

Licht in scholen

Van beginner tot expert



Licht in scholen

—

Van beginner tot expert

Uitvoerders:

KU Leuven Technologicampus Gent
Laboratorium voor Lichttechnologie
Gebroeders De Smetstraat 1
9000 Gent
Tel: 09/265.87.13
Website: www.lichttechnologie.be

KU Leuven Technologicampus Gent
Onderzoeksgroep Duurzaam Bouwen
Gebroeders De Smetstraat 1
9000 Gent
Tel: 09/265.86.12
Website: <http://iiv.kuleuven.be/onderzoek/sustainable-buildings/>

Pixii vzw
Gitschotellei 138
2600 Berchem
Tel: 03/235.02.81
Website: www.pixii.be

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
Labo Licht
Lozenberg 7
1932 St-Stevens-Woluwe
Tel: 02/716.42.11
Website: www.wtcb.be

Contactpersoon:

Ruben Delvaeye (WTCB)
E-mail: ruben.delvaeye@bbri.be

Publicatie ontwikkeld naar aanleiding van het TETRA-onderzoeksproject "Impact van daglichtregelsystemen op ontwerp en renovatie van schoolgebouwen" en kaderend binnen het VIS-traject Groen Licht Vlaanderen 2020.

Ontwerp en vormgeving:

Pixii vzw in samenwerking met sorryklaas)

Verantwoordelijke uitgever:

Wouter Ryckaert, KU Leuven Technologicampus Gent – Laboratorium voor Lichttechnologie, Gebroeders De Smetstraat 1, 9000 Gent

Uitgave en copyright:

De publicatie 'Licht in Scholen. Van beginner tot expert' wordt uitgegeven door KU Leuven Technologicampus Gent, Pixii vzw en Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf. © 2016 KU Leuven, Pixii, WTCB. Alle rechten voorbehouden. Niets in deze uitgave mag worden veeleelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op andere manieren, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Met de steun van:

- VLAIO (Agentschap Innoveren en Ondernemen)
- Gebruikersgroep: AGION, Beckhoff, B.E.G. Luxomat, CECEO, DTplan, ESYLUX, ETAP, GO! Vlaanderen, Groen Licht Vlaanderen 2020, Ingenium, ISTEMA, KU Leuven – afd. Bouwfysica, NAV, ODID, OVED, Philips, Renson, Reynaers Aluminium, Studiebureau R. Boydens, Tecnolec vzw, TRILUX, Vecolux, VELUX, VEROZO, VK Engineering, WeThink, Zumtobel
- Deelnemende scholen: Don Bosco Haacht, Heilig-Hart & College Halle, KSO Glorieux Ronse, Sint-Niklaasinstituut Zwevegem, SVI Gijzegem, Vrije Middenschool Zonhoven

De juistheid, volledigheid, actualiteit en relevantie van de informatie in deze publicatie kan niet gegarandeerd worden door de uitvoerders van deze publicatie. De uitvoerders kunnen niet aansprakelijk gesteld worden voor mogelijke nadelige gevolgen van eventuele onjuistheid, onvolledigheid of irrelevantie van de gegevens in deze publicatie.

Inhoudstafel

Voorwoord	5
1 Visuele prestatie en comfort	7
1.1 Basisbegrippen verlichting	8
1.2 Norm NBN EN 12464-1 beknopt toegelicht.....	19
1.3 Lichtontwerp en simulatie	28
2 Daglicht	31
2.1 Prestatiecriteria	33
2.2 Invloedsfactoren	36
3 Kunstlicht	47
3.1 Kunstverlichting ontleed	49
3.2 Inplanting van de kunstverlichting	64
4 Lichtregeling.....	69
4.1 Onderdelen van een lichtregelsysteem.....	70
4.2 Types lichtregelsystemen.....	77
4.3 TETRA-project daglichtregeling: casestudies en lessons learnt.....	93
5 Onderhoud en renovatie	109
5.1 Door-licht-ing: naar een energiezuinige en comfortabele verlichting	110
5.2 Onderhoud en renovatie: mogelijke ingrepen	122
5.3 Betrekken en sensibiliseren van de gebruikers	123
Bijlagen	126

Voorwoord

Een hele dag lang geconcentreerd op de schoolbanken zitten... Het is niet voor alle leerlingen weggelegd. Hen een comfortabele omgeving aanbieden kan hen helpen om bij de les te blijven. Dit comfort wordt bepaald door veel factoren. Zo zijn de temperatuur, de akoestiek en de binnenluchtkwaliteit erg belangrijk. Maar ook een goede verlichting in de klaslokalen is van groot belang: het visueel comfort en het leerproces van de leerlingen gaan hand in hand.

Bij het uitwerken van een lichtconcept voor een gebouw dient daglicht als primaire bron van licht beschouwd te worden. Daglicht is gratis en is bovendien het meest kwalitatieve type licht: het bevordert het algemene welzijn en het concentratievermogen van de leerlingen. Het is dan ook niet zo verwonderlijk dat leerkrachten en leerlingen doorgaans daglicht boven kunstlicht verkiezen. Een goed daglichtconcept brengt echter niet alleen veel daglicht binnen, maar vermijdt ook oververhitting en houdt verblinding onder controle.

Bij een tekort aan daglicht moet er dan weer kunnen aangevuld worden met kunstlicht. Hierdoor zijn werkvlakken zoals de lessenaars en het schoolbord steeds voldoende verlicht om op comfortabele wijze alle taken erop te kunnen uitvoeren. Het goed ontwerpen van een verlichtingsinstallatie houdt zowel rekening met het visueel comfort als met de energie-efficiëntie van de installatie en heeft ook oog voor sfeer en design. Bovendien is het van belang om de gebruiker voldoende mogelijkheden te geven om de verlichting zelf te regelen. De juiste hoeveelheid licht op het juiste moment op de juiste plaats, daar draait het om!

Deze publicatie is ontwikkeld naar aanleiding van het TETRA-onderzoeksproject “Impact van daglichtregelsystemen op ontwerp en renovatie van schoolgebouwen” (TETRA-120124) en is bijgevolg ook voornamelijk gericht op schoolgebouwen. De publicatie bevat echter ook veel algemene informatie rond licht en verlichting, waardoor een groot deel ervan ook geldig is voor andere tertiaire gebouwen zoals kantoorgebouwen.

De publicatie start met een toelichting van een aantal basisbegrippen uit de verlichting, waarna een beknopte toelichting wordt gegeven bij de norm NBN EN 12464-1 : 2011 “Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Werkplekken binnen”. Daarna komen de drie grote “licht-pijlers” aan bod: daglicht, kunstlicht en lichtregeling. In het hoofdstuk “Lichtregeling” wordt er bijzondere aandacht besteed aan de toepassing van daglichtregelsystemen. Dit hoofdstuk bevat bovendien enkele van de monitoringresultaten uit het TETRA-onderzoeksproject. Ten slotte is er nog een hoofdstuk gewijd aan de thematiek “Onderhoud en renovatie”. Hierin wordt er onder andere een checklist aangeboden voor het evalueren van de prestaties van de verlichtingsinstallatie en de kwaliteit van de daglichttoetreding.

Deze publicatie is geenszins normatief. Ze dient eerder gezien te worden als een handleiding die de verschillende facetten van licht en verlichting in een gebouw beschrijft. Bedoeling is om via deze publicatie zowel de gebouwbeheerder de basis van verlichting te kunnen meegeven alsook architecten en ontwerpers de nodige info te bieden om een lichtontwerp te maken, te beoordelen of te verbeteren.



AUTEUR

Ruben Delvaeye (WTCB)

REVIEWERS

Bertrand Deroisy (WTCB)

Peter Bracke (KU Leuven Technologicampus Gent)

Wouter Ryckaert (KU Leuven Technologicampus Gent)

1 Visuele prestatie en comfort

De kwaliteiten van licht

Uit bevestigingen blijkt dat het visueel comfort steevast in de top drie van leerkrachten staat wanneer hen gevraagd wordt naar de belangrijkste factoren waar moet op gelet worden bij het ontwerp van een klaslokaal. Studenten vinden, naast de verstaanbaarheid van de leerkracht, vooral de leesbaarheid van het bord heel belangrijk. Om een goed visueel comfort te bekomen, moet er niet alleen voldoende licht zijn. Ook de verdeling van het licht in de ruimte is van belang. Daglicht heeft zowel bij leerkrachten als bij leerlingen de voorkeur. Het is wel nodig dat er mogelijkheden voorzien worden om controle te kunnen uitoefenen op de hoeveelheid daglicht die in een klaslokaal binnenvalt. Dit kan belangrijk zijn met het oog op het vermijden van verblinding door direct zonlicht of in functie van de nodige verduistering bij projecties. Hiertoe dient zonwering / verduistering in het klaslokaal voorzien te worden. Daarnaast is het ook wenselijk om lichtregelsystemen te voorzien. Enerzijds om energie te besparen, anderzijds om de kunstverlichting aanpasbaar te maken in functie van de verschillende werkomstandigheden. Zo is het handig om bij het werken met projecties een deel van de kunstverlichting te kunnen uitschakelen. Op die manier wordt het projectscherm niet overbelicht en tegelijk zijn de lesgevers van de leerlingen toch nog voldoende verlicht om te kunnen lezen en schrijven.

Inleiding

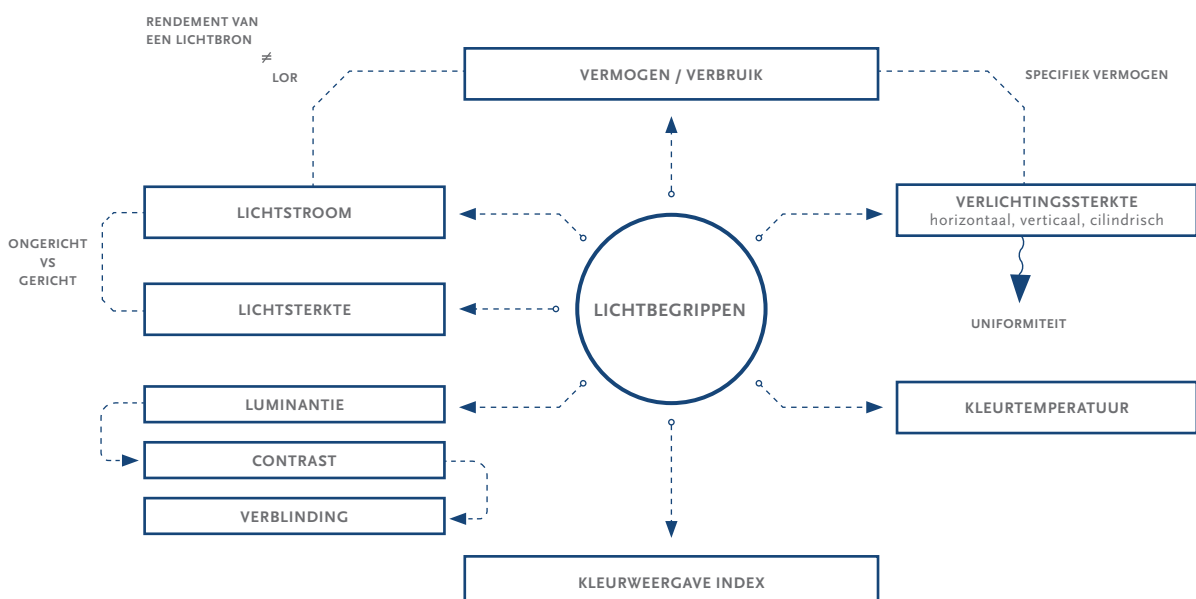
Een kwalitatieve verlichting in klaslokalen is erg belangrijk: uit studies is gebleken dat het visueel comfort in klaslokalen een impact heeft op het leerproces (bv. op de concentratie en vitaliteit van de leerlingen), maar ook op de algemene gezondheid en het welzijn van de leerlingen en leerkrachten. De kwaliteit van licht en verlichting is een heel ruim begrip. Het moet uiteindelijk een resultaat zijn van een ontwerpproces waarbij zowel met het gebouwo ontwerp, met eisen naar energie-efficiëntie als met de menselijke noden rekening gehouden wordt. Deze noden kunnen onder de noemer van het visueel comfort geplaatst worden.

Een te laag visueel comfort kan zowel bij aanwezigheid van daglicht als kunstlicht voorkomen. Bij daglicht kan een laagstaande zon zorgen voor een te hoge helderheid in het klaslokaal. Dit kan verblinding veroorzaken en/of de leesbaarheid van het schoolbord of van het projectiescherm verminderen, waardoor zonwering noodzakelijk wordt. Bij kunstverlichting is een te lage verlichtingssterkte op het werkvlak de belangrijkste reden van een verminderd visueel comfort. Daarnaast moet bij de keuze van de verlichtingstoestellen ook de nodige aandacht geschonken worden aan het risico op verblinding.

Hoewel daglicht steeds als belangrijkste bron van licht moet beschouwd worden in scholen, en de keuze van de raampoppervlakte en raampositie dan ook heel belangrijk is in de ontwerpfase, is het nodig dat bij gebrek aan daglicht de kunstverlichting kan ingeschakeld worden. Om visueel comfort bij de gebruikers te garanderen, zal de lichtontwerper de verlichtingstoestellen zorgvuldig selecteren. De werkvlakken, zoals de lessenaars en het schoolbord, moeten voldoende verlicht zijn, de verlichting moet voldoende uniform (gelijkmatig verdeeld) zijn en mag geen verblinding veroorzaken. Dit alles dient behaald te worden met een verlichtingsinstallatie die bovendien zo energiezuinig mogelijk is. De kunstverlichting en de zonwering moeten ook voldoende regelbaar zijn voor de gebruikers. Meer en meer worden lichtregelsystemen, zoals daglichtregeling en aanwezigheidsdetectie, voorzien. Deze hebben als doel het comfort van de gebruiker te verhogen en tegelijkertijd ook energie te besparen. Maar welk systeem wordt het beste toegepast in welke situatie en wat impliceert dit voor de gebruiker?

1.1 Basisbegrippen verlichting

Om goed te begrijpen welke parameters van belang zijn bij het ontwerp van een verlichtingsinstallatie, en daaraan gekoppeld het visueel comfort, is het noodzakelijk om een aantal basisbegrippen te begrijpen en hierbij meteen een aantal richtwaarden in gedachten te kunnen halen. Onderstaand schema geeft een overzicht van deze begrippen en legt eventuele verbanden hiertussen.



1.1.1. Vermogen en elektrisch verbruik

Het elektrisch vermogen van een toestel geeft aan hoeveel energie per tijdseenheid wordt opgenomen (verbruikt) door het toestel. Dit wordt uitgedrukt in “joule per seconde” (J/s), of ook “watt” (W) genoemd. Soms wordt ook “kilowatt” (kW) als eenheid gebruikt, waarbij 1 kW gelijk is aan 1000 W.

Het maximaal elektrisch vermogen van een toestel kan normaal afgelezen worden op het toestel zelf: voor een strijkijzer ligt dit rond 2500 W, terwijl voor een microgolfoven een maximaal vermogen van 900 W vaak voorkomend is en voor een dvd-speler 35 W meer gebruikelijk is.

Het gemiddeld vermogen dat elk van deze toestellen per tijdseenheid opneemt, ligt over het algemeen wel lager dan het maximaal elektrisch vermogen. Het elektrisch verbruik van elk toestel gedurende een zekere tijd wordt dan berekend door het gemiddeld vermogen van het toestel te vermenigvuldigen met deze tijd. Het verbruik is ook de grootte die je afleest op de elektriciteitsmeter. Ze wordt meestal uitgedrukt in “kilowattuur” (kWh).

Wanneer een toestel met een gemiddeld vermogen van 1 kW gedurende 1 h werkt, heeft dit toestel dus 1 kWh aan energie verbruikt. De kostprijs voor 1 kWh elektriciteit bedraagt momenteel ongeveer € 0,25. Een wekkerradio heeft een gemiddeld vermogen van slechts 5 W, maar op één dag (24 h) betekent dit toch een verbruik van 0,12 kWh, of op jaarbasis dus 43,8 kWh. De energiekost om de wekkerradio een volledig jaar te laten werken, bedraagt dan ongeveer € 10,95!

1.1.2. Lichtstroom

De hoeveelheid licht die een lichtbron per seconde in alle richtingen uitstraalt, wordt de lichtstroom of lichtflux genoemd. Ze wordt uitgedrukt in “lumen” (lm). De meting van de lichtstroom gebeurt in een integreerende sfeer, ook wel een bol van Ulbricht genoemd.

1.1.3. Lichtrendement van een lichtbron

Een lichtbron zet elektrische energie om in een andere vorm van energie, namelijk licht. Bij deze omzetting gaat onvermijdelijk een deel van de energie verloren, bijvoorbeeld door productie van warmte. Het lichtrendement van een lichtbron drukt uit hoe efficiënt de lichtbron elektrische energie omzet in zichtbaar licht. Het wordt berekend als de lichtstroom geleverd door een lichtbron gedeeld door het opgenomen elektrisch vermogen van de lichtbron en wordt uitgedrukt in “lumen/watt” (lm/W).

Hoe hoger de lichtstroom bij een bepaald opgenomen vermogen, hoe hoger het lichtrendement en dus hoe efficiënter de lichtbron. Een (lineaire) fluorescentielamp (tl-lamp) van het type T5 met een standaard lichtrendement van ongeveer 85 à 110 lm/W is dus veel efficiënter dan een gloeilamp die bij een elektrisch verbruik van 20 W ongeveer 300 lm uitstraalt (15 lm/W). In een tl-lamp wordt het elektrisch vermogen dus veel efficiënter omgezet in zichtbaar licht dan bij een gloeilamp.

Het lichtrendement bij led ligt anno 2016 in dezelfde grootteorde als het lichtrendement van een T5 tl-lamp. Door de snelle ontwikkelingen binnen de ledtechnologie wordt verwacht dat het lichtrendement van leds in de toekomst nog verder zal stijgen. Voor verschillende toepassingen overstijgt het lichtrendement van leds nu zelfs reeds het rendement dat met de beste fluorescentielampen gehaald wordt. Hierbij valt evenwel op te merken dat er, afhankelijk van hun kwaliteit, nog steeds een grote variatie van de prestaties van de ledproducten bestaat.

“Voor bepaalde toepassingen overstijgt het lichtrendement van leds reeds het rendement van de beste fluorescentielampen. Veel hangt echter af van de kwaliteit van de ledproducten.”



1.1.4. Rendement van een verlichtingsarmatuur

De definitie van het rendement van een verlichtingsarmatuur is afhankelijk van het type armatuur. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen toestellen die vervangbare lichtbronnen hebben en toestellen waarbij de lichtbron en de armatuur een compleet, gesloten systeem vormen.

Voor verlichtingsarmaturen die een vervangbare lichtbron hebben, bestaat het begrip “armatuurrendement”. De armatuur verdeelt, filtert of transformeert het licht dat afkomstig is van één of meer lichtbronnen (lampen). Het armatuurrendement, ook wel “LOR” (Light Output Ratio) genoemd, wordt gedefinieerd als het quotiënt van de lichtstroom uit de armatuur en de som van de lichtstromen uit de lichtbronnen in deze armatuur. Ze wordt uitgedrukt als een percentage (%). Voor school- en kantoortoepassingen valt de keuze (nog) heel vaak op fluorescentieverlichting en moet minstens gestreefd worden naar armaturen met een LOR van 80 %. Meer en meer wordt er voor hoogrendementsarmaturen gekozen, waar mag gerekend worden op een LOR van 90 % of meer.

Bij vele ledtoepassingen vormen de lichtbron en de armatuur een compleet, gesloten systeem. Dit betekent dat de lichtbron of optiek niet zomaar te vervangen is zonder dat ook de rest moet veranderd worden. Er wordt dus niet afzonderlijk gesproken over de lichtbron en de armatuur, maar enkel over het geheel: het verlichtingstoestel. In dit geval kan er niet direct een opdeling gemaakt worden tussen het licht- en armatuurrendement. Er wordt bij een ledverlichtingstoestel niet langer gebruik gemaakt van de definitie voor LOR, maar wel van een nieuw begrip: de “LER” (Luminaire Efficacy Rating).

De LER van een ledverlichtingstoestel wordt berekend door de totale lichtstroom uit het ledverlichtingstoestel te delen door het totaal elektrisch vermogen dat opgenomen wordt door het ledverlichtingstoestel (uitgedrukt in lm/W). De definitie is qua opbouw dus vergelijkbaar met de definitie van het lichtrendement voor een lichtbron op zich, maar in de berekening van de LER wordt het totale opgenomen vermogen van het verlichtingstoestel gebruikt in plaats van enkel het opgenomen vermogen door de lichtbron.

“Er wordt bij een ledverlichtingstoestel niet langer gebruik gemaakt van de definitie voor LOR, maar wel van een nieuw begrip: de ‘LER’.”

1.1.5. Verlichtingssterkte



Wanneer een bepaalde taak moet uitgevoerd worden (lezen, schrijven, handwerk,...), is er uiteraard voldoende licht nodig op het werkvlak (ook wel taakoppervlak genoemd). Enkel op die manier kan de taak op een comfortabele en veilige manier afgewerkt worden. De grootte die gebruikt wordt om te bepalen of er op het werkvlak voldoende licht valt, is de verlichtingssterkte. Ze wordt gedefinieerd als de op het werkvlak invallende lichtstroom (uit eender welke richting) per oppervlakte-eenheid. Verlichtingssterktes worden bijgevolg uitgedrukt in lm/m^2 , of “lux” (lx). Hoewel we deze grootte eigenlijk niet kunnen waarnemen, is ze toch één van de belangrijkste grootheden bij “verlichting in de praktijk”. Ze wordt namelijk gebruikt om de benodigde hoeveelheid licht op het werkvlak vast te leggen.

De verlichtingssterkte kan heel sterk variëren naargelang de plaats waar en het moment waarop ze gemeten wordt: met een luxmeter kan op eenzelfde plaats op een stralende zomerdag 100.000 lx gemeten worden, terwijl onder volle maan slechts 0,1 à 0,2 lx zal gemeten worden. Aangezien lux-waarden afhangen van de invallende lichtstroom, is ook de richting waarin de luxmeter gehouden wordt van belang. Op een bureau moet de horizontale verlichtingssterkte gemeten worden (ter hoogte van het werkblad van het bureau, conventioneel op 0,85 m hoogte). Op een schoolbord moet de verticale verlichtingssterkte hoog genoeg moet zijn.

“Hoewel we de verlichtingssterkte niet direct kunnen waarnemen, wordt deze grootte toch gebruikt om de benodigde hoeveelheid licht op een werkvlak vast te leggen.”

De norm NBN EN 12464-1 definieert richtwaarden voor de verlichtingssterkte die behaald moeten worden op het werkvlak om bepaalde visuele taken comfortabel en veilig uit te kunnen uitvoeren. De gedefinieerde waarden zijn praktijkverlichtingssterktes. Dit wil zeggen dat de gemiddelde verlichtingssterkte over het volledige werkvlak te allen tijde moet gegarandeerd zijn. Praktisch betekent dit dat een verlichtingsinstallatie in nieuwe toestand een hogere gemiddelde verlichtingssterkte moet garanderen, aangezien op “het einde van de beschouwde levensduur” de praktijkverlichtingssterkte nog steeds moet bereikt worden. De onderhoudsfactor, ingerekend bij ontwerp van de installatie, houdt rekening met vervuiling van de armaturen en van de ruimte, met vermindering van de lichtstroom uit lampen en met eventuele uitval van lampen die einde levensduur zijn.



▲ Meetkop luxmeter

“De waarden voor de verlichtingssterkte in de norm NBN EN 12464-1 zijn praktijkverlichtingssterktes: het betreft de gemiddelde verlichtingssterkte over het volledige werkvlak die te allen tijde moet gegarandeerd zijn.”

Hieronder wordt een overzicht gegeven van enkele richtwaarden uit de norm NBN EN 12464-1 voor de praktijkverlichtingssterkte in functie van de uit te voeren taak:

Bestemming	Verlichtingssterkte	Bestemming	Verlichtingssterkte
Klaslokalen (schoolgebouwen)	300 lx	Trappen (schoolgebouwen)	150 lx
Klaslokalen voor avond- en volwassenonderwijs	500 lx	Gangen (schoolgebouwen)	100 lx
Auditoria (schoolgebouwen)	500 lx	Kantoren (kantoorgebouwen)	500 lx
Schoolrefters (schoolgebouwen)	200 lx	Vergaderzalen (kantoorgebouwen)	500 lx

Richtwaarden voor de praktijkverlichtingssterkte uit de norm NBN EN 12464-1

1.1.6. Uniformiteit

De norm NBN EN 12464-1 legt waarden op voor gemiddelde verlichtingssterkte over het volledige werkvlak die altijd moet gegarandeerd zijn. Het is natuurlijk niet de bedoeling dat bepaalde zones van het werkvlak veel meer verlicht zijn dan andere (terwijl de gemiddelde waarde van de verlichtingssterkte toch nog steeds voldoende hoog kan zijn). Zo is het in een klaslokaal niet wenselijk dat de leerling van de leerling slecht verlicht zijn van zodra deze eens verzet worden naar een andere dan de standaardopstelling. Vandaar dat er ook eisen naar uniformiteit (U_0), ook wel gelijkmatigheid, van de verlichtingssterkte op het werkvlak gesteld worden. De uniformiteit is gedefinieerd als de verhouding van de minimale ten opzichte van de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte op het werkvlak. Ze karakteriseert met andere woorden de lichtverdeling op het werkvlak. Deze grootheid is logischerwijze dimensieloos.

Net als de te voorziene verlichtingssterkte, hangt ook de vereiste uniformiteit af van de uit te voeren taak. Vaak kan echter een minimumwaarde van 0,60 als standaard eis gebruikt worden, zeker in schoolomgevingen en kantoorgebouwen. Een gebrek aan aandacht voor de uniformiteit kan leiden tot hinderlijke schaduwen op het werkvlak of tot vermoeiing van de ogen, aangezien die zich steeds zouden moeten aanpassen aan andere lichtomstandigheden.



▲ Hinderlijke schaduwen

“Een gebrek aan aandacht voor de uniformiteit kan leiden tot hinderlijke schaduwen op het werkvlak of tot vermoeiing van de ogen.”

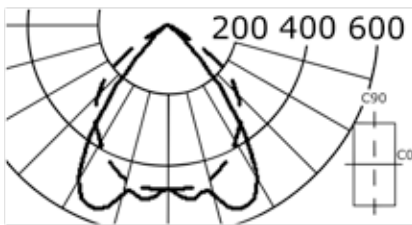
1.1.7. Lichtsterkte



Een lichtbron straalt meestal licht uit in verschillende richtingen. De lichtsterkte is de grootte die de grootte van de lichtstroom uit een lichtbron in een bepaalde stralingsrichting beschrijft. Deze grootte is dan ook vooral nuttig wanneer naar richtbare lampen (bv. spots) gekeken wordt. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in "candela" (cd). Hieronder wordt een overzicht gegeven van enkele typische waarden voor de lichtsterkte van bepaalde lichtbronnen.

Type lichtbron	Lichtsterkte
Kaars	1 cd
Gloeilamp	150 cd
Koplamp van een auto	10.000 cd
Zon	3×10^{27} cd

Typische waarden voor de lichtsterkte van bepaalde lichtbronnen



Een armatuur bevat meestal een optiek om het licht te verspreiden. De manier waarop de armatuur het licht verspreidt (verdeelt), wordt aangegeven met het polaire diagram van de lichtsterkte. Het is voor een verlichtingstoestel het resultaat van een meting van de lichtsterkte (met behulp van een fotogoniometer) over alle richtingen en dit uitgezet op één grafiek. Het zijn deze diagrammen die worden opgenomen in de technische fiches van productcatalogi.

In het nevenstaande polaire diagram worden twee curves uitgezet die het stralingspatroon (d.w.z.: hoe wordt het licht gestuurd in de verschillende richtingen?) van een armatuur weergeven, in de lengte- en in de breedterichting van de armatuur.

↑ Stralingspatroon armatuur
ETAP UT1860/250HFW



Wanneer de lichtsterkten over alle stralingsrichtingen opgeteld worden, wordt de lichtstroom bekomen. Met de lichtstroom wordt immers uitgedrukt hoeveel zichtbaar licht een lichtbron per seconde uitstraalt in alle richtingen (daar waar de lichtsterkte één enkele stralingsrichting beschouwt).

1.1.8. Luminantie



Alle lichtbronnen en alle voorwerpen hebben een zekere luminantie. Deze luminantie kan beschouwd worden als een maat voor de helderheid van het zichtbare oppervlak van een lichtbron of van een voorwerp. De gloeidraad van een gloeilamp heeft bijvoorbeeld een zeer hoge luminantie, het schermje van een grafisch rekenmachine heeft een eerder lage luminantie. Maar ook een boek dat door een externe lichtbron verlicht wordt, reflecteert een bepaalde hoeveelheid licht in de richting van het oog en heeft dus een bepaalde luminantie, of helderheid. Kortom: zowel lichtbronnen als niet-lichtgevende voorwerpen hebben dus een luminantie.

De luminantie wordt algemeen gedefinieerd als de lichtsterkte die uitgestraald wordt door een lichtbron of door een reflecterend oppervlak, gedeeld door de geprojecteerde oppervlakte volgens de kijkrichting van de bron of het oppervlak en wordt uitgedrukt in "candela/m²" (cd/m²). Voor een niet-lichtgevend oppervlak betekent dit dat de luminantie van het oppervlak afhankelijk is van de belichting van het oppervlak (hoeveelheid invallend licht) en van de reflecties van het oppervlak.

De lichtverdeling van de reflecties bepaalt hoe het licht op een oppervlak weerkaatst en de reflectiecoëfficiënt bepaalt hoeveel van het invallend licht gereflecteerd wordt. Wanneer bijvoorbeeld een wit en een zwart blad papier op een uniform verlicht werkvlak naast elkaar gelegd worden, is de hoeveelheid invallend licht op de twee bladen quasi gelijk. Wit reflecteert echter veel meer licht dan zwart, waardoor het witte blad papier een veel hogere luminantie heeft dan het zwarte blad papier.

Luminantie is dus een belangrijk begrip omdat het direct verband houdt met de visuele waarneming. Het is dankzij de luminantie van een voorwerp dat het menselijk oog voorwerpen kan waarnemen. De luminantieverhoudingen zorgen voor de mogelijkheid om verschillende voorwerpen van elkaar te onderscheiden. De luminantie kan gemeten worden met behulp van een luminantiemeter.

“Het is de luminantie van een voorwerp die er voor zorgt dat het menselijk oog het voorwerp kan waarnemen en luminantieverhoudingen zorgen voor de mogelijkheid om verschillende voorwerpen van elkaar te onderscheiden.”

Onderstaande tabel geeft enkele interessante richtwaarden voor de luminantie:

Lichtbron / reflecterend oppervlak	Luminantie
Waarnemingsdrempel	10^{-5} cd/m^2
Landschap bij maanlicht	$0,01 \text{ cd/m}^2$
Wegdek bij kunstmatige verlichting	$0,5 - 2 \text{ cd/m}^2$
Zwart papier onder 400 lx	5 cd/m^2
Wit papier onder 400 lx	100 cd/m^2
Oppervlak van de maan	2500 cd/m^2
Fluorescentielamp	$5000 - 15.000 \text{ cd/m}^2$
Pijnlijke verblinding	vanaf 100.000 cd/m^2
Gloeidraad van een klassieke gloeilamp	$7.000.000 \text{ cd/m}^2$
Oppervlak van de zon (maximaal)	$1.365.000.000 \text{ cd/m}^2$

Richtwaarden voor de luminantie van lichtbronnen en reflecterende oppervlakken



▲ Luminantiemeter

Zoals hieruit ook blijkt, zorgen te lage luminanties ervoor dat het moeilijk (onmogelijk) wordt om correcte, gedetailleerde waarnemingen te doen. Te hoge luminanties kunnen dan weer voor verblinding zorgen, wat de waarneembaarheid ook negatief beïnvloedt (of zelfs onmogelijk maakt).

1.1.9. Contrast

Wanneer het binnen de verlichtingssector over contrasten gaat, wordt het contrast in luminanties (of de luminantieverhouding) tussen verschillende oppervlakken en/of lichtbronnen bedoeld. Deze verhouding in luminantie van verschillende oppervlakken zorgt ervoor dat ze van elkaar onderscheiden kunnen worden. Zo kunnen we krijtschrift op een schoolbord lezen omdat het witte krijt meer licht reflecteert dan het donkergroene bord: er is een verschil in luminantie (of een contrast) tussen de witte letters en het groene bord, wat belangrijk is voor een goede leesbaarheid.

Bij te grote contrasten kan er echter verblinding optreden. Bij te veel luminantiewisselingen worden de ogen sterk vermoeid omdat afwisselend kijken naar plaatsen met een hoge en een lage luminantie de ogen tot voortdurende aanpassing dwingt, wat erg belastend is. Te lage contrasten zorgen dan weer voor moeilijkere waarneming van volumes en oppervlakken en voor een saaie, slaapverwekkende omgeving.

1.1.10. Verblinding

Te grote contrasten als gevolg van een slechte luminantieverdeling of te hoge luminanties in het algemeen binnen het gezichtsveld kunnen tot verblinding leiden. Verblinding vermindert het vermogen van een persoon om voorwerpen waar te nemen en van elkaar te onderscheiden. Hierdoor wordt het zorgvuldig uitvoeren van een taak bemoeilijkt. Het is dan ook belangrijk verblinding te vermijden om vergissingen, vermoeidheid en zelfs ongevallen te voorkomen. Doorgaans worden twee types verblinding van elkaar onderscheiden. Enerzijds kan er directe verblinding optreden, rechtstreeks veroorzaakt door een of meerdere lichtbronnen (lampen, vensters, ...). Anderzijds is er indirecte verblinding, veroorzaakt door reflecties van licht op een oppervlak.

“Verblinding vermindert het vermogen van een persoon om voorwerpen waar te nemen en van elkaar te onderscheiden. Het is dan ook belangrijk om verblinding proberen te vermijden.”

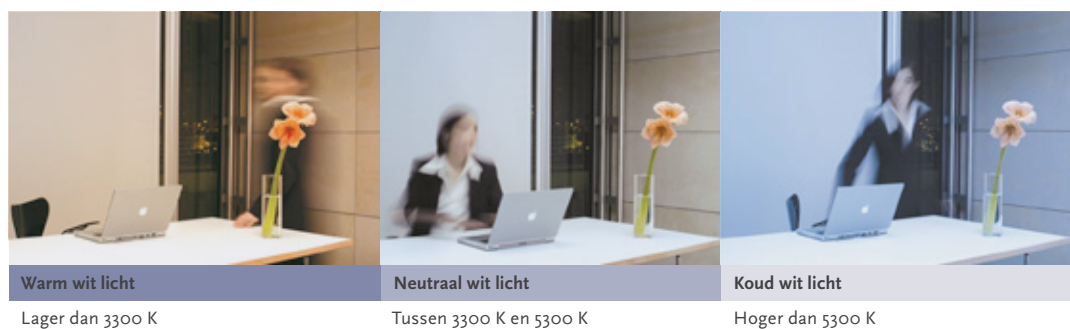
Om verblinding door de kunstverlichting te kunnen beoordelen, werd op internationaal niveau het begrip “UGR-waarde” (Unified Glare Rating) ingevoerd. Deze grootheid wordt frequent gebruikt om het risico op directe verblinding bij een verlichtingsinstallatie te beoordelen en houdt, behalve met het type armatuur en haar positie, ook rekening met de karakteristieken van de ruimte en met de positie van de waarnemer. Er worden aan de UGR-waarde bepaalde maxima opgelegd, afhankelijk van de uit te voeren taak: hoe lager de UGR-waarde, hoe kleiner het risico op verblinding. Algemeen wordt er van uitgegaan dat er bij UGR-waarden kleiner dan 10 geen merkbare verblinding optreedt, dat bij een UGR-waarde groter dan 22 de verblinding echt storend is en dat ze bij een UGR-waarde vanaf 28 zelfs ondraaglijk en belemmerend wordt. Concreet worden er in de norm NBN EN 12464-1 volgende maxima voorgeschreven in functie van de uit te voeren taak.

Bestemming	Maximale UGR-waarde
Klaslokalen en auditoria (schoolgebouwen)	19
Kantoren (kantoorgebouwen)	19
Vergaderzalen (kantoorgebouwen)	19
Schoolrefters (schoolgebouwen)	22
Trappen (schoolgebouwen)	25
Gangen (schoolgebouwen)	25

Maximale UGR-waarden in functie van de bestemming volgens de norm NBN EN 12464-1

1.1.11. Kleurtemperatuur

Wit licht bestaat in heel wat verschillende schakeringen. Rood en oranje getint wit licht wordt eerder geassocieerd met gezelligheid en warmte, terwijl blauwe tinten eerder koel en kil overkomen. Het is mogelijk om een bepaalde tint te koppelen aan een meetbare waarde met behulp van de grootheid “kleurtemperatuur”, uitgedrukt in “kelvin” (K). Hoe lager de waarde voor de kleurtemperatuur, hoe meer de rode tint doorweegt en dus hoe warmer de kleur van het wit licht. Een hoge waarde voor de kleurtemperatuur wijst op een blauwe kleurtint. Koudere kleuren (een hogere kleurtemperatuur) worden helderder ervaren dan warme kleuren (een lage kleurtemperatuur). Volgend overzicht geeft voor de kleurtemperatuur enkele typische waarden en de omschrijving ervan.



Voor ontspannings- en rustruimtes wordt meestal voor warm wit licht gekozen, terwijl iets kouder wit licht aangeraden wordt op plaatsen waar concentratie vereist is. Bij lage verlichtingssterktes wordt een lagere kleurtemperatuur (warm wit licht) doorgaans als aangenamer ervaren. Zo is een gemiddelde verlichtingssterkte van ongeveer 150 lx op de tafel bij gloeilamplicht (kleurtemperatuur van ongeveer 2800K) ideaal tijdens een restaurantbezoek. In een kantoorruimte, waar de norm NBN EN 12464-1 een waarde van 500 lx voorschrijft, zou deze kleurtemperatuur eerder als wat te warm ervaren worden. Voor standaard klaslokalen wordt meestal gekozen voor lampen met een kleurtemperatuur van 3000 of 4000 K, waarbij 4000 K meestal de voorkeur geniet.

“Voor ontspanningsruimtes wordt meestal voor warm wit licht gekozen, terwijl iets kouder wit licht aangeraden wordt op plaatsen waar concentratie vereist is.”

Bij ledverlichting hebben lichtbronnen met een hogere kleurtemperatuur gewoonlijk een hoger rendement dan deze met een lagere kleurtemperatuur. Merk op dat het begrip “temperatuur” figuurlijk gebruikt wordt: het geeft enkel de tint van het witte licht weer en zegt niets over de temperatuur van de lichtbron!

1.1.12. Kleurweergave-index

Iedereen heeft wel al eens vastgesteld dat de kleur van een kledingstuk kan veranderen naargelang de lichtbron waaronder het kledingstuk bekeken wordt. Ook in de slagerij ziet het vlees er altijd wat roder uit dan wanneer het thuis uit de verpakking gehaald wordt. In kantoren en scholen is het de bedoeling om alle kleuren zo getrouw mogelijk te kunnen waarnemen. Dit is immers een van de kenmerken van kwaliteitsvolle verlichting. De mate waarin de kleurweergave door een bepaalde lichtbron correct gebeurt, wordt aangegeven door de kleurweergave-index R_a (Colour Rendering Index (CRI)) van de lichtbron. Deze heeft een waarde tussen 0 en 100.

De index definieert dus hoe kleuren weergegeven worden onder het licht van een bepaalde lichtbron, vergeleken met het licht van een bepaalde referentielichtbron. De norm NBN EN 12464-1 schrijft de waarde voor de kleurweergave voor in functie van de visuele taak. In de meeste gevallen wordt in school- en kantoortoepassingen een kleurweergave-index van minimum 80 voorgeschreven: bij deze waarde kan er doorgaans gesteld worden dat de kleurweergave behoorlijk goed is. De Europese regelgeving vereist zelfs dat deze waarde voor alle vervangingslampen met leds gehaald wordt. Wanneer het van belang is om kleuren écht goed te kunnen beoordelen, bijvoorbeeld in het kunstonderwijs, wordt volgens de norm NBN EN 12464-1 beter geselecteerd voor lichtbronnen met een kleurweergave-index van minstens 90.

Daar waar de definitie van het armatuurrendement grotendeels verloren gaat bij led, is dit ook voor de definitie van de kleurweergave-index het geval bij ledtoepassingen. Bepaalde witte leds krijgen namelijk een waarde voor de kleurweergave-index lager dan 100, terwijl uit onderzoek blijkt dat mensen de kleurweergave onder deze leds beter vinden dan onder de referentielichtbron. Een getal zegt dus ook niet alles!

“In de meeste gevallen wordt in school- en kantoortoepassingen een kleurweergave-index van minimum 80 voorgeschreven.”

1.1.13. Specifiek vermogen

Behalve visueel comfort is uiteraard ook de energiezuinigheid van een verlichtingsinstallatie belangrijk. De laatste decennia is het bewustzijn rond de klimaatverandering en de bijhorende energie- en milieuproblematiek sterk gestegen. Bovendien zorgt een lager energieverbruik ook voor een lagere energiefactuur. Zeker bij scholen moet dit een doorslaggevende factor zijn om te investeren in energiezuinige verlichting en eventueel in lichtregelsystemen. In scholen kan het verbruik voor verlichting namelijk meer dan 60 % van het totale elektriciteitsverbruik bedragen. In kantoorgebouwen ligt dit wat lager, gemiddeld tussen 30 en 40 %.

“In scholen kan het verbruik voor verlichting tot meer dan 60 % uitmaken van het totale elektriciteitsverbruik.”



▲ Slechte vs. goede kleurweergave

Als maat voor de energiezuinigheid van de verlichtingsinstallatie voor de algemene verlichting in onder andere klaslokalen en kantoren kan het specifiek vermogen gebruikt worden (uitgedrukt in $W/(m^2 \cdot 100lx)$). Met “algemene verlichting” wordt de verlichting van de horizontale werkvlakken (zoals lessenaars en bureaus) bedoeld.

Het specifiek vermogen wordt dan berekend door het geïnstalleerde vermogen voor de algemene verlichting (zowel vermogen van lampen als van voorschakelapparaat) te delen door:

- de volledige vloeroppervlakte van de ruimte (zelfs indien er een randzone werd ingevoerd), uitgedrukt in m^2
- de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte over het werkvlak, uitgedrukt per 100 lx

Het delen door de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte geeft een idee van de energiezuinigheid van de installatie, los van de vereiste verlichtingssterkte op het werkvlak (en dus van het type werkvlak).

Het geïnstalleerd vermogen wordt berekend op basis van het vermogen van de verlichtingstoestellen die de algemene verlichting in de ruimte verzekeren. Het gaat hierbij enkel over de verlichtingstoestellen die bedoeld zijn om voornamelijk het horizontale werkvlak te verlichten. Bordarmaturen met asymmetrische reflector worden dus niet in rekening gebracht om het specifiek vermogen te berekenen. Deze verlichten immers vooral het schoolbord en zijn dus irrelevant om mee te nemen in een berekening van de energiezuinigheid ten opzichte van de vloeroppervlakte. Het is uiteraard belangrijk om ook voor de bordverlichting voor een energiezuinige oplossing te kiezen die bovendien liefst afzonderlijk schakelbaar is van de algemene verlichting.

“Als richtwaarde voor het specifiek vermogen van een energiezuinige installatie voor de algemene verlichting in school- en kantoorgebouwen kan anno 2016 1,3 à 1,6 $W/(m^2 \cdot 100lx)$ vooropgesteld worden.”

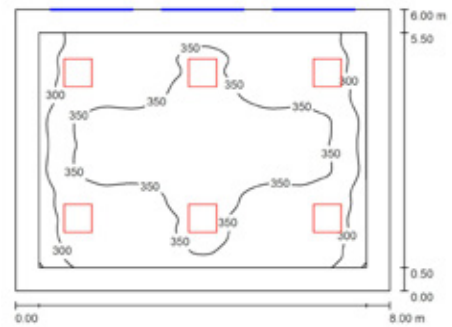
Anno 2016 kan als richtwaarde voor het specifiek vermogen van een energiezuinige installatie voor de algemene verlichting in school- en kantoorgebouwen 1,3 à 1,6 $W/(m^2 \cdot 100lx)$ vooropgesteld worden. Voor een vereiste gemiddelde verlichtingssterkte van 300 lx komt dit neer op 3,9 à 4,8 W/m^2 , een vereiste verlichtingssterkte van 500 lx op het werkvlak stemt overeen met 6,5 à 8 W/m^2 .

Voorbeeld

Een klaslokaal voor middelbaar onderwijs van 8 m lang en 6 m breed wordt uitgerust met 6 verlichtingstoestellen voor de algemene verlichting van de lessenaars. In elk toestel zitten 3 tl-lampen van 13 W. Het totaal vermogen van elk individueel verlichtingstoestel, inclusief voorschakelapparaat, bedraagt 41 W. Uitgaande van een gemiddelde praktijkverlichtingssterkte over het horizontale werkvlak van 337 lx (berekend in de simulatiesoftware DIALux), wordt volgende waarde voor het specifiek vermogen berekend:

$$6 \times 41 \text{ W} / (6 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3,37 \times 100 \text{ lx}) = 1,52 \text{ W}/(m^2 \cdot 100lx)$$

Deze installatie voor de algemene verlichting van de lessenaars kan dus beschouwd worden als een energiezuinige verlichtingsinstallatie.



Plattegrond met isolijnen van de praktijkverlichtingssterkte over het werkvlak

! Het mag duidelijk zijn dat de definitie van (en de bijhorende richtwaarde voor) het specifiek vermogen niet als standaard voor elke lichtberekening gebruikt kan worden. De definitie is slechts geldig zolang er enkel verlichtingstoestellen beschouwd worden die een horizontaal werkvlak (zoals lessenaars en bureaus) verlichten dat qua grootte ongeveer overeenkomt met de totale vloeroppervlakte van de ruimte. De verlichting van klaslokalen die zijn uitgerust met bordverlichting, laat staan de verlichting in winkels of opslaghallen, kan dus niet (volledig) beoordeeld worden met behulp van de definitie van het specifiek vermogen.



Werkvlak en randzone

Een werkvlak, ook wel taakoppervlak genoemd, valt algemeen te definiëren als een oppervlak waarop een visuele taak uitgevoerd wordt. Dit vlak kan zowel horizontaal (lezen van een boek op een lessenaar in een klaslokaal) als verticaal (schrijven op het bord in een klaslokaal) gelegen zijn, maar ook in eender welke andere richting. Indien het werkvlak niet vastligt, dient de volledige bruikbare oppervlakte als werkvlak beschouwd te worden. Dit geldt meestal voor klaslokalen, aangezien de opstelling van de lessenaars doorgaans niet vast is.

Indien het werkvlak de volledige vloeroppervlakte van de ruimte beslaat, kan er wel voor gekozen worden om van de buitenste rand (typisch 0,5 m rondom) een randzone te maken. De randzone kan beschouwd worden als de directe omgeving van het werkvlak. Hierin worden dus geen specifieke taken langdurig uitgevoerd, waardoor de gestelde eisen hier minder streng zijn.

In het geval dat het werkvlak niet de volledige vloeroppervlakte beslaat, moet er volgens de norm NBN EN 12464-1 hoe dan ook een randzone (directe omgeving), aangevuld met een achtergrond, beschouwd worden. Dit moet vermijden dat de verlichtingssterkte op het werkvlak en op de omgeving errond te sterk van elkaar zou verschillen, wat aanleiding zou kunnen geven tot comfortproblemen.



1 *Werkvlak in een kantoor*

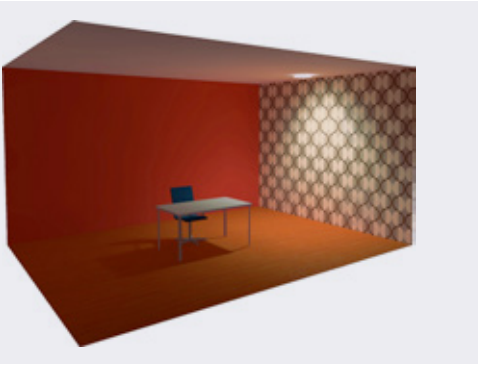
2 *Werkvlakken in een klaslokaal: de lessenaars (vaste opstelling) en het schoolbord*

3 *Werkvlakken in een bibliotheek: verticale opbergrekken voor boeken*





▲ Goede utilantie: licht op efficiënte manier van verlichtingstoestel naar taakoppervlak



▲ Slechte utilantie: licht op niet-efficiënte manier van verlichtingstoestel naar taakoppervlak

Een alternatief criterium om te beoordelen of een verlichtingsinstallatie energie-efficiënt is, en waarbij ook de aanwezigheid van lichtregelsystemen in rekening wordt gebracht, wordt voorgesteld in de norm NBN EN 15193. De Lighting Energy Numeric Indicator (LENI), uitgedrukt in kWh/(m².a), geeft de totale hoeveelheid energie weer die er jaarlijks door de verlichtingsinstallatie verbruikt wordt per m² vloeroppervlak. De berekeningsmethode houdt zowel rekening met het verbruik van de verlichtingsinstallatie bij effectief gebruik als met het parasitair verbruik in stand-by toestand. Regelsystemen worden meegenomen in de berekening door toepassing van reductiefactoren op het verbruik tijdens dag- en nachturen. De LENI kan gebruikt worden om het energieverbruik voor verlichting van gebouwen met gelijkaardige functie maar met verschillende grootte en indeling te vergelijken.

Een meer algemene methode voor het beoordelen van de energie-efficiëntie van verlichtingsinstallaties werd voorgesteld door het Laboratorium voor Lichttechnologie van KU Leuven Technologiecampus Gent. Het criterium maakt het mogelijk om te berekenen hoeveel vermogen in een ruimte geïnstalleerd mag worden om energiezuinig te verlichten en tegelijk visueel comfort te verzekeren. Het maximaal te installeren vermogen hangt niet alleen af van de onderhoudsfactor, het armatuurrendement en de efficiëntie van de lichtbronnen en van de voorschakelapparatuur, maar ook van de lichtplanning. Hiertoe wordt de “utilantie” als parameter ingevoerd: de utilantie drukt uit hoeveel procent van de lichtstroom dat uit de armaturen komt, ook effectief de taakoppervlakken bereikt. Ze is onder andere afhankelijk van het stralingspatroon van de armatuur en van de combinatie “geometrie van de ruimte – inplanting van de armatuur in de ruimte”. Aangezien in de berekening elk type taakoppervlak kan ingerekend worden (zowel horizontale, verticale als schuine taakoppervlakken (én combinaties ervan) zijn mogelijk), is het criterium geldig voor een brede waaier aan toepassingen (bv. kantoren, leslokalen, winkels, magazijnen,...). Door zijn algemeen karakter wordt dit criterium sinds 2010 in Vlaanderen gebruikt voor het toekennen van premies voor relighting aan niet-particulieren (bv. bedrijven en lokale besturen, maar ook scholen!).

Het spreekt voor zich dat energiebesparing nooit ten koste mag gaan van het visueel comfort. Dit principe wordt dan ook meegenomen in de EPB-regelgeving voor school- en kantoorgebouwen. Het E-peil wordt namelijk berekend als de verhouding van het primaire energieverbruik van het gebouw tot een referentieverbruik dat afhangt van een aantal indicatoren. Een van die indicatoren is de hulpvariabele L van elke ruimte. Deze is een (vereenvoudigde) maat voor de praktijkverlichtingssterkte in deze ruimte. Een verlaging van het visueel comfort (via een lagere waarde voor de hulpvariabele L en dus een lagere waarde voor de noemer), leidt bij gelijkblijvend energieverbruik (identieke teller) tot een stijging van het E-peil. Omgekeerd zal een dalend energieverbruik (en dus lagere waarde voor de teller), voor een gelijkblijvend comfort (zelfde waarde voor de hulpvariabele L en dus onveranderde noemer) leiden tot een daling van het E-peil.

“Energiebesparing is belangrijk, maar mag in geen geval ten koste gaan van het visueel comfort.”

1.2 Norm NBN EN 12464-1 beknopt toegelicht

Normen kunnen beschouwd worden als gedocumenteerde overeenkomsten die op vrijwillige basis gemaakt worden tussen verschillende partijen met als doel de kwaliteit en veiligheid van de producten, diensten en processen te waarborgen. Eenvoudig gezegd zijn het afspraken van goed vakmanschap die moeten garanderen dat de beoogde doelen bereikt worden. Merk op dat normen bindend worden wanneer ze in het bestek opgenomen worden of als er in de regelgeving naar verwezen wordt.

Naar verlichting toe zijn er twee types normen: enerzijds zijn er normen die gericht zijn op het aspect “producten”. Zo is er de norm NBN EN 60598-1 “Verlichtingsarmaturen. Deel 1: algemene eisen en beproevingen”, die voorschriften voor de armaturen bevat. Anderzijds zijn er normen die op het aspect “toepassing” gericht zijn. De vraag “hoe kan een goede verlichting gewaarborgd worden?” staat hierbij centraal. Hieronder wordt een overzicht gegeven van een aantal van de belangrijkste toepassingsnormen:

- NBN EN 12464-1 “Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Werkplekken binnen”
- NBN EN 12464-2 “Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 2: Werkplekken buiten”
- NBN EN 12193 “Licht en verlichting - Sportverlichting”
- NBN EN 1838 “Toegepaste verlichtingstechniek - Noodverlichting”
- NBN EN 15193 “Energieprestatie van gebouwen - Energie-eisen voor verlichting (+AC:2010)”

In de norm NBN EN 12464-1 zijn verschillende visuele comfortcriteria voor binnenwerkplekken opgenomen. Het zijn deze die doorgaans gebruikt worden als eis voor het verlichtingsontwerp, samen met eisen uit andere normen en regelgevingen naar energiezuinigheid van de verlichtingsinstallatie toe. De norm NBN EN 12464-1 legt wel criteria op waaraan op elk moment voldaan moet worden, maar zegt niet hoe deze bereikt moeten worden. Dit geeft vrijheid aan de lichtontwerper. Voor het verlichten mag dus zowel kunstlicht als daglicht gebruikt worden. Aangezien aan de criteria echter altijd voldaan moet kunnen worden, ook 's avonds of bij verduistering, worden de eisen als basiscriteria gebruikt voor het ontwerp van de binnenverlichting. Het is wel zo dat er in de herziening van de norm NBN EN 12464-1 meer en meer vermelding gemaakt wordt van daglicht, wat wijst op het belang ervan in het ontwerpproces.

