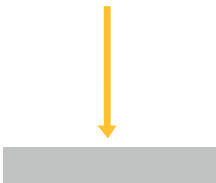
Tijdstip	MED	GEM	MAX	MIN
06.00-10.00	58 %	54 %	81 %	21 %
10.00 -18.00	73 %	67 %	89 %	35 %
18.00 -06.00	1 %	1 %	5 %	0 %

Figuur 1.45 Effect van het plaatsen van dakramen op de mogelijk niet-visuele effecten van daglicht voor meerdere posities, gezichtspunten en tijdstippen.

1.7 Daglicht berekenen en meten

1.7.1 Verlichtingssterkte

De verlichtingssterkte is de hoeveelheid licht dat op een oppervlak valt. Het wordt gewoonlijk weergegeven in lux (lm/m^2). De verlichtingssterkte kan worden gemeten met een luxmeter, zoals te zien in figuur 1.7, of voorspeld met behulp van een computersimulatie met erkende en gevalideerde software (bv. VELUX Daylight Visualizer). Figuur 1.48 geeft een voorbeeld van een lichtsterkteweergave. De meeste prestatie-indicatoren gebruiken verlichtingssterkte om de beschikbaarheid van daglicht in het interieur te meten.



Figuur 1.46 Verlichtingssterktediagram

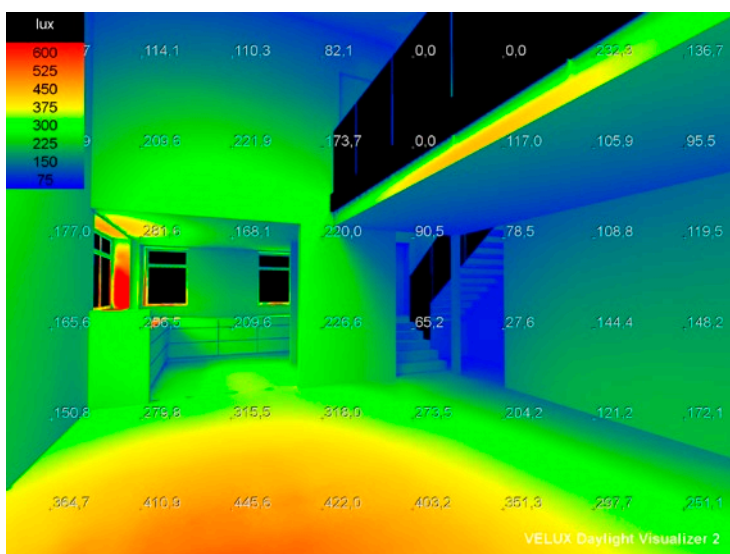


Figuur 1.47 Luxmeter.

Normale verlichtingswaarden:	
Direct zonlicht	100.000 lux
Diffuus hemellicht	3.000-18.000 lux
Minimale sterkte voor taken en activiteiten:	
Ruimtes in woonhuizen	200-500 lux
Klaslokalen (algemeen)	300-500 lux
Verlichting werkplek	200-500 lux

 **Vergeet niet:**

De verlichtingssterkte (lux) is de hoeveelheid licht dat op een oppervlak valt. De meeste prestatie-indicatoren gebruiken verlichtingssterkte om de beschikbaarheid van daglicht in het interieur te meten.

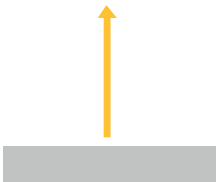


Figuur 1.48 Weergave van de verlichtingssterkte in Maison Air et Lumière.

1.7.2 Luminantie

De luminantie is de hoeveelheid licht dat van een oppervlak wordt weerkaatst of uitgestraald. Het wordt gewoonlijk weergegeven in cd/m^2 .

De luminantie kan worden gemeten met een luminantiemeter, afgebeeld in figuur 1.51, of met behulp van een High dynamic range (HDR) beeldvormende techniek gecombineerd met een digitale camera en luminantie-software (bv. Photolux). Een voorbeeld hiervan is afgebeeld in Figuur 1.52. De luminantie kan worden voorspeld met behulp van een computersimulatie met erkende en gevalideerde software (bv. VELUX Daylight Visualizer). Figuur 1.48 geeft een voorbeeld van een luminantieweergave. Luminantie wordt gebruikt om visueel comfort en verblinding in het interieur te meten.



Figuur 1.49 Luminantiediagram

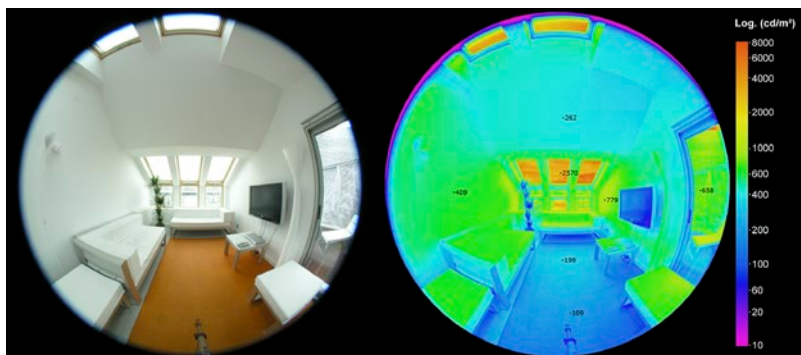


Figuur 1.50 Coolpix-camera en vissenoog lens gebruikt bij het maken van luminantieweergaven.

