



Verlichting vergeleken

Een herziene versie

Rapport
Delft, november 2009

Opgesteld door:
H.J. (Harry) Croezen
F.L. (Femke) de Jong



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

H.J. (Harry) Croezen, F.L. (Femke) de Jong

Verlichting vergeleken

Een herziene versie

Delft, CE Delft, november 2009

Energiebesparing / Innovatie / Verlichting / Energieverbruik / Levensduur / Milieubelasting / Ketenbeheer / Energie / Distributie

Publicatienummer: 09.3928.57

Opdrachtgever: Lemnis Lighting.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Harry Croezen.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Aanleiding tot en doel van de studie	8
2	Uitvoering	10
2.1	Toegepaste methodiek	10
2.2	Beschouwde functionele eenheid	10
2.3	Beschouwde milieuthema's	11
2.4	Achtergrondgegevens	12
3	Resultaten per lamp	14
3.1	Inleiding	14
3.2	Grondstoffase	14
3.3	Gebruiksfase	16
3.4	Afdankfase	17
3.5	Geaggregeerde bijdragen	18
4	Vertaling naar heel Nederland	22
4.1	Energiebesparing	22
4.2	Milieubesparing	22
4.3	Invloed op blindvermogen in het elektriciteitsnet	23
	Literatuurlijst	26
Bijlage A	Achtergrondgegevens	28
Bijlage B	De toepassing van 6 Watt LED-lampen bij huishoudens	30





Samenvatting

Introductie

Lemnis Lighting heeft in 2006 de eerste LED-lamp geïntroduceerd in de verlichtingsmarkt die als vervanger van de gloeilamp kan worden gezien. Drie grote voordelen voor de LED-lamp volgens Lemnis zijn:

1. Laag energieverbruik.
2. Een langere levensduur, tot wel 100.000 uur.
3. Een goede, capacatieve $\cos \gamma^1$.

In 2006 heeft CE Delft de milieueffecten van een door Lemnis ontwikkelde LED-lamp onderzocht en vergeleken met een vergelijkbare gloei- en spaarlamp. In deze studie is een nieuw ontwerp van de LED-lamp op het milieu- en het elektriciteitsnet onderzocht. Deze door Lemnis ontwikkelde LED-lamp concurreert qua lichtperceptie met een gloeilamp van 60 Watt of met een spaarlamp van 12-13 Watt.

Milieubelasting

Het gebruik van lampen belast het milieu op verschillende manieren:

1. Door de aan elektriciteitsproductie gerelateerde milieubelasting in de vorm van uitstoot van CO₂ en verzurende stoffen. Hoe zuiniger de lamp, des te beperkter deze milieubelasting.
2. Door activiteiten gerelateerd aan in de lamp verwerkte materialen, zoals:
 - grondstoffenwinning;
 - omzetten van grondstoffen in materialen als glas, metalen en kunststoffen;
 - het uiteindelijk verwerken van de materialen in onderdelen van de lamp en het assembleren van de onderdelen tot een complete lamp;
 - verwerking van de afgedankte lamp als afval.

Deze activiteiten geven milieubelasting in de vorm van zowel broeikasgassen en verzurende emissies (met name gerelateerd aan energiegebruik in deze processen) als emissies van giftige c.q. toxische stoffen.

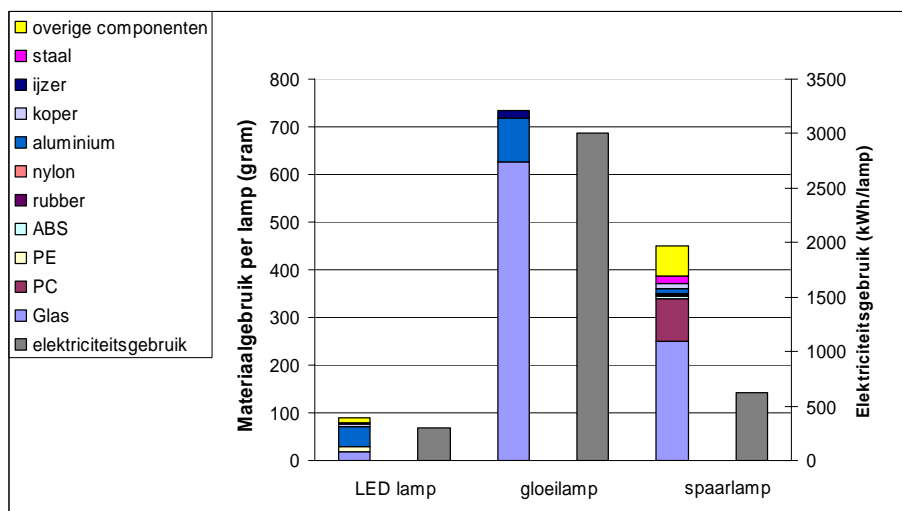
CE Delft heeft de netto milieubelasting, gerelateerd aan de Lemnis LED-lamp, bepaald middels een globale LCA en deze vergeleken met de milieubelasting gerelateerd aan een concurrerende gloeilamp (van 60 Watt) en spaarlamp (van 12 Watt). Voor een eerlijke vergelijking is de analyse uitgevoerd voor 50.000 branduren, de levensduur van een LED-lamp. In de LCA-scan zijn broeikasgasemissies, emissies van verzurende en vermestende stoffen en emissies van toxische stoffen meegenomen.

Uit dit onderzoek blijkt dat de LED-lamp op zowel elektriciteits- als materiaalverbruik minder consumeert dan beide andere type lampen en dus een lagere milieubelasting veroorzaakt (zie Figuur 1).

¹ Cos γ is het faseverschil tussen de stroom en de spanning wat leidt tot een extra netbelasting voor rekening van de energiebedrijven.



Figuur 1 Materiaalgebruik en elektriciteitsgebruik

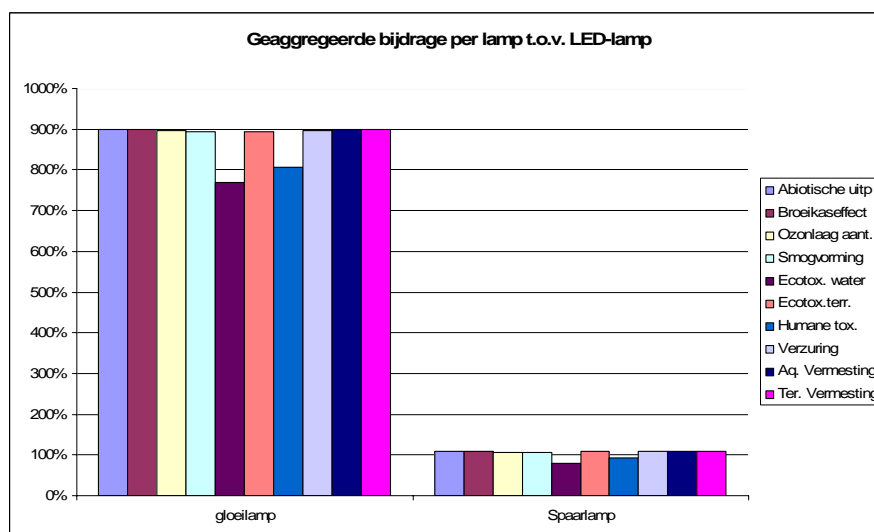


Het electriciteitsverbruik van de LED-lamp is aanzienlijk lager: 10 keer zo laag als het electriciteitsverbruik van de gloeilamp en 2 keer zo laag als het verbruik van de spaarlamp. Bovendien is in de LED-lamp minder materiaal verwerkt dan in beide andere lamptypes. Dit komt met name omdat voor een brandtijd van 50.000 uur slechts één LED-lamp, maar liefst 25 gloeilampen of 6 spaarlampen nodig zijn.

