

# Luxe LED-fietsla

## Meer licht – en nooit meer een lampje vervangen

Thomas Scherer

**Stel je hebt een nieuwe fiets. Een hele mooie zelfs, met een naafdynamo. Tevreden peddel je je eerste kilometertjes, maar dan gebeurt het: al binnen twee uur brandt het lampje van de koplamp door! De auteur besloot dat dit echt niet kon en stelde de volgende vergelijking op: Power-LED = nooit meer lampje verwisselen.**

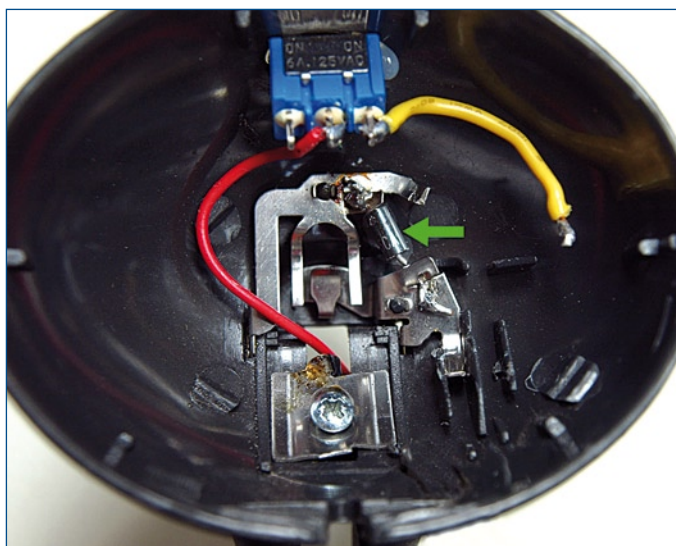
Als het lampje niet in de eerste week was stukgegaan, was dit artikel er misschien nooit gekomen. Een 'homo electronicus' verwisselt niet slechts het lampje. Hij is nooit tevreden met de eenvoudigste oplossing en ziet het probleem als een welkome aanleiding om de zaak tot op de bodem uit te zoeken. En als het even kan, daarbij zoveel mogelijk uit elkaar te schroeven...

### Diagnose

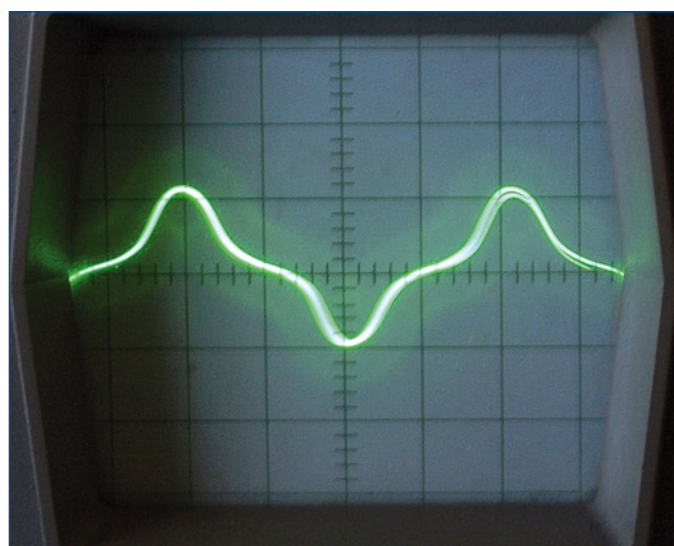
Tegenwoordig is bij het oplossen van

elektronische problemen een nieuwe regel van toepassing: 'Eerst Googlen, dan meten.' En inderdaad: Andreas Oehler van het online-tijdschrift Fahrradzukunft had zich al beziggehouden met de ins en outs van de naafdynamo [1]. Toch kan het internet niet helemaal de plaats van het normale foutzoeken innemen. In **figuur 1** zien we dat parallel aan het lampje een halfgeleider geschakeld is. Deze Transient Voltage Suppressor van het type P6KE7.5CA [2] is een soort antiseriële zenerdiode, die te hoge spanningen moet onderdrukken.

