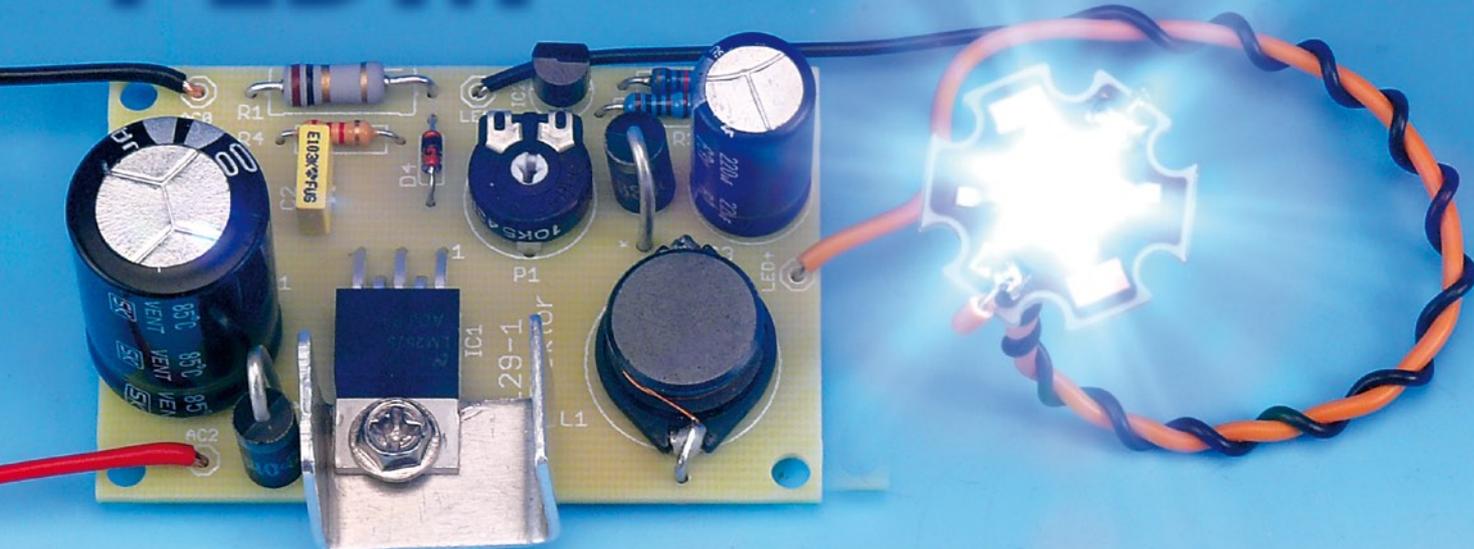


PLDM



Power-LED-Driver-Modul

Von Dr. Thomas Scherer

In diesem Jahr übertrafen LEDs zum ersten Mal den Wirkungsgrad von Leuchtstofflampen. Power-LEDs sind also erstmals eine realistische *und* energiesparende Beleuchtungs-Alternative. Um sie leuchten zu lassen, braucht es allerdings etwas Elektronik: ein universelles Power-Modul muss her.

Eines ist sicher: Das 21ste Jahrhundert wird das Jahrhundert der Halbleiter-Lichtquellen werden. Gründe? Siehe Kasten: „LEDs heute“.

Strom für LEDs

Der niedrige dynamische Widerstand und der ausgeprägte negative Tem-

peraturkoeffizient der Durchlassspannung von LEDs lässt einen Betrieb mit einer konstanten Spannung nicht zu, sondern erfordert einen konstanten



Bild 1. Die vom Autor für Experimente verwendete 3-W-LED von Cree ist ein besonders ästhetisches Stück Elektronik.