“In de herziening van de norm NBN EN 12464-1 wordt meer en meer vermelding gemaakt van daglicht. Dit wijst op het belang ervan in het ontwerpproces.”

De gestelde eisen zijn uiteraard afhankelijk van de visuele taak die gewoonlijk uitgevoerd wordt in de beschouwde ruimte. Onder “binnenwerkplekken” wordt dan ook een heel brede waaier aan bestemmingen verstaan. Zo zijn er andere streefwaarden voor scholen dan voor kantoorgebouwen en fabriekshallen. Ook binnen de bestemming “scholen”, kan er nog een onderscheid gemaakt worden tussen verschillende types werkvlakken: de eisen voor klaslokalen zijn anders dan deze voor sporthallen, schoolrefters of gangen en trappen.

De criteria in de norm kunnen aanzien worden als minimale eisen waaraan moet voldaan worden voor de verlichting van werkplekken en van de omgeving. Het blindelings volgen van de norm geeft nog geen garantie op een goede verlichtingsinstallatie. Het raadplegen van een verlichtingsspecialist is dan ook uitermate belangrijk om tot een correct lichtontwerp te komen. Dit is zeker het geval bij zeer specifieke toepassingen.

1.2.1. Norm NBN EN 12464-1: 3 basiseisen, 6 visuele comfortcriteria

Om tot een goede verlichting te komen in een ruimte, zowel naar kwaliteit als naar kwantiteit toe, moet er aan drie basiseisen voldaan worden:

- Visueel comfort, zodat de aanwezigen zich goed voelen. Dit zorgt er ook voor dat ze hun werk optimaal kunnen uitvoeren en dat ze productiever zijn.
- Visuele prestatie, zodat de aanwezigen hun taak onder alle mogelijke omstandigheden en gedurende de volledige werktijd goed kunnen uitvoeren (minder vermoeidheid en concentratieverlies).
- Veiligheid, zodat het voorvallen van ongevallen op de werkvloer vermeden wordt.

Om de verlichtingsbehoeften volledig te kunnen invullen, moet er met verschillende aspecten van verlichting rekening gehouden worden. Er moet voldoende licht zijn, zodat voorwerpen voldoende van elkaar onderscheiden kunnen worden. Er mag echter ook niet teveel licht zijn, aangezien dit aanleiding kan geven tot verblinding. Daarnaast moet er ook rekening gehouden worden met kleuraspecten.

Vooreerst wordt er ingegaan op drie basiscriteria die de norm NBN EN 12464-1 stelt: de verlichtingssterkte E_m en haar uniformiteit U_o , het verblindingsrisico met de UGR-waarde als maatstaf en de kleurweergave-index R_a . Daarna worden drie bijkomende criteria uit de norm toegelicht. Tot slot worden nog enkele andere bedenkingen gemaakt die van belang kunnen zijn bij maken van een goed lichtontwerp.

“De norm NBN EN 12464-1 stelt drie basiscriteria: de verlichtingssterkte (en haar uniformiteit), het verblindingsrisico en de kleurweergave-index.”

1.2.1.1. Verlichtingssterkte en uniformiteit

De verlichtingssterkte en de uniformiteit van de verlichtingssterkte op het werkvlak en de omgeving hebben een grote invloed op de snelheid, de veiligheid en het comfort waarmee iemand zijn taak uitvoert. Het is dan ook belangrijk dat er in functie van de uit te voeren taak passende richtlijnen voor de verlichtingssterkte en uniformiteit gegeven worden. Dit gebeurt voor meer dan 50 bestemmingen in de norm NBN EN 12464-1, elk met nog een opdeling in verschillende taken die binnen deze bestemming mogelijks uit te voeren zijn.

“De benodigde verlichtingssterkte en uniformiteit op het werkvlak zijn functie van de uit te voeren taak”.

De in de norm vermelde waarden voor de verlichtingssterkte op het werkvlak zijn steeds praktijkverlichtingssterktes: de gemiddelde verlichtingssterkte over het werkvlak mag dus nooit lager zijn dan deze waarde. Dit betekent dat de verlichtingsinstallatie initieel moet overgedimensioneerd zijn om aan “het einde van de levensduur” nog een voldoende hoge verlichtingssterkte te hebben op het werkvlak (er vindt namelijk veroudering van de verlichtingsinstallatie en van de ruimte plaats in de tijd). De inrekening hiervan gebeurt met behulp van de onderhoudsfactor MF (uit het Engels: maintenance factor), ook wel depreciatiefactor of behoudsfactor genoemd. In de onderhoudsfactor zitten vier parameters ingerekend:

- Vermindering van de lichtstroom van de lichtbronnen in de tijd (LLMF)
- Uitval van een bepaald percentage lichtbronnen (LSF)
- Vervuiling van de armaturen (LMF)
- Vervuiling van de ruimte (RSMF)

De onderhoudsfactor wordt berekend door vermenigvuldiging van de waarde voor deze vier parameters.

Behalve de verlichtingssterkte op zich, is ook de uniformiteit van de verlichtingssterkte over het werkvlak van belang. De minimale waarde hiervoor varieert tussen 0,40 en 0,70, afhankelijk van de uit te voeren taak. Volgens de norm NBN EN 12464-1 kan in school- en kantoorgebouwen vaak uitgegaan worden van een streefwaarde van 0,60.

“Volgens de norm NBN EN 12464-1 kan in school- en kantoorgebouwen vaak uitgegaan worden van een streefwaarde van 0,60 voor de uniformiteit van de verlichtingssterkte.”

Onderhoudsfactor bij fluorescentieverlichting... en wat bij led?

Voor kantoren en klaslokalen wordt bij oplossingen met fluorescentieverlichting vaak een onderhoudsfactor $MF = 0,85$ toegepast. Er wordt dus rekening gehouden met een depreciatie van het lichtniveau van 15 % over de gebruiksduur tot aan een volgende onderhoudsbeurt / renovatie. Deze inschatting is licht optimistisch: in de praktijk blijkt de onderhoudsfactor eerder te variëren van 0,78 tot 0,85.

Voor de LLMF-waarde van tl-lampen wordt veelal uitgegaan van een waarde van $\pm 0,90$: bij tl-lampen ligt de lichtstroom op het ogenblik van het gemiddelde defect rond 90 % van de initiële lichtstroom. Zoals ook blijkt uit onderstaande grafiek vindt het overgrote deel van de terugval van de lichtstroom van tl-lampen plaats in de eerste 5000 branduren van de lampen. Hierna blijft de lichtstroom uit de lamp, quasi onafhankelijk van het aantal reeds gebrande uren, rond 90 % van haar initiële lichtstroom hangen. Hier zit weinig verschil op van lamp tot lamp en ook de invloed van de gebruikte armatuur is zeer beperkt, zodat de waarde voor LLMF bij tl-verlichting redelijk betrouwbaar is. Het is dan ook zo dat tl-lampen meestal beschouwd worden aan het einde van hun levensduur te zijn wanneer ze defect zijn (niet meer opstarten), en niet door een te grote terugval van de lichtstroom uit de lamp.

Voor ledverlichting is de levensduur niet langer bepaald door de tijdsduur tot het gemiddelde defect, maar wel door de tijdsduur waarbij er nuttige werking is. Een ledverlichtingstoestel gaat in principe heel lang mee, maar er vindt in de tijd wel een continue daling van de lichtoutput uit het verlichtingstoestel plaats. Er mag dan ook niet meer standaard uitgegaan worden van een onderhoudsfactor (MF) van 0,85. Afhankelijk van de veronderstelde functionele levensduur van de verlichtingsinstallatie en omgevingsparameters moeten dus andere onderhoudsfactoren gebruikt worden. De levensduur van ledverlichtingstoestellen wordt uitgedrukt in uren voor een bepaald behoud van de initiële lichtstroom (lumenbehoud x) en met een aandeel van de toestellen die niet meer voldoen (uitvalpercentage y).

Een volledige beschrijving van de levensduur van een ledverlichtingstoestel bevat dus drie waarden: de levensduur, het lumenbehoud en het uitvalpercentage bij deze verklaarde levensduur. Zo betekent bijvoorbeeld een L80B10-waarde van 50.000 branduren dat na 50.000 branduren maximaal 10 % van de ledverlichtingstoestellen (B-getal) teruggevallen is tot minder dan 80 % van hun initiële lichtstroom (L-getal), of anders gezegd: na 50.000 branduren stralen ten minste 90 % van de ledverlichtingstoestellen nog minstens 80 % van hun initiële lichtstroom uit. Deze afname van de lichtstroom uit een ledverlichtingstoestel kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van de degradatie van de fosfor of van het stukgaan van individuele leds in een ledverlichtingstoestel. Hoewel in principe levensduur kan opgegeven worden bij verschillend lumenbehoud en uitvalpercentage, is het gebruikelijk om volgende richtwaarden te gebruiken: L70B10, L80B10, L90B10, L70B50, L80B50, L90B50. Indien geen By ver-

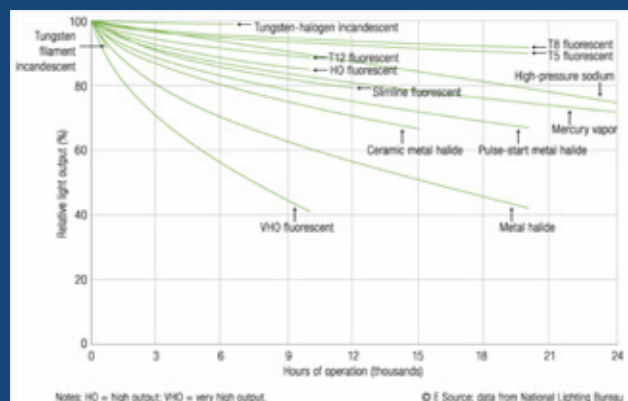
meld wordt, bijvoorbeeld "L90", dan betekent dit bij conventie dat er wordt uitgegaan van een B50-waarde.

In de B-waarde worden volledige defecten van ledverlichtingstoestellen (dus: lichtstroom uit het toestel is gelijk aan 0 lm), bijvoorbeeld door het defect gaan van de driver of door falen van een elektrische verbinding, echter niet meegerekend. Deze worden uit de test verwijderd. Omdat ook dit percentage defecte ledverlichtingstoestellen relevant om weten is voor de gebruiker, werd ook het C-getal van het ledverlichtingstoestel gedefinieerd: een C10-waarde van 60.000 branduren betekent dat na 60.000 branduren maximaal 10 % van de ledverlichtingstoestellen (C-getal) abrupt defect zijn gegaan. Om beide effecten in te rekenen, wordt soms een gecombineerde levensduur $MxFy$ gebruikt.

“De levensduur van ledverlichting is niet langer bepaald door de tijdsduur tot het gemiddelde defect, maar wel door de tijdsduur waarbij er nuttige werking gewaarborgd wordt.”

Merk op dat de $LxBy$ -waarde en de Cy -waarde voor een bepaald ledverlichtingstoestel dus niet per se op eenzelfde aantal branduren gespecificeerd hoeven te worden. Dit wordt echter meestal wel gedaan. Zo zijn voor een ledverlichtingstoestel alle karakteristieken bij een bepaald aantal branduren gekend. De levensduur van ledchips volgt uit een extrapolatie van meetgegevens over een periode van 6000 branduren of meer, maar in elk geval een veel kortere tijdsduur dan de opgegeven levensduur! Het is inderdaad niet praktisch werkbaar om ledverlichtingstoestellen te testen over hun volledige levensduur (50.000 branduren is meer dan vijf jaar continue werking).

(Bijkomende info: artikel "Ledverlichting: gebruiksduur of levensduur?" op www.lichttechnologie.be)



▲ Evolutie van de relatieve lichtstroom uit verschillende lamptypes in functie van het aantal branduren

Er dient opgemerkt te worden dat de gemiddelde verlichtingssterkte en de bijhorende uniformiteit afhangt van het raster van meetpunten volgens hetwelk gemeten en gerekend wordt. Ook het al dan niet meerekenen van een randzone speelt hier mee.

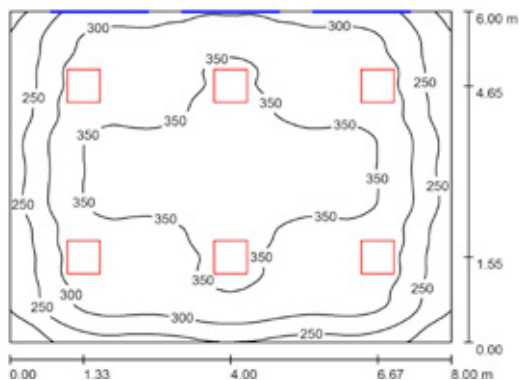
Voorbeeld

Op de lessenaars van een klaslokaal moet volgens de norm NBN EN 12464-1 minstens een gemiddelde praktijkverlichtingssterkte van 300 lx voorzien zijn. De lessenaars hebben geen vaste opstelling, waardoor het taakoppervlak zich uitstrekt over de volledige vloeroppervlakte, op een hoogte van 0,75 à 0,85 m boven het vloeroppervlak (hoogte van de lessenaars). Bij de berekening van de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte en de bijhorende uniformiteit kan een randzone van 0,5 m omheen de omtrek van het lokaal beschouwd worden als er in deze zone geen taak uitgevoerd wordt. De randzone wordt niet meegerekend bij de bepaling van de gemiddelde verlichtingssterkte en uniformiteit. Voor eenzelfde raster van 64 x 64 berekeningspunten kan dit met en zonder randzone volgend resultaat geven:

Lichtberekening zonder inrekening van randzone

$$E_m = 314 \text{ lx}$$

$$U_o = 0,49$$

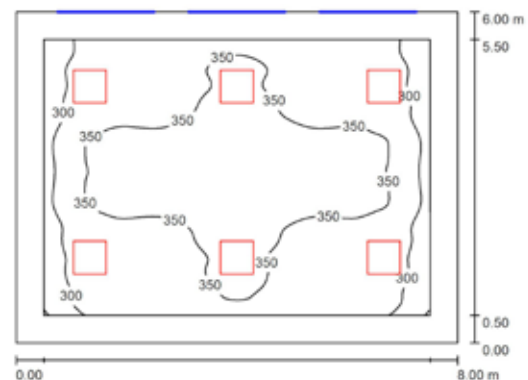


Lichtverdeling over het taakoppervlak zonder randzone

Lichtberekening met inrekening van randzone

$$E_m = 337 \text{ lx}$$

$$U_o = 0,73$$

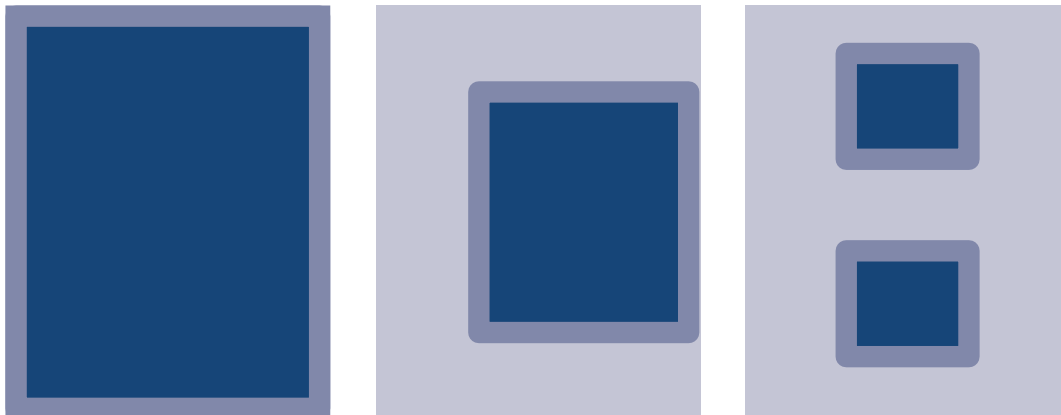


Lichtverdeling over het taakoppervlak met randzone

Uit bovenstaand voorbeeld blijkt dat voor eenzelfde lichtontwerp de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit aanzienlijk kan verschillen door het al dan niet invoeren van een randzone. Zo voldoet het ontwerp waarbij een randzone wordt ingerekend aan de gestelde eisen voor verlichtingssterkte en uniformiteit, terwijl het niet invoeren van een randzone leidt tot een uniformiteit die een stuk lager is dan de vooropgestelde waarde van 0,60.

In ruimtes waar het taakoppervlak niet de volledige vloeroppervlakte beslaat, kan de ruimte volgens de norm NBN EN 12464-1 opgedeeld worden in zones bij het maken van het lichtontwerp. Het is namelijk zo dat op plaatsen waar geen taken langdurig moeten uitgevoerd worden, niet zo'n hoge verlichtingssterkte moet voorzien worden als op het taakoppervlak zelf. Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende types zone:

- Het taakoppervlak (of ook werkvlak)
- De directe omgeving: randzone met een breedte van minstens 0,5 m rond het taakoppervlak (binnen het visueel bereik)
- De achtergrond: zone met een breedte van minstens 3 m rond de directe omgeving van het taakoppervlak (voor zover deze zone begrensd is tot de afmetingen van de ruimte)



Voorbeelden van ruimtes met volgende types zones:

■ Taakoppervlak ■ Directe omgeving ■ Achtergrond

Om het visueel comfort te garanderen, moet er voor gezorgd worden dat de overgang van de hoge verlichtingssterkte op het taakoppervlak naar de lagere verlichtingssterkte op de achtergrond geleidelijk gebeurt. Er worden, behalve voor het taakoppervlak, dan ook minimumeisen gesteld voor de directe omgeving en de achtergrond. Volgende tabel kan als maatgevend beschouwd worden volgens de norm:

Taakoppervlak		Directe omgeving		Achtergrond	
Verlichtingssterkte (E_m)	Uniformiteit (U_o)	Verlichtingssterkte (E_m)	Uniformiteit (U_o)	Verlichtingssterkte (E_m)	Uniformiteit (U_o)
≥ 750 lx	Functie van de taak	500 lx	$U_o \geq 0,40$	100 lx	$U_o \geq 0,10$
500 lx		300 lx		100 lx	
300 lx		200 lx		50 lx	
200 lx		E_{taak}		50 lx	
150 lx		E_{taak}		50 lx	
100 lx		E_{taak}		50 lx	
≤ 50 lx		E_{taak}		$E_{taak} / 2$	

Aangezien in klaslokalen de volledige vloeroppervlakte vaak als taakoppervlak gebruikt wordt (de tafels kunnen immers overal staan), is deze opdeling hier van ondergeschikt belang. Bijvoorbeeld in kantooromgevingen met vaste werkplaatsen kan deze opdeling wel nuttig zijn.

1.2.1.2. Verblinding



▲ Sluierreflectie op een boek

Verblinding wordt in de norm NBN EN 12464-1 gedefinieerd als de beleving die veroorzaakt wordt door heldere oppervlakken binnen het gezichtsveld en die als onbehaaglijk of storend kan ervaren worden. Het is dan ook belangrijk om verblinding te vermijden (of minstens tot een minimum te beperken) om vergissingen, vermoeidheid en ongevallen te voorkomen.

Doorgaans worden twee types verblinding onderscheiden: directe en indirecte verblinding. Directe verblinding kan in een klaslokaal veroorzaakt worden door hoogluminaire armaturen of door direct zonlicht. Indirecte verblinding, veroorzaakt door spiegelende oppervlakken, staat bekend als sluierreflectie.

Om de kans op directe verblinding door de kunstverlichting te kwantificeren, werd op internationaal niveau het begrip “UGR-waarde” (Unified Glare Rating) ingevoerd.

Deze grootte houdt, behalve met het type armatuur en haar positie, ook rekening met de karakteristieken van de ruimte (geometrie, reflectiecoëfficiënten oppervlakken, ...) en met de positie van de waarnemer.

1.2.1.3. Kleuraspecten

Ook rond kleur van licht worden er in de norm NBN EN 12464-1 een aantal richtwaarden opgegeven. Zowel kleurtemperatuur als kleurweergave worden beschouwd. De norm maakt een indeling naar kleurtemperaturen en hoe deze waargenomen worden:

- Lager dan 3300 K: Warm wit licht
- Tussen 3300 K en 5300 K: Neutraal wit licht
- Hoger dan 5300 K: Koud wit licht



▲ Toepassing van lampen met verschillende kleurtemperatuur binnen dezelfde ruimte of armatuur kan erg storend zijn.

De keuze van de kleurtemperatuur hangt onder andere af van de bestemming van de ruimte, maar ook van de te voorziene verlichtingssterkte en van de kleuren van de kamer en van het meubilair. Voor ontspannings- en rustruimtes wordt meestal een warme kleur (lage kleurtemperatuur) gekozen, terwijl iets koudere kleuren (hogere kleurtemperatuur) aangeraden worden op plaatsen waar concentratie vereist wordt. Voor standaard klaslokalen wordt meestal gekozen voor lampen met een kleurtemperatuur van 3000 of 4000 K, waarbij 4000 K meestal de voorkeur geniet.

Merk op dat het belangrijk is om hier een bewuste en éénduidige keuze in te maken. Gebruik van lampen met verschillende kleurtemperaturen binnen één ruimte, laat staan binnen één armatuur, kan namelijk als storend ervaren worden door de gebruiker en dus het visueel comfort verlagen.

Ook voor de kleurweergave-index R_a worden er in de norm richtwaarden opgegeven. Het is immers van belang dat objecten en de omgeving op een correcte en natuurlijke manier worden weergegeven wanneer men een welbepaalde taak aan het uitvoeren is. Bij een hogere kleurweergave-index worden in principe de kleuren beter weergegeven. Voor de meeste bestemmingen eist de norm een kleurweergave-index hoger dan 80. In specifieke gevallen, bijvoorbeeld in kunstschole, wordt een kleurweergave-index van minstens 90 voorgeschreven. Voor ledtoepassingen is de kleurweergave-index niet altijd even goed in overeenstemming met de reële perceptie van kleuren.

De kleurweergave-index en de kleurtemperatuur kunnen gemakkelijk worden afgelezen op een tl-lamp (zie nevenstaande pagina). Bij het bekijken van het opschrift van de tl-lamp, blijkt het om een lamp van 45 W (=eco-versie van 49 W tl-lamp) te gaan. Daarnaast wordt ook het getal “840” vermeld. De 8 geeft aan dat de kleurweergave-index tussen 80 en 90 ligt. Het getal 40 betekent dat de kleurtemperatuur 4000 K bedraagt. Op gelijkaardige wijze wordt ook een fotometrische code voorgesteld voor ledoplossingen.

1.2.1.4. Overzicht basiseisen in functie van de werkplek

De norm NBN EN 12464-1 geeft voor een groot aantal bestemmingen, en voor mogelijke werkplekken hierbinnen, minimaal te bereiken waarden voor de gemiddelde verlichtingssterkte E_m , voor de uniformiteit U_o , voor de verblindingsgraad UGR en voor de kleurweergave-index R_a . Onderstaande tabel geeft voor een aantal werkplekken binnen de bestemmingen “schoolgebouwen” en “kantoorgebouwen” richtwaarden uit de norm NBN EN 12464-1, ter indicatie.

Ref. Nr.	Type omgeving / taak / activiteit	E_m (lx)	UGR (-)	U_o (-)	R_a (-)
5.36.1	Klaslokalen	300	19	0,60	80
5.36.2	Klaslokalen voor avond- en volwassenonderwijs	500	19	0,60	80
5.36.3	Auditoria, hoorcollegezalen	500	19	0,60	80
5.36.4	Schoolborden: black boards, white boards	500	19	0,70	80
5.36.6	Kunstlokalen	500	19	0,60	80
5.36.7	Kunstlokalen in kunstscholen	750	19	0,70	90
5.36.16	Inkomhallen	200	22	0,40	80
5.36.17	Circulatierruimtes, gangen	100	25	0,40	80
5.36.24	Sporthallen, gymnasiums, zwembaden	300	22	0,60	80
5.36.25	Schoolkantines	200	22	0,40	80
5.36.26	Keukens	500	22	0,60	80

Eisen voor schoolgebouwen uit de norm NBN EN 12464-1

Ref. Nr.	Type omgeving / taak / activiteit	E_m (lx)	UGR (-)	U_o (-)	R_a (-)
5.26.1	Kopiëren, registreren,...	300	19	0,40	80
5.26.2	Schrijven, typen, lezen, data verwerken,...	500	19	0,60	80
5.26.3	Technisch tekenen	750	16	0,70	80
5.26.4	CAD werkstations	500	19	0,60	80
5.26.5	Conferentie- en vergaderruimtes	500	19	0,60	80
5.26.6	Receptie/balie	300	22	0,60	80
5.26.7	Archieven	200	25	0,40	80

Eisen voor kantoorgebouwen uit de norm NBN EN 12464-1

Behalve deze richtwaarden voorziet de norm NBN EN 12464-1 in haar tabellen waar nodig ook nog specifieke vereisten in functie van de type omgeving / taak / activiteit. Zo wordt er voor klaslokalen in dagonderwijs en voor klaslokalen in avond- en volwassenonderwijs geëist dat de verlichting regelbaar is, terwijl in kantooromgevingen dan weer de nadruk wordt gelegd op het belang van een aangepast lichtontwerp wanneer computers er veelvuldig moeten gebruikt worden (typen, data verwerken,...).



Verlichtingssterkte: belangrijke kanttekeningen

Voor de parameter “verlichtingssterkte” kunnen er nog enkele belangrijke kanttekeningen gemaakt worden:

1) Voor typisch bureauwerk in kantoren (lezen, schrijven, computerwerk,... ; zie ref. nr. 5.26.2) schrijft de norm NBN EN 12464-1 een waarde van 500 lx voor. Voor klaslokalen wordt dan weer een onderscheid gemaakt tussen standaard klaslokalen (300 lx ; zie ref. nr. 5.36.1) en klaslokalen die (ook) gebruikt worden voor avond- en volwassenonderwijs (500 lx ; zie ref. nr. 5.36.2). De reden hiervoor is dat de ogen minder goed presteren bij ouder worden. Oudere mensen hebben dus meer licht nodig om eenzelfde visueel comfort te ervaren als jonge mensen. Indien klaslokalen zowel door jongere als oudere mensen gebruikt worden, kan het nuttig zijn van dimbare verlichting te voorzien waarbij voor verschillende scenario's (instelling op 300 lx en 500 lx) kan gekozen worden.

2) Ervaring uit onderzoek en ondervinding van verlichtingsfabrikanten leert dat, zeker in klaslokalen uit secundair onderwijs, vaak toch een hogere verlichtingssterkte gevraagd wordt dan de 300 lx uit de norm. Om het visueel comfort van de leerlingen te verbeteren, wordt vaak gekozen om 500 lx te voorzien, ondanks het feit dat 300 lx in principe volgens de norm voldoende is.

3) In klaslokalen dient er op toegezien te worden dat, naast de lessenaars, ook het schoolbord voldoende verlicht wordt. Dit verticale vlak is immers ook een werkvlak. De norm schrijft hiervoor 500 lx voor. Er moet wel voor gezorgd worden dat dit lichtniveau kan verlaagd worden in functie van specifieke activiteiten, zoals bijvoorbeeld voor het gebruik van een beamer voor projectie. Dit kan bijvoorbeeld in de praktijk gebracht worden door de armatuurrij aan de bordzijde afzonderlijk schakelbaar te maken.

1.2.1.5. Luminantieverdeling

De luminantieverdeling in het gezichtsveld heeft een grote invloed op het visueel comfort. Het is dan ook van groot belang een goede luminantieverdeling in een ruimte te waarborgen, met speciale aandacht voor de omgevende muren en het plafond, de vloer en de werkvlakken. Hierbij moet er met twee zaken zeker rekening gehouden worden om een voldoende heldere werkomgeving te verzekeren:

- Zowel het werkvlak als de omgevende wanden van een ruimte (muren, plafond en vloer) moeten voldoende verlicht zijn
- De reflectiecoëfficiënt van elk van de wanden moet aangepast zijn aan haar functie. De norm raadt volgende waarden aan:
 - Plafond: 0,70 – 0,90
 - Muren: 0,50 – 0,80
 - Vloer: 0,20 – 0,40
 - Werkvlak: 0,20 – 0,70

Algemeen worden door de norm de minimale waarden $E_m = 50$ lx en $U_o = 0,10$ aangeraden voor de muren en $E_m = 30$ lx en $U_o = 0,10$ voor het plafond. Voor schoolgebouwen en kantoorgebouwen gelden iets strengere eisen:

Verlichtingssterkte E_m / uniformiteit U_o (in kantoren, klaslokalen, gangen,...)	
Muren	75 lx (0,1)
Plafond	50 lx (0,1)
Vloer	-
Werkvlakken	Zie eerdere tabellen

Eisen voor de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit van de verlichting van de wanden

1.2.1.6. Cilindrische verlichtingssterkte en modellering

Niet alleen het werkvlak en de omgeving moeten goed verlicht zijn. Ook het voldoende aanlichten van bijvoorbeeld het gezicht van de mensen is belangrijk met het oog op gezichtsherkenning en een goede visuele communicatie. In functie hiervan werd de grootheid “cilindrische verlichtingssterkte” (\bar{E}_c) geïntroduceerd. Deze wordt omschreven als de gemiddelde waarde van de verticale verlichtingssterkte rond één punt en wordt logischerwijze ook uitgedrukt in “lux” (lx). De norm NBN EN 12464-1 stelt vereenvoudigd voor om de gemiddelde cilindrische verlichtingssterkte te berekenen als het gemiddelde van de verticale verlichtingssterkten in dit ene punt in de vier orthogonale richtingen.

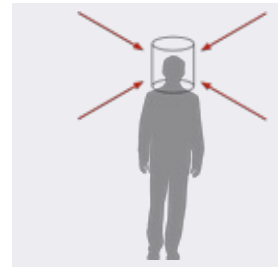
“Goed aanlichten van het gezicht van mensen is belangrijk met het oog op het mogelijk maken van gezichtsherkenning en goede visuele communicatie.”

De hoogte waarop deze grootheid gemeten wordt, hangt af van de bestemming van de ruimte. Indien mensen in de ruimte vooral recht staan (bv. kledingwinkel), schrijft de norm een hoogte van 1,60 m boven het vloerniveau voor. Indien vooral zittend werk gedaan wordt (bv. kantoren), mag er met een hoogte van 1,20 m gerekend worden. In klaslokalen wordt er zowel zittend werk (leerlingen) als staand werk (leerkrachten) uitgevoerd, zodat deze allebei van belang zijn.

Er wordt door de norm voorgeschreven dat de gemiddelde cilindrische verlichtingssterkte in de ruimte (over het werkvlak) hoger moet zijn dan 50 lx met een uniformiteit van ten minste 0,10. Op plaatsen waar visuele communicatie belangrijk is, bijvoorbeeld in klaslokalen, vergaderzalen en kantoren, zijn de regels strenger. Een minimale gemiddelde cilindrische verlichtingssterkte van 150 lx met een minimale uniformiteit van 0,10 wordt hier voorgeschreven door de norm.

Naast de cilindrische verlichtingssterkte wordt ook het begrip “modellering” in de norm toegelicht. Modellering betreft het evenwicht tussen diffuus en direct (gericht) licht dat invalt op een oppervlak. Als de structurele elementen van de binnenruimte en de daarin aanwezige personen en voorwerpen zodanig verlicht worden dat hun vormen en texturen duidelijk en aangenaam naar voren worden gebracht, zal de algemene indruk van de ruimte verbeteren. Een gepaste modellering, waarbij zowel te sterke schaduwen als te diffuse belichting vermeden wordt, staat garant voor een goede visuele waarneming.

De mate van modellering wordt in de norm ingeschat door de gemiddelde cilindrische verlichtingssterkte in een punt te delen door de horizontale verlichtingssterkte in ditzelfde punt. De aanbevolen verhouding ligt volgens de norm tussen 0,30 en 0,60, al dient dit bereik vooral als richtinggevend beschouwd te worden.



▲ Cilindrische verlichtingssterkte, zoals voorgesteld in de norm NBN EN 12464-1



▲ Modellering (van links naar rechts): te diffuus belicht – goede modellering – te direct belicht

1.2.1.7. Flikkering

Het licht uit een fluorescentielamp die aangestuurd wordt via een klassiek elektromagnetisch voorschakelapparaat gaat snel aan en uit (zo'n 100 keer per seconde). In principe is dit snel genoeg om niet door het menselijk oog waargenomen te worden. Toch blijkt deze flikkering voor heel wat mensen last te veroorzaken, onder de vorm van hoofdpijn of migraine. Bovendien kan de flikkering voor stroboscopische effecten zorgen, waarbij objecten ogenschijnlijk stil staan terwijl ze in werkelijkheid heel snel bewegen. Dit kan leiden tot erg gevaarlijke situaties (bv. aan draaibanken, freesmachines en motoren).

Bij fluorescentieverlichting aangestuurd met elektronische voorschakelapparatuur stelt het flikkerprobleem zich niet meer doordat de frequentie waarbij de fluorescentielampen aangestuurd worden veel hoger is (meer dan 30 kHz).

Bij ledverlichting is het gevaar op flikkering en stroboscopische effecten wel opnieuw heel actueel. Het dimmen van leds gebeurt vaak door het snel aan- en uitschakelen van de leds, wat voor problemen kan zorgen: er zijn vandaag nog heel wat ledproducten op de markt die voor storende flikkering kunnen zorgen. Een goede led-driver combinatie kan dit vermijden. Belangrijk is dat er met flikkering wordt rekening gehouden bij ontwerp van de installatie, zeker wanneer de verlichting dimbaar moet zijn.

Enkele bedenkingen

1) Wanneer in een ruimte beeldschermwerk wordt uitgevoerd, zoals dit in computer-klaslokalen gebeurt, moet hieraan de nodige aandacht besteed worden bij het lichtontwerp. In de norm werd hiertoe een extra criterium opgenomen.

2) Het gebruik van daglicht wordt in de norm meermaals op het voorplan gebracht. Zo wordt er aangeraden om vensters te voorzien in werkruimtes om op die manier daglicht binnen te brengen. Er wordt ook de aandacht op gevestigd dat er moet rekening gehouden worden met risico op oververhitting en verblinding ten gevolge van daglichttoetreding.

3) Hoewel het bekomen van een energiezuinige verlichtingsinstallatie geen primaire doelstelling

is van de norm (visuele comforteisen primeren in de norm NBN EN 12464-1), wordt dit toch gestimuleerd. Er worden een aantal maatregelen voorgesteld om energie te besparen, zoals aanwezigheidsdetectie en optimalisatie van het onderhoudsplan.

4) Meer informatie rond energieverbruik van verlichtingsinstallaties is terug te vinden in andere normen en documenten. Zo staat in de norm NBN EN 15193 "Energieprestatie van gebouwen - Energie-eisen voor verlichting" beschreven hoe het energieverbruik van een verlichtingsinstallatie bepaald dient te worden. Het is ook van deze norm dat softwarepakketten zoals DIALux en RELUX gebruik maken voor het uitvoeren van energieberekeningen van verlichtingsinstallaties.

1.3 Lichtontwerp en simulatie

Een goed lichtontwerp maken is geen eenvoudige taak en verscheidene parameters moeten in acht genomen worden. Om de soms tegenstrijdige eisen met elkaar weten te verzoenen, is het meestal nuttig om een lichtspecialist te betrekken bij het lichtontwerp. Deze mensen met kennis van zaken weten wat de valkuilen zijn. Bovendien weten ze waarop ze op vlak van comfort en duurzaamheid moeten letten bij het maken van een ontwerp. Vaak kunnen zij bij het binnenkomen in een ruimte al ongeveer inschatten hoeveel armaturen met een welbepaald vermogen in welke configuratie moeten geplaatst worden om aan de gestelde eisen te voldoen. Tegenwoordig zijn er verschillende rekenprogramma's beschikbaar waarmee ze deze inschatting op een relatief eenvoudige manier kunnen controleren aan de hand van computersimulaties. Merk op dat de nauwkeurigheid van computerberekeningen voor een groot deel afhankelijk is van de hoe goed de gebruiker de software beheerst en welke inputs hij aan de software geeft: verkeerde inputs zullen logischerwijze leiden tot verkeerde outputs!

“De nauwkeurigheid van computersimulaties is voor een groot deel afhankelijk van hoe goed de gebruiker de software beheerst en welke inputs hij aan de software geeft.”

Gratis te verkrijgen simulatiesoftware, zoals DIALux, DIALux EVO en Relux, bieden de mogelijkheid om een ruimte te ontwerpen op vlak van geometrie en materiaaleigenschappen, en hierin een bepaalde configuratie van armaturen op de gewenste plaats te voorzien. De armatuurbestanden worden ingeladen uit catalogi die door de verlichtingsfabrikanten zelf voorzien worden. Zo kan er voor een specifiek armatuurmodel met het gewenste stralingspatroon en met de gewenste lichtstroom gekozen worden. Afhankelijk van de gewenste output, kan als resultaat de verdeling van de verlichtingssterkte over het werkvlak gevraagd worden, maar ook het risico op verblinding, het jaarlijks energieverbruik en nog veel meer. Ook de hoeveelheid invallend daglicht op het werkvlak bij typische weersomstandigheden kan berekend worden. De berekeningen die de software uitvoert kunnen dienen als toetsing ten opzichte van de geldende normen of voorschriften. Zo wordt de gemiddelde verlichtingssterkte op de werkvlakken gemakkelijk berekend met behulp van de software, waarna deze kunnen vergeleken worden met de voorschriften uit de norm NBN EN 12464-1. Ook het jaarlijks energieverbruik kan bepaald worden volgens de rekenmethode uit de norm NBN EN 15193. De software levert uiteindelijk de resultaten, de interpretatie ervan is uiteraard een taak van de gebruiker van de software!



▲ Rendering van een kantoorontwerp in DIALux EVO

1.3.1. Interpretatie van een lichtstudie in DIALux

Het mag duidelijk zijn dat een lichtontwerp maken geen alledaags werk is, waarbij de technische verantwoordelijke van een gebouw een standaard type verlichtingstoestellen kiest en de oude verlichtingstoestellen gewoonweg laat vervangen door de nieuwe. Het moet daarentegen een doordacht proces zijn waarin zowel de lichtspecialist als de bouwheer inspraak krijgen over noden en eisen voor de nieuwe verlichtingsinstallatie. Het is niet de bedoeling dat de bouwheer zelf lichtsimulaties moet uitvoeren. Wel is het uiteraard belangrijk dat de bouwheer een ontwerp, gemaakt door de lichtspecialist, kan lezen en begrijpen zonder hierbij extra uitleg te krijgen. Het spreekt voor zich dat het dan ook belangrijk is om een ontwerp te kunnen interpreteren, zodat verschillende voorstellen met elkaar vergeleken kunnen worden.

Een lichtstudie moet zeker volgende zaken omvatten:

- Samenvatting van de lichtstudie met resultaten voor verlichtingssterktes, uniformiteit, verblinding,..., evenals een vermelding van de ingevoerde parameters.
- Lichttechnische armatuurspecificaties (stralingspatroon, armatuurrendement, lichtstroom, vermogen inclusief voorschakelapparatuur, lamptype, kleurweergave en kleurtemperatuur).
- Positieschema van de armaturen (inplantingscoördinaten van de armaturen).
- Een tabel met resultaten voor de verlichtingssterktes op de werkvlakken.

Het eerste wat de bouwheer vaak toegeschoven krijgt, zijn de samenvattingen van de lichtstudies om zo op een eenvoudige manier verschillende voorstellen naast elkaar te kunnen leggen en uiteindelijk de keuze te kunnen maken voor één voorstel.

In bijlage van deze publicatie is een voorbeeld te vinden van een samenvatting van een lichtstudie voor een klaslokaal, als beknopte output verkregen uit de simulatiesoftware DIALux. Behalve de samenvatting van de lichtstudie op zich wordt in deze bijlage ook een interpretatie van de samenvatting gegeven en wordt aangegeven welke punten met extra aandacht behandeld moeten worden en waar mogelijke valkuilen zitten bij het uitvoeren of het vergelijken van verschillende lichtstudies.



AUTEUR

Jan Mariën (Pixii vzw, Kennisplatform Energieneutraal Bouwen)

REVIEWERS

Hilde Breesch (KU Leuven Technologicampus Gent)

Bertrand Deroisy (WTCB)

2 Daglicht

De basis van elk ontwerp

De aanwezigheid van daglicht lijkt evident en vertrouwd, maar het potentieel van de gunstige aspecten wordt nog lang niet optimaal benut bij het ontwerp van een (school)gebouw. Nochtans is het voor de mens van onschatbare waarde. De complexiteit en variabiliteit van daglicht leidt er in de praktijk nog te veel toe dat ontwerpers bij het maken van een lichtstudie de intrinsieke kwaliteiten van de natuurlijke verlichting over het hoofd zien ten gunste van het meer beheersbare kunstlicht. Daglicht is gratis en onuitputtelijk aanwezig, het is een belangrijke parameter voor het ontwerp van gezonde, comfortabele en energiezuinige gebouwen.

Inleiding

We hebben voldoende licht nodig voor het uitvoeren van visuele taken, maar ook vele biologische processen, zoals slaapritmes, worden door de dag/nacht variaties van licht beïnvloed. De visuele effecten van daglicht die bijdragen tot het comfort zijn voor de hand liggend : ruimtebeleving en functionaliteit. Het beschrijven van de prestatiecriteria die gerelateerd zijn aan de niet-visuele effecten van daglicht is complexer. Het gaat dan in het bijzonder over de fysiologische en psychologische aspecten van daglicht.

Daglicht is dynamisch en wisselt in intensiteit, spectrum en verdeling. Het varieert gedurende de dag, zowel door de positie van de zon als door wisselingen in de weersomstandigheden. Het cyclische karakter blijkt een belangrijke factor te zijn voor het fysiek en psychisch welzijn van de mens. Daglicht beïnvloedt het dag/nachtritme – geregeld door onze biologische klok – en daarmee allerlei processen in ons lichaam: de aanmaak van hormonen, vitamines, stoffen (cortisol en melatonine) die ons wakker houden of juist doen slapen. Het beïnvloedt op die manier bijvoorbeeld ook ons eetpatroon en onze lichaamstemperatuur. Een hoge intensiteit van daglicht stimuleert onze alertheid wat resulteert in betere concentratie en (werk)prestaties. Op die manier kan daglichttoetreding het prestatieniveau van leerlingen beïnvloeden.

Uit onderzoek blijkt dat er een duidelijke correlatie bestaat tussen goede daglichttoetreding en de leerprestaties van studenten. Afwezigheidspercentages zouden in het algemeen verminderen bij hoge lichtniveaus. Tevens blijkt dat variatie in verlichtingsomstandigheden, wat typisch is voor daglicht, het activeringsniveau van leerlingen en leraren ten goede komt. Meer wetenschappelijke studies zijn echter nodig om deze recent verworven inzichten te vertalen naar meer praktische richtlijnen. Het blijft dus moeilijk om bijvoorbeeld precies te bepalen hoeveel daglicht nodig is. De gemiddelde verlichtingssterkte van 300 lx die voorgeschreven is voor de werkvlakken in klaslokalen (NBN EN 12464-1), is misschien voldoende voor visuele taken, maar voor ons biologisch systeem voelt dit aan als duisternis.

Daglichttoetreding in een gebouw heeft dus als doel het comfortgevoel en het welzijn van de gebruiker na te streven. Hierin is het belangrijk om de gebruiker naast optimale daglichtniveaus ook een zicht naar buiten te geven. Dit laatste zorgt er onder andere voor dat onze ogen tot rust kunnen komen en het doorbreekt de eentonige binnenomgeving. Onderzoek van Hester Hellinga (TU Delft) toont een verband aan tussen de kwaliteit van dit uitzicht in een lokaal en de subjectieve beleving van de hoeveelheid daglicht in datzelfde lokaal. Een kwalitatief uitzicht kenmerkt zich volgens deze studie door middel van volgende aspecten: visueel contact met de hemel en een gelaagd uitzicht over bij voorkeur natuurlijke elementen.

Hoe daglicht efficiënt in een gebouw kan toetreden, wordt verder in detail uiteengezet. Door de introductie van enkele begrippen worden enkele, al dan niet wettelijke, aanbevelingen gekaderd. Vervolgens worden ontwerpparameters toegelicht die bepalend zijn om een vooropgesteld niveau aan daglicht in een ruimte te kunnen behalen. Zowel interne als externe parameters zullen hierop invloed hebben. De gevel die als overgangselement op de scheidingslijn tussen binnen en buiten functioneert, zal door zijn opbouw en vormgeving een bepalende rol spelen.

Bij het ontwerpen dient rekening te worden gehouden met zowel de positieve als negatieve gevolgen van zonnestraling. Naast de beschreven voordelen mogen de nadelen niet uit het oog verloren worden: kans op oververhitting en verblinding en mogelijke aantasting door de UV-straling. Voor architecten en ontwerpers is het een uitdaging de juiste balans te vinden tussen het vermijden van de nadelige effecten en het maximaal benutten van de kwaliteiten van daglicht. Een goed daglichtontwerp brengt veel daglicht, verspreidt dit evenwichtig, maar vermijdt overbeglazing.

2.1 Prestatiecriteria

2.1.1. Enkele begrippen

2.1.1.1. Daglichtfactor

De verlichtingssterkte van het daglicht buiten varieert over een groot bereik, zelfs op een bewolkte dag. Onze ogen komen echter snel tegemoet aan deze veranderingen - zo kan men lezen bij kaarslicht én bij zonlicht, dat 20 000 keer helderder is.

Om de hoeveelheid daglicht die op een bepaalde plaats in een ruimte invalt te kunnen karakteriseren werd het begrip daglichtfactor ingevoerd. De daglichtfactor wordt berekend door de verlichtingssterkte door daglicht op een punt in de ruimte te delen door de horizontale verlichtingssterkte op een punt buiten dat vrij is van belemmeringen in zijn omgeving.

De daglichtfactor (DF) is een grootte die wordt bepaald onder een bewolkte hemel. Onder deze bewolkte hemelconditie (genormaliseerd door de Commission International de l'Eclairage-CIE) zijn de waarden van de daglichtfactor onafhankelijk van de oriëntatie van de ramen, het seizoen en het tijdstip van de dag. Een meer gedetailleerde omschrijving van het begrip is terug te vinden in het referentiedocument CIE S 017/E:2011 ILV: International Lighting Vocabulary.

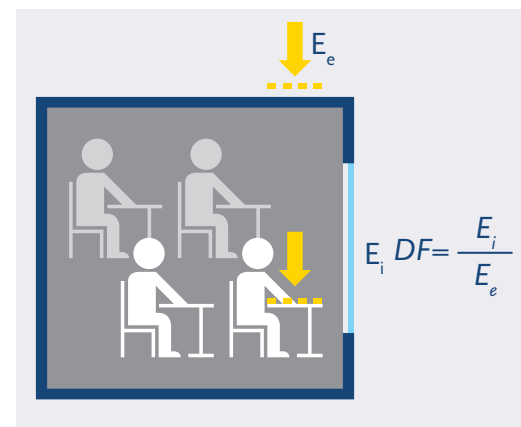
De daglichtfactor moet worden beschouwd als een indicator van het minimumniveau van de verlichtingssterkte onder ongunstige hemelcondities. Deze indicator dient te worden aangevuld met een studie onder zonnige hemelcondities waarbij het risico op verblinding en oververhitting verder onderzocht wordt.

BRE heeft een methode ontwikkeld die het mogelijk maakt om aan de hand van formules en grafieken de daglichtfactor in een lokaal te voorspellen. De daglichtfactor kan, in eerste benadering, berekend worden als een samenstelling van componenten en enkele correctiefactoren :

- De hemelcomponent: het aandeel dat wordt geleverd door het gedeelte van de hemel dat zichtbaar is vanuit het meetpunt. De bijdrage van de hemelcomponent speelt vooral onderin het lokaal
- De externe reflectiecomponent: de hoeveelheid daglicht afkomstig van lichtreflecties op obstakels zoals die worden gezien vanuit het meetpunt.
- De interne reflectiecomponent: het licht dat via meervoudige reflecties tegen de binnenoppervlakken op het meetpunt valt.

Naast deze methode op basis van empirische formules en tabellen, kan de inschatting van de daglichtfactor gemaakt worden met simulaties, metingen in de praktijk of in de daglichtkamer.

(Bijkomende info - WTCB-Dossiers 2011/3.18 –Evaluatie van daglichttoetreding met computersimulaties)

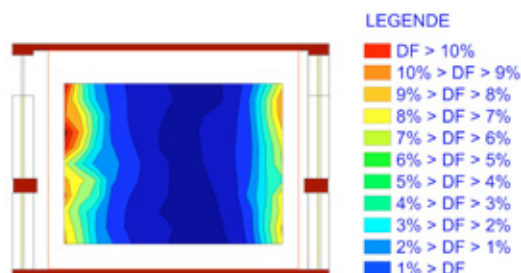
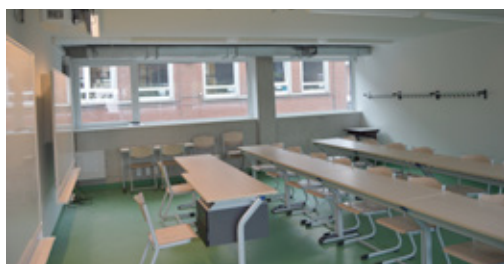


← Definitie daglichtfactor

* Voorbeeld

Meting daglichtfactor in klaslokaal in Sint-Niklaasinstituut in Zwevegem:

- Gemiddelde daglichtfactor bedraagt 3.1%
- 80% van het oppervlak heeft een daglichtfactor hoger dan 2%



← Gemeten daglichtfactor

Als vuistregel kan aangenomen worden dat de kunstverlichting tijdens de dag quasi niet ingeschakeld dient te worden als de gemiddelde daglichtfactor in de ruimte hoger is dan 5%. Bij een gemiddelde daglichtfactor hoger dan 2% wordt de ruimte doorgaans beschouwd als van voldoende daglicht voorzien, maar moet de kunstverlichting tijdens de dag toch nog regelmatig ingeschakeld worden. Bij een gemiddelde daglichtfactor hoger dan 7% moet er opgelet worden voor te grote contrasten en verblinding, die nadelig zijn voor het comfort van de gebruiker.

Aangezien de daglichtfactor bepaald wordt onder een standaard overtrokken hemel, en de definitie van de daglichtfactor de ligging en bijhorend klimaat dus niet in rekening neemt, zijn de vooropgestelde richtwaarden voor daglichtfactoren klimaatafhankelijk. Bovengenoemde waarden zijn dan ook enkel toepasbaar in België of in de ons omringende landen met een gelijkaardig klimaat.

Hoewel meestal naar de gemiddelde daglichtfactor gekeken wordt, is dit niet altijd de beste aanwijzing om een idee te krijgen van het daglichtniveau in de ruimte. Dit komt doordat de hoge waarden dicht bij het raam hierbij te sterk doorwegen. Het is vaak beter om de mediaanwaarde te bepalen, maar dit wordt in de praktijk maar weinig gedaan.

Daglichtfactor	<1% zeer laag	1-2% laag	2-4% redelijk	4-7% gemiddeld	7-12% hoog	>12% zeer hoog
zone	ver weg van vensters			dicht bij vensters of onder lichtkoepels		
helderheidsindruk	donker tot weinig verlicht		weinig verlicht tot helder		helder tot zeer helder	
visuele indruk van het lokaal	deze zone ...		wekt de indruk afgescheiden te zijn		... van deze zone	
sfeer	het is alsof het lokaal een afgesloten eenheid vormt			het lokaal vloeit over in de buitenomgeving		
impact op energieverbruik	kunstlicht nodig gedurende merendeel van de dag		goede balans tussen daglicht en warmtewinsten	kunstlicht nauwelijks nodig overdag, meer kans op thermische problemen door teveel aan warmtewinsten in de zomer en teveel aan warmteverliezen in de winter		

Visuele waarneming i.f.v. de daglichtfactor

2.1.1.2. Daglicht Autonomie

De Daglicht Autonomie (DA) van een ruimte is het percentage van de gebruikstijd waarin de verlichtingssterkte door daglicht alleen voldoende is en er dus geen kunstlicht vereist is. Daglichtautonomie is een grootheid die de variaties van daglicht over de seizoenen en bij dagcyclus probeert te vatten. Deze benadering voor daglichtberekeningen is nog relatief recent. Het kan echter een belangrijke grootheid worden bij het uitvoeren van daglichtberekeningen. De grootheid houdt in tegenstelling tot de daglichtfactor rekening met de locatie van het gebouw (geografische ligging), met het specifieke klimaat waarin het gebouw zich bevindt en met de oriëntatie van de daglichtopeningen. Ze wordt bovendien gekoppeld aan de richtwaarde voor het ontwerpniveau van de verlichtingssterkte (in school- en kantoorgebouwen veelal 300 lx of 500 lx).

Voor het bepalen van de daglichtautonomie moeten dynamische simulaties uitgevoerd worden. Voor ieder uur van een jaar binnen de gebruikstijd wordt de verlichtingssterkte uitgerekend op een vooraf gedefinieerd raster van punten in de beschouwde ruimte. De verlichtingssterkte op ieder tijdstip wordt berekend aan de hand van klimaatgegevens die representatief zijn voor de gemiddelde omstandigheden op een bepaalde ligging. Directe zon en bewolking spelen dus mee in deze berekening. Voor ieder rasterpunt wordt bij iedere tijdsprong nagerekend of de verlichtingssterkte de richtwaarde haalt. Het resulterende percentage van de gebruiksuren is de daglichtautonomie.

In de Nederlandse campagne rond '100% Schoonlicht in Scholen' wordt er een daglichtautonomie vooropgesteld van 70%, wat behoorlijk ambitieus is. Het spreekt voor zich dat hoe hoger deze waarde, hoe groter de impact zal zijn op het energieverbruik van de kunstverlichting.