Met de kennis uit [1] is het duidelijk wat het probleem is: een naafdynamo levert bij een normaal toerental gewoon meer dan de benodigde 6 V. De overspanningsbeveiliging moet het lampje daar tegen beschermen. De diode is belastbaar tot 5 W. Bij 6,5 V begint hij te geleiden. Bij 0,5 A staat er ongeveer 7,5 V over de diode. Omdat de naafdynamo zich gedraagt als een stroombron, zou er zonder deze beveiliging al gauw 8...10 V over het lampje staan. Zelfs 7,5 V bleek voor de koplamp van de auteur dus al te veel. De



Figuur 1: Parallel met de gloeilamp zat een begrenzingsdiode in de koplamp.



Figuur 2: De golfvorm van de spanning van een naafdynamo is niet sinusvormig.



golfvorm van de dynamospanning is trouwens niet sinusvormig (zie **figuur 2**).

Navraag bij een filiaal van een grote handelsonderneming in technische materialen bevestigde het vermoeden dat onze auteur niet de enige was met dit probleem: De verkoop van 6 V-lampjes is de laatste tijd opvallend groot. Het achterlicht gaat vaak ook kapot, maar omdat het in dit geval ging om een LED-achterlicht, was dat nog in orde. Bij een LED met voorschakelweerstand stijgt het opgenomen ver-

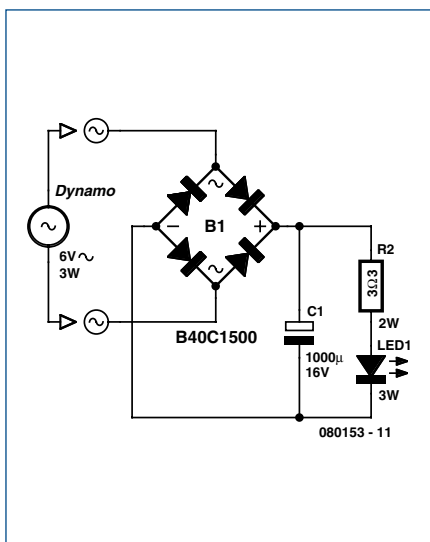
mogen lineair bij toenemende spanning, niet kwadratisch, zoals bij een gloeilampje.

### Power-LED's

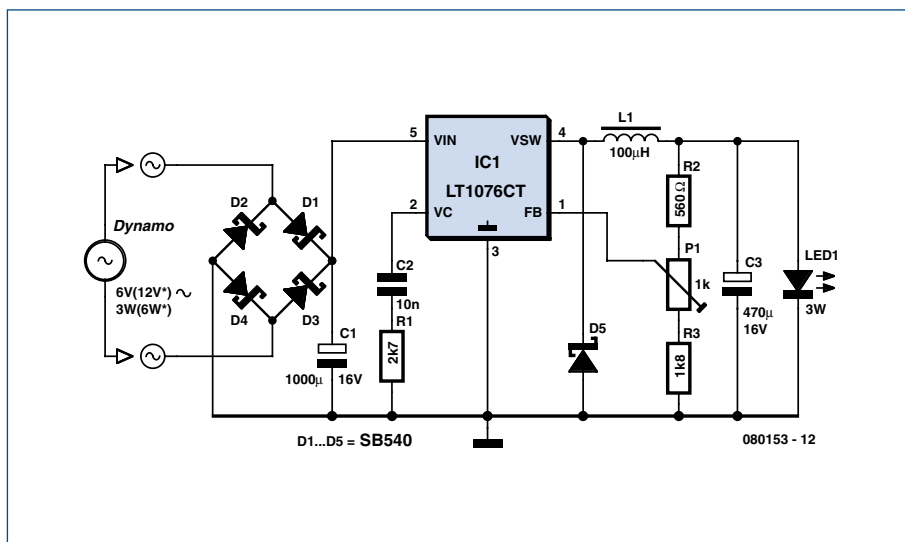
Experimenten met Power-LED's in de koplamp hadden in het verleden vaak teleurstellende resultaten opgeleverd: Er waren toen alleen 1 W-types verkrijgbaar en in combinatie met een normale fietsdynamo leverden die ge-

woon onvoldoende licht op. Ondanks het grotere rendement heeft een 1 W-LED een kleinere lichtopbrengst dan een 2,4 W-gloeilampje. Voordelen waren wel het opvallende witte licht en de lange levensduur van de LED.