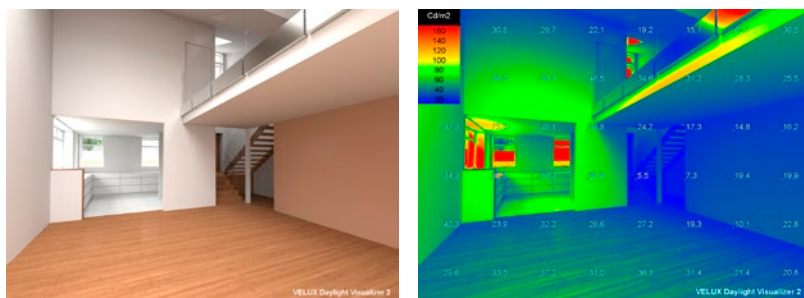


Figuur 1.51 Luminantiemeter

Normale luminantiewaarden:	
Zonneschijf rond het middaguur	1.600.000.000 (cd/m^2)
Zonneschijf aan de horizon	600.000 (cd/m^2)
Matte gloeilamp	120.000 (cd/m^2)
T8 cool white fluorescent tl-buis	11.000 (cd/m^2)
Gemiddeld heldere lucht	8.000 (cd/m^2)
Gemiddeld bewolkte lucht	2.000 (cd/m^2)



Figuur 1.52 Luminantieweergave die weergeeft hoe de luminantie verdeeld is in Atika, een concepthuis van VELUX onder een bewolkte lucht.



Figuur 1.53 Weergave van de luminantie in Maison Air et Lumière.

❗ Vergeet niet

De luminantie (cd/m^2) is de hoeveelheid licht dat van een oppervlak wordt weerkaatst of uitgestraald.

Luminantie wordt gebruikt om visueel comfort en verblinding in het interieur te meten.

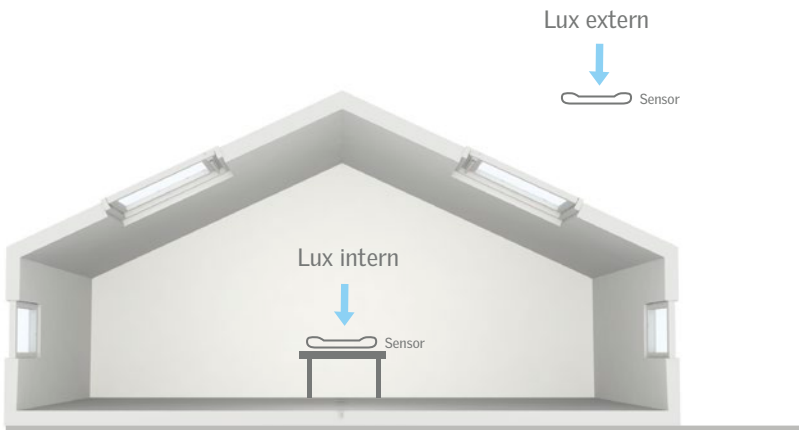
1.7.3 Daglichtfactor

De daglichtfactor (DF) is een meet-eenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die in percentages uitdrukt hoeveel daglicht in een kamer beschikbaar is (op een werkoppervlak) ten opzichte van de hoeveelheid daglicht die buiten zonder obstakels beschikbaar is onder een bewolkte lucht (Hopkins, 1963).

De belangrijkste kenmerken in een ruimte die de hoogte en verspreiding van de daglichtfactor bepalen zijn (Mardaljevic, J. (2012)):

- Grootte, verdeling, plaats en lichtdoorlatende eigenschappen van de front- en dakramen.
- Groote en vorm van de ruimte.
- De weerkaatsende eigenschappen van de interne en externe oppervlakken.
- De mate waarin externe constructies het uitzicht op de lucht blokkeren.

