

Editie November 2023

Praktijkgids voor verlichting van binnenwerkplekken



Toelichtingsdocument voor praktische toepassing van de norm NBN EN 12464-1: 2021 bij het ontwerp van de verlichting voor werkomgevingen.

Onder leiding van het IBE-BIV - Groep B

Met steun van:



Inhoudstafel

1. Norm en wet	5
2. Belangrijkste wijzigingen	8
3. Verlichtingseisen voor binnenwerkplekken	9
4. Richtwaarden voor referentieoppervlakken	15
5. Praktijkvoorbeeld	17
6. Verlichting van een ruimte	19
7. Cilindrische verlichtingssterkte en directionaliteit van licht	22
8. Daglicht en welzijn	23
9. Evaluatie van risico op verblinding	26
10. Andere parameters	31
11. Lichtsturing	35
12. Lichtontwerp	37
13. Meten van Licht	41
14. Terminologie en definities	44

Dit document werd opgesteld door het IBE-BIV in samenwerking met Volta en met financiële steun van FOD Economie (Contract PAN21-01).



Normen en referentiedocumenten

- NBN EN 12464-1: 2021 Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: binnenwerkplekken
- NBN EN 12665: 2018 Licht en verlichting - Basistermen en criteria voor het vaststellen van eisen aan de verlichting
- NBN EN 17037: 2019 Daglicht in gebouwen
- ISO/CIE TS 22012: 2019 Light and lighting - Maintenance factor determination - Way of working
- CIE 117: 1995 Discomfort glare in interior lighting
- CIE 190: 2010 Calculation and presentation of unified glare rating tables
- CIE 227: 2017 Lighting for older people and people with visual impairment
- EN ISO 9241-307 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals - Part 7: requirements for display with reflections

Andere documenten

- EN 12193: 2019 Licht en verlichting - Verlichting van sportinfrastructuur
- EN 12464-2: 2014 Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 2: Werkplekken buiten
- EN 1838: 2013¹ Noodverlichting

¹ Een nieuwe versie van deze norm voor noodverlichting wordt momenteel besproken. De herwerkte versie zou begin 2024 verschijnen.

Inleiding

Een correcte verlichting van werkplekken is essentieel voor onze veiligheid, comfort en kan bijdragen tot het welzijn. De Europese norm voor de verlichting van binnenwerkplekken, NBN EN 12464-1, beschrijft de specifieke voorwaarden waaraan de verlichting van een omgeving bestemd voor werknemers zou moeten voldoen om visueel comfort en prestaties te verzekeren.

De prestatieniveaus verschillen in functie van de visuele taken en zijn opgesteld voor personen met een normaal, of tot normaal gecorrigeerd, zichtvermogen. In 2021 verscheen een herziening van de Europese norm EN 12464-1. Deze nieuwe versie bevat enkele belangrijke aanpassingen ten opzichte van de norm gepubliceerd in 2011.

Gezien deze aanpassingen en ook omdat niet alle aspecten van het verlichtingsproject in detail kunnen beschreven worden in een normatief document, is extra duiding nodig bij de norm voor een kwaliteitsvol verlichtingsontwerp. Dit toelichtingsdocument heeft als doel om concrete richtlijnen en interpretaties te geven die complementair zijn aan de algemene eisen en aanduidingen uit de norm.

1. Norm en wet

Normen ontstaan vanuit overleg tussen belanghebbende partijen, die om verschillende redenen bij het onderwerp betrokken zijn. Hetzij als fabrikant, hetzij als overheidsinstelling, hetzij als onafhankelijk expert of onderzoeker hetzij als eindgebruiker. Zo komen fabrikanten met universiteiten en openbare instanties samen om afspraken te maken. Dit gebeurt niet enkel per land maar steeds meer ook internationaal, zo ontstaan Europese normen (EN) door overleg tussen verschillende lidstaten. De EU onderschrijft dan ook het belang van normen om het vrij verkeer van goederen over de EU te bevorderen.

Er zijn twee categorieën van normen:

1 Productnormen: Normen die afspraken tussen partners en 'marktspelers' aangaande productdefinities en karakteristieken beschrijven. Op die manier is bijvoorbeeld de uitwisselbaarheid van onderdelen gegarandeerd, of het nu M8 schroeven zijn of lampen met een E27 lampfitting.

2: Toepassingsnormen: Normen die de parameters en prestaties voor het visueel comfort in een ruimte in zijn geheel behandelen, en dus geen specifieke eigenschappen van verlichtingsproducten bevatten. In het algemeen geven die regels van goed vakmanschap voor lichtaspecten in een welbepaalde toepassing. De NBN EN 12464-1 behoort duidelijk tot de tweede categorie.

Normen zijn onderhevig aan voortschrijdend inzicht. De mogelijkheden met led zijn, wat energetische eigenschappen betreft bijvoorbeeld, anders dan deze van de vorige lamptechnologieën. De invloed van de niet-visuele effecten van licht op onze prestaties en welzijn zijn pas recent onderzocht, maar worden al vermeld in deze nieuwe versie van de norm, maar er is nog verdergaand onderzoek nodig. Wetten daarentegen ontstaan uiteraard per land vanuit overleg tussen de politiek en de nationale organisaties. Een wet is bindend, verplichtend, een norm is raadgevend, adviserend. Toch kan een norm in sommige gevallen kracht van wet hebben.

In België worden de vereisten op de werkplekken vastgelegd in de "welzijnswet". De welzijnswet dient als basis voor alle aspecten rond veiligheid en gezondheid. De eisen voor verlichting van werkplekken staan in de art. III.1-31 tot 33 van hoofdstuk 3 van de Codex. De werkgevers moeten ervoor zorgen dat voldoende daglicht aanwezig is, aangevuld met adequate kunstmatige verlichting. Deze wet bepaalt dat de werkgever voldoet aan zijn verplichtingen als hij beantwoordt aan alle eisen uit de norm NBN EN 12464-1² voor binnenwerkplekverlichting en de norm NBN EN 12464-2 voor buitenwerkplekverlichting.

² De welzijnswet verwijst in artikel 32 naar de niet-gedateerde normen NBN EN 12464-1 en NBN EN 12464-2. Dit betekent dat de laatste officiële gepubliceerde versie steeds van kracht is om aan de regelgeving te voldoen.

1. Codex over het welzijn op het werk

Hoofdstuk III.- Verlichting

Art. III.1-31. - *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.*

De kunstmatige verlichting omvat een algemene verlichtingsinstallatie die, in voorkomend geval, aangevuld wordt met een plaatselijke verlichtingsinstallatie. De kunstmatige verlichting op de arbeidsplaatsen en wegen is van die aard dat het risico op ongevallen wordt voorkomen en deze verlichting mag zelf geen ongevallenrisico voor de werknemers opleveren.

Art. III.1-32. - *De werkgever bepaalt, op grond van de resultaten van een risicoanalyse, aan welke voorwaarden de verlichting van de arbeidsplaatsen, al dan niet in open lucht, evenals van de werkposten moet beantwoorden teneinde ongevallen door de aanwezigheid van voorwerpen of hindernissen en vermoeidheid van de ogen te voorkomen. De werkgever die de vereisten van de norm NBN EN 12464-1 en de norm NBN EN 12464-2 toepast bij het bepalen van de voorwaarden inzake verlichting wordt, vermoed te hebben gehandeld in overeenstemming met het eerste lid.*

Wanneer de werkgever de normen bedoeld in het tweede lid niet wenst toe te passen, moet de verlichting tenminste beantwoorden aan de voorwaarden die zijn vastgesteld in bijlage III.1-2.

Art. III.1-33. - *Arbeidsplaatsen waar werknemers bij het uitvallen van de kunstverlichting aan een verhoogd risico zijn blootgesteld, zijn uitgerust met een verlichting die bijdraagt aan de veiligheid van de personen die bezig zijn met een mogelijk gevaarlijke activiteit of zich in een mogelijk gevaarlijke situatie bevinden en die hen mogelijk maakt een gepaste afsluitprocedure uit te voeren voor de veiligheid van de bediener en andere aanwezigen in het gebouw. De sterkte van deze verlichting mag niet minder zijn dan 10% van de normaal vereiste verlichtingssterkte voor de betreffende taak.*

Voor verdere info zie : <https://werk.belgie.be/sites/default/files/content/documents/Welzijn%20op%20het%20werk/Regelgeving/Codex%20boek%20III%20titel%202%20Elektrische%20installaties.pdf>

Als voor alle bepalingen uit de norm de voorgestelde richtwaardes gehaald worden dan kan verondersteld worden dat de verlichting volgens de goede praktijk ontworpen is. Zelfs wanneer bijzondere omstandigheden van toepassing zijn moet de werkgever altijd kunnen aantonen dat het visueel comfort en de veiligheid van zijn werknemers op ieder moment gewaarborgd is.

Om ervoor te zorgen dat een verlichtingsinstallatie in een concrete situatie zodanig is ontworpen dat het visueel comfort en de prestatie van werknemers op de werkplek gegarandeerd worden, is het sterk aanbevolen om de norm NBN EN 12464-1 in het lastenboek op te nemen, samen met de nodige specificaties voor het project. Deze bijzondere bepalingen in het lastenboek betreffen bijvoorbeeld de types taken en activiteiten, de ruimtelijke organisatie van de werkposten, de bezettingsperiodes, de wensen in verband met functionaliteiten van de regelsystemen, en zelfs indien nodig de speciale kenmerken of eisen van de werknemers. De norm geeft richtlijnen voor verschillende parameters die belangrijke aandachtspunten zijn voor visueel comfort, zoals verlichtingssterktes, lichtrichting, daglicht, kleureigenschappen, verblindingsrisico's, lichtontwerp en mogelijkheden voor integratieve verlichting. Deze richtlijnen zijn van toepassing op alle werkposten in binnenruimtes. Ze hebben in ieder geval geen betrekking op de noodverlichting, de verlichting van sportvelden of de verlichting van kunstwerken, die in specifieke normatieve documenten worden beschreven.

De criteria en richtwaardes uit de norm hebben als doel om visueel comfort te verzekeren, maar werden niet direct vastgelegd om op lange termijn positieve effecten voor de mensen op te wekken. Invloed van licht op de gezondheid en welzijn werd wel verder verduidelijkt in de nieuwe bijlage (Annex B). Algemene achtergrondinformatie over hoe licht inwerkt op het biologisch, lichamelijk, cognitief en emotioneel functioneren kan men vinden in het technisch rapport ISO/CIE TR 21783 en de gids "*Human Centric Lighting - mogelijkheden benutten of bang afwachten?*"

Auteurs: Sara Kindt, Eowyn Van de Putte, Lore Vandevivere, Wouter Ryckaert

Publicatie 19/11/2020

Publicatie rechtstreeks als pdf downloaden via: https://www.groenlichtvlaanderen.be/l/library/download/urn:uuid:69633726-9c23-499f-9097-bdd1a3c9f61e/20.11.19_hcl+gidsv2.pdf?format=save_to_disk&ext=.pdf

2. Belangrijkste wijzigingen

De belangrijkste wijzigingen die in de laatste versie van de norm zijn ingevoerd werden hieronder opgegeven:

- Verduidelijkingen van eisen met betrekking tot de taakgebieden en lichtverdeling in ruimtes voor het beter in rekening brengen van visuele behoeftes van de gebruikers.
- Aanpassing van de meeste eisen voor verlichting van representatieve ruimte-oppervlakken (wanden en plafonds) en integratie van richtwaardes in de tabellen per type activiteit.
- Aanvulling of wijziging van verlichtingseisen voor welbepaalde type activiteiten (onderwijs, logistiek, autoconstructie, -onderhoud en -herstellingen, onderhoud van treinen, verkoop, ...) en herziening van enkele richtwaarden uit de tabellen. Voor spoorweginfrastructuur werden een aantal bijkomende informatie voor de specifieke eisen verder uitgelegd in een nieuw annex (Annex D).
- Nieuwe paragraaf over het lichtontwerp (geïnspireerd door CEN/TS 17165)
- Volledige herziening van de paragraaf over flikker en stroboscopische effecten
- De eisen voor beheersing van verblinding werden aangepast en beter toegelicht. Bijkomend werden een aantal suggesties voor het toepassen van de generieke tabelmethode bij omstandigheden die als niet-standaard worden beschouwd gegeven (Annex A)
- Aanvullende informatieve paragraaf over niet-visuele effecten van licht met verwijzingen naar de betreffende parameters die hiervoor van belang zijn in de norm en een aantal alternatieve bepalingsmethodes (Annex B)
- Invoegen van uitgewerkte praktijkvoorbeelden in een nieuwe bijlage (Annex C). De voorbeelden betreffen een typische kantooromgeving en verschillende industriële toepassingen.
- Daglichtaspecten werden verder uitgewerkt, en voor specifieke aanbevelingen wordt naar de norm EN 17037 verwezen (Paragraaf 6.5 en Annex B).
- Aankoop van de norm via NBN: <https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/all-standards?lang=nl>

3. Verlichtingseisen voor binnenwerkplekken

De eisen voor de verlichting voor werkplekken zijn opgesteld in directe relatie met de ruimte waarin de visuele taken worden uitgevoerd. Voor een goede verlichtingspraktijk dienen niet alleen de vereiste verlichtingssterkte, maar ook andere kwalitatieve en kwantitatieve behoeften worden vervuld. Goede verlichting levert een bijdrage aan de veiligheid, comfort, gezondheid en welzijn van de werknemers en kan tegelijk een duurzaam gebruik van materialen en energie bevorderen. Het is ook een bepalende factor voor de sfeer en beleving van de ruimte.