Technische Daten

- Universelle geschaltete LED-Stromquelle
- Wirkungsgrad bis maximal 87%
- Eingangsspannung: 2 x 6...27 V \approx
- Maximale Eingangsspannung: 40 V
- Ausgangstrom einstellbar 0,1...1 A (max. 2 A)
- Bis zu acht weiße LEDs in Serie
- Maximale Ausgangsspannung 34 V
- Mehrere Module an einem Trafo

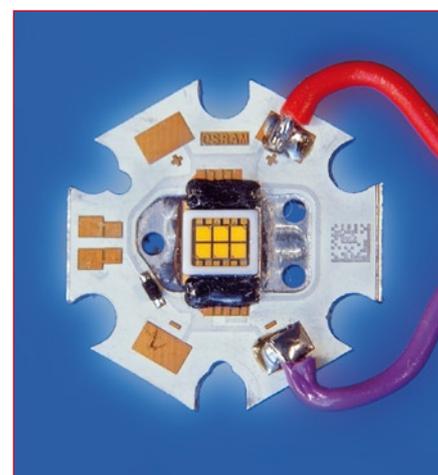


Bild 2. Mit OSTAR, einer Hexa-3-W-LED, ist Osram im Markt für Halbleiter-Licht präsent.

LEDs heute

Pro:

Eine Glühlampe hat bei ihrer Standard-Farbttemperatur von 2.700 K einen Leuchtwirkungsgrad von höchstens 15 lm/W = 3 % Wirkungsgrad. Nach 1.000 h ist sie durchgebrannt. Eine Halogenlampe lebt vier Mal so lange und gibt mit 5 % Wirkungsgrad und 25 lm/W etwas mehr Licht ab.

Leuchtstofflampen erreichen einen Wirkungsgrad von über 20 % (bis zu 100 lm/W) sowie eine Brenndauer von über 10.000 h. Moderne Energiesparlampen bringen es - bedingt durch die kleinere Bauform - nur auf etwa 60 lm/W. Leider erreichen sie ihre reguläre Helligkeit erst nach einiger Zeit (bei niedrigen Temperaturen nie), und häufiges Schalten bekommt ihnen nicht.

Die Features moderner weißer [1] Hochleistungs-LEDs:

- Leuchtwirkungsgrad bis über 100 lm/W (aktuell schon über 150 lm/W).
- Lebensdauer bis über 50.000 Stunden
- Sehr schnelles und problemlos häufiges Ein- und Ausschalten.
- Kleine Bauform = neue Freiheit beim Leuchten-Design.

Kontra:

Die Vorteile von Power-LEDs sind so deutlich, dass es erstaunt, warum man nicht längst überall LED-Lampen kaufen kann. Die schon erhältlichen mit den vielen kleinen 5-mm-LEDs taugen nicht wirklich viel. Die gegen vernünftige LED-Leuchten sprechenden Gründe dürften der hohe Preis und die Kühlungsanforderungen sein.

Eine einzelne „gute“ weiße 3-W-LED wie in **Bild 1** kostet heute zwar nur noch etwa sechs Euro, doch spezielle hocheffiziente LEDs, 5-W-Typen, multiple (siehe **Bild 2**) oder RGB-LEDs (in der Illustration) sind noch ein ganzes Stück teurer. Zudem sollte eine LED aus Gründen der Lebensdauer nicht zu heiß werden. Auch der Wirkungsgrad verbessert sich durch Kühlung, da er mit steigender Temperatur sinkt. Eine gute Kühlung bedeutet aber auch einen höheren Aufwand. Aus diesen Gründen ist verständlich, dass LED-Leuchten guter Qualität im Moment noch unter dem Etikett „Designerlampe“ laufen und eher Luxus sind.

Warnung vor hellen LEDs!
Auf keinen Fall direkt auf/in die LEDs blicken! Die sehr hell strahlenden LEDs sind nicht nur unangenehm, sondern gefährlich für die Augen, weil sie die Netzhaut schädigen können.

Betriebsstrom.

Aus dem gleichen Grund schaltet man LEDs auch nicht parallel, sondern in Serie. Andernfalls würden Exemplarstreuungen zu ungleicher Lastverteilung und Helligkeit führen.

Bei Power-LEDs für Beleuchtungszwecke spielt die Energieeffizienz eine große Rolle. Von daher gibt es zum Einsatz eines Schaltreglers zur Ansteuerung von Power-LEDs keine Alternative. Leider liefern einfache und gängige integrierte Schaltregler keinen konstanten Ausgangsstrom, sondern eine konstante Ausgangsspannung. Man kann sie auch nicht einfach als geschaltete Stromquelle einsetzen. Das liegt daran, dass die interne Referenzspannung für den Korrekturverstärker meist bei etwa 2,5 V und nur selten bei 1,2 V liegt. Und selbst bei einer 1,2-V-Referenzspannung ist eine Regelung des Stroms über den Spannungsabfall an einem so genannten Shunt-Widerstand keine brauchbare Lösung: Bei einem Strom von 1 A ist für 1,2 V Spannungsabfall ein 1,2-Ω-Shunt erforderlich, an dem alleine schon 1,2 W an Verlustleistung entstehen. Spezielle LED-Treiber-ICs sind zwar im Kommen, aber praktisch immer in schwer

zu lötenen SMD-Gehäusen. Ein kleiner Schaltungstrick bietet eine Alternative.

