

Einfache Stromquelle, insbesondere für LEDs

Dipl.-Ing. Fried Berkenkamp

Die Stromquelle zeichnet sich durch geringen Aufwand aus. Der Stelltransistor wird auch als Temperatursensor genutzt, wodurch ein LED- und batteriegerechter positiver T_k entsteht. Sie ist abriss- und kurzschlussfest, nutzt als Referenz die LED selbst. Da sie keinen Shunt benötigt, kommt sie mit kleinsten Betriebsspannungen aus. Es werden Hinweise zu den Eigenschaften und Betrieb von LEDs gegeben.

Wirkungsweise

Bild 1 zeigt die Schaltung. Auf den ersten Blick bilden T1 und T2 eine Vierschichtdiode, rein optisch sind aber Steuereingang und Lastpfad vertauscht. Es ergibt sich eine andere Wirkungsweise. Beim Einschalten der Betriebsspannung fließen geringe Restströme durch T1 und T2, die sich beide gegenseitig aufsteuern, da zunächst die LED unterhalb ihrer Flussspannung sehr hochohmig ist.

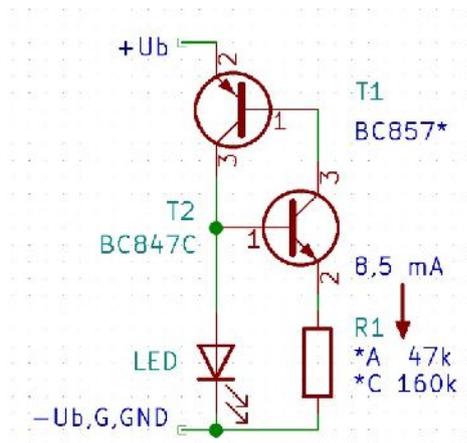


Bild 1

Die einfache Grundschaltung mit 2 Transistoren und 1 Widerstand.

Mit fließenden Kollektorströmen von T1 und T2 erhöhen sich diese über die Verstärkungsfaktoren, bis schließlich so viel Kollektorstrom $I_{C T1}$ fließt, dass die LED ihre Flussspannung erreicht. T2 arbeitet jetzt mit dem Widerstand R1 als Konstantstromquelle. Dieser konstante Kollektorstrom $I_{C T2}$ gelangt direkt in die Basis T1, der mit seiner Verstärkung $h_{21e T1}$ (BC857C: $h_{21e} \sim 580$) schließlich die LED treibt.

$$I_{CC} = I_{LED} = I_{C T1} = (U_{LED} - U_{BE T2}) / R1 * h_{21e T1}$$

Bei einer weißen LED (334-15-F1C1-1XZA):

$$I_{LED} = (2,82 - 0,48 \text{ V}) / 160 \text{ k}\Omega * 580 = \sim 8,5 \text{ mA}$$

In dieser Rechnung sind U_{LED} , $U_{BE T2}$ und vor allem $h_{21e T1}$ temperaturbehaftet. Während sich die Beträge der Temperaturabhängigkeiten der U_{LED} und der $U_{BE T2}$ weitgehend aufheben, bleibt die Stromverstärkung von T1 eine wichtige Größe. Sie ist nicht nur temperaturabhängig, sondern auch eine Funktion der Kollektorspannung und des Kollektorstroms. Insgesamt ergibt sich ein positiver Temperaturgang, der hier bewusst genutzt wird. Da T1 gleichzeitig Temperatursensor ist, sollte er in räumlicher Nähe mit den LEDs platziert werden.

Die Emission einer LED über die Temperatur ist negativ, das heißt, mit steigender Temperatur sinkt die Emission. Das Diagramm Bild 2 zeigt den typischen Verlauf von LEDs mit verschiedenen Emissionsfarben. Konventionelle Stromquellschaltungen mit ihrem negativen bis neutralem Tk berücksichtigen den negativen Tk der LEDs nicht. Das ist für Signalisierungszwecke eigentlich weniger wichtig, ein positiver Tk der Stromquelle kommt der Funktion jedoch entgegen. Denkt man nun noch an den Kapazitätsverlust bei Batteriebetrieb, siehe Bild 3 [1], wird ein LED-Strom mit positivem Tk die Funktionsdauer und Ökonomie merklich verbessern, schon ohne speziellen Abgleich.