De voorschriften voor de verlichting uit de norm NBN EN 12464-1 worden bepaald om aan twee basisbehoeften³ te voldoen:

- **Visueel comfort**, waarbij de werknemers een gevoel van welbehagen hebben; op indirecte wijze draagt dit ook bij tot een hoger productiviteit en een hogere kwaliteit van het werk;
- **Visuele prestaties**, waarbij de werknemers in staat zijn hun visuele taken uit te voeren, zelfs onder moeilijke omstandigheden en gedurende langere perioden;

Voor elke werkplek-situatie kan worden beantwoord aan deze basisbehoeften met daglicht of kunstlicht, of het liefst een combinatie van beide. Hierbij zijn meerdere criteria van belang voor een gunstig visueel comfort. Wel is elke visuele ervaring altijd deels subjectief, waardoor tevredenheid van werknemers in specifieke situaties soms kan verschillen. De norm NBN EN 12464-1 stelt daarenboven ook een aantal meet- en bepalingsmethodes voor om de kwaliteit van de verlichting op de werkplek te kwantificeren en zo meer objectief te kunnen evalueren. In functie van de aard van de activiteiten die worden uitgevoerd op een bepaalde werkplek worden specifieke richtwaarden opgeven voor de verschillende criteria. De meest essentiële verlichtingsvoorschriften worden opgegeven in de vorm van tabellen in het hoofdstuk 7 van de norm. In Figuur 1 wordt de algemene structuur van deze tabellen weergegeven.

Figuur 1 - Criteria en algemeen formaat voor tabel met verlichtingseisen (Bron EN 12464-1)

Task area or activity design				Room or space design requirements			
Task area or activity related requirements				For visual communication and recognition of objects (5.6.2)	Brightness appearance of rooms (5.2.2/5.2.3)		
E_m lx		U_o	R_a	R_{UGL}	$E_{m,z}$ lx	$E_{m,wall}$ lx	"E _{m,ceiling} lx
required ^a	modified ^b						

a required: minimum value

b modified: considers common context modifiers in 5.3.3

³ De norm NBN EN 12464-1 heeft niet direct tot doel om veiligheid en gezondheid van werknemers te waarborgen in alle specifieke situaties, maar een goed verlichtingsontwerp volgens deze norm zal bijdragen tot een veilige werkomgeving voor personen met een normaal of tot normaal gecorrigeerd zicht. Verlichting voor specifieke doelgroepen of bijzondere visuele taken vereisen aangepaste studies.

We merken op dat naast verlichtingseisen voor de specifieke taken of activiteiten ('*Task or activity area design*'), ook deze zijn vermeld voor de ruimte waarin de activiteiten uitgevoerd worden ('*Room or space design*'). Zo zal de lichtverdeling in de ruimte een belangrijke impact hebben op de effectieve visuele waarneming (gezichtsscherpte, contrastgevoeligheid en oogfuncties zoals accommodatievermogen), alsook op het visueel comfort en hoe we de ruimte ervaren. Voor visuele communicatie en het herkennen van objecten is bovendien ook nog een specifieke eis opgenomen. De belangrijkste parameters voor visueel comfort zijn de verlichtingssterktes (*illuminance*) op taak- en referentievlakken in de ruimte en de verdeling van luminanties (*luminance*), welke een maat zijn voor de helderheidsperceptie en de daarbij horende contrastverhoudingen. De gerichtheid of directionaliteit van licht, de kleurweergave en de kleurtint van licht alsook de variaties van licht in intensiteit en kleur spelen ook een rol in het realiseren van visueel comfort.

In de tabellen voor de verschillende verlichtingstoepassingen is er een duidelijk onderscheid tussen eisen voor visuele taken op werk- en activiteitsgebieden, en de eisen op het niveau van de verlichting van de ruimte.

De criteria en eisen voor specifieke visuele taken en activiteiten op referentievlakken zijn:

- Te behouden verlichtingssterkte (\bar{E}_m) op het referentieoppervlak⁴.
- Minimale gelijkmatigheid (U_0) van de verlichtingssterkte
- Minimale kleurweergave-index voor de betreffende activiteit (R_a)
- Grenswaarde voor de hinderlijke verblinding van de verlichtingsinstallatie (R_{UGL}), meer bepaald de grenswaarde voor de UGR (Unified Glare Rating)

Bijkomend worden volgende eisen gesteld voor de ruimte waarin de activiteiten worden uitgevoerd:

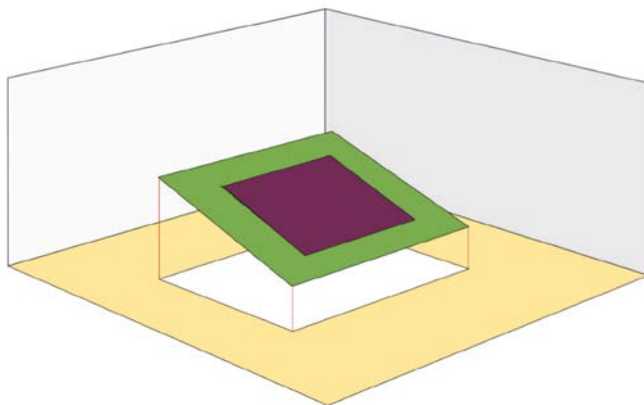
- Te behouden cilindrische verlichtingssterkte ($\bar{E}_{m,z}$) (zie paragraaf 'Verlichting van een ruimte')
- Te behouden verlichtingssterkte op de wanden ($\bar{E}_{m,wall}$) (zie paragraaf 'Verlichting van een ruimte')
- Te behouden verlichtingssterkte op het plafond ($\bar{E}_{m,ceiling}$) (zie paragraaf 'Verlichting van een ruimte')

In de norm zijn alle richtwaardes voor verlichtingssterkte altijd te behouden waarden, die dus rekening houden met de gepaste onderhoudsfactoren. Dit betekent concreet dat de gevraagde verlichtingssterkte zelfs aan het einde van de levensduur van de installatie moet gehaald worden. De te behouden verlichtingssterktes zijn gedefinieerd als gemiddelde verlichtingssterktes bepaald op een representatief raster van punten op het referentievlak.

⁴ Sinds de herziening van de norm in 2021 zijn in de tabellen twee waarden opgegeven voor de verlichtingssterkte, een minimale waarde (*required*) en een gewijzigde waarde (*modified*) voor in het geval de visuele omstandigheden afwijken van de gangbare uitgangspunten. Het is aan de lichtontwerper om de geschikte ontwerpwaardes te kiezen, aangepast aan de context waarin de activiteiten uitgevoerd worden (zie 'Richtwaardes voor referentieoppervlakken'). De gewijzigde waarde is dus niet te interpreteren als een maximale grenswaarde.

De verlichtingseisen uit de norm worden altijd gekoppeld aan **referentievlakken**. In het algemeen zijn referentievlakken representatieve oppervlakken waar welbepaalde verlichtingseisen van toepassing kunnen zijn. Voor ieder lichtontwerp is het van belang om de effectieve werkvlakken en het type taken en activiteiten bij aanvang nauwkeurig te bepalen en te documenteren, zodat de verlichtingsinstallatie op optimale wijze kan gedimensioneerd worden. De **werkvlakken** zijn de zones waar, in normale omstandigheden, de visuele taken door personen worden uitgevoerd. Werkvlakken kunnen hierbij fysiek aanwezig zijn in de ruimte zoals bijvoorbeeld een werkbank in een atelier of kantoormeubel, maar kunnen ook virtueel een oppervlak voorstellen waar de taken zouden kunnen uitgevoerd worden. Op ieder werkvlak kunnen dan verschillende visuele taken voorkomen. Het deel van het werkvlak waar een bepaalde taak effectief gebeurt noemt men daarom een **taakgebied**. Als men de typisch uitgevoerde taken effectief kan lokaliseren, zijn in principe verschillende taakgebieden op een werkvlak mogelijk. Als daarentegen verschillende visuele taken kunnen voorkomen op een beperkte zone of oppervlakte van het werkvlak wordt dit een **activiteitsgebied** genoemd. Voor een activiteitsgebied geldt dan dat de taak met de strengste vereisten bepaalt wat de verlichtingseisen op deze dient te zijn. Naast deze centrale zones is het ook van belang om de periferische zones in het zichtveld genoeg te verlichten. Vanuit de richtwaarden die vastgelegd voor de taak- en activiteitsgebieden vloeien dan de verlichtingseisen voor de direct aangrenzende zone en de achtergrond voort (Figuur 2).

Figuur 2 Referentievlakken voor verlichting



Taak- of activiteitsgebied	Deel van het werkvlak waar een visuele taken effectief worden uitgevoerd. Een taakvlak bevat in principe slechts één enkele wel beschreven visuele taak, terwijl op een activiteitsgebied verscheidene taken kunnen gebeuren.	
Direct aangrenzende zone	Zone van minstens 0,50 meter breedte in het werkvlak gelegen rondom het taak- of activiteitsvlak.	
Achtergrond	Zone van minimaal 3 meter breed rond het de onmiddellijk aangrenzende zone, gelegen in een horizontaal vlak op niveau van de vloer. Indien een wand aanwezig is op minder dan 3 meter van de verticale projectie van de direct aangrenzende zone dan wordt het referentievlak voor de achtergrond beperkt tot deze wand.	

In de meeste gevallen zijn de werkvlakken eenvoudig te bepalen en te omschrijven. In een kantooromgeving is het werkvlak gewoonlijk het bureauoppervlak of een tafel, eventueel aangevuld met een bord of presentatiescherm. Taakvlakken zijn dan de zones waar werknemers taken effectief uitoefenen. Hoe beter de taak- en activiteitsgebieden kunnen omlijnd worden, hoe preciezer de lichtinstallatie kan gedimensioneerd worden. Indien de taak- en activiteitsgebieden nog niet bepaald zijn op moment van het ontwerp of indien een maximale flexibiliteit gewenst is, kan een verlichtingsinstallatie ontworpen worden met als veronderstelling dat een relatief groot deel van de ruimte taakgebieden kan bevatten. Deze aanpak is ten koste van een optimaal gedimensioneerde installatie en kan leiden tot een hoger energieverbruik. Bij dergelijke aanpak zouden efficiënte regelsystemen altijd voorgesteld moeten worden.

Maar in een aantal bijzondere gevallen is het soms moeilijker om referentievlakken precies te definiëren, zoals bijvoorbeeld bij bewegende handelingen. De regel is dan om na te gaan op welke oppervlakken de taken gewoonlijk worden uitgevoerd. Als men met complexe geometrische objecten werkt kan het werkvlak bijvoorbeeld vastgelegd worden als een loodrecht vlak op de kijkrichting van de waarnemer en meestal rakend aan het waargenomen voorwerp.

Het werkvlak kan in principe op iedere hoogte liggen en horizontaal, verticaal of hellend zijn. Voor gangen en circulatieruimtes wordt het werkvlak gewoonlijk gedefinieerd op het vloeroppervlak en uitzonderlijk op een hoogte van boven de vloer, dus meestal horizontaal. Een ander typisch voorbeeld is een logistieke ruimte of een magazijn met opbergrekken waar het werkvlak verticaal samenvalt met het omhullende vlak voor de rekken. Bij de werkpost van een operator op van een machine gebeurt het soms dat het werkvlak hellend ligt.

Enkele voorbeelden van referentievlakken (Zie Figuur 3, Figuur 4 en Figuur 5):

- 1** : Taakgebied, omvat in principe slechts één enkel wel beschreven visuele taak
- 2** : Activiteitsgebied, verscheidene taken kunnen hier uitgevoerd worden

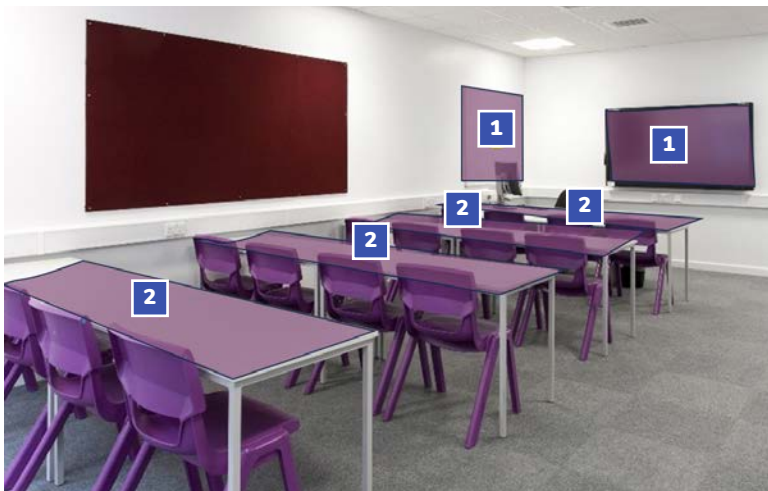
Figuur 3 - Industriële activiteiten



Figuur 4 - Kantooromgevingen



Figuur 5 - Ruimtes met andere functies



De tabellen geven de verlichtingseisen die van toepassing zijn voor iedere type activiteit. In totaal zijn er 52 tabellen opgenomen in de norm EN 12464-1, maar toch kan het voorkomen dat bijzondere situaties niet vermeld staan. In dat geval dient men de waarde van de meest gelijkaardige visuele taak op te nemen of een specifieke studie te laten uitvoeren om de gepaste verlichtingscriteria te bepalen. De richtwaarden opgegeven voor de te behouden verlichtingssterkte (\bar{E}_m) zijn geldig voor de taak- of activiteitsvlakken waar de gespecificeerde visuele taak uitgevoerd wordt. De richtwaarden van verlichtingssterktes voor de direct aangrenzende zone en de achtergrond zijn in verhouding met de verlichtingssterkte van het taakvlak te bepalen volgens paragraaf 5.3.4 en 5.3.5.

