

# LED-verlichting al groen genoeg?

*Hoewel dit artikel te denken zal geven, moet worden benadrukt dat LED-verlichting een enorm potentieel heeft. Maar momenteel blijkt uit diverse praktijkmetingen dat veel van de toegepaste LED-lampen in de gebouwde omgeving veel betere kwaliteiten worden toegedicht dan dat ze werkelijk waar maken. Om de vraag: 'LED-verlichting al groen genoeg?' goed te kunnen beantwoorden moet men zich vooral niet blindstaren op enkele door de fabrikanten gegeven eigenschappen van de LED-producten. Door middel van een integrale benadering van alle relevante eigenschappen en invalshoeken van LED-verlichting is gepoogd een beeld te schetsen van de werkelijkheid. Helaas zal men na het lezen van dit artikel moeten concluderen dat niet alles al zo "groen" is rond de huidige LED-verlichting als sommige fabrikanten ons willen doen geloven. Net als bij iedere innovatie dient ook dus een kader te worden gehanteerd om de voor- en nadelen op een rij te zetten om vervolgens gericht te kunnen werken aan nog betere producten.*

*- door ing. E. Horstman\**

**L**ED-technologie wordt de laatste jaren al succesvol toegepast in allerlei indicatie toepassingen, zoals waarschuwinglampjes, stoplichten, auto/audio en videotech-niek. Deze toepassingen hebben een indicatief karakter, ze signaleren iets of ze lichten op. Dit artikel gaat in op de relevante beoordelingsfactoren voor verlichtingstoepassing van LED-technologie, als mogelijk alternatief voor algemene (binnen)verlichting. Tegenvoerdig worden deze LED-producten voor verlichting, in het huidige streven om de energiebesparingsdoelstellingen te realiseren, sterk gepromoot. Maar helaas worden ze in veel gevallen veel beter voorgesteld dan de technische werkelijkheid aangeeft. Door de energiebespaartrend ontstaat er een enthousiasme waardoor het kritische vermogen is afgenomen. De stelling is gewoon: "Alle LED-verlichting is groen". Dit is echter per product verschillend. Door dat er nog geen geharmoniseerde beoordelingscriteria

zijn rond de toepassingen van LED-verlichting wordt aan fabrikanten de ruimte geboden om minder goede producten op de markt te brengen, en efficiency-claims neer te leggen die zowel praktisch als wetenschappelijk niet eenduidig zijn onderbouwd. Specifiek zijn er bij sommige LED-producten rond de power quality problemen, waardoor werkelijk energiegebruik en schijnbaar energiegebruik geheel verschillend kunnen zijn. Hierdoor worden door consumenten verkeerde beslissingen genomen als ze werkelijk voor groen willen kiezen, daarom is het belangrijk om het 'licht' erop te laten schijnen.

## **AANLEIDINGEN TOT KENNISOVERDRACHT INSTALLATIESECTOR**

De ondernemersorganisatie voor de installatiebranche en de technische detailhandel UNETO-VNI, ondersteunt d.m.v. kennisoverdracht haar leden al geruime tijd met informatie over de power quality problemen. Deze



Ing. E. Horstman

problemen zijn niet nieuw en speelde reeds eerder. Zo besloten ongeveer vijftien jaar geleden veel gebouw-eigenaren over te stappen van conventionele TL-verlichting naar "energie-efficiëntere" HF fluorescentie verlichting. Door de toename van deze niet-lineaire belastingen, ontstaan er allerlei secundaire power quality problemen elders in het net zoals overbelasting van de NUL geleiders, verstoorde productieprocessen door harmonische vervuiling, hoge blindstromen etc. Zolang de  $\cos \varphi$  én de verhouding tussen de watt's en de VA's (de power factor PF) beperkt bleef, waren de power quality problemen nog beheersbaar. Maar met de toename van elektronische toepassingen van de spaarlamp in de woning, zag men de problematiek van de power quality verder toenemen. Bij de voorbereiding van bijeenkomsten rond deze power quality problematiek wer-

