

High-power-LED's in de praktijk

Veel licht met weinig stroom

Prof. Dr. Ing. Martin Oßmann

De LED, jarenlang alleen gebruikt als indicatielampje, is de laatste jaren doorontwikkeld tot een serieuze lichtbron. In een aantal toepassingen is de LED inmiddels een goed alternatief voor de gloeilamp.



Sinds kort zijn LED's met een hoge lichtopbrengst ook beschikbaar voor de hobbyist. De LED die hier wordt beschreven, is onder andere verkrijgbaar bij Conrad Electronics. Omdat elektronici gewoonlijk een beperkte kennis hebben van verlichtingstechniek, zul-

len hier een aantal begrippen verder worden toegelicht.

Ook worden twee schakelingen gepresenteerd waarmee een LED met een vermogen van 1 W kan worden aangestuurd.

Lumen of watt?

In de elektriciteitsleer wordt een elektrisch vermogen gewoonlijk uitgedrukt in watts. Ook het vermogen van zenders en infrarood-laserdiodes (voor optische datatransmissie) wordt meestal in deze eenheid uitgedrukt. Is een lichtbron echter bedoeld voor verlichtingsdoeleinden, dan wordt meestal de eenheid lumen gebruikt. De lumen (lm) is een fotometrische eenheid waarmee de lichtstroom van een lichtbron wordt aangeduid. Fotometrisch wil hier zeggen dat de lichtgevoeligheidskromme van het menselijk oog hierin is meegewogen. Bij een lichtbron is de subjectieve helderheidsindruk namelijk afhankelijk van de golflengte van het licht. In **figuur 1** is de gevoeligheidskromme weergegeven. Ultraviolet licht, met een golflengte van minder dan 450 nm, is voor het menselijk oog nauwelijks zichtbaar. Hetzelfde geldt voor infrarood licht, met een golflengte van meer dan 700 nm.

Voor licht met een golflengte van 550 nm is het menselijk oog het meest gevoelig. Een monochrome lichtbron met een afgegeven vermogen van 1 W bij een golflengte van 550 nm geeft een lichtstroom van

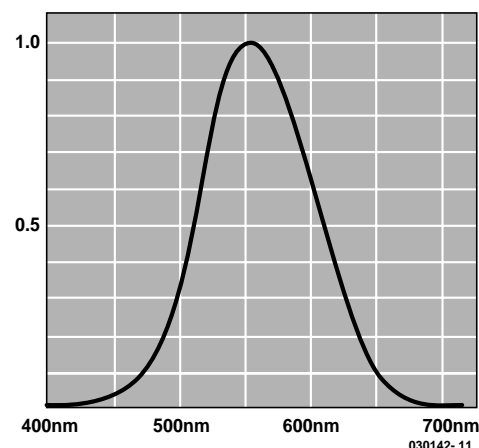
683 lumen. Deze lichtstroom is de som van al het uitgestraalde licht, ongeacht de richting waarin het licht straalt. Wordt bij een golflengte van 650 nm een vermogen van 1 W uitgestraald, dan bedraagt de lichtstroom $683 \cdot 0,107 = 73$ lumen.

Bij lampen wordt vaak de lichtopbrengst vermeld. De lichtopbrengst wordt aangeduid in lumen/watt en dit geeft de verhouding aan tussen de hoeveelheid afgestraald licht en het elektrisch toegevoerde vermogen. Bij lampen die gebruik maken van een voorschakelapparaat (gasontladinglampen) wordt het totaal opgenomen vermogen in de berekening gebruikt. Zo zal het gebruik van een voorschakelapparaat met een laag rendement resulteren in een verminderde lichtopbrengst. In **tabel 1** staat een overzicht van veel

gebruikte lichtbronnen. Hierin is goed te zien hoe sterk vermogens en opbrengsten variëren. De lage-druk natriumlamp is, wat de opbrengst betreft, een recordhouder. Dit type lamp wordt veel gebruikt voor straatverlichting, maar heeft door zijn geel-oranje licht een beperkt toepassingsbereik. Waar wit licht een vereiste is, kunnen helaas alleen lampen worden toegepast met een aanmerkelijk lager rendement.