2.1.2. Regelgeving en normen

2.1.2.1. België

In België zijn er anno 2016 geen wettelijk verplichte eisen omtrent daglichttoetreding in scholen. Er bestaat een Belgische norm die een methode beschrijft om de daglichtfactor (DF) te berekenen: NBN L 13-002 – Dagverlichting van gebouwen - Voorafbepaling van de daglicht-verlichtingssterkte bij overtrokken hemel.

Deze norm beschrijft hoe de daglichtfactor van een bepaald punt in de ruimte eenvoudig kan bepaald worden via een benaderende grafische methode, maar legt geen eisen op voor de te halen waarde. De bepalingmethode is echter beperkt toepasbaar: ze is alleen geldig voor lokalen met een typische configuratie: balkvormige ruimtes met verticale openingen, gemiddelde reflectiecoëfficiënten voor de wanden en 'normale' transparante beglazing. Configuraties met obstructies en meer complexe geometrieën kunnen hiermee niet berekend worden.

De norm vermeldt echter ook waarden voor de typische buitenverlichtingssterkte bij overtrokken hemel voor iedere maand van het jaar. Dit is een interessant gegeven om als basis te dienen voor berekeningen van daglichtautonomie over een volledig jaar.

Schoolgebouwen zijn ook werkplekken en vallen daarbij onder De Codex voor Welzijn op het Werk (voormalige ARAB). Deze vermeldt in art.33 van Afdeling III: 'de werkgever zorgt ervoor dat er op de arbeidsplaats voldoende daglicht binnenkomt en dat, indien dit niet mogelijk is, er een adequate kunstverlichting aanwezig is'. Wat moet worden verstaan onder 'voldoende daglicht' is echter niet gespecificeerd. Het is dus aan de ontwerper om aan te tonen dat zijn project aan de goede praktijk voldoet.

2.1.2.2. Europees referentiekader en regelgeving in omliggende landen

In de Europese norm NBN EN 12464-1 wordt het gebruik van daglicht aangemoedigd, maar worden er geen minimumeisen opgelegd. De meeste van onze buurlanden hebben wel een regelgeving die het belang van daglicht erkent. De gebruikte criteria en minimum eisen variëren daarbij van land tot land.

Bij de Europese normwerkgroep 'CEN TC 169 WG 11 Daylight' is een projectnorm 'Daylight of Buildings' in ontwikkeling. In deze projectnorm zullen onder andere diffuse en directe verlichting beschouwd worden, alsook richtlijnen met betrekking tot het zicht naar buiten en het beperken van verblinding. Allicht zal hier als richtwaarde een verlichtingssterkte door daglicht van 300 lx voor minstens 50% van de daglichturen voorgesteld worden. Algemeen zouden deze waarden bereikt moeten worden op minimum 50% van de oppervlakte van iedere ruimte. Voor klaslokalen in scholen is het zelfs wenselijk om deze richtwaarden te halen op meer dan 80% van de oppervlakte van de ruimte.

Het Nederlandse Bouwbesluit stelt een aantal minimumeisen voor daglichttoetreding in een gebouw. De eisen zijn gebaseerd op de norm NEN 2057:2011 waarin omschreven staat hoe de equivalente daglichtoppervlakte van een verblijfsgebied en/of verblijfsruimte wordt bepaald. Voor onderwijsinstellingen is deze equivalente daglichtoppervlakte minimum 5%. Dit kan in sommige gevallen vrij weinig zijn omdat de eisen enkel gerelateerd zijn aan de vloeroppervlakte en niet aan de geometrie van de ruimte.

Weliswaar heeft dit criterium geen direct verband met de verlichtingssterktes die gehaald worden in de ruimte (deze zijn bijvoorbeeld afhankelijk van reflectiecoëfficiënten van de wanden en de vorm van het lokaal), maar er wordt bij de bepaling wel rekening gehouden met obstructies door naastgelegen gebouwen.

Deze eisen voor daglicht in diverse nationale of regionale contexten zijn vandaag niet eenvoudig te vergelijken en ze spreken meestal over minimumwaarden die relatief laag liggen.

Naast de regelgeving en normen zijn er ook nog sectororganisaties die bepaalde richtlijnen voorstellen.

2.1.2.3. Richtlijnen voor scholen en klaslokalen

'The Society of Light and Lighting', deel van 'The Chartered Institution of Building Services Engineers' (CIBSE), heeft in 2011 een document gepubliceerd over verlichting in het onderwijs: 'Lighting Guide 5: Lighting for education'. Onderstaande tabel is een uittreksel uit deze publicatie en geeft een overzicht van richtlijnen voor de gemiddelde en de minimale daglichtfactor voor verschillende types ruimtes in schoolgebouwen.

Type ruimte	Gem. DF (%)	Min. DF (%)
Ingang, onthaal	10	4
Atrium	5-10	2-4
Klaslokalen	5	2
Auditoria	2-4	1
Bibliotheken	2-5	1-2
Sporthallen	5	2
Refters	4-5	1-2
Kantoren	5	2
Vergaderzalen	5	2

Richtlijnen voor de gemiddelde en de minimale daglichtfactor voor verschillende types ruimtes in schoolgebouwen

2.2 Invloedsfactoren

2.2.1. Omgeving, tijdstip en oriëntatie

2.2.1.1. Directe omgeving

De nabije omgeving heeft een invloed op de daglichttoetreding in het gebouw. Schaduwwerking door naastgelegen constructies of natuurlijke elementen kan een belangrijke invloed hebben op daglichttoetreding. Het beschikbare daglicht op een bepaalde plaats wordt in belangrijke mate bepaald door de onmiddellijke omgeving: de topografie, de aangrenzende gebouwen, de aard van de bodem, de vegetatie, ... De aanwezigheid van een meer of een boom in de onmiddellijke omgeving kan de daglichttoetreding in een gebouw radicaal veranderen.

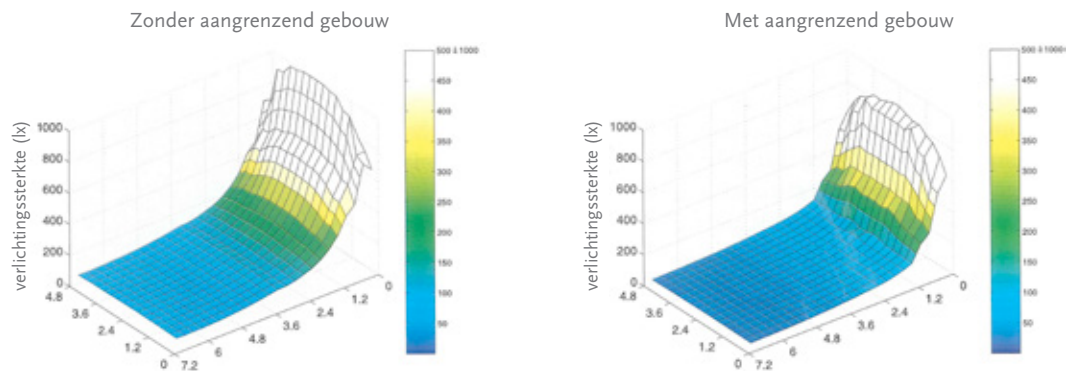
Vegetatie onderscheidt zich van andere obstakels omdat het seizoensgebonden is, zoals bijvoorbeeld loofbomen. Ze hebben de eigenschap om het licht eerder te filteren dan te stoppen: een deel ervan wordt geabsorbeerd, het andere deel wordt doorgelaten. Loofbomen zullen in de zomer 70-85% van de invallende zonnestraling absorberen en 15-30% doorlaten. Voor de winterperiode daarentegen zal dit eerder 30-45% absorptie bedragen tegen 55-70% transmissie.

De mate waarin de elementen uit de omgeving een rol zullen spelen met betrekking tot de hoeveelheid daglicht die ontvangen wordt op een bepaalde plaats, zal afhangen van de hoogte, de afstand tot, en de materialiteit van die omringende elementen. Reflecterende materialen op de grond zoals een wateroppervlak of sterk reflecterende gevelbekleding van naburige gebouwen kunnen het potentieel aan daglicht dat een gebouw binnenvalt aanzienlijk verhogen.

Als vuistregel is het mogelijk om slechts een obstructiehoek in een verticale en horizontale snede te beschouwen, maar in principe valt zonlicht uit alle mogelijke richtingen in.

• Voorbeeld

Uit een simulatievoorbeeld van de onderzoeksgroep Architecture et Climat van de Université Catholique de Louvain (UCL) blijkt de impact op het verlichtingssterkte voor eenzelfde lokaal na toevoeging van een stedelijke obstructie. De obstructie wordt gevormd door een gebouw van 30 m breedte en 15 m hoogte, ingepland parallel aan het gesimuleerde lokaal op een afstand van 18 meter van het raam. Deze hindernis komt overeen met een horizontale obstructiehoek van 40° en een verticale obstructiehoek van 37° , gerekend vanuit het midden van het venster. De hoeveelheid licht is sterk verminderd als gevolg van deze constructie. Onder volledig bewolkte hemel (15 december om 13h te Brussel) is de verlichtingssterkte niet meer dan 80 lx op 2 meter van het venster dat wordt 'beschaduwd' door het gebouw, terwijl zonder dit gebouw het verlichtingsniveau ongeveer 200 lx bedraagt.



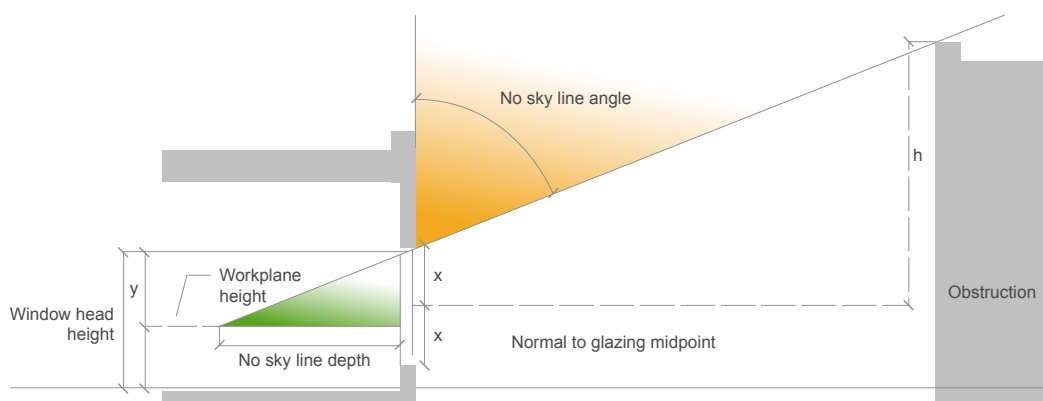
▲ Impact van een stedelijke obstructie op de verlichtingssterkte in een lokaal
Bron: onderzoeksgroep Architecture et Climat van Université Catholique de Louvain (UCL)

Bij de inplanting van een gebouw wordt er, waar mogelijk, best gezorgd voor voldoende afstand tussen gebouwen, zodat uitzicht op een onbelemmerd deel van de hemelkoepel mogelijk is.

Om een goede indicatie te krijgen van het effect van bebouwing in de omgeving op het daglichtniveau in de ruimte, kan er gewerkt worden met de definitie van de 'no sky line' van een ruimte.

De 'no sky line' is de lijn op werkvlakniveau waarbij er geen visueel contact meer is met de hemel en er bijgevolg ook geen direct daglicht meer kan waargenomen worden.

Als meer dan 50% van de ruimte achter de 'no sky line' ligt, wordt deze ruimte in het algemeen als somber en duister ervaren.



▲ Definitie "no sky line" diepte

2.2.1.2. Tijdstip en seizoen

Het tijdstip en het seizoen zijn bijkomende parameters die van belang zijn om de invloed van daglicht correct in te schatten: bij een lage zonnestand in de winter zullen obstakels uit de omgeving sneller een nadelige invloed hebben, dan bij een hoge zonnestand in de zomer.

De intensiteit van het beschikbare daglicht varieert in functie van het seizoen en van de dagelijkse beweging van de zon van oost naar west. Op de breedtegraad van België komt de zon in de zomer op in het noordoosten, om onder te gaan in het noordwesten. In de winter komt ze op in het zuidoosten om onder te gaan in het zuidwesten. Bovendien varieert ook de zonnehoogte over de seizoenen. De hoogste stand van de zon in Ukkel ($50^{\circ}48'$ noorderbreedte) varieert als volgt:

- $39^{\circ}15'$ op 21 maart of 21 september
- $62^{\circ}38'$ op 21 juni
- $15^{\circ}45'$ op 21 december

2.2.1.3. Oriëntatie

Bij heldere hemel is er een rechtstreeks verband tussen de oriëntatie van de beglazing en de hoeveelheid daglicht die binnen kan treden. Bij bewolkte hemel wordt de straling verspreid in alle richtingen en is dit minder het geval: alle verticale ramen vangen dan licht op ongeveer dezelfde manier, ongeacht hun oriëntatie.

Een ligging op het **noorden** levert de meest constante lichtkwaliteit op omdat het licht er het hele jaar door homogeen en diffuus is. Hierdoor is er weinig kans op verblinding. Wanneer een ruimte naar het noorden gericht is, geeft het door de hemel teruggekaatste licht een eerder koel en functioneel effect. Deze oriëntatie verdient de voorkeur voor ruimtes waar een homogene verlichting belangrijk is die redelijk constant is en verblinding vermeden dient te worden. Dit is typisch voor functies zoals bijvoorbeeld ateliers of praktijklokalen. Openingen op het **zuiden** vangen de grootste hoeveelheid licht en daarom is dit de voorkeursoriëntatie om ten volle van daglicht te kunnen genieten. De op het zuiden gelegen openingen ontvangen maximaal zonlicht in de winter, waarbij de lage zon diep binnenstraalt. Dit is ook het geval tijdens de tussenseizoenen. In de zomer, bij een hoge zonnestand, is de penetratie minder diep. Hierdoor is het in de zomer voor deze oriëntatie relatief makkelijk om een horizontale bescherming tegen de zon te voorzien.

Vertrekken op het **oosten** en **westen** hebben gelijkaardige kenmerken wat daglicht betreft: er is een risico op visueel ongemak door verblinding en overmatige blootstelling in de zomer. Oost en West georiënteerde daglichtopeningen krijgen in de zomer onder helder weer meer daglicht dan zuidelijke oriëntaties.

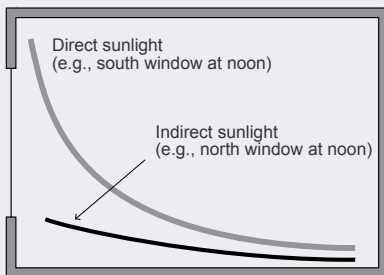
De op het **oosten** gelegen ruimtes genieten van de zon in de ochtend, maar de instraling is moeilijk te controleren omdat deze laag aan de horizon gebeurt. De instraling is zwak in de winter, maar het laat wel toe om te profiteren van zonnewinsten op het moment dat deze het meest nodig zijn.

Een **westelijke** oriëntatie zorgt voor direct zonlicht in de avond. Het is interessant om daar die lokalen te voorzien die de voorkeur geven aan een zacht en warm licht. Er is echter een reëel risico op verblinding en zonnewinsten zorgen voor een risico op oververhitting. Het glas op het westen brengt zonnewinsten in de namiddag en avond, een moment waarop dit voor een doorsnee schoolgebouw minder nuttig is omdat het dan niet meer in gebruik is.

2.2.2. Gevelopbouw en daglichtopeningen

De gevelopbouw en de grootte en de vorm van de daglichtopeningen in een gebouwwontwerp worden in de meeste gebouwen bepaald door de architect. Vandaag de dag groeit het besef dat de gevelopeningen een grote rol spelen in het energetische en duurzame karakter van het gebouw. In dit verhaal, moet er echter voldoende aandacht blijven voor het visueel comfort van de uiteindelijke gebruikers.

De hoeveelheid daglicht die de daglichtopeningen in een ruimte brengen, is afhankelijk van de oriëntatie, type, helling, positie, afmeting van de opening en lichttransmissie van de beglazing.

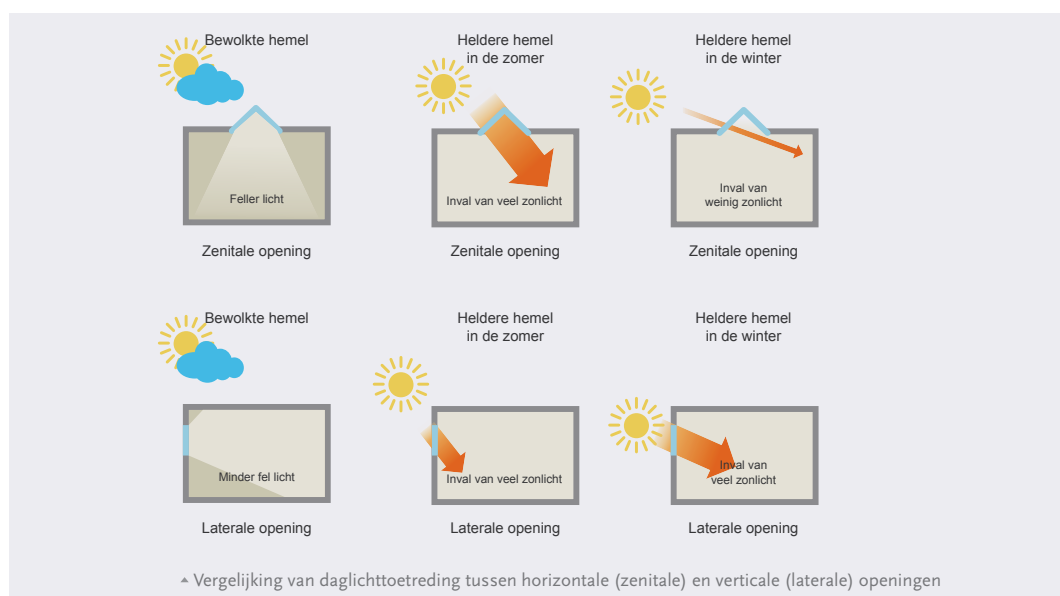


▼ Verschil in verlichtingssterkte tussen een venster dat naar of van de zon weg gekeerd is

2.2.2.1. Type

Opdat een opening bij heldere hemel, een maximale hoeveelheid aan rechtstreekse zonnestraling zou capteren, moet deze zo loodrecht mogelijk staan ten opzichte van de invallende stralen. Bij bewolkte hemel vallen de prestaties van een raam voornamelijk samen met het gedeelte van de hemel dat zichtbaar is door die opening.

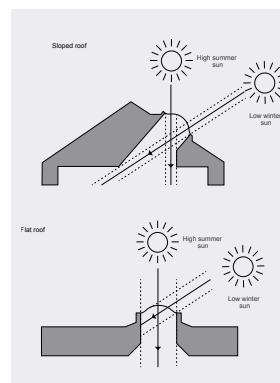
Voor gebouwen met meerdere verdiepingen beperken de mogelijkheden zich meestal tot de klassieke situatie met verticale of laterale gevelopeningen aan de zijgevel. Deze verticale gevelopeningen hebben een lagere lichtopbrengst dan horizontale of hellende openingen. Het zijdelings invallend licht zorgt wel voor een risico op tegenlicht of verblinding door de schaduwwerking in het lokaal maar anderzijds ook voor een goede driedimensionale diepte waarneming van objecten en kleuren.



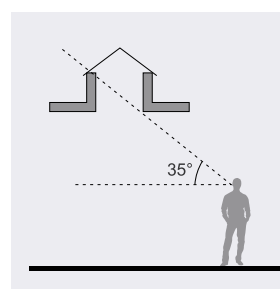
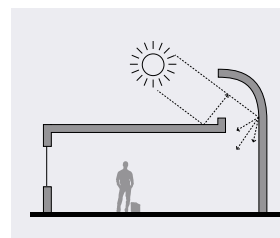
De lichtverdeling bij een horizontale opening gebeurt veel homogener dan datgene dat door een verticaal raam binnenvalt. Meer nog, doordat het langs boven binnen komt, beperkt dit het risico op verblinding. Om verblinding te vermijden dient de daklichtbeglazing niet zichtbaar te zijn onder een kleinere hoek dan 35° boven de horizontale vanuit het normale zichtpunt. Een andere mogelijkheid om verblinding te vermijden is het daklicht zo te positioneren dat het licht invalt via reflecties op een tegenoverliggende muur. Op een zonnige winterdag zullen de daklichten minder zonlicht opvangen door de lage zonnestand, terwijl ze in de zomer de zon ten volle binnenhalen. Om oververhitting gedeeltelijk te vermijden, kan er geopteerd worden voor ventilatieopeningen in het bovenste gedeelte van de daglichtopening, waardoor de warme lucht kan afgevoerd worden. Een oplossing om deze hoge warmtewinsten bij horizontale beglazing te beperken en toch voor een daklicht te zorgen bestaat erin om plaatselijk het dak op te trekken en verticale of schuine beglazing te richten op meer interessante oriëntaties.

“Door gebruik te maken van daklichten en door in te spelen op de helling en oriëntatie ervan kan de hoeveelheid daglicht in een ruimte gemaximaliseerd worden.”

▼ Voorbeelden zenitale openingen



▼ Vermijden van verblinding bij een dakopening



2.2.2.2. Grootte van de openingen

De grootte van de daglichtopening is vanzelfsprekend een erg bepalende factor voor de hoeveelheid licht die binnenvalt. De keuze van de grootte van de openingen hangt van veel ontwerpfactoren af, maar in het bijzonder van de afmetingen van de ruimte. Er worden twee grootheden gebruikt om de grootte te karakteriseren, gerelateerd aan de vloeroppervlakte of respectievelijk de geveloppervlakte: de 'window-to-floor-ratio' (WFR) en de 'window-to-wall-ratio' (WWR). Gelijkaardig aan de laatste grootheid wordt ook de 'skylight-to-roof-ratio' (SRR) gedefinieerd.

Enkele regelgevingen uit omringende landen vertrekken vanuit de vloeroppervlakte van een ruimte. Ze schrijven daarbij een minimum aan vensteroppervlakte voor, afhankelijk van de functie van die ruimte.

In het algemeen wordt een minimum van 10% gehanteerd voor de WFR, zo ook in de Duitse norm DIN 5034. Een bovengrens wordt soms gedefinieerd om de thermische verliezen te beperken, maar ook om verblinding tegen te gaan. Een richtwaarde voor deze bovengrens bedraagt 20%, maar deze grens is klimaatafhankelijk: zo is er in Denemarken een maximum van 22% aan raamoppervlakte ten opzichte van de verwarmde vloeroppervlakte gedefinieerd. In Finland ligt de grens op 15%. De ASHRAE maakt in zijn aanbeveling voor scholen ("Advanced Energy Design Guide K-12 School Buildings") een onderscheid in oriëntatie: WFR: 15-20% (N) – 8-11% (Z).

Voor ruimtes die langs één zijde van daglichtopeningen voorzien zijn, wordt er ook vaak vertrokken vanuit het aandeel gevelopening ten opzichte van de beschikbare geveloppervlakte.

De minimale grootte voor een raam in een lokaal met visueel comfort op basis van daglicht moet 20-25% bedragen van de buitenmuuroppervlakte. Het aanbevolen percentage bedraagt 30. Een WWR van minder dan 20% zal niet genoeg daglicht geven. Wanneer de waarde boven de 30% komt, dient er opgelet te worden voor verblinding.

The British Code BS 8206-2 (2008) raadt aan dat de raamoppervlakte minstens 20% van de buitenmuuroppervlakte bedraagt voor ruimtes met een diepte minder dan 8m en tot 35% van de buitenmuur voor ruimtes dieper dan 14 meter.

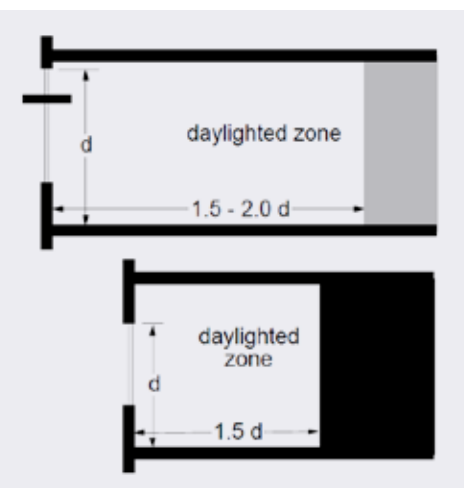
De Duitse norm DIN 5034 schrijft niet alleen een minimum raamoppervlakte voor, maar geeft ook richtlijnen voor hoogte en breedte van de openingen. De som van alle breedtes van openingen in een buitenmuur moet minimum 55% bedragen van de breedte van deze muur. De minimum glasoppervlakte bedraagt 1,25m² voor ruimtes met een diepte tot 5 m. Diepere ruimtes dienen een minimum glasoppervlakte van 1,5m² te hebben.

2.2.2.3. Positie en vorm

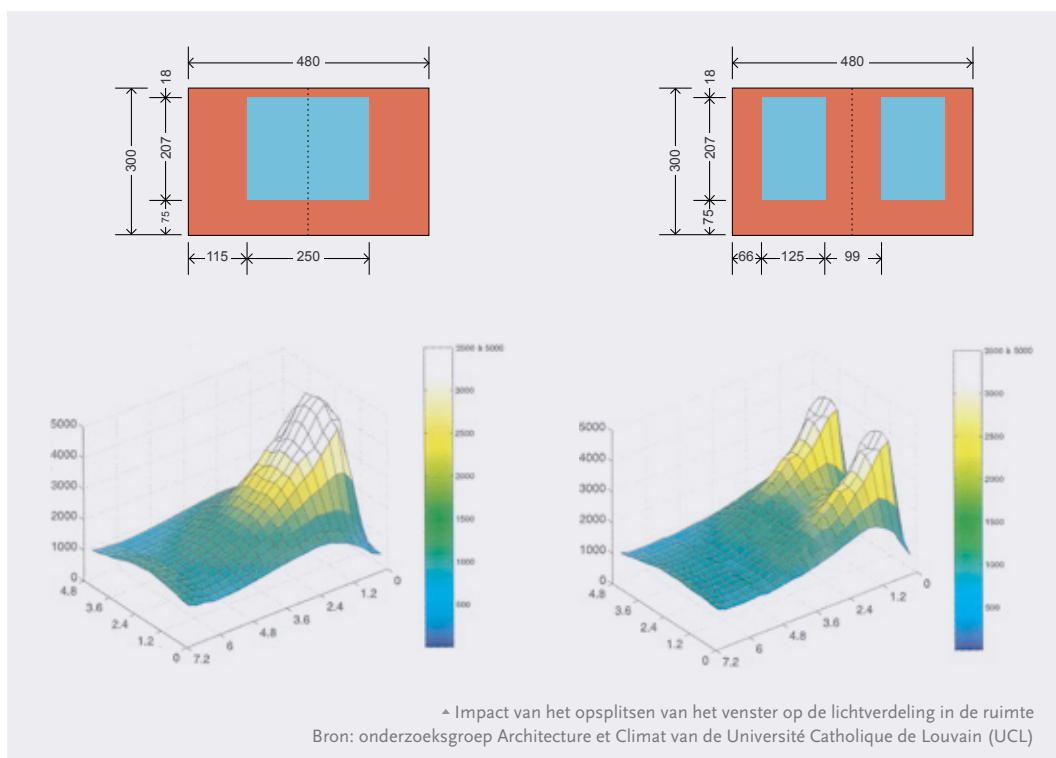
De ideale geometrie voor een met daglicht verlichte ruimte hangt nauw samen met de positie van de openingen. Ook hier kunnen we kijken naar de Duitse norm: de dorpelhoogte mag niet hoger zijn dan 0,90m en de onderkant van de beglazing niet hoger dan 0,95m. De lateihoogte moet minstens 2,2m boven de vloerpas liggen. De minimum breedte van de raamopening dient 1m te bedragen.

Wanneer onder gelijkblijvende oppervlakte de breedte van het venster afneemt, zal de verdeling van het licht minder uniform zijn hoewel de gemiddelde invallende lichthoeveelheid ongeveer dezelfde is. De diepte van de belichting van de ruimte neemt echter toe met de hoogte van het venster en bedraagt afhankelijk van de geraadpleegde bron 1,5 à 2 keer of 2 à 2,5 keer de lateihoogte.

Wat verandert er in de beleving wanneer een groot raamoppervlak opgesplitst wordt? Wanneer in beide gevallen de glasoppervlakte identiek in grootte is en de latei en dorpel op dezelfde hoogte liggen, zal de gemiddelde verlichtingssterkte weinig variëren in de twee gevallen. De verdeling van het licht in het deel van de ruimte rondom de ramen zal echter verschillend zijn. Bij de opdeling in twee aparte vensters ontstaat een grijs gebied tussen de twee ramen, dat problemen van visueel comfort scheidt omwille van contrast en verblindingseffect.



▲ Daglichtdiepte als functie van de lateihoogte



Het komt er op neer de gevelopeningen op een doordachte manier te positioneren. Het is belangrijk steeds de gevelopening als een functionele grens te zien tussen binnen en buiten. De voorkeurspositie van het venster voor de gebruikers hangt ook samen met het zicht door dat venster: meer gelaagde zichten met veranderende activiteiten hebben de voorkeur op statische zichten. De lucht kunnen zien is bijna een minimum vereiste, maar volstaat niet. De voorkeur gaat uit naar zichten die de horizon weergeven.

Specifiek voor daklichten moet een zo egaal mogelijke verdeling van daglicht nagstreefd worden. Een vuistregel die hier kan gehanteerd worden, houdt in dat de daklichten best gepositioneerd worden op tussenafstanden van 1 tot 1,5 keer de plafondhoogte van de ruimte.

2.2.2.4. Eigenschappen beglazing

Naast de grootte, positie en indeling van de transparante delen, bepalen de eigenschappen van de beglazing hoeveel licht er binnen valt. Het aanbod van beglazingen is uitgebreid en evolueert voortdurend.

De lichttransmissiefactor (LT-waarde, of in de Europese normen voorgesteld als τ_v) drukt het aandeel direct doorgelaten licht voor loodrecht invallende straling uit. De LT wordt uitgedrukt in procent (%). Hoe hoger deze waarde, hoe meer daglicht er binnenvalt en hoe minder er beroep moet gedaan worden op kunstverlichting.

De waarde wordt beïnvloed door de glasdikte, de glaskleur en door eventuele toevoeging van coatings of screens op het glas. Een LT-waarde van minimum 70% wordt vooropgesteld. De grootte van het raam en de LT-waarde kunnen elkaar compenseren: grotere ramen kunnen een lagere lichttransmissiefactor hebben dan kleinere ramen.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de voornaamste eigenschappen van de beglazing. Naast de daglichttoetreding gaat het ook over de zonnetoetreding (g-waarde met betrekking tot de warmte) en de isolatiewaarde.

Elke situatie is uniek en de keuze van een beglazing bestaat erin tegelijkertijd de thermische isolatieprestatie (Ug-waarde), de zonnewinsten (g-waarde) en de natuurlijke verlichting (LT-waarde) te optimaliseren.

Voor de winter opteert men bij voorkeur voor een beglazing met hoge zontoetredingsfactor (g-waarde) en een hoge lichttransmissie (LT-waarde) om zo veel mogelijk van de gratis zonnewinsten en het natuurlijk licht te genieten. Om overhitting te vermijden, kan de beglazing gecombineerd worden met een dynamische buitenzonwering. Indien grote beglaasde oppervlakken aanwezig zijn, dient oververhitting te worden vermeden en opteert men bij voorkeur voor een beglazing met een lage zontoetredingsfactor (g-waarde), gecombineerd met een min of meer hoge lichttransmissie (LT-waarde).

De technische eigenschappen, de grootte, de vorm, de plaats van de ramen, de optimale glasoppervlakte hangen eveneens af van de oriëntatie, de inrichting, het type van activiteiten van de gebruikers, de omgeving van het gebouw,...

	Samenstelling	U_g [W/(m ² K)]	LT [%]	g [%]
Blanke enkele beglazing	4mm	5,8	90	87
Dubbele beglazing zonder coating	4/12(lucht)/4	2,9	81	77
Dubbele HR-beglazing emissiviteit 3%	4/12(argon)/#4	1,3	80	62
Dubbele HR-beglazing emissiviteit 3%	4/15(argon)/#4	1,1	80	62
Dubbele HR-beglazing emissiviteit 1%	4/15(argon)/#4	1,0	70	50
Drievoudige HR-beglazing	4#/12(argon)/4/12(argon)/#4	0,7	70	50
Drievoudige HR-beglazing	4#/15(argon)/4/15(argon)/#4	0,6	70	50
Drievoudige HR-beglazing	4#/18(argon)/4/18(argon)/#4	0,5	70	50
Drievoudige HR-beglazing	4#/10(krypton)/4/10(krypton)/#4	0,6	70	50
Drievoudige HR-beglazing - Passieve bouw	4#/12(argon)/4/12(argon)/#4	0,8	72	60
Dubbele zonwerende HR-beglazing	6#/15(argon)/4	1,1	70	40
Dubbele zonwerende HR-beglazing	6#/15(argon)/4	1,0	60	28
Dubbele zonwerende HR-beglazing	6#/15(argon)/4	1,1	40	20
Dubbele veiligheids/geluidswerende HR-beglazing	6#/15(argon)/44,2	1,1	77	56
Drievoudige veiligheids-HR-beglazing	6#/12(argon)/4/12(argon)/#44,2	0,7	69	49

De opgegeven zontoetredingsfactor (g-waarde) en de lichttransmissie (LT-waarde) zijn indicatief. Om de precieze waarden te verkrijgen, dienen de fabrikanten geraadpleegd te worden. (Bron: VGI)

2.2.2.5. Lichtsturende elementen

Lichtsturende elementen zijn alle bouwkundige elementen die bewust op of in een gebouw worden geplaatst om het licht een bepaalde richting mee te geven. Het doel hiervan kan zijn om meer licht in een ruimte te krijgen, een betere verdeling van het licht in de ruimte te krijgen of een visueel comfortabelere verlichting in de ruimte te krijgen. Onderstaande systemen zijn de belangrijkste hulpmiddelen die vandaag toegepast worden. Een aantal van deze systemen kunnen soms ook als zonwering ingezet worden.

Lichttransport : lichtkoker en -geleiders

Lichtkokers zijn bedoeld om het daglicht, voornamelijk zonlicht, in delen van een gebouw te brengen waar geen daglicht komt, of waar geen ramen aangebracht kunnen of mogen worden. De binnenkant van de kokers is met een hoog reflecterend materiaal bekleed. Aan de onderzijde van de koker wordt in veel gevallen een prismatische afdekking gebruikt om een diffuse verlichting van de ruimte te realiseren. De hoeveelheid licht die uiteindelijk in de ruimte komt hangt af van de buitencondities, de lengte van de pijp, het aantal knikken, de diameter van de pijp en de positie ten opzichte van de zon.

Over het algemeen functioneren lichtkokers het beste over kleine pijplengtes. De systemen zijn echter relatief duur en bieden geen uitzicht naar buiten.

Lichtplank ('Lightshelf')

Een lichtplank is een klassiek daglichtsysteem dat ontworpen is om het licht dat er bovenop valt naar het plafond van de binnenruimte te reflecteren en direct licht nabij de gevelzone te weren. Normaal gesproken bevindt de lichtplank zich boven ooghoogte waarbij het raam onderverdeeld wordt in een 'zichtdeel' onder de plank en een 'lichtdeel' erboven. De afwerking van de lichtplank is aan de bovenzijde wit of spiegelend. Voor een goede werking is het van wezenlijk belang dat zowel de plank als het plafond een hoge reflectiecoëfficiënt hebben.

De lichtplanken functioneren voornamelijk goed bij direct zonlicht en op een zuidelijk georiënteerde gevel. Ze zijn zowel binnen als buiten toepasbaar. Ook de combinatie van beiden is mogelijk.

Bij bewolkte hemel resulteert het toepassen van een interne lichtplank niet in de verhoging van de hoeveelheid daglicht in een ruimte. Er wordt dan enkel een hogere gelijkmatigheid van de dagverlichting gerealiseerd. Bij het buiten de gevel plaatsen van een lichtplank zal de extra lichtopbrengst vooral dieper in het vertrek hoger zijn. Het voor de lichtplank 'zichtbare' licht dat gereflecteerd kan worden is groter. Wanneer de geometrie van de lichtplank gebogen en gesegmenteerd wordt, kan de efficiëntie van het systeem eventueel vergroot worden.

Door een lichtplank niet als een vast maar als een beweegbaar object uit te voeren, is het mogelijk de lichttoetreding en zoninval te reguleren en te optimaliseren. De mogelijkheid tot verandering van de hoek van de lichtplank biedt verschillende voordelen:

- meer mogelijkheden tot tegenhouden van ook laagstaande zon
- lager lichtniveau in raamzone
- lichte stijging van daglichtniveau dieper in ruimte

In dit geval zal de lichtplank mee ingezet kunnen worden als een mobiele zonwering. Voor statische lichtplanken geldt bij voorkeur dat deze spiegelend uitgevoerd worden, onder een hoek gezet worden en aan de buitenzijde van de gevel aangebracht kunnen worden.

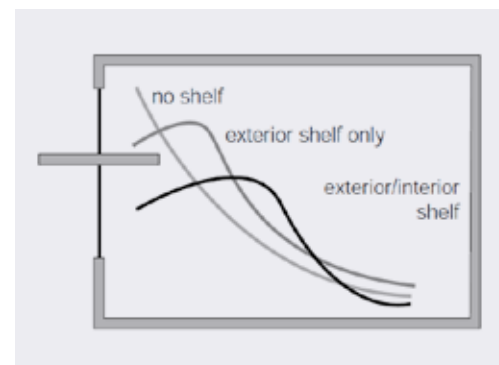
Lamellen

Lamellensystemen zijn opgebouwd uit een aantal horizontale, verticale of hellende oppervlakken. De verkrijgbare verschijningsvormen zijn divers. De lamellen kunnen zowel aan de binnenkant als aan de buitenkant van het raam geplaatst worden. Aan de buitenkant geplaatste lamellen functioneren als licht- en als warmtewering, terwijl lamellen aan de binnenzijde vooral de lichtwerende functie kunnen vervullen. Plaatsing tussen het glas is ook mogelijk, maar roept vragen in verband met onderhoud op.

Naast de zonregulerende functie hebben de lamellen ook lichtsturende eigenschappen. Hierdoor hebben ze ook binnen het thema 'daglichtsystemen' aandacht gekregen. Door de stand van de lamellen aan te passen, kan het zonlicht via de lamellen naar het plafond gereflecteerd worden. Hierdoor wordt het licht via het plafond dieper de ruimte in gebracht, zonder een te grote helderheid te geven bij de raamzone. Het uiteindelijke resultaat is afhankelijk van de plaatsing, de stand, het oppervlak en de reflectiekenmerken van de lamellen.

De lamellensystemen die omhoog of opzij getrokken kunnen worden, kunnen onder alle hemelcondities ingezet worden om licht te sturen of te weren. Onder bewolkte hemel kan een onbelemmerd glasvlak geboden worden. Daarnaast kan het directe zonlicht onder heldere hemelcondities door de lamellen optimaal in de ruimte gebracht worden. Lamellen kunnen op alle oriëntaties toegepast worden waarbij de verticale lamellen het beste functioneren op de oostelijke en westelijke geveloriëntatie.

Daarnaast zijn er diverse vormen ontwikkeld, om de lichtsturende eigenschappen van de lamellen te optimaliseren. Een voorbeeld hiervan is het visgraatsysteem, wat onder een bewolkte hemelkoepel ongeveer twee keer zoveel licht dieper in de ruimte zou brengen dan normale lamellen. Omdat dit systeem ontworpen is om het licht onder bewolkte hemelcondities beter te sturen is naast dit daglichtsysteem ook een goede zonwering nodig.



▲ Invloed van de lichtplank op de verdeling van het daglicht in de ruimte



▲ Voorbeeld van een lichtplank: Thurston Elementary School (Springfield, Oregon, Verenigde Staten)



▲ Voorbeeld van een lamellen-systeem: Sint-Ludgardisschool Merksem

Prisma's



Lichtsturende prismasystemen hebben sturing van direct zonlicht als doel. Dit direct licht wordt van richting veranderd en kan door middel van een reflecterend plafond diffuus de achterliggende ruimte in worden gereflecteerd. De werking van prismatische systemen is bij diffuus licht beperkt. Er zijn verschillende varianten van prismatische systemen: lichtsturende PMMA-elementen, prismatische coatings en zonlichtwerende prismasystemen. Het uitzicht door prima's is beperkt.

2.2.3. Eigenschappen van het lokaal

2.2.3.1. Geometrie

De daglichttoetreding in een lokaal verzwakt naarmate de afstand tot de opening groter wordt. De delen van de ruimte die het verst van het raam zijn verwijderd, zijn dus het slechtst verlicht. Hoe dieper de kamer, hoe slechter de uniformiteit van de daglichttoetreding.

De diepte van het vertrek is belangrijk voor de hoeveelheid natuurlijk licht in de ruimte; de hoogte van het plafond is eveneens belangrijk. Een hoger geplaatst raam belicht de ruimte bij een gelijk beglaasd oppervlak, tot dieper in de ruimte. Een venster met een hoog bovenraam is dus ideaal.

Naast de hoogte is ook de breedte van het lokaal en meerbepaald de breedte van de gevel van belang. Het belichtingsniveau is hoger naarmate het vertrek breder is (met een constante verhouding glasoppervlak/vloeroppervlak). De diepte is ook best niet groter dan de breedte.

Architecturale ingrepen kunnen op hun beurt de daglichttoetreding nog optimaliseren, bij eenzelfde gevelopening. Om de inbreng van natuurlijk daglicht te maximaliseren kan een raam bijvoorbeeld verder doorschieten dan het verlaagd plafond. Hierbij stopt het verlaagd plafond eerder dan het raam en wordt er schuin aangewerkt. Ook aan de dagkanten kan een schuine aanwerking het daglicht dieper in de ruimte brengen bij eenzelfde opening.

2.2.3.2. Eigenschappen van de wanden en oppervlakken

Licht dat binnenkomt via de daglichtopeningen wordt gedeeltelijk geabsorbeerd en gedeeltelijk gereflecteerd door de verschillende oppervlakken in het lokaal. De aard en de kleur van die oppervlakken hebben een rechtstreekse weerslag op de verdeling van het licht binnenin een ruimte. Binnenafwerkingen zoals witte muren of licht reflecterende plafonds zorgen voor extra lichtreflecties

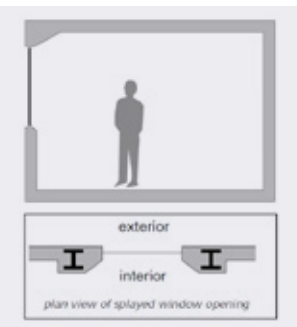
Oppervlakken met lichte kleuren en matte oppervlakken hebben dus de voorkeur. Deze zorgen voor meer licht en een goede lichtdistributie. Donkerder gekleurde muren bevinden zich best verder van de daglichtopeningen. Om hinderlijke weerkaatsingen te vermijden en om praktische redenen kan de vloer donkerder zijn. Glanzende oppervlakken zijn bij voorkeur klein en beperkt om buitensporige luminanties en verblinding te voorkomen.

Een lichter gekleurde kamer biedt dus een betere daglichtdistributie, verbetert de helderheidsverhoudingen en is visueel comfortabeler. Naast het verlichtingsniveau bepalen ruimtelijke effecten ook zeer sterk het gevoel of comfort in een ruimte.

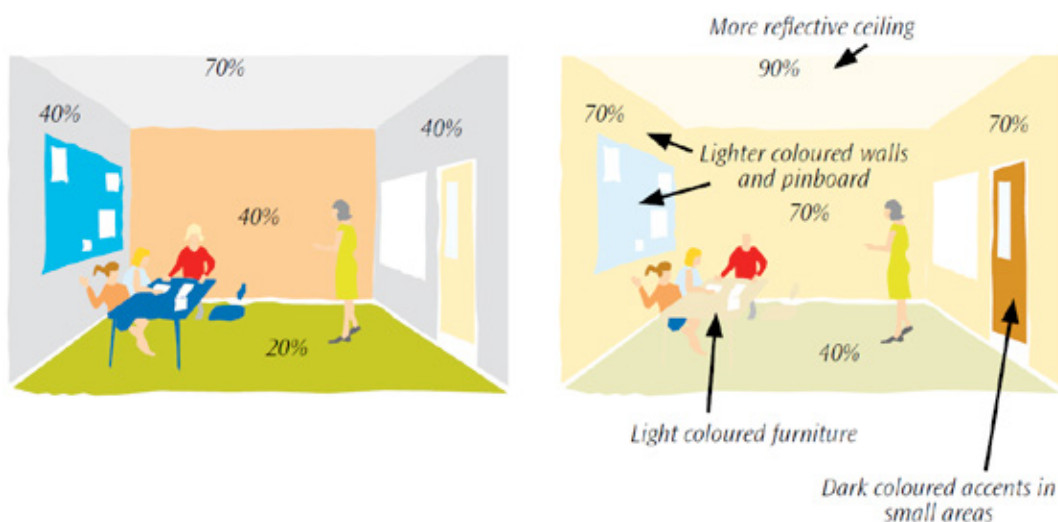
Een belangrijke parameter om de eigenschappen van de verschillende oppervlakken te duiden, is de reflectiecoëfficiënt.

De reflectiecoëfficiënt van de muren, de vloer en het plafond is bepalend voor de lichtreflecties binnen in een lokaal. De vloer van een lokaal is echter zelden volledig leeg: het meubilair neemt veelal, zeker in klaslokalen, een groot deel van de vloeroppervlakte in. Door haar grote invloed op de lichtverdeling in een ruimte is het belangrijk om meubilair vanaf het begin mee te nemen in de lichtstudie.

▲ Voorbeeld van lichtsturende prisma's: University of British Columbia Point Grey (Vancouver, Canada)



▲ Voorbeeld van architecturale ingreep om daglichttoetreding te maximaliseren



▲ Invloed van reflectiecoëfficiënt van de wanden op de lichtverdeling in de ruimte

Reflectiecoëfficiënten van enkele binnenoppervlakken

Verven

Wit	0,70 tot 0,80
Geel	0,50 tot 0,70
Groen	0,30 tot 0,60
Grijs	0,35 tot 0,60
Bruin	0,25 tot 0,50
Blauw	0,20 tot 0,50
Rood	0,20 tot 0,35
Zwart	0,04

Hout

Licht berken, esdoorn	0,55 tot 0,65
Licht gevernist eiken	0,40 tot 0,50
Donker gevernist eiken	0,15 tot 0,40
Mahoniehout, notenhout	0,15 tot 0,40

Andere bouwmaterialen:

Wit pleisterwerk	0,70 tot 0,80
Schoon wit marmer	0,80 tot 0,85
Schone witte baksteen	0,62
Rode baksteen	0,10 tot 0,20
Versleten rode baksteen	0,05 tot 0,15
Gepolijst aluminium	0,65 tot 0,75
Mat aluminium	0,55 tot 0,60
Wit email	0,65 tot 0,75
Beglazing	0,08 tot 0,40
Nieuwe witte raaplaag	0,70 tot 0,80
Versleten witte raaplaag	0,30 tot 0,60
Nieuw beton	0,40 tot 0,50
Oud beton	0,05 tot 0,15

De reflectiecoëfficiënten zijn niet enkel afhankelijk van de kleur van het oppervlak, maar ook van de textuur. Onderstaande tabel geeft richtwaarden voor de reflectiecoëfficiënt van de verschillende types wanden in een gebouw, zoals voorgesteld in de norm NBN EN 12464-1.

Aanbevolen reflectiecoëfficiënten volgens NBN EN 12464-1

Type wand	Aanbevolen reflectiecoëfficiënt
Plafond	0,7 tot 0,9
Muren	0,5 tot 0,8
Vloer	0,2 tot 0,4
Meubels	0,2 tot 0,7



AUTEUR

Ruben Delvaeye (WTCB)

REVIEWERS

Bertrand Deroisy (WTCB)

Peter Bracke (KU Leuven Technologicampus Gent)

Wouter Ryckaert (KU Leuven Technologicampus Gent)

3 Kunstlicht

Complementair aan daglicht

Daglicht dient, waar mogelijk, beschouwd te worden als de belangrijkste bron van licht in een gebouwconcept: het levert heel kwalitatief licht, wat doorgaans zorgt voor een hoog visueel comfort, en tegelijk valt er veel energie te besparen doordat er minder nood is aan kunstlicht. Optimaal wordt er dus zoveel mogelijk gebruik gemaakt van daglicht om een zo comfortabel mogelijke werkomgeving te creëren. Bij een gebrek aan daglicht moet de kunstverlichting deze taak uiteraard feilloos kunnen overnemen...

Inleiding

Het schoolpatrimonium in Vlaanderen is volgens cijfers van AGIO sterk verouderd: iets minder dan 50 % van al de gebouwen dateert van voor 1979. Ook de bijhorende installaties zijn vaak erg verouderd. In deze ‘te renoveren’ scholen kan het aandeel van kunstverlichting in het totale elektriciteitsverbruik oplopen tot wel 70 %! Het is dan ook onmiskenbaar dat in de renovatie van verlichting een heel groot besparingspotentieel zit.

Oude armaturen, vaak nog voorzien van T12 tl-lampen en van een elektromagnetisch voorschakelapparaat, kunnen worden vervangen door armaturen met een hoog rendement: via de optiek van de armatuur wordt een groter deel van de totale lichtstroom uit een lamp naar het werkvlak gestuurd. Hierdoor zijn er in totaal minder armaturen nodig om eenzelfde gemiddelde verlichtingssterkte in een ruimte te bekomen dan bij toepassing van de naakte tl-lampen. Bovendien zorgen ook het gebruik van energiezuinigere T5 tl-lampen en de toepassing van elektronische voorschakelapparaten voor een sterke reductie van het energieverbruik door kunstverlichting.

Naast de tl-verlichting wordt ook ledverlichting meer en meer in kantoor- en schooltoepassingen gebruikt. De generatie ledverlichting anno 2016 is reeds een stuk zuiniger dan de beste tl-verlichting en het rendement verbetert nog steeds aanzienlijk. Daar waar in het verleden een specifiek vermogen van 1,3 à 1,6 W/(m².100lx) ondenkbaar was, is dit nu de standaard voor een energiezuinige installatie voor de algemene verlichting in school- en kantoorgebouwen. Met de evolutie van de ledtechnologie lijkt zelfs een verdere daling richting 1,1 à 1,2 W/(m².100lx) tijdens de komende jaren realistisch te zijn. Daarnaast wordt de onderhoudskost ook een pak lager doordat T5 tl-lampen en leds een veel langere levensduur hebben dan de oude tl-lampen.

Minstens even belangrijk als de aspecten “energiezuinigheid” en “onderhoud” is het visueel comfort voor de gebruiker van de verlichting. Bij het uitvoeren van een renovatie van de verlichting worden er armaturen geplaatst die voldoen aan alle hedendaagse eisen. De reflector bundelt het licht en stuurt het naar de plaats waar de gebruiker het nodig heeft: op het werkvlak. Bovendien worden in de typische armaturen met lineaire tl-lampen lamellen voorzien om verblinding tegen te gaan. Maar ook bij ledverlichting is verblinding een belangrijk aandachtspunt!

Samengevat heeft het vakkundig vernieuwen van verouderde verlichting dus een groot aantal voordelen: de energie-efficiëntie stijgt, wat rechtstreeks zorgt voor een lagere energiefactuur, maar ook het visueel comfort verbetert, wat een hogere productiviteit en een hogere veiligheid van de werkplek met zich meebrengt. Dit alles vertaalt zich in een grotere waardering van het gebouw.

3.1 Kunstverlichting ontleed

Een compleet verlichtingssysteem bestaat uit drie hoofdelementen:

- de lichtbron
- de armatuur
- het regelsysteem

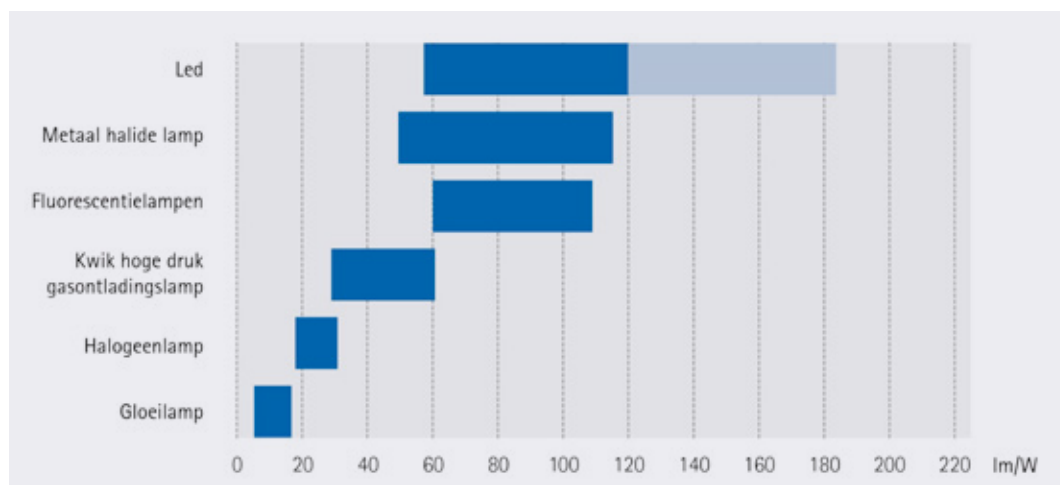
Elk element heeft zijn invloed op zowel het (visueel) comfort als op het energiegebruik. Hierna wordt een overzicht gegeven van de technologie betreffende de elementen “lichtbron” en “armatuur”, samen te benoemen als “het verlichtingstoestel”.

3.1.1. De lichtbron

Het aanbod van lampen op de markt is enorm. Afhankelijk van de toepassingsdomein worden meestal gloeilampen, gasontladingslampen of ledlichtbronnen gebruikt.