Ook al worden voor verschillende taken/activiteiten de belangrijkste streefwaarden voor de verlichtingscriteria weergegeven in de tabellen, is het belangrijk dat alle bepalingen die in de norm zijn opgenomen worden gevolgd. Bepalingen die niet expliciet zijn opgenomen in de tabellen zijn daarom niet minder belangrijk en moeten ook beantwoord worden. Om te voldoen aan de norm zijn, naast het behalen van de richtwaardes voor de criteria uit de tabellen, volgende parameters ook te evalueren:

- Beperken van de piek-luminantie van lichtbronnen in verlichtingstoestellen voor directe inkijk, bijvoorbeeld via afscherming. (zie paragraaf 5.5.2 van de norm)
- Geschikte plaatsing van lichtarmaturen ten opzichte van personen die beeldschermwerk vervullen om hinderende reflecties te vermijden. Ook maximaal gemiddelde luminantie van de armaturen in uitstraalhoeken boven 65° worden hierbij voorgeschreven (zie paragraaf 5.9).

Om een optimaal lichtontwerp te bekomen worden aanvullend volgende aspecten best nagezien:

- Vermijden van sluiereffecten en indirecte verblinding (reflectie in b.v. schermen)
- Beperken van verblinding door daglichtopeningen
- Goede balans tussen directe en indirecte verlichting ('modelling')
- Gepaste kleurtemperatuur van lichtbronnen (zie paragraaf 5.7.2 van de norm)
- Lampflikkering en stroboscopische effecten vermijden (zie paragraaf 5.8 van de norm)

4. Richtwaarden voor referentieoppervlakken

De te behouden verlichtingssterkte wordt per type taak of activiteit weergegeven in de tabellen uit hoofdstuk 7 van de norm. Deze richtwaarden werden opgesteld voor normale visuele omstandigheden. Dit betekent dat waarnemingsfactoren, zoals de afstand, typische afmetingen van objecten en nauwkeurigheid van de visuele taak alsook meer psychologische aspecten in verband met visueel comfort en ergonomie worden in acht genomen.

Indien echter de aangenomen omstandigheden afwijken van de normale visuele vereisten, is het aangewezen om te behouden verlichtingssterkte aan te passen volgens een bepaalde schaal van richtwaarden. Deze schaal van verlichtingssterktes komt overeen met de waarneembare verschillen die een gemiddeld persoon kan zien. De schaal die in de norm wordt gehanteerd is als volgt:

20 - 30 - 50 - 75 - 150 - 200 - 300 - 500 - 750 - 1000 - 1500 - 2000 - 3000 - 5000 Lux

De norm EN 12464-1 vermeldt in paragraaf 5.3.3 bijzondere voorwaarden, *context modifiers* genoemd, waarbij de richtwaarden best aangepast zouden worden. De vereiste richtwaarden voor ieder type activiteit zijn reeds opgesteld ervan uitgaande dat de taak uitgevoerd wordt in de meest gebruikelijke omstandigheden. Zo wordt voor kantoorwerk een verlichtingssterkte van 500 lx gevraagd op het taakgebied voor typische lees- en schrijfp opdrachten, maar 750 lx voor technische tekenen en slechts 200 lx voor taken zoals archivering. Als deze taken echter uitgevoerd worden in moeilijkere omstandigheden zou een verhoging van de richtwaarden overwogen moeten worden. Zeven voorwaarden in relatie met mogelijke afwijkende omstandigheden worden gegeven.

Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de uitgevoerde visuele taken bijzonder kritisch zijn omwille van veiligheid en/of economische waarde, als een verhoogde concentratie belangrijk is, als de gevraagde nauwkeurigheid uitzonderlijk is, of nog als de waarnemers die de taak moeten uitvoeren een minder goed zicht hebben (zoals bij oudere personen⁵). Ook indien de observatietijd voor de visuele taken ongewoon lang duurt is het aangewezen om de richtwaarde voor de verlichtingssterkte te verhogen.

⁵ Het licht dat effectief de retina bereikt, neemt af met de leeftijd vanwege een kleinere pupilopening en door de spectrale absorptie van de ooglenzen (vergeling). Volgens het CIE 227 document moeten deze oog-gerelateerde verliezen vanaf een leeftijd van ongeveer 50 jaar in acht genomen worden.

Indien één of twee van deze voorwaarden uit de norm geldig zijn, is het aangewezen om één stap hoger te gaan; bij meer dan twee voorwaarden kunnen twee stappen hoger aangehouden worden. Als voorbeeld, is het in een kantooromgeving aangewezen om één stap hogere verlichtingssterktes aan te nemen indien bij werknemers een belangrijk aandeel oudere personen aanwezig zijn die visueel meer vermoeiende taken uitvoeren. In praktijk dient men op voorhand met de opdrachtgever en/of preventiediensten duidelijk af te spreken, niet alleen waar de taakvlakken zich bevinden, maar ook waar en welke bijzonder omstandigheden kunnen voorkomen.

Niet alleen de verlichtingssterkte op de taak- en activiteitsvlakken worden opgetrokken, maar ook voor de direct aangrenzende zone en de achtergrond dienen de richtwaarden in verhouding aangepast te worden. Dit is nodig om ongewenst hoge contrasten te vermijden. De direct aangrenzende zone is een strook rondom het taakvlak, waarop de minimumverlichtingssterkte een ratio is van deze die op het taakgebied aanwezig is, met 500 lux als bovengrens en 150 lux als ondergrens (zie tabel 3 uit EN 12464-1).

De gelijkmatigheid moet hier groter of gelijk zijn aan 0,4. Daarnaast moet de verlichtingssterkte van het achtergrondgebied minimaal 1/3 van de te behouden verlichtingssterkte op de direct aangrenzende zone bedragen. De gelijkmatigheid moet hier groter of gelijk zijn aan 0,10.

5. Praktijkvoorbeeld

Vooraleer dieper in te gaan op enkele deelaspecten van visueel comfort wordt een voorbeeld gegeven dat ook is opgenomen in de norm. Op deze manier krijgt de lezer een algemeen beeld over het te volgen stappenplan. In de norm staan nog 3 andere voorbeelden.

Voorbeeld: kantoortoepassing

Beschrijving van de activiteiten

In een landschapskantoor vinden er klassieke activiteiten plaats, waaronder schrijven, typen, lezen, gegevensverwerking, archiveren en kopiëren. De op de computer uitgevoerde taken zijn flexibel en kunnen op verschillende plaatsen in de ruimte uitgevoerd worden. Het archiveren en kopiëren gebeurt op vaste plaatsen in het kantoor. De leeftijd van het personeel in de ruimte varieert van midden 20 tot begin 60, met een middengroep van rond de 50. Geen van de huidige personeelsleden is visueel beperkt (behalve de normale achteruitgang van de ogen in functie van de leeftijd). Het kantoor moet zo verlicht worden dat de flexibiliteit van de ruimte behouden blijft en alle taken optimaal kunnen worden uitgevoerd.

Ontwerpparameters

De eerste stap is het vastleggen van richtwaarden voor het ontwerp, onder andere de verlichtingssterkte en andere parameters. In de norm is een overzicht van verschillende activiteiten opgenomen, met voor iedere activiteit een tabel met voorschriften. Voor de genoemde kantoortaken in ons voorbeeld zijn de verlichtingseisen terug te vinden in Tabel 34 'Offices'. Figuur 6 geeft de criteria en richtwaarden uit de norm voor typische kantoortaken.

Figuur 6 : Specifieke verlichtingseisen voor typische kantoortaken (Bron EN 12464-1)

Ref. no.	Type of task/activity area	\bar{E}_m lx		U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,wall}$ lx	$\bar{E}_{m,ceiling}$ lx	Specific requirements
		required ^a	modified ^b							
34.1	Filling, copying, etc.	300	500	0,4	80	19	100	100	75	
34.2	Writing, typing, reading, data-processing	500	1000	0,6	80	19	150	150	100	DSE-work, see 5.9 Room brightness, see 6.7 and annex B Lighting should be controlled, see 6.2.4. For smaller cellular offices the wall requirements applies to the front wall. For other wall a lower requirement of minimum 75 lx could be accepted.

Vanwege de gewenste flexibiliteit om de kantoorruimte te allen tijde te kunnen aanpassen moet in de volledige ruimte aan de strengste voorwaarden voldaan worden. Dit betekent concreet in ons voorbeeld dat, aangezien er een relatief hoog percentage oudere werknemers in de ruimte aanwezig is, de vereiste verlichtingssterkte van 500 lux mogelijks niet toereikend is. In de norm zijn contextafhankelijke factoren opgenomen waarbij het aanbevolen wordt om de verlichtingssterkte met één of twee stappen te verhogen volgens de opeenvolgende stappen in verlichtingssterkte. Omwille van het relatief hoog percentage aan oudere werknemers die visueel meer vermoeiende taken uitvoeren, beslist het ontwerpteam om dat de minimaal vereiste gemiddelde verlichtingssterkte minstens met één stap verhoogd moet worden, namelijk van 500lx naar 750lx in een welbepaalde zone van het kantoor.

De ontwerpwaarde voor de te behouden verlichtingssterkte \bar{E}_m wordt nu dus bepaald en vastgelegd op 750lx. Aangezien de gemiddelde verlichtingssterkte op het taakoppervlak met één stap is verhoogd, moeten ook de te behouden cilindrische verlichtingssterkte en de te behouden verlichtingssterkte van de muren en plafond eveneens met één stap worden verhoogd, hetgeen resulteert in de uiteindelijke verlichtingseisen zoals aangegeven in de Figuur 7.

Figuur 7 : Aangepaste ontwerpwaardes voor verlichting (Bron EN 12464-1)

\bar{E}_m lx	U_o	R_a	R_{UGL}	$\bar{E}_{m,z}$ lx	$\bar{E}_{m,wall}$ lx	$\bar{E}_{m,ceiling}$ lx
				$U_o \geq 0,10$		
750	0,60	80	19	200	200	150

De gemiddelde verlichtingssterktes voor de directe omgeving en achtergrond zijn bijgevolg minstens respectievelijk 500 lx en $500 \text{ lx}/3=167 \text{ lx}$.

Om een maximale flexibiliteit te garanderen zou ook gekozen kunnen worden om 1000 lx als ontwerpwaarde aan te nemen, weliswaar aangevuld met de mogelijkheden van een geschikt lichtregelsysteem om de basisvereisten te voldoen maar tegelijk ook om variatie in de visuele omgeving mogelijk te maken gedurende de dag.

6. Verlichting van een ruimte

Voor een aangepast visueel comfort zijn de luminantie-verdelingen, bepalend voor de helderheidsperceptie van de ruimte, van belang en niet alleen de verlichtingssterktes op welbepaalde referentievlakken. Luminantie is een maat voor het licht dat invalt op het oog vanuit een richting waar een vlak of lichtbron zich bevindt. De verdeling van luminantie in het zichtveld bepaalt immers het adaptatieniveau van de ogen en heeft zo een directe impact op visuele prestaties voor een taak en de oogfuncties. Het is daarom essentieel om niet alleen de taakoppervlakken te verlichten, maar ook de direct zichtbare omgeving voldoende helder te belichten, zodat er een evenwichtige verdeling van licht is tussen de zones in het gezichtsveld.

Bovendien heeft een goede verlichting van de omgeving ook invloed op gezondheid en het welzijn van de mensen. Licht bevordert, naast voeding en beweging, de slaap- en waakritme en alertheid van werknemers. Veel biologische functies worden door onze biologische klok gestuurd en hebben een cruciale impact op onze gezondheid. Om die reden is een relatief hoge lichtinval overdag en een zo laag mogelijk lichtstimulus gedurende de nachttijd nodig. De verlichtingssterktes op het oog, die nodig zijn voor het optimaal functioneren van onze interne biologische klok, zijn overdag in het algemeen hoger dan nodig voor het uitvoeren van de visuele taak. In het nieuwe informatief annex B uit de norm worden enkele verduidelijkingen en algemene richtlijnen voor deze niet-visuele effecten van licht gegeven.

Verticale vlakken en plafond hebben dus een invloed op hoe een ruimte visueel wordt ervaren. In deze laatste herziening van de norm zijn de verlichtingssterktes voor de muren en het plafond opgetrokken én opgenomen in de tabellen met verlichtingseisen. Hiermee krijgt de helderheid van de ruimte meer aandacht. De helderheid van zichtbare oppervlakken wordt onder andere bepaald door de verlichtingssterkte en de mate waarin dit oppervlak het licht weerkaatst. In de norm worden daarom grootteordes voor de reflectiefactoren voor enkele typische oppervlakken aanbevolen. De richtwaarden zijn weergegeven in volgende tabel:

Tabel 1 : Aanbevolen bereik voor reflectiecoëfficiënten van oppervlakken

Oppervlak	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Plafonds											
Muren											
Vloer											
Objecten											

Nota: De minimale richtwaardes zijn voor bepaalde afwerkingen en kleuren moeilijk te halen. Vooral voor vloeroppervlakken kan het soms nuttig zijn om verschillende alternatieven te testen en gedetailleerde optische gegevens op te vragen. Indien donkere kleuren worden gebruikt zouden die best op een beperkte oppervlakte gebruikt worden.

