OPTICA
lichtarchitectuur

Aspecten en gevolgen van netvervuiling ten gevolge van lichtbronnen en verlichtingsystemen

Gemaakt in opdracht van Agentschap NL, maart 2010

1. INLEIDING 3

2. FACTS 4

3. NETVERVUILING TEN GEVOLGE VAN VERLICHTING 5

3.1 INLEIDING 5

3.2 POWER FACTOR EN COS Φ 5

3.2.1 Power Factor en harmonischen 6

3.2.2 Harmonische vervorming 7

4. HET BEPERKEN VAN NETVERVUILING 9

4.1 INLEIDING 9

4.2 METEN VAN DE NETKWALITEIT 9

4.3 OPLOSSINGEN VOOR EEN CORRECTE PF 9

5. SAMENGEVAT 11

1. Inleiding

In de eerste helft van de voorbije eeuw stond voor de consument verlichting bijna synoniem voor de gloeilamp. “Meer en beter licht voor minder energie” was altijd al de stuwende kracht om andere types van verlichtingsbronnen te ontwikkelen. Door de energiebesparingsdrang is die trend in de loop van het laatste decennium nog flink aangewakkerd. Vandaag is het assortiment aan verlichtingtypes met sterk verschillende eigenschappen zo groot dat een keuze maken moeilijk wordt en men vaak vasthoudt aan het “vertrouwde” of geleid wordt door modetrends en veelbelovende reclame.

Ieder lamptype heeft zijn eigen karakteristieken zoals kleurtemperatuur, levensduur, efficiency en prijs. Technische details als Power Factor (PF) en Harmonic Distortion (HD) worden vaak niet genoemd maar zijn zeer belangrijk voor het ontwerp van de installatie en de netkwaliteit (PQ).

In dit artikel wordt de invloed van verlichtingssystemen voor huishoudelijke, utilitaire en openbare verlichting op de netkwaliteit verder besproken. Verder wordt aangegeven welke specifieke problemen daardoor ontstaan en welke oplossingsrichtingen hiervoor zijn.

2. FACTs

Omwille van het erg lage lichtrendement moeten de klassieke gloeilampen binnen drie jaar uit de Europese winkelrekken verdwijnen. Een vergelijking van het lichtrendement en de levensduur van veelgebruikte lichtbronnen staat weergegeven in Tabel 0-1.

Lamp type	Gloeilamp	Halogeenlamp	CFL	LED	Metaalhalide
Eigenschap					
Lichtrendement	6 - 15 lm/W	10 - 25 lm/W	20 - 60 lm/W	10 - 60 lm/W	40 - 60 lm/W
Levensduur	1000 h	2000 - 5000h	5000- 20000h	25000-50000h	5000 - 9000h

Tabel 0-1 Vergelijking eigenschappen diverse type lichtbronnen

Onder de groep fluorescentieverlichting worden zowel de CFL als ook TL verlichting begrepen. Deze vorm van verlichting met een elektronisch voorschakelapparaat (VSA) zijn op twee manieren opgebouwd. De ene groep met een externe VSA. Deze komt veelal voor in de utiliteit. De andere groep met een geïntegreerde VSA. Deze groep komt veel voor in huishoudelijke toepassingen en is bekend onder de naam "**spaarlamp"

*** In het kader van de Ecodesignverodening 244 bijlage II 3.1.j wordt de term "spaarlamp" voortaan gebruikt voor alle huishoudelijke matte lampen met een hoge energie efficiency (label A en B); dus ook LED-lampen vallen daar onder.*