De candela

Wie een datasheet van een LED bestudeert, zal al snel ontdekken dat de lichteigenschappen niet in lumen maar in candela wordt aangeduid. De candela (cd) is de eenheid van lichtsterkte en geeft de lichtstroom aan van dat deel van het uitge-



Figuur 1. De CIE-gevoeligheidskarakteristiek van het menselijk oog.

Tabel 1. Gegevens van de meest gebruikte lichtbronnen.

lichtbron	opgenomen vermogen (W)	lichtstroom (lm)	candela	lm/W
gloeilamp	75	900	–	12
buisvormige fluorescentielampen	58	5400	–	90
Lage-druk natriumlamp	130	26000	–	200
Hoge-druk kwikdamplamp	1000	58000	–	58
halogeenlamp 12 V	65	1700	–	26
halogeenlamp met 10° reflector	50	–	12500	–
halogeen met 60° reflector	50	–	1100	–
Luxeon-LED	1	18	–	18
Nichia-LED 20°	0,08	–	6,4	–

Tabel 2. De omrekening van openingshoek naar ruimtehoek.

openingshoek (graden)	ruimtehoek (steradianen)
360,0	12,566 (4·π)
180,0	6,283 (2·π)
60,0	0,842
40,0	0,379
38,0	0,342
35,0	0,291
30,0	0,214
25,0	0,149
24,0	0,137
20,0	0,095
15,0	0,054
10,0	0,024



Figuur 2. Luxeon-LED's met een opgenomen vermogen van 1 W.

Tabel 3. De Decostar 51 van Osram met verschillende openingshoeken.

openingshoek (graden)	lichtsterkte (cd)	lichtstroom (lm)	opbrengst (lm/W)
10,0	9100,00	217,576	6,22
24,0	3100,00	425,638	12,16
38,0	1500,00	513,475	14,67
60,0	700,00	589,251	16,84

Tabel 4. De gegevens van de witte Nichia-LED's.

openingshoek (graden)	lichtsterkte (cd)	lichtstroom (lm)	opbrengst (lm/W)
20,0	6,40	0,611	7,64
50,0	1,80	1,060	13,25
70,0	0,48	0,545	6,82

straalde licht dat in een bepaalde richting wordt uitgestraald. Als maat voor de richting geldt de ruimtehoek uitgedrukt in steradianen. Er is sprake van een lichtsterkte van 1 cd als in een ruimtehoek van 1 steradiaal een lichtstroom van 1 lumen vloeit.

Een aanduiding van de lichtsterkte in candela wordt vooral gebruikt bij lichtbronnen die het licht in een bepaalde richting uitstralen, zoals halogeenlampen en LED's. Samen met de lichtsterkte wordt een specifieke openingshoek aangegeven. Deze openingshoek wordt meestal uitgedrukt in graden en wordt zodanig gemeten dat aan de randen van de lichtkegel de verlichtingssterkte is gehalveerd. Bronnen voor laserlicht bereiken een extreem hoge lichtsterkte omdat al het licht wordt uit-

gestraald in een bijzonder kleine openingshoek. In **tabel 2** is te zien hoe een openingshoek zich verhoudt tot de overeenkomstige ruimtehoek uitgedrukt in steradianen. Het vergelijken van lichtbronnen is in de praktijk lastig omdat de verschillende lichtbronnen vaak een verschillende openingshoek, lichtstroom en kleur hebben. Om toch een indruk van de verhoudingen te krijgen, zullen we een aantal voorbeelden bekijken.

voorbeeld 1: fietslampje

De lamp zelf neemt een elektrisch vermogen op van 3 W. De afgegeven lichtstroom bedraagt 30 lm. De lichtopbrengst is dus gelijk aan 10 lm/W. Als het lampje rondom zou stralen met een openingshoek van 360° (4 π sr), dan zou de lichtsterkte 2,4 cd bedragen. Wordt het lampje echter gemonteerd in een reflector, dan kan de lichtsterkte in het midden van de bundel worden verhoogd tot 250 cd!

