

Vergelijking milieuaspecten LED-reclameverlichting

Eindrapport onderzoek 2010-2011



Coverbeeld: Kunstwerk “Het geheim van de Nano”
Marijke de Goey, Delft 2009

UNETO-VNI is de ondernemersorganisatie voor de installatiebranche en de technische detailhandel

Vergelijking milieuaspecten LED-reclameverlichting

Eindrapport onderzoek 2010-2011

© UNETO-VNI, september 2011

Disclaimer:

UNETO-VNI heeft veel zorg besteed aan de samenstelling van deze uitgave. Desondanks kunnen er fouten en/of onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. UNETO-VNI is niet aansprakelijk voor de gevolgen van fouten en/of onvolledigheden.

Let's talk LEDS

De Vakgroep Lichtreclame van UNETO-VNI heeft een missie: duurzaamheid van lichtreclame onderzoeken, de informatie daaruit aan onze leden verstrekken en het resultaat publiceren voor alle gebruikers. De vakgroep is hiermee, nog meer dan voorheen, **het** kennispunt op het gebied van lichtreclame.

In dat kader wordt een – gefundeerd en wetenschappelijk onderbouwd – onderzoek gedaan naar de duurzaamheids- en kwaliteitsaspecten van LED-systemen voor de lichtreclamebranche.

Met de onontbeerlijke steun van OTIB (het Opleidings- en ontwikkelingsfonds voor het Technisch InstallatieBedrijf) en een bijdrage van de leveranciers van de LED-systemen, presenteren wij u hier de eerste rapportage. De betrokken leveranciers bewijzen dat ze een eerlijke en objectieve vergelijking aandurven en dat ze hun producten kunnen en willen verdedigen.

Deze rapportage is slechts een aanzet; de resultaten zijn veelzeggend maar moeten nog worden voltooid met onderzoek in de volgende jaren: levensduur, uitval, afnemende lichtopbrengst en toenemend energiegebruik zijn evenzeer sleutelwaarden in de beoordeling van de systemen.

Dat onderzoek loopt en wordt zelfs uitgebreid: nieuwe aanbieders en andere toepassingen staan op de agenda.

Al twee keer zijn er door de Vakgroep Lichtreclame uiterst succesvolle LED-dagen georganiseerd, waarbij Boxletters en Vink kunststoffen zich ware gastheren hebben getoond. Op die dagen presenteren wij de onderzoeken en de leveranciers hun LED-systemen, geven toelichting en leggen contacten.

Hoogachtend,

Rob Nolte

Voorzitter Vakgroep Lichtreclame

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Doel en uitgangspunten	5
2.1	Doel	5
2.2	Uitgangspunten	5
	2.2.1 Functionele eenheid	5
	2.2.2 Systeemgrenzen	6
2.3	Methodiek	8
3	Inventarisatie	9
3.1	Productiefase	9
3.2	Gebruiksfase	9
4	Resultaten	10
4.1	Analyse van twee LED-systemen	10
4.2	Milieueffecten van de acht LED-systemen	11
4.3	Effect op klimaatverandering van de acht LED-systemen	13
5	Discussie	15
5.1	Gebruik Kepi's	15
5.2	Afname kwaliteit LED-systemen	15
5.3	Gebruikte voeding	15
6	Conclusies	16
7	Aanbevelingen	17
	Literatuur	18
	Bijlage 1 Letter I	19
	Bijlage 2 Gemeten frequentiespectra van de LED-letters	20

1 Inleiding

Bij de Vakgroep Lichtreclame van UNETO-VNI is al sinds geruime tijd een discussie gaande over de kwaliteitsverschillen en de milieukundige aspecten van de nieuwere LED-verlichtingen. Een van de oorzaken van deze verschillende percepties is dat de zes belangrijkste fabrikanten van LED-verlichtingen lang niet allemaal dezelfde kwaliteit lijken te leveren en de indruk bestaat dat de geleverde producten niet conform de door de fabrikanten opgegeven specificaties zijn wat betreft levensduur, energieverbruik en lichtopbrengst.

UNETO-VNI wil middels een onafhankelijk onderzoek nagaan wat nu werkelijk de verschillen zijn in prestatie en milieubelasting van die systemen, met name op basis van de praktijk ervaring, en niet op basis van de specificaties van de systemen die mogelijk niet juist zijn.

2 Doel en uitgangspunten

2.1 Doel

Het doel van dit onderzoek is het vergelijken van zes verschillende LED-systemen die door acht verschillende bedrijven worden geleverd.

Hierbij wordt aandacht besteed aan de volgende aspecten:

1. Milieubelasting die optreedt bij de productie van de LED-systemen;
2. Praktijkervaringen m.b.t. de levensduur, het energieverbruik en de lichtopbrengst van het LED-systeem.

Ad 1) Milieueffecten worden in kaart gebracht door middel van vragenlijsten waarbij de producent gevraagd is om gegevens aan te leveren over de gebruikte materialen, energieverbruik tijdens de productie en afval die tijdens de productie ontstaat.

Ad 2) UNETO-VNI heeft metingen laten verrichten waarbij de luminantie of oppervlaktehelderheid (cd/m^2), de power factor en het opgenomen vermogen (W) van de systemen zijn bepaald. Deze factoren worden toegepast voor de gebruiksfase van het LED-systeem.

Door deze twee onderdelen te combineren in een levenscyclus analyse worden zowel de productiefase als de gebruiksfase meegenomen waardoor een goede vergelijking uitgevoerd kan worden.

2.2 Uitgangspunten

2.2.1 Functionele eenheid

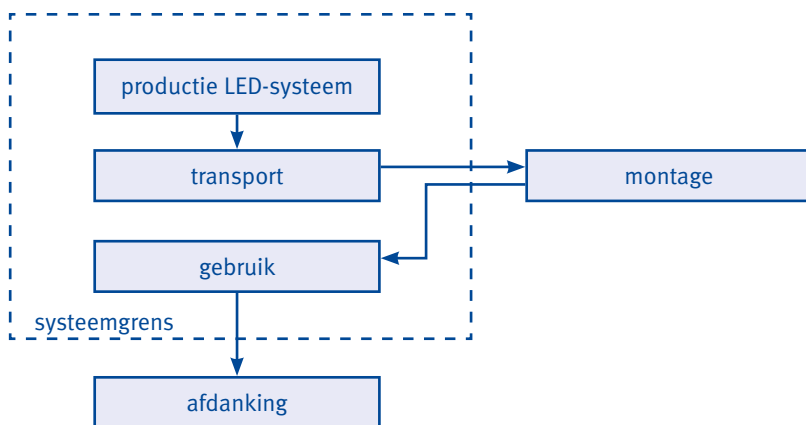
De functionele eenheid is een LED-systeem dat in een reclameletter "I" van 703 mm hoog en 409 mm breed is ingebouwd, continue gebruikt wordt voor de duur van 5 jaar (43800 branduren) en een luminantie heeft van 698 cd/m^2 .

