

# Geen vuiltje aan het licht

Op 16 oktober 2002 heeft CEN de nieuwe Europese Standaard EN 12464-1 [1] goedgekeurd. In Nederland is de norm integraal overgenomen en vertaald in NEN-EN 12464-1 [2]. De norm geeft verlichtingseisen voor meer dan 200 binnenwerkplekken, taken en activiteiten. In paragraaf 4.8 van de eerder genoemde norm wordt voorgeschreven dat bij het opstellen van een lichtplan een behoudfactor (Maintenance Factor [MF]) zou moeten worden berekend, waarbij rekening moet worden gehouden met de gekozen lampen en armaturen, de ruimte zelf, en het gespecificeerde onderhoudsschema. Om de MF te kunnen afleiden zijn gegevens nodig over veroudering en vervuiling van lampen, armaturen en voorschakelapparatuur. Deze gegevens zullen door de fabrikanten beschikbaar moeten worden gesteld. Onzekerheden zoals berekenings- en meeton nauwkeurigheden, en de bandbreedte van lamp en armatuurprestaties worden niet in de MF opgenomen. TNO heeft in opdracht van een aantal fabrikanten, Philips, Osram, ETAP Lighting en Zumtobel Staff, standaard onderhoud specificaties opgesteld voor fluorescentie verlichting, waarbij het TNO rapport 96-CBO-R0815 [3] aan de basis heeft gestaan. In dit artikel wordt een samenvatting gegeven van de bevindingen zoals gerapporteerd in TNO rapport 2004-GGI-R027 [4]. Dit artikel is al eerder gepresenteerd tijdens het NSVV congres op 11 november 2004.

- door mevr. dr.ir. E.H. de Groot\* en drs. L. Zonneveldt\*

Vanaf de eerste dag van de ingebruikname van een nieuw gebouw met een nieuwe verlichtingsinstallatie zal de lichtflux afnemen en daarmee de verlichtingssterkte. Hoe groot deze afname zal zijn hangt af van verschillende aspecten en situaties. Men moet met deze afname in verlichtingssterkte rekening houden gedurende de gehele gebruiksfase van de verlichtingsinstallatie. De NEN-EN 12464-1 vereist dat de gemiddelde verlichtingssterkte op een gespecificeerd oppervlak nooit lager wordt dan een gegeven waarde van de praktijkverlichtingssterkte  $\bar{E}_m$ .  $\bar{E}_m$  is

gedefinieerd als de laagst toelaatbare waarde van de gemiddelde verlichtingssterkte op het gespecificeerd oppervlak. De geïnstalleerde verlichtingssterkte zal daarom hoger moeten zijn, zodat de verlichtingssterkte aan het eind van de gebruiksperiode gelijk is aan de geïnstalleerde verlichtingssterkte vermenigvuldigd met de zogenaamde behoudfactor (Maintenance Factor [MF]). De lichtontwerper, die verantwoordelijk is voor het lichtplan, moet de MF opgeven en alle aannamen vermelden waarop de afleiding van die waarde is gebaseerd. Verder moet hij of zij een onderhoudsschema opstellen

waarin is opgenomen hoe vaak lampen moeten worden vervangen en op welke wijze en met welke tussenpozen de armaturen en de ruimte moeten worden schoongemaakt.

Aan het begin van een levenscyclus van een verlichtingsinstallatie zijn alle onderdelen schoon, de lampen geven de maximale hoeveelheid licht en de reflectiefactoren van de armaturen en oppervlakken in de ruimte zijn optimaal. In de loop van de tijd, wanneer de ruimte en de verlichtingsinstallatie worden gebruikt zal de verlichtingssterkte verminderen doordat:

- lampen en voorschakelapparatuur kunnen stuk gaan voor het einde van de onderhoudsperiode (LF: Lamp Failure);
- lampen zullen verouderen (LA: Lamp Aging);
- armaturen en lampen zullen vervuilen (LD: Lamp & Luminaire Dirt);
- oppervlakken van de ruimte zullen vervuilen (RD: Room Dirt).

De vier aspecten samen bepalen de behoudfactor:

$$MF = LF \cdot LA \cdot LD \cdot RD \quad (1)$$

Deze aspecten worden toegelicht in de volgende paragrafen.