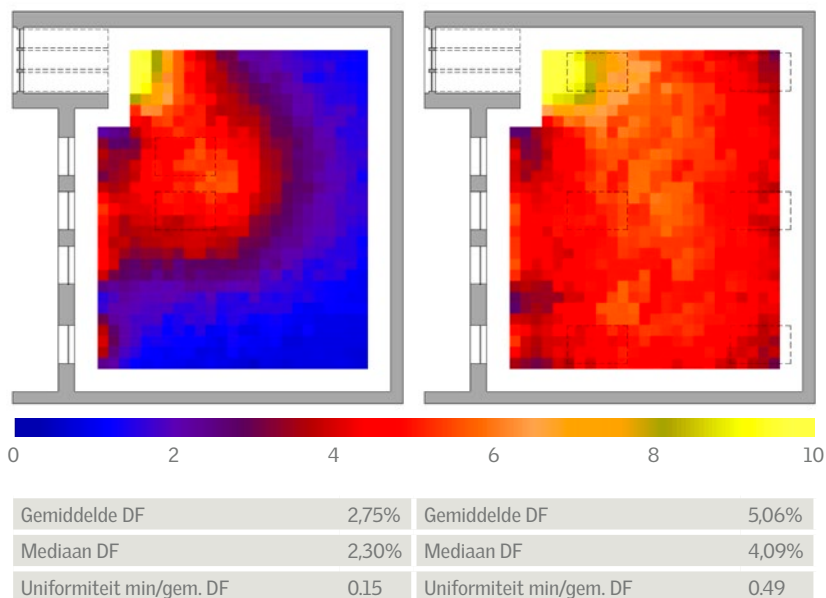
Hoe hoger de DF, hoe meer daglicht beschikbaar is in de ruimte. Ruimtes met een gemiddelde DF van 2% of hoger zijn goed verlicht met daglicht, maar voor het uitvoeren van visuele taken kan nog steeds elektrische verlichting zijn. Een kamer is sterk verlicht met daglicht als de gemiddelde DF 5% of hoger is. In dat geval is het niet waarschijnlijk dat elektrische verlichting overdag gebruikt wordt (CIBSE, 2002).



Figuur 1.54 Tekening met de waarden gemeten met de daglichtfactormethode (gelijktijdige meting van de interne en externe (ongehinderde) horizontale verlichtingssterkte).

Meetpunten

In de meeste gevallen wordt de daglichtfactor in een ruimte gemeten ter hoogte van een werkplek (bv. op een hoogte van 85cm boven de vloer), met 50 cm tussen de omtrek van het werkoppervlak en de muur, zoals afgebeeld in figuur 1.55.



Figuur 1.55 Daglichtfactor (DF) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

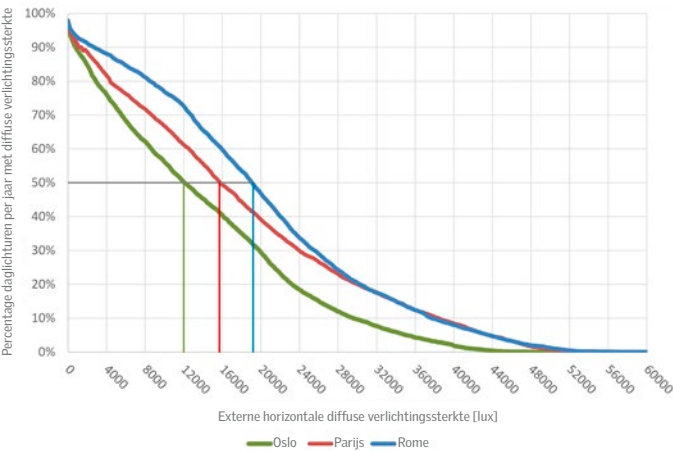
Daglichtfactor op basis van
klimaatomstandigheden

De hoeveelheid daglicht in het interieur van een gebouw is afhankelijk van de beschikbaarheid van natuurlijk licht op die locatie, en van de eigenschappen van de locatie en de omgeving van het gebouw. Bij het beoordelen van het daglicht moet daarom naast de eigenschappen van de ruimte ook rekening worden gehouden

met de beschikbaarheid van het daglicht op de locatie (CIE, 1970). Met behulp van vastgestelde klimaatgegevens (de verspreiding van de buitenlichtsterkte) kunnen we bepalen hoe hoog de DF dient te zijn om de beoogde lichtsterkte te verkrijgen op een bepaalde tijd van het jaar. Het voorbeeld hieronder laat zien hoe de beoogde DF wordt bepaald met klimaatgegevens voor een daglichtsterkte van 300 lux voor 50% van het jaar.

$$D_T = \frac{E_{\text{Intern}}}{E_{\text{Extern}}} = \frac{300 \text{ lux} \cdot 100\%}{15\,700 \text{ lux}} = 1,9\%$$

Stad	Lux intern	Lux extern	D _T %
Oslo	300	12 000	2,5%
Parijs	300	15 700	1,9%
Rome	300	19 200	1,6%