Details van de reclameletter zijn opgenomen in bijlage 1.

De lichtopbrengst van 698 cd/m^2 die gebruikt is voor de functionele eenheid is de gemiddelde gemeten luminantie van de acht LED-systemen. De milieubelasting van de LED-systemen wordt toegerekend aan deze gemiddelde luminantie.

2.2.2 *Systemegrenzen*

De leveranciers brengen het LED-systeem aan in de standaard letter “I” zoals weergegeven in bijlage 1. De behuizing is voor iedere letter hetzelfde en zal niet meegenomen worden in de analyse. In figuur 1 zijn de systeemgrenzen van de levenscyclus van een LED-systeem aangegeven.



Figuur 1 Systeemgrenzen levenscyclus van een LED-systeem

Productiefase

De LED-systemen worden in verschillende landen geproduceerd. Een LED-systeem bestaat uit een voeding (omvormer), een driver (voorschakelapparaat) en LED-modules die aan elkaar verbonden zijn met kabels. Een LED-module bestaat uit een kunststof behuizing waarin een printplaat is bevestigd met daarop twee of drie LED's.

Bij de analyse is de milieubelasting die ontstaat door de productie van de afzonderlijke componenten zoals LED's, printplaatjes, kabels en kunststof onderdelen meegenomen. De winning van de grondstoffen zoals metalen en olie die nodig zijn om deze componenten te maken zijn hier ook bij betrokken. Daarnaast is het energieverbruik voor het assembleren van de componenten tot LED-systemen gebruikt bij de analyse. Het afval dat vrijkomt bij de assemblage is tevens in de analyse betrokken. Tenslotte zijn de verpakkingsmaterialen die gebruikt worden om de LED-systemen te verpakken voor transport meegenomen.

Transport

Na productie worden de LED-systemen naar de leveranciers in Nederland en België vervoerd.

Montage

De LED-systemen worden in de reclameletter geplaatst waarna de letter op een gebouw wordt gemonteerd. Deze fase valt buiten de systeemgrenzen.

Gebruiksfase

Er wordt aangenomen dat de LED-verlichting 5 jaar lang vol continue aan staat. Tijdens de gebruiksfase zijn de volgende factoren belangrijk voor de milieupformance van een LED-systeem:

- Werkelijk of opgenomen vermogen (Watt)
- Luminantie (cd/m²)
- Power factor

Werkelijk vermogen

De hoeveelheid werkelijk vermogen is samen met de power factor bepalend voor het energieverbruik van een LED-systeem tijdens de gebruiksfase. In dit onderzoek wordt de hoeveelheid werkelijk vermogen uitgedrukt in Watt gekoppeld aan een levensduur van vijf jaar (43800 branduren) wat het elektriciteitsverbruik in (k)Wh oplevert.

Luminantie

De luminantie die ook wel wordt aangeduid als lichtintensiteit of oppervlaktehelderheid is de hoeveelheid licht die per oppervlakte-eenheid wordt uitgestraald en wordt uitgedrukt in candela per vierkante meter. De eenheid luminantie wordt in dit onderzoek meegenomen als kwaliteitsmaat. In de functionele eenheid (de vergelijkingsbasis die gebruikt wordt in dit onderzoek) is de gemiddelde luminantie van de LED-systemen opgenomen (698 cd/m²). Indien een LED-systeem bijvoorbeeld een luminantie heeft die twee keer zo laag is dan het gemiddelde, dan wordt er vanuit gegaan dat het systeem twee keer zo groot moet zijn om dezelfde kwaliteit licht te geven waardoor de hoeveelheid verbruikte energie ook twee keer zo groot wordt.

Power factor

De power factor geeft de fase verschuiving aan tussen alle harmonische stroom en spanningcomponenten. Met de power factor kan het werkelijke vermogen, in Watt, en het schijnbare vermogen, in Volt Ampère (VA) worden bepaald. Voor de energie die wordt verbruikt in het LED-systeem, het werkelijke vermogen, moet het energiebedrijf extra energie leveren, het schijnbare vermogen. De prijs die de consument betaalt aan het energiebedrijf is voor het afnemen van het werkelijk vermogen per tijdseenheid (Wh) waarin naar alle waarschijnlijkheid de kosten van de extra geleverde energie verdisconteerd is. De verhouding tussen het werkelijk en schijnbaar vermogen wordt aangeduid met de power factor. Bij een power factor van 1 is er geen fase verschuiving en geen harmonische (net-vervuiling). De voedingen van LED-systemen veroorzaken de fase verschuiving en hogere harmonische. Hoe kleiner het getal hoe ongunstiger de werking van de voeding (Veer, H. de, 2011). In onderstaande tabel is dit weergegeven.

PF = 1	optimale energieoverdracht tussen het net en het LED systeem
PF tussen 1 en 0,8	acceptabel
PF < 0,8	onacceptabel

Een PF kleiner dan 0,8 veroorzaakt meer milieu belasting omdat er meer energie moet worden opgewekt dan er gebruikt wordt.

De frequentiespectra waarin de fase verschuiving van de geteste LED-systemen wordt weergegeven zijn opgenomen in bijlage 2.

Afdankfase

De afdankfase is niet meegenomen. Er wordt van uit gegaan dat er geen verschil is tussen de afzonderlijke LED-systemen. De LED's zelf veroorzaken namelijk zeer waarschijnlijk een lage milieubelasting in de afvalfase omdat de zeldzame stoffen die er in voorkomen zoals goud, indium en gallium in zeer kleine hoeveelheden aanwezig zijn (Houten, M. ten, 2011). Door gebrek aan informatie over het afdanken van LED's kon dit echter niet gekwantificeerd worden. Er zijn wel gegevens bekend over het afdanken van de gebruikte printplaatjes en in een analyse bleek de milieubelasting erg laag te zijn op de totale impact van de LED-systemen.

2.3 Methodiek

In dit onderzoek is een Impact Assessment uitgevoerd met behulp van de ReCiPe methodiek (Goedkoop et al. 2009). Deze methode is door RIVM, CML, Radboud Universiteit Nijmegen en PRé Consultants ontwikkeld. Met ReCiPe kunnen de milieueffecten uitgedrukt worden op het niveau van milieuthema's en als één milieuscore. Dit maakt een vergelijking tussen de verschillende systemen goed begrijpelijk en interpreteerbaar. Om tot één score te komen zijn drie verschillende milieueffecten met elkaar gewogen:

- 40% humane gezondheid
- 40% ecosystemen
- 20% grondstoffen

Deze drie milieuthema's of 'damage categorieën' bestaan ieder afzonderlijk ook weer uit milieuthema's of 'impact categorieën' zoals in onderstaande tabel wordt weergegeven.