\* Beleidsmedewerker Technologie UNETO-VNI, bestuurslid afd. Elektrotechniek TVVL

den er in opdracht van UNETO-VNI en de TVVL diverse verlichtende LED-producten onderzocht, de resultaten waren alarmerend en voor UNETO-VNI urgent genoeg om i.s.m. OTIB een vierdaagse power quality cursus te

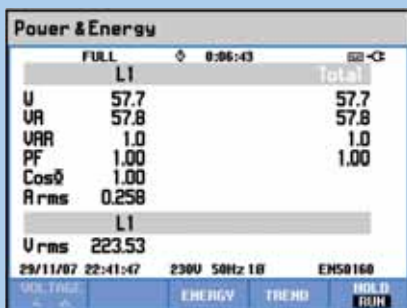
ontwikkelen en tijdens workshops te proberen ca. 1.500 installateurs te behoeden voor de negatieve effecten van de LED-verlichtingstechnologie. Ook tijdens een bijeenkomst van TVVL-Young waren de bezoekers ver-

rast door de praktisch gepresenteerde meetresultaten van de werkelijke eigenschappen van sommige LED-verlichtingsproducten. Ter illustratie enkele meetresultaten van de betere LED-lamp producten.

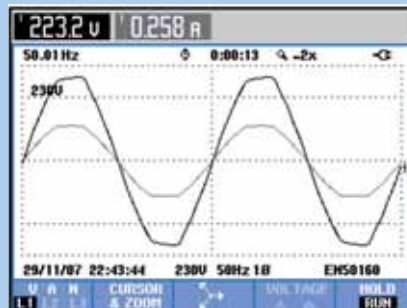


**Conventionele 60 watt gloeilamp.**

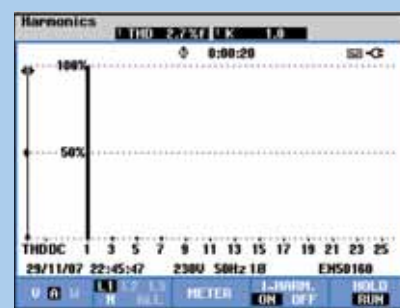
Elektrische energie wordt omgezet in warmte en een deel in zichtbaar licht. Gloeilampen gedragen zich als lineaire belastingen, die nageen genoeg geen netvervuiling veroorzaken. Natuurlijke kleurweergave.



Het actieve vermogen (watt) komt overeen met het schijnbare vermogen (VA).



De stroomcurve volgt netjes de sinus van de spanning.



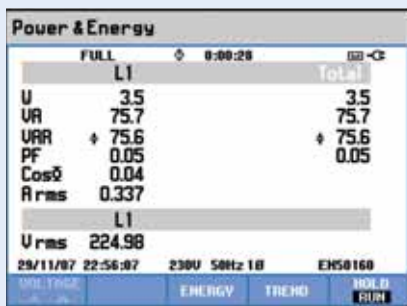
Er is geen harmonische vervuiling.

- FIGUUR 1 -

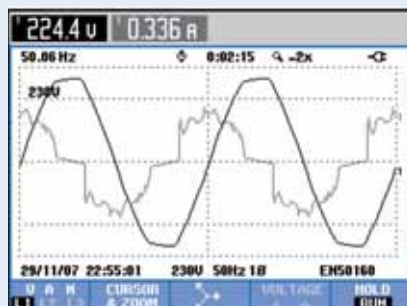


**LED-lamp huishoudelijke toepassing.**

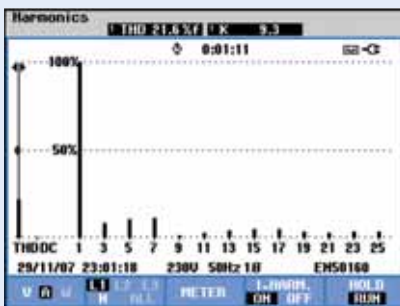
Elektrische energie wordt omgezet in warmte en een deel in zichtbaar licht. LED-lampen gedragen zich als niet-lineaire belastingen, die een hoge mate van netvervuiling veroorzaken. Lichtopbrengst en kleurweergave is gezien het vermogen minimaal



Het schijnbare vermogen (VA) is vele malen groter dan het actieve vermogen (watt). De PF is 0.05! en de  $\cos \phi$  is 0.04! Buiten het warmteverlies gaat er relatief veel vermogen verloren in het net.