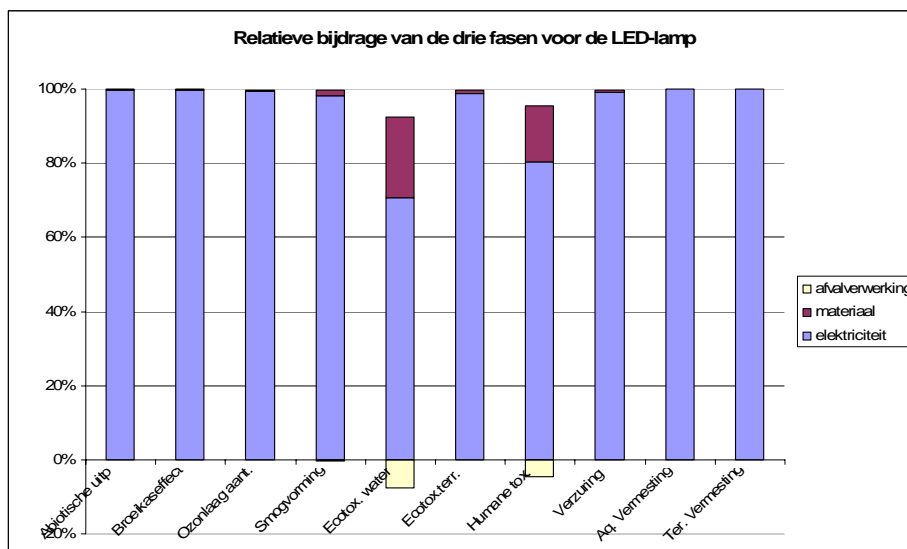
De LED-lamp draagt voor elke vorm van milieubelasting minder bij dan de andere twee lampen. Zie ook Figuur 2. De belangrijkste reden hiervoor is dat in de levenscyclus van de drie lampen, de gebruikersfase (m.a.w. het electriciteitsverbruik) de belangrijkste fase is qua milieubelasting: voor alle bekeken milieuthema's en lampen is deze fase verantwoordelijk voor meer dan 60% van de bijdrage. Zie ook Figuur 3 waarin de relatieve bijdrage van de fasen is gegeven voor de LED-lamp.

We kunnen concluderen dat de LED-lamp gemiddeld ongeveer twee keer zo goed als de spaarlamp en 10 keer zo goed als de gloeilamp scoort op de milieuthema's (verhouding van het electriciteitsverbruik).

Figuur 2 Relatieve geaggregeerde bijdragen t.o.v. de LED-lamp (de bijdrage van de LED-lamp is telkens op 0% gezet)



Figuur 3 Relatieve bijdrage van de ketenstappen voor de LED-lamp



Beïnvloeding van het net

Het gebruik van apparaten met niet-optimale eigenschappen spoelen en andere inductieve onderdelen door huishoudens leidt tot een extra belasting van het net in de vorm van blindvermogen. Door het faseverschil tussen stroom en spanning kan het opgenomen vermogen minder efficiënt worden benut en moet stroom aan deze apparaten worden geleverd. Dit betekent opwekken van meer elektrisch vermogen en verzwaaring van het distributienet om het extra vermogen c.q. de extra stroom te kunnen transporteren.

De blindstroom op het net is inmiddels zo groot dat volgens Tennet voor een goed functioneren van het net een totaal van 650 MVar aan compensatie voor capacatieve blindlast en 1.500 MVar aan compensatie voor inductieve blindlast moet worden opgesteld tegen een totale investering van M€ 41. Daarnaast wordt compenserend blindvermogen door de elektriciteitsproducenten opgewekt.

De door Lemnis ontwikkelde LED-lamp heeft door de in het ontwerp opgenomen condensator juist een capacatief vermogen en kan in principe de door inductie veroorzaakte blindlast compenseren. Een lamp met een actief vermogen van 6 Watt blijkt een reactief vermogen van 10 VA te hebben. In theorie zouden 150 miljoen lampen genoeg zijn om het totaal van 1.500 MVar aan benodigde compensatie voor inductieve blindlast op het net - à M€ 11 aan investeringen - te compenseren². Ter vergelijking: een gemiddelde van 4 LED-lampen per huishouden geeft een totaal van 24 miljoen lampen voor heel Nederland en een capacatief vermogen van 240 MVar.

Over gelijktijdigheid in gebruik van verlichting in woonkamers is geen literatuur of andere informatie gevonden. Vooralsnog is uitgegaan van een voor elektriciteit in de woningbouw gemiddelde waarde van 20%. Bij deze gelijktijdigheid wordt - bij een gemiddelde penetratiegraad van 4 LED-lampen per huishouden - een gemiddeld capacatief vermogen van 48 MVar opgewekt.

² Ter vergelijking: in de 6 miljoen Nederlandse huishoudens is in potentie plaats voor $6 \times 8 = 48$ miljoen LED-lampen van 6 Watt.

Implementatie van 1.500 MVar aan compensatie voor inductieve blindlast in de vorm van spoelen zal Tennet jaarlijkse kosten van circa € 2.800.000 voor afschrijvingen, onderhoud en bediening vergen.

Een marktaandeel van gemiddeld 4 LED-lampen per huishouden zou bij een gelijktijdigheid van 20% de benodigde compensatie voor inductieve blindlast kunnen beperken tot circa 1.450 MVar en zou de jaarlijkse kosten voor Tennet kunnen beperken tot circa € 2.710.000/jaar, een besparing van circa € 90.000 per jaar.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding tot en doel van de studie

Lemnis Lighting heeft in 2006 de eerste LED-lamp geïntroduceerd in de verlichtingsmarkt die als vervanger van de gloeilamp kan worden gezien. Drie grote voordelen voor de LED-lamp volgens Lemnis zijn:

1. Laag energieverbruik.
2. Een langere levensduur, tot wel 100.000 uur.
3. Een goede, capacatieve $\cos \gamma^3$.

In 2006 heeft CE Delft de milieueffecten van een door Lemnis ontwikkelde LED-lamp onderzocht en vergeleken met een vergelijkbare gloei- en spaarlamp. Momenteel heerst de vraag of eenzelfde vergelijking gemaakt kan worden voor een nieuw ontwerp van de LED-lamp.

Deze door Lemnis ontwikkelde LED-lamp concurreert qua lichtperceptie met een gloeilamp van 60 Watt of met een spaarlamp van 12-13 Watt.

Het doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van de te verwachten effecten van massaal gebruik van de LED-lamp en hier een onafhankelijk oordeel over vellen. De rapportage zal Lemnis gebruiken voor onderbouwing naar derden van de milieuvordelen.