Onder de categorie “gloeilampen” worden zowel de klassieke gloeilampen als de halogeenlampen gerekend. Het type gasontladingslampen dat het meest toegepast wordt, zijn de lage druk kwikdamlampen. Deze kunnen nog verder onderverdeeld worden, afhankelijk van hun maat en vorm. Zo kunnen de lage druk kwikdamlampen bijvoorbeeld verdeeld worden in (buis)fluorescentielampen (tl-lampen), lineair of circulair, en compacte fluorescentielampen (cfl-lampen). Voor ledverlichting zijn de toepassingsmogelijkheden eindeloos. Het gebruik ervan voor functionele verlichting heeft een pijlsnelle opgang gemaakt en de technologie heeft haar eindpunt nog geenszins bereikt.

Onderstaande grafiek geeft een overzicht van het lichtrendement voor verschillende types lichtbronnen anno 2016. Voor led wordt ook aangegeven welk groeipotentieel de komende jaren nog te verwachten valt.



Typische waarden voor het lichtrendement van verschillende types lichtbronnen anno 2016
(+ groeipotentieel ledverlichting in de komende jaren)

Zoals blijkt, zijn zowel fluorescentielampen, metaal halide lampen als leds erg efficiënte lichtbronnen. Er zit per type wel een behoorlijke spreiding op het lichtrendement, afhankelijk van het merk en van de soort.

Daarnaast zijn er ook types die een zeer lage efficiëntie hebben, bijvoorbeeld de gloeilampen en de halogeenlampen. Het is dan ook noodzakelijk het gebruik van deze lamptypes te vermijden voor functionele verlichting.

Algemeen gezien kan het aanbod van lichtbronnen in drie grote categorieën onderverdeeld worden:

- Gloeilampen
- Gasontladingslampen
- Ledlichtbronnen

Op deze drie categorieën wordt hierna verder ingegaan.

3.1.1.1. Gloeilampen

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de klassieke gloeilampen en de halogeenlampen. Halogeenlampen zijn eigenlijk verbeterde gloeilampen: ook zij stralen licht uit dankzij de opwarming van een gloeidraad waar een elektrische stroom doorheen vloeit, maar door toevoeging van een halogeengas in de lamp hebben halogeenlampen een langere levensduur dan klassieke gloeilampen. Een typische halogeenlamp gaat zo'n 2000 à 4000 uur mee, terwijl de levensduur van een klassieke gloeilamp ongeveer 1000 uur bedraagt. Daarnaast hebben halogeenlampen ook een iets hoger lichtrendement dan de klassieke gloeilampen. Op vlak van energie-efficiëntie leveren beide types lampen echter zwakke resultaten. Desondanks hebben gloeilampen wel een zeer goede kleurweergave, zijn ze goed en snel schakelbaar en zijn ze ook perfect dimbaar.



▲ Klassieke gloeilamp (bolvorm)



▲ Halogeenlamp (capsule)



▲ Klassieke halogeenlamp (bolvorm)



▲ Halogeenlamp in spot

“De uitvoering van de ErP Eco-design Richtlijnen heeft gezorgd voor een uitfasering van een aantal inefficiënte lamptypes, zoals de klassieke gloeilampen en op termijn ook de meeste halogeenlampen.”

Toepassing van gloeilampen in het licht van de ErP Eco-design Richtlijnen

Er worden door de Europese Unie steeds strengere eisen gesteld wat betreft de energiezuinigheid van huishoudelijke apparaten die in de handel verkrijgbaar zijn, waaronder ook de verlichting wordt gerekend. Deze eisen werden gebundeld onder de naam “ErP Eco-design Richtlijnen”. De uitvoering van deze richtlijnen heeft gezorgd voor een uitfasering van een aantal inefficiënte lamptypes, zoals de klassieke gloeilampen en de meeste halogeenlampen. Zo mogen er sinds 1 september 2012 al geen nieuwe klassieke gloeilampen meer in de handel worden gebracht. Dit leidde uiteindelijk tot het volledig verdwijnen van klassieke gloeilampen uit de winkel.

Er zijn echter wel enkele uitzonderingen op de Eco-design Richtlijnen. In speciale toepassingen, zoals het gebruik van lampen in huishoudelijke

apparaten, bijvoorbeeld ovens of ijskasten, moeten de Eco-design Richtlijnen niet in acht worden genomen. Dit is ook het geval voor gekleurde lampen, zoals voor kerstverlichting.

Behalve eisen naar energiezuinigheid worden fabrikanten door de Eco-design richtlijnen ook verplicht de klant beter te informeren, via informatie op de verpakking of, indien online verkoop, via informatie op de website. Zo moet onder meer steeds aangegeven worden wat de lichtstroom van de lamp is en welke kleurtemperatuur de lamp heeft, maar er moet bijvoorbeeld ook een waarschuwing gegeven worden wanneer deze niet kan gedimd worden. Dit maakt het mogelijk om bij aankoop verschillende lampen beter met elkaar te kunnen vergelijken.



3.1.1.2. Gasontladingslampen

Een gasontladingslamp bestaat typisch uit een glazen buis die gevuld is met een gas (onder hoge of lage druk) waar een elektrische stroom doorgestuurd wordt. Voor toepassingen in school- en kantoorgebouwen zijn er twee soorten gasontladingslampen die voornamelijk gebruikt worden: de (buis) fluorescentielamp, die ook vaak tl-lamp (“Tubular Lamp”) wordt genoemd, en de compacte fluorescentielamp of cfl-lamp (“Compact Fluorescent Lamp”).

Bij deze types lampen wordt zichtbaar licht gecreëerd doordat de onzichtbare UV-straling, ontstaan door de kwikgasontlading in de lamp, in contact komt met fluorescerende fosforpoeders die op de glazen buis van de lamp zijn aangebracht. Hierdoor wordt de UV-straling omgezet in zichtbaar licht. Er kunnen verschillende kleurtemperaturen bekomen worden, afhankelijk van de samenstelling van het mengsel van fluorescerende poeders.

Voorgenoemde types gasontladingslampen hebben niet alleen een veel hoger lichtrendement dan gloeilampen, maar ook de levensduur van de lampen is veel langer. Dit maakt dat ze vaak een aantrekkelijke verlichtingsoplossing vormen.

Buisfluorescentielampen (tl-lampen)

Tl-lampen zijn buisvormig, hetzij lineair, hetzij circulair. Voor functionele verlichting wordt er meestal voor lineaire tl-lampen gekozen. Deze bestaan in verschillende lengtes, waarbij de lengte van de lamp varieert in functie van haar vermogen.

De lineaire tl-lampen worden onderverdeeld in drie categorieën op basis van hun diameter: T12, T8 en T5. Het cijfer geeft de diameter van de buis aan, uitgedrukt in achtsten van een duim (“inch”). Een T5 tl-lamp heeft dus een diameter van 5/8 duim, ofwel 16 mm.

T12 tl-lampen zijn sterk verouderd in vergelijking met de prestaties die de huidige tl-lampen leveren en worden dus niet meer toegepast. Bij vervanging kunnen T8 tl-lampen gebruikt worden. T5 tl-lampen zijn de jongste generatie tl-lampen en kunnen enkel gebruikt worden in combinatie met een elektronische ballast. Met een lichtrendement van maximaal 104 lm/W zijn deze lampen een stuk efficiënter dan de T12 tl-lampen (maximaal 78 lm/W), en vele keren beter dan klassieke gloeilampen (maximaal 17 lm/W). De T5 tl-lampen bestaan in verschillende varianten. Zo is er zowel een HE-serie (“High Efficiency”) als een HO-serie (“High Output”).

“Met een lichtrendement van maximaal 104 lm/W zijn T5 tl-lampen een stuk efficiënter dan de verouderde T12 tl-lampen (maximaal 78 lm/W), en vele keren beter dan de klassieke gloeilampen (maximaal 17 lm/W).”

Er is een duidelijke trend naar energiezuinigheid. Dit zet zich ook nog verder door in de evolutie van de technologie van de tl-verlichting. Zo bestaat er voor de T8 en de T5 tl-lampen ook een eco-versie. Het energieverbruik voor T5 tl-lampen in de eco-versie ligt anno 2016 ongeveer 10 % lager dan bij de standaard T5 tl-lampen, terwijl de lichtstroom uit de lamp ongeveer gelijk is. Dit resulteert in een lichtrendement van de eco-versie van maximaal 114 lm/W, waar dit bij een standaard T5 tl-lamp maximaal 104 lm/W was.

Bovendien blijkt uit testen dat deze lampen ook minstens even stabiel en betrouwbaar zijn als de standaard T5 tl-lampen. Aangezien de eco-versie dezelfde lengte heeft als de standaardversie en beide lampen bovendien op dezelfde voorschakelapparatuur kunnen werken, kan vervanging heel eenvoudig uitgevoerd worden. Ook bij T8 tl-lampen levert het gebruik van de eco-versie energiebesparing op, al is het minder gunstig bij combinatie met een conventioneel elektromagnetisch voorschakelapparaat.



▲ Tl-lampen met verschillende diameters (v.l.n.r. T5, T8, T12)

! Wanneer er gekozen wordt voor dimbare tl-verlichting, zijn er een aantal verlichtingsfabrikanten die aanraden om de tl-lampen eerst 100 uur te laten inbranden op hun maximaal vermogen alvorens ze beginnen te dimmen. Dit inbrandproces zou een verkorting van de levensduur van de tl-lampen voorkomen. De 100 inbranduren moeten niet aaneensluitend zijn. Ze mogen bijvoorbeeld ook verdeeld worden over een drietal schoolweken (maandag tot en met vrijdag) met gemiddeld 7 branduren van de verlichting per dag.

Naar kleuraspecten toe zijn er voor lampen twee grootheden van belang:

- De kleurweergave-index R_a
- De kleurtemperatuur, uitgedrukt in Kelvin

De waarde voor deze grootheden kan rechtstreeks afgelezen worden op een tl-lamp.



Het getal "840" geeft de informatie over de kleurweergave-index en de kleurtemperatuur van de tl-lamp: de 8 uit het getal 840 geeft aan dat de kleurweergave-index tussen 80 en 90 ligt en het getal 40 wil zeggen dat de kleurtemperatuur van de lamp 4000 K bedraagt.

De voornaamste voordelen van tl-lampen zijn enerzijds de hoge lichtstroom en bijhorende hoge energie-efficiëntie, en anderzijds de levensduur. TL-lampen hebben een gemiddelde levensduur tussen 15.000 en 20.000 branduren. Door hun grote functionaliteit wordt dit type verlichting in een groot deel van de scholen en kantoren toegepast. Een belangrijk nadeel van dit type lichtbron is wel zijn afmetingen. Vooral naar residentiële toepassingen toe vormt dit een rem op het gebruik ervan.

Compacte fluorescentielampen (cfl-lampen)

De cfl-lampen, voluit compacte fluorescentielampen genoemd, vormen het tweede type gas-ontladinglampen dat vaak in gebouwen gebruikt wordt. Ze vormen eigenlijk de compacte versie van de tl-lampen. De cfl-lampen bestaan in twee types:

- Lampen met ingebouwde voorschakelapparatuur
- Lampen zonder ingebouwde voorschakelapparatuur



Cfl-lampen met (links) en zonder (rechts) ingebouwde voorschakelapparatuur

Lampen met ingebouwde voorschakelapparatuur zijn uitgerust met een klassieke gloeilampvoet met schroefdraad (E27 of E14) en hebben, zoals de naam het zegt, een ingebouwd voorschakelapparaat. Ze kunnen dan ook gemakkelijk gebruikt worden ter vervanging van gloeilampen. Men spreekt in dit geval ook van vervangingslampen. Ze worden meestal gebruikt voor residentiële toepassingen.

Lampen zonder ingebouwde voorschakelapparatuur worden meestal toegepast in kleine inbouw- of wandarmaturen. Ze zijn voorzien van een lampvoet met specifieke pinnen en moeten worden gebruikt met het geschikte externe voorschakelapparaat. Dit type cfl-lampen wordt eerder toegepast in bijvoorbeeld kantoorgebouwen of scholen. Ze zijn beschikbaar in hogere vermogens dan cfl-lampen met ingebouwde voorschakelapparatuur en hebben doorgaans ook een hogere efficiëntie.

! **Cfl-lampen zijn in de volksmond ook wel gekend onder de naam “spaarlampen”. Deze benaming is algemeen gezien echter niet correct: spaarlampen zijn immers alle lampen met een A-label. Dit kunnen, behalve cfl-lampen, dus ook andere types lichtbronnen zijn. Zo worden ook ledlampen onder de spaarlampen gerekend. Het al dan niet behoren tot de categorie “spaarlampen” hangt dus af van het energielabel van de lamp.**



▲ Cfl-lampen zonder ingebouwde voorschakelapparatuur bestaan in verschillende vormen en maten

Het grote voordeel van cfl-lampen is dat ze in verschillende vormen en maten verkrijgbaar zijn. Ze zijn, zoals de naam het zegt, een stuk compacter dan tl-lampen. Ze hebben ook een behoorlijk hoog lichtrendement, al is dit gewoonlijk wel wat lager dan het rendement van tl-lampen. Een ander voordeel is hun lange levensduur. Volgens het Vlaams Energieagentschap ligt de levensduur van cfl-lampen met geïntegreerde voorschakelapparatuur ongeveer acht keer hoger dan deze van gloeilampen (van 6000 tot 20.000 uur). Lampen met externe voorschakelapparatuur hebben een nog langere levensduur.

Nadeel is dat sommige cfl-lampen een langere opstarttijd hebben, wat er voor zorgt dat er wat tijd nodig is voor dat de maximale lichtstroom bereikt is. Ook hebben ze, net als tl-lampen, een lagere kleurweergave-index dan klassieke gloeilampen, al blijft deze toch behoorlijk hoog (gewoonlijk boven de 80).

3.1.1.3. Ledlichtbronnen

De led (voluit “light emitting diode”) vormt, naast de gloeilamp en de gasontladingslamp, de derde grote categorie binnen de verzameling van types lichtbronnen.

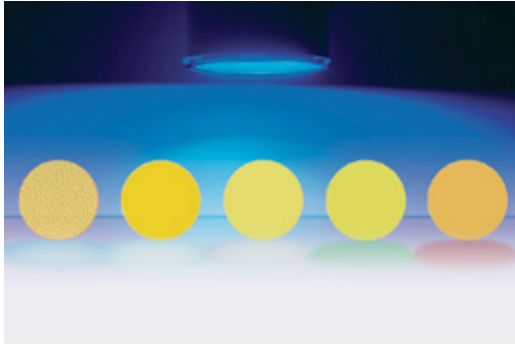
Een led is een halfgeleider (diode) die licht uitstraalt wanneer er stroom door vloeit. De halfgeleidermaterialen waaruit leds gemaakt zijn, zetten dus elektrische energie om in zichtbare straling, licht. De diode waar de elektrische stroom doorheen vloeit, is, zoals dit bij elke diode het geval is, unidirectioneel. Er zal met andere woorden enkel licht ontstaan als er een gelijkstroom in de ‘juiste’ richting doorstroomt. Aangezien leds op gelijkstroom werken, is het nodig van deze te verbinden met een driver, te beschouwen als het voorschakelapparaat van een ledverlichtingstoestel. De driver zorgt voor de omzetting van wisselspanning in gelijkspanning, zodat de leds kunnen gevoed worden met een gelijkstroom.

De straling van een ledchip is monochroom: alle uitgezonden straling valt in hetzelfde golflengtegebied en heeft dus slechts één kleur. Er zijn verschillende kleuren beschikbaar: alle verzadigde kleuren uit het zichtbare spectrum kunnen met behulp van leds geproduceerd worden.

Voor functionele verlichting is de productie van wit licht echter het meest interessant. Dit kan bijvoorbeeld bekomen worden door de kleuren rood, groen en blauw te mengen (drie leds: Rood Groen Blauw (RGB)). De manier die tegenwoordig echter het vaakst wordt toegepast om met leds wit licht te maken, combineert een led die blauw licht uitstraalt met een materiaal dat een deel van dit blauwe licht omzet in alle andere golflengtes van het zichtbaar spectrum. Dit resulteert in wit licht.

Het materiaal dat voor de omzetting zorgt, wordt de fosfor genoemd. Deze heeft typisch een gele kleur. Afhankelijk van de samenstelling van de fosfor en de hoeveelheid blauw licht die doorgelaten wordt, is de kleurtemperatuur van het witte licht warmer of kouder.





▲ De samenstelling van de fosfor bepaalt de kleurtemperatuur van het witte licht



▲ Koppeling van meerdere leds

Aangezien leds doorgaans een laag vermogen hebben en dus ook hun lichtstroom relatief beperkt is (ondanks hun hoge efficiëntie!), worden meestal meerdere leds gekoppeld. Op vlak van integratie van leds kunnen verschillende niveaus onderscheiden worden:

Benaming	Beschrijving	Afbeelding
Ledpackage of ledcomponent	Enkelvoudige component die uit één ledchip (single die package) of meerdere ledchips (multi die package) bestaat. Mogelijk met optiek en thermische of andere interfaces.	
Ledmodule	Meerdere ledcomponenten die worden gemonteerd op een PCB (printplaat), al dan niet met geïntegreerde elektronica.	
Ledlamp	Ledmodule met driver en met lampvoet. Optioneel met optiek (reflector, diffusor).	

Integratieniveaus voor leds

Om een ledproduct te ontwerpen, wordt uiteindelijk gekozen voor een van de drie bovenstaande integratieniveaus om mee te werken. Het uiteindelijke resultaat is een product, klaar voor implementatie!



▲ Toepassing van ledverlichtingstoestellen



▲ Voorbeeld van ledverlichtingstoestel

“De manier die tegenwoordig het vaakst wordt toegepast om met leds wit licht te maken, combineert een led die blauw licht uitstraalt met een fosfor die een deel van dit blauwe licht omzet in alle andere zichtbare golflengtes. Dit resulteert in wit licht.”

Sinds een aantal jaar is er een razendsnelle evolutie van de ledtechnologie aan de gang. Initiële problemen met leds werden aangepakt: het thermisch beheer is onder controle door het gebruik van koelelementen, matige kleurweergave voor bepaalde kleurtemperaturen werd verbeterd (zowel warm als koud wit licht zijn dus mogelijk met led), problemen met binning (kleurafwijkingen van leds die in eenzelfde batch geproduceerd werden) worden beperkt door eisen op te leggen aan de maximale afwijkingen,... Ook grotere lichtstromen worden mogelijk.

“Initiële problemen met leds werden aangepakt: het thermisch beheer is onder controle door het gebruik van koelelementen, matige kleurweergave voor bepaalde kleurtemperaturen werd verbeterd, problemen met kleurbinning worden onder controle gehouden...”

Het lichtrendement bij led ligt anno 2016 in dezelfde grootteorde als het lichtrendement van een T5 tl-lamp, een stukje boven de 100 lm/W. Voor verschillende toepassingen (vooral downlights en in- of opbouwarmaturen voor school- en kantooromgevingen) overtreft het lichtrendement van leds zelfs reeds het rendement dat met de beste fluorescentielampen wordt gehaald. Daarmee horen leds nu bij de meest efficiënte lichtbronnen voor algemene functionele verlichting. Er wordt verwacht dat het rendement van leds in de toekomst nog verder kan stijgen tot ongeveer 200 lm/W.

“Het rendement van leds overtreft vandaag de dag reeds het rendement van fluorescentielampen. Daarmee horen de leds nu bij de meest efficiënte lichtbronnen voor algemene functionele verlichting.”

Naast de heel hoge efficiëntie heeft het gebruik van led als lichtbron nog tal van voordelen. Leds kunnen zowel wit licht als licht in heel gesatureerde kleuren produceren (kleur en dynamiek), ze mogen veelvuldig geschakeld worden en ze zijn gemakkelijk dimbaar. Dit maakt leds uitermate geschikt voor aansturing via lichtregelsystemen. Daarnaast zijn leds ook heel schokbestendig (hoge mechanische weerstand), wat ze bijvoorbeeld erg interessant maakt voor autoverlichting.

De led staat ook bekend om zijn lange levensduur. Sterk vereenvoudigd wordt als typische waarde voor de nuttige levensduur bij led vaak uitgegaan van 50.000 branduren. Ter vergelijking: bij tl-lampen wordt uitgegaan van een gemiddelde levensduur van 15.000 à 20.000 branduren, bij een gloeilamp was dit 1000 uur. Deze voorstelling van de levensduur van leds is echter héél sterk vereenvoudigd.

Zoals in het hoofdstuk “Visuele prestatie en comfort” reeds diepgaander uitgelegd is, wordt de levensduur van ledverlichtingstoestellen beschreven aan de hand van een LxBy-waarde en een Cy-waarde. Een L80B10C10-waarde gelijk aan 50.000 branduren betekent bijvoorbeeld dat na 50.000 branduren maximaal 10 % van al de ledverlichtingstoestellen (C-getal) volledig defect zijn gegaan en dat maximaal 10 % van de nog werkende ledverlichtingstoestellen (B-getal) een terugval van hun lichtstroom heeft gehad tot onder 80 % van hun initiële lichtstroom (L-getal).

“De ledtechnologie is rijp voor functionele verlichting, zowel binnen als buiten. Toch moet er zeker en vast nog voldoende aandacht gevestigd worden op de kwaliteit en de correcte toepassing van de gebruikte producten.”

Tot enkele jaren geleden werd er aangeraden om led vooral te gebruiken voor signalisatie (noodverlichting, oriëntatieverlichting en evacuatieverlichting) of verfraaiing (decoratieve verlichting), maar nog niet voor functionele verlichtingsinstallaties. Dit is tegenwoordig niet meer het geval: de ledtechnologie is rijp voor functionele verlichting, zowel binnen als buiten. Al moet er zeker en vast nog aandacht gevestigd worden op de kwaliteit en de correcte toepassing van de gebruikte producten, zodat bijvoorbeeld het lumenbehoud in de tijd (en dus de levensduur) gewaarborgd is en ook het risico op verblinding onder controle is. Andere aandachtspunten bij ledverlichtingstoestellen zijn:

- Zorg voor een goed warmtebeheer: Voldoende warmteafvoer via de behuizing is noodzakelijk, aangezien led gevoelig is aan hoge temperaturen. De temperatuur van de led dient laag genoeg gehouden te worden om de kleurconsistentie en het behoud van de lichtstroom over de tijd te verzekeren. Een goede koeling is bij een ledverlichtingstoestel essentieel en dit is de reden waarom bij ledverlichtingstoestellen vaak koelementen voorzien worden.
- Zorg dat de driver gemakkelijk vervangbaar is: Bij ledverlichting wordt het voorschakelapparaat ook wel de driver genoemd. De driver is een onderdeel met een reële kans op defect binnen de opgegeven levensduur van het verlichtingstoestel, en dient dus gemakkelijk vervangbaar te zijn.



Samen met de technologie zelf vinden er ook sterke evoluties plaats op vlak van normering rond ledverlichting. Toch dient er de aandacht op gevestigd te worden dat de prestaties van de ledproducten nog sterk kunnen variëren van fabrikant tot fabrikant, van producten met een lagere kwaliteit (veelal ook gekenmerkt door een lagere kostprijs) tot producten van de best beschikbare kwaliteit voor functionele verlichting. Het kwaliteitsniveau is op het eerste zicht vaak moeilijk te bepalen, maar komt toch dikwijls reeds tot uiting bij het bekijken van de inlichtingen die bij de producten gegeven worden. Een aantal fabrikanten leveren duidelijk aantoonbare inspanningen om zo exact mogelijke gegevens aan de klant aan te leveren. De hoge(re) kostprijs van kwalitatieve ledproducten wordt nog steeds aanzien als een van de belangrijkste nadelen van led, al wordt verwacht dat de prijs bij stijgende productie verder zal dalen.

3.1.2. De armatuur

Het geheel van verlichtingstoestellen in een ruimte moet er voor zorgen dat er aan de visuele comforteisen van de gebruiker op elk moment voldaan wordt. Niet alleen moeten de verlichtingstoestellen genoeg licht naar het werkvlak sturen, zodat de gemiddelde verlichtingssterkte hoog genoeg is. Ze moeten ook zorgen dat de lichtverdeling over het werkvlak voldoende uniform is en dat te grote contrasten en verblinding vermeden worden. Er bestaat dan ook een enorm aanbod aan verlichtingstoestellen.

De keuze is afhankelijk van het gewenste type lichtbron, de benodigde totale lichtstroom, de nood aan dim- en schakelmogelijkheden, de beoogde wijze van montage en de gewenste lichtverdeling. Ook het uitzicht van een verlichtingstoestel zal mee de keuze bepalen: bij functionele verlichting is het meestal de bedoeling dat de verlichtingstoestellen weinig opvallen, terwijl het in andere gevallen juist wel de bedoeling is om aandacht te trekken met de verlichting. De ruime keuze aan verlichtingstoestellen op de markt geeft een ervaren lichtplanner alle nodige opties om een comfortabele en energiezuinige verlichtingsinstallatie te ontwerpen.

Een verlichtingstoestel wordt doorgaans gedefinieerd als bestaande uit twee delen: de lichtbron(nen), waarmee het licht wordt opgewekt, en de armatuur, die dit licht nog verspreidt, filtert of transformeert.

Een overzicht van verschillende types lichtbronnen werd hiervoor gegeven. Hierna wordt verder ingegaan op de verschillende onderdelen waaruit een armatuur standaard bestaat:

- De houder, waarmee de armatuur aan het plafond of aan een andere wand wordt bevestigd.
- De optiek, waarmee het licht dat door de lichtbronnen wordt uitgezonden in de gewenste richting wordt gestuurd.
- De voorschakelapparatuur, waarmee de voeding en de regeling van de lichtbron(nen) wordt verzorgd.

Elk van deze onderdelen heeft een invloed op zowel het visueel comfort als op de energieprestatie. Het is dus van groot belang hier een doordachte keuze in te maken. Aangezien tl-verlichting vooralsnog het grootste deel uitmaakt van de bestaande functionele verlichting in scholen en kantoren, richt de beschrijving hierna zich, behalve op algemene begrippen, voornamelijk op dit type verlichting. Uitbreiding naar ledverlichting wordt evenwel gemaakt.

3.1.2.1. De houder

De houder van een armatuur wordt gebruikt voor het positioneren en monteren van de armatuur. Er bestaan verschillende monterwijzen, die op verlichtingsniveau elk voor een verschillende sfeer zorgen. Er wordt bij plafondmontage een onderscheid gemaakt tussen:

- Inbouwarmaturen
- Opbouwarmaturen
- Pendelarmaturen

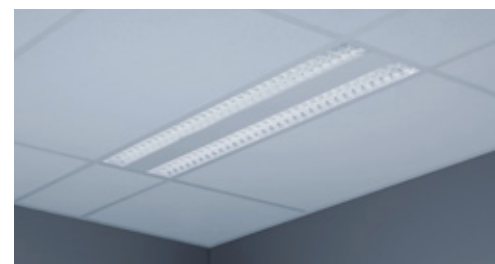
Daarnaast kan de armatuur ook aan de muur opgehangen worden of vrijstaand zijn. De keuze van het type armatuur bepaalt mee op welke manier het licht verdeeld wordt.

Wanneer het licht uit de armatuur het werkvlak bereikt zonder reflectie op het plafond of op andere wanden, is er sprake van “directe” verlichting. Deze verlichtingswijze wordt aanbevolen in ruimtes met een normale plafondhoogte ($\leq 3,5\text{m}$). Directe verlichting wordt typisch toegepast bij het gebruik van inbouwarmaturen (in gebouwen met valse plafonds) of opbouwarmaturen (die gewoon tegen het plafond worden bevestigd). Dit is energetisch gezien vaak de meest efficiënte manier van verlichten, aangezien het licht rechtstreeks naar het werkvlak gestuurd wordt. Zowel het risico op verblinding als de uniformiteit van de lichtverdeling zijn aandachtspunten bij directe verlichting.

“Directe verlichting is energetisch gezien vaak de meest efficiënte manier van verlichten, aangezien het licht rechtstreeks naar het werkvlak gestuurd wordt.”

Bij volledig indirect verlichten, wat bij plafondmontage enkel mogelijk is met pendelarmaturen, wordt al het licht eerst gereflecteerd, bijvoorbeeld op het plafond, alvorens het werkvlak te bereiken. Het werkvlak in een ruimte enkel op een indirecte manier verlichten is niet aan te raden aangezien dit niet echt een energie-efficiënte manier van verlichten is. Er gaat namelijk een beduidend deel van de lichtstroom uit de armatuur verloren bij het reflecteren. Hoe lager de reflectiecoëfficiënten van de wanden van de ruimte, hoe groter dit verlies is. Bovendien dient opgemerkt te worden dat armaturen voor indirecte verlichting gevoelig zijn voor stofophoping, waardoor hun energie-efficiëntie nog kan dalen. Het voordeel van indirect verlichten is wel dat het licht heel diffuus wordt, waardoor er heel weinig schaduwvorming plaatsvindt en er ook minder storende verblinding en reflecties zijn.

Er kan ook gekozen worden voor een middenweg: armaturen met zowel een directe als een indirecte component. Hierbij wordt typisch gebruik gemaakt van pendelarmaturen of van opbouwarmaturen die een deel van het licht zijdelings uitstralen naar het plafond. Het directe licht zorgt voor de basisverlichting, terwijl het indirecte licht de contrasten die veroorzaakt werden door het directe licht verzachten. Dit leidt tot een verbetering van de lichtverdeling. Deze manier van verlichten wordt vaak toegepast in ruimtes die wat hoger zijn, aangezien het er doorgaans een positief effect heeft op het visueel comfort. Door behalve naar het lager gelegen werkvlak ook licht naar het plafond te sturen, wordt er namelijk vermeden dat er in het bovenste deel van het lokaal (plafond en gedeelte muren boven de armaturen) storende donkere zones/schaduwen ontstaan.



▲ Inbouwarmatuur



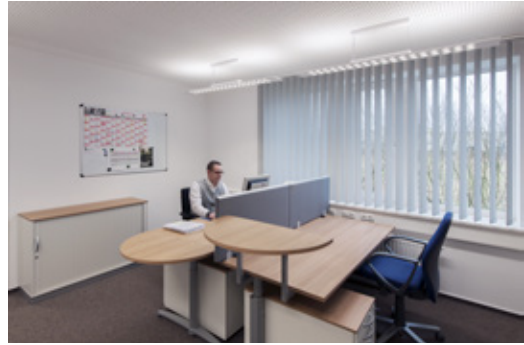
▲ Opbouwarmatuur



▲ Pendelarmatuur



▲ Directe verlichting



▲ Deels directe / deels indirecte verlichting

Behalve als bevestiging van de armatuur fungeert de houder ook als behuizing. Deze dient als beveiliging van de armatuur. Dit behelst zowel de bescherming van de armatuur op zich als de bescherming van de gebruiker. Het gaat hier onder andere om beveiliging tegen elektrische schokken, ontvlambaarheid en mechanische schokken.

Daarnaast moet de behuizing ook bescherming bieden tegen indringing van vaste stoffen en vloeistoffen. Zo bestaat er in functie hiervan een classificatiesysteem voor armaturen, uitgedrukt aan de hand van een beschermingsindex (IP: Ingress Protection). Vaak voorkomende IP-indices zijn bijvoorbeeld IP20 en IP54 (afhankelijk van de toepassing). Het eerste getal geeft de beschermingsgraad tegen vaste stoffen weer, het tweede getal geeft de beschermingsgraad tegen vloeistoffen weer. Hoe hoger de cijfers, des te beter de bescherming is.

3.1.2.2. De optiek

In haar meest eenvoudige vorm is de optiek in armaturen met lineaire tl-lampen slechts een geplooid metaal plaat, maar ze vormt wel een heel belangrijk onderdeel van de armatuur: de optiek stuurt het licht in een zekere richting en bepaalt hiermee ook grotendeels het rendement van de armatuur.

“De optiek van een armatuur stuurt het licht in een zekere richting en bepaalt hiermee ook grotendeels het rendement van de verlichtingsarmatuur.”

De optiek bestaat bij tl-armaturen meestal uit een reflector en uit lamellen. Ook filters en diffusors kunnen deel uitmaken van de optiek van verlichtingsarmaturen. Met behulp van al deze onderdelen wordt het licht op een bepaalde manier gestuurd naar de plaats waar de gebruiker het nodig heeft, het werkvlak, zonder de gebruiker hierbij te verblinden.

De reflector

De reflector heeft als belangrijkste functie het licht van de lichtbron naar het werkvlak te richten. Zonder reflector zou een te groot deel van het licht onnodig naar het plafond en naar de muren stralen. Een reflector met een laag rendement zou dan weer te veel licht laten verloren gaan in de armatuur zelf. Het gebruik van goede reflectoren zorgt er met andere woorden voor dat er een lager geïnstalleerd vermogen in een ruimte nodig is (dus minder armaturen) om eenzelfde gemiddelde verlichtingssterkte op het werkvlak te bereiken. Dit vertaalt zich in een lagere initiële investeringskost en in een lagere energiefactuur in de gebruiksfase.

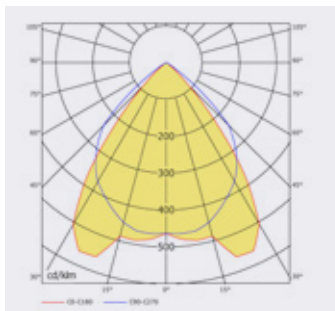
Het materiaal waaruit de reflector (en ook de lamellen) bestaat, wordt gekozen volgens de toepassing. Spiegeloptieken krijgen over het algemeen de voorkeur op (meestal wit of grijs) gelakte optieken aangezien ze het licht beter sturen en ook hun rendement doorgaans hoger ligt.

Aluminium is het meest courant gebruikte materiaal voor spiegeloptieken, maar komt wel nog onder verschillende afwerkingsvormen voor. Gesatineerd aluminium heeft bijvoorbeeld als voordeel dat het voor minder hinderlijke reflecties zorgt en minder gevoelig is aan vervuiling dan geglansd aluminium. Voor het grootste deel van de school- en kantoortoepassingen is gebruik van gesatineerd aluminium dan ook het meest interessant. Gehamerd aluminium wordt dan weer voornamelijk in de industrie gebruikt, aangezien het veel minder gevoelig is aan vervuiling.

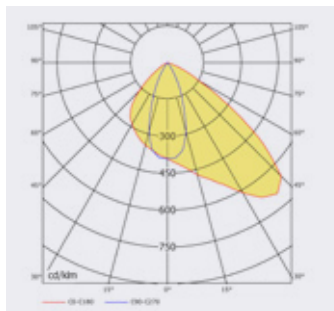
“Voor het grootste deel van de school- en kantoortoepassingen is gebruik van gesatineerd aluminium als materiaal voor de spiegeloptiek het meest interessant.”

In functie van de toepassing wordt er ook gekozen voor een bepaalde vorm voor de reflector. Deze vorm zorgt ervoor dat het licht symmetrisch (bijvoorbeeld voor verlichting van verschillende lessenaars) of asymmetrisch (bijvoorbeeld voor verlichting van een schoolbord of een folderwand) verspreid wordt: er is sprake van armaturen met symmetrische of asymmetrische reflector.

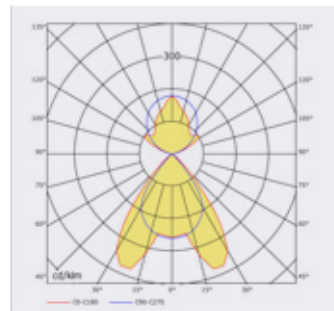
De manier waarop het licht door de armatuur wordt uitgestraald, wordt weergegeven in het polair diagram van de lichtsterkte. Hierop is te zien hoe het stralingspatroon van de armatuur eruit ziet in de lengte- en in de breedterichting van de armatuur (de hoofdasen van de armatuur). Het zijn deze diagrammen die worden opgenomen in de technische fiches van productcatalogi.



▲ Polair diagram van een direct stralende armatuur met symmetrische reflector



▲ Polair diagram van een direct stralende armatuur met asymmetrische reflector



▲ Polair diagram van een deels direct / deels indirect stralende armatuur met symmetrische reflector



Algemeen gezien is de optiek de bepalende factor voor het rendement van een armatuur (LOR). Niet alleen de vorm van de reflector, maar zeker ook het gebruikte materiaal en de toestand ervan beïnvloeden de prestaties van de armatuur. Voor school- en kantoortoepassingen moet gestreefd worden naar armaturen met een LOR van minstens 80 %. Toch wordt er meer en meer voor hoogrendementsarmaturen gekozen, waar mag gerekend worden op een LOR van 90 % of meer. Direct stralende armaturen die zijn uitgerust met een reflector van gesatineerd aluminium presteren over het algemeen heel goed, op voorwaarde dat verblinding wordt vermeden door het voorzien van lamellen. Aandachtspunt hierbij moet zijn dat reflector en de lamellen proper moeten gehouden worden in functie van het behoud van het armatuurrendement (vermijden van vuile vingers op de reflectoren en de lamellen bij installatie/onderhoud!). Armaturen die gebruik maken van een kwalitatieve diffusor kunnen tegenwoordig ook voldoen aan alle gestelde eisen.

De lamellen



▲ Metalen lamellen in een armatuur vermijden rechtstreeks zicht in de lichtbron

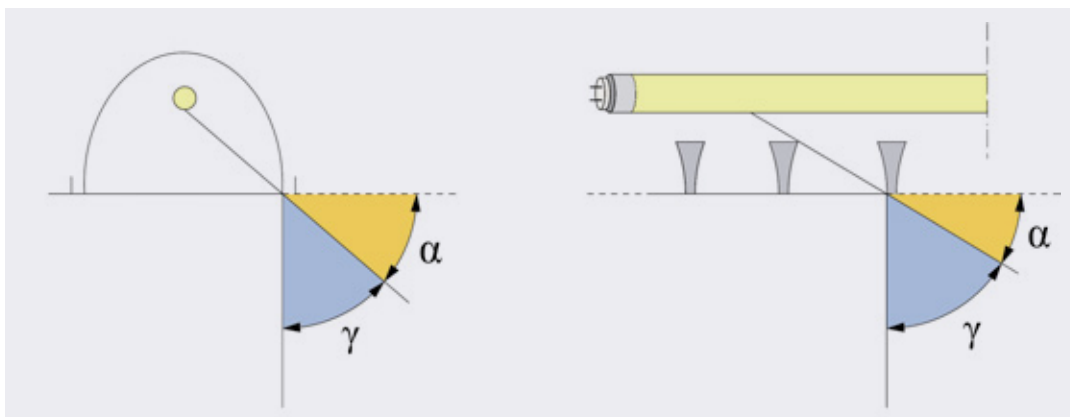
De lamellen, ook vaak dwarsschotten genoemd, worden gebruikt om directe verblinding van de gebruiker door de lichtbron te voorkomen. Door hun specifieke vorm, die erg verscheiden kan zijn (parabolisch, hoekig,...), kunnen ze helpen vermijden dat de gebruiker vanaf bepaalde standpunten rechtstreeks in de lichtbron kan kijken.

Sommige lamellen beperken ook de hinderlijke reflecties en verminderen zo de luminantie van de armaturen. Zowel inspelen op het materiaal als op de vorm van de lamellen en de reflector kunnen hiertoe bijdragen.

Om het verblindingsrisico bij een bepaalde armatuur te beperken, worden afschermhoeken in langs- en dwarsrichting van de armatuur voorgeschreven. De norm NBN EN 12464-1 geeft minimumwaarden voor de afschermhoeke van armaturen in functie van de luminantie van de toegepaste lichtbron:

Luminantie van de lichtbron (kcd/m ²)	Minimale afschermhoeke α
20 – 50	15°
50 – 500	20°
≥ 500	30°

Minimale afschermhoeken in functie van de luminantie van de lichtbron volgens de norm NBN EN 12464-1



▲ Afschermhoeke α en uitstralingshoek γ

Aangezien de luminantie bij van een naakte tl-lamp gewoonlijk lager is dan 50 kcd/m², volstaat een minimale afschermhoeke van 15° normaal bij dit type verlichting.

! Armaturen met een lage of zeer lage luminantie zijn gewoonlijk niet nodig in circulatieruimtes zoals gangen en trappen. Ze zijn bijvoorbeeld wel heel nuttig in lokalen waar frequent gewerkt wordt op beeldschermen (computers, laptops,...). In de norm NBN EN 12464-1 is er een criterium opgenomen dat specifieke eisen weergeeft voor de verlichting van lokalen waar op beeldschermen gewerkt wordt. Voor de typische beeldschermen kan gesteld worden dat de luminantie van de armaturen lager moet zijn dan 1500 cd/m² voor alle uitstralhoeken groter dan 65°. De evolutie naar onderwijsvormen met tablet pc's (glanzend scherm, vaak horizontaal gelegd) maakt dat hier in de toekomst nog meer aandacht op gevestigd zal moeten worden.

De diffusor

De lichtbron (tl-lamp of led) kan tevens omgeven worden door een gesloten doorzichtige plaat, de diffusor genoemd. Al te vaak werd in het verleden melkglas gebruikt als materiaal voor de diffusor. Dit materiaal is op energetisch vlak echter ongeschikt gebleken. Het rendement van de armatuur verlaagt heel sterk door het voorzien van een dergelijke diffusor en bovendien is er kans op nog verdere degradatie in de tijd.

Er zijn echter ook optische materialen beschikbaar die wél kwalitatief (en dus bruikbaar) zijn als diffusor. Zo zijn er armaturen te verkrijgen met holografische diffusor die een rendement hebben van meer dan 90%!



▲ Verlichtingstoestel met holografische diffusor

Voordeel van het gebruik van een diffusor is dat dit zorgt voor een sterke vermindering van het verblindingsrisico en dat de lichtverdeling, net zoals bij indirecte verlichting, heel goed is. Het licht is “zacht”, waardoor schaduwen van objecten en personen minder afgelijnd en hard zijn. Er wordt bij gebruik van een diffusor ook wel gesproken van “soft light”. Dit verwijst vooral naar het feit dat de gebruiker hierbij geen rechtstreeks zicht heeft op de lichtbron.

De lens

In ledverlichtingstoestellen wordt het licht van de ledlichtbronnen vaak gericht met lenzen, als alternatief voor het gebruik van een reflector. De optische materialen die hiervoor gebruikt worden, mogen niet vergelen in de tijd ten gevolge van de temperatuur van de leds of ten gevolge van de (geringe) hoeveelheid UV die in het invallende daglicht zit.



▲ Opbouw van een ledverlichtingstoestel

3.1.2.3. De voorschakelapparatuur

Bepaalde types lichtbronnen, zoals gloeilampen, werken zonder voorschakelapparatuur aangezien ze rechtstreeks gevoed worden met de netspanning. Andere types lichtbronnen, zoals cfl-lampen en tl-lampen, hebben wel voorschakelapparatuur nodig om hun werking te verzekeren. Het voorschakelapparaat, ook wel de ballast genoemd, zorgt bij opstart voor de ontbranding van de gasontladingslamp en verzekert dat de elektrische stroom gestabiliseerd blijft tijdens het branden van de lampen.

Er wordt bij fluorescentieverlichting onderscheid gemaakt tussen twee soorten voorschakelapparaten:

- Elektromagnetische voorschakelapparaten (CVSA)
- Elektronische voorschakelapparaten (EVSA)

Klasse	Type voorschakelapparaat
Klasse A1	Elektronisch voorschakelapparaat – dimbaar
Klasse A2	Elektronisch voorschakelapparaat – verliesarm
Klasse A3	Elektronisch voorschakelapparaat (standaard)
Klasse B1	Elektromagnetisch voorschakelapparaat – lage verliezen (zeer laag verlies)
Klasse B2	Elektromagnetisch voorschakelapparaat – lage verliezen (laag verlies)
Klasse C	Elektromagnetisch voorschakelapparaat – gemiddelde verliezen (traditioneel elektromagnetisch voorschakelapparaat)
Klasse D	Elektromagnetisch voorschakelapparaat – hoge verliezen

Classificatie voorschakelapparaten bij fluorescentieverlichting

De elektronische voorschakelapparaten behoren tot de klasse A, terwijl elektromagnetische voorschakelapparaten nog onderverdeeld worden in de klassen B, C en D. Er wordt aanbevolen enkel nog gebruik te maken van elektronische voorschakelapparaten (klasse A). Voorschakelapparaten van de klassen C en D mogen volgens de wetgeving van de Europese Unie niet meer verkocht worden.

“Voor het uitstralen van eenzelfde lichthoeveelheid verbruikt een elektronisch voorschakelapparaat 20 à 25 % minder dan een elektromagnetisch voorschakelapparaat.”

Led en voorschakelapparatuur: de driver

Bij ledverlichting is de driver te beschouwen als het voorschakelapparaat van het toestel. Deze zorgt voor de omzetting van de wisselspanning van het net in gelijkspanning, zodat de leds kunnen gevoed worden met een gelijkstroom. De driver van een ledverlichtingstoestel is een onderdeel met een reële kans op defect binnen de opgegeven levensduur, en dient dus gemakkelijk vervangbaar te zijn.

Elektromagnetische voorschakelapparaten

Elektromagnetische voorschakelapparaten, ook wel bekend onder de naam “conventionele voorschakelapparaten”, zijn nog steeds terug te vinden in een groot aantal oudere verlichtingsinstallaties. In het bijzonder in verlichtingstoestellen waarin zich T12 of T8 tl-lampen bevinden, zijn er nog klassieke elektromagnetische voorschakelapparaten aanwezig. Ze bestaan uit een ferromagnetische ballast en een starter, welke de gasontlading op gang brengt.

Het gebruik van elektromagnetische voorschakelapparaten heeft echter tal van nadelen: ze zorgen voor een groot bijkomend elektriciteitsverbruik, hun werkingsprincipe is nefast voor de levensduur van de tl-lampen,... Dit heeft er, samen met de ontwikkeling van elektronische voorschakelapparaten, voor gezorgd dat ze sinds enkele jaren in onbruik zijn geraakt bij nieuwe en gerenoveerde verlichtingsinstallaties.

Vervanging van verouderde verlichtingsinstallaties (die wel nog vaak gebruik maken van elektromagnetische voorschakelapparaten) door een nieuwe, energiezuinige installatie kan tot grote energiebesparingen leiden. Dit brengt uiteraard ook een financieel voordeel met zich mee.

Elektronische voorschakelapparaten

Bij een nieuwe tl-verlichtingsinstallatie wordt standaard gebruik gemaakt van elektronische voorschakelapparatuur, onderverdeeld in de klasse A van de voorschakelapparaten. Hierbinnen wordt nog volgend onderscheid gemaakt:

- Klasse A1: Dimbaar elektronisch voorschakelapparaat
- Klasse A2: Verliesarm elektronisch voorschakelapparaat
- Klasse A3: Standaard elektronisch voorschakelapparaat

Elektronische voorschakelapparaten hebben typisch enkele aanzienlijke voordelen ten opzichte van elektromagnetische voorschakelapparaten:

- Voor het uitstralen van eenzelfde lichthoeveelheid verbruikt een elektronisch voorschakelapparaat 20 à 25 % minder dan een elektromagnetisch voorschakelapparaat. Dit zorgt voor een aanzienlijke verhoging van het rendement van het verlichtingstoestel en dus voor sterk verlaagde energiefactuur.
- Elektronische voorschakelapparaten werken in vergelijking met elektromagnetische voorschakelapparaten op een veel hogere frequentie (meer dan 30 kHz), zodat de verlichting flikkervrij en stabiel is en het oogvermoeiende stroboscopisch effect zo vermeden wordt.
- Mogelijkheid tot combinatie met lichtregeling. Dit kan leiden tot grote energiebesparingen.
- Mogelijkheid tot dimmen indien gekozen wordt voor een elektronisch voorschakelapparaat van de klasse A1. Dit type voorschakelapparaat is voorzien van een dimingang, geschikt voor hetzij 1-10V sturing, hetzij DALI-sturing. De mogelijkheid tot dimmen maakt verder doorgedreven lichtregeling en automatisering (met behulp van dimming van verlichting), zoals toepassing van een daglichtregelsysteem, mogelijk.
- De levensduur van de lamp is langer bij toepassing van een elektronisch voorschakelapparaat. Bovendien wordt de voeding automatisch verbroken bij defectgaan van de lamp.
- Elektronische voorschakelapparaten zijn veel kleiner in omvang en hebben een merkkelijk lager gewicht dan elektromagnetische voorschakelapparaten.

“Elektronische voorschakelapparaten zijn gemakkelijk te combineren met lichtregelsystemen. Dit kan leiden tot grote energiebesparingen.”

Er worden drie categorieën elektronische voorschakelapparaten onderscheiden:

- Elektronische voorschakelapparaten zonder voorverwarming die de tl-lampen onmiddellijk ontsteken.
- Elektronische voorschakelapparaten met voorverwarming die tl-lampen ontsteken na ze eerst te hebben opgewarmd (dit gebeurt zeer snel), waardoor de levensduur van de lampen aanzienlijk verlengd wordt.
- Dimbare elektronische voorschakelapparaten waarmee de lichtstroom uit de tl-lampen kan geregeld worden in functie van de behoefte.

► Elektronisch voorschakelapparaat voor een armatuur die wordt uitgerust met T5 tl-lampen



3.2 Inplanting van de kunstverlichting

Een aantal verlichtingsbegrippen die het visueel comfort van een gebruiker in een ruimte bepalen, kwamen reeds aan bod. Zo moet de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte op het werkvlak hoog genoeg zijn, moet de lichtverdeling voldoende uniform zijn en moet verblinding vermeden worden. Deze eisen zijn relevant voor elke toepassing. Naargelang de toepassing waar het om gaat, zijn bepaalde eisen wel van kleiner of groter belang en worden er dus andere eisen gesteld.

Binnen eenzelfde schoolgebouw is dit ook relevant. Een school bestaat niet alleen uit standaard klaslokalen: tegenwoordig zijn er veel computerlokalen, maar ook de gangen en trappen, de refter, de sporthal en het secretariaat moeten verlicht worden. De klemtoon van de eisen ligt bij de verschillende types ruimtes ergens anders.

Op trappen is het bijvoorbeeld belangrijk van een voldoende hoog contrast te bekomen tussen de treden zodat de gebruikers deze goed van elkaar kunnen onderscheiden. Bij sporthallen waarin bijvoorbeeld basketbal en volleybal (sporten “in de hoogte”) uitgeoefend worden, dient dan weer bijzondere aandacht gevestigd te worden op het verblindingsrisico. In kantoren moet er vooral voldoende licht op de bureaus aanwezig zijn en moeten storende reflecties in beeldschermen van laptops en computers vermeden worden. Het betrekken van een lichtspecialist tijdens het ontwerpen is dan ook van essentieel belang om tot een lichtontwerp te komen dat op maat is van de ruimte en haar bestemming. Bij het maken van dit lichtontwerp gaan de keuze van het type verlichtingstoestel, het aantal toestellen en de plaatsing ervan in de ruimte hand in hand.

Hierna wordt de nadruk gelegd op het maken van een lichtontwerp voor een standaard klaslokaal, daar dit nog steeds het meest voorkomende type ruimte in een schoolgebouw is. Verschillende van de gegeven richtlijnen zijn echter ook meer algemeen toe te passen.

3.2.1. Lichtontwerp voor een standaard klaslokaal

De norm NBN EN 12464-1 stelt minimumeisen voor een aantal criteria betreffende verlichting voor. De minimumeisen verschillen naargelang het type werkvlak dat van toepassing is. In klaslokalen zijn er meestal meerdere werkvlakken aanwezig: de lessenaars van de leerlingen enerzijds en het schoolbord waarop de leerkracht schrijft anderzijds. Bovendien hebben de lessenaars van de leerlingen meestal geen vaste opstelling: de lessenaars wijzigen binnen de ruimte geregeld van positie, waardoor elk deel van de vloer potentieel bezet kan worden door de lessenaars, en ook de primaire kijkrichting van de leerlingen veranderlijk is. De kwaliteit van de verlichting moet dus op elke plaats van de ruimte en in elke richting in de ruimte even hoog zijn. Deze kwaliteit, zowel voor verlichting van de lessenaars als van het schoolbord, vertaalt zich in een aantal basisdoelstellingen die bij het maken van een lichtontwerp gesteld worden:

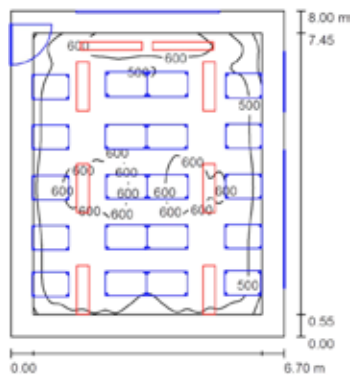
- De beoogde gemiddelde praktijkverlichtingssterkte op elk werkvlak verzekeren
- Een voldoende hoge uniformiteit van de verlichtingssterkte verzekeren
- Directe verblinding door de verlichtingstoestellen vermijden
- Indirecte verblinding door reflecties op de lessenaars beperken
- Hinderlijke (sterke) schaduwen voorkomen
- Zorgen dat de kleurtemperatuur van het licht aangenaam is en kleuren van voorwerpen goed worden weergegeven



• Een schoolgebouw, verschillende types ruimtes, verschillende eisen

Uitgaande van een gebruikelijke opstelling van de lessenaars in de ruimte (waarbij de kijkrichting van de leerlingen standaard evenwijdig met de vensters en in de richting van het schoolbord is) worden volgende richtlijnen gegeven voor de inplanting van de kunstverlichting in standaard klaslokalen:

Er wordt uitgegaan van een klaslokaal dat zowel voor dag- als voor avondonderwijs dient. Voor deze bestemming legt de norm NBN EN 12464-1 voor de lessenaars een gemiddelde praktijkverlichtingssterkte van 500 lx en een uniformiteit van 0,60 op.



Vlak	E_{gem} [lx]	U_o [-]
Werkvlak	553	0,64
Plafond	122	0,62
Muren (4)	176	/

Kies in lokalen met een normale plafondhoogte ($\leq 3,5\text{m}$) voor directe verlichting. Dit geeft doorgaans een hoog visueel comfort en is meestal de meest energiezuinige oplossing.

Kies voor de algemene verlichting voor armaturen met symmetrische reflector en voor de bordverlichting bij voorkeur armaturen met asymmetrische reflector, zodat de lessenaars en het schoolbord voldoende verlicht worden zonder dat de gebruiker last ondervindt.