voorbeeld 2: halogeenlamp 12 V

De Halostar-lamp van Osram (type 6443 IRC) is een rondom stralende 35-W-lamp zonder reflector. De lamp geeft een lichtstroom van 900 lumen. De lichtopbrengst van 26 lm/W is behoorlijk hoog en karakteristiek

voor wat met halogeenlampen haalbaar is.

voorbeeld 3:

halogeenlamp 12 V met reflector

Bij reflectorlampen wordt gewoonlijk de lichtsterkte en de openingshoek gespecificeerd. Omdat deze lampen worden gebruikt om een bepaalde verlichtingssterkte te bereiken, is deze specificatie ook zinvol. Vaak is een reflectorlamp met een bepaald elektrisch vermogen verkrijgbaar in diverse uitvoeringen met een verschillende openingshoek. Voor de lamp Decostar-51 (reflectordoorsnede van 51 mm) van Osram zijn de verschillende waarden in **tabel 3** samengevat. De aangegeven waarden voor de lichtstroom en de lichtopbrengst zijn door berekening tot stand gekomen. In de tabel valt op dat bij de kleinste openingshoek de lichtopbrengst erg laag is. Er van uitgaande dat in elke lamp dezelfde gloeidraad wordt gebruikt, kan worden geconcludeerd dat het scherp bundelen van licht gepaard gaat met grote verliezen. Het specificeren van alleen de lichtsterkte, zonder vermelding van de bijbehorende openingshoek, zou onbruikbare informatie opleveren.

voorbeeld 4: LED's van Nichia

De firma Nichia is er goed in geslaagd een LED te produceren die wit licht afgeeft. In **tabel 4** zijn de gegevens van een aantal van deze LED's samengebracht. Alle LED's zijn getest met een stroom van 20 mA bij een spanning van ongeveer 4 V. De waarden voor de lichtstroom en de lichtopbrengst zijn ook in deze tabel door berekening tot stand gekomen. De lichtsterkte is, in vergelijking met halogeenlampen, betrekkelijk gering omdat het opgenomen vermogen hier slechts 80 mW bedraagt. De lichtopbrengst van 13 lm/W is echter zeer behoorlijk en vergelijkbaar met die van een halogeenlamp.

voorbeeld 5: Luxeon-LED's

Sinds kort fabriceert Lumileds de zogenaamde Luxeon-LED's (**figuur 2**) met een elektrisch vermogen van 1 W. De LED geeft wit licht af en gebruikt een stroom van 330 mA bij een spanning van ongeveer 3,4 V. Voor het type *Lambertian* zijn de

Tabel 5. De lichtstroom van verschillende Luxeon-LED's.

lichtkleur	lichtstroom (lm)
wit	18
groen	25
cyaan	30
blauw	5
royal blue	100 mW
rood	44
amber	36

Tabel 6. De karakteristieken van de LED-spot.

openingshoek (graden)	lichtsterkte (cd)	lichtstroom (lm)	opbrengst (lm/W)
50,0	30	17,7	14,7

belangrijkste gegevens te vinden in **tabel 5**. De lichtopbrengst van de witte LED overtreft hiermee de halogeen-reflectorlamp! Maar ook bij gekleurde LED's wordt een respectabele lichtopbrengst bereikt. De kleur *Royal Blue* heeft een golflengte van slechts 450 nm. Bij deze golflengte is het oog zo ongevoelig dat het uitgestraalde vermogen hier is aangegeven in milliwatts. Deze waarde is meteen ook een indicatie voor de efficiëntie van een dergelijke lichtbron. Van het opgenomen vermogen (1 W) wordt 10% in de vorm van licht uitgestraald.

voorbeeld 6: LED-spot 50 mm

De firma Signal Construct levert een LED-spot (**figuur 3**) die kan worden aangesloten op een gewone 12-V-halogeentrafo. Het opgenomen vermogen bedraagt 1,2 W. De fabrikant specificeert een openingshoek van 50° en een lichtsterkte van 30 candela. De hieruit af te leiden lichtopbrengst van 14,7 lm/W is vergelijkbaar met die van de 50°-Nichia-LED's en vertegenwoordigt daarmee de huidige stand van de techniek. In de spot zijn twaalf LED's ondergebracht. Als per LED 20 mA wordt opgenomen bij 4 V, dan zou het opgenomen vermogen 0,96 W bedragen. Het restvermogen ($1,2 - 0,96 = 0,24$ W) gaat waarschijnlijk verloren in de gelijkrichter en de schakeling voor de stroomregeling.