De verstoorde stroomcurve is capacitef verschoven t.o.v. de sinus van de spanning.



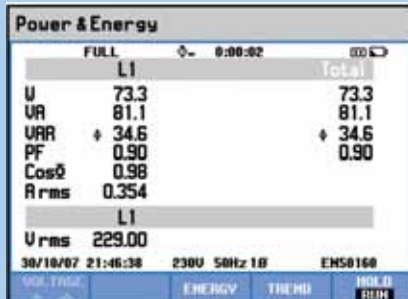
Er is zeer een breed spectrum aan harmonische vervuiling meetbaar tot boven de 51<sup>e</sup> harmonische.

- FIGUUR 2 -



**TL-LED-lamp toepassing in utiliteitsgebouwen.**

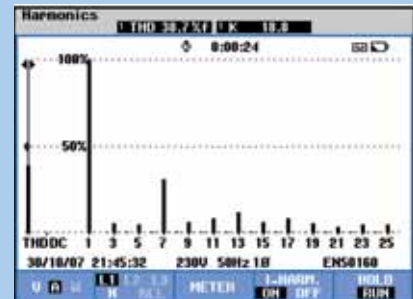
Elektrische energie wordt omgezet in warmte en een deel in zichtbaar licht. TL-LED-lampen gedragen zich als zeer snel schakelende niet-lineaire belastingen, die een hoge mate van netvervuiling veroorzaken. Lichtopbrengst is redelijk gezien het vermogen, kleurweergave is aan de koude kant en monochromatisch.



Het schijnbare vermogen (VA) van 4 stuks TL-LED-lampen is iets groter dan het actieve vermogen (watt). De PF is 0.9 en de  $\cos \phi$  is 0.98.



De zéér verstoorde stroomcurve is iets capacitief verschoven t.o.v. de sinus van de spanning.



Er is een breed spectrum aan harmonische vervuiling meetbaar.

- FIGUUR 3 -

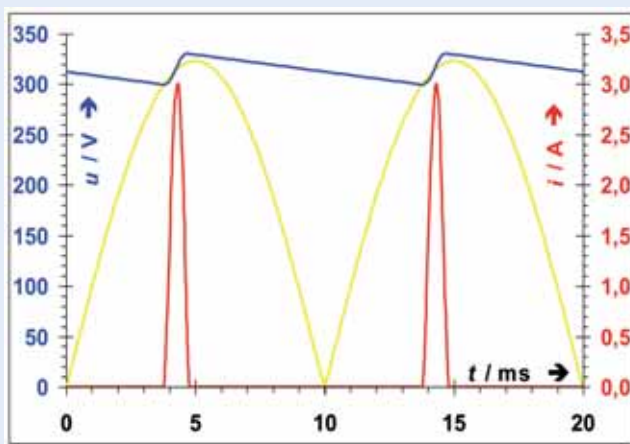
Inmiddels komen er steeds meer innovatieve producten op de markt, zoals dimbare LED-lampen en TL-LED-lampen met mooie koellichamen, men bedenkt telkens iets nieuws, maar nagenoeg alle actuele LED-producten halen het wat betreft werkelijk "groene karakter" nog steeds niet in vergelijking met een conventionele spaarlamp of TL buis. Bij de LED-verlichtingsproducten die nieuw op de markt komen ontbreekt het helaas nog aan aandacht voor de power quality

aspecten. Daarom zal nu een overzicht worden gegeven de invalshoeken die van belang zijn op de mogelijkheden van LED-verlichting zo optimaal groen verder te laten ontwikkelen.