Plaats de verlichtingstoestellen voor de algemene verlichting bij voorkeur parallel aan de hoofdkijkrichting van de gebruikers (d.w.z. in de richting van het schoolbord).

Plaats de verlichtingstoestellen bij voorkeur in rijen tussen de lessenaars. Ga hiertoe in eerste instantie na in welke opstelling de lessenaars het grootste deel van de tijd ongeveer gaan staan. Ondanks het feit dat dit in de praktijk soms moeilijk te realiseren is door een sterk variabele klasopstelling, geeft lichtinval van weerszijden van de bank doorgaans wel het beste resultaat.

Voor rechtshandigen valt de grootste hoeveelheid licht bij voorkeur in vanaf links (en vice versa). Zorg er echter voor dat er licht uit verschillende verlichtingstoestellen (verschillende richtingen) het werkvlak verlicht. Dit zorgt voor een uniformere lichtverdeling en verzacht eventuele schaduwen. Vermijd in de eerste plaats verlichting op de rugzijde. Dit kan namelijk zorgen voor grote, harde schaduwen op het werkvlak.

Hou er rekening mee dat er bij vensters vooral veel lichttransmissie en weinig reflectie plaatsvindt. Dit om donkere zones (verlaagde uniformiteit) in de buurt van de vensters te vermijden wanneer er geen of weinig daglichtinval is (dit is bijvoorbeeld het geval bij avondonderwijs). Door deze vensters bij ontwerp in de simulaties te voorzien, wordt dit vanaf het begin mee ingerekend bij het beoordelen van een lichtontwerp.

Combinatie van de lumenoutput uit de lampen, de LOR van de armaturen, het aantal armaturen en hun verdeling in het lokaal zorgt ervoor dat de gemiddelde praktijkverlichtingssterkte hoger is dan de gewenste waarde van 500 lx.

Een goede, evenwichtige verdeling van armaturen boven het werkvlak zorgt voor een hoge uniformiteit van de verlichtingssterkte op het werkvlak (niet enkel geldig voor algemene verlichting, maar ook voor bordverlichting!).

Ga na of effectief het juiste type armaturen en de juiste lampen worden gebruikt bij installatie. Zorg er tevens voor dat de positionering van de armaturen in de ruimte gecontroleerd wordt.

Ondanks het feit dat de lessenaars niet altijd in deze standaardopstelling staan, en de lessenaars dus niet helemaal (of soms zelfs helemaal niet) tussen de armatuurrijen in staan, zorgt een hoge uniformiteit in deze situaties alsnog voor het gewenste visueel comfort. Ook wanneer de armaturen dwars op de hoofdkijkrichting van de gebruikers worden geplaatst, hoeft dit niet per se een probleem te vormen. Van primordiaal belang is dat de eerder gegeven basisdoelstellingen bij het maken van een lichtontwerp in acht genomen worden.

Daarnaast dient er opgemerkt te worden dat de lichtontwerper bij het maken van een ontwerp vaak niet zoveel keuzevrijheid heeft als hiervoor beschreven werd. Zo zijn de afmetingen van de armaturen en de afstand tussen de armaturen bij inbouw in een nieuw vals plafond functie van de grootte van de plafondtegels. Bovendien is er overleg nodig om tot een optimaal ontwerp te komen voor zowel de verlichting als voor het leggingsplan van het valse plafond. Er zouden bijvoorbeeld problemen kunnen zijn om tot een haalbaar leggingsplan voor het valse plafond te komen indien de lichtontwerper de verlichtingstoestellen voor algemene verlichting parallel aan de hoofdkijkrichting en de bordverlichtingstoestellen dwars op de hoofdkijkrichting van de gebruikers wil plaatsen. Als praktische oplossing wordt er dan vaak voor gekozen om alle verlichtingstoestellen tóch dwars op de hoofdkijkrichting van de gebruikers te plaatsen. Alternatief zou kunnen zijn dat er voor de bordverlichtingstoestellen gekozen wordt voor de opbouw- in plaats van voor de inbouwversie.

Indien het niet om een nieuwe inrichting gaat, maar bijvoorbeeld wel om een renovatie waarbij het bestaande valse plafond behouden moet blijven, heeft de lichtontwerper zelfs helemaal geen inspraak in de positionering van de armaturen (positionering van de oude armaturen moet behouden blijven). Het armatuurtype, met keuze uit verschillende standaardafmetingen (120 cm x 30 cm ; 60 cm x 60 cm ; ...), moet dan gekozen worden in functie van de aanwezige valse plafond. In dit geval moet er zeer bewust voor een bepaald armatuurtype gekozen worden zodat de combinatie van het stralingspatroon van de armatuur en de positionering van de armaturen uiteindelijk een zo goed mogelijk resultaat leveren met het oog op het bereiken van de hiervoor gestelde doelstellingen op vlak van uniformiteit, verblinding, schaduwvorming,... Indien een andere positionering van de armaturen, en dus een vervanging van de valse plafond een wezenlijke verbetering van het visueel comfort met zich mee kan brengen, wordt aangeraden om deze meer doorgedreven wijziging toch te overwegen.

Tot slot moet er de nadruk op gelegd worden dat niet alleen de verlichting op zich, maar ook de regeling van de verlichting erg belangrijk is. Zo is het bijvoorbeeld van belang dat de bordverlichting afzonderlijk kan in- en uitgeschakeld worden van de algemene verlichting. Uit het hoofdstuk rond lichtregeling zal inderdaad blijken dat het voorzien van maximale autonomie op vlak van lichtregeling belangrijk is voor de gebruiker.



▲ Armaturen dwars op de hoofdkijkrichting, maar toch een hoog visueel comfort



AUTEURS

Ruben Delvaeye (WTCB)

Ludwig Stroobant (KU Leuven Technologicampus Gent)

Hilde Breesch (KU Leuven Technologicampus Gent)

Wouter Ryckaert (KU Leuven Technologicampus Gent)

REVIEWER

Peter D'Herdt (WTCB)

4 Lichtregeling

Op maat van de gebruiker

Om een tekort aan daglicht te kunnen opvangen, is het noodzakelijk om ook een kunstverlichtingsinstallatie te voorzien. Deze moet er voor zorgen dat een gebruiker zijn taken op elk moment op een comfortabele en veilige manier kan uitvoeren. Bovendien is de installatie liefst zo energiezuinig mogelijk. Het energieverbruik kan teruggedrongen worden door in te werken op verschillende aspecten. In de eerste plaats wordt het geïnstalleerd vermogen beperkt door te kiezen voor energie-efficiënte lampen en voor armaturen met een hoog rendement. Daarnaast kan ingespeeld worden op het werkelijk verbruik van de kunstverlichting door het aantal branduren en het werkelijk opgenomen vermogen van de verlichting te beperken tot het noodzakelijke. Dit kan men doen door het toepassen van lichtregelsystemen.

Inleiding

Een lichtregelsysteem kan omschreven worden als een groep van toestellen die toelaat om de output van een verlichtingssysteem te regelen: activeren (aanzetten), desactiveren (uitzetten) of aanpassen (de lichtstroom verhogen of verlagen). Ze kunnen zowel manueel (bv. via een druk- of draaiknop) als automatisch geregeld worden. Frequent toegepaste manuele lichtregelsystemen zijn manuele schakeling en dimming. Automatische systemen zijn bijvoorbeeld tijdgestuurde regeling, aan-/afwezigheidsregeling en regeling volgens de beschikbaarheid van daglicht. Lichtregelsystemen hoeven niet noodzakelijk individueel toegepast te worden: het is mogelijk om verschillende types systemen te combineren. Ze kunnen op gebouwniveau voorzien worden (sturing vanuit een centraal gebouwbeheersysteem) of de regeling kan ruimte per ruimte gebeuren (standalone systeem).

Lichtregelsystemen kunnen geplaatst worden om energie te besparen, om het comfort van de gebruiker te verbeteren en/of uit esthetische overwegingen. Hoewel de focus hier vooral ligt op de energiebesparende systemen, worden er ook meer en meer systemen op de markt gebracht die een verbetering van het welzijn en het comfort van de gebruiker als hoofddoel hebben. Voor deze systemen, waarbij kleurtemperatuur en lichtintensiteit variëren gedurende de loop van de dag, wordt vaak de term “dynamische verlichting” gebruikt. Hier wordt voornamelijk in de zorgsector volop mee geëxperimenteerd, maar ook scholen en kantoren zijn potentiële toepassingsdomeinen.

In elk geval moet de gebruiker goed ingelicht worden over de aanwezigheid en de werking van lichtregelsystemen. Bovendien moet er voor gezorgd worden dat hij over maximale autonomie beschikt: gebruiksvriendelijkheid en regelbaarheid van de verlichting zijn van groot belang!

Deze publicatie is geschreven naar aanleiding van het TETRA-onderzoeksproject “Impact van daglichtregelsystemen op ontwerp en renovatie van schoolgebouwen”. Er zal in dit hoofdstuk dan ook bijzondere aandacht uitgaan naar de toepassing van daglichtregelsystemen in scholen (en bij uitbreiding in kantoren). Aangezien de meeste mensen daglicht verkiezen boven kunstlicht en deze lichtbron bovendien gratis is, is het toepassen van daglichtregeling in combinatie met een goed daglichtontwerp dubbel voordelig: de potentiële energiebesparing is significant, terwijl ook het visueel comfort verbeterd wordt (of minstens behouden blijft). Er dient wel op toegezien te worden dat de afstelling van het daglichtregelsysteem goed uitgevoerd wordt om al de voordelen ervan maximaal te kunnen aanspreken.

4.1 Onderdelen van een lichtregelsysteem

Een lichtregelsysteem bestaat typisch uit drie soorten componenten:

- Invoercomponenten (manuele knoppen, sensoren, ...)
- Controllers
- Actuatoren

Bij automatische regelingen voeren een of meerdere sensoren een bepaalde waarneming uit (bv. detectie van beweging, meting van hoeveelheid invallend daglicht) en zetten deze waarneming om in een signaal dat doorgegeven wordt aan de controller. De sensoren zijn meestal de meest zichtbare (en dus karakteristieke) component van automatische regelingen. Bij manuele regelsystemen zijn er geen sensoren in de regeling betrokken, maar gebeurt de invoer door de gebruiker zelf, bijvoorbeeld via een schakelaar of een drukknop.

Eens de controller het signaal heeft ontvangen, verwerkt hij dit (eventueel op basis van vooraf ingestelde parameters) tot een opdracht en stuurt deze door naar de actuator. De opdracht kan bijvoorbeeld het dimmen of het in- of uitschakelen van de verlichting zijn.

Tot slot voert de actuator de taak uit: hij vertaalt de ontvangen instructie naar een actie. De meest bekende actuatoren zijn het voorschakelapparaat (tl-verlichting) of de driver (ledverlichting) van het verlichtingstoestel. Bij zowel manuele als automatische regelingen kunnen de drie verschillende soorten componenten zowel gescheiden als samen in één toestel voorkomen.

Opdat de verschillende componenten informatie zouden kunnen uitwisselen, moeten ze dezelfde taal ‘spreken’. De communicatie tussen de verschillende componenten kan zowel analoog als digitaal verlopen.

4.1.1. Invoercomponenten

Het bijregelen van de verlichting via een lichtregelsysteem is altijd gebaseerd op een of meerdere inputs of waarnemingen van de invoercomponent(en) van het lichtregelsysteem. Het kan hierbij bijvoorbeeld gaan om manuele input via een schakelaar, drukknop of draaiknop. Sommige systemen kunnen ook bediend worden met behulp van een afstandsbediening, en ook tablets en smartphones worden meer en meer gebruikt voor de sturing van verlichting. Bij automatische lichtregelsystemen kan een klok als invoercomponent gebruikt worden. Deze houdt de werkelijke tijd (dag en uur) bij en geeft deze door aan de controller. Het meest gebruikte type invoercomponent in automatische regelsystemen zijn echter sensoren. Deze worden hierna meer in detail besproken.

Sensoren nemen een fysische grootheid (bv. een hoeveelheid licht) waar en zetten deze om in een bruikbaar signaal voor verwerking in het regelsysteem. De meest voorkomende types sensoren zijn:

- Bewegingssensoren
- Akoestische sensoren
- Lichtsensoren

4.1.1.1. Bewegingssensoren en akoestische sensoren

Bewegingssensoren en akoestische sensoren worden gebruikt om menselijke activiteit (beweging of geluid) te detecteren. Ze vinden hun toepassing in bewegingsmelders en aanwezigheidsdetectoren. Hierbij wordt de kunstverlichting automatisch in- en/of uitgeschakeld, afhankelijk van de aan- of afwezigheid van personen.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende technologieën. Zo bestaan er bijvoorbeeld sensoren die werken op basis van detectie van infrarode straling, ultrasone golven of microgolven. Er zijn ook producten op de markt die verschillende technologieën combineren (dikwijls benoemd als ‘dual technology systemen’).

PIR-sensoren

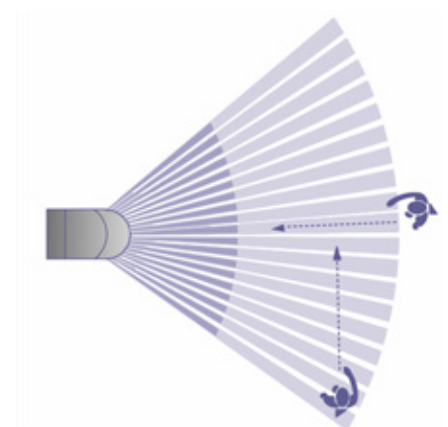
Het meest gebruikte type sensor voor detectie van menselijke activiteit werkt volgens het passief infrarood principe (PIR – Passive Infra Red). Het detectieveld van PIR-sensoren is onderverdeeld in verschillende vanaf de sensor radiaal gerichte zones. De sensor neemt de overgang (en dus beweging) van infrarode straling (warmte) tussen twee verschillende zones van het detectieveld waar. Doordat mensen lichaamswarmte afgeven en PIR-sensoren vooral gevoelig zijn voor deze menselijke warmtestraling, kan de PIR-technologie gebruikt worden voor het detecteren van beweging van personen. De technologie is betrouwbaar en relatief goedkoop.

De vorm van het detectieveld van een sensor wordt bepaald door de vorm van de lens waarmee de sensor wordt afgeschermd. Doorgaans is het detectieveld cirkelvormig, maar er bestaan bijvoorbeeld ook producten met een vierkant detectieveld. Ook voor toepassing in gangen zijn er producten te verkrijgen. Hierbij is het detectieveld langgerekt gemaakt.

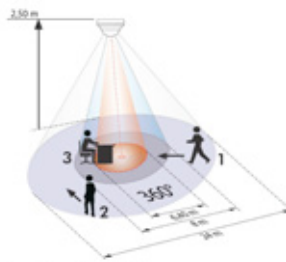
“Het meest gebruikte type sensor voor detectie van menselijke activiteit werkt volgens het passief infrarood principe (PIR). Deze technologie is betrouwbaar en relatief goedkoop.”



▲ Toepassing van een PIR-bewegingssensor in een aanwezigheidsdetector



▲ Beweging wordt slechts gedetecteerd bij overgang tussen twee vanaf de sensor radiaal gerichte zones



- 1 ■ Frontaal naar de melders lopen
- 2 ■ Dwars naar de melders lopen
- 3 ■ Zittende activiteit

^ Voorbeeld van detectiebereiken in functie van het type beweging

De nauwkeurigheid van de detectie door de sensor hangt af van de gevoeligheid van de sensor. Deze bepaalt dan ook de grootte van het detectieveld, of dus het 'detectiebereik', van de sensor. Aangezien elke zone van het detectieveld breder wordt bij grotere afstand tot de sensor, geldt algemeen dat de nauwkeurigheid van de detectie afneemt bij grotere afstand tot de sensor. Fabrikanten schrijven dan ook meestal voor op welk detectiebereik mag gerekend worden voor verschillende types bewegingen. Er wordt doorgaans onderscheid gemaakt tussen drie types van beweging:

- Frontale beweging van de sensor weg of naar de sensor toe: de beweging vindt plaats in de langsrichting van de zones waarin het detectieveld is opgedeeld. In de nabijheid van de sensor wordt dit type beweging eenvoudig gedetecteerd aangezien de grens tussen verschillende zones nog steeds overschreden wordt. Verder weg van de sensor blijft de persoon bij frontale beweging binnen één zone, waardoor de beweging niet langer gedetecteerd zal worden.
- Transversale beweging ten opzichte van de zones van het detectieveld: aangezien de beweging plaatsvindt dwars op de langsrichting van de zones van het detectieveld, zal er bij het uitvoeren van (grote) bewegingen snel overgang plaatsvinden tussen twee zones van het detectieveld. Hierdoor is het bereik van de sensor voor dit type bewegingen een stuk groter dan bij bewegingen in frontale richting ten opzichte van de sensor.
- Kleine bewegingen: lezen, schrijven, computergebruik,... Het betreft kleine bewegingen (vaak bij zittende activiteit) die slechts tot op een beperkte afstand rondom de sensor gedetecteerd zullen worden.

Het detectiebereik van de sensor in een detector wordt door fabrikanten opgegeven voor een bepaalde standaardmontagehoogte. Indien de werkelijke hoogte waarop de detector wordt geïnstalleerd significant verschilt van de standaardmontagehoogte, dan moet bekeken worden hoe dit het opgegeven detectiebereik beïnvloedt. Zo zal het detectieveld vergroten wanneer de detector wordt gemonteerd op grotere hoogte dan de standaardmontagehoogte, maar zal de detectie minder nauwkeurig worden. Bij lagere montagehoogte dan de standaardmontagehoogte geldt vanzelfsprekend het omgekeerde.



Het is erg belangrijk om de sensoren goed te positioneren. De sensoren moeten zo geplaatst worden dat ze alle relevante posities in een ruimte kunnen 'zien' en dus de beweging van personen optimaal weten waar te nemen. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij PIR-sensoren aangezien ze rechtstreeks zicht moeten hebben op de beweging om ze te kunnen waarnemen.

Er bestaat echter altijd een risico dat de sensor gedurende een bepaalde periode geen beweging waarneemt terwijl er toch nog personen in de ruimte aanwezig zijn. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van het feit dat de personen niet of te weinig bewogen hebben (bv. lezen van een boek, typen op een laptop,...) of dat de personen zich op de rand van (of zelfs buiten) het detectieveld van de sensor bevonden.

Om te vermijden dat de kunstverlichting vaak ongewenst zou uitvallen, wordt de verlichting niet meteen na de laatste waarneming uitgeschakeld, maar pas na een zekere periode zonder waarneming. Deze periode wordt de nalooptijd of ook wel de tijdsvertraging genoemd.

Behalve passief infrarood sensoren bestaan er ook actief infrarood sensoren. Deze zenden continu of periodiek infrarode straling uit naar een ontvanger. Als de straling onderbroken wordt of zijn karakteristieken veranderen, dan interpreteert de ontvanger dit als een aanwezigheid van één of meerdere personen.

Ultrasone sensoren en microgolfsensoren

Bij detectie van beweging op basis van ultrasone golven of microgolven zendt de sensor zelf golven uit. Deze golven worden overal in de ruimte weerkaatst. Als de karakteristieken van de weerkaatste golven veranderd zijn wanneer deze terug invallen op de sensor, dan betekent dit dat er beweging in de ruimte heeft plaatsgevonden.

Anders dan bij PIR-sensoren heeft het detectieveld van sensoren die met ultrasone golven of microgolven werken geen bepaalde vorm. De sensor heeft bovendien geen rechtstreeks zicht op de beweging nodig om ze te kunnen waarnemen. Detectie met behulp van deze technologieën is dan ook veel gevoeliger dan detectie via PIR. Hierdoor bestaat er echter een verhoogd risico op valse detectie van beweging van personen in de ruimte.

Akoestische sensoren

Akoestische sensoren maken gebruik van een microfoon. Wanneer de microfoon geluid waarneemt, communiceert hij hierover aan de controller, dewelke de waarneming van geluid door de microfoon interpreteert als aanwezigheid van personen.

Deze technologie is bijzonder gevoelig en bezit een sterk verhoogd risico op valse detectie van aanwezigheid: de microfoon kan geluiden waarnemen die niet het gevolg zijn van menselijke aanwezigheid (bv. een computergeluid bij het ontvangen van een e-mail of een deur die dichtwaait). Het is zelfs mogelijk dat de microfoon geluiden van buiten de ruimte opvangt (bv. geluid van voorbij rijdende auto's of van sprekende mensen in een nabijgelegen ruimte). De technologie wordt dan ook nooit alleenstaand gebruikt, maar enkel in dual technology systemen.

4.1.1.2. Lichtsensoren

Lichtsensoren worden gebruikt om een hoeveelheid licht waar te nemen, om zo een idee te krijgen van de verlichtingssterkte op de taakoppervlakken in een ruimte. Op basis van deze waarneming kan de kunstverlichting bijgestuurd worden. Lichtsensoren kunnen gebruikt worden voor verschillende toepassingen. Ze worden onder meer gebruikt in daglichtregelsystemen, bij constante verlichtingssterkte regeling en bij schemerschakelaars. Daarnaast kunnen ze ook gebruikt worden in combinatie met bewegingssensoren in functie van aanwezigheidsdetectie.

In theorie dienen de lichtsensoren om een inschatting te maken van de verlichtingssterkte op het te verlichten werkvlak. Echter, in de meeste gevallen zal de lichtsensor geen meting doen van de verlichtingssterkte op het werkvlak zelf. Dit is namelijk praktisch niet haalbaar, aangezien de sensor dan op het werkvlak zelf zou moeten geplaatst worden. In plaats daarvan worden sensoren meestal op het plafond of in de verlichtingstoestellen zelf aangebracht.

De sensoren meten dan veelal de luminantie van (een deel van) het werkvlak. Deze luminantie en de verlichtingssterkte op het werkvlak verhouden zich steeds op dezelfde manier ten opzichte van elkaar (op voorwaarde dat de afwerking van het werkvlak en haar positie ten opzichte van de sensor niet verandert), waardoor een eenmalige kalibratie (bij installatie) met een luxmeter zou moeten volstaan. Zo zal bij meer daglichtinval de verlichtingssterkte op en de luminantie van het werkvlak stijgen, wat ook gedetecteerd zal worden door de sensor.

Analoog bestaan er systemen waarbij de sensor naar buiten gericht is en waarbij de sensor dus de luminantie meet van wat hij door het venster 'ziet'. Wanneer het daglichtniveau buiten stijgt, zal er meer licht door de vensters naar binnen komen, wat dan ook zal gedetecteerd worden door de sensor.



◀ Naar het werkvlak gerichte lichtsensor, bevestigd op de tl-lamp

▶ Naar buiten gerichte lichtsensor

De plaats waar de lichtsensor of lichtsensoren geïnstalleerd worden, is uiteraard cruciaal. Een sensor wordt best zo geplaatst dat de lichtmeting die hij uitvoert zo representatief mogelijk is voor het volledige werkvlak waarop de verlichtingssterkte gekend zou moeten zijn. Daarnaast moet erop gelet worden dat de sensor op een vrij beschermde plaats aangebracht is, zodat hij niet snel beschadigd kan worden en zodat de lichtmeting ongestoord kan gebeuren.

4.1.2. Controllers

De controller van een regelsysteem zorgt voor de verwerking van de informatie die hij ontvangt van een sensor of via manuele invoer (via drukknoppen, draaiknoppen,...). Afhankelijk van de inputs en van enkele in de controller geprogrammeerde parameters (bv. de te behalen verlichtingssterkte, de nalooptijd,...) zal de controller beslissen wat er moet gebeuren: de verlichtingsinstallatie in- of uitschakelen, de verlichting naar een bepaald niveau terugdimmen,... Dit commando zal gecommuniceerd worden aan de actuatoren via een bepaald communicatieprotocol.

Een controller voor daglichtregeling en aan-/afwezigheidsdetectie in de praktijk

Op onderstaande figuur is een voorbeeld van een controller weergegeven. Er is onder andere op te zien dat er verschillende sensoren kunnen aangesloten worden (klemmen "Control IN: DA" – links boven). Het is mogelijk om zowel een lichtsensor als een bewegingssensor aan te sluiten. (1) (zie verder)

Er kunnen vanuit de controller maximum vier lichtkringen aangestuurd worden. Vanuit de klemmen "Grp1" tot en met "Grp4" (rechts bovenaan) wordt het uitgangssignaal naar elk van de vier (groepen) actuatoren verstuurd. Daarnaast is het mogelijk om drukknoppen aan te sluiten, hetzij om de lichtkringen afzonderlijk manueel bij te regelen (klemmen "T1" tot en

met "T4" – rechts onderaan), hetzij om alle lichtkringen samen bij te regelen (klem "T all" – links onderaan). (2) (zie verder)

Centraal op de controller kan ingesteld worden volgens welk regime de bewegingssensor moet werken: aanwezigheidsdetectie, afwezigheidsdetectie of geen van beiden. In geval van aan- en afwezigheidsdetectie kan ingesteld worden na welke nalooptijd de controller de verlichting automatisch moet uitschakelen.

De controller moet uiteraard ook gevoed worden. Dit gebeurt op netspanning, via de klemmen "L" (lijn) en "N" (neutraal) voorzien (links onderaan).



4.1.3. Actuatoren

Een actuator ontvangt opdrachten van een controller en voert deze uit. De actuator zet dus een analogoog of digitaal signaal om in een aangepast opgenomen vermogen van een of meerdere lichtbronnen en zorgt er op die manier voor dat de aangesloten lichtbronnen op elk moment de gewenste lichtstroom leveren.

Een actuator kan bijvoorbeeld een schakelrelais zijn dat de lamp(en) in- of uitschakelt. De meest voorkomende types actuatoren zijn echter voorschakelapparaten (tl-verlichting) en drivers (ledverlichting).

4.1.4. Communicatie

Wanneer de verschillende componenten van een lichtregelsysteem met elkaar communiceren bij het regelen van de verlichting, is het belangrijk dat ze elkaar ook effectief begrijpen. Zo moet een sensor zijn waarneming kunnen overbrengen naar de controller en moeten verschillende controllers ook onderling informatie kunnen uitwisselen. Maar ook actuatoren moeten het door de controller gebruikte communicatieprotocol verstaan om zelf de nodige actie op een correcte manier te kunnen uitvoeren.

Globaal gezien valt er onderscheid te maken tussen twee types van communicatie tussen controllers en actuatoren: analoge en digitale communicatie. Bij analoge communicatie stuurt de controller een gelijkspanningssignaal uit naar de actuator. Dit signaal varieert tussen 1 V en 10 V (of soms tussen 0 V en 10 V): hoe hoger de spanning, hoe hoger de gewenste lichtstroom. Bij analoge communicatie verloopt de communicatie steeds in één richting: er is geen communicatie van de actuator naar de controller mogelijk.

“Wanneer de controller en de actuatoren van een lichtregelsysteem met elkaar communiceren, is het belangrijk dat ze elkaar ook effectief begrijpen. Daartoe is het noodzakelijk dat ze hetzelfde communicatieprotocol gebruiken en verstaan.”

Bij bepaalde digitale protocollen is het daarentegen wel mogelijk om de actuator en de controller in twee richtingen met elkaar te laten communiceren. Zo kan de controller aan de actuator vertellen welk vermogen hij werkelijk mag opnemen, maar kan de actuator bijvoorbeeld ook aan de controller melden dat er een lichtbron defect is.

Sommige fabrikanten gebruiken eigen ontwikkelde digitale protocollen ('gesloten protocollen'). Daarnaast bestaan er echter ook een aantal protocollen waarover er overeenstemming bestaat tussen een groot aantal verlichtingsfabrikanten en die voor iedereen toegankelijk zijn. Dit zijn de zogenaamde 'open protocollen'. Toepassing van deze protocollen heeft als voordeel dat verschillende systeemcomponenten van verschillende fabrikanten toch op een correcte manier met elkaar kunnen communiceren.

Het meest gebruikte open protocol voor digitale communicatie in de verlichtingssector is het DALI-protocol. DALI staat voor Digital Addressable Lighting Interface en is eind de jaren '90 ontwikkeld als alternatief voor het analoge 1-10 V protocol en als opvolger van het digitale DSI-protocol ("Digital Serial Interface").

DALI: dé open standaard voor verlichtingstoepassingen



DALI, voluit Digital Addressable Lighting Interface, is het meest gebruikte open protocol voor digitale communicatie tussen componenten van verlichtingsinstallaties. Het protocol is bruikbaar voor de communicatie tussen controllers en actuatoren. Doordat het een open protocol is, is de opbouw van het protocol voor iedereen vrij consulteerbaar. Het protocol is bovendien gezamenlijk ontwikkeld en gespecificeerd door een groot aantal fabrikanten van verlichtingscomponenten. Alle componenten die het DALI-protocol kennen, kunnen dan ook op een correcte manier onderling communiceren, zelfs wanneer de componenten van verschillende fabrikanten afkomstig zijn. Het protocol kan toegepast worden op verschillende schalen: regeling op gebouwniveau (koppeling met een centraal gebouwbeheersysteem), regeling per ruimte, of zelfs regeling binnen het verlichtings toestel zelf.

Bij regeling via DALI-communicatie kunnen de componenten van de verlichtingsinstallatie op een willekeurige manier bekabeld worden aangezien lichtgroepen binnen de installatie niet worden vastgelegd via de fysieke bekabeling, maar wel op softwarematige wijze (men spreekt hierbij over 'softwiring'). Elke component wordt dan geïdentificeerd door een uniek adres en kan tijdens het programmeren aan verschillende lichtgroepen toegekend worden, afhankelijk van de gewenste lichtscènes. Wanneer de lichtscènes in het gebouw achteraf gewijzigd moeten worden, is het niet nodig om de verlichting te herbekabelen. Het volstaat van de in het systeem voorziene lichtscènes te herprogrammeren. Doordat elke component apart geadresseerd is, is het onderhoud van de componenten zelf wel iets complexer. Wanneer bijvoorbeeld een kapot voorschakelapparaat vervangen wordt, dan moet, behalve de vervanging zelf, ook gezorgd worden dat de nieuwe component hetzelfde adres krijgt als de vervangen component. Aangezien de programmatie enkel door vakmensen kan uitgevoerd worden, kan dit de onderhoudskost van de systeemcomponenten verhogen ten opzichte van 'niet geadresseerde' installaties.

Waar bij sturing via 1-10 V of via het DSI-protocol enkel communicatie van de controller naar de actuator mogelijk is, is bij het gebruik van DALI bovendien communicatie in de twee richtingen mogelijk. Zo kan de controller aan een of meerdere voorschakelapparaten bijvoorbeeld de opdracht geven om terug te dimmen. Maar de actuator kan ook feedback bezorgen aan de controller, bijvoorbeeld over de huidige dimstand of over een lampdefect. Deze tweerichtingscommunicatie is zeker bij toepassing van een gebouwbeheersysteem heel interessant aangezien dit toelaat om centraal een overzicht te behouden over de status van de verlichtingsinstallatie (en de werking ervan dus centraal op te volgen), terwijl de toestellen zich wel doorheen het volledige gebouw bevinden.

Bij regeling van de verlichting vanuit een centraal gebouwbeheersysteem kan dus optimaal gebruik gemaakt worden van de voordelen van DALI. Wanneer DALI in broadcastmodus gebruikt wordt, wat dikwijls het geval is bij regeling van de verlichting per ruimte (standalone systeem lokaal), vervallen er echter een aantal van de voordelen van DALI. Bij broadcasting worden opdrachten vanuit de controller verstuurd naar alle actuatoren die op het kanaal aangesloten zijn: er wordt geen gebruik gemaakt van de adresseerbaarheid van de componenten. Hierdoor is de indienststelling van het systeem eenvoudiger (weinig of geen programmatie), maar in dit geval moet de manier van bekabelen weldegelijk bepaald worden in functie van de gewenste lichtscènes.

DALI IN CIJFERS

- 2-draads communicatie
- Maximaal 64 DALI-elektronische voorschakelapparaten per netwerk
- Maximaal 16 verlichtingsgroepen per netwerk
- Maximale kabellengte van 300 m voor kabel met doorsnede van 1,5 mm²
- Dataoverdrachtssnelheid van 1200 bit/s
- Dimbereik onderverdeeld in 256 discrete stappen

4.1.5. Eigenverbruik van regelsystemen

Ook al wordt de normering op eigenverbruik steeds strenger, de sensoren, controllers en actuatoren verbruiken hoe dan ook energie wanneer ze onder spanning staan, zelfs wanneer de verlichting niet brandt. Het eigenverbruik van een lichtregelsysteem bestaat uit twee componenten: verbruik wanneer de verlichting brandt ('actief eigenverbruik') en verbruik wanneer de verlichting niet brandt ('sluimerverbruik').

Het eigenverbruik kan sterk verschillen van systeem tot systeem en kan hoog oplopen als hier geen aandacht aan besteed wordt bij ontwerp van de installatie. Er bestaan enerzijds systemen waarbij de voorschakelapparaten / drivers volledig spanningsloos worden gesteld door de controller wanneer de verlichting niet brandt. Dit kan zorgen voor een sterke reductie van het sluimerverbruik van de installatie. Anderzijds bestaan er jammer genoeg ook gevallen waarbij alle voorschakelapparaten / drivers 24h/24h, het hele jaar lang, onder spanning blijven staan. Hoewel de gebruiker hier in principe niets van merkt, kan dit wel zorgen voor een aanzienlijke meerkost op de energiefactuur.

4.2 Types lichtregelsystemen

De meeste lichtregelsystemen worden geplaatst om het comfort van de gebruiker (visueel of gebruikscomfort) te verbeteren en/of om energiebesparing te realiseren. Er zijn verschillende types regelsystemen op de markt beschikbaar. De kunstverlichting kan bijvoorbeeld geregeld worden door manuele schakeling of dimming (manuele lichtregelsystemen), maar kan ook geregeld worden in functie van de beschikbaarheid van daglicht of in functie van de bezetting van de ruimte (automatische lichtregelsystemen). Welke types regelsystemen aangewezen zijn te gebruiken, hangt af van situatie tot situatie. Het is dan ook aan te raden om hier pas na overleg met een lichtspecialist een keuze in te maken.

4.2.1. Manuele lichtregelsystemen

Het meest eenvoudige type lichtregelsysteem is een systeem waarbij de kunstverlichting manueel geschakeld wordt. Dit kan gebeuren op het niveau van de volledige ruimte of over verschillende zones, om de gebruiker de mogelijkheid te geven om de kunstverlichting enkel in te schakelen in de zone waar hij ook effectief extra licht nodig heeft. Behalve het manueel schakelen van de verlichting kan ook de mogelijkheid voorzien worden om de verlichting manueel te dimmen.

Toepassing van manuele lichtregelsystemen vraagt in de eerste plaats extra aandacht voor het gebruikscomfort: hoe eenvoudiger het systeem te gebruiken is, hoe efficiënter het door de gebruikers zal benut worden. Daarnaast is herhaaldelijke sensibilisering van de gebruikers nodig om hen er aan te herinneren dat verlichting niet enkel een 'AAN'-, maar ook een 'UIT'-schakelaar heeft.

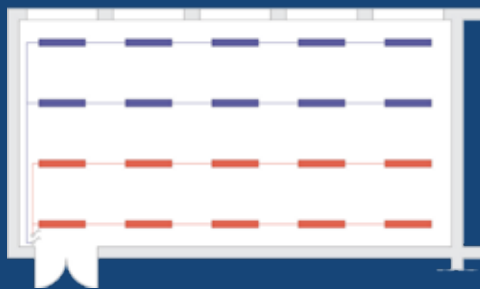
4.2.1.1. Manuele schakeling

Het manueel schakelen van de verlichting is het meest eenvoudige type lichtregelsysteem. Het is een eerste stap in het geven van vrijheid aan de gebruiker om de kunstverlichting naar eigen behoefte aan te passen. Dit eenvoudige type lichtregeling kan bovendien een relatief energiezuinige manier van werken zijn. Voorwaarde hiervoor is echter dat alle gebruikers de nodige discipline hebben om de verlichting op het 'juiste' moment aan en vooral uit te schakelen. En laat het net hier zijn dat vaak het schoentje wringt... Om te vermijden dat de verlichting onnodig blijft branden, werden automatische lichtregelsystemen zoals tijdgestuurde regeling en aan-/afwezigheidsdetectie ontwikkeld. Deze worden verderop in deze publicatie besproken. Ondanks het feit dat toepassing van deze automatische lichtregelsystemen vaak voor een aanzienlijke energiebesparing kan zorgen, is het belangrijk om in te zien dat deze besparing ook gewoon door de gebruiker gerealiseerd zou kunnen worden indien hij meer gedisciplineerd zou zijn bij gebruik van de kunstverlichting.

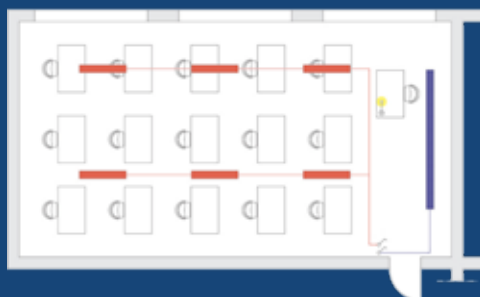
Opsplitsing van de verlichting in zones

Door de verlichtingsinstallatie van een ruimte op te splitsen in zones hebben de gebruikers de mogelijkheid om de kunstverlichting enkel in te schakelen in de zone waar ze extra licht nodig hebben. Dit kan nuttig zijn in grote ruimtes die vaak maar deels bezet worden (bv. studiezalen), maar bijvoorbeeld ook in kleuterklassen, die veelal opgedeeld zijn in verschillende 'hoeken': een speelhoek, een leeshoek, een slaaphoek,... Doordat de verlichtingsinstallatie van de ruimte is opgesplitst in verschillende zones, is het mogelijk om de verlichting enkel te doen branden in de zones die effectief bezet zijn.

Twee andere mogelijke configuraties waar zonerings nuttig kan zijn, worden weergegeven in de onderstaande figuren.



▲ Figuur A



▲ Figuur B

Figuur A toont het zoneschema van een refter waar de opsplitsing in zones gebaseerd is op de inval van daglicht:

- De eerste schakelaar bedient de twee armaturrijen het dichtst bij de raamzijde (blauwe armaturen);
- De tweede schakelaar bedient de twee armaturrijen het dichtst bij de gangzijde (rode armaturen).

Aangezien de zone aan de raamzijde apart schakelbaar is van de zone aan de gangzijde, kan de kunstverlichting aan de raamzijde bij voldoende daglichtinval uitgeschakeld blijven terwijl het lichtniveau dieper in de ruimte wel nog verzekerd kan worden met behulp van de kunstverlichting.

Figuur B laat het zoneschema zien van een klaslokaal waar de kunstverlichting in de bordzone apart schakelbaar is van de kunstverlichting in de rest van het klaslokaal (lessenaarszone):

- De eerste schakelaar bedient de armaturen met asymmetrische reflector die het schoolbord verlichten (blauwe armaturen);
- De tweede schakelaar bedient de armaturen met symmetrische reflector die de lessenaars van de leerlingen verlichten (rode armaturen).

Dit laat toe om de lessenaars van de leerlingen op elk moment voldoende te verlichten, ongeacht het feit of de leerkracht de bordverlichting laat branden (bij gebruik van het schoolbord) of deze uitschakelt (bij gebruik van een beamer voor het uitvoeren van projecties).

Het principe van zonerings kan zowel bij schakeling als bij dimming van de kunstverlichting gebruikt worden, zowel bij manuele als bij automatische systemen. Wanneer zonerings wordt toegepast in een verlichtingsinstallatie, is het belangrijk om de gebruikers goed te informeren. Enerzijds moet hen verteld worden waarom het precies nuttig is om de verlichtingsinstallatie in verschillende zones in te delen. Anderzijds moet aan de gebruikers duidelijk worden gemaakt welke schakelaar of drukknop welk deel van de verlichting bedient (bv. via labels op de schakelaars of drukknoppen).



▲ Labeling van drukknoppen

4.2.1.2. Manuele dimming

Bij een verlichtingsinstallatie die manueel dimbaar is, kan de gebruiker zelfstandig de lichtstroom uit de installatie verlagen. Wanneer de kunstverlichting gedimd wordt, verbruikt deze minder energie dan bij vollast. Meestal wordt dit type van manuele lichtregeling echter niet zozeer gekozen om energie te besparen, maar wel om het comfort van de gebruiker te verhogen: door een installatie manueel dimbaar te maken, kan de gebruiker het lichtniveau op elk moment precies afstemmen op zijn behoeften. Zo kan hij de kunstverlichting in een vergaderzaal op zijn maximum zetten tijdens de vergadering zelf, ze terugdimmen naar 30 % bij het geven van een presentatie en het lichtniveau terug verhogen naar 75 % van het maximale niveau voor de receptie achteraf.

“Manuele dimming van de verlichting wordt vooral toegepast om het comfort van de gebruiker te verhogen. Op die manier kan hij het lichtniveau op elk moment precies afstemmen op zijn behoeften.”

Niet elk type verlichting is echter a priori dimbaar. Zo zijn oude tl-verlichtingstoestellen met elektromagnetisch voorschakelapparaat in principe niet dimbaar, terwijl toestellen met een elektronisch voorschakelapparaat zowel in dimbare als in niet-dimbare versie bestaan.

4.2.2. Automatische lichtregelsystemen

De werking van een automatisch lichtregelsysteem is, in tegenstelling tot bij manuele systemen, niet, of nauwelijks, afhankelijk van zijn gebruiker. Het systeem werkt namelijk uit zichzelf, volgens de manier waarop het bij installatie is ingesteld. Automatische regelsystemen zijn daarom erg bruikbaar als het doel is om energie te besparen. De systemen kunnen bijvoorbeeld regelen in functie van de beschikbaarheid van daglicht of in functie van de verwachte of werkelijke bezetting van de ruimte. Welk systeem in welk geval voor de hoogste energiebesparing zal zorgen, is moeilijk vooraf te zeggen. Alles hangt af van de karakteristieken en van het gebruik van de ruimte.

“Eens een automatisch regelsysteem geïnstalleerd en afgesteld is, werkt het in principe op zich, zonder tussenkomst van de gebruikers. Dit maakt ze erg bruikbaar voor het besparen van energie, maar geeft tegelijk het fundamentele belang van een nauwkeurige installatie en afstelling van het systeem aan.”

Hoewel het van groot belang is om te kiezen voor een energiebesparende installatie, moet het comfort van de gebruiker uiteraard steeds gewaarborgd blijven. Ondanks het feit dat de systemen normaalgezien uit zichzelf werken, moet de gebruiker steeds kunnen bijsturen waar nodig. Maximale autonomie voor de gebruiker is dan ook een belangrijk aandachtspunt. Net zoals bij manuele systemen geldt ook voor automatische systemen dat een hoger gebruikscomfort zal leiden tot een efficiënter gebruik van het systeem.

“Ondanks het feit dat automatische systemen normaalgezien uit zichzelf werken, moet de gebruiker steeds kunnen bijsturen waar nodig. Maximale autonomie voor de gebruiker is dan ook een belangrijk aandachtspunt.”

4.2.2.1. Tijdgestuurde regeling



▲ Gebruik van de input van een klok bij een tijdgestuurde regeling

Bij een tijdgestuurde regeling wordt de kunstverlichting automatisch gestuurd in functie van het verwachte bezettingspatroon. Toepassing van dit type regeling laat dus toe om de kunstverlichting van een volledig gebouw of per zone van een gebouw op bepaalde (vaste) tijdstippen automatisch te schakelen (of te dimmen). Zo kunnen er op basis van het uurrooster van een school een aantal tijdstippen vastgelegd worden waarop de kunstverlichting in de klaslokalen automatisch uitgeschakeld moet worden, zodat de verlichting niet nodeloos blijft branden tijdens (vaak lange) periodes van leegstand (nachten, weekends, vakanties,...). Mogelijke uitschakelmomenten voor klaslokalen zijn:

- Tien minuten na de start van de middagpauze: dit zorgt ervoor dat de verlichting in de klaslokalen niet onnodig blijft branden tijdens de middagpauze. Bovendien is het best mogelijk dat de verlichting na de middagpauze niet terug ingeschakeld wordt indien er intussen voldoende daglicht binnenvalt, wat een bijkomend (maar energetisch niet onbelangrijk) effect van de uitschakeling kan zijn.
- Tien minuten na het einde van het laatste lesuur: dit zorgt ervoor dat de verlichting in de klaslokalen niet onnodig blijft branden na afloop van de lessen.
- Later op de avond (bv. om 20h30): dit zorgt ervoor dat de verlichting in de klaslokalen voor het vallen van de nacht alsnog uitgeschakeld wordt indien iemand ze na het einde van de lessen nog terug ingeschakeld zou hebben (bv. het schoonmaakpersoneel).

Dit type regelsysteem is dan ook enkel geschikt voor toepassing in gebouwen met een voorspelbaar bezettingspatroon. Behalve in scholen is het ook toepasbaar in musea, winkels, kantoorgebouwen,...

Bij een tijdgestuurde regeling zorgt een klok continu voor de belangrijkste input in het systeem: de reële tijd. Bij de programmering van het regelsysteem worden daarnaast een aantal instellingen aan het systeem meegegeven zodat het systeem op elk moment weet wat er moet gebeuren. Zo moet er ingevoerd worden welke (groepen) verlichtingstoestellen op welk moment moeten geschakeld worden. Het tijdstip van schakelen is afhankelijk van het bezettingspatroon van het gebouw of de gebouwzone en kan dus verschillen van dag tot dag (weekdag of weekend).

⚠ Hoewel een tijdgestuurde regeling kan gebruikt worden voor zowel het automatisch in- als uitschakelen van de kunstverlichting, is het aan te raden om het systeem enkel te gebruiken voor uitschakeling. Het op vaste tijdstippen inschakelen van de verlichting zou immers kunnen leiden tot nodeloos energieverbruik. Bovendien ervaart de gebruiker het meeste comfort wanneer hij zelf beslissingsrecht heeft over het al dan niet inschakelen van de verlichting. Een tijdgestuurde regeling die manuele inschakeling van de verlichting combineert met automatische uitschakeling is dan ook het meest efficiënt.

Het spreekt voor zich dat de verlichting na automatische uitschakeling opnieuw manueel ingeschakeld moet kunnen worden (manuele override). Zo kunnen personen die buiten het normale bezettingspatroon nog in de ruimte aanwezig zijn, hun taak probleemloos blijven uitvoeren. Bovendien wordt er aanbevolen om een abrupte uitschakeling van de verlichting te vermijden. Door dit geleidelijk te doen (bv. door verlaging van de lichtstroom alvorens volledig uit te schakelen) kan de gebruiker de verlichting op een veilige manier tijdig terug inschakelen.

“Een tijdgestuurde regeling die manuele inschakeling van de kunstverlichting combineert met automatische uitschakeling is het meest energie-efficiënt. Bovendien moet de kunstverlichting na automatische uitschakeling steeds opnieuw manueel ingeschakeld kunnen worden om een voldoende hoog gebruikscomfort te garanderen.”

Belangrijke voordelen van dit type regeling zijn de lage kostprijs en het gebruiksgemak van het systeem. Naarmate het systeem complexer wordt, verdwijnen beide voordelen. Het voornaamste nadeel van het systeem is dat het opnieuw moet geprogrammeerd worden wanneer het ‘normale’ bezettingspatroon (bv. uurrooster van een school) verandert. Het systeem kan daarnaast storend werken wanneer het gebouw langer in gebruik is dan voorzien (bv. tijdens oudercontacten of andere naschoolse activiteiten).

4.2.2.2. Aan-/afwezigheidsdetectie

Naast een tijdgestuurde regeling kan ook toepassing van aan- of afwezigheidsdetectie vermijden dat de kunstverlichting langdurig blijft branden terwijl er niemand meer in de ruimte aanwezig is. Daar waar een tijdgestuurde regeling gebeurt in functie van de verwachte aanwezigheid van personen in de ruimte, wordt de kunstverlichting bij aan-/afwezigheidsdetectie automatisch geregeld in functie van de werkelijke aanwezigheid. Een bewegingssensor of akoestische sensor detecteert of er menselijke activiteit (beweging of geluid) plaatsvindt en geeft deze informatie door aan de controller. Op basis van deze informatie en de informatie waarover de controller reeds beschikte (bv. de huidige toestand van de kunstverlichting, de ingestelde nalooptijd (ook wel tijdsvertraging genoemd),...) beslist de controller of er een toestandsverandering van de kunstverlichting nodig is.

“Zowel aan- als afwezigheidsdetectie kunnen de kunstverlichting automatisch uitschakelen. Het verschil tussen beiden zit in het inschakelen: bij aanwezigheidsdetectie wordt de kunstverlichting automatisch ingeschakeld bij detectie van menselijke activiteit, terwijl ze bij afwezigheidsdetectie altijd manueel moet ingeschakeld worden.”

Hoewel het onderscheid tussen aan- en afwezigheidsdetectie voor velen onduidelijk is, spreken de benamingen grotendeels voor zich:

- Aanwezigheidsdetectie: van zodra de sensor menselijke activiteit waarneemt, wordt de kunstverlichting automatisch ingeschakeld. Zolang er menselijke activiteit waargenomen wordt, blijft de kunstverlichting branden. Als de sensor gedurende een bepaalde periode (de ingestelde nalooptijd) geen activiteit meer waargenomen heeft (en alle personen dus uit de ruimte vertrokken zouden moeten zijn zonder dat de kunstverlichting manueel uitgeschakeld werd), wordt de kunstverlichting automatisch terug uitgeschakeld.
- Afwezigheidsdetectie: de kunstverlichting begint pas te branden wanneer deze manueel ingeschakeld wordt. Zolang er na inschakeling van de verlichting menselijke activiteit waargenomen wordt, blijft de kunstverlichting branden. Als de sensor gedurende een bepaalde periode (de ingestelde nalooptijd) geen activiteit meer waargenomen heeft (en alle personen dus uit de ruimte vertrokken zouden moeten zijn zonder dat de kunstverlichting manueel uitgeschakeld werd), wordt de kunstverlichting automatisch terug uitgeschakeld.

Beide strategieën kunnen zowel in ruimtes met variabele bezetting (bv. vergaderzalen, studiezalen, gangen,...) als in ruimtes met een meer voorspelbaar bezettingspatroon (bv. klaslokalen, kantoorruimten) toegepast worden. Hoewel de werkelijk gerealiseerde energiebesparing door toepassing van aan-/afwezigheidsdetectie sterk kan verschillen van geval tot geval, is het toch vaak een effectieve maatregel om het energieverbruik te verlagen. Dankzij de relatief lage kostprijs kan de kosten-baten van dergelijke systemen dan ook heel gunstig zijn.

“Afwezigheidsdetectie is vanuit energetisch oogpunt altijd het meest interessant: de kunstverlichting brandt enkel wanneer de gebruiker dit effectief nodig vindt.”



▲ Toepassing van een afwezigheidsdetector in een klaslokaal

Aanwezigheidsdetectie vs. afwezigheidsdetectie: waar kies je wat?

Het spreekt voor zich dat keuze voor aan- of afwezigheidsdetectie voor een bepaalde toepassing maar zelden zwart-wit is: de keuze van de strategie hangt af van de prioriteiten van de gebruiker.

Vanuit energetisch oogpunt is afwezigheidsdetectie steeds het meest interessant: de verlichting brandt enkel wanneer de gebruiker dit effectief nodig vindt. In ruimtes waar de kunstverlichting tijdens bezetting niet per se ingeschakeld moet zijn (bv. door toetreding van voldoende daglicht), krijgt toepassing van afwezigheidsdetectie dan ook doorgaans de voorkeur. Dit geldt voor de meeste klaslokalen, kantoorruimten,...

In ruimtes die vaak maar voor een korte periode door eenzelfde gebruiker bezet zijn (bv. gangen en trappen, sanitaire ruimtes, bergplaatsen,...), wordt vaak voor aanwezigheidsdetectie gekozen. Hoewel dit systeem vanuit energetisch oogpunt

iets minder voordelig is, vermijdt het wel dat de gebruiker de verlichting steeds manueel moet inschakelen. Zeker in circulatieruimtes is dit een belangrijk argument om voor aanwezigheidsdetectie te kiezen.

In klaslokalen en kantoorruimten met daglichtinval is afwezigheidsdetectie met mogelijkheid tot manuele override het meest aangewezen.

Indien in deze ruimtes toch vaak veel daglicht invalt, kan voor detectoren gekozen worden die aanwezigheidsdetectie combineren met daglichtdetectie. Bij waarneming van menselijke activiteit schakelt de detector de kunstverlichting dan enkel automatisch aan als het volgens de in de detector geïntegreerde lichtsensoren donker is in de ruimte (door een tekort aan daglicht).

Normaalgezien schakelt de detector de verlichting automatisch uit wanneer de sensor gedurende de ingestelde nalooptijd geen menselijke activiteit meer waargenomen heeft. Er bestaat echter ook een variant waarbij de verlichting na het verlopen van de nalooptijd niet onmiddellijk uitgeschakeld wordt, maar wel gedimd wordt naar een lager niveau. De verlichting wordt dan pas in tweede instantie, na een langdurige afwezigheid, volledig uitgeschakeld. Hierdoor kan de gebruiker de gedimde verlichting op een veilige manier tijdig terug inschakelen wanneer de detector er verkeerdelijk zou van uitgegaan zijn dat er geen bezetting meer was, terwijl er toch nog personen in de ruimte aanwezig waren. Bovendien beperkt dit het aantal keer dat de lichtbronnen moeten schakelen (veelvuldig schakelen kan de levensduur van voorschakelapparaten namelijk negatief beïnvloeden).

“Onafhankelijk van de keuze voor aan- of afwezigheidsdetectie: de gebruiker moet steeds de mogelijkheid hebben om de toestand van de verlichting manueel bij te sturen.”

Onafhankelijk van de keuze van de strategie moet er voor gezorgd worden dat de gebruiker de toestand van de verlichting steeds manueel kan bijsturen (manuele override). Dit betekent dat de gebruiker de verlichting op elk moment manueel moet kunnen uitschakelen, bijvoorbeeld omdat hij vindt dat daglicht alleen de ruimte voldoende verlicht of omdat hij de ruimte wil verduisteren in functie van projecties. Achteraf moet hij de verlichting uiteraard ook terug kunnen inschakelen.