Damage categorie	Impact categorie	eenheid
Humane gezondheid	<ul style="list-style-type: none">• klimaatverandering humane gezondheid• ozonlaag aantasting• humane toxiciteit• vorming fotochemische oxidanten• vorming fijnstof• ioniserende straling	DALY (Disability Adjusted Life Years). Nadelen/belemmeringen door ziekten veroorzaakt.
Ecosystemen	<ul style="list-style-type: none">• Klimaatverandering ecosystemen• Terrestische Verzuring• Zoetwater eutrofiering• Marine ecotoxiciteit• Landgebruik landbouw• Stedelijk landgebruik• Transformatie natuur	Afname van het aantal soorten per jaar
Grondstoffen	<ul style="list-style-type: none">• Uitputting metalen• Uitputting fossiele hulpbronnen	Amerikaanse dollar

In dit rapport zal de milieubelasting uitgedrukt worden als één milieuscore. De eenheid voor de score is punten (Pt). Één punt komt overeen met een duizendste van de totale jaarlijkse milieubelasting van een gemiddelde Europeaan.

3 Inventarisatie

3.1 Productiefase

Om gegevens te achterhalen zijn vragenlijsten naar acht productiebedrijven gestuurd. Hierin is gevraagd om gegevens met betrekking tot de verschillende componenten (soort en gewicht), energieverbruik en waterverbruik tijdens de productie, afval en de afstanden die afgelegd worden om het product naar de leverancier van LED-systemen in Nederland of België te brengen.

Voor de achtergrondgegevens is gebruik gemaakt van de Ecoinvent 2.2 database (Ecoinvent Centre, 2010). Het gaat dan om processen als de productie van LED's en printplaatjes, transport en opwekking van elektriciteit die nodig is voor de stroombehoefte tijdens de gebruiksfase. De Ecoinvent database is de meest uitgebreide en meest up-to-date LCA database die beschikbaar is en bevat meer dan 4000 processen.

3.2 Gebruiksfase

Voor de gebruiksfase wordt gebruik gemaakt van de luminantie, de hoeveelheid werkelijk vermogen en de power factor van de acht LED-systemen. Op basis van de hoeveelheid werkelijk vermogen en de power factor wordt het schijnbaar vermogen berekend. Het schijnbaar vermogen per tijdseenheid vertegenwoordigt de hoeveelheid energie die van het net afgenomen wordt. De luminantie is gemeten door het onafhankelijke adviesbureau MLD. Het werkelijk vermogen en de power factor van de LED-systemen zijn gemeten door het onafhankelijke adviesbureau HV Advies. In tabel 1 zijn de gegevens opgenomen die door HV Advies zijn gemeten in augustus 2010.

Tabel 1 De luminantie, Werkelijk vermogen, schijnbaar vermogen en de power factor van de acht verschillende LED-systemen (meting augustus 2010 door MLD (Luminantie) en HV Advies)

Merksnaam	Luminantie (cd/m ²)	Werkelijk vermogen (W)	Schijnbaar vermogen (VA)	Power factor	
Tridonic	378	9,50	20,21		0,47
IPLLED	934	17,10	20,36		0,84
Hansen	710	11,25	15,85		0,71
LED Holland	489	8,75	20,83		0,42
SloanLED	804	12,75	23,61		0,54
Osram	1068	21,50	25,29		0,85
GE/Tetra	544	11,70	13,45		0,87
SignLandia	654	15,75	28,64		0,55

De gemiddelde luminantie van alle acht LED-systemen is 698 cd/m². Dit getal is gebruikt bij het formuleren van de functionele eenheid.

4 Resultaten

4.1 Analyse van twee LED-systemen

Twee leveranciers hebben van de producenten volledig ingevulde vragenlijsten teruggestuurd gekregen binnen de gestelde termijn. Hierop is besloten om met behulp van KePI's of 'Key Environmental Performance Indicators' te bepalen welke parameters het belangrijkste zijn voor het uitvoeren van het onderzoek. Op deze manier is het mogelijk om de vragenlijst te beperken waardoor de kans op respons groter wordt.

KePI's zijn specifieke parameters die representatief zijn voor de milieupformance van een product. Voorbeelden van dergelijke parameters zijn transport of de productie van bepaalde onderdelen. Bij een LCA draagt bijvoorbeeld transport meestal in zo'n geringe mate bij aan de totale milieu-impact van het product dat we kunnen zeggen dat transport niet representatief is voor de milieupformance maar bijvoorbeeld de productie van een bepaald onderdeel weer wel. Er kan dan voor gekozen worden om de transportfase niet mee te nemen in de LCA en de productie van het specifieke onderdeel wel. Hiermee wordt voorkomen dat er veel werk wordt verricht met het verzamelen van gegevens die niet relevant zijn.

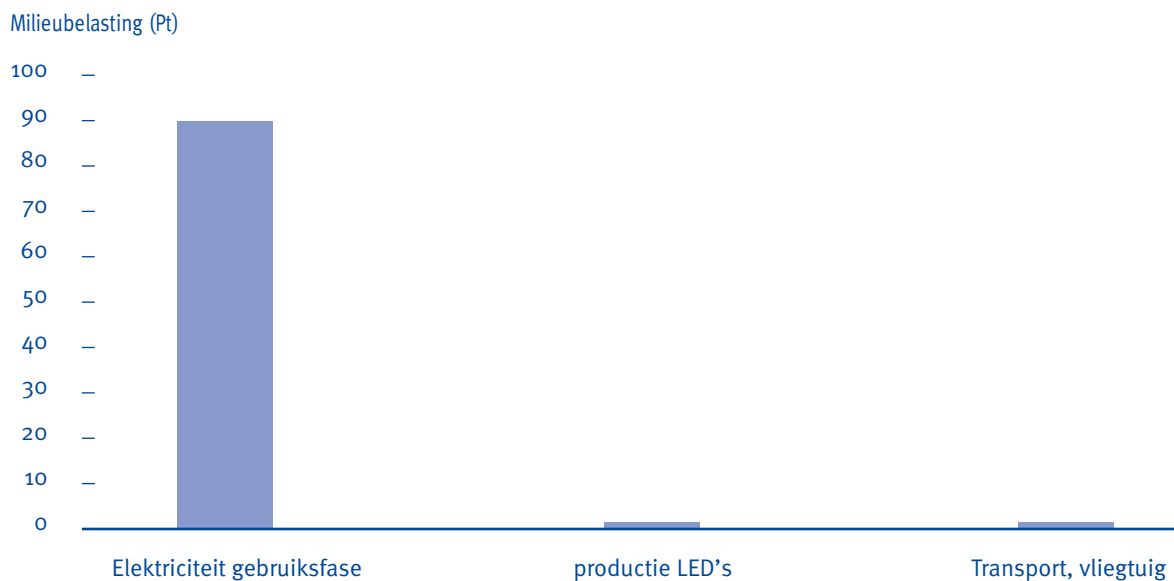
Met de verzamelde gegevens van de twee LED-systemen is een LCA uitgevoerd met behulp van de ReCiPe methode waarbij de afvalfase buiten beschouwing is gelaten. Er is een cut off van 2,5% vastgesteld. Dit houdt in dat de bronnen die ieder afzonderlijk voor meer dan 2,5% van de milieu-impact veroorzaken worden meegenomen als parameters in het verdere onderzoek en dat overige bronnen buiten beschouwing gelaten worden.