**Invalshoek 1 - De versturende technologie**

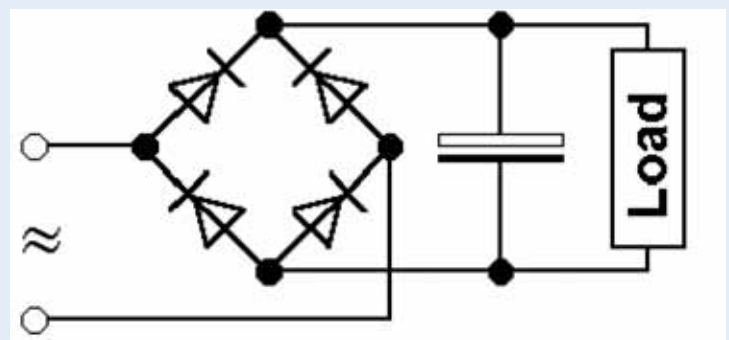
Doordat moderne, elektronische spaarlampen en LED-lampen voorzien zijn van zogenaamde schakelende capacitieve voedingen ontstaat er onder meer netvervuiling. De belasting van

deze lampen op het net zijn niet lineair. Dit heeft onder meer tot gevolg dat de lamp zijn stroom aftapt op het hoogste en het laagste moment van de sinus. Hierdoor worden de toppen van de sinus belast waardoor er 'flattopping' ontstaat. Dit betekent ook dat elders in de installatie sinussen worden aangeboden met een afgevlakte top. Motoren kunnen daardoor bijvoorbeeld gaan brommen waardoor er elders nog meer energieverlies optreedt door warmteontwikkeling.



De stroom wordt aftapt op het hoogste en het laagste moment van de sinus. Hierdoor worden de toppen van de sinus belast waardoor er 'flattopping' ontstaat.

- FIGUUR 4 -



Vereenvoudigde weergave van een typische voeding van een PC-voeding of een LED-lamp. Bij sommige dimbare varianten worden de dioden geschakeld waardoor er zelfs even-harmonischen ontstaan.

Een hoog blindvermogen betekent bij lineaire belastingen niet per definitie dat de centrale meer kolen of gas moet gaan stoken. Maar zodra er niet-lineaire belastingen optreden, die bij deze vormen van moderne LED-verlichting steeds vaker tegenkomen, dan ontstaan er niet alleen (blind)stromen van 50 Hz, maar vaak een veelvoud daarvan. Deze harmonische stromen zorgen dat zaken als ongewenste opwarming en het brommen van transformatoren en motoren kunnen toenemen waardoor centrales in verhouding wel meer kolen moeten gaan verstoken. Bovendien blijken veel LED-lampen, door hun niet-gecompenseerde schakelende voedingen, voor netvervuiling met

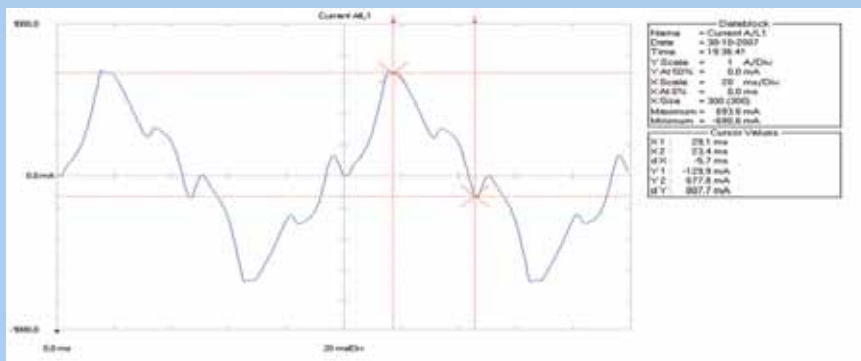
een hoge frequentie te zorgen, wat bij hogere belastingen in het netwerk tevens EMC-problemen kan veroorzaken door ‘antennewerking’. Dit is vooral vervelend voor communicatie of beveiligingsnetwerken die in de buurt liggen.