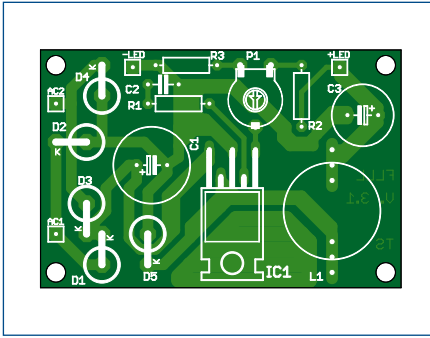
Inmiddels zijn betaalbare LED's van 3 W met een lichtopbrengst van meer dan 110 lumen/Watt verkrijgbaar, beter dan een fluorescentielamp. In **figuur 3** zien we een eenvoudig schema met een 3 W-LED. Deze schakeling geeft ons wel dezelfde lichtopbrengst als een halogeenlamp, maar helaas niet



Figuur 3: De schakeling bij de eerste poging een 3 W-LED te gebruiken als fietsverlichting.



Figuur 4: Het complete schema van onze power-verlichting voor de fiets, die de volle 3 W van de LED weet te benutten.



**Figuur 5:** Ook de Eagle-files van het printontwerp zijn beschikbaar voor download.

veel meer. De stroombroneigenschap van de naafdynamo maakt stromen van meer dan 0,5 A niet mogelijk. Daardoor krijgt de 3 W-LED (met  $U_F = 3,3 \text{ V}$ ) niet meer dan 1,6 W aan vermogen toegevoerd. Dankzij het grotere rendement levert de LED bij dat vermogen ongeveer dezelfde prestaties als een gewoon 2,4 W-gloeilampje.

Om de maximale helderheid te bereiken, zou de 6 V van de dynamo verliesvrij omgezet moeten worden in een spanning van 3,3...3,8 V bij een stroom van 700 mA.

Een schakelende step-down-converter haalt bij deze lage spanning een rendement van zo'n 80%. En dan is er nog de gelijkrichting: Zelfs bij gebruik van Schottky-dioden in brugschakeling (2 x 0,4 V spanningsval) gaat daarin nog eens 0,4 W verloren bij 0,5 A. Na aftrek van 0,1 W voor de voeding van het achterlicht, hebben we dan nog 2,5 W over. En bij een rendement van de omzetter van 80% resteert nog 2 W voor het voeden van de koplamp. In vergelijking met het schema in **figuur 3** is de winst dus een magere 0,4 W.

Maar we moeten ons door de theorie niet laten ontmoedigen: Volgens [1] kan een naafdynamo namelijk tot 12 V leveren. Bij 0,5 A is dus zelfs 6 W beschikbaar!

Zo veel hebben we niet eens nodig: Als we de 3 W voor de LED delen door het rendement van de schakelende omvormer, dan hebben we aan 3,6 W genoeg. Bij 0,5 A is dat dus 7,2 V. Tellen we daar 0,8 V voor de Schottky-gelijkrichter bij op, dan komen we uit op 8 V. Dat kan een naafdynamo gemakkelijk leveren.

Probleem opgelost. En de schakelende regelaar heeft nog een ander voordeel: Hij beschermt de LED tegen te grote stromen en zorgt dus vanaf een bepaald toerental voor een heel constante lichtopbrengst.