Indien er een cut off van 2,5% wordt toegepast zien we bij beide LED-systemen dat alleen het energieverbruik in de gebruiksfase bijdraagt aan de milieu-impact (zie grafieken 1 en 2). Al de overige parameters; transport, productie van de afzonderlijke onderdelen en de LED-modules en de verpakking dragen ieder afzonderlijk voor 2,5% of minder bij aan het milieu-impact van deze LED-systemen. Dit betekent dat de productie van de LED-systemen en het transport naar de leverancier in het verdere onderzoek niet meegenomen worden.

In beide grafieken zijn naast het elektriciteitsgebruik in de gebruiksfase de belangrijkste parameters opgenomen.



Grafiek 1 Milieubelasting van het LED-systeem van Hansen (Pt)

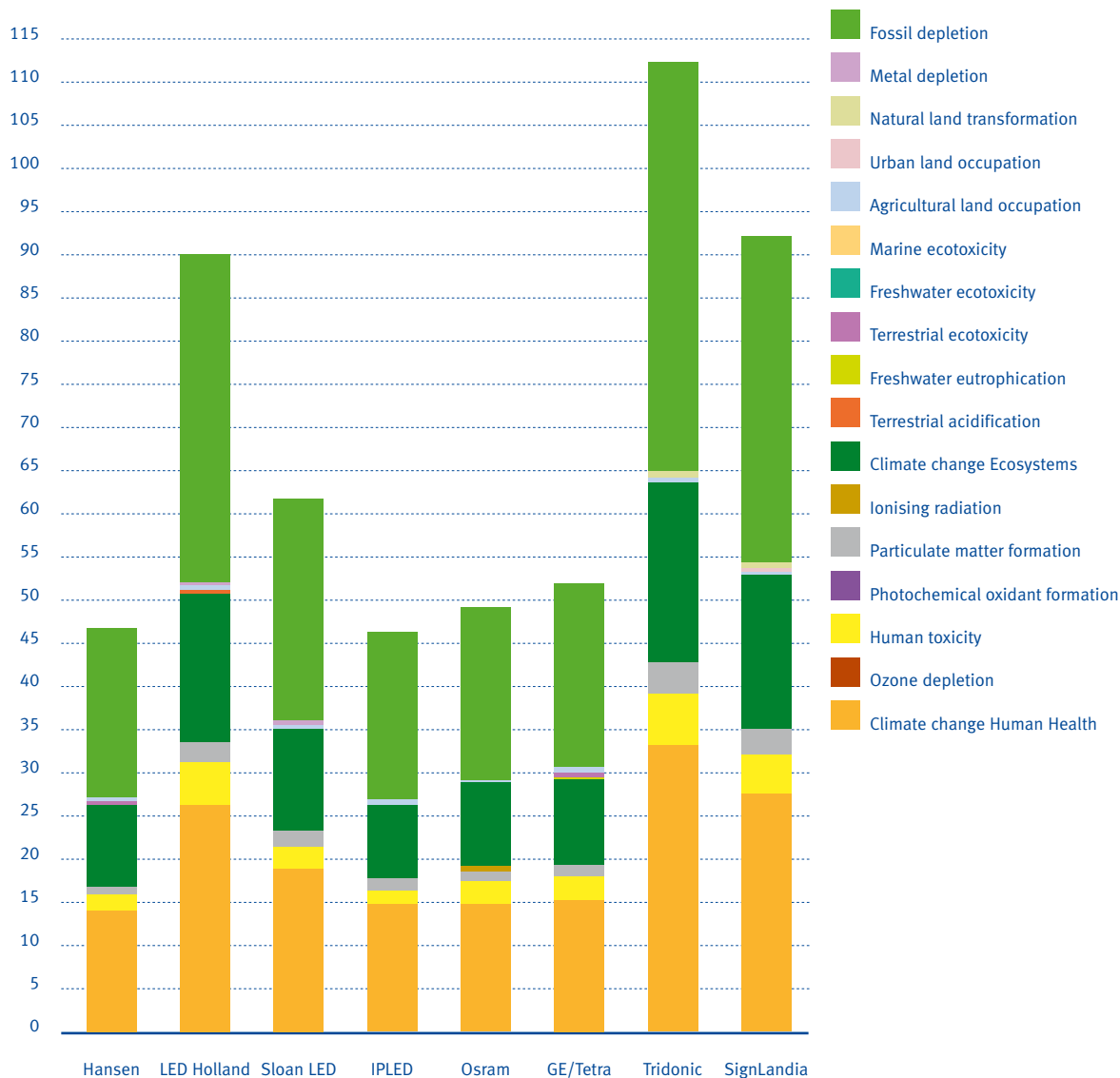


Grafiek 2 Milieubelasting van het LED-systeem van LED Holland (Pt)

4.2 Milieueffecten van de acht LED-systemen

De milieubelasting per LED-systeem is afgebeeld in Grafiek 3. De milieubelasting van de acht LED-systemen ligt tussen 46 punten en 113 punten. Omdat ten slotte alleen het elektriciteitsverbruik (afgenomen van het Nederlandse elektriciteitsnet) is meegenomen zijn de verhoudingen tussen de impact categorieën bij elk LED-systeem hetzelfde. De grootste milieubelasting is toe te schrijven aan de uitputting van fossiele hulpbronnen zoals olie en gas (lichtgroene balk). Dit zijn de fossiele hulpbronnen die nodig zijn om de elektriciteit op te wekken die van het Nederlandse elektriciteitsnet wordt betrokken. Daarnaast zijn er grote effecten op klimaatverandering voor zowel de humane gezondheid (oranje balk) als ecosystemen (donkergroene balk). Deze effecten worden veroorzaakt door de emissies van broeikasgassen.