Naast deze milieuvordelen is er voor electriciteitsproducenten ook sprake van een financieel voordeel. Bij elk apparaat is er een faseverschil tussen de stroom en de spanning ($\cos \gamma$) en dit leidt tot een extra netbelasting waar de energiebedrijven extra kosten voor maken. Grote bedrijven betalen naast hun vermogensafname ook voor de veroorzaakte $\cos \gamma$, huishoudens niet. Omdat de meeste apparaten een inductieve $\cos \gamma$ veroorzaken, is het voor een netbeheerder prettig wanneer apparaten een capacatieve $\cos \gamma$ veroorzaken; de netbeheerder hoeft in dit geval minder kosten te maken om de inductieve belasting te compenseren. Door CE Delft zal tevens bepaald worden of het effect van deze LED-lamp relevant is als de lamp op grote schaal wordt toegepast. Vervolgens zal bepaald worden welke kosten hierdoor kunnen worden uitgespaard bij de netbeheerder.

³ $\cos \gamma$ is het faseverschil tussen de stroom en de spanning wat leidt tot een extra netbelasting voor rekening van de energiebedrijven.





2 Uitvoering

2.1 Toegepaste methodiek

Om de milieueffecten van de LED-lamp te vergelijken met de milieueffecten van de gloei- en spaarlamp zullen zogenaamde levenscyclusanalyses ('Life Cycle Analysis' of LCA) uitgevoerd worden, waarin de milieubelasting van de desbetreffende producten van wieg tot graf in kaart wordt gebracht.

De milieubelasting van 'wieg tot graf' omvat in principe:

- grondstoffase: de milieubelasting van de materialen die in de lampen verwerkt zijn;
- productiefase: de milieubelasting van de productie van de lampen;
- gebruikersfase: de milieubelasting gerelateerd aan het opgenomen elektrisch vermogen tijdens het gebruik van de lampen, inclusief extra verliezen in het elektriciteitsdistributienet door blindvermogen;
- afvalfase: de milieubelasting gerelateerd aan de afdanking van de lampen.

Deze studie is, net als de voorgaande studie uit het jaar 2006, geen volledige LCA, in dit geval zou namelijk tot in detail elk effect en elk onderdeel van de lampen worden beschouwd. De uitgevoerde LCA kan als een 'scan' worden gezien, waarbij een schatting wordt gemaakt van de belangrijkste bijdragen aan de milieubelasting in de levensloop van de lamp.

2.2 Beschouwde functionele eenheid

Een LCA wordt uitgevoerd voor een zogenaamde functionele eenheid, een productfunctie uitgedrukt in een bepaalde eenheid. In dit geval wordt de lichtopbrengst van de verschillende lampen, uitgedrukt in het aantal lumen dat de lamp produceert, als functionele eenheid gebruikt.

De te beschouwen LED-lamp heeft een vermogen van 6 Watt. Deze lamp is volgens opgave van Lemnis qua lichtperceptie vergelijkbaar met een 60 Watt gloeilamp of een 13 Watt spaarlamp. Omdat een 13 Watt spaarlamp niet beschikbaar is, gaan we voor deze studie uit van een 12 Watt spaarlamp (volgens opgave van Philips vergelijkbaar met een 60 Watt gloeilamp).

De 6 Watt LED-lamp wordt dus met de volgende referentielampen vergeleken:

1. Een Philips gloeilamp van 60 Watt.
2. Een Philips softone spaarlamp van 12 Watt.

Hiernaast is het, vanwege de volgende twee redenen, ook zinvol om grootschaligere systemen met elkaar te vergelijken:

1. Om mogelijke kostenvoordelen voor producenten als gevolg van de capacatieve $\cos \gamma$ van de lamp in kaart te brengen is het zinvoller naar de kostenconsequenties bij grootschalige introductie van de lamp te kijken.
2. Bij beleid voor energiebesparing in de gebouwde omgeving is het gebruikelijk om de effecten van besparingsmaatregelen uit te drukken per woning.



Om deze redenen worden in deze studie ook de volgende systemen vergeleken:

- *Beoogde situatie*
6 miljoen huishoudens met een 4-tal LED-lampen van 6 Watt met een levensduur van 50.000 branduren per lamp.
- *Referentie 1*
6 miljoen huishoudens met een 4-tal 60 Watt gloeilampen met een gemiddelde levensduur van 2.000 branduren per lamp.
- *Referentie 2*
6 miljoen huishoudens met een 4-tal 12 Watt spaarlampen met een levensduur van 8.000 branduren per lamp.

In 2003 bedroeg het gemiddeld aantal gloeilampen in een huishouden 25, tegenover gemiddeld 4 spaarlampen (Milieucentraal, 2009). Lemnis heeft als doel een marktaandeel van circa 4 lampen per huishouden.

De levensduur van de LED-lamp, de gloeilamp en de spaarlamp zijn overgenomen van de producent. De gegarandeerde levensduur wordt namelijk door de producent op de verpakking vermeld.

2.3 Beschouwde milieuthema's

Emissies en andere vormen van milieubelasting zijn middels zogenaamde karakterisatiefactoren te vertalen in bijdragen aan milieuthema's. Een milieuthema is een bepaald milieuprobleem, zoals verzuring van bodem en oppervlaktewater of klimaatverandering.

In Tabel 1 staan de milieuthema's die in deze studie zijn beschouwd. Deze set milieuthema's omvat alle belangrijke milieuproblemen die spelen op een 'superlokaal' niveau of die worden veroorzaakt door emissies met een aanzienlijk verspreidingsgebied.

Tabel 1 Beschouwde milieuthema's

Milieuthema	Einheid
Abiotische uitputting	kg Sb-eq.
Versterking broeikas-effect (500)	kg CO ₂ -eq.
Aantasting ozonlaag	kg CFK11-eq.
Fotochemische oxidantvorming	kg etheen-eq.
Eco-toxiciteit (aquatisch-zoet)	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
Eco-toxiciteit (terrestrisch)	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
Humane toxiciteit	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
Verzuring (A&B)	kg SO ₂ -eq.
Vermesting (aquatisch)	kg PO ₄ -eq.
Vermesting (terrestrisch) (A&B)	kg NO _x -eq.

Andere milieuproblemen als geluid, geur en verdroging treden vaak alleen lokaal op, omdat ze sterk afhankelijk zijn van zeer lokale emissies en/of gerelateerd zijn aan lokale landschapsaspecten, bebouwing, etc. Dergelijk sterk lokaal gerelateerde problemen zijn in een LCA niet te beschouwen.



2.4 Achtergrondgegevens

Voor het bepalen van de milieubelasting gerelateerd aan de productie van de in drie lichtbronnen verwerkte materialen zijn zoveel mogelijk gegevens uit het LCA-database programma SimaPro, versie 7.1 gehanteerd. SimaPro is een database waarin gegevens van door gerenommeerde instituten uitgevoerde en openbaar beschikbare LCA's zijn opgenomen. SimaPro wordt gezien als een toonaangevende bron van LCA-informatie.

Voor glas is uitgegaan van gegevens over milieubelasting gegeven in het 'BREF-document' voor de Europese glasindustrie.

Voor de milieubelasting gerelateerd aan de door de lampen opgenomen elektriciteit is uitgegaan van gegevens van IVAM, zoals gebruikt in het MERLAP. Dit document is gebruikt als onderbouwing van het nationale afvalbeleid en is gebaseerd op informatie die door de verschillende actoren in het veld van afval en energie is geaccordeerd. De meeste gebruikte achtergrondgegevens zijn te vinden in het vorige rapport (CE, 2006), de overige zijn opgenomen in bijlage A.





3 Resultaten per lamp

3.1 Inleiding

In deze studie zijn de grondstoffase, de gebruiksfase en de afdankfase van de drie lichtbronnen in de 'wieg tot graf'-analyse beschouwd. Voor de productie-fase - de 'bouw' van de lampen en daarin gebruikte onderdelen - blijkt in SimaPro geen informatie voorhanden te zijn.