De reflectie van licht op alle oppervlakken is een belangrijke factor voor de lichtverdeling en de helderheidsperceptie van de ruimte. Door weerkaatsingen van licht hebben de reflecties op de vloer en meubilair impact op verlichtingssterkte op het plafond. In principe hoeft men hiervoor enkel de zones te belichten die zich in het gezichtsveld bevinden. Bijvoorbeeld, in een individuele werkpost hoef je de muur achter de werknemer in principe niet mee te nemen. Welke oppervlakken de visuele perceptie in een ruimte bepalen is sterk afhankelijk van de situatie. In kleine ruimtes spelen de wanden een belangrijke rol, terwijl in grotere volumes het plafond en ook meubilair een meer fundamenteel effect zullen hebben.

De reflectiecoëfficiënten van de zichtbare oppervlakken moeten gekozen worden zodat de luminantie in harmonie is met luminantie op de taakvlakken en andere referentievlakken. Om de conformiteit van het verlichtingsontwerp te verzekeren, is het zelfs bij herinrichting of vervanging van het meubilair, aangewezen om lichtberekeningen te maken met inbegrip van de meest relevante objecten en oppervlakken in de ruimte (vensters, structurele elementen (balken, kolommen, enz.), meubilair, tussenwanden, machines, enz.).

De kleur van een oppervlak beïnvloedt sterk de reflectie-eigenschappen, maar de textuur van het oppervlak is evenzeer bepalend. Ruwe afwerkingen zijn in het algemeen meer diffuus reflecterend, dit wil zeggen dat ze licht in alle richtingen verspreiden, en dus meer gelijkmatige lichtverdelingen opleveren. Figuur 8 geeft richtwaarden voor de reflectiecoëfficiënt van een diffuus, homogeen en vlak oppervlak in functie van zijn kleur weer.

Figuur 8 - Typische reflectiecoëfficiënt van oppervlakken in functie van kleur (RAL codes)

Light reflexion coefficient %	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5		
White / Grey / Black	9016	9010	9001	1013	1015	9018	7035	9006	7044	7038	7040	7004	7030	7023	7005	7011	7016		
Yellow / Orange				1026	1016	1018	1021	1023	1028	1033	2000								
Brown										1007	1006	1005	1011	1027	8001	8024	8014		
Green										6027	6034	6021	5018	6011	6025	6010	6009		
Blue												7001	5024	5014	5015	5007	5011		
Violet													3012	4009	4003	4010	4006	4007	
Red														2003	2008	2004	2002	3000	3004

Indien bij controlemetingen de verlichtingssterkte en de luminantie van een oppervlak worden bepaald kan de reflectiecoëfficiënt bij benadering afgeleid worden. De reflectiefactor ρ_v van een perfect diffuus oppervlak wordt berekend met volgende formule:

$$\rho_v = \frac{L}{E} \times \pi$$

Waarbij:

L is de luminantie van het vlak in alle richtingen,

E is de verlichtingssterkte op dat vlak.

7. Cilindrische verlichtingssterkte en directionaliteit van licht

In vele ruimte is er ook een behoefte aan goede visuele communicatie en herkenning van personen en/of voorwerpen. Om deze voldoende en kwalitatief te verlichten moet met ook aandacht besteden aan de gerichtheid of directionaliteit van het licht. Te sterk gericht licht veroorzaakt veel harde schaduwen en grote contrasten in de ruimte, enkel diffuus licht maakt een ruimte dan weer juist monotoon en vermoeilijkt het dieptezicht (Figuur 9). De visuele ervaring in een ruimte wordt als prettig ervaren wanneer de mensen en objecten zo worden verlicht, dat hun vorm en textuur duidelijk zichtbaar zijn.

Figuur 9 - Directe, gemengde en diffuse belichting



De norm gebruikt als toetsing voor dit criterium de cilindrische verlichtingssterkte, \bar{E}_z . De cilindrische verlichtingssterkte is de hoeveelheid licht die invalt op een beperkt cilindervormig oppervlak in een punt per eenheid van oppervlakte. Het kan benaderd worden door het gemiddelde te nemen van de verticale verlichtingssterkte gemeten of berekend in één punt in de vier orthogonale hoofdrichtingen.

Zoals voor iedere specifieke visuele taak worden ook minimale cilindrische verlichtingssterkte $\bar{E}_{m,z}$ vereist in de tabellen met verlichtingseisen uit de norm. Deze gemiddelde te behouden cilindrische verlichtingssterkte wordt bepaald in een horizontaal vlak op een hoogte van 1,20m wanneer de personen overwegend in zittende positie blijven, maar op een hoogte van 1,60 m indien de personen vooral rechtstaan. De bepaling van cilindrische verlichtingssterktes dient te gebeuren in een volume die de taak- en activiteitsvlakken, alsook de direct aangrenzende omgeving bevat.

Daarnaast wordt ook het concept van 'modelling' geïntroduceerd (zie paragraaf 5.6.3). Modellering is een maat voor de gerichtheid van licht en wordt gedefinieerd als de ratio tussen cilindrische en horizontale verlichtingssterkte in een punt. Dit heeft dus ook te maken met verdeling van licht en de balans tussen diffuus en direct licht in de ruimte. De norm geeft, enkel voor relatief uniforme verlichtingsomstandigheden, een aanbeveling van een richtwaarde tussen 0,3 en 0,6 aan. Indien nodig kan met gericht licht een visuele taak extra worden ondersteund zoals bij precies werk of kleur- en kwaliteitsbeoordeling.

8. Daglicht en welzijn

Het benutten van daglicht in gebouwen wordt bijna overal aangemoedigd, maar is voor werkplekken bijzonder belangrijk wanneer mensen daar voor lange periodes verblijven⁶. Voldoende daglicht binnenlaten is daarom het allereerste principe uit de nationale regelgeving (Art. III.1-31 van de welzijnswet). Wel valt op te merken dat de lichtniveaus in meeste binnenomgevingen ongeveer 100 maal lager zijn dan de lichthoeveelheid waaraan we buiten worden blootgesteld. Vele mensen hebben dus een chronisch tekort aan licht.

Licht is voor het realiseren van visuele taken nodig, maar is daarnaast ook essentieel voor de gezondheid en welzijn van de mens. De mogelijke positieve of negatieve impact van licht op het menselijk organisme worden 'niet-visuele' effecten genoemd. In de norm NBN EN 12464-1 wordt een volledig nieuwe bijlage aan deze aspecten toegewijd. Voldoende licht op de juiste tijdstippen en een zicht naar buiten hebben een grote invloed op ons slaap- en waakcyclus⁷, bevordert ons concentratie- en leervermogen, helpt om stress te reduceren, heeft invloed op onze gemoedstemming en zou ook een duidelijk impact hebben op de productiviteit van werknemers. Om deze positieve effecten te ontplooiën zijn overdag hoge lichtniveaus nodig (bovendien met licht die een relatief continu spectrum heeft) en aanvullend is het wenselijk om 's nachts lichtniveaus zo laag mogelijk te houden en alleszins licht met teveel blauwe stralingscomponenten te vermijden (bijvoorbeeld door licht met warme kleurtemperaturen gebruiken).

Gezien de hoge lichtniveaus, de spectrale kwaliteit en de intrinsieke variaties is daglicht de aangewezen bron van licht, die dan op bepaalde tijdstippen met kunstlicht kan aangevuld worden. In werkplekken draagt voldoende daglichttoetreding, in belangrijke mate, bij tot het tevredenheid van werknemers. De dagelijkse variatie in hoeveelheid, richting en kleur van daglicht zorgen voor afwisseling die gunstig is voor mensen. Daarenboven zorgen vensters en andere daglichtopeningen ook voor een visueel contact met de buitenwereld. De specifieke voordelen van daglicht voor werkplekken werden in een aparte paragraaf van de norm EN 12464-1 beschreven (zie paragraaf 6.5). Bijkomend worden verdere duidingen over niet-visuele effecten van daglicht worden opgegeven in het Annex B.

6 Daglicht verdient voorrang voor alle plaatsen waar werknemers regelmatig verblijven. Algemeen gezien beschouwt men een ruimte of een werkplek als regelmatig bezet als die dagelijks voor periodes van meer dan een half uur worden gebruikt.

7 De slaap- en waakcyclus van de mens wordt geregeld door een interne biologische klok die voor iedereen ongeveer een 24-uren periode heeft, vandaar de naam circadiaans ritme (het Latijnse 'circa dies' betekent 'ongeveer een dag'). In de loop van ons leven verandert ook ons bioritme wel. Zo hebben baby's en peuters, maar ook oude mensen gewoonlijk een korter of ultradiaans ritme. Lichtinval die door de specifiek lichtgevoelige cellen op de retina opgevangen wordt kan deze biologische klok aansturen (versnellen of vertragen). De dynamische variaties in intensiteit en spectrum van daglicht en het verloop ervan zijn daarom belangrijk om iedere dag opnieuw dit circadiaans ritme in te stellen.

Voor de evaluatie van daglichtprestaties in een gebouw, en onder andere voor de gebruikte criteria en bepalingsmethodes, wordt verwezen naar de norm NBN EN 17037. Deze norm bevat vier criteria om kwaliteit van daglicht in een ruimte te evalueren: daglichttoetreding, zicht naar buiten, direct zonlicht en risico's op verblinding. Bij elk van deze criteria worden drie prestatieniveaus gedefinieerd (minimum, gemiddeld, hoog). Gebrek aan daglichttoetreding wordt vermeld als één van de voorwaarden om de richtwaarden voor de verlichtingssterkte te verhogen (zie paragraaf 'richtwaarden voor referentievlakken'). Als richtlijn voor daglichttoetreding in werkplekken kunnen prestaties overeenkomstig met het niveau "minimum" aanbevolen worden, dit betekent minimaal 300 lx op 50 % van de oppervlakte van de ruimte tijdens minstens 50 % van de tijd met daglicht. Indien de ruimte minder daglicht krijgt is het dus aangewezen om verlichtingssterktes op taakgebieden en de andere referentievlakken te verhogen.

Vermits voor werkplekken ook de risico's op verblinding een belangrijke invloed kunnen hebben op werknemers is dit een extra aandachtspunt. Het is allereerst nuttig om direct zonlicht op de precieze plaatsen waar mensen een vaste werkplek hebben te beperken. Maar daglicht kan ook problemen voor het visueel comfort veroorzaken door te hoge helderheid van daglichtopeningen in relatie met het beeldscherm en de waarneembare omgeving, zelfs zonder direct zonlicht. Systemen die inval van zonlicht kunnen moduleren gekoppeld aan een aangepaste sturing zijn in vele gevallen een goede oplossing. Specifieke bepalingsmethodes in verband met verblinding en richtlijnen voor de keuze van zonweringsmaterialen worden verduidelijkt in het Annex E uit de norm EN 17037.

Als de kunstverlichting geregeld kan worden om terug te dimmen of uit te schakelen bij voldoende daglicht, kan daglichttoetreding ook aanzienlijke besparingen opleveren op het elektriciteitsverbruik van de lichtarmaturen. Aangezien verlichting een relatief groot aandeel heeft voor tertiaire gebouwen, kan dit een belangrijke invloed hebben op de energie-efficiëntie en duurzaamheid van het gebouw.

Enkele praktische richtlijnen voor daglicht in werkplekken zijn:

- Plaats werkplekken bij voorkeur dicht bij en haaks tot het raam, tenzij de visuele taken die uitgevoerd moeten worden gehinderd zouden kunnen worden door teveel daglicht. Voor personen die werkzaamheden zonder veel daglicht moeten uitvoeren zijn voldoende en regelmatige rustpauzes gewenst in een ruimte met veel daglicht of in buitenomstandigheden.
- Beeldschermwerkplekken zouden ingeplant moeten worden zodat de kijkrichting ongeveer parallel is aan het raam (i.e. scherm loodrecht op het raam). Hierdoor valt minder daglicht direct op het scherm en kijkt de gebruiker niet tegen het daglicht in.
- Zorg voor geschikte zonbeheersing die vooral verblinding door direct zonlicht kan reduceren en vrij instelbaar is door de gebruikers. Dit is van bijzonder belang voor werkposten met beeldschermen of waar precieze visuele taken werk worden verricht.
- Vanaf iedere werkplek is een goed zicht naar buiten noodzakelijk, met ideaal de mogelijkheid om in de verte te kijken. Door regelmatig naar buiten te staren kan het oog ontspannen en vermindert het risico op oogvermoeidheid.
- Lokalen en ruimtes voor ontspanning of informele sociale contacten (eetzaal, koffieruimte, zithoek, enz.) worden best voorzien van veel daglicht en een mogelijke toegang naar buiten.

9. Evaluatie van risico op verblinding

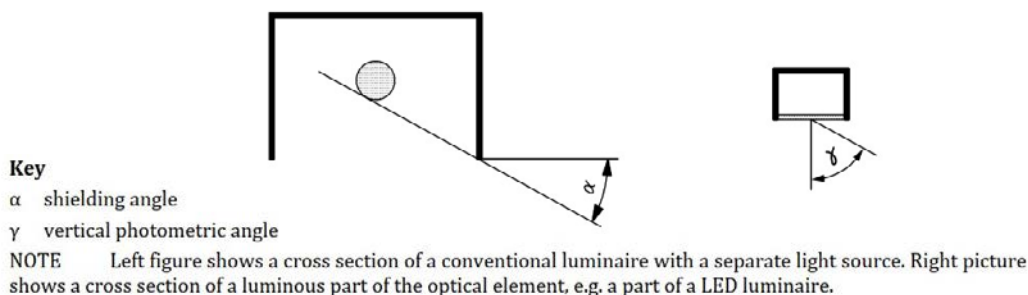
Verblinding is visuele hinder die waarnemingen kan bemoeilijken. Het treedt op wanneer bepaalde zones in het gezichtsveld een te grote helderheid hebben of wanneer de contrasten tussen zones te fel zijn. In de eerste plaats denken we aan verlichtingstoestellen maar ook vensteropeningen en andere heldere vlakken in de ruimte kunnen storend werken. Ook kan verblinding ontstaan ten gevolge van reflecties bijvoorbeeld bij gebruik van beeldschermen of spiegellende oppervlakken (glanzend papier, metaal, glas, enz.). Dit laatste noemen we soms sluiereffect. Verblinding zorgt ervoor dat fouten of ongevallen kunnen gebeuren maar ook dat werknemers sneller vermoeid raken en dus minder geconcentreerd kunnen werken. Verblinding moet daarom beperkt worden.