## Onderdelenlijst

### Weerstanden:

- R1 = 2k7
- R2 = 560  $\Omega$
- R3 = 1k8
- P1 = instelpotmeter 1 k, klein, liggend

### Condensatoren:

- C1 = 1000  $\mu$ /35 V, radiaal, steek 5 mm
- C2 = 10 n
- C3 = 470  $\mu$ /16 V, radiaal, steek 5 mm

### Halfgeleiders:

- D1...D5 = SB540 (Schottky)\*

LED1 = 3-W-Power-LED wit\*

### Diversen:

- L1 = 100  $\mu$ /1 A (bv. Reichelt L-PISR 100  $\mu$ )\*
- Optica voor de power-LED (20°-type)\*
- Print 080153-1 (Lay-out incl. Eagle-files en bestelgegevens zijn te vinden op de pagina van dit project op [www.elektor.nl](http://www.elektor.nl))

\* zie tekst

## Schema

In **figuur 4** zien we een step-down-converter met de LT1076 [3]. Het IC heeft maar weinig externe componenten nodig, verbruikt zelf niet meer dan 8,5 mA, schakelt met een frequentie van 100 kHz, start al bij 3,5 V en kan tot 2 A leveren.

De bruggelijkrichter bestaat uit D1...D4. D5 dient als vrijlooptdiode. De SB540 is geschikt voor stromen tot 5 A en is dus voor deze toepassing ruim gedimensioneerd. Bij 0,5 A is de spanningval slechts 0,33 V. Voor D1...D5 kunnen eventueel ook 1 A-Schottkydioden, zoals de SB140, ingezet worden. Het rendement zal dan ongeveer 2% slechter uitvallen.

R1 en C1 aan pen 2 van IC1 dienen voor de frequentiecompensatie. Voor het stabiliseren van de uitgangsspanning wordt de spanning op pen 1 vergeleken met de interne referentiespanning van 2,21 V. Met de instelbare spanningsdeler opgebouwd uit R2, P1 en R3 kunnen zo spanningen van 2,7...4 V ingesteld worden.

L1 is een vaste spoel van 100  $\mu$ H, geschikt voor 100 kHz en 1 A. Een kleine ohmse weerstand is gunstig voor het rendement. Maar erg kritisch is dat niet: Zelfs met een gewone 100  $\mu$ H ringkern-ontstoorspoel werd een rendement van meer dan 75% gehaald.

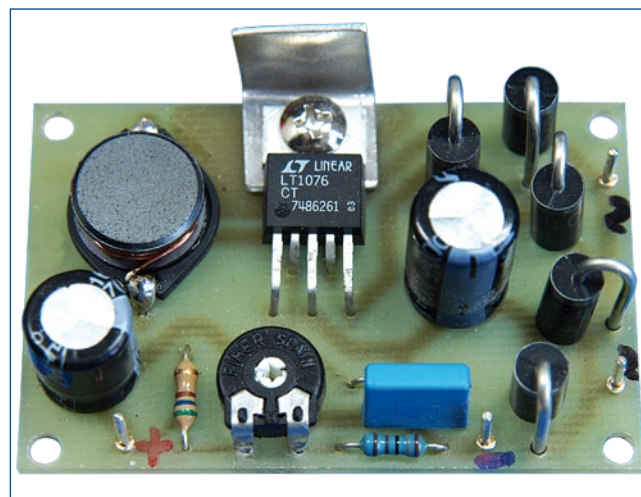
## Opbouw en test

Met behulp van de printplaat (**figuur 5**) is de opbouw van deze schakeling kinderspel. Deze lay-out is gemaakt met Eagle. De Eagle-bestanden en de lay-out in PDF-formaat zijn te downloaden van de pagina bij dit artikel op [www.elektor.nl](http://www.elektor.nl).