Overigens speelt energieverlies door schakelende voedingen niet alleen een rol bij LED-verlichting, maar bij veel meer elektrische apparaten waar elektronica vaak nodig is om de 50Hz sinus van 230 V om te zetten. Circa tien jaar terug was de WTW-unit (warmte terugwinunit) in woningen voorzien van wisselstroommotor. Maar deze was energetisch gezien niet zuinig genoeg. Dus ging de industrie er toe over om

gelijkstroommotoren in te zetten die energetisch een beter rendement zouden halen. Om van wisselspanning de juiste gelijkspanning te maken, voegde men een stukje elektronica toe. Hierdoor werd het kWh verbruik van elektriciteit in woningen lager. Maar zouden we het rendement van het totale elektrische energiesysteem meenemen, dan zou de besparing wel eens flink kunnen tegenvallen, dit blijkt ook uit een onderzoek dat UNETO-VNI en de TVVL uitvoerden. Naast het onderzoek aan de LED-lichtbronnen zijn ook steekproefsgewijs metingen uitgevoerd aan apparatuur van installaties in gebouw en consumenten apparatuur.



Willekeurige WTW-unit.



- FIGUUR 5 -

Elektrische energie wordt omgezet in warmte en een deel in mechanische kracht om de ventilator aan te drijven. Gelijkstroom WTW-units gedragen zich als capacitief schakelende niet-lineaire belastingen, die eveneens netvervuiling veroorzaken, de gelijkstroommotor is bij deze toepassing niet de boosdoener, maar de elektronica van wisselspanning, (net als bij LED-lampen) regelde gelijkspanning maakt.

**In de laagste toerenstand zou volgens de documentatie de stroom 75mA zijn, als men dit met een gewone ampèremeter of kWh meter benadert, klopt de bewering. Echter wanneer men een true RMS-meting of een power quality analyser, de werkelijke stromen en vermogens analyseert komt men op 350 % hogere waarden uit. Op de hogere toerenstand wordt het verschil geleidelijk aan minder tot ± 20 %.**

Zowel bij consumentenapparatuur, gebouwinstallaties, als bij LED-lampen dient er wegens het netvervuilingskarakter een eenduidige geharmoniseerde beoordelingsmethodiek/eerlijk labelingsysteem te komen zodat het werkelijke energiegebruik van het complete systeem goed kan worden benaderd. Zolang men de energieprestatie van niet-lineaire producten blijft beoordelen met achterhaalde meetapparatuur en meetmethoden dan is het kaf niet van het koren te onderscheiden.

### Invalshoek 2 - Energielabel

Door het ontbreken van geharmoni-

seerde beoordelingscriteria voor toepassingen van LED-verlichting wordt aan fabrikanten de ruimte geboden om minder optimale producten op de markt te brengen, en efficiency claims neer te leggen die praktisch geen betekenis hebben. Daarbij komt dat veel LED-lichtbronnen buiten de Europese richtlijnen vallen voor het toekennen van een energielabel. De richtlijnen 92/75/CE en 98/11/CE zijn alleen van toepassing voor lichtbronnen met een vermogen > 4W. Veel LED-bronnen hebben een kleiner vermogen waardoor zij buiten deze richtlijn vallen. Hierdoor kunnen producten gemak-

kelijk door de “keuring” komen. Bij grootschalige toepassingen zal de som van de producten (het systeem) vanzelfsprekend niet voldoen.