PLDM-Schaltung

Möchte man einen robusten und preiswerten integrierten Schaltregler im fünfpoligen TO220-Gehäuse wie den LM2575-ADJ verwenden, dann besteht der Kunstgriff bei der Verwandlung in eine geschaltete Stromquelle darin, das Fehlersignal „hochzulegen“. Die Schaltung in **Bild 3** für ein „universelles Treiber-Modul für Power-

LEDs“ überrascht dadurch, dass sie sehr einfach und nachbaufreundlich ausfällt.

D1 und D2 richten die Spannung des Netztrafos gleich, der über zwei gleich große Sekundärwicklungen beziehungsweise eine Wicklung mit Mittelanzapfung verfügt. Gegenüber einem Brückengleichrichter spart man so die Verluste einer Diodenstrecke ein. Schottky-Dioden reduzieren den Spannungsabfall auf unter 0,5 V. Die gleichgerichtete Spannung versorgt über Pin 1 den Schaltregler IC1, einen

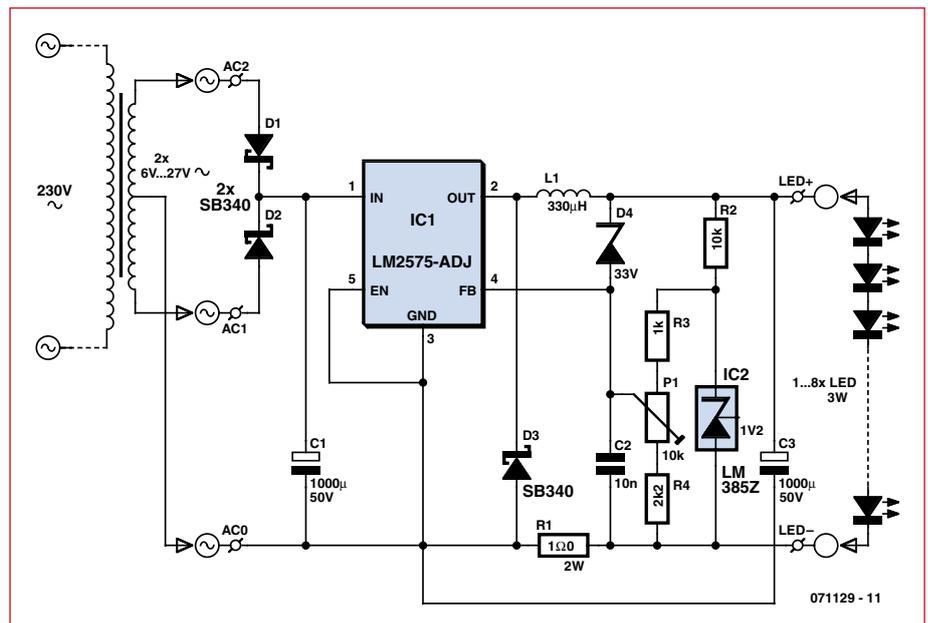


Bild 3. Die Schaltung des geschalteten Spannung/Strom-Konverters.

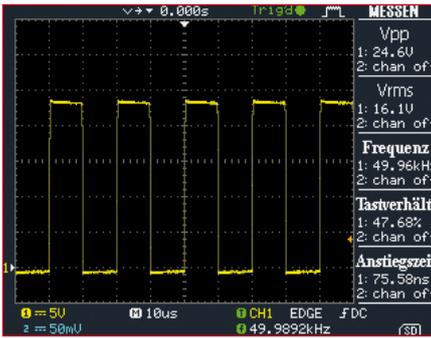


Bild 4. Bei Versorgung mit knapp 25 V und fünf an ein PLDM angeschlossenen 3-W-Power-LEDs bei 0,7 A liegt das Tastverhältnis des Schaltreglers bei etwa 50 %.