Het detectieveld van de sensor moet groot genoeg zijn om de volledige bruikbare oppervlakte van de ruimte af te dekken. Maar zelfs wanneer het detectieveld de volledige bruikbare oppervlakte van een ruimte afdekt, bestaat er nog altijd een kans dat de sensor gedurende een bepaalde periode geen beweging waarneemt terwijl er toch nog personen in de ruimte aanwezig zijn. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van het feit dat de personen niet of te weinig bewogen hebben (bv. lezen van een boek, typen op een laptop,...). Om te vermijden dat de kunstverlichting hierdoor vaak ongewenst zou uitvallen ('valse uit'), wordt de verlichting niet meteen na de laatste waarneming uitgeschakeld, maar pas na een zekere periode zonder waarneming. Deze periode wordt de nalooptijd of ook wel de tijdsvertraging genoemd.

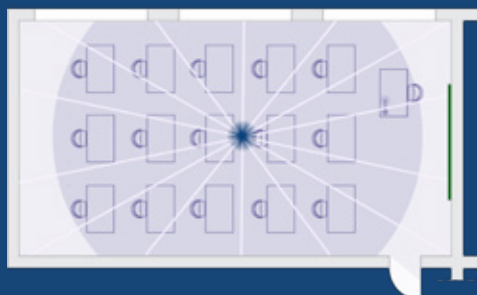
Positionering van detectoren voor aan-/afwezigheidsdetectie

Het is belangrijk van de detectoren bij installatie goed te positioneren. Het detectieveld van de sensor moet groot genoeg zijn om de volledige bruikbare oppervlakte van de ruimte af te dekken. In geval van PIR-detectie moet de detector bovendien zo geplaatst worden dat de sensor alle relevante posities in de ruimte ook effectief kan 'zien'. Dit is van groot belang aangezien een PIR-sensor rechtstreeks zicht moet hebben op de beweging om ze te kunnen waarnemen. Bij de keuze van de positie van de detector moet dus al rekening gehouden worden met de latere inplanting van het meubilair in de ruimte.

Algemeen wordt de detector het best geplaatst in de zone waar veel menselijke activiteit is, om steeds een zo relevant mogelijke detectie te verzekeren. In een klaslokaal gaat het in geval van een PIR-plafonddetector bijvoorbeeld vaak om een centrale positie in het lokaal, aangezien leerlingen verspreid zitten over de volledige oppervlakte van het lokaal en de kans groot is dat er centraal in het lokaal (onder de sensor) bezetting is. Het kan interessant zijn om de detector wat meer naar bordzijde toe te plaatsen, zodat de zone rond het schoolbord in het detectieveld van de sensor valt. Hierdoor worden de (vaak grote) bewegingen van leerkrachten in deze zone zeker gedetecteerd.

Wanneer aan-/afwezigheidsdetectie wordt toegepast in grotere ruimtes lukt het veelal niet om met één detector de volledige bruikbare oppervlakte van de ruimte af te dekken. In dit geval kunnen verschillende 'hulpdetectoren' aangesloten worden op de detector die de verlichting stuurt. Men spreekt in dit geval over een 'master-slave' combinatie van detectoren.

Wanneer tot slot gekozen wordt voor een lichtregelsysteem dat aan-/afwezigheidsdetectie combineert met daglichtregeling moet met beide regelingen rekening gehouden worden bij het positioneren van het systeem.



▲ Positionering afwezigheidsdetector in een klaslokaal

De nalooptijd is doorgaans instelbaar op de detector en kan een kritische factor zijn om de beoogde energiebesparing te halen en tegelijk een bepaald comfort te verzekeren. Een te korte nalooptijd verhoogt het risico op 'valse uit' en kan ervoor zorgen dat de lichtbronnen veelvuldig moeten schakelen (wat de levensduur negatief kan beïnvloeden). Een te lange nalooptijd kan dan weer de energiebesparing die met het systeem bekomen wordt, hypothekeren. Indien een geschikte detector in functie van de toepassing gekozen werd, volstaat in klaslokalen en kantoorruimten meestal een nalooptijd van 10 à 15 minuten om ongewenste uitschakeling van de verlichting te voorkomen.

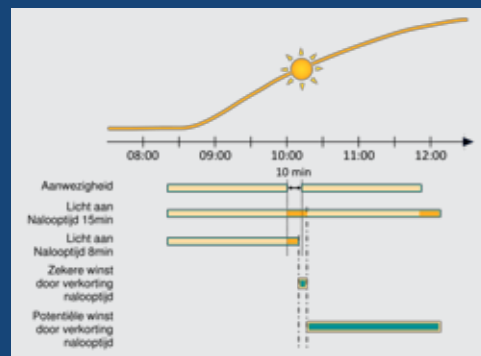
Toch is het belangrijk om bij de keuze van de nalooptijd rekening te houden met de specifieke toepassing. In ruimtes die gewoonlijk door grote groepen bezet worden, volstaat veelal een kortere nalooptijd, aangezien de kans hier groter is dat iemand een beweging maakt die groot genoeg is om gedetecteerd te worden door de sensor. Wanneer de ruimte dan toch door slechts één of enkele personen bezet wordt, zorgt de verkorte nalooptijd wel voor een verhoogd risico op 'valse uit'.

Behalve het aantal mensen dat de ruimte bezet, speelt ook het bezettingspatroon van de ruimte een rol bij de keuze van de nalooptijd. Dit is zeker het geval voor ruimtes die gebruik maken van een vast bezettingsrooster (bv. klaslokalen) en waar afwezigheidsdetectie wordt toegepast. Het weloverwogen kiezen van de nalooptijd, rekening houdende met de duur van pauzes, kan in dergelijke ruimtes een aanzienlijke impact hebben op de gerealiseerde energiebesparing. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het onderstaande kaderstuk. Een alternatieve, indien mogelijk zelfs betere, manier om de bijkomende potentiële energiebesparing aan te spreken, is door toepassing van een tijdgestuurde regeling (klokpuls).

Keuze van de nalooptijd in functie van de toepassing

De onderstaande afbeelding toont het gebruik van een klaslokaal op een winterdag. De kunstverlichting in het lokaal is voorzien van een systeem voor afwezigheidsdetectie. Bij de start van de eerste lesblok om 8h20 is het nog donker buiten en wordt de verlichting dan ook ingeschakeld. Na de eerste lesblok volgt een pauze van tien minuten op de speelplaats. Als de verlichting bij het verlaten van het klaslokaal niet manueel wordt uitgeschakeld, begint de nalooptijd van de detector te lopen. Als de nalooptijd nog niet verstreken is op het ogenblik dat de klasgroep na de pauze terug binnenkomt, dan is de kans groot dat de verlichting in het klaslokaal gewoon tot aan de middagpauze blijft branden. Als de nalooptijd echter iets korter is dan de duur van een pauze, dan is de kans groot dat de verlichting zich automatisch uitschakelt voordat de klasgroep terug binnenkomt. Als er op dat ogenblik voldoende daglichtinval is, dan zal men mogelijks de kunstverlichting niet opnieuw inschakelen. In dat geval is de energiebesparing door een iets kortere nalooptijd een stuk groter dan enkel het gespaarde energiever-

bruik tijdens het verschil in nalooptijd: de uitgeschakelde verlichting tijdens de tweede lesblok is een (onrechtstreeks) bijkomend gevolg. Deze winst is natuurlijk niet gegarandeerd: als het daglichtniveau na de pauze niet hoog genoeg is, zal de kunstverlichting na de pauze alsnog terug ingeschakeld worden. Verder moet vermeden worden dat de nalooptijd te kort gezet wordt om ongewenste uitschakeling ('valse uit') te vermijden.



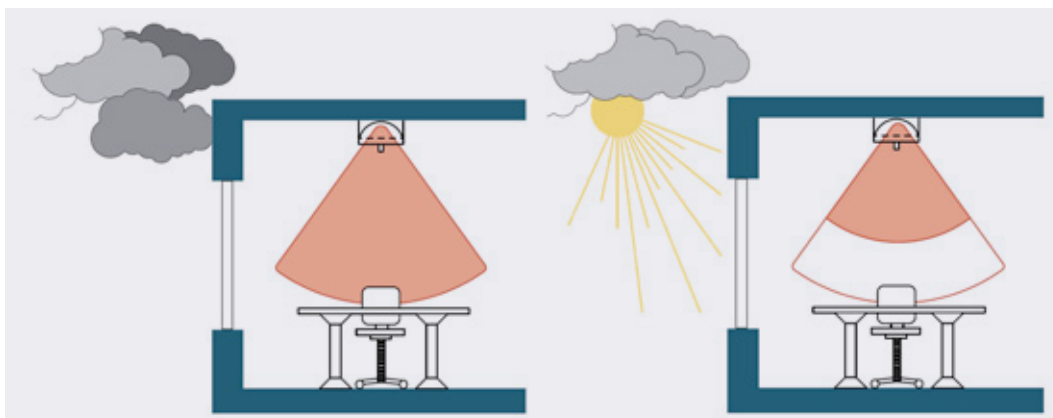
▲ Aanwezigheid in een klaslokaal en gebruik van de kunstverlichting tijdens een voormiddag

Het is aan te raden om enige tijd na installatie van de aan-/afwezigheidsdetectie de werking van het systeem te evalueren en zo nodig aan te passen.

4.2.2.3. Daglichtregeling

Bij een daglichtafhankelijke regeling wordt de lichtstroom uit de verlichtingstoestellen automatisch geregeld in functie van de beschikbare daglichthoeveelheid. Een lichtsensor meet een bepaalde hoeveelheid licht (bv. gereflecteerd licht afkomstig vanop het werkvlak, of licht afkomstig van wat de sensor door het venster 'ziet') en geeft de informatie door aan de controller. Op basis van deze informatie en de informatie waarover de controller reeds beschikte (de te onderhouden verlichtingssterkte, de huidige toestand van de kunstverlichting,...), beslist de controller of de kunstverlichting al dan niet moet bijgesteld worden. Deze regeling kan gebeuren door de kunstverlichting te dimmen of door ze te schakelen in functie van de daglichtbeschikbaarheid.

Toepassing van daglichtregeling zorgt dat in de eerste plaats het invallend daglicht benut wordt en dat er slechts bijkomend van de kunstverlichting wordt gebruik gemaakt om een tekort aan daglicht op te vangen. Op die manier kan het elektriciteitsverbruik van de kunstverlichting sterk gereduceerd worden terwijl de verlichtingssterkte op het werkvlak toch op elk moment hoog genoeg is om de gebruiker zijn taak op een veilige en comfortabele manier te laten uitvoeren.



^ Werkingsprincipe van een dimbaar daglichtregelsysteem

Daglichtregeling is een type regeling dat in school- en kantoorgebouwen voor grote energiebesparingen kan zorgen. Zeker voor de verlichtingstoestellen in de directe omgeving van daglichtopeningen is het besparingspotentieel erg groot, aangezien hier overdag veelal voldoende daglicht invalt om geen, of heel weinig, bijkomend kunstlicht nodig te hebben. In het TETRA-project, in functie waarvan deze publicatie is geschreven, bleek de energiebesparing door daglichtregeling voor de armatuurrij aan de raanzijde in sommige cases op te lopen tot wel 50 à 60 %!

“Behalve veel daglichtinval is ook een voldoende hoog aantal branduren van de kunstverlichting tijdens de dag nodig om toepassing van daglichtregeling economisch interessant te maken.”

Toch is er meer nodig dan alleen maar veel daglichtinval om toepassing van een daglichtregelsysteem economisch interessant te maken. Met een specifiek vermogen van 1,3 à 1,6 W/(m².100lx) voor een nieuwe, energiezuinige installatie is het absolute energieverbruik voor verlichting al behoorlijk laag. Het aantal branduren van de kunstverlichting tijdens aanwezigheid van daglicht moet dan ook voldoende hoog zijn om het relatieve besparingspotentieel dat daglichtregeling in zich draagt ook effectief vertaald te zien in een gunstige kosten-batenanalyse. Ruimtes die heel veel daglicht ontvangen (bv. gemiddelde DF > 5%), maar waar de kunstverlichting quasi nooit wordt ingeschakeld (heel weinig branduren) zijn dus mogelijks een stuk minder interessant om daglichtregeling toe te passen dan ruimtes met een gemiddelde daglichtinval (bv. gemiddelde DF = ± 3%) waar de kunstverlichting veelal wel nog ingeschakeld wordt (normaal aantal branduren).

“Een correcte installatie en een nauwkeurige afstelling van het daglichtregelsysteem zijn cruciaal om de goede werking van het systeem te kunnen garanderen.”

Om de goede werking van een daglichtregelsysteem te kunnen verzekeren, blijkt een correcte installatie en een nauwkeurige afstelling van het daglichtregelsysteem van essentieel belang te zijn. De wijze van afstelling verschilt van type systeem tot type systeem en van fabrikant tot fabrikant. Bij sommige systemen gebeurt de afstelling door de sensor meer of minder af te schermen voor invallend licht, bij andere systemen is gebruik van een afstandsbediening noodzakelijk om de afstelling te kunnen uitvoeren. Het is duidelijk dat het correct uitvoeren van de afstelling niet evident is. Deze taak moet dan ook uitgevoerd worden door mensen met kennis van zaken.



^ Afstandsbedieningen voor het uitvoeren van de afstelling van lichtregelsystemen

Invloedsfactoren op het besparingspotentieel van daglichtregeling

Daglicht is gratis en is tijdens de normale bezettingsuren van scholen in grote hoeveelheden beschikbaar. Daglichtregelsystemen hebben in vele gevallen dan ook een aanzienlijk besparingspotentieel. De effectieve besparing is echter afhankelijk van een groot aantal invloedsfactoren. Dit maakt het moeilijk om nauwkeurig te voorspellen hoeveel energie er nu precies te besparen valt met een daglichtregelsysteem. Onderstaand schema geeft een niet-limitatief overzicht van factoren die het besparingspotentieel van daglichtregelsystemen kunnen beïnvloeden.



Gebouw en omgeving

- Ligging van het gebouw
- Aanwezigheid van obstructies rondom het gebouw: nabijgelegen gebouwen, bomen of andere beplanting, ...
- Eigenschappen van de ruimte: afmetingen en vorm van de ruimte, reflectiecoëfficiënten van wand- en meubelementen, ...
- Type daglichtopeningen (verticaal, horizontaal of hellend)
- Eigenschappen van de daglichtopeningen: oriëntatie, grootte, lateihoogte, LT-factor, ...
- Zonwering: type en sturing



Verlichting en lichtregeling

- Geïnstalleerd vermogen van de kunstverlichting
- Positionering van de verlichtingstoestellen in de ruimte
- Aantal gedimde armatuurrijen (evenwijdig aan de raamzijde)
- Type daglichtregelsysteem (dimmend of schakelend, open loop of closed loop, ...)
- Eigenverbruik van het daglichtregelsysteem
- Aanwezigheid van andere lichtregelsystemen (afwezigheidsdetectie, manuele dimming, ...)



Afstelling van het systeem

- De gewenste verlichtingssterkte die door het daglichtregelsysteem als richtwaarde gebruikt wordt
- Omstandigheden tijdens het afstellen (weersomstandigheden, stand van de zonwering, ...)
- Competentieniveau van de persoon die het daglichtregelsysteem afstelt
- Controle van de correcte werking van het daglichtregelsysteem na afstelling (+ eventueel herafstelling)



Gebruik van het lokaal

- Bezettingsduur van de ruimte (en hieraan gekoppeld het aantal branduren van de kunstverlichting)
- Bezetting doorheen het jaar (gespreid over verschillende seizoenen)
- Gebruiker (en zijn gewoontes)
- Gebruik van beamer, smartboard, ...

De factoren die het besparingspotentieel beïnvloeden, kunnen dus ingedeeld worden in vier hoofdcategoryën: het gebouw en zijn omgeving, de kunstverlichtingsinstallatie waar het daglichtregelsysteem deel van uitmaakt, de afstelling van het daglichtregelsysteem en tot slot het gebruik van het lokaal. Hoewel het weer niet meteen in een van de voorgaande categoryën kan ingedeeld worden, zal de ogenblikkelijk gerealiseerde energiebesparing uiteraard sterk afhankelijk zijn van de weersomstandigheden op dat moment: de besparing op een overtrokken winterdag zal uiteraard verschillend zijn van deze op een heldere zomerdag. Eerder dan de gerealiseerde energiebesparing van dag tot dag is het echter vooral de besparing over een lange periode (bv. op jaarbasis) die van belang is. Het is dan ook hoofdzakelijk het algemeen klimaat dat in beschouwing moet genomen worden, eerder dan de weersomstandigheden die variëren van dag tot dag.

Daarnaast is het ook belangrijk dat er, zeker tijdens het eerste jaar na installatie, controles uitgevoerd worden van de werking van het daglichtregelsysteem onder verschillende weersomstandigheden. Zo kunnen eventuele problemen bij de werking van het systeem geïdentificeerd én verholpen worden.

“Het inlichten van de gebruikers over de aanwezigheid, het nut en de werking van een daglichtregelsysteem zorgt ervoor dat ze het systeem makkelijker zullen aanvaarden. Dit zal ook zorgen voor een efficiënter gebruik van het systeem, wat resulteert in hogere energiebesparingen.”

Hoewel het toepassen van daglichtregeling als hoofddoel heeft om energie te besparen, blijft het verzekeren van het comfort van de gebruiker ook hier de grootste prioriteit. Het daglichtregelsysteem moet er in de eerste plaats voor zorgen dat de taakoppervlakken op elk moment voldoende verlicht worden. Een performant systeem weet de verlichting bovendien bij te regelen zonder dat de gebruiker hier veel van merkt, laat staan hier hinder van ondervindt.

Behalve het visueel comfort moet ook het gebruikscomfort gegarandeerd zijn. Hoewel de kunstverlichting bij daglichtregeling automatisch wordt geregeld, wordt er bij voorkeur wel een manuele override voorzien zodat de gebruiker de toestand van de kunstverlichting op elk moment kan bijregelen naar eigen wensen en behoeften. Hoe eenvoudiger het systeem in gebruik is, hoe efficiënter het door de gebruikers zal aangewend worden.

De gebruikers moeten in elk geval ingelicht worden over de installatie van het lichtregelsysteem, en over het nut en de werking ervan. Hierdoor zullen ze het systeem niet alleen makkelijker aanvaarden. Ze zullen ook efficiënter met het systeem omgaan en sneller problemen melden wanneer deze zich zouden voordoen, eerder dan de problemen zelf proberen 'op te lossen' (bv. door sabotage van het systeem).

Daglichtregelsystemen ingedeeld volgens verschillende eigenschappen

Daglichtregelsystemen kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden. Ten eerste kan er een onderverdeling gemaakt worden op basis van de actie die het daglichtregelsysteem uitvoert: er bestaan enerzijds schakelende en anderzijds dimbare daglichtregelsystemen. Ten tweede kunnen daglichtregelsystemen ook ingedeeld worden volgens de regelstrategie (en hieraan gekoppeld de waarneming die de sensor doet). Hierbij valt er onderscheid te maken tussen open loop en closed loop systemen. Binnen deze twee categorieën kan nog verder opdeling gemaakt worden naar het niveau waarop de regeling gebeurt: gebeurt de regeling individueel per armatuur of collectief voor één of meerdere armaturengroepen? Op elk van deze manieren van indelen wordt hierna ingegaan. Er wordt gefocust op systemen waarbij de regeling lokaal gebeurt (binnen het verlichtingsstoel of binnen de ruimte). Systemen waarbij de regeling centraal (op gebouwniveau) gebeurt, worden niet in detail bekeken.

“Er bestaan twee types acties die een controller aan een actuator kan opdragen om te doen: dimmen en schakelen.”

Daar waar de lichtstroom uit de kunstverlichting bij dimbare daglichtregelsystemen proportioneel wordt aangepast in functie van de beschikbare hoeveelheid daglicht, kennen schakelende systemen slechts twee standen: volledig aan en volledig uit. Dit maakt dat het besparingspotentieel bij dimbare systemen hoger is dan bij schakelende systemen. Alvorens de verlichting te mogen uitschakelen, moet bij een schakelend systeem namelijk eerst een zeker daglichtniveau overschreden worden, zo dat de daglichttoetreding alleen voor een voldoende hoge verlichtingssterkte op het volledige werkvlak kan zorgen. Zolang dit daglichtniveau niet overschreden is, blijft de kunstverlichting op haar maximaal vermogen ingeschakeld. Een dimbaar systeem kan de kunstverlichting daarentegen beginnen te dimmen van zodra er daglicht in de ruimte binnenvalt: zelfs wanneer het daglicht slechts voor een deel van de benodigde verlichtingssterkte op het werkvlak kan zorgen, bespaart het systeem reeds energie. Bovendien kunnen dimbare closed loop daglichtregelsystemen (zie verder) nog extra energie besparen, zelfs wanneer er geen daglicht aanwezig is. De besparing zit dan in het dimmen van de verlichting om de intrinsieke overdimensionering van de verlichtingsinstallatie, die rekening houdt met veroudering, weg te werken. Deze extra besparing neemt af naarmate de verlichtingsinstallatie ouder wordt. Om dit potentieel te kunnen aanspreken, is een correcte afregeling van het systeem uiteraard primordiaal.

Een ander voordeel van dimbare systemen is dat ze, indien correct afgeregeld, een hoger visueel comfort bieden dan schakelende systemen: het geleidelijk op- en neerdimmen van de verlichting is veel minder opvallend voor de gebruikers van de ruimte dan wanneer de kunstverlichting plots aan- of uitschakelt. Dit maakt dat de gebruikers dimbare systemen veelal makkelijker aanvaarden dan schakelende systemen.

Dimbare systemen vragen over het algemeen wel een grotere investering dan schakelende systemen. Niet alleen de totaalprijs van sensor en controller is doorgaans hoger. Ook de actuator moet erop voorzien zijn om te kunnen dimmen. Zo is het bij fluorescentieverlichting nodig dat het gaat om een elektronisch voorschakelapparaat dat dimming toelaat. Ook dit brengt een meerkost met zich mee.

Uiteraard bestaan er ook systemen die zowel kunnen dimmen als schakelen. Zeker bij ledverlichting zijn er heel veel mogelijkheden.

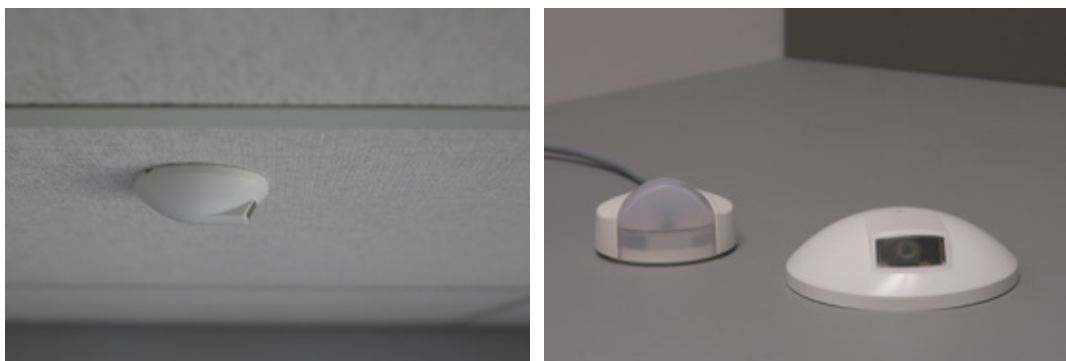
“Daglichtregelsystemen worden meestal onderverdeeld volgens de regelstrategie, en hieraan gekoppeld de waarneming die de sensor doet. Er valt onderscheid te maken tussen open loop en closed loop systemen.”

Behalve op basis van de actie die wordt uitgevoerd, kunnen daglichtregelsystemen ook worden ingedeeld volgens de regelstrategie. De waarneming die de sensor van het daglichtregelsysteem doet, bepaalt dan of een systeem open loop of closed loop is. Deze zijn nog verder op te delen naar het niveau waarop de regeling gebeurt: gebeurt de regeling individueel per armatuur of collectief voor één of meerdere armaturengroepen?

Open loop systemen regelen de kunstverlichting op basis van een meting van enkel daglicht: de sensor van het systeem wordt zo gepositioneerd dat hij de kunstverlichting die hij regelt niet waarneemt. Dit betekent dat het systeem de kunstverlichting regelt zonder ooit feedback te krijgen over zijn regeling. Hierdoor is er sprake van een ‘open loop’.

Er bestaan zowel open loop systemen waarbij de sensor buiten wordt opgesteld als systemen waarbij de sensor binnen wordt geplaatst. Systemen waarbij de sensor binnenin het gebouw geplaatst is, maken typisch gebruik van een sensor nabij het venster die naar buiten gericht is en waarbij de sensor de luminantie meet van wat hij door het venster ‘ziet’. Er wordt typisch één sensor per ruimte voorzien. Op basis van de waarneming worden één of meerdere armaturengroepen geregeld. Alle armaturen op eenzelfde afstand van de raamzijde worden typisch samen geregeld.

Buiten opgestelde sensoren worden op het dak of op de gevel van het gebouw geplaatst.



▲ Naar buiten gerichte lichtsensoren, toegepast in open loop daglichtregelsystemen

In tegenstelling tot bij open loop systemen ‘zien’ de sensoren bij closed loop systemen niet alleen het daglicht, maar óók de kunstverlichting die ze bijregelen. De sensoren van closed loop systemen bevinden zich logischerwijze altijd binnenin het gebouw en worden typisch naar het werkvlak gericht. Zo meten ze het geheel van daglicht en kunstlicht dat op het werkvlak valt en krijgen ze dus feedback over de manier waarop de kunstverlichting bijgeregeld wordt. Op basis van deze feedback regelt het systeem de kunstverlichting verder bij: er is sprake van een ‘closed loop’.

Daglichtregeling aan de hand van buiten het gebouw opgestelde sensor(en)

Bij toepassing van daglichtregeling wordt er in de meeste gevallen gekozen voor een systeem waarbij de sensoren binnenin het gebouw opgehangen worden. Er bestaan echter ook systemen waarbij de regeling van de binnenverlichting gebeurt op basis van een lichtmeting buiten. Bij deze open loop systemen wordt er typisch één sensor op het dak of één sensor per gevel geplaatst. De sensor moet een waarneming doen die representatief is voor het volledige of voor een groot deel van het gebouw. Hierdoor kan de kunstverlichting van een groot aantal ruimtes geregeld worden op basis van de waarneming van slechts één of enkele sensoren. Typisch worden alle ruimtes die aan dezelfde gevel grenzen samen geregeld.

Net zoals bij open loop systemen waarbij de sensor binnenin de ruimte geplaatst wordt, is het ook hier belangrijk dat er geen factoren zijn die de relevantie van de meting van de sensor nadelig zouden kunnen beïnvloeden. Bronnen van hoge reflecties of van schaduw die binnen het waarnemingsveld van de sensor gelegen

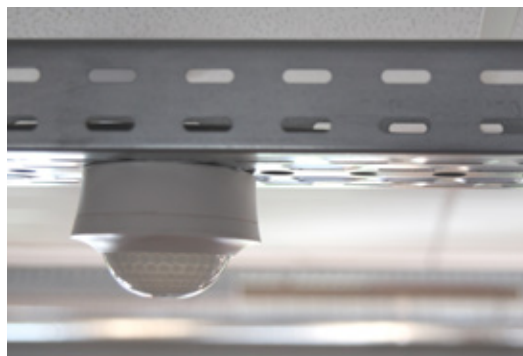
zijn, maar die de daglichtinval in de ruimtes niet beïnvloeden, zijn uit den boze.

Een ander belangrijk aandachtspunt bij toepassing van dit type daglichtregelsysteem is dat de regeling van de kunstverlichting moet gekoppeld zijn aan de stand van de zonwering. In tegenstelling tot bij daglichtregelsystemen waarbij de sensoren in het gebouw geplaatst worden, wordt de lichtmeting hier niet beïnvloed door de stand van de zonwering. Door de regeling van de kunstverlichting alsnog te koppelen aan de stand van de zonwering, wordt vermeden dat de kunstverlichting op een zonnige dag sterk gedimd zou worden terwijl er eigenlijk veel kunstlicht nodig is omdat de zonwering gesloten werd om oververhitting te vermijden.

Daarnaast is het aan te raden om voor elke individuele ruimte de mogelijkheid te voorzien om het regelsysteem manueel te overrulen. Dit laat toe dat de gebruiker van elke ruimte de verlichting op elk moment kan bijregelen in functie van zijn eigen wensen en behoeften.

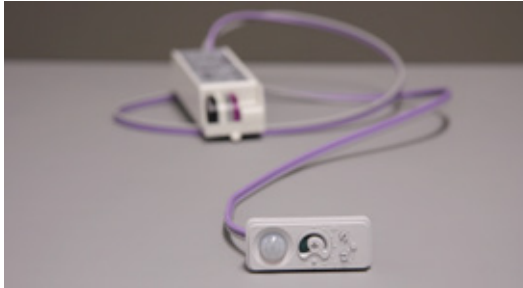
Vooreerst bestaan er closed loop systemen waarbij verschillende armaturen gezamenlijk geregeld worden. In functie hiervan worden alle armaturen in een ruimte onderverdeeld in één of meerdere armaturengroepen: alle armaturen in een ruimte kunnen samen geregeld worden (regeling van één armaturengroep) of er zijn ook detectoren beschikbaar die een verschillende regeling per rij armaturen, afhankelijk van de afstand tot het raam, mogelijk maken. De lichtmetingen van een beperkt aantal lichtsensoren (meestal één of twee) worden doorgegeven aan één centrale controller en van hieruit worden de verschillende armaturengroepen geregeld. Bij dit type systeem worden daglichtregeling en aan-/afwezigheidsdetectie erg vaak gecombineerd in één toestel.

Closed loop systemen waarbij verschillende armaturen samen geregeld worden, zijn in groten getale op de markt te verkrijgen. Bij een groot deel van de producten gaat het om vrij in de ruimte te positioneren detectoren. Deze worden typisch aan plafond bevestigd (opbouw of inbouw). Een correcte keuze van de plaats van de detector is erg belangrijk om de goede werking van het systeem te kunnen verzekeren.

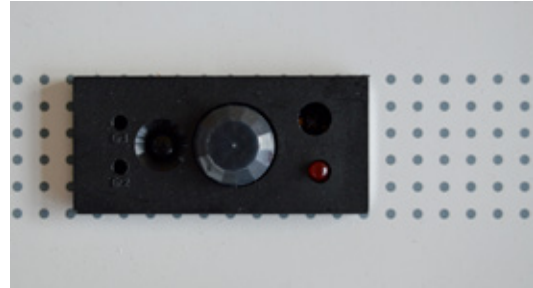


▲ Vrij in de ruimte te positioneren detectoren voor daglichtregeling van armaturengroep(en) (gecombineerd met aan-/afwezigheidsdetectie)

Gelijkaardig bestaan er ook systemen waarbij de sensor in de armatuur geïntegreerd is.



▲ In een armatuur te integreren lichtsensor (+ controller) (gecombineerd met aan-/afwezigheidsdetectie)



▲ In een armatuur geïntegreerde lichtsensor (gecombineerd met aan-/afwezigheidsdetectie)

Behalve closed loop systemen waarbij verschillende armaturen gezamenlijk geregeld worden, bestaan er ook closed loop systemen waarbij de daglichtregeling individueel per armatuur gebeurt. Hierbij bevat elke armatuur een eigen sensor die een meting doet van de lichtomstandigheden op het eronder gelegen werkvlak en gebeurt de volledige regeling binnen de armatuur zelf: de lichtstroom uit elke armatuur verschilt in functie van de meting van de sensor. Hierdoor is de lichtstroom uit elke armatuur precies aangepast aan de nood aan kunstlicht op het eronder gelegen werkvlak (indien de afstelling correct werd uitgevoerd).



▲ Lichtsensoren voor daglichtregeling individueel per armatuur



▲ Lichtsensor bevestigd op een T5 tl-lamp

Hoewel de technologie die gebruikt wordt in open en closed loop systemen in se niet verschilt, zijn er door de andere waarneming die de systemen doen wel grote verschillen in de regelalgoritmes waar ze van gebruik maken. Hierdoor is ook de manier waarop ze afgesteld worden erg verschillend.

Zowel bij open loop als bij closed loop systemen is het belangrijk dat de lichtmeting die een sensor uitvoert, representatief is voor de volledige zone die erdoor geregeld wordt. De positionering van de sensor(en) moet dan ook op een doordachte manier gebeuren, wil men er zeker van zijn dat het daglichtregelsysteem onder alle omstandigheden zal werken zoals gewenst. Normaal gezien geven de fabrikanten via de handleiding van hun systeem plaatsingsrichtlijnen mee. Deze moeten in elk geval zorgvuldig gevolgd worden.

Keuze van het type daglichtregelsysteem

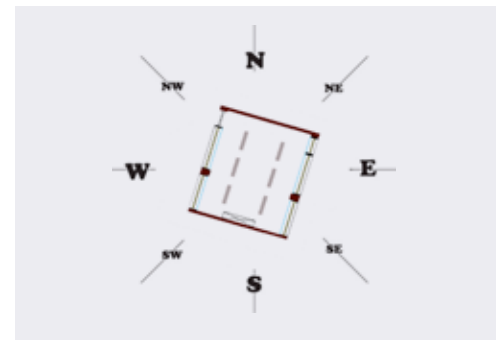
Zoals blijkt, zijn er een groot aantal verschillende types daglichtregelsystemen op de markt beschikbaar. Elk type systeem heeft voor- én nadelen. Dit maakt het moeilijk om algemene uitspraken te doen over het type systeem waarvoor het best kan gekozen worden. Dit hangt namelijk af van situatie tot situatie. Bovendien zijn in vele situaties ook verschillende oplossingen mogelijk, wat het voor de beslissingsnemer mogelijk nog moeilijker maakt om een keuze te maken.

Toch zijn er situaties denkbaar waar het ene systeem al beter geschikt lijkt dan de andere. Omgekeerd bestaan er ook situaties waarbij toepassing van een bepaald systeem een risico op (tijdelijk) minder efficiënte werking kan inhouden. Hieronder worden enkele van deze situaties toegelicht. Ze zijn gericht op toepassing van systemen waarbij de lichtmeting binnenin het gebouw gebeurt. Hoewel verschillende van de principes ook voor schakelende daglichtregelsystemen geldig zijn, wordt er hierna vooral gefocust op systemen die de kunstverlichting dimmen in functie van de daglichtinval.

- **Combinatie van daglichtregeling met aan-/afwezigheidsdetectie:** eenvoudige closed loop systemen die de verlichting individueel per armatuur regelen, zijn in vele gevallen een goede en betaalbare oplossing om de stap naar daglichtregeling te zetten. Wanneer men daglichtregeling wil combineren met aan-/afwezigheidsdetectie, kan er nog een aan-/afwezigheidsdetector aan de installatie toegevoegd worden. Er bestaan evenwel ook twee-in-één-oplossingen die beide types lichtregeling samenbrengen in één detector. De detector bevat dan zowel een lichtsensor als een sensor voor detectie van beweging en/of geluid. Wanneer er voor zo'n type detector gekozen wordt, is het erg belangrijk om bij de positionering van de detector in de ruimte rekening te houden met de positioneringseisen die gekoppeld zijn aan beide regelingen.
- **Renovatie van de kunstverlichting:** wanneer men een beperkte renovatie van de kunstverlichting wil uitvoeren waarbij men de verlichtingstoestellen één op één wil vervangen door nieuwere toestellen en waarbij men de bekabeling van de installatie niet wil herzien, is het toch nog mogelijk om daglichtregeling te integreren. In dit geval kan er gekozen worden voor een daglichtregelsysteem waarbij de regeling individueel per armatuur gebeurt. Hierbij zitten zowel de sensor als de controller van het daglichtregelsysteem in de armatuur en is de controller rechtstreeks aangesloten op de regelingang van de actuator. De volledige regeling vindt dan ook plaats binnen de armatuur zelf. Hierdoor is er geen aanpassing/uitbreiding van de bekabeling nodig, en betekent vervanging van de verlichtingstoestellen dus meteen ook integratie van de daglichtregeling.
- **Lokalen met daglichtopeningen aan twee zijden:** in dit geval is het aan te raden om te kiezen voor een systeem waarbij de verschillende armaturen of armaturengroepen volledig onafhankelijk van elkaar kunnen geregeld worden (geen offset regeling). Zo kan bij een ruimte die bijvoorbeeld zowel daglichtopeningen heeft op ZO als op NW de armatuurrij aan de raamzijde op ZO in de ochtend meer terugdimmen dan de armatuurrij op NW omdat er meer direct zonlicht invalt. Wanneer de zon naar de avond toe echter in het Westen staat, moet de armatuurrij aan de raamzijde op NW meer kunnen terugdimmen dan de armatuurrij aan de raamzijde op ZO. Dit kan uiteraard gerealiseerd worden met closed loop systemen die individueel per armatuur regelen, aangezien elke armatuur haar eigen sensor (en dus dimniveau) heeft, maar ook met bepaalde closed loop systemen waarbij per armaturengroep gedimd wordt. Om dit te kunnen realiseren zal het systeem van minstens twee sensoren moeten gebruik maken.
- **Positionering van de sensor bij keuze voor een open loop systeem:** bij keuze voor een open loop systeem moet er vermeden worden dat de sensor geïnstalleerd wordt op een plaats waar de waarneming van de sensor kan beïnvloed worden door bronnen van hoge reflecties of van schaduw, terwijl deze de hoeveelheid daglicht die in de geregelde werkvlakzone valt niet op dezelfde manier zouden beïnvloeden. Dit zou namelijk betekenen dat de waarneming van de sensor irrelevant kan zijn voor de zone die erdoor geregeld wordt. Mogelijke storende factoren zijn tegenoverliggende glasgevels, besneeuwde (hellende) daken,... Deze (tijdelijke) bronnen van hoge reflecties kunnen ervoor zorgen dat de sensor een sterk verhoogde lichthoeveelheid meet, en dus sterk terugdimt, terwijl de extra hoeveelheid daglicht die effectief op het werkvlak terecht komt, erg beperkt is. Ook wanneer de regeling van de licht-/zonwering gebeurt per individuele daglichtopening (bv. bij gebruik van gordijnen), is het mogelijk dat de meting van de sensor niet relevant is voor sturing van de kunstverlichting over de volledige zone. Wanneer de zonwering bijvoorbeeld overal gesloten wordt behalve op de plaats waar de sensor naar buiten 'kijkt', dan zal bijna geen daglicht in de ruimte binnenvallen, terwijl de sensor toch een aanzienlijke hoeveelheid licht 'ziet' en de kunstverlichting dus sterk zal teruggedimd worden.



▲ Detectoren voor combinatie van daglichtregeling en aan-/afwezigheidsdetectie



▲ Plattegrond van lokaal met daglichtopeningen op ZO en NW



▲ Gerichte lichtreflecties op de sensor veroorzaken irrelevante meting door de sensor

- **Wijziging van de helderheid van het zicht van closed loop systemen:** ook bij toepassing van een closed loop systeem moet er voor gezorgd worden dat de waarneming van de lichtsensoren zo representatief mogelijk is én blijft. Bij dit type systemen meet de sensor de luminantie van (een deel van) het werkvlak. Wanneer de reflectiecoëfficiënt van het werkvlak wijzigt, wijzigt dus ook de luminantie die de sensor meet. Dit resulteert in een bijregeling van het dimniveau van de kunstverlichting. Hierdoor zou bijvoorbeeld het vervangen van donker- door lichtgekleurd meubilair zonder het daglichtregelsysteem opnieuw af te stellen ervoor zorgen dat de kunstverlichting meer gedimd zou worden, ondanks het feit dat de verlichtingssterkte op het werkvlak onveranderd is gebleven. De impact die een verandering van de reflectiewaarde van een deel van het zicht van de sensor heeft op de regeling van het closed loop systeem hangt af van hoe groot de wijziging is ten opzichte van het totale zicht van de sensor.

Installatie van een daglichtregelsysteem... en dan?

Het TETRA-project heeft aangetoond dat het niet alleen aankomt op de keuze van het juiste type daglichtregelsysteem. Ook een correcte installatie en een nauwkeurige afstelling van het daglichtregelsysteem zijn van cruciaal belang om de goede werking van het systeem te kunnen verzekeren. Onder 'goede werking' worden zowel het behalen van de voorziene energiebesparingen als het garanderen van het visueel comfort voor de gebruiker verstaan.

Om een performante werking van het systeem van bij het begin te verzekeren, moet de sensor in de eerste plaats op een representatieve positie in de ruimte geïnstalleerd worden volgens de voorschriften van de fabrikant. Sommige systemen moeten op een bepaalde manier georiënteerd worden, zodat met één detector meerdere armaturengroepen naar een verschillend niveau kunnen geregeld worden. Wanneer bovendien gekozen wordt voor een systeem dat daglichtregeling combineert met aan-/afwezigheidsdetectie moet met beide regelingen rekening gehouden worden bij het positioneren van het systeem.

Na installatie moet het daglichtregelsysteem op correcte wijze afgesteld worden. Hoewel in sommige systemen fabrieksinstellingen worden voorzien om ervoor te zorgen dat het systeem onmiddellijk na installatie operationeel is, is het toch aan te raden om de afstelling ter plaatse opnieuw uit te voeren, of op zijn minst te controleren. Enkel een juist afgesteld systeem zal onder alle omstandigheden presteren zoals gewenst. De wijze van afstelling verschilt van type systeem tot type systeem en van fabrikant tot fabrikant. Bij het uitvoeren van de afstelling wordt wel bijna altijd gebruik gemaakt van een luxmeter om

de verlichtingssterkte op verschillende plaatsen op het werkvlak op te meten. Enkel bij gebruik van een degelijk meettoestel kan het daglichtregelsysteem op correcte wijze afgesteld worden. Het is duidelijk dat het uitvoeren van de afstelling geen alledaagse taak is. Deze taak moet dan ook uitgevoerd worden door mensen met kennis van zaken.

Bij ingebruikname van de nieuwe installatie moeten de gebruikers geïnformeerd worden over de installatie, het nut en de werking van het regelsysteem. Dit speelt een belangrijke rol in de aanvaarding ervan door de gebruikers en zal ervoor zorgen dat ze efficiënter met het systeem omgaan. De gebruikers zullen bovendien sneller problemen komen melden, eerder dan de problemen zelf proberen 'op te lossen' (bv. door sabotage van het systeem).

Tot slot dient er ook een verantwoordelijke te worden aangesteld voor de controle/opvolging van de werking van het daglichtregelsysteem. Al te vaak doet het systeem wat het moet doen op het moment dat het in gebruik genomen wordt, maar treden er later toch nog probleempjes op bij gebruik van het systeem onder andere weersomstandigheden (zonnig vs. regenachtig, zomer vs. winter, ...). De verantwoordelijke is enerzijds het centraal aanspreekpunt om deze problemen aan te melden en doet het nodige om deze op te lossen. Anderzijds onderneemt hij zelf regelmatig actie door na te kijken of het systeem nog doet wat het moet doen. Hij doet, zeker in het eerste jaar na installatie, testen van de werking van het systeem onder verschillende weersomstandigheden en volgt, indien mogelijk, de gerealiseerde energiebesparing op.

4.2.3. Combinatie van regelsystemen

De hiervoor besproken lichtregelsystemen kunnen uiteraard ook gecombineerd worden. Het kan bijvoorbeeld interessant zijn om in een klaslokaal zowel afwezigheidsdetectie als daglichtregeling te voorzien. Zo wordt er enerzijds vermeden dat de kunstverlichting blijft branden wanneer er niemand in het klaslokaal aanwezig is. Anderzijds wordt de verlichting tijdens bezetting gedimd in functie van de daglichtinval. Door de gebruiker bovendien de mogelijkheid te geven om de verlichting manueel bij te dimmen (manuele override), kan hij de verlichting op elk moment precies afstemmen op zijn behoeften. Tot slot is het aan te raden om de verlichtingsinstallatie van het klaslokaal op te splitsen in een bordzone en een lessenaarszone, zodat de bordverlichting en de algemene verlichting apart van elkaar bediend kunnen worden.

Voor welke types regelsystemen het best gekozen wordt, hangt af van situatie tot situatie. Het is in elk geval aan te raden om deze keuze in overleg met een lichtspecialist te maken.

4.3 TETRA-project daglichtregeling: casestudies en lessons learnt

Deze publicatie is geschreven naar aanleiding van het TETRA-project “Impact van daglichtregelsystemen op ontwerp en renovatie van schoolgebouwen”. In het kader van dit project werd er door de onderzoeksgroepen Laboratorium voor Lichttechnologie en Duurzaam Bouwen van KU Leuven Technologicampus Gent een langdurige monitoringcampagne in elf klaslokalen opgezet. Hieronder wordt vooreerst het opzet van de monitoringcampagne kort besproken. Vervolgens worden de belangrijkste resultaten van het TETRA-project meegegeven aan de hand van enkele casestudies.

4.3.1. Opzet van de monitoringcampagne

Het hoofddoel van de monitoringcampagne was om een inschatting te maken van de reële besparing van daglichtregelsystemen in klaslokalen. Daarnaast werd de impact van een aantal invloedsfactoren op het besparingspotentieel nagegaan. Om relevante resultaten te verkrijgen, werd op elke locatie gedurende minstens een volledig kalenderjaar gemeten.

De monitoringcampagne vond plaats in zes verschillende secundaire scholen, verspreid over heel Vlaanderen, en in enkele klaslokalen van KU Leuven Technologicampus Gent. In de klaslokalen wordt er voornamelijk lees- en schrijfwerk verricht. Er is gekozen voor klaslokalen waarvan de eigenschappen onderling sterk verschillen. Het gaat bijvoorbeeld om de diepte van het lokaal, de oriëntatie en grootte van de vensters, het type zonwering,... Ook het toegepaste type daglichtregelsysteem varieert van klaslokaal tot klaslokaal, hoewel het steeds om dimbare systemen ging. De afstelling van de systemen werd telkens uitgevoerd door een vertegenwoordiger van de fabrikant van het daglichtregelsysteem, aangezien deze personen in principe het beste gekwalificeerd zijn voor het afstellen van het systeem. Behalve daglichtregeling werd in elk van de gemonitorde klaslokalen ook afwezigheidsdetectie voorzien.

“Om een volledig zicht te krijgen op de gebruiksomstandigheden van de gemonitorde klaslokalen werden naast de elektrische ook tal van andere parameters gemeten.”

Behalve de meting van de elektrische parameters van de verlichting (zowel stroom, spanning, actief vermogen als energieverbruik per armatuurrij evenwijdig aan de raamzijde) zijn ook nog een aantal andere parameters opgemeten om zicht te krijgen op de variatie van de gebruiksomstandigheden. Zo werd er via een aanwezigheidsdetector bijgehouden wanneer er al dan niet iemand in het klaslokaal aanwezig was. Er is gemonitord wanneer de beamer in gebruik was en de stand van de zonwering werd opgevolgd door gebruik van een ip-camera. In sommige scholen werd er een pyranometer op het dak geplaatst om de totale hoeveelheid invallende zonnestraling op elk moment van de dag te meten. Hierdoor kan de dimstand van de kunstverlichting gekoppeld worden aan de actuele daglichtomstandigheden.

Berekening van de procentuele energiebesparing

De procentuele energiebesparing van het daglichtregelsysteem wordt als volgt berekend:

$$E_{\%} = \frac{V_{\text{zonder DLR}} - V_{\text{met DLR}}}{V_{\text{zonder DLR}}} \times 100$$

Waarbij:

- $E_{\%}$ = de procentuele energiebesparing van het daglichtregelsysteem (%)
- $V_{\text{zonder DLR}}$ = energieverbruik van de verlichting zonder daglichtregelsysteem (kWh)
- $V_{\text{met DLR}}$ = energieverbruik van de verlichting met daglichtregelsysteem (kWh)

Het energieverbruik van de verlichting met daglichtregelsysteem volgt rechtstreeks uit de meetcampagne. Het energieverbruik van de verlichting zonder daglichtregelsysteem kan op twee manieren bepaald worden. Welke manier gebruikt is, verschilt van case tot case:

- Indien niet alle armatuurrijen in het klaslokaal gedimd zijn door het daglichtregelsysteem, dan wordt het verbruik van de niet-gedimde armatuurrijen toch gemonitord. In dit geval volgt het energieverbruik van de verlichting zonder daglichtregelsysteem dus ook rechtstreeks uit de metingen.
- Indien wel alle armatuurrijen gedimd zijn door het daglichtregelsysteem, dan wordt het energieverbruik van de verlichting zonder daglichtregelsysteem berekend uit het actief vermogen van de verlichting in niet-gedimde toestand en uit het aantal branduren van de verlichting.

4.3.2. Algemene lessons learnt

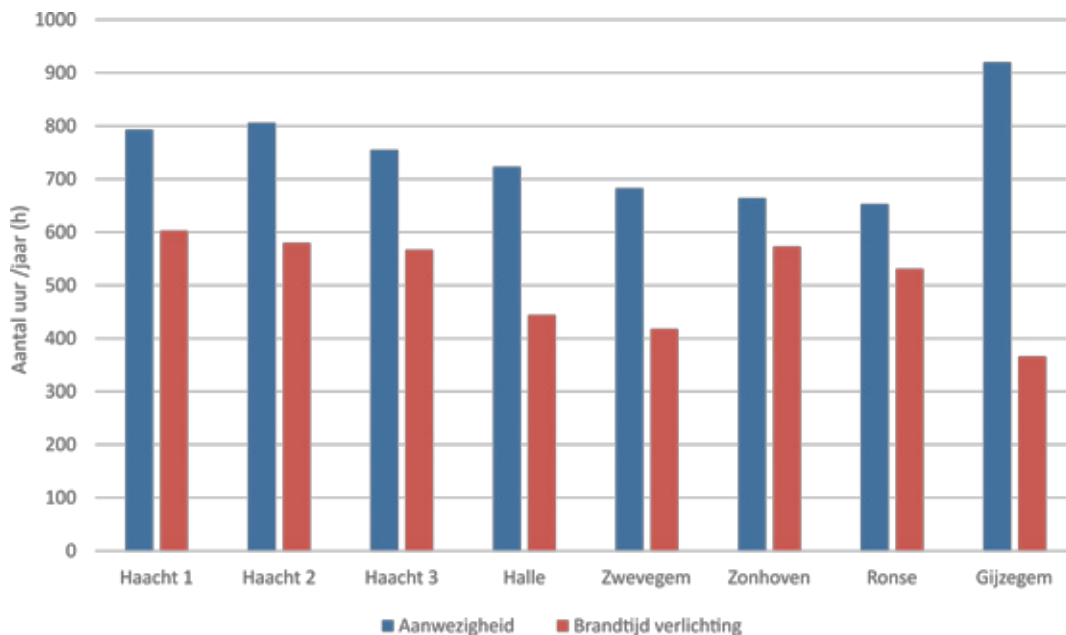
Het besparingspotentieel van daglichtregeling is aanzienlijk voor de armatuurrij aan de raamzijde. Dit blijkt uit de resultaten van de monitoringcampagne in alle casestudies.

De energiebesparing varieert naargelang het toegepaste type daglichtregelsysteem. De verschillen in relatieve besparing zijn vooral groot voor de armatuurrijen die dieper in de ruimte (niet aan de raamzijde) gelegen zijn. Dit blijkt uit de vergelijking van de relatieve energiebesparing in de drie quasi identieke klaslokalen in de casestudie Don Bosco Haacht. De verschillen zijn grotendeels te wijten aan de (al dan niet correcte) afstelling van elk van de systemen.

Hoewel de energiebesparing liefst zo hoog mogelijk is, mag deze nooit ten koste gaan van het visueel comfort. Dit bleek echter wel het geval te zijn in klas 3 in de casestudie Don Bosco Haacht. In dit klaslokaal werden de grootste energiebesparingen behaald over de drie quasi identieke lokalen die elk met een verschillend type daglichtregelsysteem uitgerust zijn. Uit metingen bleek echter dat de verlichtingssterkte op het werkvlak in klas 3 frequent een stuk lager was dan de gevraagde 500 lx. Het systeem wist het gewenste visueel comfort door een incorrecte afstelling niet te onderhouden, met als gevolg dat de gebruikers het systeem uiteindelijk saboteerden.

Het is duidelijk dat een correcte afstelling van het daglichtregelsysteem en opvolging van de werking ervan cruciaal zijn om een goede werking van het systeem te verzekeren. Ook de meetresultaten in de casestudie Heilig Hart & College Halle tonen dit aan. Hier waren er geen problemen op vlak van visueel comfort, maar werden de verhoopte energiebesparingen initieel niet gehaald. Na herafstelling van het daglichtregelsysteem steeg de energiebesparing fors.

Het aantal uren aanwezigheid en de brandtijd van de kunstverlichting in scholen blijkt beperkt te zijn. Een snelle berekening leert dat het aantal bezettingsuren van klassen voor kleuter- en lager onderwijs (dagonderwijs) beperkt is tot maximaal zo'n 1700 uren. Voor klassen uit het secundair onderwijs is dit slechts 1300 uren. Uit de monitoringcampagne is bovendien gebleken dat deze theoretische maxima in de praktijk niet gehaald worden: uit acht klaslokalen uit het secundair onderwijs bleken slechts twee klaslokalen meer dan 800 bezettingsuren per jaar te hebben en slechts één klaslokaal had meer dan 900 bezettingsuren per jaar. Het aantal uren dat de kunstverlichting effectief gebrand heeft, ligt nog een stuk lager, met maximaal zo'n 600 branduren per jaar.



^ Overzicht aanwezigheidsduur en brandtijd van de verlichting per jaar

Het zo realistisch mogelijk inschatten van het aantal branduren van de verlichting (bij aan- en afwezigheid van daglicht) is van groot belang wil men een realistische inschatting kunnen maken van de kosten-baten van een daglichtregelsysteem.

Contradictorisch genoeg zijn ruimtes die heel veel daglicht ontvangen (maar waar de kunstverlichting quasi nooit wordt ingeschakeld: heel weinig branduren) mogelijks een stuk minder interessant om daglichtregeling toe te passen dan ruimtes met een gemiddelde daglichtinval (waar de kunstverlichting veelal wel nog ingeschakeld wordt: 'normaal' aantal branduren). Dit blijkt uit de resultaten van de casestudie Instituut Sint-Vincentius a Paulo Gijzegem.