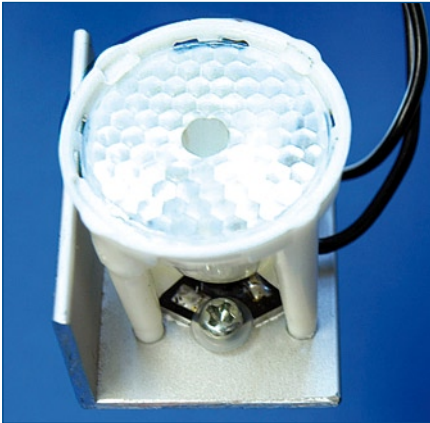
Als IC1 liggend gemonteerd wordt, moeten de pootjes precies goed gebogen worden. Een klein koellichaam (bijvoorbeeld een aluminium hoekprofiel zoals in **figuur 6**) is voor dit IC voldoende. Omdat er in deze toepassing maar 0,5 W verstookt wordt, kan eventueel ook volstaan worden met het vast solderen van de (M3) bevestigingsmoer op het koperoppervlak aan de achterzijde.

De in de onderdelenlijst genoemde spoel is een goedkope SMD-uitvoering die met twee aangesoldeerde draadstukken gemakkelijk te plaatsen is. Op de print is ook ruimte voor het plaatsen van andere uitvoeringen van deze spoel voorzien.

Na het bestukken en de controle kan de schakeling verbonden worden met een labvoeding (of een netadapter) met een spanning van 9...12 V (minimaal 0,5 A). De uitgang moet belast



**Figuur 6:** Prototype van de schakelende regelaar: De schakeling kan heel compact opgebouwd worden.



Figuur 7: LED en montageplaat plus optische elementen worden met een aluminium hoekprofiel tot een module samengevoegd.

worden met een weerstand van  $4,7 \Omega / 4 \text{ W}$ . De uitgangsspanning zou nu binnen het genoemde bereik instelbaar moeten zijn en IC1 mag wel warm worden, maar niet heet. Het totale rendement zou bij 10 V aan de ingang en 3,75 V op de  $4,7 \Omega$ -weerstand ongeveer 75% moeten zijn: De schakeling neemt dan 4 W op en geeft 3 W aan de belastingsweerstand af.

Belangrijk: stel voor het uitschakelen P1 in op de laagste uitgangsspanning om te voorkomen dat de LED bij de eerste keer inschakelen overbelast wordt.

Voordat de LED wordt aangesloten, schroeven we hem eerst samen met

zijn montageplaat vast op een aluminium koelprofiel (vergeet niet warmtegeleidende pasta te gebruiken). Het beste is om ook de optische reflector meteen aan dit aluminiumprofiel te bevestigen. Zo ontstaat dan een compacte lichtmodule (zie **figuur 7** en **8**). Daarmee voorkomen we ook dat we meteen ons netvlies verbranden door per ongeluk in de LED te kijken. De module wordt ingebouwd in de koplamp, waarbij de oorspronkelijke beschermingsdiode voor het lampje natuurlijk verwijderd wordt. In **figuur 9** is het prototype van de auteur te zien. Na wat frezen kon de module aan de binnenkant van de reflector gelijmd worden. De elektronica krijgt een plaatsje in een klein kunststof kastje buiten de koplamp.

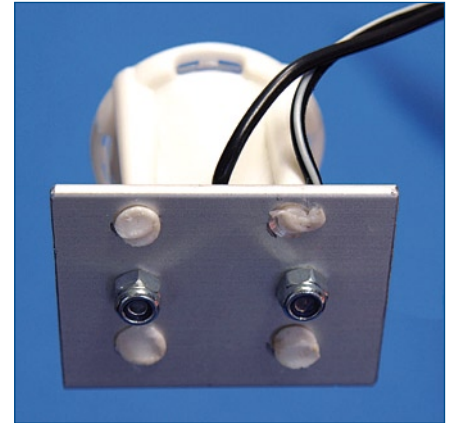
### Afregeling

Zoals in het tekstkader verklaard wordt, moet de uitgangsspanning afgeregeld worden om de voor de LED toegestane stroom van 0,7 A te berei-

## Kijk nooit rechtstreeks in de brandende power-LED!

ken. Voor de maximale levensduur van de LED (20.000 uur) is het van belang die waarde niet te overschrijden. Bij een goede koeling kunnen de meeste LED's van dit type zelfs wel 1 A verdragen.