De evaluatie van risico's op verblinding gebeurt volgens de norm NBN EN 12464-1 in twee verschillende opeenvolgende en complementaire stappen. Eerst moet men zorgen voor het afschermen van de lichtbron en/of door het beperken van de luminanties van lichtgevende oppervlakken die een belemmerende verblinding ('*disability glare*') kunnen veroorzaken. Daarna gaat men naziën als de verlichtingsarmaturen zoals opgesteld in de ruimte geen onbehaaglijke verblinding veroorzaken ('*discomfort glare*').

1. Beperken luminantie lichtarmaturen (*Limiting luminaire luminance*)

De waargenomen helderheid van de verlichtingstoestellen kan zeer hoog zijn en daarom moet de piekluminanties beperkt worden. Afschermhoeken hebben als doel om de te heldere vlakken van het direct zicht vanop een werkplek in de ruimte af te schermen. De vereiste afschermhoeken zijn afhankelijk van de luminantiewaarden. In het bijzonder wordt een onderscheid gemaakt tussen verlichtingstoestellen waar de lichtbron rechtstreeks zichtbaar is en verlichtingstoestellen waarbij de lichtbron niet direct zichtbaar is door het gebruik van optieken (zoals bij meeste ledarmaturen met diffusoren). Voor de eerste categorie worden afschermhoeken aangegeven in relatie tot de luminantie van de lichtbron zelf. Voor het tweede geval worden maximale luminantie van de lichtgevende oppervlakken opgegeven in functie van de uitstraalhoek (Figuur 10).

Figuur 10 - Afschermhoek voor verblinding (Bron EN 12464-1)



2. Beperken van verblinding in de ruimte (Limiting discomfort glare)

Verblinding kan optreden door de kunstlicht, daglicht of een combinatie van beide. Om verblinding door daglichtopeningen te evalueren wordt verwezen naar de norm NBN EN 17037 en de specifieke methodes die daarin staan beschreven.

Verblinding door de verlichtingsarmaturen worden ingeschat aan de hand van een verblindingsindex die in het bijzondere afhankelijk is van de positie en zichtrichting van de waarnemer. Om verblinding door kunstlicht in een ruimte te beoordelen blijft de norm NBN EN12464-1 bij het gebruik van de metriek R_{UG} ⁸, weliswaar met enkele belangrijke verduidelijkingen. De RUG-methode is ontwikkeld door de CIE voor de evaluatie van de rechtstreekse verblinding en hangt af van de configuratie van de verlichtingstoestellen, de karakteristieken van de ruimte (afmetingen, reflecties) en de waarnemingspositie van de gebruikers.

Lage R_{UG} -waarden geven een verminderd risico op directe verblinding. De schaalverdeling loopt van 10 tot 28. Hoe lager de R_{UG} -waarde hoe minder het risico op verblinding. Een hoge waarde betekent dus veel kans op verblinding. Voor R_{UG} -waarden lager dan 10 treedt geen enkele merkbare verblinding op. Het is pas vanaf een waarde van 22 dat de verblinding storend wordt ervaren voor de meeste personen. Met R_{UG} waarden hoger dan 28 wordt de verblinding zelfs ondraaglijk. Wel dient opgemerkt dat verlichtingsarmaturen met een relatief lage R_{UG} nog altijd hinderlijke piekluminanties kunnen geven. De grenswaarde die de verblindingsindex R_{UG} voor een gegeven situatie niet mag overschrijden wordt R_{UGL} genoemd (L voor limiet) en staat opgegeven in de tabellen. In de tabellen variëren de eisen trouwens in functie van het type activiteiten. Voor de R_{UGL} -eisen hanteert de norm standaardwaarden, verdeeld in categorieën: 16, 19, 22, 25 en 28. Enkele typische richtwaarden worden in Tabel 2 gegeven.

⁸ De RUG-methode voor lichthinder door verblinding gebruikt de UGR (Unified Glare Rating)-metriek die berekend wordt in standaard aangegeven omstandigheden. In de versie van 2011 van de norm EN12464-1 waren grenswaarden voor 'UGR' genoteerd terwijl nu de 'RUG' notatie is gebruikt. Ten opzichte van de versie uit 2011 is er dus slechts een naamswijziging, maar geen aanpassingen werden aangebracht aan de formule. In het document CIE 117:1995 'Discomfort glare in interior lighting' wordt deze methode gedefinieerd.

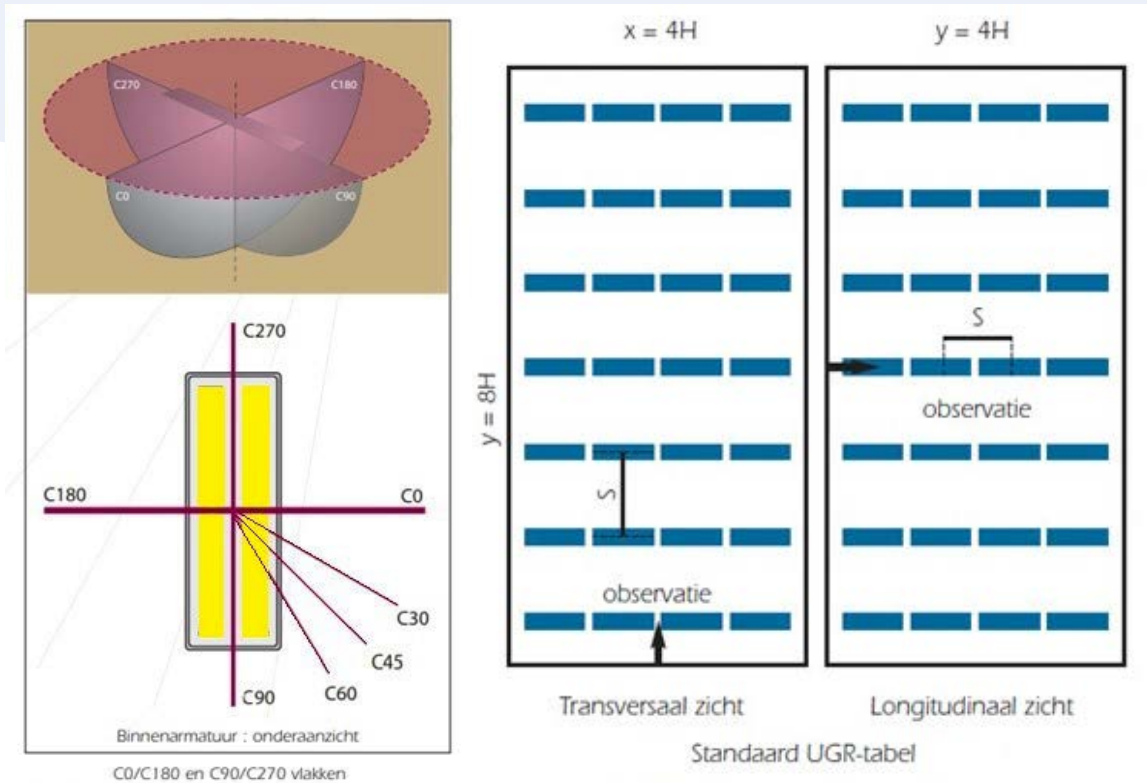
Tabel 2 : Richtwaardes voor verblindingsindex

R _{UGL}	Typische activiteiten
16	Kantoren waar precies werk of kritische taken op beeldschermen wordt verricht
19	Kantoren, vergaderzalen, klaslokalen, ...
22	Onthaal, assemblagewerkzaamheden
25	Trappen, ... diverse industriële activiteiten
28	Circulatie en gangen

Een belangrijk aandachtspunt is dat deze RUG-waarde moet berekend worden via de tabelmethode. Bovendien worden de variaties \pm (afhankelijk van de positie van de waarnemer) **niet** meegenomen bij het vergelijken van de RUG-waarde met de grenswaarde. Tabellen met waarden worden gewoonlijk door verlichtingsfabrikanten ter beschikking gesteld en zijn bovendien ook opgenomen in de meest courant beschikbare lichtberekeningsprogramma's. Deze tabelmethode vereist verschillende gegevens met betrekking tot de vorm van de ruimte, de plaatsing van de armaturen en de reflectiecoëfficiënten van de wanden, het plafond en de vloer.

Deze evaluatie met de tabelmethode baseert zich op de bepaling van de verblinding in een rechthoekige ruimte voor twee observatieposities die theoretisch gezien het meest ongunstig zijn (Figuur 11). Deze twee posities worden in het midden van de wanden van de ruimte geplaatst en zijn elk gericht volgens de loodrechte richtingen, respectievelijk longitudinaal (endwise) en transversaal (crosswise) genoemd. De standaardkijkrichting is horizontaal, loodrecht op de wand op een hoogte van 1.2m (gemiddelde ooghoogte voor een zittend persoon). De longitudinale kijkrichting (lengterichting) is evenwijdig met de vlakken C90/C270 en de transversale kijkrichting (dwarsrichting) is evenwijdig met de vlakken C0/C180. Deze vlakken worden gedefinieerd overeenkomstig de NBN EN 13032- 1 norm.

Figuur 11 : Conventionele opstelling van de armaturen in een ruimte voor tabelmethode



De RUG-waarden voor de twee kijkrichtingen (longitudinaal en transversaal) worden bepaald door de afmetingen van de ruimte uit te drukken in verhouding tot H, de afstand tussen de hoogte van de ogen van de waarnemer en het montagevlak van de armaturen.

Zo wordt H voor een ruimte van 12 m lang, 6 m breed en 2,7 m hoog als volgt bepaald:

- Montagehoogte van de armaturen: 2,7 m (hoogte onder plafond);
- Ooghoogte van de waarnemer: 1,2 m (ooghoogte van zittend persoon).

Hoogte boven de ogen: $H = 1,5$ m

Om de afmetingen van het lokaal uit te drukken in functie van H wordt afgesproken dat de afmeting x loodrecht genomen wordt t.o.v. de observatierichting en y parallel genomen wordt t.o.v. de observatierichting (zie Figuur 11).

De afmetingen van het lokaal kunnen dus als volgt uitgedrukt worden:

Transversaal: $x = 6 \text{ m} > x = 4 H$
 $y = 12 \text{ m} > y = 8 H$
 Longitudinaal: $x = 12 \text{ m} > x = 8 H$
 $y = 6 \text{ m} > y = 4 H$

Zodra de x- en y-waarden bepaald zijn in functie van H, worden de RUG-waarden uit de tabel gehaald in functie van de reflectiecoëfficiënten van het lokaal. Indien de reflectiecoëfficiënten van het plafond 70 % zijn, die van de muren 50 % en die van de vloer 20 %, zijn de R_{UG} -waarden uit de tabellen voor het bovenstaande voorbeeld respectievelijk gelijk aan 14,0 voor het transversaal zicht (evenwijdig met de vlakken C0/C180) en 13,1 voor het longitudinaal zicht (evenwijdig met de vlakken C90/C270).

De verblindingsindex-tabellen die door verlichtingsfabrikanten ter beschikking gesteld worden of gegenereerd kunnen worden in lichtberekeningsprogramma's worden opgesteld bij een S/H-verhouding van 0.25 of 1. Het is belangrijk dat deze S/H-verhouding vermeld wordt en bij vergelijking tussen verschillende lichtontwerpen hetzelfde wordt gekozen. Een S/H=0.25 wordt voorgeschreven voor de evaluatie, en dient zo uiteraard gerapporteerd te worden. Het is dus ook aanbevolen om het voorschrift S/H=0.25 duidelijk in bestekken op te nemen. Om verschillende studies met elkaar te kunnen vergelijken is het immers nodig dat alle studies gebeuren bij dezelfde keuze van S/H-verhouding.

De RUG-tabelmethode kan echter niet gebruikt worden voor toestellen met asymmetrische lichtbundel (b.v. voor het aanlichten van muren), toestellen met een louter indirecte component, dubbel asymmetrische toestellen, richtbare spots en toestellen met een zeer klein (individuele led) of zeer groot lichtgevend oppervlak (b.v. lichtgevend plafond). Een verdere duiding over het gebruik van de RUG-tabelmethode wordt gegeven in Annex A. Wanneer de tabelmethode niet kan toegepast worden en/of de positie van de werknemer bekend is, kan via de algemene formule (zie paragraaf 5.5.32) de RUG ook berekend worden of gesimuleerd met een lichtberekeningsprogramma. Deze simulaties kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden om inplanting van werkposten in een ruimte te bevestigen en ontwerpsituaties te vergelijken. Hierbij is het belangrijk te vermelden dat de grenswaarden die in de tabellen met verlichtingseisen staan in dit geval moeten gezien worden als richtwaarden en niet als bindende grenswaarden.

Het lezen op papier of van een beeldscherm kan sterk bemoeilijkt worden wanneer (sluier)reflectie optreedt. Het is aan het ontwerpteam om dit effect zo veel als mogelijk te vermijden of te minimaliseren. Dit kan door volgende maatregelen:

- Een weloverwogen indeling van de werkplekken ten opzichte van de daglichtopeningen en verlichtingstoestellen;
- Keuze van materiaal en textuur van oppervlakken die niet-glanzende zijn (matte oppervlakken);
- Maximale piekluminanties van verlichtingstoestellen en van de meest hinderlijke daglichtopeningen beperken;
- Heldere kleuren voorzien voor muren, plafond en de andere meest bepalende oppervlakken voor het visueel comfort.