Koele LED's

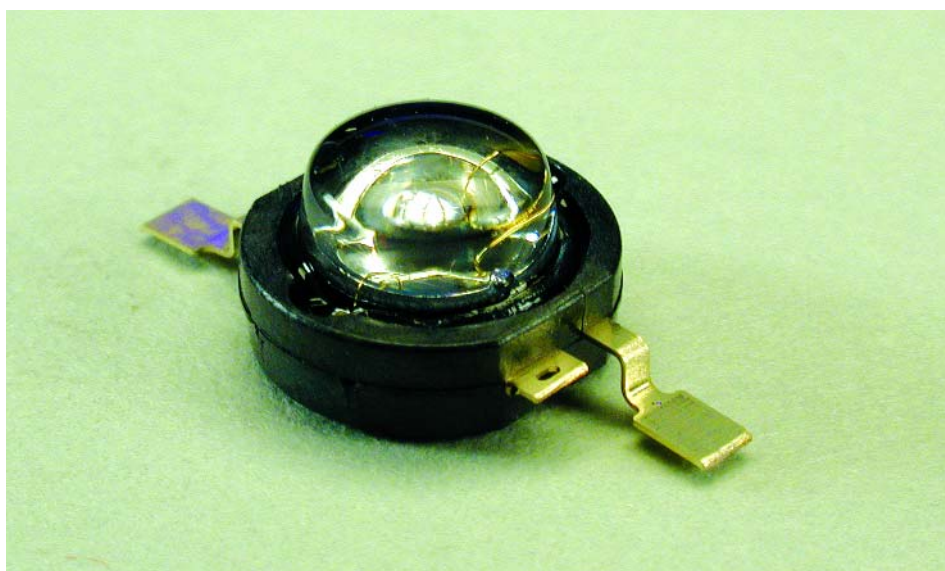
Er wordt wel eens beweerd dat LED's geen warmte produceren en daardoor een veel hoger rendement hebben dan bijvoorbeeld een halogeenlamp. Inmiddels weten we dat de diverse lichtbronnen (tabel 1) eigenlijk maar een zeer gering gedeelte van het toegevoerde vermogen in zichtbaar licht omzetten. Waar blijft de rest van de energie? Een gloeilamp bestaat uit een hete



Figuur 3. Een LED-spot bedoeld voor 12-V-bedrijf.

gloeidraad die een deel van het vermogen afstraalt als infrarood licht. De gloeidraad wordt door deze

afstraling quasi-gekoeld. Een ander deel van de warmte wordt door de gloeidraad door convectie afgegeven binnen de glazen bol

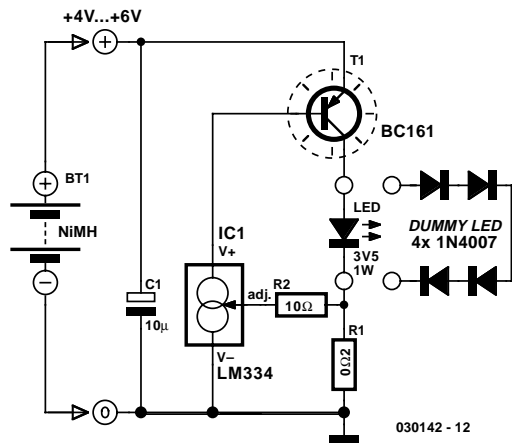


Figuur 4. Een enkele Luxeon-LED.