De milieubelasting in deze fasen is steeds eerst bepaald per individuele lamp en daarna vertaald naar de beschouwde functionele eenheid.

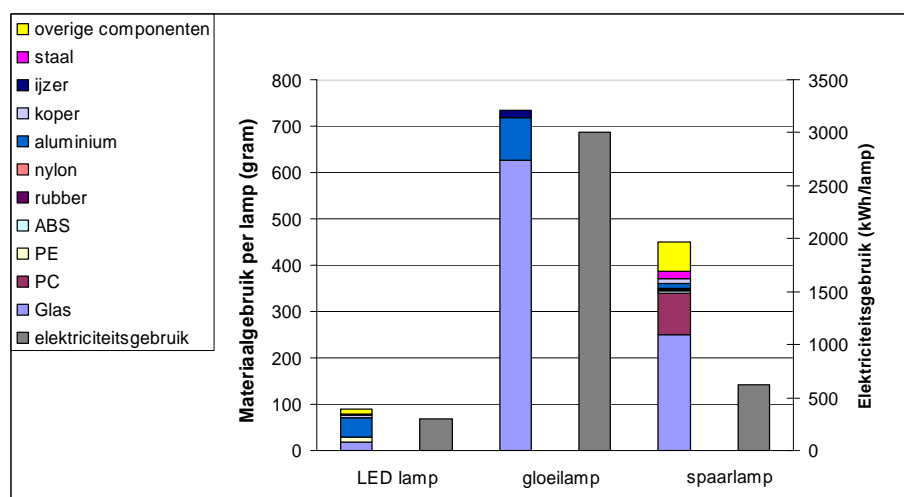
De bepaling van de milieubelasting per lamp is in onderstaande drie paragrafen voor de drie beschouwde fasen in de levensloop van deze producten uiteengezet. De vertaling naar de functionele eenheid is gegeven in hoofdstuk 4.

3.2 Grondstoffase

De samenstellingen van de drie lampen zijn bepaald middels destructief onderzoek. Dit onderzoek bestond uit het bepalen van het gewicht van de verschil-lende onderdelen van de lampen. Een deel van het materiaalgebruik van de LED- en spaarlamp is, net als in het voorgaande onderzoek, niet specificeerbaar. Dit geldt onder andere voor de printplaat.

In Figuur 4 is het materiaal- en elektriciteitsverbruik per lamp aangegeven.

Figuur 4 Materiaalgebruik en elektriciteitsgebruik



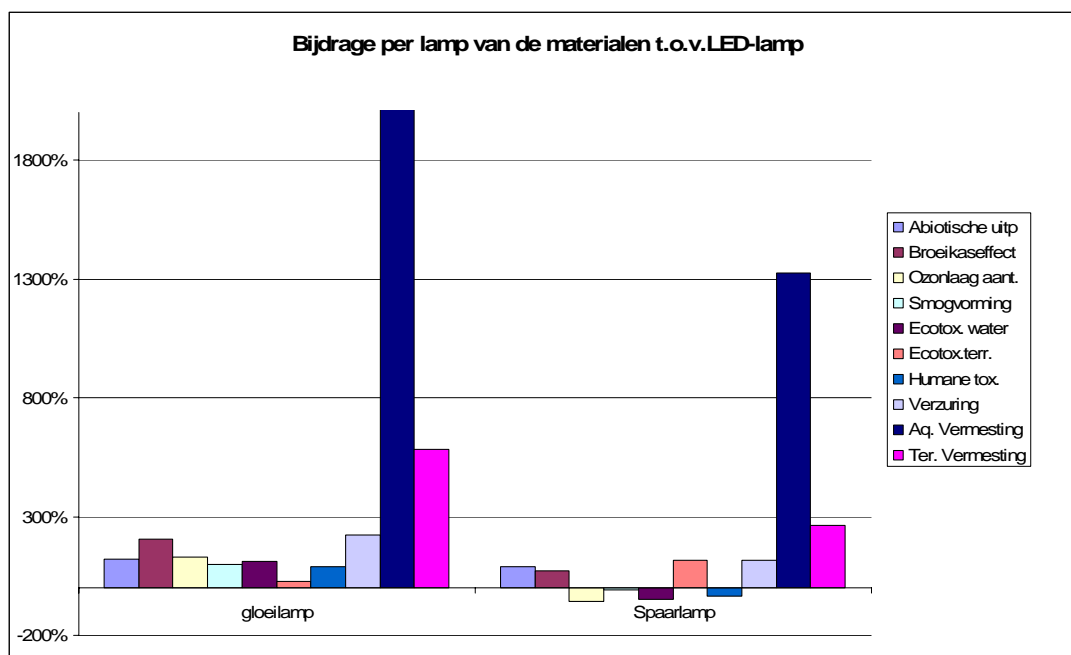
In combinatie met de bijdragen aan de beschouwde milieuthema's per kilo materiaal (zie bijlage A en de vorige studie), geeft Tabel 2 de bijdrage (uitgedrukt per 50.000 branduren) per lamp aan deze milieuthema's. Door de bijdrage per 50.000 branduren te bepalen is een gelijkwaardige vergelijking tussen de verschillende lampen mogelijk. In de gebruikstijd van één LED-lamp worden 25 gloeilampen en 6 spaarlampen verbruikt.

Tabel 2 Bijdragen aan milieuthema's gerelateerd aan materiaalgebruik per 50.000 branduren

Milieuthema	Eenheid	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	kg Sb-eq.	3,45E-03	7,61E-03	6,50E-03
Broeikasemect	kg CO ₂ -eq.	5,51E-01	1,68E+00	9,32E-01
Ozonlaag aant.	kg CFK11-eq.	2,89E-08	6,59E-08	1,24E-08
Smogvorming	kg etheen-eq.	2,31E-04	4,59E-04	2,14E-04
Ecotox. water	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	2,51E-01	5,35E-01	1,24E-01
Exotox. terr.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	3,19E-03	4,09E-03	6,90E-03
Humane tox.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	2,71E+00	5,15E+00	1,79E+00
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	3,19E-03	1,03E-02	6,84E-03
Aq. vermesting	kg PO ₄ -eq.	8,40E-07	3,01E-05	1,20E-05
Ter. vermesting	kg NO _x -eq.	2,79E-04	1,91E-03	1,01E-03

Voor een wat inzichtelijker overzicht is in Figuur 5 de procentuele bijdrage per milieuthema te zien, uitgedrukt ten opzichte van de score voor de LED-lamp. Een 0%-score houdt in dat de lamp hetzelfde scoort op dat milieuthema als de LED-lamp, terwijl een score groter dan 0% inhoudt dat de lamp slechter scoort dan de LED-lamp (en vice versa).

Figuur 5 Relatieve bijdrage van materiaalgebruik t.o.v. de LED-lamp



Noot: De bijdrage van de gloeilamp aan aquatische vermesting is eigenlijk nog veel groter dan in Figuur 5 te zien is, namelijk bijna 360 keer zo groot als de bijdrage van de LED-lamp.

Uit de analyse blijkt dat de LED-lamp weliswaar efficiënter is met materiaal, maar met name door het hoge gewicht aan aluminium, de aan het materiaalgebruik gerelateerde milieubelasting toch vergelijkbaar is en niet unaniem beter is dan de spaarlamp. De LED-lamp scoort op dit vlak wel beter dan de gloeilamp.