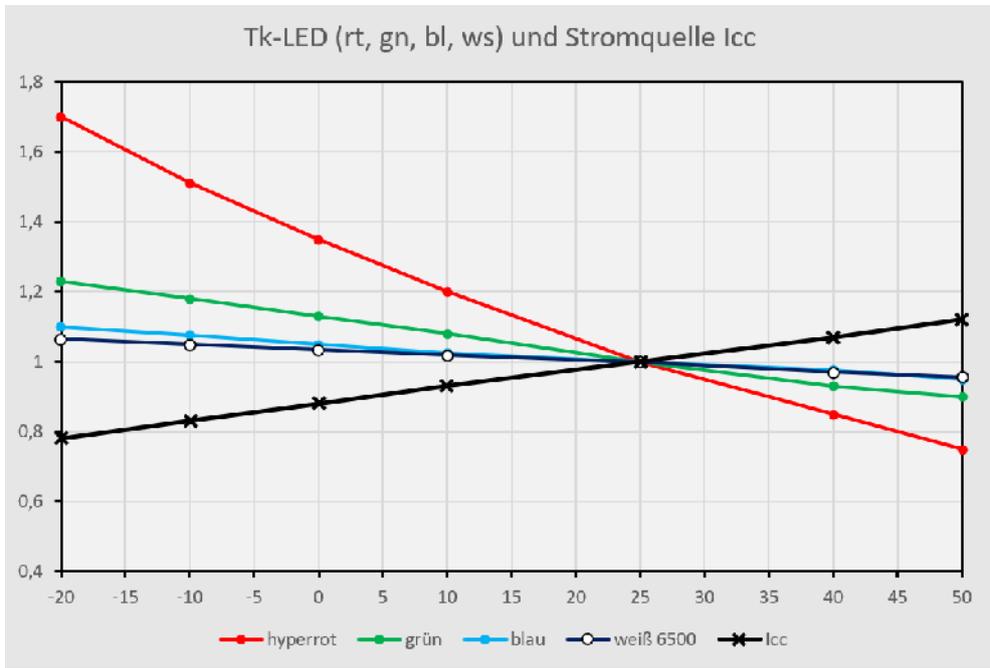


Bild 2

LEDs haben je nach Emissionsfarbe einen negativen Temperaturkoeffizienten Tk, die beschriebene Stromquelle Icc besitzt einen positiven Tk (jeweils Relativwerte).

sichtigen den negativen Tk der LEDs nicht. Das ist für Signalisierungszwecke eigentlich weniger wichtig, ein positiver Tk der Stromquelle kommt der Funktion jedoch entgegen. Denkt man nun noch an den Kapazitätsverlust bei Batteriebetrieb, siehe Bild 3 [1], wird ein LED-Strom mit positivem Tk die Funktionsdauer und Ökonomie merklich verbessern, schon ohne speziellen Abgleich.

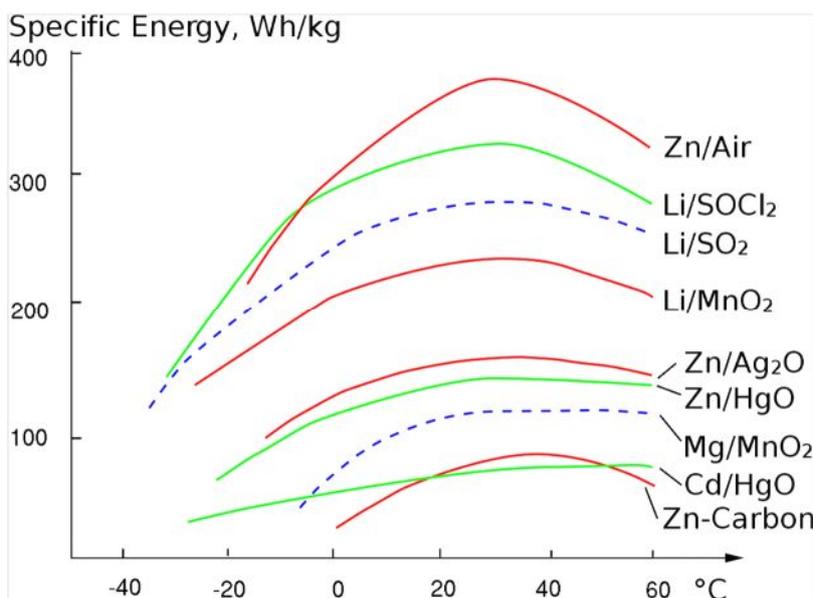


Bild 3

Unterhalb etwa 30 °C nehmen Batteriekapazitäten deutlich ab. Der Tk der Stromquelle Icc trägt dem Rechnung.