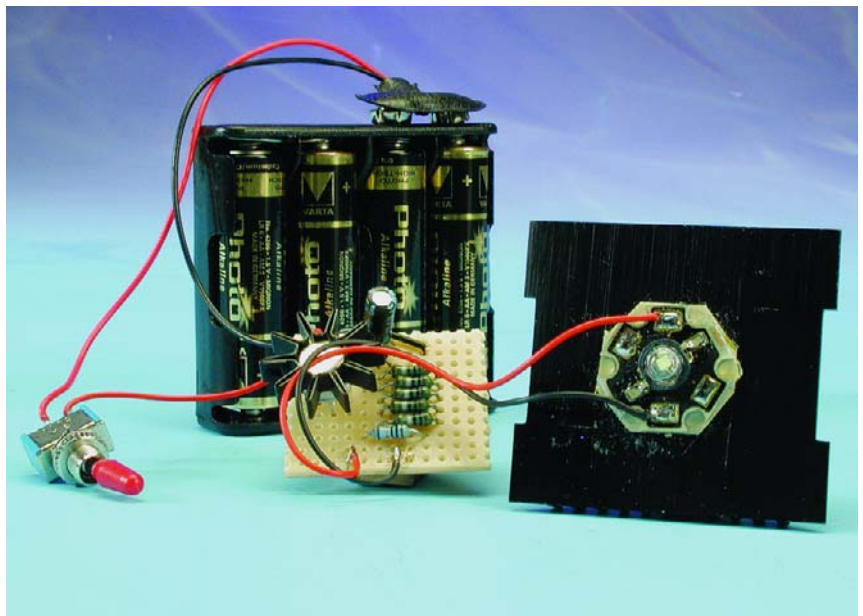
(en via het glas aan de omgevingslucht). Bij LED's is het koelen door radiatie niet mogelijk omdat de temperatuur van de PN-overgang van de diode niet mag oplopen tot boven duizend Kelvin. Bij 125 °C is de energieafgifte door infrarode straling verwaarloosbaar. Een hoogvermogen-LED moet dus worden gekoeld met een koellichaam. Dit koellichaam geeft de overtollige energie voor een klein deel af door IR-straling, maar het grootste deel van de warmte wordt afgegeven door convectie. Zelfs bij LED's met een hoge lichtopbrengst wordt nog altijd ongeveer 90 % van het toegevoerde vermogen in warmte omgezet. Een LED-lichtbron, met een opbrengst vergelijkbaar met een 35 W halogeenvlamp, zou dus voor de koeling een constructief probleem opleveren. Lumileds levert een reeks hoogvermogen-LED's met een passende flens voor montage op een koellichaam.

Luxeon-LED's

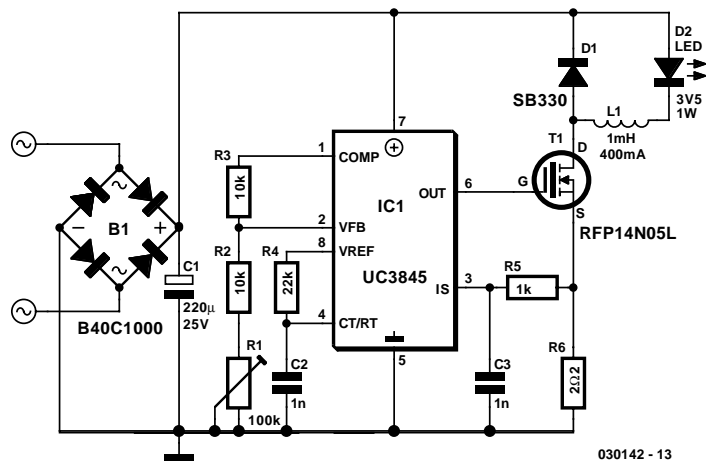
Lumileds is een joint venture van Agilent en Philips. Op dit moment zijn de Luxeon-LED's van Lumileds (figuur 4) de best presterende hoogvermogen-LED's. De nu leverbare types hebben een opgenomen vermogen van 1 W. De witte LED heeft bij een stroom van 330 mA een spanningsval van ca. 3,4 V. De steile diodekarakteristiek maakt het echter ondoenlijk om de LED aan te sturen vanuit een spanningsbron zonder stroombegrenzing. De LED heeft aan de achterzijde een metalen koelvlak voor het afvoeren van de warmte. Aanwijzingen voor de koeling zijn te vinden in het datasheet. Bij een hoge omgevings-temperatuur mag de LED niet meer met de maximale stroom worden aangestuurd (derating). Voor deze LED's is overigens een betrekkelijk klein koellichaam al voldoende. Voor de levensduur specificeert de fabrikant 100.000 uur, wat overeenkomt met ruim 10 jaar continubedrijf! Helaas neemt de lichtstroom geleidelijk wel iets af. Bij de witte LED bedraagt deze afname 20% na 10.000 uur en nog eens 20% in de daaropvolgende 40.000 uur. Toch kan hier worden gesproken van een lichtbron met een lange levensduur. Van een personenauto nemen we meestal afscheid bij een tellerstand van 200.000 km. Bij een gemiddelde snelheid van 50 km/h bedraagt de gebruiksduur van de auto slechts 4000 uur. Deze LED's gaan dus met stelligheid langer mee dan de auto! Ze hoeven dus nooit te worden vervangen. Dat maakt LED's tot een interessante lichtbron voor die toepassingen waar het vervangen van een lampje moeilijk of kostbaar is. Over de Luxeon-LED's is via het Internet veel informatiemateriaal te vinden. Uit deze informatie zijn twee schakelingen