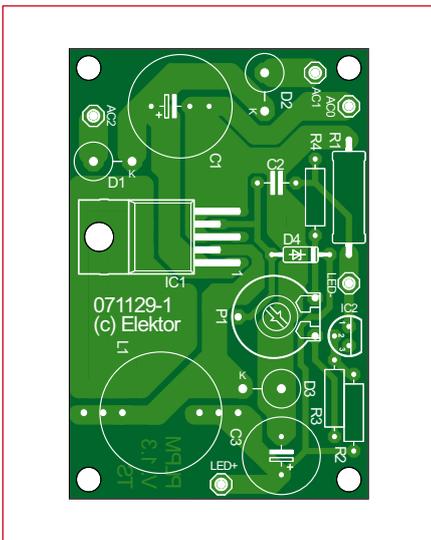


Bild 5. Die PLDM-Platine ist nur 60 x 40 mm groß.

Stückliste

Widerstände:

- R1 = 1 Ω / 2 W (Kohle- oder Metallschicht)
- R2 = 10 k
- R3 = 1 k
- R4 = 2k2
- P1 = 10 k

Kondensatoren:

- C1 = 1000 μ/50 V*
- C2 = 100 n
- C3 = 220 μ/35 V*

Halbleiter:

- D1...D3 = SB340*
- D4 = ZPD33V*
- IC1 = LM2575T-ADJ* LM2575T-ADJ
- IC2 = LM385Z1.2

Außerdem:

- L1 = 330 μH / 1,9 A* (SMD-Powerinduktivität, z.B. FASTRON PISR-331M-04, Reichelt-Bezeichnung L-PISR 330 μ)
- Tr = 2 x 6...27 V*
- Platine 071129-1

* siehe Kasten "Leistung & Bestückung"

so genannten „Buck-Converter“ als Abwärtswandler. Die Spannung am Eingang muss also immer höher als am Ausgang sein. Im IC befindet sich ein Korrekturverstärker, der einen Pulsbreiten-Modulator mit Schalttransistor steuert. Das erzeugte PWM-Signal liegt an Pin 2 (siehe **Bild 4**). IC1 stellt das Signal so ein, dass am Eingang Pin 4 genau 1,2 V liegen.

Bei der Spule L1 handelt es sich um eine preiswerte Festinduktivität, auf deren genauen Induktivitätswert es nicht so sehr ankommt. Wichtig ist, dass sie sich für rund 2 A eignet und dass es sich bei D3 um eine Schottky-Diode handelt.

Die am Shunt-Widerstand R1 abfallende Spannung wird über die Spannungsreferenz IC2 um 1,2 V angehoben - das ist der Trick. Mit den angegebenen Werten für R3 und R4 lässt sich daher der Ausgangsstrom mit P1 stufenlos zwischen 100 mA und 1 A einstellen. D4 begrenzt die maximale Ausgangsspannung auf 34,2 V. Das war's auch schon.

PLDM-Aufbau

Die Anpassung an die Zahl der verwendeten LEDs ist im Kasten „Leistung & Bestückung“ aufgeführt. Da keine SMDs vorkommen, gibt es bei der Bestückung der kleinen Platine von **Bild 5** nur zwei Aspekte zu beachten: Die drei Dioden D1...D3 haben dicke Anschlussdrähte. Da sie stehend montiert werden, darf man aufgrund der auftretenden Kräfte nicht einfach einen Draht umbiegen. Man muss den Draht hierbei direkt am Diodenkörper mit einer Pinzette halten, um eine Beschädigung des Diodengehäuses zu vermeiden.

Bei einer Ausgangsleistung von unter 10 W kann IC1 flach liegend auf die Platine geschraubt werden. Die Wärme wird dann mit einer M3-Schraube an eine auf die rückwärtige Leiterbahn gelötete M3-Mutter (**Bild 6**) abgeführt. Bei mehr als 10 W Ausgangsleistung ist ein kleiner Kühlkörper erforderlich. **Bild 7** zeigt den bestückten Prototypen, der mit einem kleinen zusätzlichen Aluwinkel zur Kühlung für etwa 15 W Ausgangsleistung gerüstet ist. An ein PLDM können maximal acht weiße LEDs in Serie angeschlossen werden. Mehrere PLD-Module können allerdings parallel an einen Trafo angeschlossen werden.