4.3.3. Casestudies

Hierna worden drie casestudies meer in detail toegelicht. Per casestudie wordt er vooreerst een fiche gegeven met basisinformatie over de gemonitorde ruimte(s) en over de verlichtingsinstallatie. Vervolgens worden er aan de hand van een aantal grafieken enkele van de onderzoeksresultaten voorgesteld. Op basis hiervan worden tot slot een aantal lessons learnt voor de desbetreffende case geformuleerd.

CASESTUDIE

DON BOSCO HAACHT

Drie identieke klaslokalen, drie verschillende types daglichtregelsystemen



ALGEMEEN

Naam school: **Don Bosco Technisch Instituut**

Locatie: **Haacht (Vlaams Brabant)**

Bouwjaar gebouw: **2008**

Aantal gemonitorde klaslokalen: **3**

KLASLOKAAL

Lengte (evenwijdig aan raamzijde)	9,2m
Diepte (loodrecht op raamzijde)	7,8m
Hoogte	2,8m
Reflectiecoëfficiënten plafond / muren / vloer	79 % / 37 % / 12 %

DAGLICHTTOEDREDING

Type	verticale vensters langs één zijde van het klaslokaal
Oriëntatie vensters	N – NW
LT-factor beglazing	0,78
Window-To-Wall ratio	0,43
Window-To-Floor ratio	0,16
Diepte klaslokaal / hoogte raamlatei	3,0
Gemiddelde daglichtfactor	± 2,9 %
Type zon-/lichtwering	lichtdoorlatende gordijnen

**VERLICHTING LESSENAARSZONE**

Type	fluorescentieverlichting		
Ontwerpniveau praktijkverlichtingssterkte	500 lx		
Aantal armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	3		
Aantal armaturen per armatuurrij	3		
	Klaslokaal 1	Klaslokaal 2	Klaslokaal 3
Geïnstalleerd vermogen	486 W	531 W	540 W
Specifiek vermogen	1,19 W/(m ² .100lx)	1,30 W/(m ² .100lx)	1,58 W/(m ² .100lx)

Deze tabel bevat uitsluitend gegevens over de verlichting in de lessenaarszone.

**LICHTREGELING**

Zonering (bordzone – lessenaarszone)

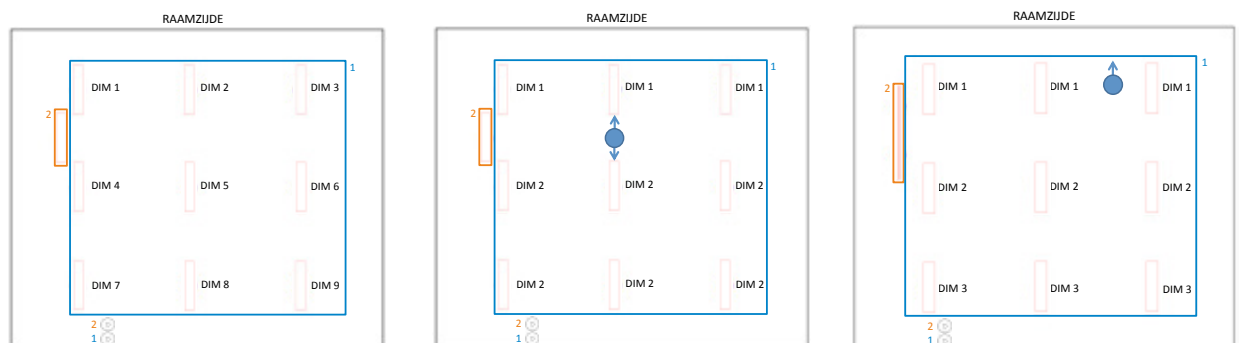
Daglichtregeling (dimbare daglichtregelsystemen)

Afwezigheidsdetectie

**DAGLICHTREGELING**

Aantal dimbare armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	3
Afstelling	500 lx

	Klaslokaal 1	Klaslokaal 2	Klaslokaal 3
Type	Individuele daglichtsensor per armatuur	Afwezigheidsdetector met geïntegreerde daglichtsensor (vrije positionering)	Naar buiten gerichte daglichtsensor
Regelstrategie	Closed loop	Closed loop	Open loop
Type communicatie	1-10 V	DALI	DALI
Aantal gedimde verlichtingstoestellen	9	9	9
Aantal verschillende dimsignalen	9	2	3

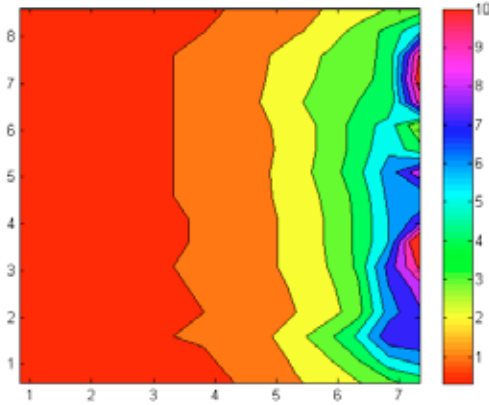


▲ Schema van de kunstverlichting en van de daglichtregeling (v.l.n.r.: klas 1, klas 2, klas 3)

CASESTUDIE

ONDERZOEKSRISULTATEN

Daglichtfactor

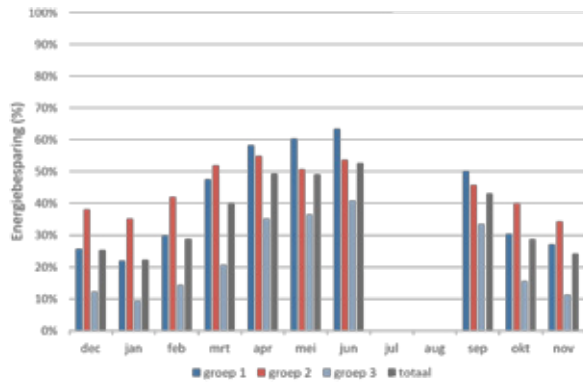


^ Metingen van de daglichtfactor in het klaslokaal (raamzijde rechts)

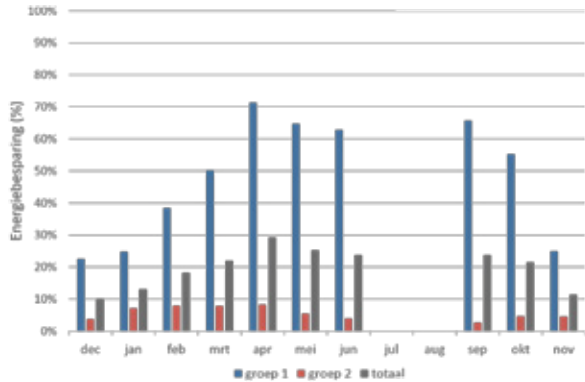
De gemiddelde daglichtfactor van het lokaal bedraagt 2,2 %.

Energiebesparing per armatuurrij / aanwezigheidsduur en brandtijd van de verlichting

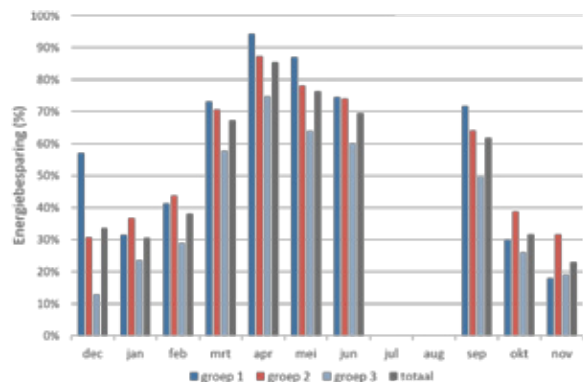
Energiebesparing klaslokaal 1



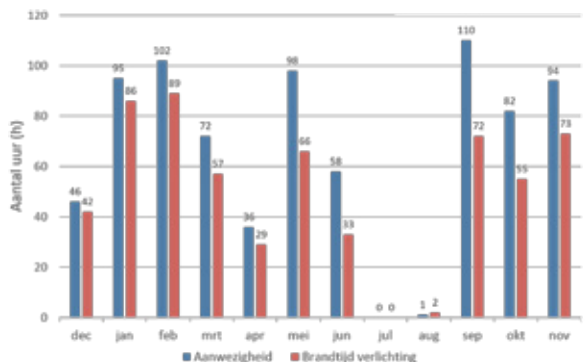
Energiebesparing klaslokaal 2



Energiebesparing klaslokaal 3



Aanwezigheid en brandtijd verlichting in klaslokaal 1



De aanwezigheidsduur en het aantal branduren van de verlichting in de klaslokalen 2 en 3 zijn heel gelijkwaardig aan deze in klaslokaal 1.



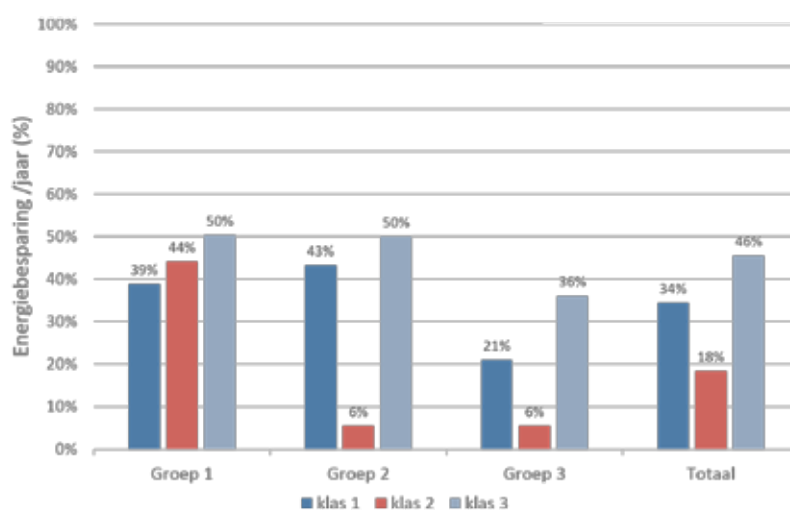
LESSONS LEARNT

In Don Bosco in Haacht werden drie naburige, quasi identieke klaslokalen uitgerust met een verschillend type daglichtregelsysteem. Het valt op dat de energiebesparing sterk verschillend is per klaslokaal, hoewel het gebruik van de lokalen en van de verlichting erg vergelijkbaar was. Vooral het verschil in de relatieve besparing van de groepen die dieper in de ruimte liggen (groepen 2 en 3), is opmerkelijk. De verklaring voor de aanzienlijke verschillen ligt in een combinatie van factoren. De belangrijkste reden lijkt de (al dan niet correcte) afstelling van elk van de systemen te zijn.

In de beoordeling van de energiebesparing is het van groot belang ook het behaalde visueel comfort, in het bijzonder de onderhouden verlichtingssterkte op het werkvlak, te evalueren. Het daglichtregelsysteem in klas 3 heeft op jaarbasis de hoogste energiebesparingen gerealiseerd. Uit metingen blijkt echter dat het systeem de kunstverlichting soms uitschakelde terwijl er wel nog nood was aan kunstlicht. Hierdoor bedroeg de verlichtingssterkte op het werkvlak soms slechts 300 lx, terwijl 500 lx gewenst was. Dit plaatst de hoge energiebesparing in klas 3 in perspectief. Het probleem deed zich vooral dieper in het lokaal voor (groepen 2 en 3), aangezien de gewenste 500 lx aan de raanzijde veelal reeds met alleen daglicht gehaald wordt.

In klas 2 waren er geen klachten over het visueel comfort, maar blijkt de energiebesparing van de armatuurrijen in het midden en aan de gangzijde zeer klein te zijn. Het systeem dimt de armatuurrijen nauwelijks terug, terwijl dit soms wel toegestaan is. Zo werden in klas 2 vaak hoge verlichtingssterktes van 700 lx en meer gemeten terwijl de gevraagde verlichtingssterkte slechts 500 lx bedraagt.

Het daglichtregelsysteem in klas 1 zorgde voor aanzienlijke energiebesparingen terwijl aan de comforteisen van de gebruikers steeds voldaan werd. In deze casestudie komt het systeem waarbij daglichtregeling per armatuur gebeurt dus als meest performante oplossing uit de bus. Deze resultaten mogen echter niet zomaar veralgemeend worden. Indien de vertegenwoordigers van de fabrikanten van de daglichtregelsystemen die in klassen 2 en 3 geïnstalleerd werden hun systeem beter hadden kunnen afstellen, dan hadden hier gelijkaardige resultaten als in klas 1 gehaald kunnen worden. Omgekeerd had ook het systeem in klas 1 minder goed kunnen presteren, had hier niet de nodige aandacht naar correcte installatie en afstelling gegaan.



CASESTUDIE

HEILIG-HART & COLLEGE HALLE

Belang van correcte installatie en afstelling



ALGEMEEN

Naam school: **Heilig-Hart & College**Locatie: **Halle (Vlaams Brabant)**Bouwjaar gebouw: **2012**Aantal gemonitorde klaslokalen: **1**

KLASLOKAAL

Lengte (evenwijdig aan raamzijde)	9,2m
Diepte (loodrecht op raamzijde)	6,4m
Hoogte	2,9m
Reflectiecoëfficiënten plafond / muren \perp ramen / vloer	68 % / 48 % / 4 %

DAGLICHTTOEDREDING

Type	verticale vensters langs één zijde van het klaslokaal
Oriëntatie vensters	ZO
LT-factor beglazing	0,78
Window-To-Wall ratio	0,57
Window-To-Floor ratio	0,26
Diepte klaslokaal / hoogte raamlatei	2,1
Type zon-/lichtwering	geperforeerde screens aan de buitenzijde
Type sturing zon-/lichtwering	automatisch gestuurd, manuele override mogelijk

**VERLICHTING LESSENAARSZONE**

Type	fluorescentieverlichting
Ontwerpniveau praktijkverlichtingssterkte	500 lx
Aantal armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	2
Aantal armaturen per armatuurrij	4
Geïnstalleerd vermogen	512 W
Specifiek vermogen	1,64 W/(m ² .100lx)

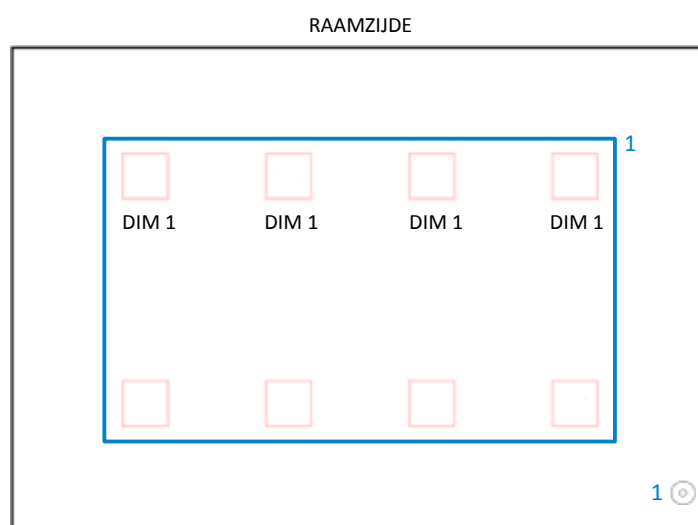
**LICHTREGELING**

Daglichtregeling (dimbaar daglichtregelsysteem)

Afwezigheidsdetectie

**DAGLICHTREGELING**

Aantal dimbare armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	1 (armatuurrij raamzijde)
Afstelling	500 lx
Type	afwezigheidsdetector met geïntegreerde daglichtsensor (vrije positionering)
Regelstrategie	closed loop
Type communicatie	KNX-DALI (centraal gebouwbeheersysteem)
Aantal gedimde verlichtingstoestellen	4
Aantal verschillende dimsignalen	1

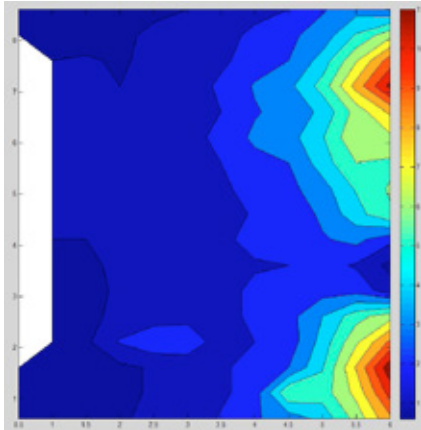


▲ Schema van de kunstverlichting en van de daglichtregeling

CASESTUDIE

 ONDERZOEKSRISULTATEN

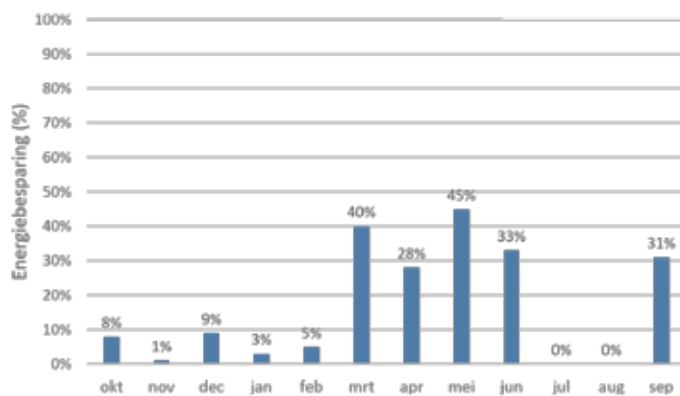
Daglichtfactor



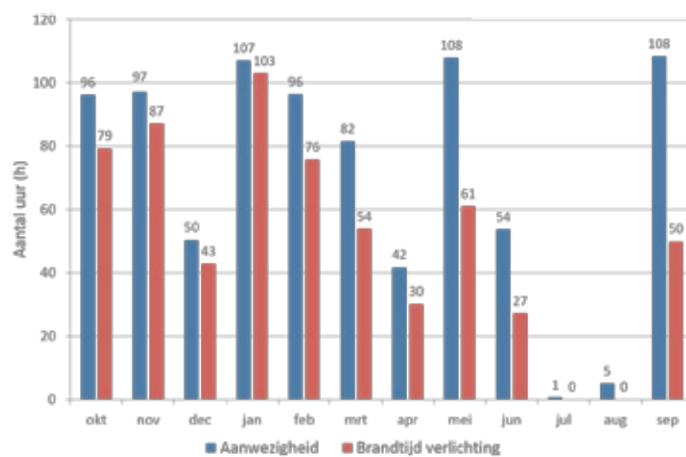
^ Metingen van de daglichtfactor in het klaslokaal (raamzijde rechts)

De gemiddelde gemeten daglichtfactor van het lokaal bedraagt 2,6 %.

Energiebesparing van de armatuurrij aan de raamzijde



Aanwezigheidsduur en brandtijd van de verlichting





LESSONS LEARNT

Het klaslokaal van Heilig-Hart & College Halle was reeds uitgerust met daglichtregeling nog voor er sprake was van het TETRA-project. Dit betekent dat binnen het TETRA-project initieel enkel de monitoring werd toegevoegd aan de installatie, zonder aanpassingen te maken aan de manier waarop het daglichtregelsysteem werkt.

De grafiek waarop de maandelijkse procentuele energiebesparing door daglichtregeling van de armatuurrij aan de raamzijde wordt weergegeven, valt duidelijk in te delen in twee stukken. De energiebesparing door daglichtregeling vóór maart 2014 is erg beperkt. Dit is te wijten aan een foute afstelling van het daglichtregelsysteem bij ingebruikname. Een standaardinstelling in de programmatie van het systeem werd niet gewijzigd in functie van de werkelijke situatie, terwijl dit wel nodig bleek te zijn. Het euvel werd slechts opgemerkt na analyse van de meetresultaten van het TETRA-project.

Begin maart werd een herafstelling van het daglichtregelsysteem uitgevoerd. Sindsdien is de maandelijkse besparing door daglichtregeling opmerkelijk gestegen. Voor herafstelling bedroeg de maandelijkse energiebesparing nooit meer dan 10%, na herafstelling liep deze in bepaalde maanden op tot bijna 50%. Hoewel de sterk verhoogde energiebesparing in de volgende maanden ook deels het gevolg is van het feit dat de weersomstandigheden in die periode gunstiger waren, is het duidelijk dat de sprong in de grafiek ook gekoppeld is aan de herafstelling. Dit onderstreept nogmaals het belang van het correct uitvoeren van de afstelling van daglichtregelsystemen en van de opvolging van de werking ervan na ingebruikname (commissioning).

CASESTUDIE

INSTITUUT SINT-VINCENTIUS A PAULO GIJZEGEM

Brandtijd van de verlichting als bepalende factor



ALGEMEEN

Naam school: **Instituut Sint-Vincentius a Paulo**

Locatie: **Gijzegem (Oost-Vlaanderen)**

Bouwjaar gebouw: **1960**

Aantal gemonitorde klaslokalen: **1**

KLASLOKAAL

Lengte (evenwijdig aan raamzijde)	9,0m
Diepte (loodrecht op raamzijde)	7,5m
Hoogte	3,4m
Reflectiecoëfficiënten plafond / muren ⊥ ramen / vloer	73 % / 52 % of 64 % / 47 %

DAGLICHTTOEDREDING

Type	verticale vensters langs één zijde van het klaslokaal, bijkomend indirecte daglichtinval door ramen grenzend aan gangzijde
Oriëntatie vensters	ZW
LT-factor beglazing	onbekend (vermoedelijke waarde: ± 0,8)
Window-To-Wall ratio	0,73
Window-To-Floor ratio	0,33
Diepte klaslokaal / hoogte raamlatei	2,4
Gemiddelde daglichtfactor	± 5,3 %
Type zon-/lichtwering	lichtdoorlatende gordijnen

**VERLICHTING LESSENAARZONE**

Type	fluorescentieverlichting
Ontwerpniveau praktijkverlichtingssterkte	500 lx
Aantal armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	2
Aantal armaturen per armatuurrij	3
Geïnstalleerd vermogen	384 W

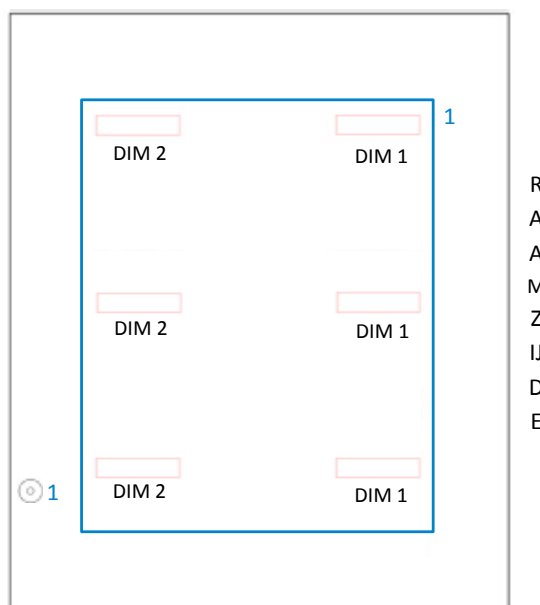
**LICHTREGELING**

Daglichtregeling (dimbaar daglichtregelsysteem)

Afwezigheidsdetectie

**DAGLICHTREGELING**

Aantal dimbare armatuurrijen evenwijdig met raamzijde	2
Afstelling	500lx
Type	afwezigheidsdetector met geïntegreerde daglichtsensor (integratie in armatuur – master + slave)
Regelstrategie	closed loop
Type communicatie	DALI
Aantal gedimde verlichtingstoestellen	6
Aantal verschillende dimsignalen	2

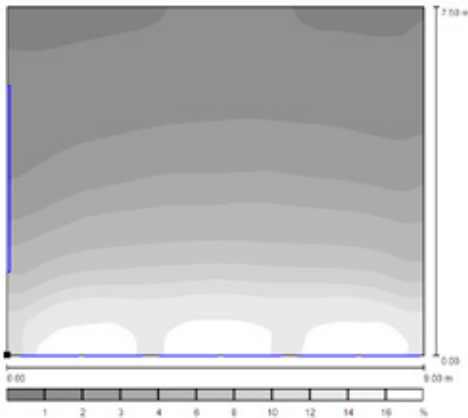


← Schema van de kunstverlichting en van de daglichtregeling

CASESTUDIE

ONDERZOEKSRISULTATEN

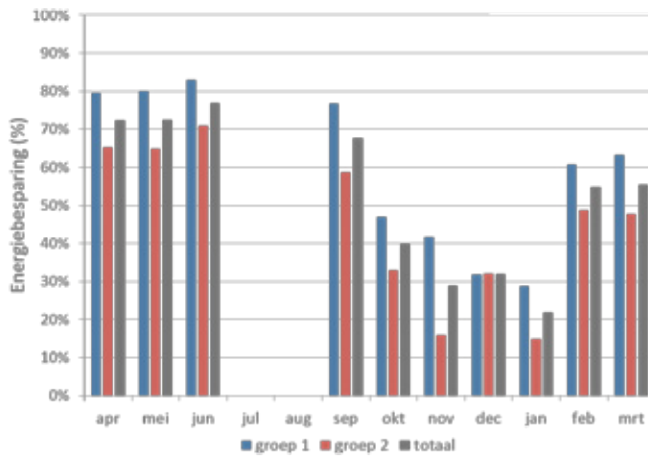
Daglichtfactor



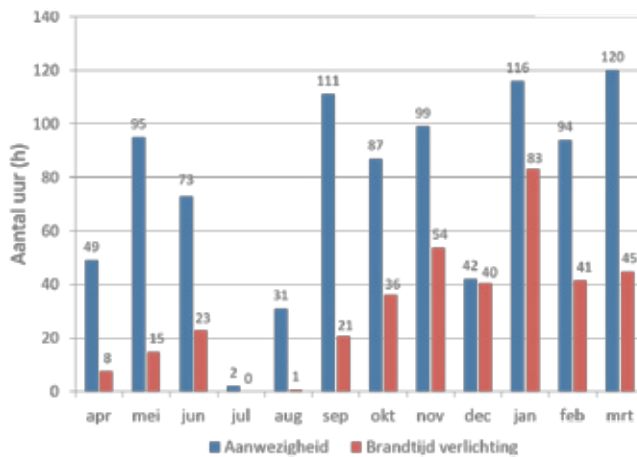
Simulaties van de daglichtfactor in het klaslokaal (raamzijde onderaan)

De berekende gemiddelde daglichtfactor van het lokaal bedraagt 5,3 %.

Energiebesparing per armatuurrij



Aanwezigheidsduur en brandtijd van de verlichting





LESSONS LEARNT

Doordat er heel veel daglicht in het klaslokaal binnenvalt (gemiddelde daglichtfactor: 5,3 %), is de relatieve energiebesparing door daglichtregeling voor allebei de armatuurrijen in het klaslokaal hoog: voor de armatuurrij aan de raamzijde (groep 1) werd op jaarbasis een relatieve besparing van 50 % bekomen, op de armatuurrij aan de gangzijde (groep 2) werd 36 % energie bespaard. Uit metingen bleek bovendien dat de door het daglichtregelsysteem te onderhouden verlichtingssterkte van 500 lx steeds gehaald werd. Aan de twee belangrijkste criteria bij toepassing van een daglichtregelsysteem, het realiseren van een aanzienlijke energiebesparing terwijl het visueel comfort van de gebruiker verzekerd blijft, lijkt dus helemaal voldaan te zijn.

De sterke daglichtinval heeft echter ook tot gevolg dat bijkomend kunstlicht maar heel weinig nodig is en de kunstverlichting dus niet vaak ingeschakeld wordt. De relatieve energiebesparing door toepassing van daglichtregeling is dan wel erg hoog, maar door het beperkt aantal branduren is de besparing op het absoluut energieverbruik van de verlichting laag. Contradictorisch genoeg kunnen lokalen met heel veel daglichtinval (en weinig branduren van de verlichting) dus minder geschikt zijn voor daglichtregeling dan lokalen waar minder daglicht invalt en waar de verlichting vaak wordt aangestoken.



AUTEURS

Ruben Delvaeye (WTCB)

Catherine Lootens (KU Leuven Technologicampus Gent)

Wouter Ryckaert (KU Leuven Technologicampus Gent)

REVIEWER

Bertrand Deroisy (WTCB)

5 Onderhoud en renovatie

Een noodzakelijk kwaad?

Vooraleer een renovatie van de verlichting wordt uitgevoerd, moet er een doorlichting gebeuren van de bestaande verlichtingsinstallatie om te weten te komen in welke mate een vernieuwing van de verlichting nodig is. Mogelijke vragen hierbij zijn: bereikt de verlichtingssterkte nog steeds het juiste niveau? Zijn er hinderlijke schaduwen? Is het geïnstalleerd vermogen van de verlichting niet te hoog? Ook na renovatie moet de werking van de verlichting en van de lichtregelsystemen regelmatig gecontroleerd worden. Bijvoorbeeld: dimt het daglichtregelsysteem bij veel daglichtinval nog wel terug? Wordt er tegelijk ook voldaan aan de eisen op vlak van visueel comfort? Daarnaast moet er regelmatig nagekeken worden of de daglichttoetreding in de ruimte veranderd is. Zo is het bijvoorbeeld belangrijk om de groei van beplanting in de buurt van de daglichtopeningen in de hand te houden. Ook moeten de beglazing en de wanden van de ruimte tijdig een grote schoonmaak ondergaan met het oog op het behoud van daglichtinval en de garantie van een goede verdeling ervan in de ruimte. Tot slot moet er op toegezien worden dat gebruikers van de ruimte voldoende worden ingelicht over het correcte gebruik van de verlichtingsinstallatie. Dit is de laatste jaren alleen maar belangrijker geworden door het toenemend gebruik van soms complexe lichtregelsystemen.

Inleiding

Onderstaande vragenlijst kan als checklist gebruikt worden om de toestand van daglicht- en kunstlichtomstandigheden in een ruimte in te schatten, zowel op vlak van visueel comfort als op vlak van energie-efficiëntie. Op basis van de resultaten van de vragenlijst kan men bepalen of er nood is aan onderhoud of renovatie van de verlichting.

In functie hiervan wordt er ook een overzicht gegeven van de verschillende niveaus waarop het onderhoud of de renovatie van de kunstverlichting kan gebeuren. Zo wordt er onderscheid gemaakt tussen verschillende mogelijke ingrepen, zoals lampvervanging, lampvernieuwing, aanpassing van het verlichtingstoestel,... tot zelfs de vernieuwing van de volledige lichtinstallatie.

Tot slot komt ook de sensibilisering van de gebruikers van de verlichting aan bod, aangezien de bewustmaking van de gebruikers een grote impact kan hebben op de werking van een verlichtingsinstallatie en op de energiebesparing die ermee gerealiseerd wordt.

5.1 Door-licht-ing: naar een energiezuinige en comfortabele verlichting

In onderstaande checklist wordt via vraagstelling de nadruk gelegd op een aantal aandachtspunten met betrekking tot controle van de kwaliteit van de daglichttoetreding en prestaties van de verlichtingsinstallatie. Deze checklist kan doorgaans probleemloos doorlopen worden op basis van feedback van personen die de ruimte dagelijks gebruiken, gecombineerd met een bezoek aan de betrokken ruimte. Een meer beknopte versie van de checklist is terug te vinden in de bijlagen van deze publicatie.

5.1.1. Audit van de daglichttoetreding

Opmerking vooraf: bij de audit van de daglichttoetreding worden enkel aspecten bekeken die geen structurele wijzigingen aan de daglichtopeningen en aan de zonwering omvatten.

5.1.1.1. Hoeveelheid daglicht

VRAAG 1

Is er voldoende daglichtinval in de ruimte wanneer de zonwering geopend is? Is de verdeling van het daglicht in de ruimte goed?

FEIT: hoewel horizontale daglichtopeningen in een gebouw minder frequent gebruikt kunnen worden dan verticale daglichtopeningen, is het zeker nuttig om hun toepassing te overwegen wanneer dit mogelijk is. Horizontale daglichtopeningen kunnen tot drie keer meer licht binnen brengen dan verticale daglichtopeningen van dezelfde grootte. Ook de lichtverdeling is doorgaans uniformer dan bij toepassing van verticale daglichtopeningen.

VRAAG 2

Verhindert beplanting of enige andere belemmering nabij de vensters de inval van daglicht?

FEIT: een open omgeving rond de vensters creëren zorgt er niet alleen voor dat de inval van daglicht wordt verzekerd. Het biedt gebruikers van het lokaal ook een beter zicht naar buiten, wat bijdraagt tot het comfort van de gebruikers.

TIP: voorzie minstens jaarlijks een onderhoud van de buitenomgeving rondom de vensters (bv. tijdig snoeien van de beplanting).

5.1.1.2. Beheersing van de daglichttoetreding

VRAAG 3

Is er voldoende bescherming tegen verblinding (en oververhitting)?

FEIT: integratie van een performant zonweringsysteem waarborgt niet enkel het thermisch comfort in het gebouw (bescherming tegen oververhitting), het zorgt er ook voor dat de daglichttoetreding kan beheerst worden (bevorderen van daglichttoetreding in een gebouw terwijl verblinding vermeden wordt).

.....

VRAAG 4

Kan de ruimte bij projecties en bij gebruik van bijvoorbeeld smartboards worden verduisterd om een teveel aan zonlicht / daglicht te weren?

.....

VRAAG 5

Is de verduistering / zonwering door iedereen gemakkelijk te gebruiken? Wordt deze ook effectief correct gebruikt? (bv. blijft ze niet permanent gesloten?)

TIP: informeer de gebruikers over welk type verduistering / zonwering geïnstalleerd is en hoe deze kan gebruikt worden. Licht ook het belang van het actief gebruiken van de verduistering / zonwering toe.

.....

VRAAG 6

Zijn de gebruikers van het lokaal tevreden over het type verduistering / zonwering, en over de werking ervan?

.....

In geval van geautomatiseerde verduistering / zonwering:

VRAAG 7

Is het systeem goed ingeregeld? Gaat de verduistering / zonwering op het juiste moment op en neer? Gaat ze niet te vaak op en neer? Werken de verduistering / zonwering en eventuele lichtregelsystemen elkaar niet tegen?

FEIT: een correcte inregeling is van groot belang voor het goede werking van de zonwering. Zo is het fijn genoeg regelen van zonweringen met lamellen van cruciaal belang, aangezien het afregelen op de correcte hoekinstellingen van de lamellen soms moeilijk verloopt.

.....

VRAAG 8

Heeft de gebruiker zelf voldoende controle over het systeem? Kan de gebruiker op elk moment de positie van de verduistering / zonwering naar eigen wensen en behoefte verstellen?

.....

5.1.1.3. Onderhoud van de ruimte

✂ VRAAG 9

Is de beglazing van ruiten en/of lichtkoepels proper? Zijn de muren, het plafond en de vloer goed onderhouden?

TIP: probeer minstens jaarlijks een grondig onderhoud van de lokalen te voorzien, waarbij behalve de vloer ook ruiten en/of lichtkoepels, muren en het plafond schoongemaakt worden.

.....

✂ VRAAG 10

Hebben de muren en het plafond een heldere kleur (en dus hoge reflectiecoëfficiënt)?

FEIT: het herschilderen van een ruimte in een heldere kleur kan niet alleen het gemiddeld lichtniveau in de ruimte sterk verhogen, maar verbetert ook de beleving van de ruimte.

TIP: ook kiezen voor lichtgekleurd meubilair bevordert het gemiddeld lichtniveau in de ruimte, zeker in ruimtes zoals klaslokalen waarin het grootste deel van de vloer bezet is met meubilair.

.....

5.1.2. Audit van het visueel comfort en het gebruikscomfort van de verlichtingsinstallatie

Opmerking vooraf: om de audit van het visueel comfort van een verlichtingsinstallatie te kunnen uitvoeren, moet de kunstverlichting ingeschakeld worden. De testen worden uitgevoerd in niet-gedimde stand van de verlichting en worden, in het geval er verschillende lichtzones bestaan, herhaald voor elk mogelijk scenario.

5.1.2.1. De juiste hoeveelheid licht op de juiste plaats

✂ VRAAG 11

Bereikt de verlichtingssterkte het gewenste niveau op alle taakoppervlakken? Is de lichtstroom uit de lampen niet te sterk teruggevallen in vergelijking met het vorige nazicht?

FEIT: de norm NBN EN 12464-1 schrijft voor dat de praktijkverlichtingssterkte op de lessenaars 300 lx à 500 lx moet zijn, afhankelijk of het om dag- of avond-/volwassenonderwijs gaat.

FEIT: ook het schoolbord (of elk ander verticaal taakoppervlak) moet kunnen aangelicht worden. De door de norm aanbevolen praktijkverlichtingssterkte bedraagt 500 lx (al mag dit voor whiteboards doorgaans wat minder zijn).

WAARSCHUWING: de verlichtingssterkte op het taakoppervlak moet hoog genoeg zijn, maar te hoge verlichtingssterktes voorzien is ook te vermijden. De verlichtingsinstallatie overdimensioneren verbetert het visueel comfort niet, terwijl het risico op verblinding wordt verhoogd.

TEST: de meest objectieve manier om na te gaan of de verlichtingssterkte op de taakoppervlakken het gewenste niveau bereikt, is door het uitvoeren van metingen met behulp van een luxmeter. Indien gebruik gemaakt wordt van een luxmeter, is het van groot belang een idee te hebben van de degelijkheid en nauwkeurigheid van de gebruikte luxmeter. Ook de uitvoering van de metingen zelf verdient de nodige aandacht.

.....

In situ meting van de verlichtingssterkte: enkele aandachtspunten

1) Zorg dat de kunstverlichting minstens een half uur voor het aanvatten van de metingen ingeschakeld wordt. Er bestaan namelijk verschillende lamptypes die bij opstart niet meteen op volle sterkte branden, maar die een beperkte tijd later wel hun maximale lumenoutput uitstralen. Ook bij aanwezigheid van een daglichtregelsysteem heeft het systeem een zekere tijd nodig om terug te regelen naar een evenwichtspunt.

2) Het meten van de verlichtingssterkte op één punt van het werkvlak is niet voldoende. Het is belangrijk dat er een voldoende groot aantal punten opgemeten wordt om tot een representatieve waarde voor de gemiddelde verlichtingssterkte te komen. Een methode om het aantal en de positie van de meetpunten te bepalen, is terug te vinden in de norm NBN EN 12464-1.

3) Hou er rekening mee dat het meubilair en wijzigingen aan de positie ervan een grote impact kunnen hebben op de meetresultaten.

4) Wees je bewust van de degelijkheid en nauwkeurigheid van de gebruikte luxmeter. Het is belangrijk om de toestellen veilig op te bergen wanneer ze niet gebruikt worden. Daarnaast is het sterk aan te raden om meettoestellen af en toe opnieuw te laten kalibreren om zeker te zijn dat ze correcte meetresultaten opleveren.

5) Weet wat je meet! Wanneer je metingen uitvoert om een idee te krijgen van de maximale gemiddelde verlichtingssterkte die met de kunstverlichtingsinstallatie kan bekomen worden, dan mag de kunstverlichting tijdens de metingen niet gedimd zijn en moet de inval van daglicht vermeden worden. De metingen worden dan ook bij voorkeur uitgevoerd wanneer het donker is buiten (in “nachtomstandigheden”). Een alternatief is om de verduistering / zonwering te sluiten tijdens het uitvoeren van de metingen. Opgelet: dit kan wel een impact hebben op de metingen van de verlichtingssterkte (vooral in de zone aan de raamzijde) aangezien de reflectiecoëfficiënt van de verduistering / zonwering over het algemeen hoger is dan die van de beglazing.

Wanneer je daarentegen de werking van het daglichtregelsysteem wil evalueren, moet je ervoor zorgen dat de metingen gebeuren terwijl het daglichtregelsysteem werkt. Metingen worden bij voorkeur herhaald bij verschillende scenario's om zeker te zijn dat het daglichtregelsysteem onder alle omstandigheden goed presteert. De stand van de zonwering kan gevarieerd worden, maar ook het tijdstip waarop je de metingen uitvoert. Zo zal de daglichtinval (en dus de dimstand van

het daglichtregelsysteem) sterk verschillen van een zonnige dag ten opzichte van een regenachtige dag, maar ook van een zonnige zomerdag ten opzichte van een zonnige dag in de winter.

6) De meting van de verlichtingssterkte gebeurt in elk van de vooraf voorziene punten. De luxmeter wordt evenwijdig met het verlichte oppervlak geplaatst (horizontaal bij horizontaal werkvlak, verticaal bij een schoolbord,...). Voor meting van de horizontale verlichtingssterkte op een oppervlak is de meethoogte gelijk aan de hoogte van het werkvlak.

7) Zorg ervoor dat de metingen tijdens de uitvoering ervan niet beïnvloed worden door je aanwezigheid. Zorg er bijvoorbeeld voor dat je bij het aflezen van de meting niet in het gezichtsveld van de meetkop staat. Hierdoor zouden namelijk schaduwen kunnen gevormd worden op de plaats van de meting. Draag bij het uitvoeren van de metingen ook donkere kledij, zodat je zelf geen bijkomende reflecties veroorzaakt.

8) Op basis van de meetresultaten van de verlichtingssterkte in de verschillende punten kan de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit van de verlichtingssterkte berekend worden. De definitie van deze grootheden is terug te vinden in het hoofdstuk “Visuele prestatie en comfort” van deze publicatie.

9) Zorg ervoor dat de belangrijkste informatie van de metingen gedocumenteerd wordt in een beknopt verslag. Niet alleen informatie over de resultaten van de metingen, en hierbij het aantal en de positie van de meetpunten, is belangrijk. Ook informatie over de gebruikte luxmeter, over de beschouwde verlichtingsinstallatie en over eventuele eerdere onderhoudsbeurten moet in het verslag opgenomen zijn.



▲ Luxmeter voor het meten van de verlichtingssterkte

VRAAG 12

Is de bordverlichting afzonderlijk uit te schakelen of te dimmen om projectie en gebruik van bijvoorbeeld smartboards comfortabel te maken?

TIP: Voorzie specifieke bordverlichting om het schoolbord aan te lichten en zorg dat deze afzonderlijk van de algemene verlichting kan in- en uitgeschakeld (en/of gedimd) worden.

.....

VRAAG 13

Is de uniformiteit van de verlichtingssterkte over het werkvlak goed?

FEIT: de norm NBN EN 12464-1 schrijft in klaslokalen doorgaans een uniformiteit U_0 van 0,60 à 0,70 voor. Voor circulatieruimtes zoals gangen en trappen volstaat meestal een uniformiteit U_0 van 0,40.

TEST: net zoals bij meting van de verlichtingssterkte op zich, kan ook de uniformiteit van de verlichtingssterkte best nagegaan worden door het uitvoeren van metingen met behulp van een luxmeter. Tenzij het flagrant fout loopt, is het namelijk moeilijk om uniformiteit uitsluitend door visuele waarneming te beoordelen.

.....

VRAAG 14

Zijn er hinderlijke schaduwen?

TEST: neem eens plaats op verschillende plaatsen in het lokaal en beoordeel of er hinderlijke schaduwen ontstaan, bijvoorbeeld bij het uitvoeren van taken zoals lezen en schrijven. Controleer niet enkel op de lessenaars, maar ook aan het bord!

.....

VRAAG 15

Bestaat er risico op verblinding (zijn er verblindende lichtpunten in het gezichtsveld van de gebruikers van het lokaal)?

TEST: neem eens plaats op verschillende locaties in het lokaal en beoordeel of de kunstverlichting verblindend werkt.

.....

VRAAG 16

Zijn er niet te veel reflecties van lampen op computerschermen, schoolborden, ...?

TEST: neem eens plaats op verschillende locaties in het lokaal en ga na of je storende reflecties ondervindt.

.....

5.1.2.2. De kleur van en door verlichting

✍ VRAAG 17

Is de kleurtemperatuur van het kunstlicht goed (niet te koud of te warm)?

FEIT: in ontspannings- en rustruimten verkiezen mensen doorgaans warmer licht (lagere kleurtemperatuur). In ruimten waar men meer geconcentreerd moet werken, wordt vaker gekozen voor wat kouder licht (hogere kleurtemperatuur).

.....

✍ VRAAG 18

Is de kleurtemperatuur van alle lampen in het lokaal hetzelfde?

FEIT: het gebruik van lampen met verschillende kleurtemperatuur in eenzelfde ruimte wordt vaak als storend ervaren door de gebruiker.

TEST: vergelijk de kleur van het licht dat uit de lampen komt of vergelijk de kleurcode die op de lampen vermeld staat.

.....

✍ VRAAG 19

Hebben de lampen een goede kleurweergave? Zien de kleuren in de omgeving er natuurlijk uit?

FEIT: de norm NBN EN 12464-1 schrijft in scholen doorgaans een minimale kleurweergave-index R_a van 80 voor. Voor specifieke toepassingen, zoals in het kunstonderwijs, moet de kleurweergave van het licht nog beter zijn (strengere eisen in EN 12464-1).

TEST: bekijk of bijvoorbeeld de huidskleur er natuurlijk uitziet onder het kunstlicht of controleer de kleurcode die op de lampen vermeld staat.

.....

5.1.2.3. De lichtregeling

✍ VRAAG 20

Zijn de geïnstalleerde lichtregelsystemen voor iedereen gemakkelijk te begrijpen en te gebruiken?

TIP: informeer de gebruikers over welke lichtregelsystemen geïnstalleerd zijn en hoe deze werken.

.....

✍ VRAAG 21

Zijn de gebruikers van het lokaal tevreden over de geïnstalleerde lichtregelsystemen en over hun werking? (bv. plakt men de daglichtsensor niet af om te vermijden dat de verlichting zou dimmen?)

.....

VRAAG 22

Heeft de gebruiker zelf voldoende controle over de kunstverlichting? Kan de gebruiker op elk moment de verlichting voldoende regelen naar eigen wensen en behoeften? (bv. kan de gebruiker op elk moment de verlichting manueel in- en uitschakelen? ; kan de gebruiker de verlichting manueel verder op- en neerdimmen ten opzichte van de instelling van het daglichtregelsysteem?)

FEIT: door de gebruiker de mogelijkheid te geven om de kunstverlichting te regelen, krijgt hij een hoger comfortgevoel (zelfs al gebruikt hij deze regelmogelijkheden niet).

5.1.2.4. Belang van onderhoud**VRAAG 23**

Zijn de lampen en de optiek van de armaturen proper?

FEIT: na verloop van tijd komt er stof op de lampen en op de optiek, waardoor het rendement van de armaturen en dus het lichtniveau in de ruimte daalt. Een periodieke reiniging (bv. jaarlijks of tweejaarlijks, afhankelijk van het type armatuur en het type ruimte) kan zorgen voor een behoud van de lichtstroom uit de armaturen, zonder extra energieverbruik!

WAARSCHUWING: spiegeloptieken hebben doorgaans een hoger rendement dan gelakte optieken, maar ze zijn ook gevoeliger voor vervuiling. Bij installatie en reiniging verdienen ze dan ook extra aandacht (vingerafdrukken achterlaten is uit den boze).

VRAAG 24

Zijn er defecte lampen of zijn er lampen die knipperen?

FEIT: elektronische voorschakelapparaten (T8, T5) zorgen ervoor dat defecte lampen automatisch uitgeschakeld worden. Hierdoor wordt vermeden dat ze zouden blijven knipperen en onnodig energie zouden blijven verbruiken.

TIP: stel een meerjarig onderhoudsplan op voor de verlichting waarin wordt vastgelegd wanneer de verlichtingstoestellen gereinigd moeten worden en wanneer de lampen vervangen moeten worden. Hierbij kan gekozen worden tussen individuele vervanging en groepsvervanging.

VRAAG 25

Zijn de muren, het plafond en de vloer proper?

TIP: probeer minstens jaarlijks een grondig onderhoud van de lokalen te voorzien, waarbij behalve de vloer ook ruiten en/of lichtkoepels, muren en het plafond schoongemaakt worden.

Individuele vervanging vs. groepsvervanging

Lampvervangingen kunnen gebeuren volgens twee basisprincipes: individuele vervanging of groepsvervanging. Bij groepsvervanging worden alle lampen gelijktijdig vervangen bij een vooraf afgesproken gemiddelde lichtterugval van de lampen. Doordat de lampen worden vervangen voordat ze defect zijn, is er sprake van “preventief” vervangen van de lampen. Bij individuele vervanging daarentegen worden de lampen afzonderlijk vervangen op het moment dat ze niet meer functioneren.

Beide principes hebben hun voor- en nadelen. Voordelen van groepsvervanging zijn bijvoorbeeld dat alle lampen voor dezelfde lichtstroom zorgen (geen vlekken in de verlichting door verschil tussen nieuwe en oude lampen) en dat er praktisch altijd en overal een voldoende hoog lichtniveau gegarandeerd is. Het onderhoud gebeurt bij groepsvervanging systematisch en is duidelijk gepland, waardoor de kosten die ermee gepaard gaan, voorspelbaar zijn. De kost wordt ingeperkt door alle lampen in één keer te vervangen, waardoor minder interventies nodig zijn dan bij individuele vervanging. Dit zorgt ervoor dat de overlast van het onderhoud voor de gebruiker beperkt blijft. Door groepsvervanging toe te passen, vergroot wel de kost voor het aanschaffen van nieuwe

lampen, aangezien de oudere lampen reeds worden vervangen voordat ze defect zijn.

Zeker in geval van hoge ruimtes zoals sporthallen en industriële gebouwen wordt gekozen voor groepsvervanging, aangezien voor de vervanging van de lampen vaak een hoogwerker dient gehuurd te worden. Bijkomend voordeel voor de industrie is dat de productie slechts een keer moet stilgelegd worden voor onderhoud van de volledige installatie. Er kan hierbij zelfs nog geopteerd worden voor lampen met ‘lange levensduur’, waardoor het aantal onderhoudsinterventies en dus de kost verder wordt ingeperkt. Ook in kantoren wordt het onderhoud van de verlichting vaak uitbesteed, waardoor hier ook vaak voor het principe van groepsvervanging gekozen wordt.

In scholen wordt vaker gekozen voor individuele vervanging van kapotte lampen. Het gevaar hierbij is dat als er niemand vast aangesteld is voor het nazicht van de verlichting, kapotte lampen gedurende lange tijd niet worden vervangen. Afhankelijk van het feit of het onderhoud van de verlichting in scholen intern of extern gebeurt, is individuele of groepsvervanging het meest aangewezen.

VRAAG 26

Hebben de muren en het plafond een heldere kleur (en dus hoge reflectiecoëfficiënt, conform de aanbevelingen in de norm NBN EN 12464-1)?

FEIT: het herschilderen van een ruimte in een heldere kleur kan niet alleen het gemiddeld lichtniveau in de ruimte sterk verhogen, maar ook de beleving van de ruimte verbeteren.

FEIT: de waarden voor de reflectiecoëfficiënt van plafond, muren en vloer die door de norm NBN EN 12464-1 worden aanbevolen, zijn respectievelijk 0,7-0,9, 0,5-0,8 en 0,2-0,4.

FEIT: in ruimtes waarvan een groot deel van de vloeroppervlakte bezet is met meubilair (bv. klaslokalen) kan ook (de helderheid van de kleur van) het meubilair het gemiddeld lichtniveau in de ruimte sterk beïnvloeden.

.....

5.1.3. Audit van de energieprestatie van de verlichtingsinstallatie

5.1.3.1. Het verlichtingstoestel: het geheel van armatuur en lamp

VRAAG 27

Zijn de gebruikte lamptypes efficiënt?

FEIT: de efficiëntie van een lamp verschilt sterk in functie van het type lamp. De maatstaf om te bepalen of een lamptype efficiënt is, is het lichtrendement van de lichtbron (uitgedrukt in “lumen/watt” (lm/W)).

FEIT: gloeilampen, inclusief halogeenlampen, zijn zeer energieverslindend (respectievelijk maximaal 17 en 24 lm/W), maar ook fluorescentielampen van het type T12 en de oude generatie T8 zijn minder efficiënt. T5 tl-lampen zijn met een maximaal lichtrendement van ongeveer 100 lm/W heel efficiënt. Ook ledverlichting heeft doorgaans ook zo een hoge energie-efficiëntie, hoewel de variatie in prestatie van verschillende ledproducten nog steeds groter is dan bij klassieke lichtbronnen.

VRAAG 28

Zijn de armaturen efficiënt?

FEIT: in scholen en kantoren wordt (nog) heel vaak voor fluorescentieverlichting gekozen en moet minstens gestreefd worden naar armaturen met een armatuurrendement (LOR) van 80%. Meer en meer wordt er voor hoogrendementsarmaturen gekozen, waar mag gerekend worden op een LOR van 90% of meer. Let wel: bij led is niet de LOR, maar wel de LER (uitgedrukt in lm/W) de maatstaf voor de efficiëntie.

TIP: controleer bij een nieuwe installatie of de geplaatste armaturen overeenkomen met de armaturen in de goedgekeurde lichtstudie.

VRAAG 29

Brengen de armaturen het licht naar de juiste plaats? Met andere woorden: wordt het licht voornamelijk naar de taakoppervlakken gestuurd en er evenwichtig over verspreid?

FEIT: directe verlichting is energetisch gezien vaak de meest efficiënte manier van verlichten, aangezien het licht rechtstreeks naar het taakoppervlak gestuurd wordt. Hoewel indirecte verlichting doorgaans wat minder efficiënt is, is ze nu en dan toch gewenst om het visueel comfort te verbeteren.

FEIT: voor bordverlichting worden bij voorkeur specifieke armaturen met een asymmetrisch stralingsprofiel gebruikt.

FEIT: naakte TL-lampen zonder reflector zijn in elk geval te vermijden, aangezien het licht in alle richtingen uitgestraald wordt. Er komt dus slechts een beperkte hoeveelheid van de lichtstroom op het taakoppervlak terecht.

TIP: controleer bij een nieuwe installatie of de plaatsing van de verlichtingstoestellen overeenstemt met de inplanting volgens de goedgekeurde lichtstudie (zowel qua positie als qua richting).

VRAAG 30

Zijn de verlichtingstoestellen nog uitgerust met een conventioneel elektromagnetisch voorschakelapparaat?