Spaarlampen en 'koude' LED's hebben tov een gloeilamp een hoger rendement. Wel hebben LED's met een 'warmere' kleurtemperatuur in het algemeen een lager rendement dan een 'koude' LED. Ook zijn er binnen LED als CFL zeer grote variaties mbt de efficiency.
LED-verlichting is ook verkrijgbaar met losse of geïntegreerde VSA. Bij LED-verlichting wordt voor voorschakelapparaat ook de Engelse term 'driver' gebruikt.
Metaalhalide lampen voor binnenverlichting (bv. kwikdamplampen) hebben ook een hoge efficiency en levensduur maar ze zijn duur in de aanschaf en vertonen andere nadelen (ondermeer starttijd en heropstartbeperking na doven). Voor industriële toepassingen hebben metaalhalide lampen een nog hogere efficiency en levensduur.
Deze feiten kunnen bepalend zijn voor de keuze van nieuwe verlichtingsinstallaties. Indien men echter alleen de oude lampen wil vervangen door verbeterde technologie, moet nagegaan worden of het huidige armatuur en het eventueel ingebouwd voorschakelapparaat hiervoor wel geschikt zijn.

3. Netvervuiling ten gevolge van verlichting

3.1 Inleiding

Vaak wordt voor de beoordeling van de efficiency van een verlichtingsinstallatie alleen naar de lm/W verhouding gekeken. In praktijk is echter van belang de juiste hoeveelheid licht op de juiste plaats te krijgen. Hierbij is ook het armatuur en de lichtverdeling van belang.
Voor lampen die, vanuit het net gezien, een zuivere weerstand zijn (een resistieve belasting, zoals gloeilampen en halogeenlampen) is dit een correcte benadering voor het ontwerp van uw installatie. Dit is ook correct voor andere lampen met een ‘goed’ voorschakelapparaat, waarvan het gedrag een resistieve belasting benadert.
VSA’s/’drivers’ met een capacitieve (condensator), inductieve (spoel) en/of niet lineaire (elektronica) werking, hebben een stroomafname die niet in fase en/of gelijkvormig is met de spanning. Er is dan sprake van een PF (Power Factor) lager dan 1. Naast het “werkelijk” opgenomen vermogen (W) moet dan gerekend worden met het schijnbaar vermogen (S). De afwijking kan een faseverschuiving zijn tussen stroom en spanning (φ) of een stroomafname die niet sinusvormig is of een combinatie van beide verschijnselen.
Indien de stroomafname een andere vorm heeft dan de spanning, veroorzaakt de niet lineaire belasting harmonische stromen in het net. Harmonische stromen zijn nutteloze stromen op veelvouden van de 50 Hz netfrequentie.
Men spreekt dan van netvervuiling. Het is van belang dat apparaten aangesloten op het publieke net de netvervuiling zoveel mogelijk beperken om de negatieve effecten zoals extra energiegebruik, warmteontwikkeling en storingen te vermijden.