10. Andere parameters

1. Flikker en stroboscopische effecten:

De kwaliteit van ledverlichting heeft een snelle vlucht gemaakt, productieprocessen worden verbeterd en er worden steeds hogere eisen aan verlichting gesteld. Des te meer dat het verschil in kwaliteit tussen de verschillende verlichtingssystemen steeds opmerkelijker wordt. Toch kunnen in praktijk flikkering van licht en stroboscopisch effecten voorkomen. Beide zijn zeer onaangenaam en kunnen hoofdpijn, vermoeidheid en irritaties veroorzaken. Onderzoek wijst aan dat er grote verschillen zijn hoe mensen deze effecten ervaren of voelen. Toch zijn flikkering en stroboscopisch effect wel degelijk verschillend van elkaar.

Tijdsafhankelijke variaties van lichtstroom kunnen zichtbare lichtflikkeringen of stroboscopische effect veroorzaken. Stroboscopische effecten zijn schijnbare wijziging van de beweging en/of uitzicht van een bewegend object wanneer het door een lichtbron met variërende intensiteit wordt belicht. Fabrikanten van lampen, importeurs en andere belanghebbenden zullen er zorg voor moeten dragen dat hun producten aan de nieuwste voorschriften voldoen. De Europese ecodesign richtlijn (EU) 2019/2020 legt het kader vast voor prestatiecriteria waaraan producten en elektrische apparatuur, met inbegrip van led-lichtbronnen moeten voldoen om hun product legaal op de markt te mogen brengen. Hieronder vallen ook functionele eisen van lichtbronnen met betrekking tot flikkering en stroboscopisch effecten. Mede hierdoor zijn verlichtingsproducten voor verlichting voor deze parameters in principe afgedekt door CE-markering.

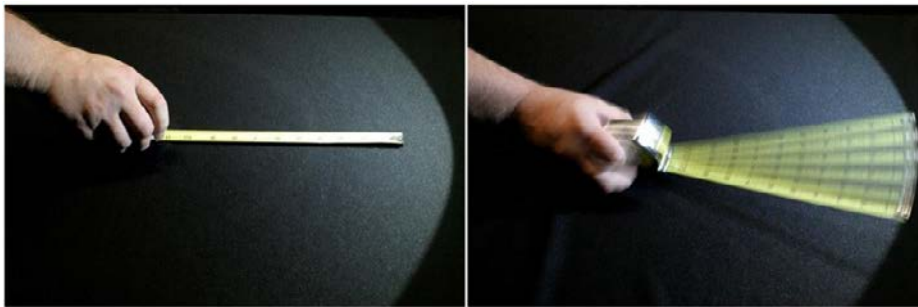
De nieuwe versie van NBN EN 12464-1 introduceert twee nieuwe parameters voor deze effecten: Short-term flicker indicator (PstLM) en de Stroboscopic Visibility Measure (SVM). Deze twee nieuwe parameters vervangen de vroegere modulatie diepte (MD) en flikkerindex (FI). Beide meetmethoden gaven geen objectieve score voor het niveau van flikkeringen en stroboscopisch effect zoals dat werkelijk door mensen wordt waargenomen. Een gedetailleerde beschrijving van de nieuwe metrieken en de test methodes worden gegeven in internationale technische rapporten IEC TR 61547-1:2020 en IEC TR 63158:2018 respectievelijk.

Vooraleer dieper in detail te gaan moeten we eerst het onderscheid verduidelijken tussen flikker en stroboscopisch effect, twee verschillende verschijnselen die op een andere manier zullen worden beoordeeld.

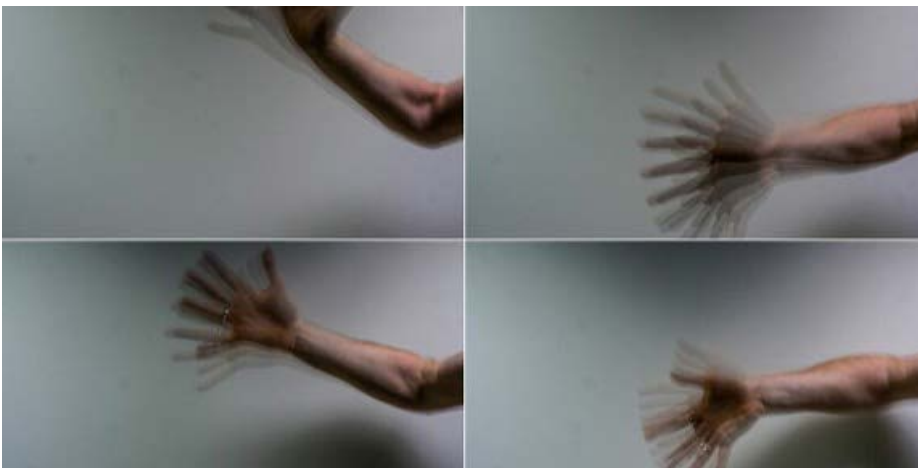
	Flikker	Stroboscopisch effect
Frequentiegebied	0,3 - 80Hz	80 - 2000Hz
Zichtbaarheid	Direct zichtbaar met het oog	Niet direct of moeilijk waarneembaar door het oog.
Waarnemingen	Wanneer zowel de lichtbron, het oog en het object statisch zijn	Wanneer de lichtbron et het oog statisch zijn en het object beweegt.
Effect	Snelle opeenvolging van licht en donker	Wordt ervaren als in stukjes gehakte beweging.
Gevaren	Kan epileptische aanvallen veroorzaken bij zeer gevoelige personen	Roterende voorwerpen*
Klachten	Ergernis, vermoeidheid, hoofdpijn	
Metriek	P_{stLM}: Short-term light modulation Gedefinieerd door: IEC/TR 61547-1 IEC 61000-4-15	SVM: Stroboscopic Visibility Measure Gedefinieerd door: IEC/TR 61547-1 IEC 61000- 3 3 IEC 61000-4-15
Grenswaarde	P _{stLM} = 1 is de modulatie die 50% van de mensen kan waarnemen	De waarde SVM = 1 vertegenwoordigt de zichtbaarheidsdrempel voor een gemiddelde waarnemer

* Noot: het is bekend dat stroboscopische effecten ook een gevaar kunnen opleveren bij het werken met machines die roterende voorwerpen bevatten (Motoren, draai- en freesbanken, ...). Onder sommige omstandigheden lijken ze dan in stilstand te staan. Dit fenomeen valt buiten de scope van deze uiteenzetting omdat we alleen de effecten behandelen die invloed hebben op het comfort en welzijn van de mens.

Figuur 12 - Voorbeelden van stroboscopisch effect van een bewegend voorwerp (bron Malgorzata Perz-TU Eindhoven)



Figuur 13 - Stroboscopisch effect van een lichtbron, vastgelegd met een mobiele camera



Mogelijke oorzaken van flikkering en stroboscopisch effect:

- Modulatievorm van het signaal.
- Technologie die toegepast wordt bij het sturen van de lichtbron en de driver
- Dimtechnologie van extern toegepaste dimmers of interne niveauregelaars
- De mate waarin het signaal wordt gedimd en dus lichtniveau van het armatuur
- Netspanningsfluctuaties (die men vaak kan waarnemen bij retrofit lampen)
- Frequentie en grootte van de stroomrimpel, direct resulterende in lichtvariaties
- Bewegingssnelheid van het geobserveerde object
- Gevoeligheid van de waarnemer en de kijkhoek
- De omgevingsverlichting

In de praktijk veroorzaken frequenties hoger dan 2000 Hz zelden problemen, ongeacht hoe hoog de modulatie ook is. Als een led op gelijkspanning werkt waarbij de lichtbron continu brandt, dan hebben we geen last van bovenstaande effecten. De tijdafhankelijke effecten beginnen te spelen bij het gebruik van AC/DC driver of bij retrofit lampen waarbij de 100Hz netspanningsrimpel zichtbaar wordt via de lichtbron. Beide effecten worden op een andere manier beschreven en andere rekenmethodes worden toegepast om de invloed te bepalen.

Flikkering en stroboscopisch effecten kunnen opgemeten worden in labo omstandigheden. Om de lichtflikkeringparameters van de lichtbron te meten wordt dan specifieke apparatuur gebruikt, bestaande uit een fotodetectiesysteem met hoge prestaties, aangevuld met een optisch V-lambda filter, waarmee de gevoeligheidscurve van het systeem kan worden aangepast aan de kenmerken van het menselijk oog. In de praktijk bestaan er ook flikker-meters op de markt die de P_{st}^{LM} en SVM kunnen opmeten en hierbij een indicatie geven over de flikkering en/of stroboscopisch effect in een lichtbron geven. Men moet zich er bewust van zijn dat deze metingen niet de dezelfde resultaten kunnen geven als degene die uit een labo komen en dus slechts indicatief zijn.

2. Kleurweergave en kleurtemperatuur

Kleurweergave in verlichting wordt weergegeven door de kleurweergaveindex (R_a) (*Colour Rendering Index*). De kleurweergave-index R_a van een lichtbron geeft weer hoe getrouw kleuren worden weergegeven wanneer een object door de lichtbron in kwestie wordt belicht is, ten opzichte van een referentiebron. Voor de visuele beleving, vooral in bepaalde omgevingen zoals musea of kunstscholen, is het van belang dat de kleuren van voorwerpen en de huid van mensen op een natuurlijke manier worden weergegeven in de omgeving. De minimale kleurweergave-index (R_a) in de meeste werkruimtes mag niet lager zijn dan 80 en in werkruimtes met speciale eisen niet lager dan 90.

De kleurtemperatuur T_{cp} (Colour temperature) wordt uitgedrukt in Kelvin. Hoe hoger de kleurtemperatuur, hoe kouder het licht wordt ervaren. Hoe lager de kleurtemperatuur hoe warmer het licht. Bij daglicht varieert de kleurtemperatuur doorheen de dag. In de norm worden hiervoor geen grenswaarden aangegeven omdat deze parameter vooral afhankelijk van psychologische en esthetische overwegingen. Wel wordt een classificatie voor kleurtemperatuur van lichtbronnen voorgesteld. Kleurtemperaturen beneden 3300 K worden warm genoemd, terwijl kleurtemperaturen boven 5300 K koud worden beschouwd. Alle lichtbronnen met waarden tussenin zijn neutraal.

3. Beeldschermen (DSE - Display Screen Equipment)

Er bestaan specifieke eisen wanneer op beeldschermen wordt gewerkt (zie paragraaf 5.9 van de norm). Bij beeldschermwerk is het belangrijk dat het contrast in het scherm niet verloren gaat, bijvoorbeeld door lichtreflecties. Hiervoor legt de norm eisen op aan de luminantie die uitgestraald wordt boven de 65° , van de gebruikte armaturen. Afhankelijk van de luminantie van het beeldscherm en het type van gebruik, wordt de limiet van het armatuur bepaald (Figuur 14). In de praktijk hebben recente beeldschermen voor kantoor een luminantie die instelbaar is tussen van 200 cd/m^2 tot 1000 cd/m^2 in het witte deel en is er veel software standaard ingesteld om met een witte achtergrond te werken, waardoor de luminantie limiet van het armatuur beperkt wordt tot $\leq 3000 \text{ cd/m}^2$. Bij negatieve polariteit (= zwarte of donkere achtergrond) of lagere luminantie van het scherm, moet het armatuur een strengere luminantie-controle hebben.

Het bovenstaande is enkel geldig voor rechtopstaande beeldschermen. Voor mobiele schermen legt de norm nog geen eisen op, maar een weloverwogen plaatsing van de armaturen in de ruimte kan het probleem van storende reflecties reduceren.

Figuur 14 : Grenswaarden voor luminanties van armaturen bij werk op beeldschermen (bron: ETAP)

Lichtsterkte beeldscherm *		Beeldscherm met hoge lichtsterkte $L > 200 \text{ cd/m}^2$	Beeldscherm met middelmatige lichtsterkte $L \leq 200 \text{ cd/m}^2$
Geval A	positieve polariteit en normale vereisten m.b.t. kleur en detail van weergegeven informatie bv. voor gebruik in kantoren, onderwijs enz.	$\leq 3000 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$
Geval B	negatieve polariteit en/of strengere vereisten m.b.t. kleuren detail van weergegeven informatie bv. voor inspectie van CAD-kleuren enz.	$\leq 1500 \text{ cd/m}^2$	$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

* De lichtsterkte van het beeldscherm (zie EN ISO 924 1-302) beschrijft de maximale lichtsterkte van het witte gedeelte van het scherm. Deze waarde kan opgevraagd worden bij de producent van het scherm.

11. Lichtsturing

Lichtsturing of -regeling is belangrijk voor visueel comfort, gebruiksgemak en kan bijdragen tot energiebesparingen. Diverse regel- of schakelsystemen kunnen energieverbruik sterk beperken wanneer er voldoende daglichttoetreding in ruimten is, bijvoorbeeld bij gebruik van daglichtafhankelijke regeling in combinatie met afwezigheidsdetectie. Het energiegebruik van de verlichtingsinstallatie wordt niet alleen bepaald door de efficiëntie van de armaturen zelf en het opgenomen vermogen van de nodige hulpapparatuur, maar ook door de brandtijd. Maar ook voor redenen van comfort en sfeer kan een lichtregelsysteem interessant zijn om zo flexibiliteit te garanderen. Het dimmen, schakelen (aan/uit) of verandering van kleurtint van licht wordt hiermee mogelijk op basis van toepassing, uur en/of aanwezigheid/afwezigheid. In ieder geval dient het systeem de criteria voor comfort, welzijn en energieprestatie op elk moment te verzoenen.