## VROEGTIJDIGE UITVAL

De gemiddelde levensduur van een lamp wordt verstrekt door de fabrikant en uitgedrukt in branduren. Het bepalen van deze levensduur gebeurt door duurproeven waarbij de lamp tussentijds uit en aan wordt geschakeld. Voor fluorescentie verlichting is de schakelcyclus 3 uur, dat wil zeggen  $2\frac{3}{4}$  uur aan  $\frac{1}{4}$  uur uit. Een fluorescentielamp valt uit wanneer de coating van één van de (of beide) elektroden geheel is verdampt.

\* TNO Bouw en Ondergrond, Delft



**Armatuur voor directe verlichting (licht omlaag  $\geq 90^\circ$ )**

| Vervuilinggraad      | group replacement |      |        |      | spot replacement gecombineerd met group replacement |      |        |      |
|----------------------|-------------------|------|--------|------|-----------------------------------------------------|------|--------|------|
| Lamp                 | Geen              | Laag | Medium | Hoog | Geen                                                | Laag | Medium | Hoog |
| T5 800&900**, T8 800 | 0,86              | 0,80 | 0,75   | 0,70 | 0,90                                                | 0,85 | 0,80   | 0,70 |
| T8 900               | 0,86              | 0,80 | 0,75   | 0,70 | 0,90                                                | 0,85 | 0,80   | 0,75 |

**Armatuur voor indirecte verlichting (licht omhoog  $\geq 90^\circ$ )**

| Vervuilinggraad      | group replacement |      |        |      | spot replacement gecombineerd met group replacement |      |        |      |
|----------------------|-------------------|------|--------|------|-----------------------------------------------------|------|--------|------|
| Lamp                 | Geen              | Laag | Medium | Hoog | Geen                                                | Laag | Medium | Hoog |
| T5 800&900**, T8 800 | 0,86              | 0,70 | 0,65   | 0,65 | 0,90                                                | 0,75 | 0,70   | 0,65 |
| T8 900               | 0,86              | 0,75 | 0,70   | 0,65 | 0,90                                                | 0,80 | 0,75   | 0,70 |

**Armatuur voor gecombineerde directe/indirecte verlichting**

| Vervuilinggraad      | group replacement |      |        |      | spot replacement gecombineerd met group replacement |      |        |      |
|----------------------|-------------------|------|--------|------|-----------------------------------------------------|------|--------|------|
| Lamp                 | Geen              | Laag | Medium | Hoog | Geen                                                | Laag | Medium | Hoog |
| T5 800&900**, T8 800 | 0,86              | 0,75 | 0,70   | 0,65 | 0,90                                                | 0,80 | 0,75   | 0,70 |
| T8 900               | 0,86              | 0,80 | 0,75   | 0,70 | 0,90                                                | 0,85 | 0,80   | 0,70 |

**Correctie waarde**

Armatuur voor directe verlichting gesloten i.p.v. open  
 Geveerd armatuur i.p.v. spiegelen

MF\*0,95  
 MF\*0,90

**Standaard behoudfactoren (group replacement als 14 % minder licht wordt geproduceerd).**

\* TABEL 1-

De waarschijnlijkheid dat een bepaalde lamp niet zal uitvallen voor een bepaald aantal branduren wordt gegeven door de "Levensverwachting" curve. In figuur 1 wordt een voorbeeld van een dergelijke gemiddelde curve getoond; samen met een bandbreedte, aangegeven met hoog en laag. Wanneer de fluorescentie lamp vaker dan eens per 3 uur uit en aan wordt gezet zal dat tot een lagere levensverwachting leiden. Zo wordt bij een schakelcyclus van 1 uur ( $\frac{3}{4}$  uur aan  $\frac{1}{4}$  uur uit) een 25 % kortere levensverwachting voorspeld. Fluorescentie lampen die continue branden kunnen 175 % langer meegaan en in het geval van een 12-uur cyclus (11 uur aan en 1 uur uit) 15 % langer.

**VEROUDERING VAN LAMPEN**

Twee processen veroorzaken een terugval in lichtopbrengst, lumen depreciatie genoemd, bij fluorescentieverlichting:

- fotocchemische decompositie processen in de fluorescentie poeders;
- verdamping van het coating materiaal van de elektroden.