Dimensionierungen

Zunächst wird die Schaltung Bild 1 mit einer LED 334-15-F1C1-1XZA (weiß) für die Messungen genutzt. Es werden der LED-Strom = Betriebsstrom und die Flussspannung der LED über den Temperaturbereich von -18 °C bis $+50\text{ °C}$ erfasst. Vorgesehener Betriebsspannungsbereich ist 3 bis 10 V, mit R1 wird ein Betriebsstrom von 8,5 mA bei $U_B = 10\text{ V}$ eingestellt. Die Stromverstärkung von T1 selbst hat wenig Bedeutung, sie wird über R1 ausgeglichen. Über den angegebenen Temperaturbereich ändert sich die Flussspannung der LED um 100 mV ebenso, wie die $U_{BE\ T2}$. Die Spannung über R1 bleibt somit gleich und damit auch der Kollektorstrom T1.

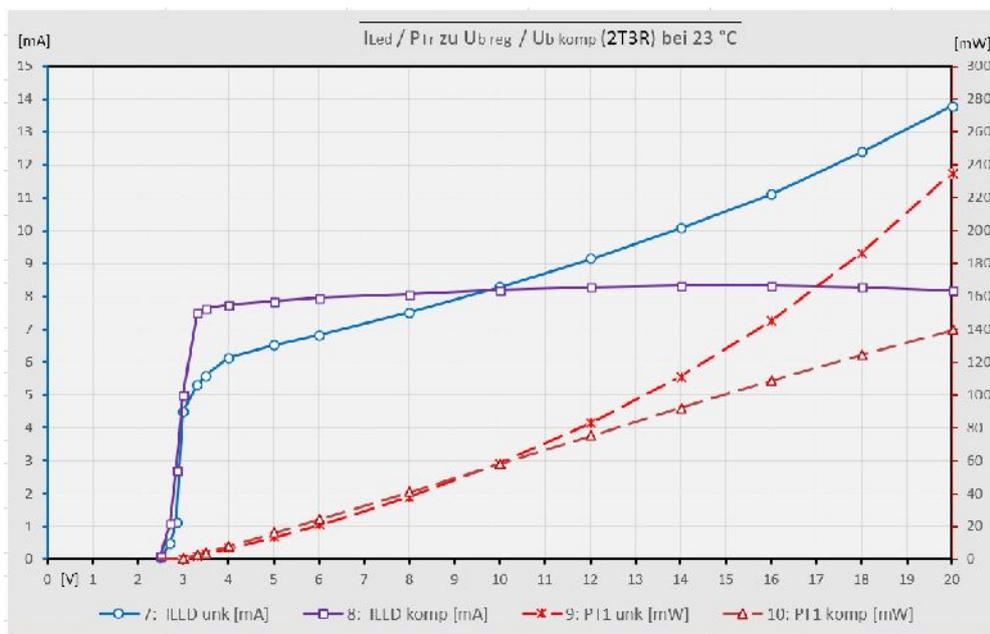


Bild 4:

Diagramm zur Spannungsabhängigkeit der Stromquelle I_{cc} . Die Kurven 1 und 3 entsprechen der Grundschialtung Bild 1, die Kurven 2 und 4 entsprechend der Schaltung Bild 5.

Die Auswirkung der Kollektorspannung $U_{CE\ T1}$ auf die Stromverstärkung zeigt das Diagramm in Bild 4 auf. Sind die Betriebsspannungsschwankungen groß, sollte dem Beachtung geschenkt werden, da nicht nur der spannungsabhängige Strom den emissionsgerechten LED-Strom verfälscht, sondern auch die Verlustleistung von T1 deutlich erhöhen kann. 8,5 mA bei Raumtemperatur bei 10 V eingestellt, erzeugen bei 20 V bereits 240 mW, was für den T1 BC857 schon grenzwertig ist. Abhilfe schafft eine Störgrößenaufschaltung, wie im Bild 5 durch den Widerstand R2 von der Betriebsspannung $+U_B$ zum Emitter T2, wodurch dessen Konstantstrom Spannungskompensiert wird.