3.2 Power Factor en cos φ

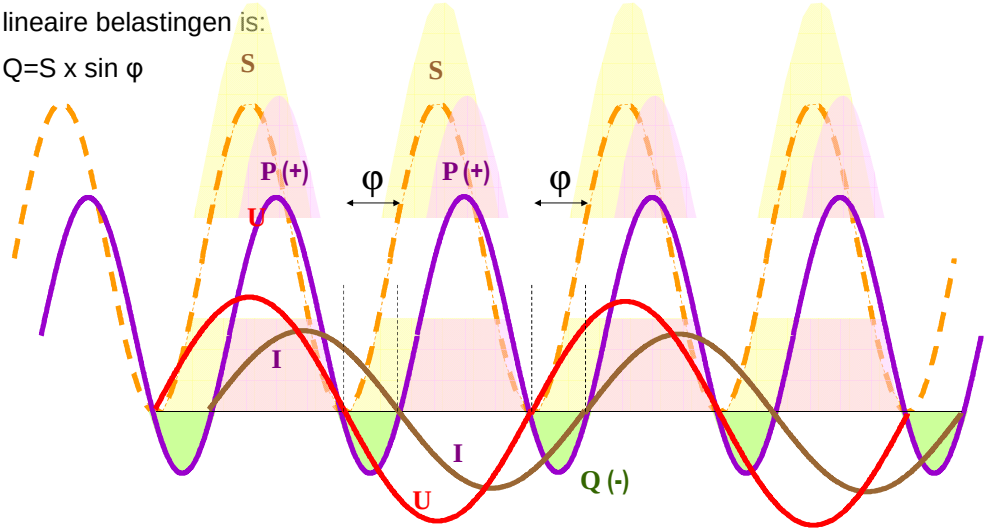
De spanning U, in (V)olt, aangeboden aan een verlichtingsapparaat heeft normaal een sinusvorm.
Bij een resistieve belasting zal de stroom I, in (A)mpére, opgenomen door een apparaat, helemaal de spanning volgen. We spreken dan van een lineaire belasting zonder faseverschuiving (cos φ =1).
Indien de afgenomen stroom wel sinusvormig is, maar niet in fase met de spanning (zoals bij motoren en klassieke TL-verlichting), spreken we van een lineaire belasting met een faseverschuiving. De fasehoek tussen de spanning en de afgenomen stroom is Phi “φ” (zie Figuur 0-1). Als men de effectieve- of RMS-stroom (Root Mean Square) meet van een klassieke TL-verlichting met een lamp van 36W, komt men makkelijk aan 0,33 Ampère. 230V x 0,33A = 76VA. De lamp vraagt dus dubbel zoveel stroom als verwacht. Een deel van de stroom wordt echter niet opgenomen, maar gaat weer terug het elektriciteitsnet in (het reactieve deel van de stroom). Het actief opgenomen (nuttige of werkelijke) vermogen (36W) is dan kleiner dan het schijnbaar vermogen S = U_{RMS} x I_{RMS} (76VA). De klant betaalt misschien wel enkel het werkelijk opgenomen vermogen (en een industriële klant ook nog een opslag bij te lage cos φ), maar de gemeten, hogere, RMS- stroom belast wel degelijk het net. Deze hogere RMS-stroom veroorzaakt hogere netverliezen, dit betekent hogere kosten voor de netbeheerder. Bij grootschalig gebruik van LED-verlichting met een slechte PF nemen de netverliezen toe.

De Power Factor is de verhouding tussen het werkelijk opgenomen vermogen (P) en het schijnbaar vermogen (S).

$$PF = \frac{P}{S}$$

S = U_{RMS} x I_{RMS}. De PF is altijd een getal tussen 0 en 1. Een faseverschuiving veroorzaakt een kleinere PF, gekend als cos φ (Displacement Power Factor). In het ideale geval is de cos φ van verlichtingsbronnen één. Het vermogen dat niet opgenomen wordt, noemt men blindvermogen (Q). Bij lineaire belastingen is:

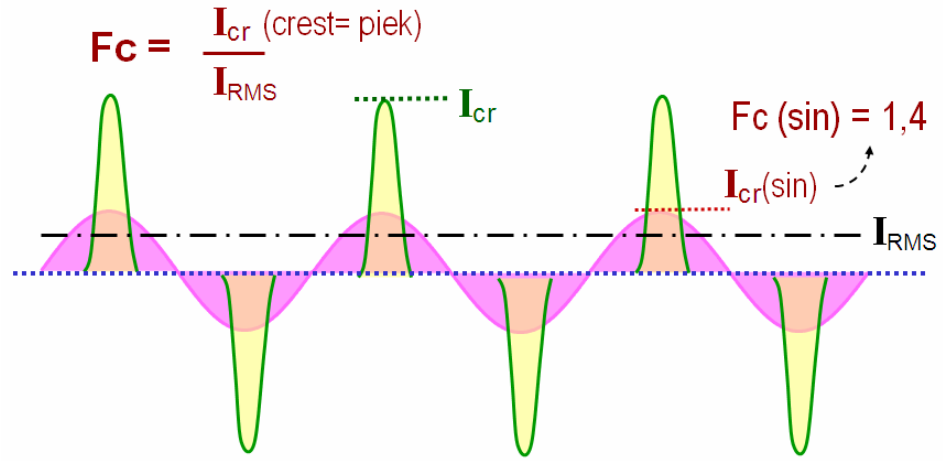
Q=S x sin φ



Figuur 0-1 Verklaring faseverschuiving φ, actief of Watt vermogen P, reactief of blindvermogen Q en het werkelijk of schijnbaar vermogen S