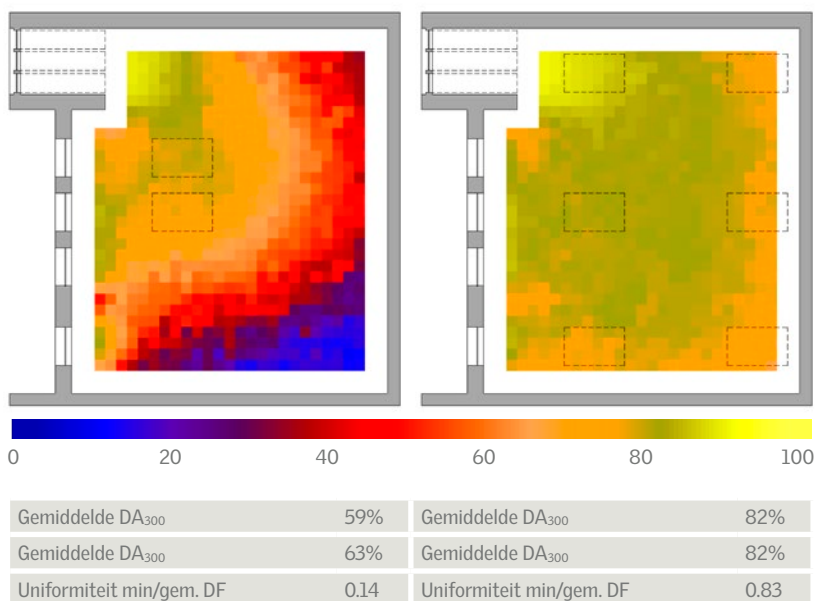


Figuur 1.56 Cumulatieve grafiek van beschikbare externe diffuse horizontale verlichtingssterkte in Oslo (Noorwegen), Parijs (Frankrijk) en Rome (Italië)

1.74 Daglichtautonomie

Daglichtautonomie (DA) is een meeteenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die overeenkomt met het percentage bezettijd waarop de beoogde verlichtingssterkte op een punt in een ruimte wordt behaald met daglicht.

Een beoogde verlichtingssterkte van 300 lux en een drempel-DA van 50%, wat betekent dat het daglicht 50% van de tijd boven de beoogde verlichtingssterkte uitstijgt, zijn waarden die momenteel gestimuleerd worden door de Illuminating Engineering Society of North America (IESNA). [Zie sectie 1.94.](#)



Figuur 1.57 Daglichtautonomie (DA) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

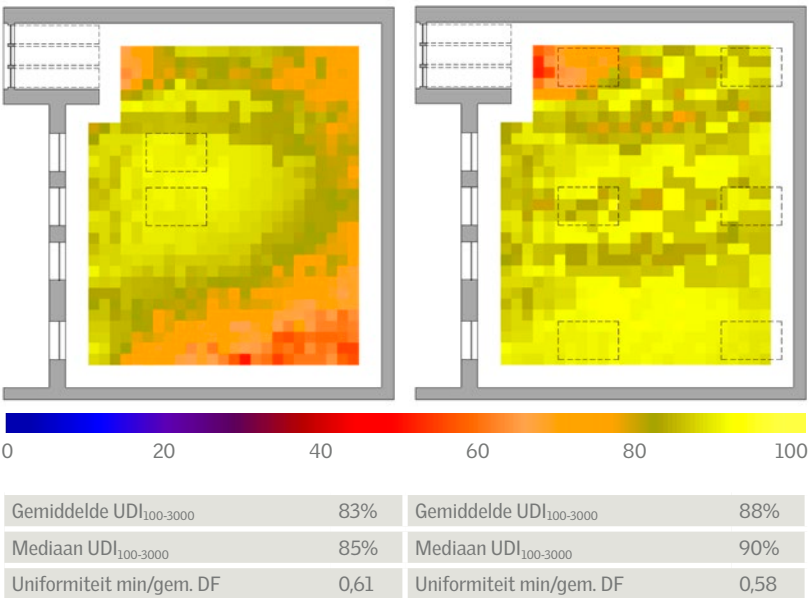
1.7.5 Bruikbare verlichtingssterkte daglicht (Useful Daylight Illuminance (UDI))

Bruikbare verlichtingssterkte (UDI) is een meeteenheid voor de beschikbaarheid van daglicht die overeenkomt met het percentage bezettijd waarop een beoogd bereik van verlichtingssterktes op een punt in een ruimte wordt behaald met daglicht.

Een verlichtingssterkte van daglicht tussen 100 en 300 lux is voldoende, ofwel als enige lichtbron of in combinatie met kunstlicht. Meestal wordt een verlichtingssterkte van daglicht tussen 300 en ongeveer 3000 lux gezien als gewenst (Mardaljevic et al, 2012).

Recente voorbeelden van daglicht-ontwerpen in scholen in het Verenigd Koninkrijk hebben ertoe geleid dat een UDI wordt aanbevolen tussen 100 en 3000 lux voor 80% van de bezettijd.

Voorbeeld



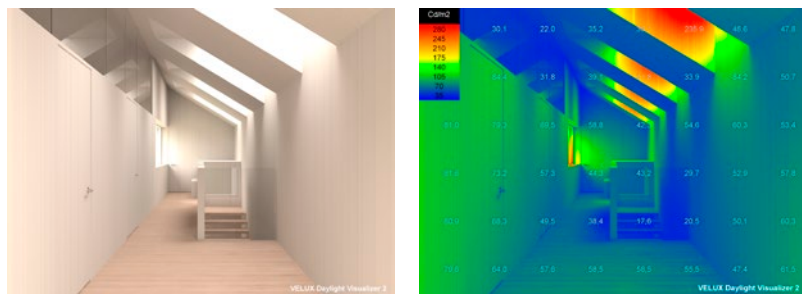
Figuur 1.57 Bruikbare verlichtingssterkte (UDI) simulatie in een klaslokaal voor (links) en na (rechts) de verbouwing, met rondom 50 cm afstand tussen het werkoppervlak en de muur.