### Invalshoek 3 – Efficiency.

Op dit moment ligt de geclaimde maximale efficiency van witte LED's rond de 60 a 73 lm/W. Deze waarden zijn echter gemeten in gecontroleerde laboratoriumomgevingen. Vooral door de invloed van de omgevingstemperatuur zullen deze waarden in de praktijk lager zijn. De huidige fluorescentie lichtbronnen presteren met 100 tot 105 lm/W aanzienlijk beter, bij een

betere lichtkwaliteit. De vraag is of het op dit moment wenselijk is om voor basisverlichting de fluorescentie lichtbronnen te vervangen door LED-lichtbronnen. Een eerlijkere coëfficiënt voor efficiency zou (als tussenoplossing) zijn:  $Lm(\text{full-RGB})/VA$

#### **Invalshoek 4 - Warmte**



**Met koellichamen wordt de overtollige warmte zo veel mogelijk afgevoerd.**

- FIGUUR 6 -

Ongeveer 87 % van het opgenomen vermogen van een LED-lichtbron wordt omgezet in warmte. Deze warmteontwikkeling vindt plaats op een zeer klein oppervlakte en dient te worden afgevoerd via een koellichaam. De warmteontwikkeling heeft de negatieve effecten op onder meer:

- A) lichtstroom (licht output): Datasheets van fabrikanten geven de lichtstroom in lumen/watt weer. Deze lichtstroom wordt door de fabrikanten gemeten bij een temperatuur van 25 °C binnen 30 ms na ontsteking van de bron. De normale bedrijfstemperatuur ligt echter een stuk hoger. (Adjunction temperatuur is typisch tussen de 60 en 75 °C). Bij deze temperaturen is de lichtstroom van een witte LED nog 85 % van de in de datasheet genoemde lichtstroom. Voor een gele LED is dit nog maar 50 %;
- B) levensduur: De levensduur van een LED-lamp wordt negatief beïnvloed door de hoge temperaturen. Bijkomend probleem is dat de huidige uitdrukking van levensduur is gebaseerd op een percentage uitval van de lichtbronnen. Een LED-lamp zal niet geheel uitvallen, maar steeds minder licht gaan produceren. Er is geen wereldwijd genormaliseerde methode om de levensduur van een LED-lichtbron te bepalen. Nagenoeg alle LED-lampen en TL-LED-lampen die tijdens het UNETO-VNI onderzoek werden gebruikt zijn meerdere

keren vervangen. Bij navraag bij de fabrikanten, geeft 85 % aan geen harde garanties voor de (geclaimde) levensduur te willen geven;

- C) Brandgevaar: De LED-lamp kan zichzelf in een vervuilde omgeving tot ontbranding brengen. De behuizingen zijn over het algemeen gemaakt van niet-halogeenvrije/gemakkelijk brandbare kunststoffen.

#### **Invalshoek 5 - Energiegebruik**

Bij de bestaande methoden wordt de efficiency van een lichtbron uitgedrukt in lumen/watt. Indien we de gehele energieketen van opwekking tot eindverbruiker bekijken, is deze methode minder geschikt voor LED-lichtbronnen om de volgende redenen:

- A) Power-factor: Een LED-lichtbron neemt een beperkt (watt) vermogen op uit het net. Het blindvermogen is echter vele malen groter. Er zijn spotmetingen gedaan waarbij het blindvermogen een factor 20 hoger ligt dan het werkelijk (watt) vermogen. Bij LED-lichtbronnen zijn er zeer grote variaties in power factor (tussen de 0,04 en 0,9). Grootschalige toepassing van LED-verlichting met een slechte power-factor zal leiden tot een aanzienlijke toename van blindstroom componenten in het energienet. Afhankelijk van de negatieve net-beïnvloedbaarheid van de harmonischen moet dit vermogen van de efficiency van de lamp worden afgetrokken.
- B) Harmonische stromen: Door toepassing van elektronische drivers in de LED-bronnen worden er veel harmonische stromen in het net gecreëerd. Dit kan leiden tot:
  - Opwarming van kabels en transformatoren, hetgeen waarschijnlijk resulteert in transportverliezen in het energieverleverend net;
  - Opwarming van beveiligingstoestellen, wat zal leiden tot onnodige uitschakeling van smeltveiligheden en installatieautomaten;
  - Verder is het de verwachting dat er ook EMC-technische problemen ontstaan door toepassing van hoogfrequente voedingen. Voor compacte fluorescentie lampen is reeds bekend dat deze door de geringe fysieke afmetingen voorzien zijn van slechte