Lichtregelsystemen zijn systemen die toelaten de verlichtingsinstallatie te controleren en aan te passen per groep armaturen, per gebouwzone of zelfs voor een volledig gebouw. De norm onderscheidt twee mogelijkheden van lichtsturing. Als het lichtregelsysteem de lichtstroom van de verlichting en andere functionaliteiten toelaat, zoals de variatie van de kleurtemperatuur, dan wordt dit als regelbaar ('*controllable*') beschouwd. Een systeem dat enkel de lichtstroom van de lichtarmaturen kan aanpassen in functie van een commando van het regelsysteem of een manuele instelling wordt dimbaar ('*dimnable*') genoemd.

Regelsystemen voor de kunstverlichting zijn in het algemeen in twee categorieën op te delen, manuele en automatische regelsystemen. Geavanceerde lichtregelsystemen kunnen geprogrammeerd worden om lichtscènes om de juiste sfeer bij de juiste gelegenheid te creëren. Het is altijd aangewezen om de mogelijkheid te laten aan de gebruikers om verlichting aan hun actuele noden aan te passen. Het basisconcept is altijd om de kunstverlichting enkel te gebruiken in de zone waar licht nodig is. Dit is vooral nuttig in grote ruimtes die vaak gedeeltelijk bezet worden of opgedeeld zijn in verschillende functionele plekken. De gunstige opsplitsing van de verlichtingsinstallatie in zones is hierbij dus een belangrijk element. Tenslotte is een correcte installatie, afregeling en opvolging (*commissioning*) is van essentieel belang.

Het toepassen van lichtregelsystemen is ook van belang voor de flexibiliteit die men hiermee kan aanbieden. Efficiënte regelsystemen met individueel toekenning van de armaturen kunnen gemakkelijk opnieuw geprogrammeerd worden indien bijvoorbeeld de visuele taken veranderen of werknemers met bijzondere visuele noden komen.

Lichtregelsystemen kunnen bovendien worden gekoppeld aan een tijdsregeling of rapportering van de staat van de lichtarmaturen, waardoor een beter onderhoud mogelijk is. Bij het verouderen van de installatie neemt de verlichtingssterkte af terwijl het energieverbruik ongeveer gelijk blijft, de efficiëntie van de installatie vermindert dus geleidelijk.

Men schat dat het elektriciteitsverbruik voor verlichting in tertiaire gebouwen gemiddeld schommelt tussen 25 en 40% van het totale elektriciteitsverbruik. Voor woningen is dit aandeel meer beperkt en is meestal minder dan 10%. Het energieverbruik van de verlichting kan door technologische ontwikkelingen maar ook door betere lichtontwerpen en een goed onderhoud steeds verder beperkt worden. Inmiddels zijn ledarmaturen met hoge energie-efficiëntie beschikbaar voor de meest diverse toepassingen. Ook is het rendement van verlichtingsarmaturen verhoogd dankzij efficiëntere optieken. Verdere beperking van het energiegebruik is ook mogelijk door geschikte regelsystemen voor de verlichting te voorzien, vooral in combinatie met bouwkundige maatregelen om meer daglicht binnen te brengen in de ruimtes.

Rekenmethodes voor het inschatten van het energieverbruik voor verlichting worden niet in de norm NBN EN 12464-1 gegeven, maar worden voorgesteld in de specifieke norm NBN EN 15193-1. Deze norm beschrijft een conventionele methode om het verbruik voor verlichting te berekenen, onder andere rekening houdend met de lichtsturing. Het resultaat wordt uitgedrukt in een unieke LENI-waarde (Lighting Energy Numeric Indicator) die een maat is voor het jaarlijks energieverbruik per jaar en per vierkante meter vloeroppervlakte.

12. Lichtontwerp

Een degelijk lichtplan maken is essentieel om een beeld te krijgen van de situatie en de verlichtingsinstallatie perfect af te stemmen op de noden. Allereerst moet een nauwkeurig overzicht worden gemaakt van het gebouw en de verschillende ruimtes. Daarbij zijn de afmetingen, zoals de hoogte van het plafond, reflectiefactoren van de oppervlakken en daglichtinval belangrijk. Vervolgens is het vereist om de wensen van de gebruikers en de opdrachtgever te achterhalen. Hierbij worden de functies van de verlichting bepaald en zou de gewenste inrichting van de ruimte besproken moeten worden. In het algemeen moet je jezelf altijd afvragen wie de gebruikersgroepen zijn, wat hun behoeften zijn, wat de dynamiek en de belevingen zijn in een ruimte, welke ervaring je wilt creëren en hoe je dit concreet in een concept vastlegt. Daarna kan men starten met een lichtplan op te maken op basis van de ontwerpeisen en een geschikte keuze voor de verlichtingscomponenten.

Het proces voor het bepalen van de eisen die van toepassing is voor iedere ruimte wordt in de norm beschreven in paragraaf 6 uit de norm NBN EN 12464-1. De essentiële stappen voor dit onderdeel van het ontwerpproces zijn eerst en vooral gerelateerd aan de visuele taken en activiteiten en vervolgens aan de algemene verlichting van de ruimte. De volgende stappen worden expliciet vermeldt:

1. Definieer nauwkeurig de taak- en activiteitsgebieden in de ruimte. Dit betekent dat de plaats en positie van alle referentievlakken moet bepaald worden.
2. Selecteer het type visuele taken die het best aansluiten bij de situatie, in functie van de lijst van activiteiten in de tabellen opgenomen.
3. Bepaal de richtwaardes voor de eisen voor de taak- en activiteitsgebieden ($\bar{E}_m, U_o, R_a, R_{UGL}$) volgens de eerste kolommen van de tabellen. ('task or activity related requirements')
4. Controleer of er wel of niet specifieke omstandigheden zijn die ervoor zouden zorgen dat de eisen voor de te behouden verlichtingssterkte \bar{E}_m aangepast moeten worden. ('Context modifiers' zie 5.3.3 uit EN 12464-1)
5. Leidt de eisen voor verlichtingssterkte op de direct aangrenzende zone en de achtergrond af op basis van de eisen voor de taak- en activiteitsgebieden.
6. Definieer de representatieve oppervakken in de ruimte die bepalend zijn voor de helderheidsperceptie van de werknemers, in het bijzondere de belangrijkste wanden en plafonds in het zichtveld aanwezig.
7. Bepaal de richtwaardes voor de ruimte-relateerde parameters in de tabellen ($\bar{E}_{m,z}, \bar{E}_{m,wall}, \bar{E}_{m,ceiling}$). ('objects and people' / "room brightness requirements')
8. Indien bijzondere omstandigheden van toepassing zijn voor de eisen op taak- en activiteitsgebieden (zie stap 4) moeten de richtwaarden voor de cilindrische verlichtingssterkte en de verlichtingssterktes op de ruimte-begrenzende oppervlakken met een gelijk aantal stappen opgetrokken worden.

Voor een optimale dimensionering van de verlichtingsinstallatie is het van belang om de referentievlakken correct te bepalen. Om te grote overdimensionering te voorkomen moeten alle taak- en activiteitsgebieden exact geplaatst kunnen worden. Indien echter in de ontwerpfase de taakgebieden onbekend of nog niet gedefinieerd zijn, is het aangewezen om de verlichtingsinstallatie te ontwerpen zodat de nodige aanpassingen achteraf mogelijk zijn. Dit kan gebeuren, ofwel door met een te bepalen lagere verlichtingssterkte en gelijkvormigheid ($U_0 > 0,40$) te rekenen waarna de verlichtingsinstallatie wordt herontworpen, ofwel door het volledige werkvlak als taak- of activiteitsgebied te beschouwen en voor de gevraagde verlichtingssterkte overeenkomend aan de voorziene taken te ontwerpen. In dit laatste geval is het wel noodzakelijk om de verlichting controleerbaar of dimbaar te maken. Zo kan men in gedefinieerde zones de verlichtingssterkte op de gevraagde richtwaardes nadien instellen. Vanaf het moment dat de taken en activiteiten beter gedefinieerd zijn moet bijgevolg het verlichtingsontwerp opnieuw nagekeken en waar nodig aangepast worden. Ook indien de inrichting van de werkposten verandert is een herziening altijd nodig.

Bij ontstentenis neemt men als werkvlak een horizontaal oppervlak op 0,85m hoogte vanaf de vloer. Als het referentievlak tot aan de wanden reikt, of tot aan het meubilair die de ruimte begrenst, mag een randzone van 0,50 m uitgesloten worden, tenzij er taak- of activiteitsgebieden in deze zone mogelijk zijn. Deze randzone mag wel nooit meer dan 15% van de kleinste afmeting van het referentievlak zijn. Dit betekent concreet dat in ruimtes waar een binnen afmeting minder is dan 3,33 m een kleinere randzone moet toegepast worden.

Alle referentievlakken bevatten een raster van punten. Dit tweedimensionaal raster van punten bepaalt de plaatsen waar een verlichtingssterkte wordt berekend of opgemeten. De maximale tussenafstand van rasterpunten wordt begrensd volgens een formule die afhangt van de grootste afmeting van de ruimte. In principe geven meer rasterpunten preciezere resultaten. Het is dus aangewezen om kleinere maten voor de roosterafstanden en gelijkwaardige afstanden in beide richtingen te gebruiken. Tenzij de ruimte een afmeting heeft die kleiner is dan 4 meter, is het gunstig om als tussenafstand tussen roosterpunten van 0,5m aan te houden. Om verschillende lichtstudies met elkaar te vergelijken wordt een identiek rekenraster altijd aanbevolen.

De lichtopbrengst van armaturen vermindert met de tijd door onder andere vervuiling van optieken en reductie van de lichtstroom. Om de te behouden verlichtingssterkte te verzekeren op de verschillende referentievlakken, moet bij het ontwerp rekening gehouden worden met deze vermindering. De verminderde lichtopbrengst wordt veroorzaakt door verschillende parameters in relatie met de veroudering van de installatie, maar ook van de ruimten. De onderhoudsfactor (*Maintenance Factor*) is bedoeld als een voorspelling over de afname van de verlichtingssterkte aan het einde van de gebruikperiode. Deze factor dient te worden vastgelegd volgen de specificaties uit de norm ISO/CIE TS 22012. Dit nieuw document beschrijft dezelfde methode als de CIE 97 uit 2005 maar houdt rekening met de specifieke kenmerken van ledverlichting, en in het bijzondere de normen en richtlijnen die de levensduur van ledarmaturen beschrijven. De initiële verlichtingssterkte \bar{E}_i staat in relatie met de te behouden verlichtingssterkte \bar{E}_m via volgende formule:

$$\bar{E}_i = \bar{E}_m / f_m$$

De onderhoudsfactor omvat vier factoren en wordt hierbij beschreven door:

$$f_m = f_{LF} \cdot f_s \cdot f_{LM} \cdot f_{SM}$$

Waarin:

- f_m Onderhoudsfactor (Maintenance factor (MF)).
- f_{LF} (Lumen Factor) Lumenbehoud van lichtbronnen en/of armaturen over tijd (L-waarde).
- f_s (Lamp Survival) Overlevingspercentage van lichtbronnen en/of armaturen over tijd.
- f_{LM} (Luminaire Maintenance) Lichtstroombehoud van armaturen over tijd, rekening houdend met variërende vervuiling in functie van gebruik en activiteiten in de ruimte.
- f_{SM} (Surface Maintenance) Lichtbehoud van de ruimte, rekening houdend met de vervuiling van wanden vloeren en plafond over tijd (deze factor geldt uitsluitend voor binnenverlichting).

De ontwerper moet met deze verschillende parameters rekening houden voor het bepalen van de onderhoudsfactor. De twee eerste factoren zijn productafhankelijk en zijn bijgevolg op te vragen bij de leverancier of fabrikant van de verlichtingsarmaturen. Prestaties met betrekking tot depreciatie van armaturen zijn wel gevoelig aan de werkingstemperatuur in de ruimte. Daarom is het van belang om dit in de specificaties voor het ontwerp vast te leggen. De twee laatste factoren zijn eerder afhankelijk van de toepassing. De terugval van verlichtingssterktes als gevolg van vervuiling in de ruimte zijn vooral afhankelijk van de mate waarin de werkzaamheden die men uitvoert vervuילend zijn. De aannames in verband met de vervuiling dienen per project te worden bepaald in overleg met de opdrachtgever, niet alleen voor de types activiteiten en het soort armaturen die gebruikt worden vast te leggen, maar ook in functie van het onderhoudsprogramma.

Een belangrijk element bij het ontwerp en voor het vastleggen van een onderhoudsfactor is het bepalen van de gebruiksduur van de installatie. Figuur 14 geeft een richtwaarde voor de gebruikstijden die typisch voorkomen bij verschillende toepassingen.