1.8 Daglichtsimulatiertools

Met daglichtsimulatiertools is het mogelijk om de hoeveelheid en de verspreiding van daglicht in een ruimte te beoordelen, rekening houdend met belangrijke factoren die van invloed zijn zoals de plaatsing van de ramen, vorm van het gebouw, externe obstakels, verdeling van het interieur en eigenschappen van materialen.

De meeste CAD-visualisatieprogramma's die vandaag de dag worden gebruikt

kunnen realistisch lijkende beelden genereren, maar verschaffen geen informatie over de hoeveelheid en kwaliteit van het daglicht in de ruimtes. Met simulatiertools als de Daylight Visualizer kunnen professionals een goed onderbouwde beslissing maken over het daglicht- en bouwontwerp, en een goed beeld krijgen van hoe het daglicht in de ruimtes eruit komt te zien. Figuur 1.59 hieronder geeft een luminantieweergave weer met een fotorealistische afbeelding en een afbeelding in kleurenschema.

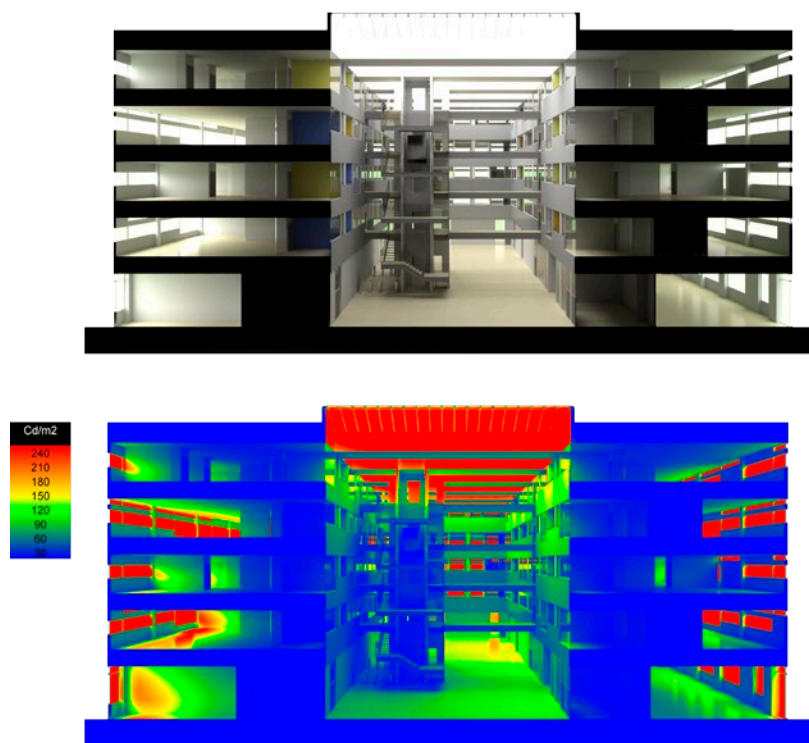


Figuur 1.59 Luminantieweergave van het Sunlighthouse met een fotorealistische afbeelding en een afbeelding in kleurenschema.

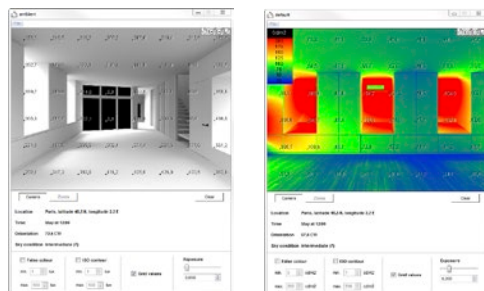
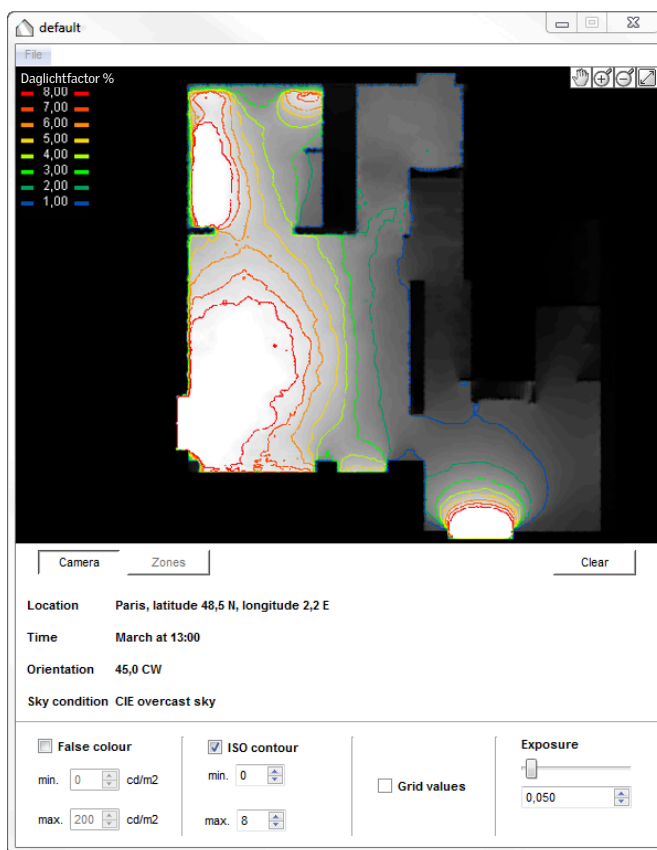
VELUX Daylight Visualizer