Het afregelen is eenvoudig. We moeten niet de stroom door de LED proberen te



Figuur 8: De achterkant van de LED-module. De vier plastic noppen van de optica worden vastgesmolten. De LED is geïsoleerd met behulp van U-vormige kunststof schijven.

meten, want de inwendige weerstand van de stroommeter zou de schakeling te veel beïnvloeden. In plaats daarvan sluiten we de LED rechtstreeks aan op de uitgang en meten we de ingangsstroom van de module. We beginnen

bij de laagste waarde (P1 linksom) en stellen de potmeter dan zo in, dat bij een ingangsspanning

van 10 V een stroom van 0,4 A loopt. Omdat het totale rendement van de schakeling 75% is, weten we dan dat de LED circa 3 W geleverd krijgt. Bij een ingangsspanning van 12 V stellen we de stroom dus in op 330 mA. Doordat  $U_F$  van de LED afneemt met de temperatuur en de stroom dus groter

wordt als de LED warmer wordt, moet P1 enkele keren bijgesteld worden. Na ongeveer 5 minuten zal de stroom stabiel blijven en is de afregeling klaar.

**Let op: kijk nooit rechtstreeks in de brandende LED! En: de LED wordt heet!**

Bij een laag toerental levert een naafdynamo een spanning met een lage frequentie. Bij snelheden van minder dan 5 km/h zal het licht pulseren, pas vanaf zo'n 10 km/h zal het constant branden. De schakeling is niet getest voor het gebruik met een normale dynamo. Bij grote snelheden (>30 km/h) zal de

spanning van de naafdynamo zonder de begrenzdioden toenemen tot ±12 V. Voor de LED zelf is dat geen probleem, omdat de schakeling hem beschermt. Als het achterlicht is uitgerust met een gewoon lampje van 6 V/0,6 W, dan zal dat al snel doorbranden. Bij gebruik van een LED-lamp als koplamp moet dus ook voor het achterlicht een LED-lamp gebruikt worden. Deze zijn echter goedkoop kant-en-klaar te krijgen.

Ondanks het feit dat ons zelfgebouwde licht helder en betrouwbaar is, is de wetgever niet in alle Europese landen

even positief over dit soort eigen initiatieven. Het kan geen kwaad de wegenverkeerswet daarover te raadplegen.

(080153)

## Weblinks

**[1] Labortest Nabendynamos:**

[www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm](http://www.fahrradzukunft.de/fz-0601/0601-01.htm)

**[2] Datasheet P6KE7.5CA:**

[www.fairchildsemi.com/ds/P6%2FP6KE7V5CA.pdf](http://www.fairchildsemi.com/ds/P6%2FP6KE7V5CA.pdf)

**[3] Datasheet LT1076:**

[www.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1003,C1042,C1033,P1007,D2659](http://www.linear.com/pc/downloadDocument.do?navId=H0,C1,C1003,C1042,C1033,P1007,D2659)

## Lichtshow

Het belangrijkste onderdeel van deze schakeling is de power-LED. Op de foto's zien we de beste exemplaren van drie fabrikanten. Ze hebben allen een rendement van 90...110 lm/W. Ze leveren dus prestaties die vergelijkbaar zijn met fluorescentielampen. Er zijn ook goedkopere 3 W-LED's van mindere kwaliteit in de handel. Deze hebben een lager rendement. Het zou verkeerd zijn om hier op de prijs te bekijben. Ook de keuze voor de warm-witte exemplaren met een geringere lichtopbrengst is geen goed idee. De afgebeelde exemplaren worden geleverd op een montageplaat met aluminium kern, wat de warmteafvoer gemakkelijker maakt. Bij 3 W wordt altijd nog 2 W gedissipeerd in

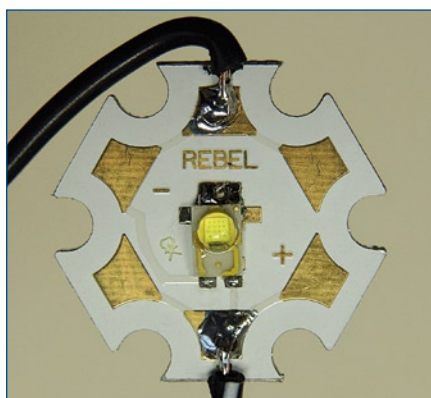
Dat heeft gevolgen:

LED's worden om goede redenen niet gebruikt bij een constante spanning. Ze worden altijd aangestuurd met een vaste stroom. Dat is nodig in verband met de kleine inwendige weerstand. Bij deze LED's zouden we bij de typische  $R$  van 0,2  $\Omega$  te maken hebben met een stroomtoename van 0,1 A als de stroom 20 mV toeneemt. En 20 mV is niet veel, zeker omdat  $U_F$  sterk afhankelijk is van de temperatuur. Een temperatuurverschil van 10°C leidt dus al tot een stroomverschil van 0,1 A.

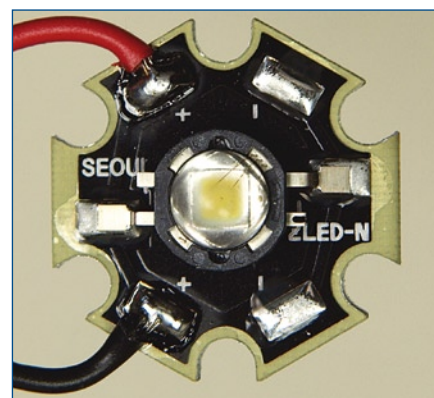
Helaas zijn IC's voor step-down-converters gedimensioneerd als constante spanningsbronnen en niet als constante stroombronnen. De in-



De 3-W-power-LED van Cree met koellichaam is een esthetisch stukje elektronica.



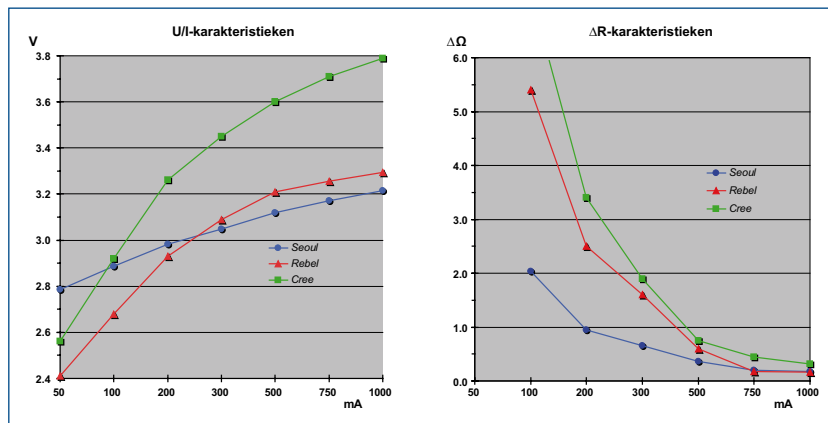
De 'Rebel' van Luxeon is erg klein en heeft een ceramische drager.



De Z-LED van Seoul is in zacht siliconenmateriaal om vertroebeling op lange termijn tegen te gaan.

de vorm van warmte, dus ongekoelde power-LED's hebben geen lang leven.

Om het verschil tussen de drie fabrikanten aan te tonen, is van elk van de drie LED-types een exemplaar doorgemeten. Het resultaat is hiernaast weergegeven. Hierin is te zien dat er een duidelijk verschil is in de spanningen en dat het verschil tussen de weerstanden van de LED's rond 0,75 A erg klein is.



LED-karakteristieken: spanning (links) en differentiele weerstand (rechts) bij verschillende stromen.

terne referentiespanning van het toegepaste IC is 2,21 V. Dat is te veel om te kunnen vergelijken met de spanning over een serieeestand en zo een stroomregeling te maken. Dat zou leiden tot een vermogensverlies van 1,6 W bij een stroom van 0,75 A. Er zit dus niets anders op dan de spanning voor de toegepaste LED nauwkeurig af te regelen met P1. Bij een  $R$  van 0,2  $\Omega$  is dat nog wel te doen.