3.3 Gebruiksfase

Voor de gebruiksfase is uitgegaan van de specificaties uit Tabel 3.

Tabel 3 Specificaties voor opgenomen elektrisch vermogen

	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Watt	6	60	12
Levensduur (branduren)	50.000	2.000	8.000
Opgenomen vermogen	300	3.000	623

De verhouding in milieubelasting is gelijk aan de verhouding in de gedurende 50.000 branduren opgenomen vermogen. Dit houdt in dat de milieubelasting van de gloeilamp ($\frac{3.000}{300}$) 10 keer zo groot is en de milieubelasting van de

spaarlamp ($\frac{623}{300}$) 2,1 keer zo groot is als de milieubelasting van de LED-lamp.

In Tabel 4 staan de aan elektriciteitsgebruik gerelateerde bijdragen aan de milieuthema's. Deze bijdragen zijn verkregen door de bijdragen per GJ_e te vermenigvuldigen met het opgenomen vermogen gedurende 50.000 branduren.

Tabel 4 Bijdragen aan milieuthema's gerelateerd aan elektriciteitsgebruik per 50.000 branduren

Milieuthema	Eenheid	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	kg Sb-eq.	1,791647	17,91647	3,718194
Broekaseffect	kg CO ₂ -eq.	214,1614	2141,614	444,4479
Ozonlaag aant.	kg CFK11-eq.	6,05 ^e -06	6,05 ^e -05	1,26 ^e -05
Smogvorming	kg etheen-eq.	0,017821	0,17821	0,036984
Ecotox. water	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	0,822027	8,220273	1,705948
Ecotox. terr.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	0,343062	3,430619	0,711954
Humane tox.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	14,54438	145,4438	30,18386
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	0,490875	4,908746	1,018709
Aq. vermesting	kg PO ₄ -eq.	0,046451	0,464509	0,096399
Ter. vermesting	kg NO _x -eq.	0,320859	3,208595	0,665878

Er is in deze analyse, net als in de voorgaande studie naar de LED-lamp, geen rekening gehouden met capacatieve of inductieve faseverschuiving tussen voltage en stroom. Bij een gloeilamp speelt dit sowieso geen rol en bij een spaarlamp wordt dit effect weggeregeld door de elektronica in de lamp. Bij de LED-lamp speelt capacatief vermogen echter wel een rol. Een lamp met een actief vermogen van 6 Watt blijkt een reactief vermogen van 130 VA_r te hebben. Omdat overig opgestelde apparatuur in de regel een inductieve faseverschuiving geeft, zal de Lemnis LED-lamp over het algemeen een positief effect hebben. De capacatieve belasting die optreedt als gevolg van het gebruik van de LED-lamp zal dus (voor een deel) een inductieve faseverschuiving binnen het elektriciteitsnet compenseren.

3.4 Afdankfase

De milieubelasting in de afdankfase is geschat op hoofdlijnen. Er zijn twee belangrijke aspecten gerelateerd aan afdanken:

1. Of het materiaal verbrand wordt en of hierbij energie wordt teruggewonnen.
2. Of er metalen worden teruggewonnen voor hergebruik.

Verbranding in een AVI

Kleine huishoudelijke gebruiksartikelen worden verbrand of herverwerkt. De emissies gerelateerd aan verbranding zijn dusdanig gereduceerd dat de relatieve bijdragen van deze emissies aan de milieuthema's (behalve klimaatverandering) verwaarloosbaar zijn.

Glasrecycling heeft in de praktijk maar weinig nut. Bij glasrecycling wordt de vormingsenergie van het glas uit de grondstoffen uitgespaard, maar het glas zelf moet nog steeds gesmolten worden. Deze smeltenergie vormt zo'n 80-90% van de totale energiebehoefte van het glassmeltproces. Glasrecycling is daarom niet meegenomen in deze studie.

We hebben aangenomen dat de gloeilamp en de LED-lamp volledig in het te verbranden huisvuil terechtkomen. Bij verbranding zal waarschijnlijk de aluminium schroefbodem van de lamp behouden blijven. In de AVI's in Nederland wordt momenteel 35% van het overblijvende aluminium teruggewonnen. Er zijn echter ook AVI's zonder non-ferro afscheiding, terwijl bij AVI's met non-ferro afscheiding ongeveer 90% van het non-ferro metaal wordt teruggewonnen. Verwacht wordt dat uiteindelijk alle AVI's met non-ferro afscheidingstechnologie zullen zijn uitgerust.

Vanwege de spreiding en ontwikkeling in de afscheidingsefficiëntie van non-ferro metalen is op dit punt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de volgende afscheidingsrendementen zijn beschouwd: 0, 35 en 90%.

IJzer en staal worden per definitie voor circa 90% teruggewonnen bij AVI's.

Bij de verbranding van de LED-lamp zal nog energie kunnen worden teruggewonnen door de verbranding van de in de lamp aanwezige kunststoffen. Het gemiddelde rendement van AVI's in Nederland bedraagt 20%.

Inzameling en verwerking van spaarlampen

De compacte spaarlamp zal deels als KCA apart worden aangeboden en worden herverwerkt. Gemiddeld genomen wordt ongeveer 50% gescheiden ingezameld en herverwerkt. Dit komt overeen met de gemiddelde inzamelrespons voor klein chemisch afval in Nederland. Een specifieke respons voor spaarlampen is niet bekend. Het is niet ondenkbaar dat de bij huishoudens gebruikte spaarlampen grotendeels in het restafval terechtkomen en niet gescheiden worden aangeboden. De doelstelling voor inzameling van KCA bedraagt overigens 90%.

Vanwege de onzekerheid in de inzamelrespons voor spaarlampen is op dit punt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarbij responsen van 0, 50 en 90% zijn beschouwd.

Bij herverwerking worden de in de lamp verwerkte metalen voor circa 90% hergebruikt. Het in de lamp verwerkte kunststofmateriaal wordt waarschijnlijk in een AVI verbrand.



De niet-gescheiden ingezamelde lampen worden verbrand waarbij 35% van het in de lamp verwerkte aluminium en 90% van het staal wordt teruggewonnen.

In Tabel 5 worden de aan afvalverwerking en recycling gerelateerde bijdragen aan de verschillende milieuthema's gegeven.

De aanduidingen 'minimum, maximum en gemiddeld' hebben betrekking op de afscheidingsrendementen en inzamelresponsen. Maximum heeft betrekking op maximale inzamelrespons en maximale terugwinning van metalen bij AVI's.