De VELUX Daylight Visualizer is een professionele en gevalideerde simulatietool voor de analyse van daglicht in gebouwen. De tool is bedoeld om het gebruik van daglicht in gebouwen te stimuleren en om professionals de

hoeveelheid daglicht te laten voorspellen en documenteren, net als hoe een ruimte eruit komt te zien voordat het bouwontwerp gerealiseerd wordt. De eenvoudige gebruikersinterface van het programma maakt het toegankelijk, snel en gemakkelijk in gebruik.



Figuur 1.60 Doorsnee van een luminantieweergave die het effect laat zien van de VELUX modulaire lichtstraten in het atrium van een kantoorgebouw.



Figuur 1.61 Screenshot van de uitvoerweergave van de VELUX Daylight Visualizer met een daglichtfactorweergave (boven), een verlichtingssterkteweergave (links) en een luminantieweergave in kleurschema (rechts).

Belangrijke kenmerken

- Elk project, op elke schaal
De Daylight Visualizer kan worden gebruikt om daglicht in elk soort project te beoordelen, waaronder woningbouwprojecten, commerciële projecten en industrieprojecten op elke schaal.
- Fotorealistische afbeeldingen en afbeeldingen in kleurenschema
Visualiseer en bepaal de hoeveelheid en verspreiding van daglicht (luminantie, verlichtingssterkte en daglichtfactor) in gebouwen met fotorealistische afbeeldingen en afbeeldingen in kleurenschema.
- Daglichtfactorberekeningen
De daglichtfactor (DF) is een simulatie in een stap: de meest-gebruikte indicator om de beschikbaarheid van daglicht in een gebouw te beoordelen.
- Verslag van resultaten
Er kan een verslag gegenereerd worden van de simulatieresultaten, dat het daglicht weergeeft per zone in elke kamer/ruimte van het gebouw. Resultaten zijn o.a. gemiddelde, mediaan, minimale, maximale en uniformiteitswaarden van elke zone.
- Creëer/importeer projecten
Gebruik de ingebouwde modelleer-tool om 3D-modellen te genereren waar dak- en frontramen vrij in kunnen worden geplaatst. Of importeer simpelweg 3D-modellen direct vanuit uw CAD-programma (Autocad, Revit, SketchUp, Archicad etc.) met de volgende ondersteunde 3D-bestandsformaten: DWG, DXF, SKP en OBJ.
- Snel en doeltreffend
Daylight Visualizer is een gevalideerde daglichtsimulatietool gebaseerd op de modernste weergavetechnologie die het complexe karakter van daglicht binnen in een gebouw kan simuleren.

Ga voor meer informatie over de VELUX Daylight Visualizer naar de officiële website: <http://viz.velux.com>.

1.9 Vereisten voor daglicht in bouwverordeningen

Er zijn zeer weinig (tot geen) vereisten of aanbevelingen in bestaande standaarden en bouwverordeningen die in welk land dan ook bij wet uitvoerbaar zijn.

De VELUX Group werkt aan erkenning van ramen als lichtbronnen en zonvoorziening in gebouwen. We stimuleren een gezond binnenmilieu en werken eraan om het elektriciteitsverbruik van verlichting terug te dringen. Ons doel is dat daglichtinval specifiek vermeld en meegenomen wordt in bouwstandaarden en -verordeningen, samen met bepaalde criteria voor alle leefruimtes en activiteitszones in een gebouw. Drie belangrijke punten waarvan wij vinden dat ze meegenomen dienen te worden wanneer vereisten voor daglicht in de landelijke wetgeving worden opgenomen:

- Daglicht dient overdag te worden gebruikt als primaire lichtbron in gebouwen en dient tegemoet te komen aan onze visuele en niet-visuele (biologische) behoeften.
- We raden een lichtsterkte aan van minimaal 300 lux voor het grootste deel van de ruimte door het behalen van een beoogde daglichtfactor op basis van klimaatomstandigheden, en 500 lux voor plekken waar productief werk wordt uitgevoerd.