EMC-filters. Tegenwoordig krijgt UNETO-VNI steeds meer vragen binnen over communicatiestoringen in brandmeldinstallaties bij utiliteit gebouwen die algemeen voorzien zijn van TL-LED-lampen.

#### **Invalshoek 6 - Kleurweergave**

Voor de toepassing van een juiste lichtbron is de kleurweergave van een lichtbron een zeer belangrijke factor. Kleurweergave heeft een grote invloed op het menselijk welzijn en op de ervaring van het kunstlicht, zie onder meer het artikel van Toine Schoutens in dit themanummer. Het technisch rapport *CIE177:2007 Colour rendering of white LED light sources* heeft reeds aangetoond dat de huidige genormeerde techniek om de kleurweergave van een lichtbron te bepalen niet geschikt is voor witte LED-lichtbronnen. Dat wil zeggen dat er op dit moment geen genormeerde beoordeling van kleurweergave mogelijk is bij toepassing van witte LED-lichtbronnen.

#### **Invalshoek 7 - Praktische inzetbaarheid**

Een LED-lamp heeft een zeer gebundelde lichtuitstraling (punt lichtbron). Bij vervanging van bijvoorbeeld een fluorescentie lichtbron door LED-verlichting wordt het effect van het armatuur optiek (de spiegels) tenietgedaan omdat de lichtuitstraling geheel anders is. Dit zal vrijwel zeker resulteren in problemen met de gelijkmatigheid van de lichtverdeling. Ook bestaat er een grote kans op (laser) verblindingseffecten. Verder moet men er rekening mee houden dat lichtgevende LED veelal niet op bestaande dimmers kunnen worden aangesloten. Voor ontwerpers van verlichting hebben LED's wel het voordeel dat ze worden bevrijd van de beperkingen van lichtbronnen. In tegenstelling tot de traditionele lampen kunnen deze LED's vrijwel onmiddellijk worden in- en uitgeschakeld (minder dan 100 ns), zelfs bij een bedrijfstemperatuur van bv. - 40 °C.

#### **Invalshoek 8 - Milieu versus afval**

Vaak wordt een lichtgevende LED als zijnde milieu vriendelijk beschouwd, omdat deze geen kwik bevat. Een LED bevat inderdaad geen kwik, echter komen er wel stoffen als Arsenicum en Fosfor voor in een LED. De milieu effecten hiervan dienen nader te worden

onderzocht. Dit is in het bijzonder in de consumentenmarkt van belang, omdat er geen gecontroleerde afvalverwerking voorhanden is in deze markt. Met gecontroleerde afvalverwerking worden vergelijkbare systemen bedoeld, zoals we in de bedrijfsmatige sector zien, waar gebruikte fluorescentiebuizen separaat worden verwerkt. Een vergelijkbare problematiek speelt voor spaarlampen in de consumentenmarkt. Er zijn schattingen dat 80 % van de spaarlampen, met daarin vervuilend kwik, via de normale huisvuil afvalstroom in het milieu terecht komt. Bij een gloeilamp is recycling, door het zeer geringe aantal grondstoffen, juist erg eenvoudig.