Tabel 5 Aan afvalverwerking en recycling gerelateerde bijdragen aan de beschouwde milieuthema's - voor een vergelijking voor 50.000 branduren

Bijdragen aan milieuthema's	Minimum			Maximum			Gemiddeld		
	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	-0,00017	-0,0002	-0,001	-0,0028	-0,0058	-0,0017	-0,0012	-0,0024	-0,00164
Broekaseffect	-0,02052	-0,0257	-0,1253	-0,4639	-0,9896	-0,2324	-0,1617	-0,4005	-0,0486
Ozonlaag aant.	-6E-10	-1E-09	-4E-09	-3E-08	-6E-08	-1E-08	-1E-08	-2E-08	-8,9E-09
Smogvorming	-2,1E-06	-1E-05	-1E-05	-0,0002	-0,0004	-5E-05	-7E-05	-0,0002	-5,3E-05
Ecotox. water	-0,00096	-0,0258	-0,0005	-0,2104	-0,4811	-0,0511	-0,0884	-0,2029	-0,05896
Ecotox. terr.	-4,9E-05	-0,0005	-0,0002	-0,0014	-0,0035	-0,0005	-0,0007	-0,0017	-0,00089
Humane tox.	-0,00351	-0,0635	-0,0085	-2,0975	-4,6157	-0,5143	-0,8326	-1,8338	-0,41714
Verzuring	-4,9E-05	-0,0001	-0,0003	-0,0022	-0,0047	-0,0008	-0,0009	-0,0019	-0,00076
Aq. vermesting	-4,3E-06	0	-3E-05	-4E-06	0	-3E-05	-4E-06	0	-2,7E-05
Ter. vermesting	-3E-05	-2E-05	-0,0002	-0,0002	-0,0004	-0,0002	-0,0001	-0,0002	-0,00024

Tabel 6 Geaggregeerde bijdragen aan de beschouwde milieuthema's voor 50.000 branduren per lamp

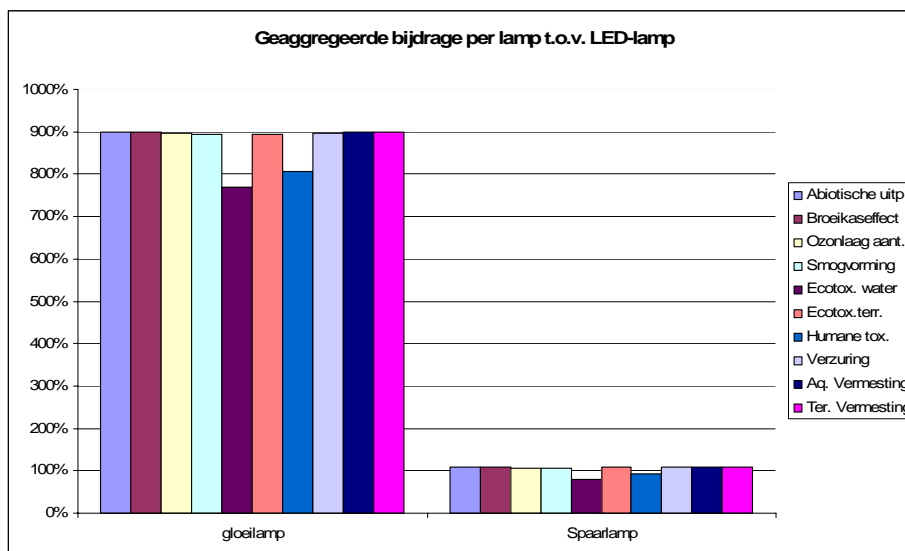
Bijdragen aan milieuthema's	Minimum			Maximum			Gemiddeld		
	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	1,79E+00	1,79E+01	3,72E+00	1,79E+00	1,79E+01	3,72E+00	1,8E+00	1,8E+00	3,7E+00
Broekaseffect	2.15E+02	2.14E+03	4.45E+02	2.14E+02	2.14E+03	4.45E+02	2.1E+02	2.1E+03	4.5E+02
Ozonlaag aant.	6.08E-06	6.06E-05	1.26E-05	6.06E-06	6.06E-05	1.26E-05	6.1E-06	6.1E-05	1.3E-05
Smogvorming	1.81E-02	1.79E-01	3.72E-02	1.79E-02	1.78E-01	3.71E-02	1.8E-02	1.8E-01	3.7E-02
Ecotox. water	1.07E+00	8.73E+00	1.83E+00	8.63E-01	8.27E+00	1.78E+00	9.8E-01	8.6E+00	1.8E+00
Ecotox. terr.	3.46E-01	3.43E+00	7.19E-01	3.45E-01	3.43E+00	7.18E-01	3.5E-01	3.4E+00	7.2E-01
Humane tox.	1.73E+01	1.51E+02	3.20E+01	1.52E+01	1.46E+02	3.15E+01	1.6E+01	1.5E+02	3.2E+01
Verzuring	4.94E-01	4.92E+00	1.03E+00	4.92E-01	4.91E+00	1.02E+00	4.9E-01	4.9E+00	1.0E+00
Aq. vermesting	4.64E-02	4.65E-01	9.64E-02	4.64E-02	4.65E-01	9.64E-02	4.6E-02	4.6E-01	9.6E-02
Ter. vermesting	3.21E-01	3.21E+00	6.67E-01	3.21E-01	3.21E+00	6.67E-01	3.2E-01	3.2E+00	6.7E-01

3.5 Geaggregeerde bijdragen

Als we de bijdragen van de drie fasen in de levenscyclus bij elkaar optellen, krijgen we de geaggregeerde bijdragen in Tabel 6. In Figuur 6 zijn de relatieve bijdragen ten opzichte van de bijdragen voor de LED-lamp gegeven (waarbij een bijdrage groter dan 0% betekent dat de lamp slechter scoort dan de LED-lamp). De LED-lamp scoort voor elke vorm van milieubelasting beter dan de spaar- en gloeilamp.



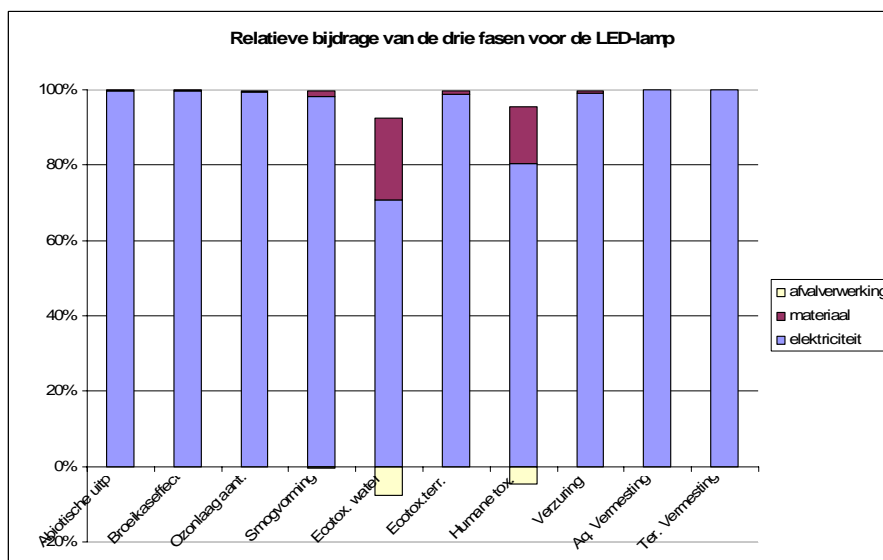
Figuur 6 Relatieve totale bijdragen t.o.v. de LED-lamp