**ad a)**

Fluorescentie lampen bestaan uit een ontladingsbuis gevuld met een gas,

meestal argon of krypton, en met een kleine hoeveelheid kwikdamp. De kwikdamp heeft een emissie spectrum dat wordt gekarakteriseerd door pieken in de UV-C band. De binnenkant van de buis is gecoat met fluorescentie poeders (fosforen) die de UV straling omzetten in zichtbaar licht. Door de botsing van UV stralen op de fluorescentie poeders vallen de lagen langzaam uit elkaar, waardoor minder licht wordt uitgezonden.

**ad b)**

De lichtflux van een fluorescentie lamp wordt ook beïnvloed door het verlies aan coatingsmateriaal van de elektroden. Bij iedere schakeling van de lamp, en ook tijdens het branden, verdwijnt een deel van de coating. Het materiaal zet zich af op het oppervlak van de buis, herkenbaar aan de zwarte substantie aan de uiteinden van de buis, wat een vermindering in lichtopbrengst veroorzaakt.

De lichtterugval van een nieuwe lamp is het grootst in de eerste uren van het gebruik, waarna de lichtopbrengst geleidelijker afneemt; zoals is uitgebeeld in figuur 2.

**VERVUILING****VERLICHTINGSINSTALLATIE**

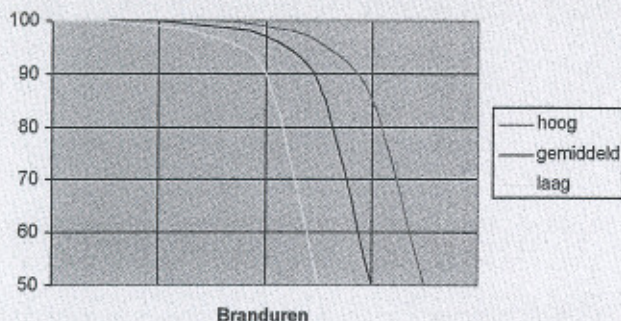
Het TNO rapport 96-CBO-R0815 [3] laat het effect zien van vervuiling van moderne spiegeloptieken en moderne lampen. Testen die destijds zijn uitgevoerd met zeven armaturen die er vies uitzagen tonen aan dat de toename van lichtopbrengst na schoonmaken tussen 0 en 35 % was, gemiddeld 10 %. Het schoonmaken gebeurde op een industriële manier met warm water (60 °C) en zeep.

Een armatuur moet zeer vies zijn voor dat er een significante lichtterugval door ontstaat. Na het schoonmaken werd een lichtopbrengst gemeten die dicht bij de oorspronkelijke nieuwwaarde lag (98 %). Voor vuile omgevingen, is het aan te bevelen om in het onderhoudsplan op te nemen dat de armaturen regelmatig worden schoongemaakt, bijvoorbeeld wanneer de lampen worden vervangen.

Het schoonmaken van zes lampen die er vies uitzagen resulteerde in een toename van lichtflux van gemiddeld slechts 2 %. Na het schoonmaken was de lichtflux nog steeds 16 % lager dan de oorspronkelijke nieuwwaarde



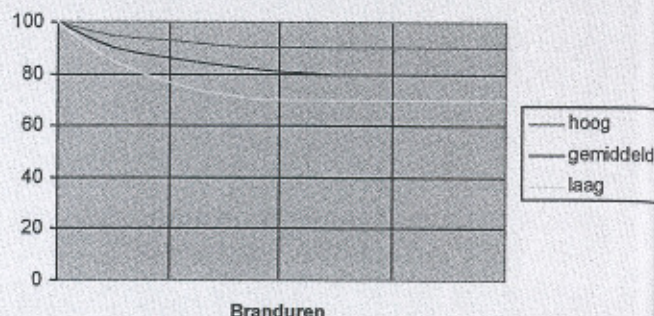
## Levensverwachting



Voorbeeld van een gemiddelde levensverwachtingcurve, inclusief bandbreedte (aangegeven met curven lage en hoge levensverwachting).

- FIGUUR 1 -

## Lumen depreciatie



Voorbeeld van een gemiddelde lumendepreciatiecurve, inclusief bandbreedte (aangegeven met curven voor laag en hoog).

- FIGUUR 2 -

(gemiddelde aantal branduren 10.000 h). Het effect van vuil op de lamp is dus kleiner dan de lumen depreciatie.