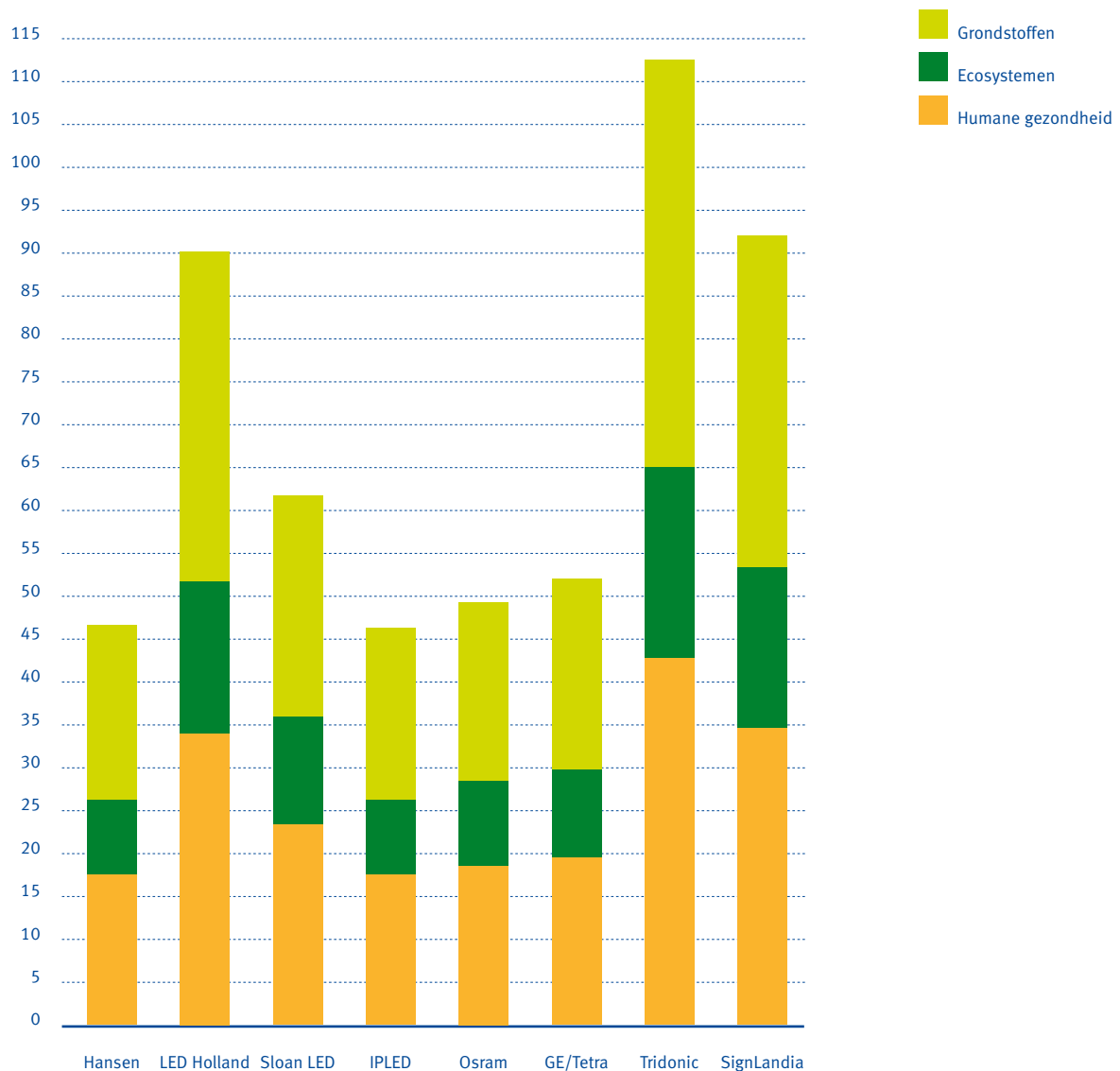
Milieubelasting (Pt)



Grafiek 3 Milieubelasting per LED-systeem (letter I) uitgedrukt in punten (alle 17 impact categorieën)

In grafiek 4 zijn de 17 impact categorieën geaggregeerd naar de drie damage categorieën grondstoffen, ecosystemen en humane gezondheid. Hieruit komt duidelijk naar voren dat de milieubelasting voornamelijk ligt bij grondstoffen (door uitputting van fossiele hulpbronnen) en humane gezondheid (voornamelijk klimaatverandering en in mindere mate het vrijkomen van giftige stoffen en fijn stof).

Milieubelasting (Pt)

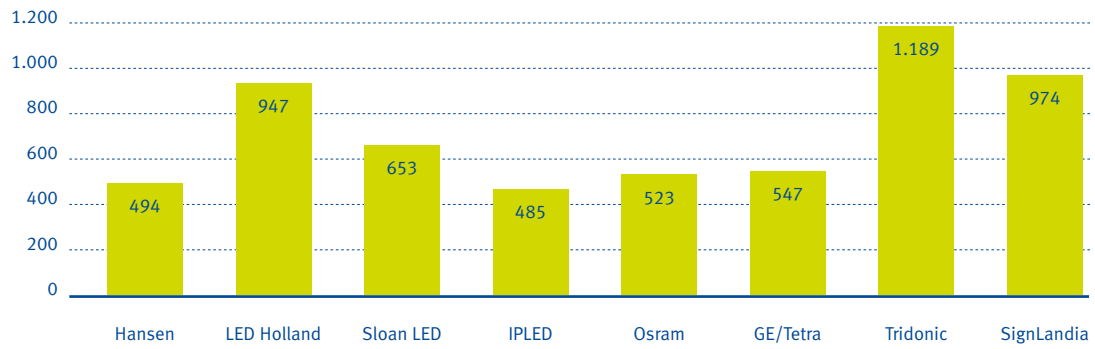


Grafiek 4 Milieubelasting per LED-systeem (letter I) uitgedrukt in punten (3 damage categorieën)

4.3 Effect op klimaatverandering van de acht LED-systemen

Grafiek 5 laat het de bijdrage aan het broeikaseffect zien van de verschillende LED-systemen. Bij de analyse van de milieubelasting is al geconstateerd dat het effect op klimaatverandering erg belangrijk is (zie grafiek 3). Hierdoor is de volgorde in grafiek 5 hetzelfde als bij de bepaling van de milieubelasting. Het effect op klimaatverandering van de acht LED-systemen ligt tussen 485 kg en 1189 kg CO₂ equivalenten. Ter vergelijking, een gemiddelde Nederlandse benzineauto heeft een directe emissie (tank to wheel) van 194 g CO₂ equivalenten per km (Boer, L.C. den et al, 2008). Een bijdrage van 1189 kg CO₂ equivalenten (vijf jaar continue in bedrijf) is daarbij gelijk aan de directe uitstoot van 6100 km autorijden. De uitstoot van 485 kg CO₂ equivalenten komt overeen met de uitstoot veroorzaakt door 2500 km autorijden.

Kg CO₂ equivalenten



Grafiek 5 Effect op klimaatverandering per LED-systeem (letter I) uitgedrukt in kg CO₂ equivalenten

5 Discussie

5.1 Gebruik KePI's

Door het toepassen van Key Environmental Performance Indicators (KePI's) is duidelijk geworden dat de productie van LED-systemen een dergelijke lage bijdrage aan de milieubelasting laat zien dat besloten is om de productie-fase niet in het onderzoek mee te nemen. De analyse van KePI's is gebaseerd op twee systemen met een levensduur van vijf jaar waarbij dus vijf jaar lang continue stroom van het net wordt opgenomen en waarbij de afvalfase niet is meegenomen. Ook indien gekozen wordt voor een levensduur van vier jaar zodat het energieverbruik tijdens de gebruiksfase lager is, valt de productie van beide LED-systemen buiten de grenzen. Een minimale levensduur van vijf jaar is echter aannemelijk bij deze systemen waardoor het gerechtvaardigd is om de productie van LED-systemen buiten beschouwing te laten.