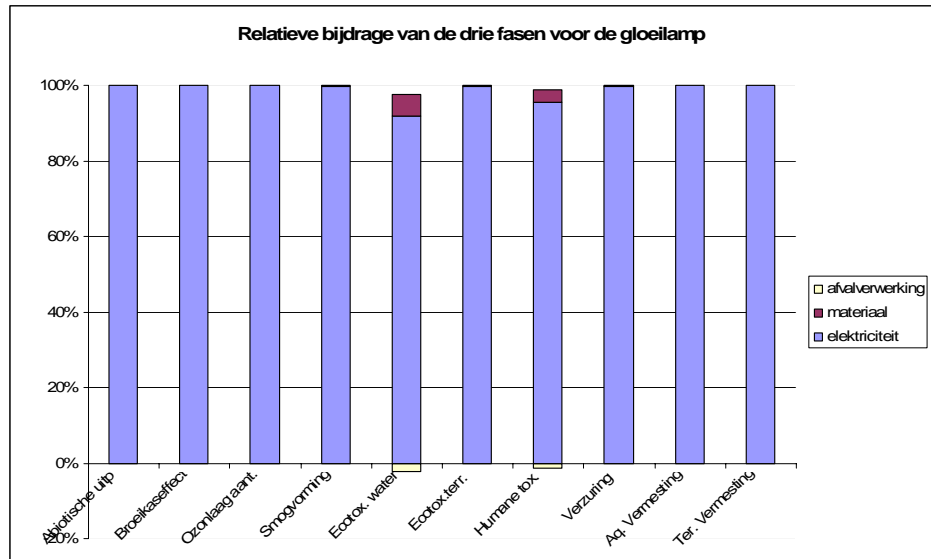
Het elektriciteitsgebruik van de LED-lamp is aanzienlijk lager dan van de andere twee lampen, zelfs in vergelijking met een standaard spaarlamp. Bovendien is in de LED-lamp minder materiaal verwerkt dan in beide andere lamptypes. Dit is met name te danken aan het feit dat voor een brandtijd van 50.000 uur, slechts één LED-lamp, maar liefst 25 gloeilampen en 6 spaarlampen nodig zijn.

Uit Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9 wordt duidelijk dat de gebruiksfase de belangrijkste fase in de levenscyclus van een lamp is. Het elektriciteitsgebruik draagt aan alle milieuthema's en voor alle drie de lampen het meeste bij.

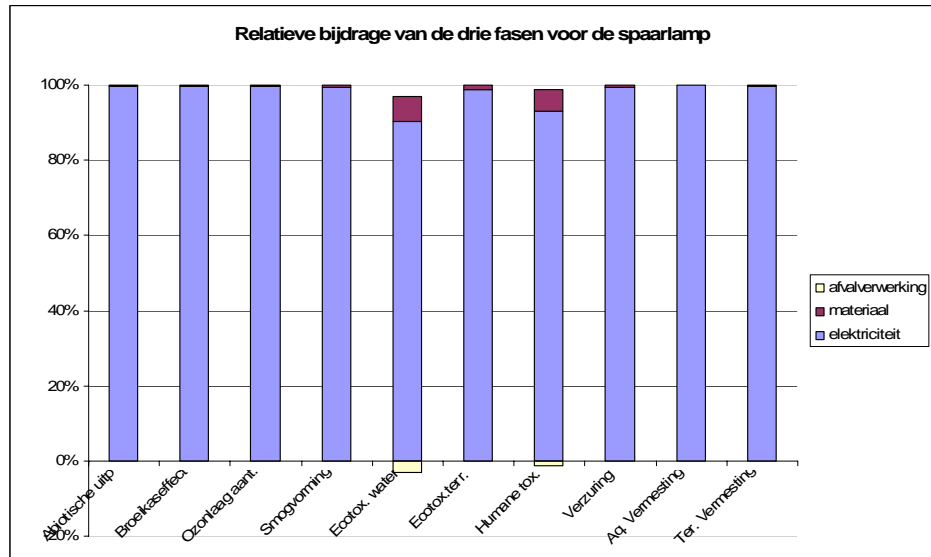
Figuur 7 Relatieve bijdragen van de ketenstappen voor de LED-lamp



Figuur 8 Relatieve bijdragen van de ketenstappen voor de gloeilamp



Figuur 9 Relatieve bijdragen van de ketenstappen voor de spaarlamp





4 Vertaling naar heel Nederland

4.1 Energiebesparing

In een gemiddeld huishouden zijn gemiddeld 26 gloeilampen, 3 spaarlampen, 5 halogeenlampen en 4 TL-lampen aanwezig (BEK, 2000). Het gezamenlijk gebruik van alle gloeilampen bedraagt ongeveer 4.350 branduren per jaar, waarvan 2.450 uur voor 60 Watt gloeilampen. De 60 Watt gloeilampen worden overigens voornamelijk voor de keuken, de badkamer en de hal gebruikt. Een gemiddeld huishouden consumeert daardoor jaarlijks zo'n 409 kWh wanneer enkel gloeilampen worden gebruikt en zo'n 199 kWh aan 60 Watt gloeilampen. Deze 409 kWh per jaar is gelijk aan 13% van het gemiddeld huishoudelijk elektriciteitsverbruik in het jaar 2000.

Voor 6 miljoen huishoudens is het gebruik van 199 kWh aan 60 Watt gloeilampen gelijk aan circa 1.196 GWh per jaar. Als deze gloeilampen met LED-lampen of spaarlampen vervangen zouden worden, dan zou dit gebruik dalen met 80%, respectievelijk 90%.

Tabel 7 Jaarlijks gebruik per huishouden voor verlichting

	Gloeilamp (60 W)	LED-lamp	Spaarlamp
kWh/jaar per huishouden	199	20	40
GWh/jaar voor Nederland	1.196	120	239
Relatieve omvang	100%	10%	20%

4.2 Milieubesparing

Vertaling van de milieubelasting per 50.000 branduren naar de totale gebruikstijd van de lampen die vallen in de lichtopbrengst van een 60 Watt gloeilamp per jaar (2.450 brandurenjaar), geeft per huishouden de in Tabel 8 gegeven bijdragen.

Tabel 8 Bijdragen per jaar per gemiddeld huishouden aan beschouwde milieuthema's gerelateerd aan verlichting

		LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	kg Sb-eq.	8.8E-02	8.8E-01	1.8E-01
Broekaseffect	kg CO ₂ -eq.	1.1E+01	1.1E+02	2.2E+01
Ozonlaag aant.	kg CFK11-eq.	3.0E-07	3.0E-06	6.2E-07
Smogvorming	kg etheen-eq.	8.8E-04	8.7E-03	1.8E-03
Ecotox. water	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	4.8E-02	4.2E-01	8.7E-02
Ecotox. terr.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	1.7E-02	1.7E-01	3.5E-02
Humane tox.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	8.0E-01	7.3E+00	1.5E+00
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	2.4E-02	2.4E-01	5.0E-02
Aq. vermesting	kg PO ₄ -eq.	2.3E-03	2.3E-02	4.7E-03
Ter. vermesting	kg NO _x -eq.	1.6E-02	1.6E-01	3.3E-02



Tabel 9 geeft voor heel Nederland de bijdragen aan de milieuthema's. Als alle (6 miljoen) huishoudens hun 60 Watt gloeilampen zouden inwisselen voor LED-lampen, dan zou de uitstoot van broeikasgassen met 0,6 Mton CO₂-eq. per jaar afnemen (0,3% van de totale broeikasgasemissies in Nederland).