3.2.1 Power Factor en harmonischen

De Power Factor (PF) is echter niet enkel afhankelijk van de cos φ. Als de stroom niet dezelfde vorm heeft als de sinusvormige spanning, spreken we van een niet- lineaire belasting. Deze gebruikt ook maar een deel van het opgewekte vermogen en veroorzaakt harmonische stromen in het net, op veelvouden van de 50 Hz netfrequentie. Harmonische stromen hebben geen nuttige inhoud, maar belasten wel het net met een harmonische vervorming (THD). De THD, ofwel de totale harmonische vervorming, geeft een indicatie van de harmonische inhoud van de stroom of spanning en is dus een maat voor de vervorming van de spanning ten opzichte van de normale sinusvorm. Er zijn twee verschillende begrippen, de THD-F en de THD-R. De THD-F geeft de vervorming van de stroom of spanning tov van de RMS waarde van de grondgolf. Daardoor kan de THD-F groter dan 100% zijn. De THD-R geeft de vervorming van signaal weer tov van het totale signaal en is daardoor altijd kleiner dan 100%.
Naast de THD, welke een maat is voor de totale harmonische vervorming van de stroom of spanning, is de crest factor een maat voor de verhouding tussen de piek waarde van de stroom of spanning en zijn RMS waarde. Zo is de crest factor van een sinusvormig signaal 1,4. Bij elektronische voorschakelapparatuur, waarbij de stroom vooral getrokken wordt in de pieken van de spanning, is de crest factor hoger.



Figuur 0-2 Berekening van de crest factor, voor sinusvormige signalen is deze 1,4

Voor het ontwerp van een installatie moet rekening worden gehouden met de totale RMS-stroom, behorende bij het schijnbaar vermogen (S). De PF van de lichtbronnen zouden de “1” moeten benaderen.

Huishoudelijke verlichting met LED

Vooral de LED’s tbv huishoudelijke toepassing hebben een lage PF tussen de 0,1 en 0,6. Een PF van 0,1 betekent dat het werkelijk vermogen (S) door de installatie 10 keer zo groot is als het Watt-vermogen (P). De lage PF wordt met name veroorzaakt door de aanwezigheid van harmonische stromen die in sommige gevallen niet voldoen aan de gestelde normen.

Openbare verlichting met LED

In het kader van de gecoördineerde evaluatie van de LED-pilots voor openbare verlichting zijn 10 LED-armaturen van 8 leveranciers doorgemeten. Uit de metingen blijkt dat er nogal wat verschil is in de elektrische prestaties. De gemeten waarden voor de PF bij de gemeten armaturen liggen tussen de 0,8 en 0,97 met één uitschieter naar 0,53. Dit geeft aan dat de voorschakelapparaten/’drivers’ nog een optimaliseringslag nodig hebben. De PF van deze LED-armaturen voor openbare verlichting is beter dan de LED’s voor thuis door de betere ‘driver’. Een betere ‘driver’ is mogelijk doordat er, in tegenstelling tot de ‘gloeilamp vervangers’, meer ruimte is voor inbouw van elektronische componenten (bv. harmonische filters) in het armatuur.