FEIT: conventionele elektromagnetische voorschakelapparaten hebben een lage efficiëntie. Voor het uitstralen van eenzelfde lichthoeveelheid verbruikt een verlichtingstoestel met een elektromagnetisch voorschakelapparaat 20 à 25% meer energie dan een verlichtingstoestel met elektronisch voorschakelapparaat.

TEST: verlichtingstoestellen die zijn uitgerust met een conventioneel elektromagnetisch voorschakelapparaat zijn herkenbaar aan het knipperen van de lampen en het brommen bij opstart, aan de aanwezigheid van een starter, en aan het feit dat lampen blijven knipperen aan het einde van de levensduur.

VRAAG 31

Is het specifiek vermogen van de verlichtingsinstallatie veel hoger dan $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$?

FEIT: als het specifiek vermogen van de verlichtingsinstallatie veel hoger ligt dan deze richtwaarde, dan is de verlichtingsinstallatie niet energiezuinig. Als richtwaarde voor het specifiek vermogen van een nieuwe energiezuinige verlichtingsinstallatie voor de algemene verlichting in school- en kantoorgebouwen kan anno 2016 uitgegaan worden van 1,3 à 1,6 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$.

WAARSCHUWING: het criterium voor het specifiek vermogen is slechts geldig zolang er enkel eisen naar verlichting toe gesteld worden op een horizontaal werkvlak dat qua grootte ongeveer overeenkomt met de totale vloeroppervlakte.

Inschatting specifiek vermogen

- 1) Bepaal het totaal vermogen van de verlichtingsinstallatie (W) door het tellen van het aantal lampen en het bepalen van het vermogen van de lampen (dit staat doorgaans op de lamp vermeld). Wanneer conventionele elektromagnetische ballasten gebruikt worden bij fluorescentielampen, moet het lampvermogen met 20% verhoogd worden.
- 2) Bepaal de vloeroppervlakte van het lokaal (m^2).
- 3) Bereken het geïnstalleerd vermogen per oppervlakte-eenheid (W/m^2).
- 4) Maak een inschatting van de gemiddelde verlichtingssterkte op het werkvlak door de verlichtingssterkte op een (voldoende groot) aantal punten verspreid over het werkvlak te meten en het gemiddelde hiervan te bepalen (lx).
- 5) Maak een inschatting van het specifiek vermogen door het geïnstalleerd vermogen per oppervlakte-eenheid te delen door de gemiddelde verlichtingssterkte ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$).

5.1.3.2. De lichtregeling

✂ VRAAG 32

Kan de verlichting van elke ruimte afzonderlijk in- en uitgeschakeld worden?

.....

✂ VRAAG 33

Is de verlichtingsinstallatie van een individuele ruimte onderverdeeld in verschillende lichtkringen (zoning), zodat deze afzonderlijk kunnen in- en uitgeschakeld (en/of gedimd) worden?

TIP: zoning kan onder andere voor volgende toepassingen nuttig zijn:

- Afzonderlijk schakelbaar maken van algemene verlichting en bordverlichting
 - Manueel regelen volgens aanwezigheid van daglicht: afzonderlijk schakelbaar maken van afzonderlijke armatuurrijen, afhankelijk van afstand tot de vensters
 - Grote ruimtes onderverdelen in verschillende zones, zodat het mogelijk is om de verlichting enkel in te schakelen in de zones die effectief bezet zijn
-

✂ VRAAG 34

Wordt de aandacht van de gebruiker erop gevestigd dat hij de verlichting moet uitschakelen bij het verlaten van de ruimte?

TIP: wijs gebruikers erop dat het uitschakelen van de verlichting bij het verlaten van het lokaal een must is. Persoonlijk aangesproken worden leidt vanzelf tot een meer bewust omgaan met het gebruik van verlichting (en energie in het algemeen).

.....

Als er nog geen automatische lichtregelsystemen aanwezig zijn:

✂ VRAAG 35

Blijft de verlichting vaak onnodig branden (bijvoorbeeld 's nachts of tijdens de middagpauze)?

TIP: ga na of het interessant is om een lichtregelsysteem te voorzien dat de verlichting automatisch uitschakelt in niet-gebruikte lokalen. De meest aangewezen oplossing hiervoor in klaslokalen is afwezigheidsdetectie. In sanitaire ruimtes, gangen, trappenhalen en kleinere kantoren vallen zowel aan- als afwezigheidsdetectie te overwegen, afhankelijk van de wensen van de gebruiker. Indien de bezettingsrooster van de ruimtes van een gebouw op voorhand goed in te schatten valt, kan ook het toepassen van een tijdsgestuurde regeling interessant zijn.

.....

✂ VRAAG 36

Wordt de verlichting in het lokaal vaak ingeschakeld, ondanks het feit dat de daglichttoetreding in het lokaal aanzienlijk is? Wordt de verlichting uitgeschakeld bij veel daglichtinval?

TIP: ga na of het interessant is om een daglichtregelsysteem te voorzien.

.....

Als er wel reeds automatische lichtregelsystemen aanwezig zijn:

VRAAG 37

Zijn de lichtregelsystemen goed geïnstalleerd?

- Is de aan-/afwezigheidsdetector geplaatst volgens de richtlijnen van de fabrikant (bv. juiste positie van de detector)?
 - Is de sensor van het daglichtregelsysteem geplaatst volgens de richtlijnen van de fabrikant (bv. juiste positie en oriëntatie van de daglichtsensor)?
-

VRAAG 38

Zijn de lichtregelsystemen nog steeds goed ingesteld?

- **Zorgt de aan-/afwezigheidsdetector dat de verlichting uitvalt na de ingestelde nalooptijd? Is de nalooptijd afgestemd op de noden van de ruimte?**

TIP: bij ruimtes met een vast bezettingsrooster (zoals klaslokalen) is het interessant om de duur van de pauzes mee te nemen als een van de bepalende parameters bij de keuze van de nalooptijd van de aan- of afwezigheidsdetector.

- **Dimt het daglichtregelsysteem de verlichting in functie van de invallende hoeveelheid daglicht terug naar het gewenste lichtniveau? Wordt de verlichting nog wel gedimd bij inval van daglicht (= is de energiebesparing niet te laag)? Wordt de verlichting niet te sterk gedimd (= is het niet te donker in het lokaal)?**

TIP: informeer de gebruikers bij installatie van een daglichtregelsysteem en vraag actief om feedback over de werking ervan om zeker te zijn dat het daglichtregelsysteem goed functioneert en om te vermijden dat de gebruikers het systeem saboteren in plaats van problemen te melden.

TIP: voorzie, nadat de lichtregelsystemen initieel volgens de behoeften en de wensen van de gebruikers goed ingesteld werden, minstens jaarlijks een nazicht van hun werking om te zien of ze nog steeds doen wat er van hen verwacht wordt.

.....

VRAAG 39

Worden de lichtregelsystemen correct gebruikt? (bv. laat men de verlichting niet systematisch branden bij het verlaten van het lokaal omdat men toch weet dat deze na bijvoorbeeld tien minuten uitvalt?)

.....

5.2 Onderhoud en renovatie: mogelijke ingrepen

Aan de hand van voorgaande checklist kan nagegaan worden of een onderhoud van ruimte en omgeving nodig is om voldoende daglichttoetreding te verzekeren. Daarnaast kunnen er met de checklist ook eventuele problemen aan de verlichtingsinstallatie vastgesteld worden: het gebruik van inefficiënte lamptypes, het voorkomen van hinderlijke schaduwen, een reëel risico op verblinding,... In dit geval dient er een aanpassing van de verlichtingsinstallatie te worden overwogen, waarbij zowel het visueel comfort als de energieprestatie in aanmerking moet genomen worden. Zo kan men bekijken of het nuttig zou zijn om de positie van de verlichtingstoestellen en het aantal verlichtingstoestellen in het lokaal te wijzigen. Een goed voorstel houdt ook een betere lichtregeling in en moet een onderhoudsplan voorzien (reiniging, vervanging van lampen,...) om permanent een goede verlichting te verzekeren.

Er bestaan echter verschillende niveaus waarop de verlichting kan aangepast worden, van een simpele vervanging van een defecte lamp tot een volledige vernieuwing van de lichtinstallatie, al dan niet inclusief herinrichting van de ruimte. Algemeen gezien kan volgend onderscheid gemaakt worden:

- **Lampvervanging (ook wel “relamping” genoemd):** vervanging van een lamp door een lamp van hetzelfde type, zonder hierbij enige andere ingreep uit te voeren op het verlichtingstoestel of op de betrokken verlichtingsinstallatie. Een lampvervanging valt te beschouwen als een gebruikelijke ingreep bij het onderhouden van een verlichtingsinstallatie. bv.:
 - Vervanging T8 tl-lamp door eenzelfde T8 tl-lamp
 - Vervanging T5 tl-lamp door eco-versie van T5 tl-lamp
- **Lampvernieuwing (ook wel “uplampping” of “lamp retrofit” genoemd):** vervanging van een lamp door een ander type lichtbron dat compatibel is met de te vervangen lamp. Het betreft doorgaans recentere lamptechnologieën die energie-efficiënter werken dan het vervangen type lamp. Behalve de vervanging van de lamp worden ook bij lampvernieuwing geen verdere ingrepen uitgevoerd op het verlichtingstoestel of op de gehele verlichtingsinstallatie. bv.:
 - Vervanging halogeenlamp door ledlamp (bv. MR16)
 - Vervanging cfl-lamp door ledlamp (bv. E27)
- **Aanpassing van de verlichtingstoestellen (ook wel “luminaire retrofit” genoemd):** wijziging aan het verlichtingstoestel met als doel haar efficiëntie te verbeteren (vervanging van het voorschakelapparaat, aanpassing van de interne bekabeling, vervanging van de optiek,...). Aangezien het vervangen van een fluorescentielamp door een led tl-lamp meestal gepaard gaat met een aanpassing van de armatuur, wordt dit ook aanzien als een aanpassing van het verlichtingstoestel. Dergelijke ingrepen hebben het vervallen van de fabrieksgarantie op het verlichtingstoestel tot gevolg. Verder staat ook de conformiteitsgarantie ter discussie, waardoor de elektrische veiligheid en de brandveiligheid niet meer gewaarborgd zijn.
- **Vervanging van de verlichtingstoestellen (ook wel “luminaire replacement” genoemd):** de verlichtingstoestellen worden één op één vervangen door nieuwere toestellen (ontwikkeld volgens meer recente technologieën), zonder dat hierbij het aantal verlichtingstoestellen en de plaats van de verlichtingstoestellen in de ruimte wijzigt. Het oorspronkelijke elektrische schema blijft behouden bij vervanging van de verlichtingstoestellen.
- **Vernieuwing van de volledige lichtinstallatie:** een vernieuwing van de volledige lichtinstallatie, al dan niet inclusief de inrichting van de ruimte, houdt in dat zowel het type, de plaats als het aantal verlichtingstoestellen kan wijzigen ten opzichte van de oorspronkelijke verlichtingsinstallatie. Daarnaast kunnen er lichtregelsystemen voorzien worden en kan de ruimte heringekeeld worden (bv. herschilderen van de muren in een lichtere kleur).

Ook de term “relighting” wordt vaak gebruikt in de context van het renoveren van de verlichting. Niet iedereen verstaat echter hetzelfde onder deze term, waardoor hij in de praktijk gebruikt wordt voor het beschrijven van erg verschillende types ingrepen. Er wordt dan ook sterk aangeraden om steeds na te vragen wat met deze en andere termen precies bedoeld wordt.



Bij subsidieaanvragen hanteren administraties soms specifieke terminologieën die niet exact overeenstemmen met de hier beschreven begrippen. Het is dus steeds nuttig om dit na te kijken wanneer wordt nagegaan welke types renovaties van de verlichting in aanmerking komen voor subsidies.

5.3 Betrekken en sensibiliseren van de gebruikers

Het is niet alleen van belang dat de verlichting en de ruimten zelf goed onderhouden worden. Ook de gebruikers van de verlichting hebben een impact op de prestaties ervan. En dus is het belangrijk om hen steeds weer goed in te lichten en hen te sensibiliseren!

5.3.1. Sensibiliseer de gebruikers

- Moedig aan om energie te besparen. Organiseer bewustmakingscampagnes door het ophangen van aanmoedigende affiches in de buurt van de lichtschakelaars, het uithangen van posters in de gangen, het verspreiden van brochures, het uitdelen van actiestickers,... Kleine (ludieke) acties kunnen al snel voor aanzienlijke energiebesparingen zorgen!
- Wijs gebruikers er op dat het uitschakelen van de verlichting bij het verlaten van het lokaal belangrijk is. De kunstverlichting inschakelen mag daarentegen geen gewoonte zijn: als er genoeg daglicht binnenvalt, is het niet nodig om kunstlicht te gebruiken (of kan men de kunstverlichting uitschakelen).
- Als niemand wordt aangesproken, voelt niemand zich verantwoordelijk. Probeer mensen persoonlijk aan te spreken. Dit leidt vanzelf tot een meer bewust omgaan met het gebruik van verlichting (en energie in het algemeen).
- Zorg dat de gebruiker zich bewust is van het energieverbruik en van de kosten die eraan verbonden zijn. Toon cijfers (euro's) van het energieverbruik en van de gerealiseerde besparingen!
- Richt je tot je volledige doelpubliek, iedereen deelt mee in de verantwoordelijkheid! Het gaat niet alleen om leerkrachten en administratief personeel, maar ook om de leerlingen, het schoonmaakpersoneel,...
- Zorg dat campagnes regelmatig herhaald worden om continue inspanningen van de gebruikers te verzekeren. Het regelmatig herhalen van campagnes kan het gedrag van gebruikers veranderen, hun bewust maken van het belang van energie te besparen en zelfs helpen er een blijvende gewoonte van te maken.

Verlichting heeft ook een
'Uit'-schakelaar. Gebruik hem.
Red de wereld. Spaar energie.



Meer tips op www.kuleuven.be/energie

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT
LEUVEN

5.3.2. Betrek de gebruikers

- Zorg dat de gebruikers ingelicht zijn over de aanwezige verlichting / regelsystemen / zonwering en over de werking (automatische of manuele werking?) en het gebruik ervan.
- Vraag hen om feedback over de werking van het systeem en overtuig hen om problemen te melden wanneer deze zich zouden voordoen. Regelsystemen vragen soms een verfijning van de instelparameters, zeker bij een nieuwe installatie.
- Betrek niet alleen de leerkrachten, maar ook de leerlingen. Door bijvoorbeeld wekelijks een andere leerling de verantwoordelijkheid te geven over het uitschakelen van de verlichting na alle lessen, wordt hier langdurig de nadruk op gelegd. Dit werpt zowel op korte als op lange termijn vruchten af!

5.3.3. Meer dan alleen kosten-baten

- In deze publicatie is duidelijk geworden dat - puur economisch gezien - daglichtregelsystemen vooral geplaatst moeten worden in lokalen met een drukke dagelijkse bezetting. Zorg bij het opmaken van de jaarplanning dan ook dat lokalen die voorzien zijn van een daglichtregelsysteem zo vaak mogelijk bezet zijn!
- Anderzijds is verlichting zeer 'zichtbaar'. Gebruikers zien wanneer de verlichting automatisch teruggedimd of uitgeschakeld wordt. Daardoor 'zien' gebruikers de energiebesparing. Dit zorgt voor een algemene bewustmaking / geloofwaardigheid van het geheel van energiebesparende maatregelen (zoals isolatie, isolerende beglazing, reductie waterverbruik, ...). Wie gelooft namelijk dat een school energiebewust omgaat met natuurlijke bronnen wanneer het licht 's nachts blijft branden of onnodig wordt aangestoken bij voldoende daglichtinval?

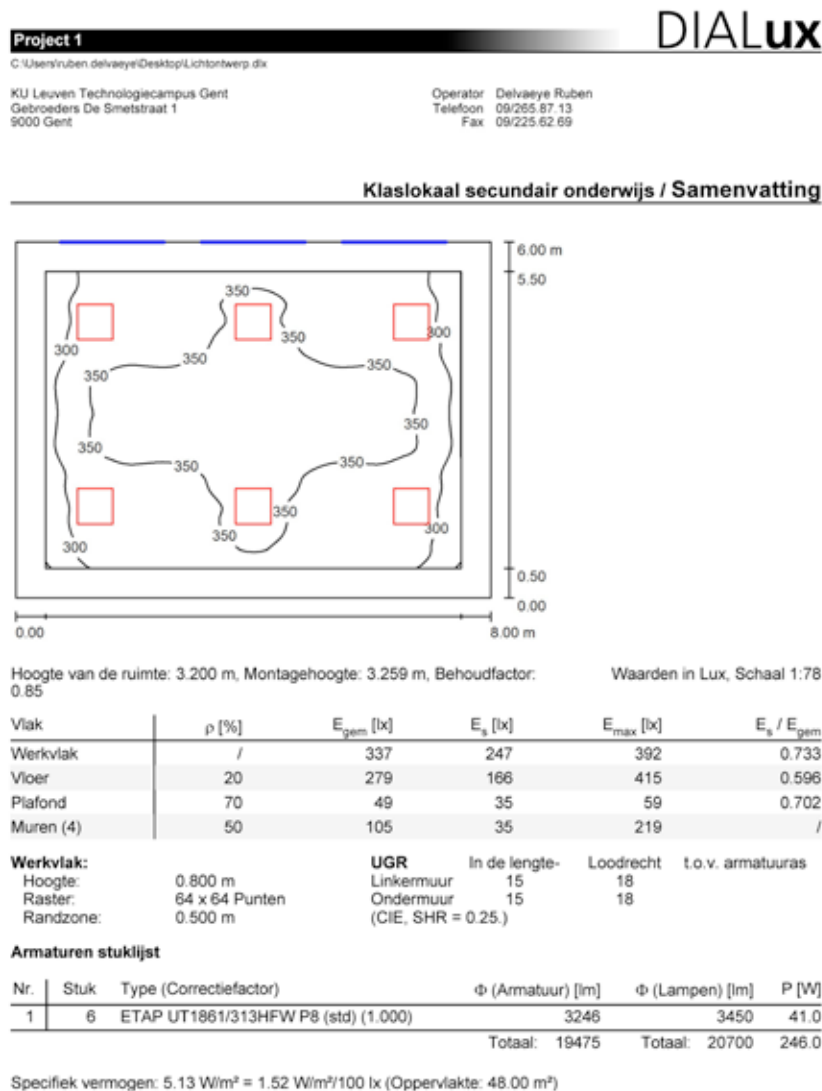
Bijlagen

B.1 Interpretatie van een lichtstudie in DIALux

Hierna is een voorbeeld terug te vinden van een samenvatting van een lichtstudie voor een klaslokaal, als beknopte output verkregen uit de simulatiesoftware DIALux. Behalve de samenvatting van de lichtstudie op zich wordt ook een interpretatie van de samenvatting gegeven en wordt aangegeven welke punten met extra aandacht behandeld moeten worden en waar mogelijke valkuilen zitten bij het uitvoeren of het vergelijken van verschillende lichtstudies.

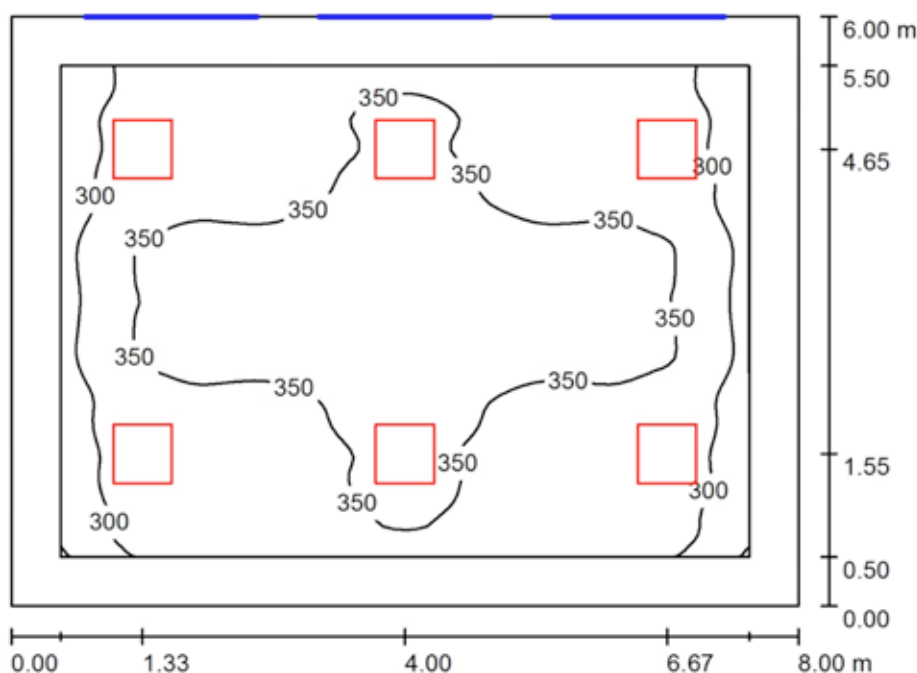
Er wordt van uitgegaan dat het om een klaslokaal voor het secundair onderwijs gaat. Op de lessenaars van het klaslokaal moet volgens de norm NBN EN 12464-1 minstens een gemiddelde praktijkverlichtingssterkte van 300 lx voorzien zijn. De lessenaars hebben geen vaste opstelling, waardoor er voor gekozen wordt om als horizontaal werkvlak de zone boven de volledige vloerooppervlakte van het lokaal te nemen.

Behalve het horizontaal werkvlak van de lessenaars zou nog een tweede (verticaal) werkvlak beschouwd kunnen worden in het lokaal: het schoolbord. Ter vereenvoudiging wordt er echter verondersteld dat er geen schoolbord aanwezig is in het lokaal, en er dus ook geen specifieke eisen voor dit soort werkvlak gesteld worden.



1. Geometrie en materiaaleigenschappen van de ruimte

In de eerste plaats dient bij het beoordelen van een lichtontwerp nagekeken te worden of de correcte afmetingen voor lengte, breedte en hoogte van de ruimte gebruikt zijn. De in de samenvatting opgegeven waarden voor lengte, breedte en hoogte zijn binnenafmetingen. Daarnaast speelt ook de montagehoogte/pendelhoogte en de positionering van de armaturen in het plafond een bepalende rol bij het correct bepalen van de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit op het werkvlak. De positie van de armaturen wordt in de samenvatting van de lichtstudie in DIALux niet automatisch getoond. Het is echter wel mogelijk om de inplantingscoördinaten van de armaturen te laten aanduiden op de visuele voorstelling van de ruimte. Daarnaast kan er ook een apart positieschema van de verschillende types armaturen opgevraagd worden.



* Plattegrond met isolijnen van de praktijkverlichtingssterkte over het taakoppervlak en met aanduiding van de inplantingscoördinaten van de armaturen

Behalve het correct invoeren van de geometrie, is er een realistische inschatting van de reflectiecoëfficiënten van plafond, muren en vloer nodig bij het maken van het lichtontwerp. In de praktijk wordt er vaak voor de standaardwaarden “70/50/20” (reflectiecoëfficiënt van 70 % voor plafond, 50 % voor muren en 20 % voor vloer) gekozen in school- en kantoorgebouwen. Wanneer in werkelijkheid echter met veel lichtere of donkerdere kleuren zal gewerkt worden, is het nodig om ook in de simulatiesoftware van de standaardwaarden af te wijken om met behulp van de simulaties waarheidsgetrouwe resultaten te bekomen.

Het is vooral de geometrie van de ruimte die bepaalt of wijziging van de reflectiecoëfficiënten een grote invloed zal hebben op de gemiddelde verlichtingssterkte. Zo zal de invloed van de reflectiecoëfficiënt van de vloer (en mindere mate van het plafond) in een lage ruimte met grote lengte en breedte, en uitgerust met directe verlichting, veel groter zijn dan de invloed van de reflectiecoëfficiënt van de muren. Een zeer groot deel van de uitgezonden lichtstroom reflecteert namelijk eerst op de vloeroppervlakte en erna op het plafond, terwijl de reflectiecoëfficiënt van de muren enkel bepalend is aan de rand van de ruimte. Deze rand maakt voor een lange en brede ruimte uiteraard een veel kleiner deel uit van de totale vloeroppervlakte dan in een smalle ruimte, waardoor de invloed op gemiddelde verlichtingssterkte hier dan ook veel kleiner is dan in een smalle ruimte. Hierbij valt tevens op te merken dat het al dan niet invoegen van meubilair bij het uitvoeren van een simulatie een belangrijke invloed kan hebben op de resultaten. In een klaslokaal wordt een zeer groot deel van de vloeroppervlakte namelijk bedekt met tafels, dewelke meestal ook een andere reflectiecoëfficiënt hebben dan de vloer.

De reflectiecoëfficiënt van de muren is dan weer zeer bepalend voor de uniformiteit, gedefinieerd als de verhouding van de minimale en de gemiddelde verlichtingssterkte op het werkvlak. Aangezien de minimale verlichtingssterkte veelal voorkomt nabij de muren, heeft een verhoging van de reflectiecoëfficiënt van de muren een zeer gunstige invloed op de waarde van de uniformiteit.

Ook de beglazing van ramen heeft een bepaalde reflectiecoëfficiënt. Aangezien de beglazing echter vooral licht doorlaat in plaats van te reflecteren, is de reflectiecoëfficiënt van beglazing meestal zeer laag (10 à 15 %). Doordat ramen vaak een groot deel van de geveleppervlakte uitmaken, en de invloed op de lichtverdeling in de ruimte dus niet te onderschatten is, is het dan ook van belang dat de grootte en positie van de daglichtopeningen correct worden ingegeven bij het maken van het lichtontwerp.

2. Het werkvlak: randzone, raster en hoogte

Naast de geometrie van het lokaal op zich heeft ook het al dan niet invoeren van een randzone zijn invloed op het resultaat voor de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit. Door het invoeren van een randzone verkleint het werkvlak (de randzone wordt dus niet meegerekend bij het bepalen van de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit voor het werkvlak). Meestal heeft het toevoegen van een randzone als gevolg dat de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit op het werkvlak stijgt, aangezien de plaatsen dicht bij de muren, waar de verlichtingssterkte meestal het laagst is, niet worden meegerekend. Of er effectief met een randzone gerekend mag worden, volgt uit analyse van de praktische invulling die het lokaal zal krijgen. Indien de buitenste 0,50 m overwegend niet zal gebruikt worden als werkvlak, is het perfect toelaatbaar om een randzone van 0,50 m op te nemen in het lichtontwerp.

Op het werkvlak wordt er een raster van punten gedefinieerd dat gebruikt wordt voor de berekening van de gemiddelde verlichtingssterkte en de uniformiteit op het werkvlak. Dit raster wordt standaard door de software gegenereerd (en dit is in de meeste gevallen voldoende), maar kan aangepast worden door de gebruiker. Aanpassingen zijn voornamelijk nodig wanneer het aantal rasterpunten te laag is. Bij keuze voor een lager aantal rasterpunten, zijn deze logischerwijze verder van elkaar en van de wanden verwijderd. Ook hier is het belangrijk om op te merken dat zich nabij de muren meestal de laagste waarden voor de verlichtingssterkte bevinden. Hiermee rekening houdend kan gesteld worden dat de minimale waarde van de verlichtingssterkte, en dus ook de uniformiteit, groter wordt naarmate er minder rasterpunten gekozen worden. De verandering van de gemiddelde verlichtingssterkte is namelijk beperkter dan de verandering van de minimale verlichtingssterkte. Om realistische waarden te bekomen, is het dus nodig dat er gekozen wordt voor een voldoende groot aantal rasterpunten. Ook de positie van het eerste rasterpunt moet bewust gekozen worden: het al dan niet toepassen van een halve rasterbreedte hangt vooral af van het al dan niet toepassen van een randzone.

Tot slot moet voor het horizontale werkvlak ook nog de hoogte gekozen worden. DIALux kiest hiervoor standaard een waarde van 0,80 m. Praktisch bedraagt de hoogte waarop het horizontale werkvlak (lessenaars en bureaus) zich in school- en kantoorgebouwen bevindt inderdaad meestal tussen 0,75 m en 0,85 m.

3. Onderhoudsfactor

Variatie van de waarde voor de onderhoudsfactor (ook wel depreciatiefactor of behoudsfactor genoemd) heeft ook een invloed op de resultaten. Telkens een lichtberekening wordt uitgevoerd, moet er een waarde voor de onderhoudsfactor gekozen worden. Deze houdt rekening met vier zaken:

- Vermindering van de lichtstroom uit lichtbronnen in de tijd
- Uitval van een bepaald percentage lichtbronnen
- Vervuiling van de armaturen
- Vervuiling van de ruimte

De onderhoudsfactor wordt ingerekend om er voor te zorgen dat de gemiddelde verlichtingssterkte op het werkvlak net voor een onderhoudsbeurt nog steeds hoger is dan (of minstens gelijk is aan) de nagestreefde verlichtingssterkte en hangt af van de properheid van de ruimte en van de onderhoudscyclus. Deze parameters zijn echter vrij te interpreteren en dus is de bepaling van de onderhoudsfactor niet volledig eenduidig. Het is zo dat er een evenredigheid bestaat tussen de onderhoudsfactor en de gemiddelde verlichtingssterkte: wanneer de onderhoudsfactor met 10 % verhoogd wordt, stijgt de gemiddelde verlichtingssterkte eveneens met 10 %. Indien de onderhoudsfactor van twee ontwerpen verschillend is, kan er dus gemakkelijk omgerekend worden. De uniformiteit blijft ongewijzigd bij verandering van de onderhoudsfactor.

4. Lichtwaarden voor het werkvlak en de wanden

De belangrijkste resultaten van de lichtberekeningen worden in tabelvorm gegeven in de samenvatting van het lichtontwerp.

Vlak	ρ [%]	E_{gem} [lx]	E_s [lx]	E_{max} [lx]	E_s / E_{gem}
Werkvlak	/	337	247	392	0.733
Vloer	20	279	166	415	0.596
Plafond	70	49	35	59	0.702
Muren (4)	50	105	35	219	/

▲ Overzichtstabel met resultaten van de lichtberekening

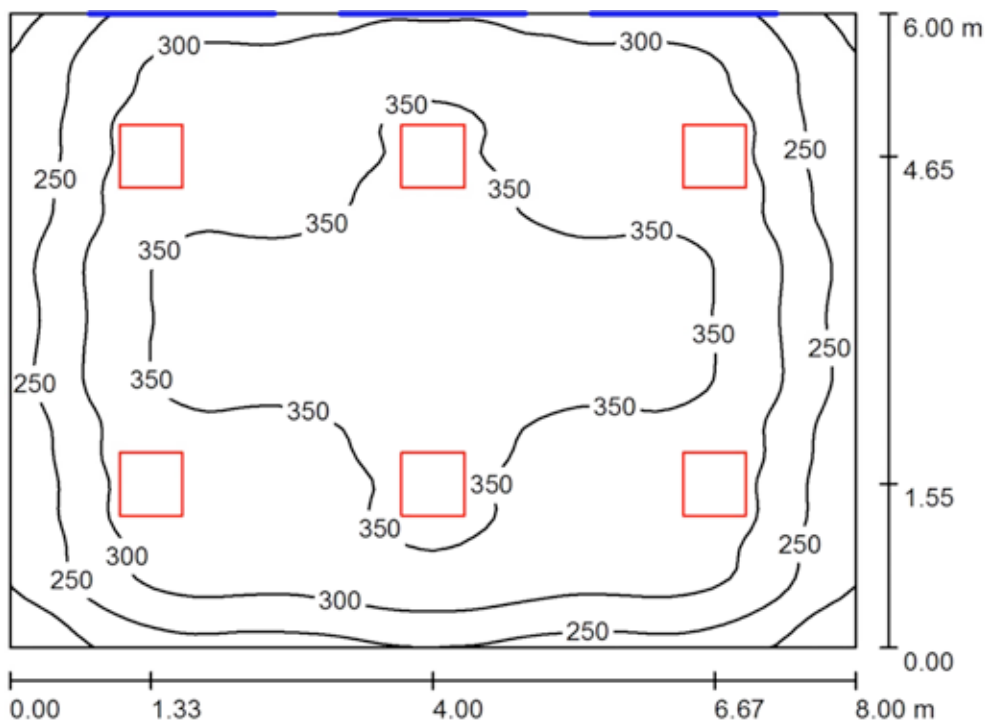
Voor het beschouwde geval werd slechts één (horizontaal gelegen) werkvlak beschouwd: de zone waarin de lesenaars zich kunnen bevinden. In een klaslokaal zou aan de tabel bijvoorbeeld nog een rij toegevoegd kunnen worden voor het werkvlak "schoolbord".

Bij het bekijken van de resultaten uit bovenstaande tabel moet vooral de aandacht gevestigd worden op de resultaten voor het werkvlak. Dit is immers de plaats waar de taak op uitgevoerd wordt. Zoals uit bovenstaande interpretatie van de lichtberekeningen blijkt, is de gemiddelde verlichtingssterkte E_{gem} ($=E_m$) en de uniformiteit E_s/E_{gem} ($=U_o$) van vele factoren afhankelijk. Niet alleen ruimte gebonden parameters (afmetingen, reflectiecoëfficiënten, ...) hebben impact, maar ook de manier van berekenen op zich (met of zonder randzone, aantal rasterpunten, ...) speelt een belangrijke rol.

Voor het gemaakte lichtontwerp wordt uit de software een gemiddelde verlichtingssterkte op het werkvlak van 337 lx verkregen. Voor een klaslokaal, gebruikt voor dagonderwijs, is deze waarde hoog genoeg in vergelijking met de in de norm NBN EN 12464-1 voorgeschreven 300 lx. Ook de uniformiteit (0,73) ligt boven de volgens de norm minimaal te verzekeren uniformiteit voor een klaslokaal.

Er dient rekening mee gehouden te worden dat men zich niet enkel en alleen mag blindstaren op de cijfers. Wordt er een identieke simulatie als de voorgaande uitgevoerd waarbij geen randzone wordt beschouwd, dan wordt er tot volgende resultaten gekomen:

- Gemiddelde verlichtingssterkte: 314 lx
- Uniformiteit: 0,49



▲ Plattegrond met isolijnen van de praktijkverlichtingssterkte over het taakoppervlak zonder inrekening van een randzone

Het valt op dat, ondanks het feit dat het ontwerp hetzelfde is gebleven, de gemiddelde verlichtingssterkte en vooral de uniformiteit van de verlichtingssterkte sterk gedaald zijn. Dit hoeft echter niet per se problematisch te zijn (ondanks het feit dat de waarde lager is dan deze die in de norm nagestreefd wordt): het minimum van alle verlichtingssterktes ligt helemaal in de hoek van het lokaal, waar nooit bezetting plaatsvindt. In dit geval is het dus nuttig om een randzone in te voegen, om zo meer relevante resultaten te verkrijgen.

De luxwaarden die voor plafond, muren en vloeren verkregen worden, kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om na te gaan of de eisen op vlak van luminantieverdeling in de ruimte behaald worden. Merk op dat het ook in functie hiervan is dat de waarde van de reflectiecoëfficiënten zo correct mogelijk dient ingeschat te worden.

5. Risico op verblinding

Om een snelle inschatting te kunnen maken van het risico op verblinding wordt uit de samenvatting van de DIALux-lichtstudie volgend overzicht bekomen:

UGR	In de lengte-	Loodrecht	t.o.v. armatuur
Linkermuur	15	18	
Ondermuur	15	18	
(CIE, SHR = 0.25.)			

▲ Overzicht van resultaten van verblindingsrisico voor verschillende standaard standpunten

Deze resultaten geven weer hoe hoog het risico op directe verblinding door de verlichting is voor de verschillende standaard standpunten van de waarnemer in de ruimte (positie en oriëntatie): het gaat om de UGR vanaf de linkermuur en de ondermuur volgens de lengte-as van de armaturen en volgens de as hier loodrecht op. De berekeningen werden uitgevoerd bij een spacing to height ratio (SHR) van 0,25.

Wanneer de waarden vergeleken worden met de maximaal toegestane UGR voor klaslokalen (19 volgens de norm NBN EN 12464-1), mag er op het eerste zicht van uitgegaan worden dat er geen problemen naar verblinding toe zullen optreden in het klaslokaal.

De resultaten worden in DIALux enkel automatisch gegenereerd wanneer het om een 'standaardruimte' gaat, gedefinieerd als een rechthoekige ruimte zonder meubilair en uitgerust met slechts één type armaturen. Behalve deze standaardberekeningen kunnen nog bijkomend berekeningen gedaan worden door het manueel invoeren van een UGR-berekeningsvlak of van UGR-berekeningspunten. Hierbij moet dan respectievelijk de positie en grootte van het vlak of de positie van het punt ingevoerd worden, net als het perspectief van de waarnemer.

6. Stuklijst armaturen en specifiek vermogen

In het laatste onderdeel van de samenvatting wordt een overzicht gegeven van de gebruikte armatuurtypes en het aantal armaturen. De typebenaming op zich kan al veel informatie geven over de armatuur. Bovendien kan uit de lichtstroom uit de armatuur en de lichtstroom uit de lampen ook eenvoudig de LOR bepaald worden. In dit geval bedraagt deze 94 % (= 3246/3450 * 100 %). De gebruikte verlichtingstoestellen hebben een toestelvermogen (zowel verbruik van lampen als van voorschakelapparaat) van 41 W, wat voor de zes verlichtingstoestellen neerkomt op een totaal geïnstalleerd vermogen van 246 W.

Armaturen stuklijst

Nr.	Stuk	Type (Correctiefactor)	Φ (Armatuur) [lm]	Φ (Lampen) [lm]	P [W]
1	6	ETAP UT1861/313HFW P8 (std) (1.000)	3246	3450	41.0
			Totaal: 19475	Totaal: 20700	246.0

Specifiek vermogen: 5.13 W/m² = 1.52 W/m²/100 lx (Oppervlakte: 48.00 m²)

▲ Stuklijst armaturen en berekening specifiek vermogen

Door het totaal geïnstalleerd vermogen (246 W) te delen door de totale vloeroppervlakte (48 m²) en de gemiddelde verlichtingssterkte over het werkvlak (337 lx), wordt het specifiek vermogen bekomen: 1,52 W/(m².100lx). Rekening houdend met de eerder opgegeven richtwaarden mag deze verlichtingsinstallatie dus beschouwd worden als een energiezuinige klasverlichting. Merk op dat het specifiek vermogen kunstmatig kan aangepast worden door het al dan niet invoegen van een randzone: door het toevoegen van een randzone verhoogt de gemiddelde verlichtingssterkte doorgaans, terwijl het geïnstalleerd vermogen en de totale vloeroppervlakte gelijk blijven. Dit resulteert in een lagere (gunstigere) waarde voor het specifiek vermogen.

Besluit

Het is duidelijk dat de keuze van de invoergegevens de resultaten voor bijvoorbeeld de gemiddelde verlichtingssterkte, de uniformiteit en het specifiek vermogen sterk kunnen beïnvloeden, ondanks het feit dat er aan de keuze van de armaturen en aan de positionering ervan niets verandert. Om verschillende lichtontwerpen degelijk met elkaar te kunnen vergelijken, is het dan ook noodzakelijk dat er overal dezelfde keuze voor deze lichttechnische gegevens gemaakt wordt. Bij het opstellen van een bestek moet er dus voor gezorgd worden dat er duidelijk vermeld wordt welke lichttechnische gegevens gebruikt dienen te worden en welke werkvlakken beschouwd dienen te worden bij het opmaken van het lichtontwerp.

Daarnaast moet er ook voor gezorgd worden dat de werken bij uitvoering goed opgevolgd worden. Al te vaak valt het voor dat er andere armaturen geplaatst worden dan deze die in het lichtontwerp gebruikt werden, of worden er verkeerde lampen in de armaturen gestoken. Ook de positionering van de armaturen in het plafond en de richting waarin ze geplaatst worden, moeten overeenkomen met het lichtontwerp. Het is dan ook belangrijk dat bij de lichtberekening reeds rekening gehouden wordt met de plafondsysteem en met de locatie van de kabelgoten. Afwijkingen van de goedgekeurde lichtstudie wat betreft het type armaturen en de plaatsing ervan zorgen ervoor dat het uiteindelijke lichtresultaat niet in overeenstemming zou zijn met de resultaten uit deze lichtstudie.





B.2 Naar een energiezuinige en comfortabele verlichting: checklist

Onderstaande checklist geeft een beknopt overzicht van een aantal vragen die gesteld moeten worden bij het inschatten van de toestand van daglicht- en kunstlichtomstandigheden in een ruimte. Hierbij wordt zowel gekeken naar de energie-efficiëntie van de verlichting als naar het visueel comfort. Een uitgebreidere versie van deze checklist, waarbij de vragen zijn aangevuld met feiten, waarschuwingen, tips en testen, is terug te vinden in het hoofdstuk "Onderhoud en renovatie" van deze publicatie.









1. Audit van de daglichttoetreding

Opmerking vooraf: bij de audit van de daglichttoetreding worden enkel aspecten bekeken die geen structurele wijzigingen aan de daglichtopeningen en aan de zonwering omvatten.



Hoeveelheid daglicht

Vraag		
Is er voldoende daglichtinval in de ruimte wanneer de zonwering geopend is? Is de verdeling van het daglicht in de ruimte goed?		
Vraag		
Verhindert beplanting of enige andere belemmering nabij de vensters de inval van daglicht?		

Beheersing van de daglichttoetreding



Vraag		
Is er voldoende bescherming tegen verblinding (en oververhitting)?		
Vraag		
Kan de ruimte bij projecties en bij gebruik van bijvoorbeeld smartboards worden verduisterd om een teveel aan zonlicht / daglicht te weren?		
Vraag		
Is de verduistering / zonwering door iedereen gemakkelijk te gebruiken? Wordt deze ook effectief correct gebruikt? (bv. blijft ze niet permanent gesloten?)		
Vraag		
Zijn de gebruikers van het lokaal tevreden over het type verduistering / zonwering, en over de werking ervan?		



In geval van geautomatiseerde verduistering / zonwering:

Vraag		
Is het systeem goed ingeregeld? Gaat de verduistering / zonwering op het juiste moment op en neer? Gaat ze niet te vaak op en neer? Werken de verduistering / zonwering en eventuele lichtregelsystemen elkaar niet tegen?		

Vraag		
Heeft de gebruiker zelf voldoende controle over het systeem? Kan de gebruiker op elk moment de positie van de verduistering / zonwering naar eigen wensen en behoefte verstellen?		

Onderhoud van de ruimte



Vraag		
Is de beglazing van ruiten en/of lichtkoepels proper? Zijn de muren, het plafond en de vloer goed onderhouden?		



Vraag		
Hebben de muren en het plafond een heldere kleur (en dus hoge reflectiecoëfficiënt)?		

2. Audit van het visueel comfort en het gebruikscomfort van de verlichtingsinstallatie

Opmerking vooraf: om de audit van het visueel comfort van een verlichtingsinstallatie te kunnen uitvoeren, moet de kunstverlichting ingeschakeld worden. De testen worden uitgevoerd in niet-gedimde stand van de verlichting en worden, in het geval er verschillende lichtzones bestaan, herhaald voor elk mogelijk scenario.

De juiste hoeveelheid licht op de juiste plaats









Vraag		
Bereikt de verlichtingssterkte het gewenste niveau op alle taakoppervlakken? Is de lichtstroom uit de lampen niet te sterk teruggevallen in vergelijking met het vorige nazicht?		

Vraag		
Is de bordverlichting afzonderlijk uit te schakelen of te dimmen om projectie en gebruik van bijvoorbeeld smartboards comfortabel te maken?		











Vraag		
Is de uniformiteit van de verlichtingssterkte over het werkvlak goed?		

Vraag		
Zijn er hinderlijke schaduwen?		
Vraag		
Bestaat er risico op verblinding (zijn er verblindende lichtpunten in het gezichtsveld van de gebruikers van het lokaal)?		
Vraag		
Zijn er niet te veel storende reflecties van lampen op computerschermen, schoolborden,... ?		
De kleur van en door verlichting		
Vraag		
Is de kleurtemperatuur van het kunstlicht goed (niet te koud of te warm)?		
Vraag		
Is de kleurtemperatuur van alle lampen in het lokaal hetzelfde?		
Vraag		
Hebben de lampen een goede kleurweergave? Zien de kleuren in de omgeving er natuurlijk uit?		
De lichtregeling		
Vraag		
Zijn de geïnstalleerde lichtregelsystemen voor iedereen gemakkelijk te begrijpen en te gebruiken?		
Vraag		
Zijn de gebruikers van het lokaal tevreden over de geïnstalleerde lichtregelsystemen en over hun werking? (bv. plakt men de daglichtsensor niet af om te vermijden dat de verlichting zou dimmen?)		
Vraag		
Heeft de gebruiker zelf voldoende controle over de kunstverlichting? Kan de gebruiker op elk moment de verlichting voldoende regelen naar eigen wensen en behoeften? (bv. kan de gebruiker op elk moment de verlichting manueel in- en uitschakelen? ; kan de gebruiker de verlichting manueel verder op- en neerdimmen ten opzichte van de instelling van het daglichtregelsysteem?)		













Belang van onderhoud

Vraag		
Zijn de lampen en de optiek van de armaturen proper?		
Vraag		
Zijn er defecte lampen of zijn er lampen die knipperen?		
Vraag		
Zijn de muren, het plafond en de vloer proper?		
Vraag		
Hebben de muren en het plafond een heldere kleur (en dus hoge reflectiecoëfficiënt, conform de aanbevelingen in de norm NBN EN 12464-1)?		

3. Audit van de energieprestatie van de verlichtingsinstallatie**Het verlichtingstoestel: het geheel van armatuur en lamp**

Vraag		
Zijn de gebruikte lamptypes efficiënt?		
Vraag		
Zijn de armaturen efficiënt?		
Vraag		
Brengen de armaturen het licht naar de juiste plaats? Met andere woorden: wordt het licht voornamelijk naar de taakoppervlakken gestuurd en er evenwichtig over verspreid?		
Vraag		
Zijn de verlichtingstoestellen nog uitgerust met een conventioneel elektromagnetisch voorschakelapparaat?		
Vraag		
Is het specifiek vermogen van de verlichtingsinstallatie veel hoger dan $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100\text{lx})$?		

De lichtregeling

Vraag		
Kan de verlichting van elke ruimte afzonderlijk in- en uitgeschakeld worden?		
Vraag		
Is de verlichtingsinstallatie van een individuele ruimte onderverdeeld in verschillende lichtkringen (zonerings), zodat deze afzonderlijk kunnen in- en uitgeschakeld (en/of gedimd) worden?		
Vraag		
Wordt de aandacht van de gebruiker erop gevestigd dat hij de verlichting moet uitschakelen bij het verlaten van de ruimte?		
Als er nog geen lichtregelsystemen aanwezig zijn:		
Vraag		
Blijft de verlichting vaak onnodig branden (bijvoorbeeld 's nachts of tijdens de middagpauze)?		
Vraag		
Wordt de verlichting in het lokaal vaak ingeschakeld, ondanks het feit dat de daglichttoetreding in het lokaal aanzienlijk is? Wordt de verlichting uitgeschakeld bij veel daglichtinval?		
Als er wel reeds lichtregelsystemen aanwezig zijn:		
Vraag		
Zijn de lichtregelsystemen goed geïnstalleerd?		
Is de aan-/afwezigheidsdetector geplaatst volgens de richtlijnen van de fabrikant (bv. juiste positie van de detector)?		
Is de sensor van het daglichtregelsysteem geplaatst volgens de richtlijnen van de fabrikant (bv. juiste positie en oriëntatie van de daglichtsensor)?		

Vraag



Zijn de lichtregelsystemen nog steeds goed ingesteld?		
Zorgt de aan-/afwezigheidsdetector dat de verlichting uitvalt na de ingestelde nalooptijd? Is de nalooptijd afgestemd op de noden van de ruimte?		
Dimt het daglichtregelsysteem de verlichting in functie van de invallende hoeveelheid daglicht terug naar het gewenste lichtniveau? Wordt de verlichting nog wel gedimd bij inval van daglicht (= is de energiebesparing niet te laag)? Wordt de verlichting niet te sterk gedimd (= is het niet te donker in het lokaal)?		

Vraag



Worden de lichtregelsystemen correct gebruikt? (bv. laat men de verlichting niet systematisch branden bij het verlaten van het lokaal omdat men toch weet dat deze na bijvoorbeeld tien minuten uitvalt?)		
---	--	--

Referenties

ASHRAE. (2008). *Advanced Energy Design Guide K-12 School Buildings*.

Billy, J., Bodart, M., Collard, B., D'Herdt, P., Deneyer, A., Pillmeyer, P., . . . Vandermeersch, G. (sd). *Code van goede praktijk voor Binnenverlichting - Referentiedocument als aanvulling op de NBN EN 12464-1 norm*. Brussel: IBE-BIV.

Bracke, P., Lootens, C., Giel, B. V., Bleumers, J., Hanselaer, P., & Ryckaert, W. (2015). *Ledverlichting: gebruiksduur of levensduur? (Rev.1) Gent: KU Leuven Technologicampus Gent*.

BRANZ Ltd. (2007). *Designing Quality Learning Spaces: Lighting*. Ministry of Education of New Zealand.

CIBSE. (2011). *Lighting Guide 5: Lighting for Education*.

Deneyer, A., D'Herdt, P., Deroisy, B., Roisin, B., Bodart, M., & Deltour, J. (2011). *Praktische en technische gids voor de verlichting van woningen*. WTCB.

Deroisy, B., & Deneyer, A. (2011). *Evaluatie van daglichttoetreding met computersimulaties*. WTCB-Dossiers, 3.18.

Haartsen, T. (2011). *100 % schoonlicht in scholen (NL) - ontwerphandreikingen*.

Haartsen, T. (2011). *100% Schoonlicht in scholen - prestatie eisen*.

Hellinga, H. (2013). *Daylight and View: the influence of windows on the visual quality of indoor spaces*. Delft, Nederland: PhD, TU Delft.

Innovative Design. (2004). *Guide for daylighting schools*.

KU Leuven@KAHO Sint-Lieven - Laboratorium voor Lichttechnologie. (2014). *Energiezuinige verlichting voor kmo's*. Brussel: Vlaamse Overheid.

Leefmilieu Brussel. (sd). *Opgehaald van <http://www.leefmilieu.brussels/>*

Loe, D., Watson, N., Rowlands, E., & Mansfield, K. (1999). *Building Bulletin 90: Lighting Design for School*. Architects and Buiding branch – department for Education and Employment (UK).

O'Connor, J., Lee, E., Rubinstein, F., & Selkowitz, S. (1997). *Tips for daylighting with windows: The integrated approach*. LBNL.

Otis, T., & Reinhart, C. (2009). *Daylighting rules of thumb*. Harvard University.

Reiter, S., & De Herde, A. (2004). *L'éclairage naturel des bâtiments*. Presses universitaires de Louvain.

Ruck, N., & et al. (2000). *Daylight in Buildings: A Sourcebook on Daylighting Systems and Components*. IEA Solar Heating and Cooling Programme, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme.

Vlaamse Overheid. (sd). *Opgehaald van <http://www.energiesparen.be/>*

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf; KaHo Sint-Lieven - Laboratorium voor Lichttechnologie. (2007). *Verlichting*. Brussel: Vlaamse overheid.

Verlichting evolueert snel. Op de website van verlichtings- en armatuurfabrikanten vindt u onder andere informatie over nieuwe producten en over de stand van zaken op het vlak van ledverlichting.

Vermelde normen

NBN EN 12193 "Licht en verlichting - Sportverlichting". Brussel, NBN, 2008.

NBN EN 12464-1 "Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Werkplekken binnen". Brussel, NBN, 2011.

NBN EN 12464-2 "Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 2: Werkplekken buiten". Brussel, NBN, 2014.

NBN EN 15193 "Energieprestatie van gebouwen - Energie-eisen voor verlichting (+AC:2010)". Brussel, NBN, 2008.

NBN EN 1838 "Toegepaste verlichtingstechniek - Noodverlichting". Brussel, NBN, 2013.

NBN EN 60598-1 "Verlichtingsarmaturen - Deel 1: Algemene eisen en beproevingen". Brussel, NBN, 2009.

NBN L 13-002 "Dagverlichting van gebouwen - Voorafbepaling van de daglicht-verlichtingssterkte bij overtrokken hemel (benaderende grafische methode)". Brussel, NBN, 1972.

BS 8206-2 "Lighting for buildings. Code of practice for daylighting", 2008.

CIE S 017/E:2011 ILV: "International Lighting Vocabulary".

DIN 5034 "Tageslicht in Innenräumen".

NEN 2057:2011 "Daglichtopeningen van gebouwen - Bepaling van de equivalente daglichtoppervlakte van een ruimte".

Bronnen van afbeeldingen en foto's

Wij danken volgende organisaties voor hun afbeeldingen en foto's:

Architecture et Climat van Université Catholique de Louvain (UCL) - *pagina's: 37, 41*

B.E.G. Luxomat - *pagina: 72*

BRANZ Ltd - *pagina: 45*

DALI - *pagina: 76*

DIAL - *pagina's: 18, 29, 126*

ESYLUX - *pagina: 71*

ETAP - *pagina's: 6, 12, 17, 46, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 65, 78, 85, 108*

Fobsun - *pagina: 54*

Harvard University - *pagina: 37*

Heschong Mahone Group - *pagina: 39*

KU Leuven - *pagina: 124*

Lawrence Berkeley National Laboratory - *pagina's: 38, 40, 43, 44*

Lincoln Barbour - *pagina: 43*

National Lighting Bureau - *pagina: 21*

OPTOGA - *pagina: 15*

Osram - *pagina's: 50, 52*

Philips Lighting - *pagina's: 14, 25, 52, 54*

Sylvania - *pagina: 17*

Thorn - *pagina: 27*

TRILUX - *pagina's: 17, 58, 65*

University of British Columbia - *pagina: 44*

VGI-FIV - *pagina: 39*

Zumtobel - *pagina's: 27, 30, 61, 65, 68, 74*

De overige afbeeldingen en foto's werden door WTCB, KU Leuven Technologicampus Gent en Pixii vzw zelf aangeleverd.