Figuur 5. Een lineaire regelaar voor de 1-W-LED.



Figuur 6. Het prototype van de low-drop regelaar op gaatjesprint.



Figuur 7. Een eenvoudige schakelende regelaar met een rendement van 70%.

geselecteerd waarmee geïnteresseerden direct aan de slag kunnen.

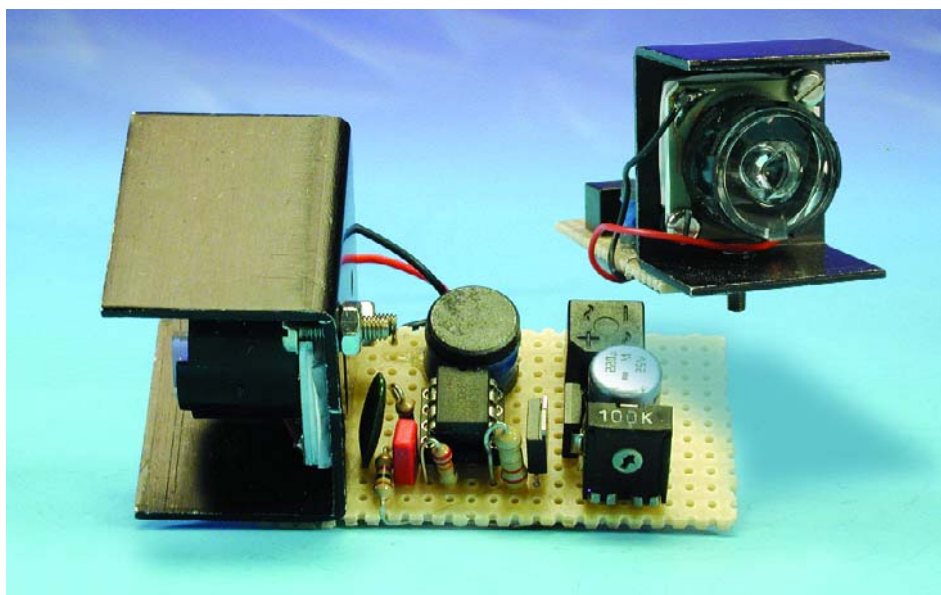
Luxeon-LED met 4,8-V-NiMH-accu

In **figuur 5** is een eenvoudige schakeling te zien waarmee de nieuwe 1-W-LED's kunnen worden aangesloten. De benodigde voedingspanning ligt in het bereik van 4...6 V. Dat is ideaal voor gebruik met vier NiMH-accucellen. IC1 is een stroombron waarvan de stroom afhangt van de spanning over R1 en R2. De uiteindelijke spanning tussen ADJ en V- bedraagt 65 mV. Daardoor wordt de stroom door de LED gestabiliseerd op een waarde van 250 mA. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de referentiespanning van IC1 proportioneel is met de temperatuur. Stijgt de omgevingstemperatuur van 25 °C tot 40 °C, dan zal de stroom toenemen tot 260 mA. Voor de meeste toepassingen is dat voldoende stabiel. Voorkomen moet worden dat IC1 wordt opgewarmd door T1 of LED D1. Het mooie van deze schakeling is dat voor de stroomstabilisatie heel weinig spanning nodig is. De schakeling vormt als het ware een low-drop stroomregelaar. De voedingspanning mag niet veel hoger worden dan 6 V, omdat anders de dissipatie in T1 te groot wordt.

Omdat de LED met een prijs van ca. 10 Euro niet het goedkoopste onderdeel is, kan men bij het in bedrijf nemen van de schakeling beter voorzichtig te werk gaan. Om de LED niet in een flits naar de eeuwige jachtvelden te helpen, kan beter eerst een LED-dummy in de vorm van vier dioden worden gebruikt. Met een regelbare voeding wordt de spanning langzaam verhoogd. Vanaf circa 3 V zal de stroom 250 mA bedragen. Bij het verder verhogen van de spanning zal de stroom nauwelijks meer stijgen. Als alles netjes werkt, kan de LED worden aangesloten. In **figuur 6** is de proefprint te zien met de 1-W-LED van het type Luxeon Star.

12-V-LED-voeding

Als de LED moet worden gevoed vanuit een 12 V accuspanning, dan ligt het gebruik van een lineaire



Figuur 8. Een LED met lens, koellichaam en 12-V-voeding