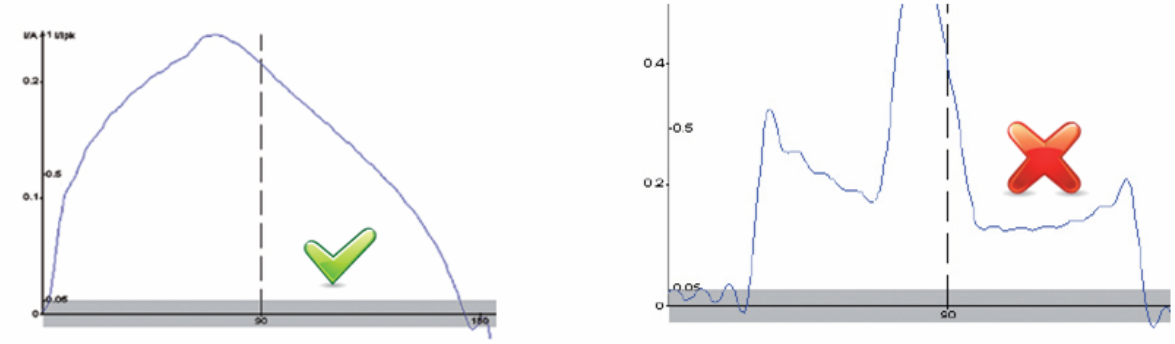
3.2.2 Harmonische vervorming

De norm IEC 61000-3-2 geeft limieten aan de geïnjecteerde stromen per veelvoud van de netfrequentie van 50 Hz per apparaat in het publieke net. Deze harmonische stromen worden vooral veroorzaakt door het elektronische VSA. Vooral harmonische van de 3^{e} orde (H3:150 Hz) zijn extra belastend voor de installatie omdat ze optellen in de nulgeleider. Anderzijds kunnen harmonische stromen ook storingen veroorzaken in beveiligingen.

Verlichtingssystemen zijn opgenomen in deze norm en verdeeld in twee categorieën:

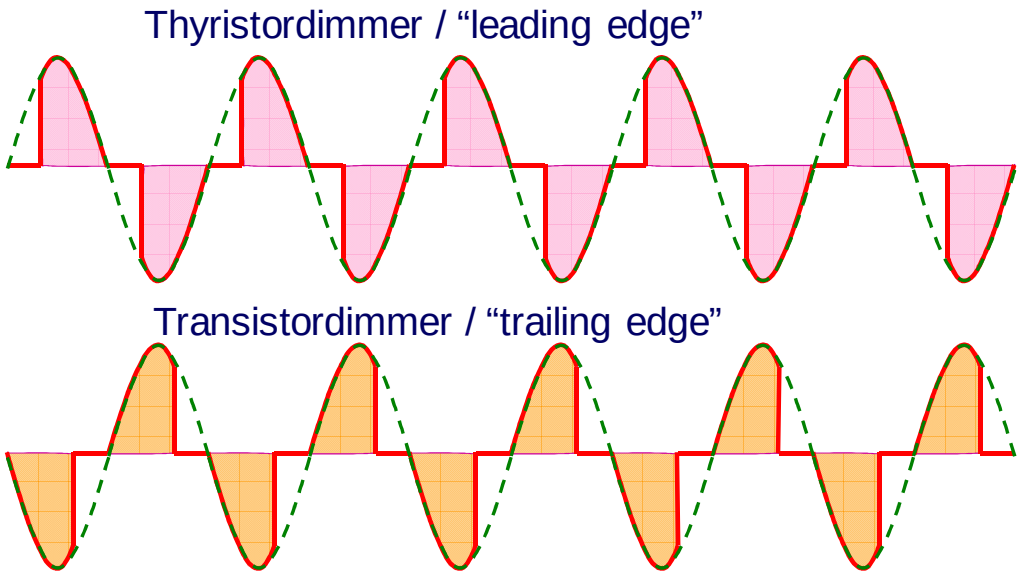
Actieve vermogen ≤ 25W	H3 ≤ 86%, H5 <= 61%
Actieve vermogens > 25W	H3 ≤ 30 x PF, H5 ≤ 10%

Bij wettelijke voorschriften zoals de Eco-designverodeningen en aansluitvoorwaarden die netbedrijven hanteren wordt ook de grens van 25 W gehanteerd voor minimumwaarden die aan de PF worden gesteld. Afhankelijk van het type lamp is deze PF eis voor P ≈ 0,9 voor P > 25 W maar onder de 25 W moet die PF ≥ 0,5 zijn voor compactfluorescentielampen en > 0,95 voor andere lampen. Voor ledlampen zijn er voor die kleinere vermogens nog geen wettelijke eisen. In tegenstelling tot compactfluorescentielampen voldoen veel geteste LED's voor huishoudelijke verlichting niet aan de bovengenoemde limieten.
In Figuur 0-3 staat een voorbeeld van de opgenomen stroom door een 'goed' en slecht' LED-armatuur.