Zie sectie 1.7.3. ➤

- We raden aan dat bij nationale renovatiestrategieën het belang ingezien wordt van het te allen tijde verbeteren van de daglichtinval bij het verbouwen van een gebouw.

De aanbevolen voorgeschreven eisen die het raamoppervlak gelijk stellen met de daglichtfactor, als gelijkwaardige methode voor genoeg daglicht, zijn niet afdoende.

Om een voorbeeld te geven: in een onderzoek door Aarhus School of Engineering werd gekeken naar de grootte van de ramen, de plaatsing ervan en andere factoren voor de verspreiding van daglicht in een ruimte. De grootte van de ramen in de 23 verschillende modellen is, in alle gevallen, conform de huidige (10%) en toekomstige (15%) eisen voor de ratio van beglazing tot vloeroppervlak in Denemarken. In het onderzoek werden de aanbevolen eisen vergeleken voor daglicht in commerciële gebouwen: een daglichtfactor van 2% op het werkoppervlak (huidige Deense bouwverordeningen) en een gemiddelde daglichtfactor in de ruimte van 3% (voorgestelde vereisten¹ in de standaard voor 2020).

De berekeningen toonden aan dat, wanneer de schaduw van de omgeving buiten of het algemene verticale ontwerp wordt meegenomen, slechts 9 van de 23 modellen voldeden aan de daglichtfactor van 2%, en slechts 3 modellen voldeden aan de gemiddelde

» Volgens de EU-richtlijn inzake veiligheid en gezondheid voor arbeidsplaatsen (1992) is het verplicht dat "Elke arbeidsplaats is voorzien van geschikte en adequate verlichting" en dat deze verlichting "voor zover redelijkerwijs mogelijk is dient te bestaan uit natuurlijk licht" «

daglichtfactor van meer dan 3% volgens de toekomstige aanbevelen vereisten in bouwverordeningen in Denemarken.

1.9.1 Bouwverordeningen

Wetgeving met betrekking tot daglicht-inval is van oudsher bepaald door een of meer van de volgende criteria: het raam- of beglazingsoppervlak in verhouding tot het oppervlak van de ruimte of het front; de hoeveelheid daglicht volgens de daglichtfactor op een punt in de ruimte of als gemiddelde daglichtfactor van de oppervlakte van de ruimte; het zonlicht dat verschaft wordt op een bepaalde dag of in een bepaald seizoen; en het uitzicht op de omgeving buiten (Boubekri, 2004):

- Vereisten voor ramen en het beglazingsoppervlak in verhouding tot het oppervlak van de ruimte of het front. Het is belangrijk om te benadrukken dat vereisten voor een minimale verhouding van het beglazingsoppervlak niet beschouwd kunnen worden als wetgeving met betrekking tot daglicht, aangezien het zich niet vertaalt naar de feitelijke aanwezigheid van daglicht binnen in de ruimte of het gebouw. Er wordt geen rekening gehouden met factoren als buitenbegrenzingsen, overhangende bebouwing, permanente schaduw en de samenstelling en lichtdoorlaatbaarheid van het glas.

- De kwaliteit van de binnenverlichtingssterkte in een ruimte. De hoeveelheid daglicht wordt over het algemeen aangegeven als voorkeur of aanbeveling; ofwel met een specifieke verlichtingssterkte (lux) op een werkoppervlak of met de daglichtfactor (DF). De daglichtfactor is de meest erkende indicator voor het bepalen van daglicht in een gebouw. Het voordeel van de DF-methode is dat het snel te berekenen is, en al vroeg in het ontwerp-proces gebruikt kan worden. Hiermee kan de hoeveelheid, uniformiteit en ruimtelijke verspreiding van diffuus daglicht in een ruimte gevalideerd worden, waardoor architecten en ontwerpers zich een goed beeld kunnen vormen.
- Het verschaffen van zonlicht voor een bepaalde tijd. Dit soort wetgeving, die gewoonlijk wordt aangeduid met 'zonneverordeningen' moeten garanderen dat personen in een gebouw toegang hebben tot zonlicht gedurende een vooraf bepaalde periode van de dag, het seizoen en het jaar. Het rekening houden met toegang tot zonlicht, en de duur ervan, heeft invloed op de beslissingen rondom de richting, de plaatsing van ruimtes en de ramen daarin, de keuze voor zonweringsapparaten en de aandacht voor de omgeving. In landen als Japan en China is het verschaffen van zonlicht gekoppeld aan de volksgezondheid, veiligheid en welzijn.

- Uitzicht op de buitenomgeving biedt personen in het gebouw informatie over richting, veranderingen in het weer en hoe de tijd gedurende de dag verstrijkt. Dit soort wetgeving schenkt aandacht aan de hoogte van de vensterbanken, de breedte van de beglazing (of de totale breedte van alle ramen bij elkaar opgeteld) als onderdeel van het verticale oppervlak van het beglazingsmateriaal dat is gebruikt.