#### CONCLUSIE

De stelling of: 'LED-verlichting al groen genoeg is' dat wil zeggen of dat LED-lampen nu al energie-efficiënter zijn dan fluorocentielampen en langer meegaan waardoor ze milieuvriendelijker zouden zijn is bij de integrale benadering, rekening houdende met alle invalshoeken, duidelijk nog niet aangetoond. Verder zijn LED-lampen doorgaans behoorlijk duur en zwaar; veel zwaarder dan een gloeilamp. Bij de LED-lamp zit dit vooral vaak in de kunststoffen voor de bol en in het benodigde aluminium voor de koelplaat en de condensator. Fabrikanten zouden de LED-lamp zodanig technisch kunnen aanpassen dat deze

net zo weinig blindvermogen en harmonische vervuiling genereert als een gloeilamp. Maar dan zou het gewicht naar verwachting nog eens verdubbelen. Het is in dat geval noodzakelijk om een power factor corrector in de LED-lamp te integreren, en deze bestaat vooral uit koper (duur) en aluminium. Een andere optie is het toevoegen van meer slimmere elektronica. Beide opties zouden die lamp een stuk duurder maken en zorgen bovendien dat er nieuwe, moeilijk te scheiden grondstoffen aan het product worden toegevoegd die recycling lastiger maken.

Wanneer grootschalige acties van (goedbedoelde/onwetende) gemeenten, loterijen en milieuorganisaties spaar en LED-lampen "weggeven" zonder te kijken naar de kwaliteitscriteria van de LED-lampen op dit punt nemen deze problemen alleen maar in omvang toe. Het is belangrijk gericht beleid te voeren om er voor te zorgen dat de beoogde groene kwaliteit daadwerkelijk zal worden gerealiseerd. Dit maakt nog eens duidelijk dat een beleidsmatig kader van groot belang is bij de introductie van innovatieve producten. Iets waar het artikel van Remco van der Linden in dit themanummer verder op in gaat. 

#### REFERENTIES

1. ISSO instructieboek power quality 2009; [www.iss0.nl](http://www.iss0.nl)

2. OTIB cursus power quality voor de installatiesector 2009; [www.powerquality.nl](http://www.powerquality.nl)
3. Power Quality: Implications at the Point of Connection PROEFSCHRIFT 2007, Dr. Ir. J.F.G. Cobben; [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Power\\_Quality\\_Implications\\_at\\_the\\_Point\\_of\\_Connection\\_Proefschrift\\_JFG\\_Cobben\\_tcm24-230557.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Power_Quality_Implications_at_the_Point_of_Connection_Proefschrift_JFG_Cobben_tcm24-230557.pdf)
4. CopperBelelux Harmonischen effectieve waarde 3.2.2; [http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-harmonischen\\_3.2.2\\_ndl.pdf](http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-harmonischen_3.2.2_ndl.pdf)
5. CopperBelelux Harmonischen oorzaken en gevolgen 3.1; [http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-harmonischen\\_3.1\\_ndl.pdf](http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-harmonischen_3.1_ndl.pdf)
6. CopperBelelux Kosten 2.1; [http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-kosten\\_2.1.pdf](http://www.copperbenelux.org/files/lpqi-kosten_2.1.pdf)
7. SenterNovem quick scan LED-verlichting in huishoudens & utiliteitsbouw; [http://www.senternovem.nl/mmfiles/Quick%20scan%20LED%20verlichting%20utiliteit%20vs3.05\\_tcm24-288842.pdf](http://www.senternovem.nl/mmfiles/Quick%20scan%20LED%20verlichting%20utiliteit%20vs3.05_tcm24-288842.pdf)
8. ISSO/UNETO-VNI onderzoek LED/Spaarlampen in de utiliteit 2007
9. Laborelec Feiten en Mythes over verlichting; [http://ingenieur.kahosl.be/projecten/groenlicht/Laborelec\\_Feiten%20en%20Mythes%20over%20verlichting.pdf](http://ingenieur.kahosl.be/projecten/groenlicht/Laborelec_Feiten%20en%20Mythes%20over%20verlichting.pdf)



**vabi** software

de rekensoftware voor de installatietechniek

■ Vabi Software BV
■ Kleveringweg 12
■ Postbus 29
■ 2600 AA Delft  
■ t: 015 257 44 20
■ f: 015 257 59 10
■ info@vabi.nl
■ www.vabi.nl