Figuur 0-3 De vorm van de stroom bepaald de harmonische inhoud, links een 'goed' LED-armatuur en rechts een 'slechte'

Ook elektronische dimmers veroorzaken harmonischen doordat een niet-sinusvormige stroom wordt opgenomen. Deze dimmers zorgen ervoor dat niet tijdens de gehele sinus vermogen wordt op genomen, maar alleen gedurende een deel van de sinusspanning. Thyristoren of transistoren, niet- lineaire elementen in deze dimmers, zorgen hiervoor. Het regelen van het vermogen op deze manier gebeurt dus door het afkappen van de spanning. De resulterende niet-sinusvormige stroom zorgt voor harmonischen.



Figuur 0-4 Het afkappen van de spanning in elektronische dimmers kan op twee manieren gebeuren

4. Het Beperken van netvervuiling

4.1 Inleiding

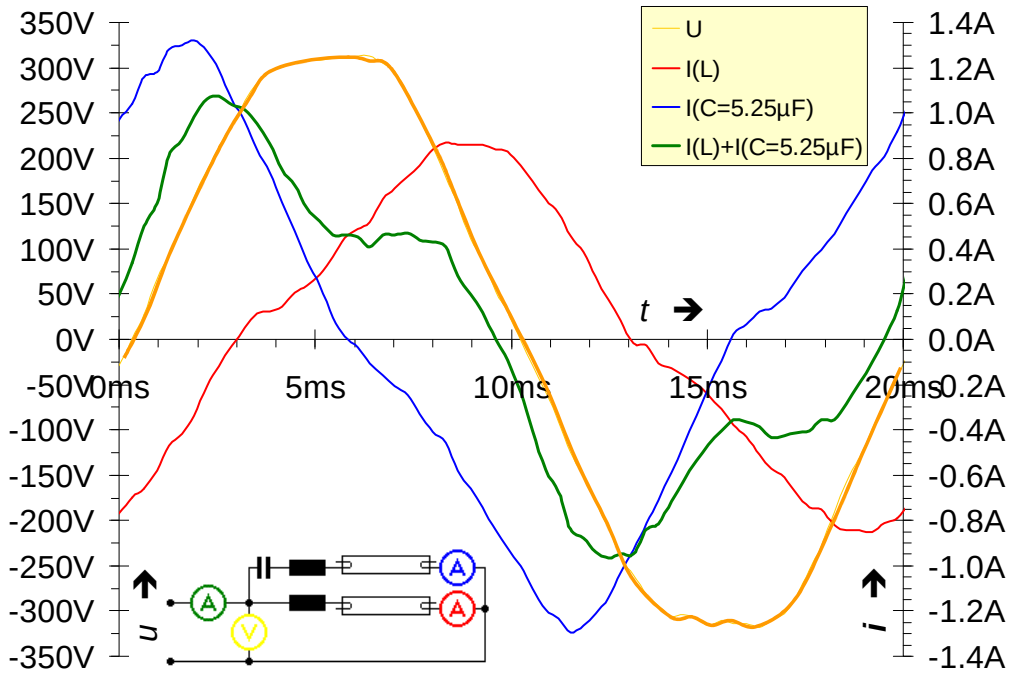
De kwaliteit van de spanning van het publieke elektriciteitsnet is van belang voor de correcte werking van alle aangesloten apparaten. Door het opnemen van niet-sinusvormige stromen wordt ook de netspanning vervormd. Dit heeft invloed op de werking en de vorm van de opgenomen stromen van niet-vervuilende apparaten. Het is daarom van belang dat de belastingen zich zo resistief mogelijk gedragen (PF≈1).

4.2 Meten van de netkwaliteit

Als er een probleem is met de netkwaliteit, moet dit gemeten worden met een TRUE- RMS meter of PQ-meter op het aansluitpunt van de klant. Alleen dan worden alle waarden correct gemeten en kan men conclusies trekken over de netkwaliteit. Ook moet de meter in staat zijn harmonischen weer te geven, zodat het vervuilende apparaat kan worden opgespoord. Om de PF of cos φ te kunnen meten moeten zowel de stroom als de spanning tegelijkertijd gemeten worden.