1.9.2 Het Europees Comité voor standaardisering, CEN

In diverse Europese standaarden met betrekking tot daglicht, worden de algemene voordelen van daglicht vaak als volgt uitgelegd:

- De verlichtingssterkte in het ontwerp die mensen in staat moet stellen visuele taken efficiënt en doeltreffend uit te voeren dient verkregen te worden door middel van daglicht, elektrisch licht, of beide. Ramen hebben sterk de voorkeur in gebouwen omwille van het daglicht dat ze verschaffen, en voor het visueel contact met de buitenomgeving. Het is belangrijk dat ramen niet zorgen voor visueel of thermisch comfort, of het verlies van privacy.
- Mogelijke energiebesparing door het gebruik van daglicht.

- Licht is belangrijk voor de gezondheid en het welzijn van mensen.

In NEN-EN 12464-1:2011 wordt rekening gehouden met het belang van daglicht en de vereisten voor verlichting zijn over het algemeen van toepassing, of deze nu wordt verschaft door daglicht, kunstlicht of een combinatie van beide. In NEN-EN 12464-1:2011 worden de vereisten bepaald voor het grootste deel van werkruimtes binnen met betrekking tot hoeveelheid en kwaliteit van de verlichting. Op dit moment schenkt alleen NEN-EN 15193-1 (Energieprestatie van gebouwen - Energie-eisen voor verlichting) in detail aandacht aan het effect van daglicht op de (maandelijkse en jaarlijkse) energie-eis voor verlichting en de classificatie van de beschikbaarheid van daglicht als functie van de daglichtfactor. Een nieuwe standaard voor daglichtinval in gebouwen die de meeteenheden bepaalt voor het beoordelen van het daglicht en methoden biedt voor het berekenen die kunnen worden toegepast op alle ruimten, is in de maak.

1.9.3 De Internationale Organisatie voor Standaardisatie, ISO

Er zijn verschillende ISO-groepen die daglicht als element opnemen in hun werkgroep. Op dit moment is een standaard (ISO, 2014a) van toepassing op berekeningsmethoden voor daglicht in zowel bestaande gebouwen als het ontwerp van nieuwe en verbouwde gebouwen.

1.9.4 Ontwerprichtlijnen

Diverse onafhankelijke autoriteiten hebben materiaal met richtlijnen gepubliceerd en criteria gesteld voor de beste toepassingen in de praktijk. Dit zijn de Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) in het VK en de Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) in de VS. CIBSE heeft bijvoorbeeld zijn Lighting Guides on Daylighting and window design gepubliceerd, en IESNA heeft een standaardwerk over de goedgekeurde methode uitgebracht: IES Spatial Daylight Autonomy (SDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE) (IESNA, 2013), dat een nieuwe reeks meeteenheden beschrijft voor daglicht in bestaande gebouwen en nieuwe ontwerpen, van concept tot constructiedocumenten.

Diverse beproefde en veelgebruikte methoden voor het beoordelen, classificeren en certificeren van de duurzaamheid van gebouwen, zoals LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), en DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen) doen aanbevelingen voor daglicht als onderdeel van hun beoordelingsschema's. De daglichtfactor is over het algemeen de meest voorkomende indicator in het grootste deel ervan, maar de berekeningsmethoden en criteria verschillen. Naast de daglichtfactor als indicator zijn ook het uitzicht naar buiten, het voorkomen van verblinding en de verlichtingssterkte

veelgebruikte factoren om visueel comfort te beschrijven.

- BREEAM stelt dat "... op ten minste 80% van het vloeroppervlak in een bezette ruimte een daglichtfactor moet zijn van 2% of meer." Voor woonhuizen stelt BREEAM "Keukens hebben een minimale daglichtfactor van ten minste 2%, woonkamers, eetkamers en studeerkamers een minimale daglichtfactor van ten minste 1,5%, en op 80% van het werkoppervlak dient direct hemellicht te vallen.
- LEED stelt dat "... met computersimulaties dat in de ruimtes in kwestie een daglichtsterkte aanwezig is van ten minste 25 voetkaars (foot-candle (fc)) (270 lux) en ten hoogste 500 fc (5400 lux) onder een heldere lucht op 21 september om 9.00 uur en 15.00 uur. Gebieden waar de verlichtingssterkte hoger of lager is, voldoen hier niet aan. Ontwerpen die echter automatische zonwering tegen verblinding gebruiken die het uitzicht niet hinderen hoeven echter alleen te voldoen aan de minimale verlichtingssterkte van 25 fc (270 lux)."
- DGNB stelt dat "... 50% van het gebruiksgebied in een gebouw heeft een DF van ($>3\%$ - zeer goed, $>2\%$ - gemiddeld, $>1\%$ matig, $<1\%$ niet aanwezig)", "... gebaseerd op een simulatie, is het daglicht in permanent in gebruik zijnde werkruimtes ($3\% \leq DF$ zeer goed, $2,5\% \leq DF < 3\%$ gemiddeld, $2\% \leq DF < 2,5\%$ matig, $DF < 2\%$ niet aanwezig)".