Tabel 9 Bijdragen per jaar voor heel Nederland aan beschouwde milieuthema's gerelateerd aan verlichting

		LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Abiotische uitp.	kg Sb-eq.	5E+05	5E+06	1E+06
Broekaseffect	kg CO ₂ -eq.	6E+07	6E+08	1E+08
Ozonlaag aant.	kg CFK11-eq.	1,785	17,812	3,6949
Smogvorming	kg etheen-eq.	5.285	5.2481	10.921
Ecotox. water	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	3E+05	3E+06	520.539
Ecotox. terr.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	1E+05	1E+06	211.082
Humane tox.	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.	5E+05	4E+07	9E+06
Verzuring	kg SO ₂ -eq.	1E+05	1E+06	301.289
Aq. vermesting	kg PO ₄ -eq.	13.656	136.575	28.337
Ter. vermesting	kg NO _x -eq.	94.383	943.835	195.993

4.3 Invloed op blindvermogen in het elektriciteitsnet

Het gebruik van apparaten met niet optimale eigenschappen spoelen en andere inductieve onderdelen door huishoudens leidt tot een extra belasting van het net in de vorm van blindvermogen. Door het faseverschil tussen stroom en spanning kan het opgenomen vermogen minder efficiënt worden benut en moet extra stroom aan deze apparaten worden geleverd. Dit betekent opwekken van meer elektrisch vermogen en verzwaring van het distributienet om het extra vermogen c.q. de extra stroom te kunnen transporteren.

De blindstroom op het net is inmiddels zo groot dat volgens Tennet voor een goed functioneren van het net een totaal van 650 MVar aan compensatie voor capacatieve blindlast en 1.500 MVar aan compensatie voor inductieve blindlast moet worden opgesteld tegen een totale investering van M€ 11. De reden dat de capacatieve en inductieve blindlast elkaar niet opheffen is vanwege de variatie in netbelasting over de dag.

De door Lemnis ontwikkelde LED-lamp heeft door de in het ontwerp opgenomen condensator juist een capacatief vermogen en kan in principe de door inductie veroorzaakte blindlast compenseren. Een lamp met een actief vermogen van 6 Watt blijkt een reactief vermogen van 10 VA te hebben. In theorie zouden 150 miljoen lampen genoeg zijn om de totaal van 1.500 MVar aan benodigde compensatie voor inductieve blindlast op het net - à M€ 11 aan investeringen - te compenseren⁴. Ter vergelijking: een gemiddelde van 4 LED-lampen per huishouden geeft een totaal van 24 miljoen lampen voor heel Nederland en een capacatief vermogen van 240 MVar.

Over gelijktijdigheid in gebruik van verlichting in woonkamers is geen literatuur of andere informatie gevonden. Vooralnog is uitgegaan van een voor electriciteit in de woningbouw gemiddelde waarde van 20%. Bij deze gelijktijdigheid wordt - bij een gemiddelde penetratiegraad van 4 LED-lampen per huishouden - een gemiddeld capacatief vermogen van 48 MVar opgewekt.

⁴ Ter vergelijking: in de 6 miljoen Nederlandse huishoudens is in potentie plaats voor $6 \times 8 = 48$ miljoen LED-lampen van 6 Watt.



Implementatie van 1.500 MVar aan compensatie voor inductieve blindlast in de vorm van spoelen zal Tennet jaarlijkse kosten van circa € 2.800.000 voor afschrijvingen, onderhoud en bediening vergen.

Een marktaandeel van gemiddeld 4 LED-lampen per huishouden zou bij een gelijktijdigheid van 20% de benodigde compensatie voor inductieve blindlast kunnen beperken tot circa 1.450 MVar en zou de jaarlijkse kosten voor Tennet kunnen beperken tot circa € 2.710.000/jaar, een besparing van circa € 90.000 per jaar.





Literatuurlijst

BEK, 2000
Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers
Arnhem : EnergieNed, 2000

CE Delft, 2006
H.J. Croezen, M.N. Sevenster
Verlichting vergeleken
Delft : CE Delft, 2006





Bijlage A Achtergrondgegevens

In Tabel 10 is de samenstelling van de drie lampen qua materialen te vinden. Tabel 11 geeft de milieubelasting per materiaal voor de materialen die niet in de vorige studie (CE, 2006) zijn behandeld. Tabel 12 geeft de gemiddelde hoeveelheden teruggewonnen metalen en teruggewonnen CO₂ en elektriciteit per lamp.

Tabel 10 Samenstelling van de drie lichtbronnen naar materialen (in gram per lamp)

Materiaal gram/lamp	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
A Glas	17,5	25,1	39,9
B Kunststoffen			
PC			14,4
PE	10,5		
ABS	1,9		0,9
Rubber			0,3
Nylon			0,4
C Metalen			
Aluminium	41,4	3,6	1,6
Koper	4,2		2,0
IJzer	0,6	0,7	
Staal	4,1		2,5
D Overig, niet specificeerbaar (electronics, e.d.)	8,5	0	9,8

Tabel 11 Specifieke milieubelasting per materiaal

	PE	ABS	Rubber	Nylon
Abiotische uitp.	0,033283	0,04389	0,038574	0,059902
Broeikaseffect	1,921225	3,818132	2,361361	7,923887
Ozonlaag aant.	1,98E-10	1,6E-09	6,4E-07	6,54E-10
Smogvorming	0,000618	0,000741	0,000602	0,00136
Ecotox. water	0,024097	0,087498	0,161809	0,124266
Ecotox. terr.	0,000114	0,000533	0,008565	0,000649
Humane tox.	0,072523	0,265734	1,05998	0,360228
Verzuring	0,006517	0,012493	0,010814	0,029272
Aq. vermesting	0	0	0	0
Ter. vermesting	0,000516	0,001315	0,00088	0,007372

Tabel 12 Geschatte hoeveelheden teruggewonnen metalen en geproduceerde CO₂-emissie en elektriciteit per lamp (gemiddelden)

	LED-lamp	Gloeilamp	Spaarlamp
Geproduceerde elektriciteit (KJ _e)	99		101
CO ₂ -emissie (g)	37		28
Teruggewonnen metalen (g)			
Aluminium	14,5	1,3	1,0
Koper	1,5		1,3
IJzer	0,5	0,6	
Staal	3,7		2,3





Bijlage B De toepassing van 6 Watt LED-lampen bij huishoudens

Deze studie richt zich specifiek op het gebruik van de LED-lamp in huishoudens. In die toepassing concurreert de lamp met een 60 Watt gloeilamp of een 12 Watt spaarlamp.

Een goed overzicht van het elektriciteitsgebruik in huishoudens wordt gegeven in de zogenaamde BEK-analyses (Basisonderzoek Energieverbruik Kleinverbruikers), die tot 2003 in opdracht van EnergieNed werden uitgevoerd en waarvan de resultaten in rapportvorm openbaar verkrijgbaar waren. Voor deze studie is gebruik gemaakt van de laatste openbaar beschikbare rapportage, met daarin een overzicht voor het gebruik van een huishouden anno 2000.

Helaas is deze bron in het kader van de privatisering van de sector inmiddels opgedroogd, waardoor recentere informatie niet beschikbaar bleek.

Uit de analyse blijkt dat lampen van 60 Watt worden gebruikt in ruimten waarin vooral behoefte is aan veel licht: in de hal, de keuken en de badkamer. Het aantal branduren en het aantal lampen per ruimte is gegeven in Tabel 13.

Tabel 13 Overzicht gebruik lampen in de categorie van ongeveer 300 lumen in een gemiddeld huishouden

	Totaal aantal lampen	Bedrijfstijd (uren per jaar per lamp)	Somproduct	
Badkamer	1,25	415	519	14%
Buiten	1,18	280	330	9%
Garage	0,80	160	128	4%
Hal	2,09	425	888	25%
Kelder	0,40	25	10	0%
Keuken	1,63	1.020	1.663	46%
Zolder	0,68	125	85	2%
Totaal aantal branduren per jaar			3.623	
Totaal aantal lampen			8,03	
Gemiddelde brandtijd (uren per jaar)			305	
- Max.			1.020	
- Min.			25	