Gemiddelde jaarlijkse gebruiksduur in functie van gebouwtype

Figuur 15 - Gemiddelde gebruiksduur verlichting

Gebouwtype	Gemiddelde jaarlijkse gebruiksduur
Woongebouwen/hotels (woonruimten)	1000 u
Scholen/bibliotheken/musea	2000 u
Kantoren	2500 u
Restaurants	2500 u
Collectief woongebouw (gemeenschappelijke delen)	3000 u
Handelszaken	3500 u
Sportcomplexen	4000 u
Industrie	4000 u
Ziekenhuizen	5000 u
Hotels (gemeenschappelijke delen)	5000 u
Handelszaken (waakverlichting)	6000 u
Industrie (doorlopende verlichting dag/nacht)	8000 u

13. Meten van Licht

Het opmeten van verlichtingsinstallaties in werkomgevingen is relevant om bestaande situaties te kunnen beoordelen enerzijds en anderzijds om de resultaten van lichtstudies na installatie te vergelijken met de werkelijkheid (bij oplevering of na garantieperiode). De bedoeling van metingen is dus gewoonlijk om de verlichtingssterkte en enkele visuele comfortparameters zoals die werkelijk voorkomen in de ruimte af te toetsen om zo een goede verlichtingsinstallatie als eindresultaat te bekomen. Vermits voor de gebruikers de reële situatie van belang is worden de opgemeten waarden vergeleken met de ontwerp- en richtwaarden.

Gezien de continue evolutie van de technologie rond lichtbronnen (leds, oleds, ...), de mogelijkheden van digitale regelsystemen en de steeds meer omvattende regels en richtlijnen in verband met het comfort en welzijn, is het opmeten van verlichting in werkplekken niet eenvoudiger geworden. Een bijkomende trend is de evolutie van vast naar het flexibel inzetten en gebruik van werkplekken waardoor het in dienst stellen en inregelen ('*commissioning*') complexer is geworden. Metingen zouden uitgevoerd moeten worden voor oplevering en bij iedere controle van een verlichtingsinstallatie. Als het gebouw al in gebruik is kan het na verloop van tijd nuttig zijn om via opmeting de verlichting bij te sturen en waar nodig aan te passen, bijvoorbeeld als de taken anders worden ingericht. Regelsystemen kunnen helpen om de deze flexibiliteit te verzekeren en bijvoorbeeld continuïteit van de verlichtingssterktes te garanderen.

Metten is dus van absoluut belang en de norm NBN EN 12464-1 kan als richtlijn dienen. Met goede apparatuur en een degelijk stappenplan kan al veel geleerd worden over het visueel comfort, maar niet alles kan ter plaatse opgemeten worden. Aspecten zoals verblinding (zie paragraaf 8.3 van de norm), kleurweergave (zie paragraaf 8.4 van de norm) en luminantie van lichtarmaturen (zie paragraaf 8.5 van de norm) zullen meestal door de fabrikant ter beschikking gesteld worden. Verlichtingssterktes kunnen relatief eenvoudig opgemeten worden, maar luminantiewaarden zijn al moeilijker te bepalen, onder andere omdat dit afhankelijk is van de kijkrichting en materiaal/oppervlakte karakteristieken. Draagbare meettoestellen die het lichtspectrum meten geven kunnen enkel een indicatie maar zijn niet representatief omwille van de soms grote afwijkingen. Flikker en stroboscopische effecten zijn via specifieke apparatuur te meten in het labo.

De metingen dienen te gebeuren in een toestand overeenkomstig met het dagelijks gebruik, dus met meubels en alle andere infrastructuur die nodig is om de werktaken uit te voeren. Metingen van verlichtingssterktes worden uitgevoerd zonder daglicht en in principe moeten mobiele zonweringen en verduisteringsschermen opgetrokken worden zodat deze geen invloed hebben op de metingen. De eerste stap bij een nazicht betreft de controle van de werkelijke gegevens over de ruimte, zoals afmetingen, positie taakvlakken en uitrustingen, kleur en textuur van de oppervlakken enz., ten opzichte van de aangehouden veronderstellingen in de lichtberekeningen. Vervolgens zullen de meetposities nauwkeurig uitgezet worden in de ruimte. De meetpunten moeten samenvallen met overeenkomstige posities in het gebruikte rekenrasters uit de lichtstudie.

De bepalingen voor het rekenraster, met onder andere de roosterafstanden tussen meetpunten, zullen conform zijn aan de normatieve richtlijnen (paragraaf 5.4 van de norm). Volgens de norm moeten alle zichtbare vlakken in rekening worden gebracht om een gebalanceerde lichtverdeling te verkrijgen en dus worden de metingen best uitgevoerd op alle representatieve oppervlakken van de ruimte. Voorafgaand aan de metingen moeten in de betreffende zones de lichtarmaturen een stabiele lichtstroom leveren en dit aanhouden tijdens de volledige duur van de metingen (*Steady-state situation*).

De controlemethodes worden uitgevoerd volgens de algemene voorschriften uit de paragraaf 8 uit de norm met volgende bijkomende bepalingen:

- De posities en het aantal meetpunten moeten bepaald worden zodat een karakteristieke waarde voor de gemiddelde verlichtingssterkte op het referentievlak kan bekomen worden. De meetpunten worden geplaatst volgens de rasterpunten uit de lichtberekeningen. Voor elk taak- of activiteitsgebieden zijn minstens 3 meetpunten nodig. Voor de wanden en plafonds en voor de zone als achtergrond vastgelegd is het van belang om de meest representatieve meetpunten te kiezen.
- De verlichtingssterkten worden loodrecht op de referentievlakken gemeten, wat voor hellende taak- of activiteitsvlakken soms moeilijker is.
- Indien lichtregelsystemen toegepast zijn, zullen de lichtmetingen worden uitgevoerd met de verlichtingsinstallatie zoals beschreven in de verlichtingsstudies en met de inregeling zoals in typische gebruiksfase wordt aangewend. Bijkomend kunnen testen uitgevoerd worden op het maximaal instelbaar niveau.
- Gebruik kwalitatieve lichtmeters⁹. Het meettoestel zal klasse B of beter zijn bepaald volgens de normen DIN 5032 of ISO/CIE 19476:2014. Voor metingen van ledarmaturen in het bijzondere zijn volgende bijkomende specificaties voor de meettoestellen geldig: de 'spectral mismatch' $f1$ van het meettoestel dient kleiner zijn dan 3,0%.
- Meettoestellen moeten regelmatig gekalibreerd worden. Ideaal worden meetinstrumenten jaarlijks gekalibreerd door een erkend organisme. Ijkingsattesten moeten voorhanden zijn om de geschiktheid van het toestel aan te tonen.
- ...

Van elke evaluatiemeting wordt een verslag opgemaakt door de opdrachtnemer. Het verslag zou minstens de volgende elementen moeten bevatten:

- Algemene omschrijving van de meetopdracht (plaats, opdrachtgever, ...)
- De grootte en de positie van alle referentievlakken
- Meetplan en meetresultaten
- Datum en tijdstip van de meting
- Gebruikte meetinstrumenten, datum ijking en eventuele correctiefactoren
- Conclusies en aanbevelingen

⁹ Om de meetonzekerheid te beperken is het van belang om de lichtmeter ten opzichte van een specifieke referentie-bronnen te laten kalibreren. Voor elk type lichtbron, met zijn specifiek spectrum, zal de afwijking variëren. Andere oorzaken van meeton nauwkeurigheden kunnen overwegend schuin invallend licht zijn waardoor de meting minder nauwkeurig is ('cosine correction'), temperatuurinvloeden of veroudering/vervuiling van de meetcel. Daardoor is het regelmatig her-kalibreren nodig is.

14. Terminologie en definities

Voor definities verwijst de norm NBN EN 12464-1 naar de laatste versies van de normen NBN EN 12665 en NBN EN 17037. Deze paragraaf vermeldt de belangrijkste begrippen die van belang zijn voor dit document.

Nederlands	English (Standard/reference)	Français
Werkplek	Work place (EN 12665 / 3.5.95)	Lieu de travail
Werkpost	Work station (EN 12665 / 3.5.97)	Poste de travail
Werkvlak	Work plane = working plane (EN 12665 / 3.5.96)	Plan de travail = plan utile
Activiteitsgebied	Activity area (EN 12464-1 / 3.1)	Zone d'activité
Taakgebied	Task area (EN 12665 / 3.5.77)	Zone de travail
Referentievlak	Reference area (EN 12665 / 3.2.20)	Surface de référence
Direct aangrenzende zone	immediate surrounding area (EN 12665 / 3.5.76)	Zone environnante immédiate
Achtergrond	Background area (EN 12665 / 3.5.27)	Zone de fond
Rasterpunten	Grid points (EN 12665 / 3.5.49)	Points de maillage
Celmaat rekenraster	Grid spacing	Pas du maillage
Modellering	Modelling (EN 12464-1 / 3.2)	Modélisation
Onderhoudsfactor	Maintenance factor (EN 12665 / 4.7.2)	Facteur de maintenance
Te behouden verlichtingssterkte	Maintained illuminance (EN 12665 / 3.2.14)	Eclairage à maintenir
Initiële verlichtingssterkte	Initial illuminance (EN 12665 / 3.2.15)	Eclairage initial
Cilindrische verlichtingssterkte	Cylindrical illuminance (EN 12665 / 3.2.18)	Eclairage cylindrique
Gelijkmatigheid verlichtingssterkte	Illuminance uniformity (EN 12665 / 3.2.53)	Uniformité d'éclairage
Verblinding	Glare (EN 12665 / 3.1.8)	Eblouissement
Onbehaaglijke verblinding	Discomfort glare (EN 12665 / 3.2.22)	Eblouissement inconfortable
Belemmerende verblinding	Disability glare (EN 12665 / 3.2.21)	Eblouissement perturbateur

Enkele essentiële definities worden hieronder vermeld:

Werkplek (EN 12665 / 3.9.95)

Ruimte waar werkposten voorzien zijn voor de werknemers tijdens het uitoefenen van hun taken. De werkplek is dus een algemeen begrip die verwijst naar de plaats waar personen werken.

Werkpost (EN 12665 / 3.5.97)

Combinatie van ruimtelijke indeling en benodigdheden in een bepaalde omgeving die van belang zijn voor het correct uitvoeren van een taak.

Werkvlak (EN 12265 / 3.5.96)

Oppervlakte waar de voorziene werktaken normaal plaatsvinden. Meestal is dit voor kantooromgevingen een horizontaal vlak waar een meubilair wordt ingepland. Maar het werkvlak kan ook een ander oppervlak zijn zoals een boekenrek in een bibliotheek of een bord of scherm aan de muur in een schoolomgeving.

Activiteitsgebied (activity area) (EN 12464-1 / 3.1)

Oppervlak waar een of meerdere verschillende visuele taken kunnen plaatsvinden. Deze visuele taken kunnen van verschillende aard zijn en ook op welbepaalde zones van het activiteitsvlak worden uitgeoefend. Een relatief groot oppervlak waar diverse taken worden uitgevoerd mag niet als activiteitgebied beschouwd worden.

Taakgebied (task area) (EN 12665 / 3.5.77)

Deel van het werkvlak waar specifieke visuele taken effectief worden verricht. Een taakvlak bevat in principe slechts één enkele wel beschreven visuele taak. De afmeting van het taakgebied hangt af van het type taak en in het bijzondere de waarnemingsafstand en nauwkeurigheid die gewenst is.

Referentievlak (EN 12665 / 3.2.20)

Een willekeurig oppervlak waar lichttechnische eigenschappen kunnen voorgeschreven zijn en die daarna opgemeten kunnen worden. De term referentievlak is dus een verzamelterm voor alle oppervlakken waar verlichtingseisen worden gespecificeerd, zoals werk- of activiteitsvlakken, taakvlakken of zelfs ruimtevlakken zoals wanden en plafonds.

Direct aangrenzende zone (EN 12665 / 3.5.76)

De direct aangrenzende zone is een oppervlak rondom het taakgebied binnenin het gezichtsveld. De direct aangrenzende zone licht in het zelfde vlak als het taak- of activiteitsgebied waar bij het hoort.

Gelijkmatigheid (EN 12665 / 3.2.53)

De gelijkmatigheid van de verlichtingssterkte is de verhouding tussen de minimale verlichtingssterkte van een oppervlak (werkvlak of ander referentievlak) en de gemiddelde verlichtingssterkte van ditzelfde oppervlak.

$$U_0 = E_{\min} / E_{\text{gem}}$$

Te behouden verlichtingssterkte \bar{E}_m (EN 12665 / 3.2.14)

De richtwaarde voor de gemiddelde verlichtingssterkte op een specifiek referentievlak waaronder de effectieve gemiddelde verlichtingssterkte niet mag terugvallen. De veroudering en defecten van de lichtbronnen alsook de vervuiling (armaturen, wanden, plafonds, enz.) kunnen zorgen dat er minder licht is. Het regelmatig onderhouden is erg belangrijk vermits de verlichtingssterkte die de installatie levert na verloop van tijd afneemt.

Onderhoudsfactor (f_m) (EN 12665 / 3.5.18)

De verhouding tussen de gemiddelde verlichtingssterkte op een referentievlak na een bepaalde gebruiksduur van een installatie tot de gemiddelde verlichtingssterkte onder dezelfde omstandigheden als een nieuw beschouwde installatie. De onderhoudsfactor is afhankelijk van verschillende parameters die verband houden met de veroudering van de installatie en van de ruimte.

Auteurs (alfabetische volgorde):

Luc Coppers (Techno Specials), Ward De Ketelaere (ETAP Lighting), Kris Delahaye (ETAP Lighting), Arnaud Deneyer (Buildwise), Bertrand Deroisy (VUB, ex-Buildwise), Eric Lambert (Regie der Gebouwen), Catherine Lootens (Groen Licht Vlaanderen), Ignacio Molina (Volta), Wouter Ryckaert (KULeuven), Marc Vanden Bosch (IBE-BIV), Jan Van Riel (Trilux), Stefan Van Thillo (Zumtobel), Wouter Wissink (Volta)

IBE-BIV

BELGISCH INSTITUUT voor VERLICHTINGSKUNDE
INSTITUT BELGE de l'ECLAIRAGE
CIE NATIONAL COMMITTEE – NBN SECTOR OPERATOR