5.2 Afname kwaliteit LED-systemen

De resultaten van dit onderzoek is een momentopname. Er is namelijk aangenomen dat de LED-systemen gedurende vijf jaar dezelfde hoeveelheid vermogen opnemen en dezelfde hoeveelheid licht uitstralen terwijl dat in de praktijk wellicht niet het geval is. Daarnaast is er van uit gegaan dat er geen sprake is van uitval tijdens de gebruiksdur van vijf jaar. De uitkomsten in dit onderzoek representeren de situatie van augustus 2010, het moment waarop de metingen zijn verricht voor werkelijke en schijnbaar vermogen en de luminantie. Het is goed mogelijk dat tijdens de gebruikperiode van vijf jaar het opgenomen vermogen en luminantie van de LED-systemen variëren waardoor de resultaten kunnen wijzigen. Om een goed oordeel over de milieubelasting te kunnen geven tijdens de gebruiksfase van vijf jaar dienen de metingen met regelmaat herhaald te worden.

5.3 Gebruikte voeding

De leveranciers van de acht LED-systemen waren vrij om te bepalen welke voeding er werd geleverd bij de systemen. De voeding moest wel een eigen product zijn. Bij veel letters hebben de voeding te veel vermogen wat weer grote gevolgen heeft voor het rendement van de systemen. Voor voeding met een te hoog vermogen wordt meer materiaal gebruikt wat leidt tot een hogere milieubelasting. De geteste voeding zijn de status van techniek van 2009.

6 Conclusies

De volgende conclusies zijn gebaseerd op de eerste meting (nulmeting) die plaatsgevonden heeft in augustus 2010. Daarbij zijn de resultaten van de meting geëxtrapoleerd naar een periode van vijf jaar. UNETO-VNI is voornemens jaarlijks de proef te herhalen gedurende vijf jaar. Na deze proefperiode zal een eindoordeel gevormd worden.

- De milieubelasting van de acht LED-systemen ligt tussen 46 punten en 113 punten.
- De meeste milieubelasting wordt veroorzaakt door uitputting van fossiele hulpbronnen en het effect van klimaatverandering op humane gezondheid en ecosystemen.
- Het effect op klimaatverandering van de acht LED-systemen ligt tussen 485 kg en 1189 kg CO₂ equivalenten.

7 Aanbevelingen

- Het wordt aanbevolen om gedurende vijf jaar elk jaar de metingen te herhalen zodat eventuele verschillen in energieverbruik, luminantie en uitval van onderdelen geregistreerd en beoordeeld kunnen worden.
- De functionele eenheid is in samenspraak met de Vakgroep Lichtreclame opgesteld.

Er is gekozen om de luminantie als kwaliteitsaspect in de functionele eenheid op te nemen. Naast luminantie zou ook de kleurtemperatuur (uitgedrukt in Kelvin) een rol kunnen spelen als kwaliteitsaspect. Het verdient aanbeveling om binnen de vakgroep een discussie te voeren over het opnemen van kwaliteitseisen zoals luminantie en kleurtemperatuur in de functionele eenheid.

Literatuur

L.E. den Boer, F.P.E. Brouwer en H.P. van Essen (2008).

STREAM, Studie naar Transport Emissies van Alle Modaliteiten, Versie 2.0, CE Delft.

F. Dogterom (2010).

Slechte LED vervuult het net, Allight, 3^{de} jaargang, no 7, september 2010, blz 10 - 13.

Ecoinvent Centre (2010).

Ecoinvent data v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, www.ecoinvent.org/

M. Goedkoop, R. Heijungs, M. Huijbregts, A. De Schryver, J. Struijs en R. van Zelm (2009).

ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the mid-point and the endpoint level, First edition, Report I: Characterisation. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

M. ten Houten (2011), Philips Lighting.

Persoonlijke mededeling 24 juni 2011.

ISSO, 2010.

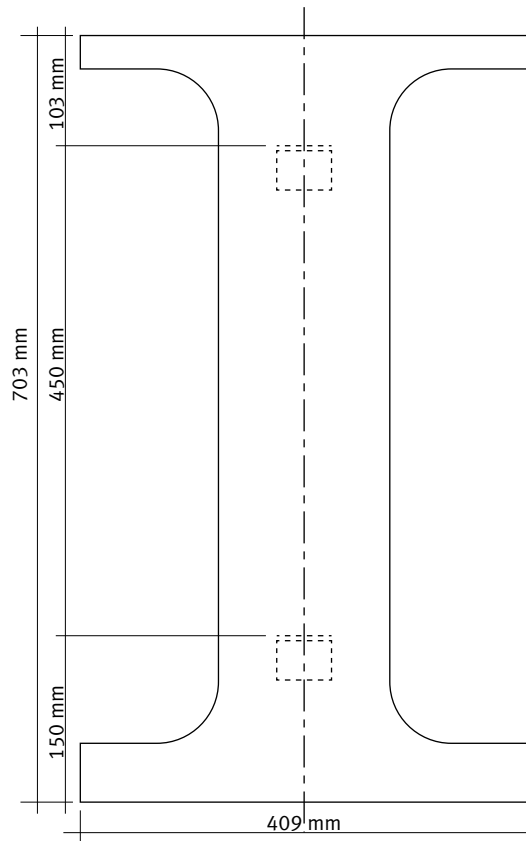
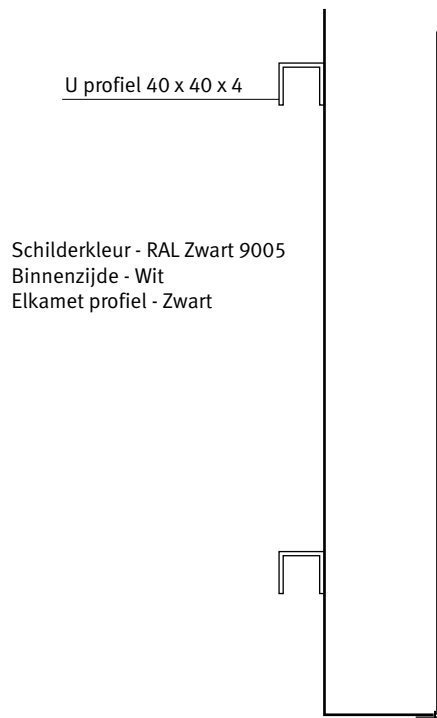
*Aspecten en gevolgen van netvervuiling ten gevolge van lichtbronnen en verlichtingssystemen, maart 2010.
www.led.nsvv.nl/*

H. de Veer (2011), HV Advies Elektrotechnisch Advies- en Opleidingsbureau.

Persoonlijke mededeling 26 mei 2011.