regelaar zoals eerder besproken niet zo voor de hand. Een dergelijke regelaar zou veel energieverlies opleveren. Een geschikt alternatief is de eenvoudige schakelende regelaar uit **figuur 7**. Hiermee kan de LED worden gevoed vanaf een 12-V-autoaccu of een standaard halogeentrafo (12 V wisselspanning). In de schakeling zijn uitsluitend goed verkrijgbare onderdelen toegepast en het rendement bedraagt 70%. Dit rendement is weliswaar bescheiden, maar aan de componenten worden geen bijzondere eisen gesteld.

IC1, een UC3845, zorgt hier voor de modulatie van de pulsbreedte. RC-netwerk R2/C2 bepaalt de schakelfrequentie. Met P1/R2 wordt de stroom door de LED ingesteld. Omdat L1 hier een grote waarde heeft, zal de stroom door de LED mooi gelijkmatig zijn. Door deze verliesvrije stroombeperking kan een omslachtige meting van de stroom door de LED achterwege blijven. Ook hier kan bij het in gebruik nemen van de schakeling beter eerst een dummy-LED worden ingezet. Zodra de ingangsspanning boven 10 V_{DC} komt, zal de schakeling gaan oscilleren. Met R1 kan de stroom door de LED worden ingesteld op een waarde van ongeveer 250 mA. Bij een voedingspanning van 12 V_{DC} zal de opgenomen stroom niet meer dan 120 mA bedragen. Na de test kan met een gerust hart de

LED worden aangesloten. De ingang mag dan worden gevoed met een 12-V-wisselspanning. Zo kan een bestaand 12-V-halogeensysteem met een modern snuffje worden uitgebreid.

De hier gebruikte LED is van het type Luxeon Star/O en deze heeft een geïntegreerde lens. Een klein koellichaam maakt de LED geschikt voor continubedrijf.

Toekomstige ontwikkelingen

De ontwikkelingen rond deze LED's gaan gestaag door. Inmiddels zijn er LED's aangekondigd met een bedrijfsstroom van 700 mA. Er zijn al projecten waarbij een LCD-monitor van dergelijke LED's wordt voorzien. Ook zijn er auto's in productie met LED-achterlichten. Er zijn zelfs verkeerslichten die werken met deze LED's. Allemaal toepassingen die enkele jaren geleden nog ondenkbaar waren.

(030142)

Web-adressen:

www.luxeon.com
www.nichia.com
www.conrad.nl
www.osram.nl
www.vs-optoelectronic.com