### VERVUILING RUIMTE

Het onderhoud van de ruimte, schoonmaken en schilderen, is belangrijk omdat ook het licht dat reflecteert tegen de oppervlakken in de ruimte bijdraagt aan de verlichtingssterkte op het werkvlak. Deze bijdrage wordt de indirecte component van de verlichting genoemd. Vervuiling van de ruimte verlaagt deze component. Wanneer de verlichtingsinstallatie voornamelijk voorziet in directe verlichting, zal de indirecte component meestal niet meer dan 20 % zijn van het totale lichtniveau op de werkplek. Een afname van de gemiddelde reflectiefactor van de oppervlakken in de ruimte met bijvoorbeeld 10 % (zeer zware vervuiling), veroorzaakt dan een afname van de verlichtingssterkte op het werkvlak van slechts 2 %.

Het kleur- en materiaalgebruik en de positie van de meubels in de ruimte, heeft ook invloed op de verlichtingssterkte. Helaas zijn gegevens hierover meestal niet bekend wanneer het lichtplan wordt gemaakt. Lichtberekeningen worden vaak uitgevoerd voor een lege ruimte. Vandaar dat de inrichting van de ruimte voor het bepalen van de behoudfactor niet wordt meegenomen.

### Bepalingstabellen behoudfactor

Tabel 1 geeft waarden voor de behoudfactoren, in het geval dat de lampen niet worden schoongemaakt en de armaturen alleen worden schoongemaakt op het moment dat de lampen worden vervangen. Er wordt onder-

scheid gemaakt tussen verschillende vervuilinggraden:

- **geen:** in de ruimte wordt geen stof of rook geproduceerd, of de ruimte wordt dagelijks schoongemaakt, bijvoorbeeld cleanrooms en operatiekamers. In dit geval wordt de formule 1:  $MF=LA*LF$ ;
- **laag:** in de ruimte en omgeving wordt nauwelijks stof of rook geproduceerd, bijvoorbeeld ziekenhuiszalen, kantoren en scholen;
- **medium:** in de ruimte wordt weinig stof of rook geproduceerd, bijvoorbeeld een keuken, een restaurant of bakkerij, of de ruimte wordt omgeven door processen die dat wel doen, bijvoorbeeld een kantoorruimte in een fabriekshal. Tevens ruimten uit de "laag" categorie waarin wordt gerookt vallen in deze categorie;
- **hoog:** in de ruimte en omgeving wordt stof of rook geproduceerd, bijvoorbeeld industriële procesruimten.

Tevens wordt er onderscheid gemaakt tussen twee vervangingsschema's voor lampen:

- **group replacement;** alle lampen worden na een bepaalde tijd tegelijk vervangen;
- **spot replacement,** gecombineerd met group replacement; lampen die stuk zijn worden meteen vervangen, en na een bepaalde tijd worden alle lampen tegelijk vervangen.

In dit onderzoek zijn we ervan uitgegaan dat lampen worden vervangen wanneer ongeveer 15 % minder licht wordt geproduceerd. Bijvoorbeeld voor T5\*\* (900 series), T5 (800 series) en T8 (800 series) komt dit overeen met 15.000 branduren ( $LF=0.95$ ,  $LA=0.90$ ).

Voor T8 (900 series) wordt group replacement aanbevolen na 7.500 branduren, ( $LF=0.99$ ,  $LA=0.87$ ).

### LITERATUUR

1. CEN, EN 12464-1: *Light and Lighting – Lighting of Work Places – Part 1: Indoor Work Places*, Brussel, 2003.
2. NEN, NEN-EN 12464-1: *Licht en Verlichting – Werkplekverlichting – Deel 1: Werkplekken binnen*, Delft, 2003.
3. Zonneveldt, L. en M. Leijendekkers, *De bepaling van de nieuwwaarde-index (ni) van een kunstlichtinstallatie met fluorescentieverlichting*, TNO-rapport 96-CBO-R0815, Delft, 1997.
4. Groot, E.H. de, en L. Zonneveldt, *Determination of the Maintenance Factor for EN12464*, TNO rapport 2004-GGI-R027, Delft, 2004.
5. Groot, E.H. de, en L. Zonneveldt, *"Geen vuiltje aan het licht - Bepaling van standaard waarden voor de behoudfactor"* In Syllabus Het Nationale lichtcongres 2004, 11 november 2004, Ede, pag. 94-99, NSVV, 2004.

\*\* Afhankelijk van lamp fabrikant.

\*\* Afhankelijk van lamp fabrikant.