4.3 Oplossingen voor een correcte PF

Bij uitgebreide verlichtingsinstallaties met klassieke voorschakelapparaten wordt de PF (cos φ) gecorrigeerd met condensatoren in de zogenoemde duo- schakelingen.



Figuur 0-1 Blindvermogencompensatie bij TL- verlichting, de stroom uit het net heeft maar nog maar een klein faseverschil met de netspanning

De correctie van de PF door harmonische vervorming is echter niet zo eenvoudig. De harmonische vervorming kan moeilijk compenseerd worden. Daarom is preventie een betere oplossing, harmonische vervorming moet zoveel mogelijk bij de bron vermeden worden.
LED's, spaarlampen en andere typen verlichting met lage PF door harmonische vervorming, kunnen de installatie overbelasten. Het schijnbaar vermogen door de installatie is dan namelijk enkele malen groter dan het Watt vermogen. Bij het ontwerp dient hier rekening mee te worden gehouden.
LED's voor huishoudelijke toepassing en spaarlampen hebben meestal een voorschakelapparaat ingebouwd in de lampvoet.
Het is bekend dat elektronische voorschakelapparaten harmonische stromen produceren door het opnemen van stroom in de top van netspanning, zie Figuur 0-2.

Figuur 0-2 Stroomverloop van een ongefilterd voorschakelapparaat voor bv. LED's of spaarlampen

Dit stroomverloop zorgt voor harmonische stromen. De fabrikant zou dit kunnen vermijden met filtering, maar dan zou het product groter en duurder worden.
Moderne elektronische voorschakelapparaten voor TL-verlichting hebben wel een goede PF, beter dan 0,95. Dit geldt ook voor downlighters met een 'goed' separaat voorschakelapparaat. Bij LED's zien we een grote variatie in PF, echter in het algemeen hebben de LED's met externe 'driver' een betere PF dan LED's met een ingebouwde 'driver'. Het zijn dus vooral de huishoudelijke compacte LED's van enkele Watts die we bedenkelijk moeten bekijken.

5. Samengevat

LED's, spaarlampen en andere verlichting met elektronische VSA hebben voor- en nadelen tov de traditionele verlichting, zoals de gloeilamp, halogeenlamp of TL met magnetische ballast. Zo hebben LED's de voordelen als hogere efficiency (lm/W) tov gloeilampen en halogeen lampen en hoge verwachte levensduur. Maar ook zijn er nog nadelen als de hoge prijs, vaak lagere efficiency dan CFL's en soms nog 'koude' kleurtemperatuur. Ook de grote variatie in kwaliteit van LED-verlichting maakt een beoordeling door de eindklant lastig.
Een ander nadeel, wat minder vaak genoemd wordt, is de slechte PF van LED's met een klein vermogen veroorzaakt door (te) hoge opgenomen harmonische stromen. Dit geldt ook voor spaarlampen en andere typen verlichting met een 'slecht' elektronisch voorschakelapparaat. Door te besparen op een (goed) filter in een voorschakelapparaat kunnen producten goedkoper op de markt gebracht worden. Nadeel hiervan is dat er vervuiling van het elektriciteitsnet optreedt. Deze vervuiling zorgt, bij grootschalige toepassing, voor extra netverliezen maar kan ook zorgen voor problemen met andere apparatuur aangesloten op diezelfde vervuilde netspanning. Ook wordt de installatie, waarin deze verlichtingssystemen zijn opgenomen, onnodig zwaar belast.
Deze nadelen kunnen eenvoudig weggenomen worden door elektronische VSA's uit te rusten met een goed filter waardoor de harmonische stromen dalen en daardoor de PF stijgt. Dit betekent in de praktijk dat ook voor LED's de regelgeving aangepast moet worden mbt de minimale PF. Zo biedt de aangekondigde herziening van de Ecodesignverordeningen de mogelijkheid om er voor te zorgen dat er alleen nog maar energie-efficiënte niet vervuilende LED-verlichting op markt mag worden wordt gebracht.