Bijlage 1

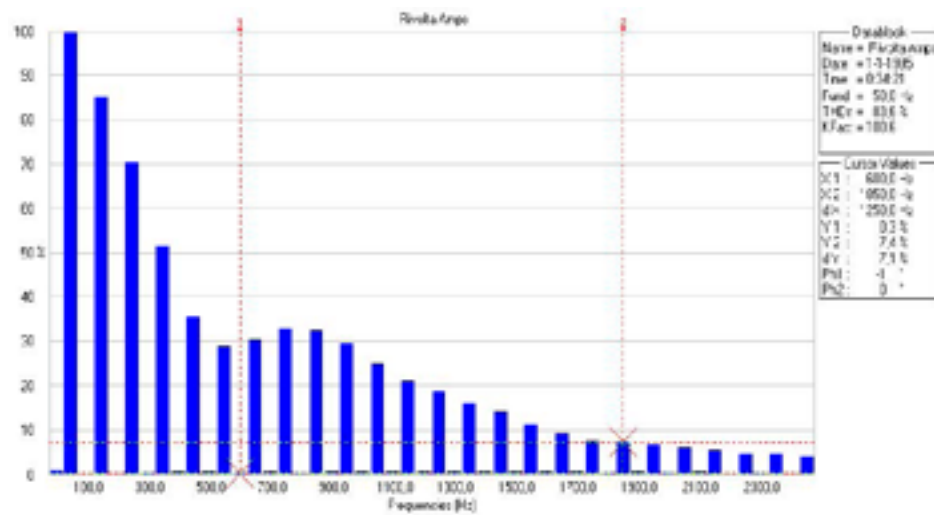
Letter I



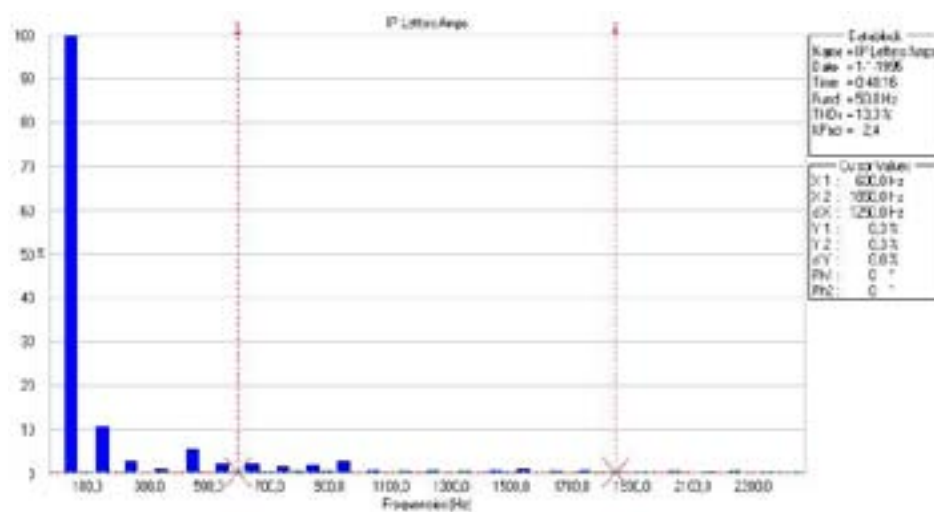
Bijlage 2

Gemeten frequentiespectra van de LED-letters

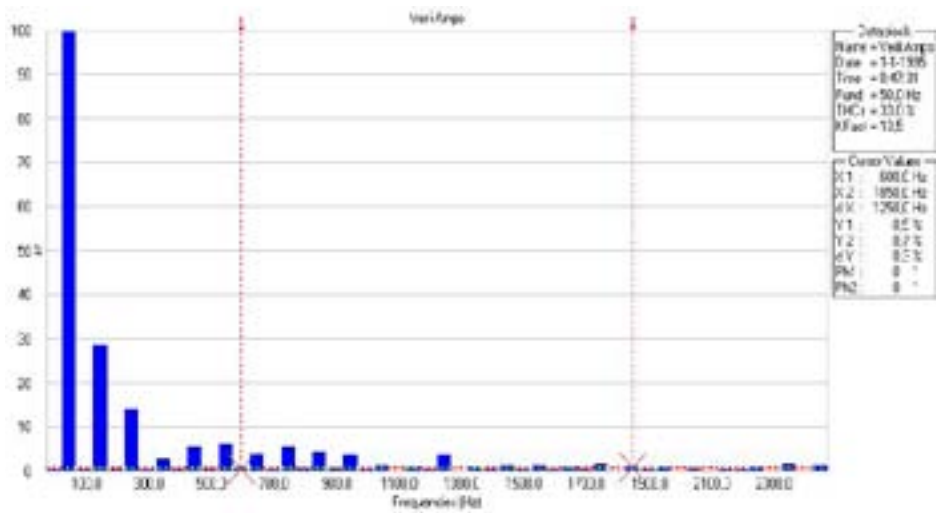
De frequentie die van het net komt is 50 Hz. Grafisch gezien levert dit een golvend, sinusvormig patroon op. Elektronische apparatuur kan extra frequenties veroorzaken die een veelvoud zijn van deze grondfrequentie, bijvoorbeeld 150 en 250 Hz. Die extra frequenties heten harmonischen en verstoren het sinusvormige frequentiepatroon (Dogterom, 2010). In de grafieken geven de linkerbalkjes de grondfrequenties (50 Hz) weer. Alle overige balken zijn afwijkende frequenties die een nadelige invloed hebben op het elektriciteitsgebruik en op de kwaliteit van de elektronische componenten in het net.