PLDM-Einbau

Wenn man viele einzelne 1-W-LEDs wie in **Bild 8** verwendet, bereitet die Wärmeabfuhr wenig Kopfzerbrechen. Man kann die LEDs einfach reihum mit etwas Wärmeleitpaste und Kunststoffschrauben auf das übliche lackierte Stahlblech des Lampengehäuses schrauben. Anders ist es hingegen bei „richtigen“ Power-LEDs mit 3 W oder mehr: In **Bild 9** ist der Einbau der PLDM-Elektronik samt zweckentfremdetem „Elektronischem Trafo“ (siehe Artikel in dieser Ausgabe) zu sehen. In der Mitte prangt eine warmweiße OSTAR-Hexa-LED mit gut 15 W Leistungsaufnahme. Davon werden mindestens 12 W in Wärme umgewandelt. Wie sich bei Tests gezeigt hat, leitet Stahlblech die Wärme schlecht und die LED wurde im Betrieb deutlich über 110 °C heiß! Ein Stück Alublech half.

(071129e)



„ACULED“ von PerkinElmer Elcos

Warnung!

Niemals LEDs an ein PLDM unter Spannung anschließen! Ist C3 geladen, zerstört der Entladestrom die LEDs zuverlässig. Stattdessen erst LEDs an PLDM anschließen und dann einschalten.

Links & Literatur:

[1] **Prinzip weißer LEDs:**
http://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtdiode#Wei.C3.9Fe_LED

[2] **LED-Kühlung (Perkin-Elmer):**
http://optoelectronics.perkinelmer.com/Content/ApplicationNotes/APP_ThermalManagementofACULEDVHL.pdf

Leistung und Bestückung

Abhängig von der Anzahl der in Serie geschalteten LEDs kann man die Bestückung des Moduls anpassen. Die universelle Bestückung laut Schaltplan ist fett dargestellt.

Nach Anzahl weißer LEDs				
LEDs	Tr. sek.	C1	C2	D4
1	2 x 6 V	16 V	16 V	ZPD12V
1...2	2 x 9 V	25 V	25 V	ZPD22V
1...3	2 x 9 V	25 V	25 V	ZPD22V
1...4	2 x 12 V	25 V	25 V	ZPD22V
1...5	2 x 15 V	25 V	25 V	ZPD22V
1...6	2 x 18 V	35 V	35 V	ZPD27V
1...7	2 x 24 V	50 V	35 V	ZPD33V
1...8	2 x 27 V	50 V	35 V	ZPD33V

Die erforderliche Leistung des Trafos ergibt sich aus der Leistung der angeschlossenen LEDs geteilt durch den Wirkungsgrad der Schaltung plus Reserve. Ein Beispiel: Es werden vier 3-W-LEDs angeschlossen. Der Strom durch die LEDs beträgt 750 mA. Als „worst case“ nimmt man eine Durchlassspannung von 4 V an. Die Last beträgt daher $4 \times 3 = 12 \text{ W}$. Der PLDM-Gesamt-Wirkungsgrad liegt bei gut 85 %. Kalkuliert man vorsichtig mit 80 %, muss der Trafo $12 \text{ W} / 0,8 = 15 \text{ W}$ liefern können. Mit einem 18-VA-Trafo mit $2 \times 12 \text{ V}$ sekundär ist man also auf der sicheren Seite.

Möchte man höhere Leistungen (bis etwa 50 W), so geht auch das. Mit $R1 = 0,47 \Omega / 2 \text{ W}$, $C1 = 2.200 \mu\text{F}$ und $D1...D3 = \text{SB540}$ sowie dem Typ LM2576T-ADJ für IC1 und $100 \mu\text{H}$ für L1 kann man Ströme bis 2 A einstellen. IC1 muss dann natürlich besser gekühlt werden. Und falls man anstelle des LM2576 den Ersatztyp P3596 geliefert bekommt – keine Panik, der funktioniert auch.

Bei RGB-Power-LEDs sollte man Exemplare mit getrennten Anoden und Kathoden auswählen und jeweils alle roten, grünen und blauen LEDs in Serie an einem eigenen PLDM betreiben. Dann kann man mit den Trimpotis die gewünschte Lichtmischung einstellen.

Wenn man den Strom durch die LEDs mit P1 einstellt, kann man seinen Spannungsabfall über R1 mit einem Voltmeter messen. Für Experimente empfiehlt sich eine „Pseudo-LED“: ein 10- Ω -Widerstand mit 10 W Belastbarkeit. Dann leben die LEDs länger.

Licht & Temperatur

Selbstverständlich empfiehlt sich der Blick in das Datenblatt der LEDs, **bevor** man eine LED-Leuchte baut und die zugehörige Vorschalt elektronik anschließt. Insbesondere das thermische Verhalten ist vom jeweiligen Fabrikat abhängig. Als Richtschnur dienen Grafiken mit dem typischen Spektrum weißer LEDs und dem Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Temperatur (siehe www.elektor.de/071129) sowie eine Tabelle mit typischen Angaben. Handelsübliche Power-LEDs erreichen leider nicht die aktuellen Rekorde von über 150 lm/W. Als Faustregel kann man daher sagen, dass ein LED-Watt ungefähr vier Glühlampen-Watt entspricht.

Leistungs-LEDs müssen zwingend gekühlt werden. Einfacher zu handhaben sind LEDs, die schon auf kleinen Alu-Trägern montiert sind. Genaueres zum thermischen Management von Power-LEDs ist in [2] enthalten. Aus dieser Quelle stammt auch die als Illustration verwendete „ACULED“.

Typische Werte von weißen 3-W-Power-LEDs

Lichtstrom:	100...200 lm
Abstrahlwinkel (50 % Helligkeit):	120°
Lebensdauer (70 % Helligkeit):	bis 50.000 h
Max. Sperrschicht-Temperatur:	150...185 °C
Therm. Widerstand Sperrschicht/Geh.:	< 15 K/W
Betriebsstrom:	700 mA
Durchlassspannung bei 0,7 A:	3,1...3,9 V
Temperaturgang der Durchlassspannung:	-2 mV/K
Dynamischer Widerstand:	< 1 Ω



Bild 6. Bei geringen Verlustleistungen genügt die Wärmeabfuhr über eine mit der rückseitigen Leiterbahn verlötete M3-Mutter.

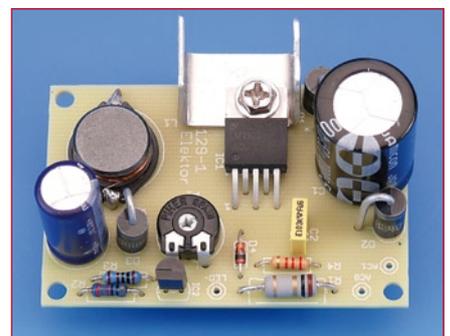


Bild 7. So sieht der Prototyp aus. IC1 ist zur Kühlung auf ein kleines Stück Alublech geschraubt.

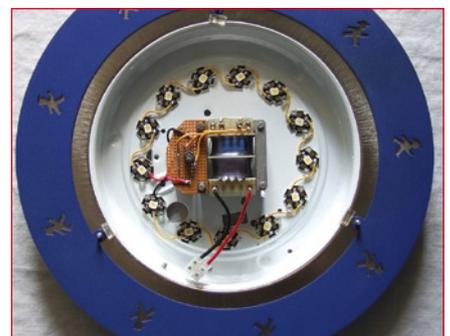


Bild 8. Ein frühes Experiment des Autors mit 13 LEDs mit je 1 W Leistung in Serie - noch ohne PLDM.

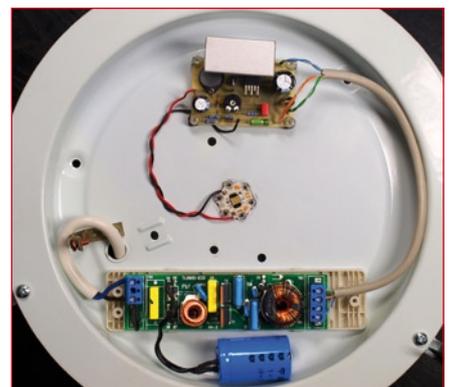


Bild 9. Einbau der Elektronik in eine Deckenlampe. Zu sehen ist ein modifizierter „Elektronischer Trafo“, ein PLDM und eine OSTAR-LED in der Mitte.