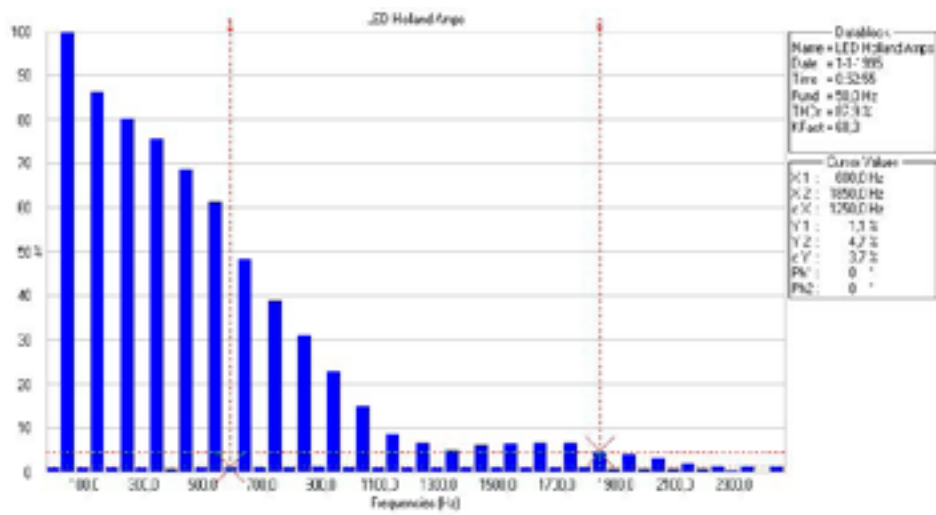
Tridonic



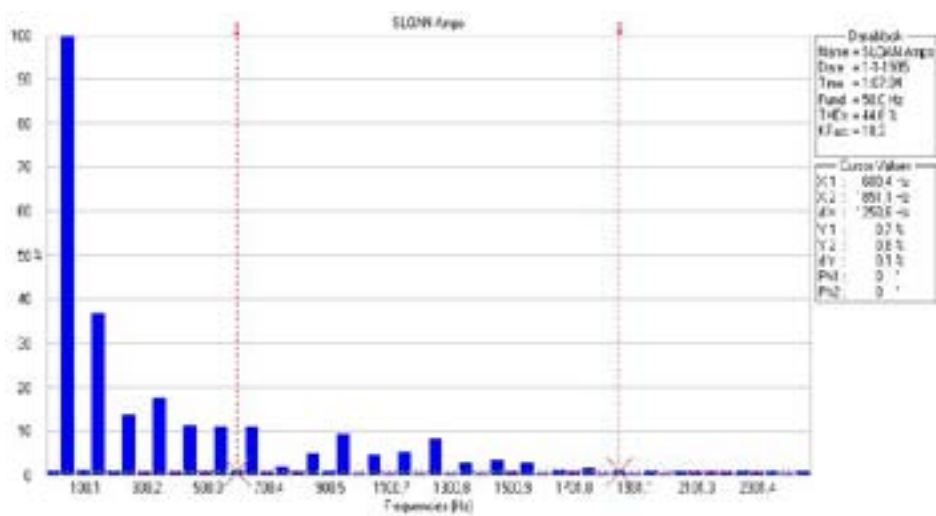
IPLED



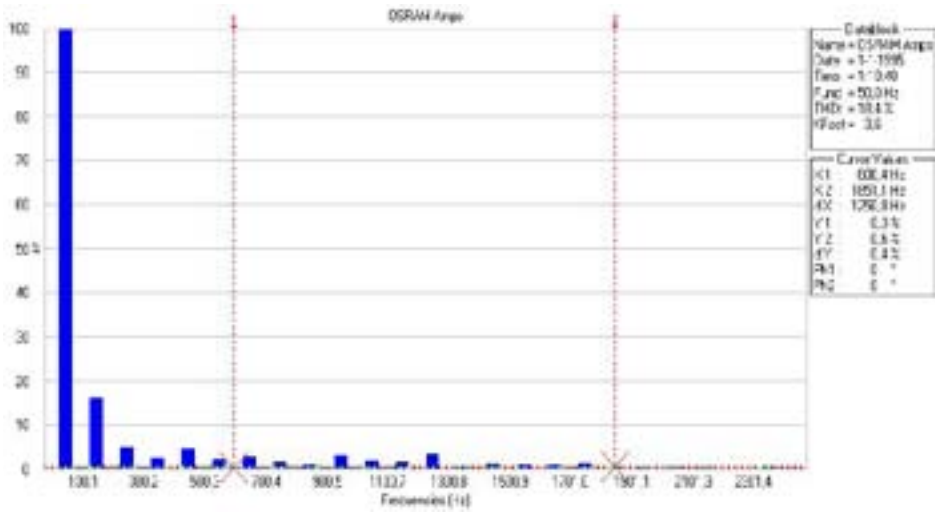
Hansen



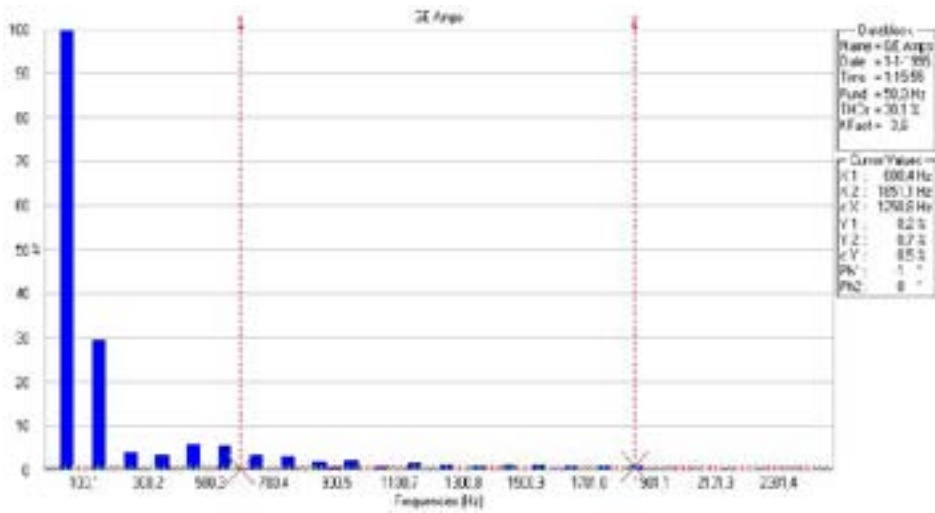
LED Holland



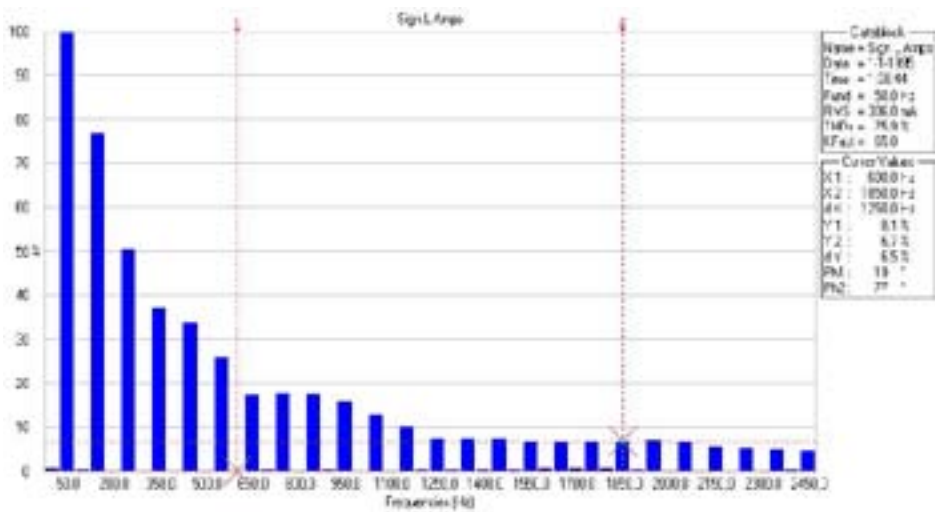
SLOAN LED



Osram



GE/Tetra



SignLandia

Colofon

Deze uitgave is tot stand gekomen in opdracht van de Vakgroep Lichtreclame van UNETO-VNI.

Coördinatie

Afdeling Communicatie

Uitvoering

PRé Consultants B.V.

Hoofd auteur: Jorrit Leijting

Drukkerij

Drukkerij Zoeterhage B.V., Zoetermeer

Layout en beeldbewerking

Studio Jeu, Vorm en Functie, Den Haag