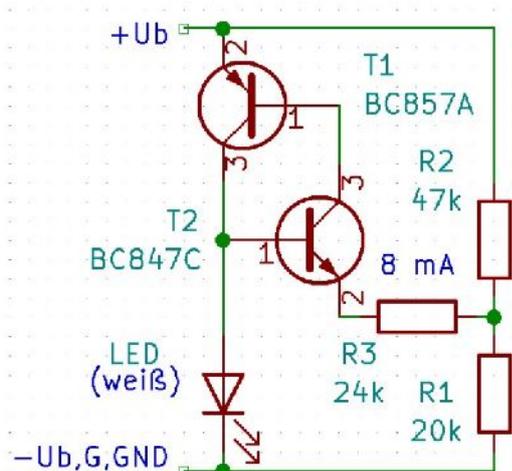


Bild 5:

Aufhebung der Spannungsabhängigkeit durch Störgrößenaufschaltung.

Ergebnis: ausreichend stabiler LED-Strom über U_B , maximale Verlustleistung von T1 nur noch 140 mW. R1 und R2 können auch direkt auf den Emitter T2 geschaltet werden, R3 entfällt, dann gelten folgende Werte: $R1 = 47 \text{ k}\Omega$, $R2 = 1,3 \text{ M}\Omega$. Bei kleineren LED-Strömen oder T1 als C-Typ würde R2 jedoch einige $\text{M}\Omega$ betragen. Die temperaturabhängigen Veränderungen des LED-Stromes werden durch diese Maßnahme nicht beeinflusst. Mit nur wenig mehr Aufwand lassen sich auch nichtlineare LED-Stromquellen aufbauen [2].

Bild 6 zeigt eine Schaltungsanordnung, die mehrere LEDs in parallel geschalteten Ketten betreibt. Werden für T1 Transistoren mittlerer Leistung eingesetzt, wie BD1xx, BD4xx und ähnlich, lassen sich Ströme im Ampere-Bereich einstellen. Sinn ist, mit nur einer Stromquellenschaltung möglichst alle notwendigen LEDs betreiben zu können, die aus dem gleichen Los stammen sollten.

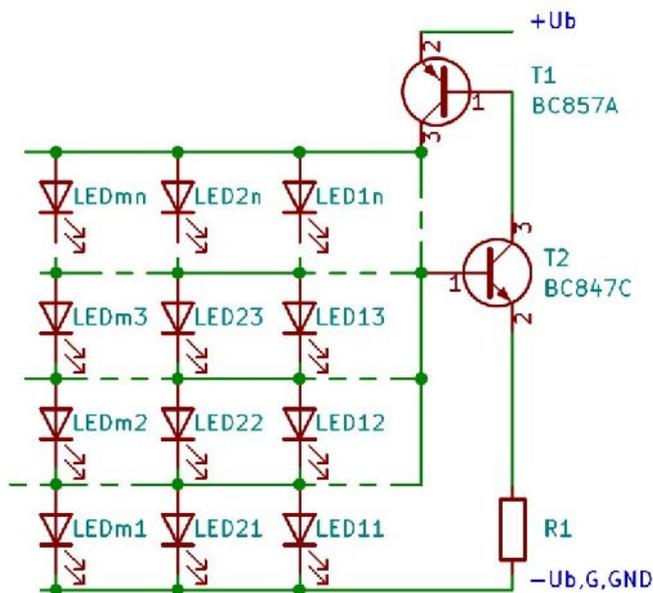


Bild 6:

Um die Betriebsspannung auszunutzen, können LEDs in Parallel- und Serienschaltung an einer Stromquelle I_{cc} betrieben werden, siehe Text.

Die kleinste Betriebsspannung sollte auch hier 200 mV höher als die Kettenspannung sein, wenn ein Emissionsverlust ausgeschlossen und ein hoher Wirkungsgrad erreicht werden soll. Wie in den Beispielen kann die Basis T2 an den Kollektor T1 angeschlossen werden, was das Layout vereinfacht aber auch Einfluss auf den gesamten T_k hat. Möglicher Weise ist das unerheblich. Wird die Basis T2 an die LED11 angeschlossen, dann gelten die beschriebenen Bedingungen.

Obwohl LEDs im Schadensfall selten einen vollständigen Kurzschluss oder Hochohmigkeit erzeugen, ist es sinnvoll, bei gleichen Ketten die Einzel-LEDs auch quer zu verbinden. Resultierende Ströme und Spannungen teilen sich besser auf alle LEDs auf, visuell ist der Eindruck gleichmäßiger.

Für allgemeine Anwendungen dürfte der erreichte Temperaturgang bereits ausreichend sein. Es gibt sicher Fälle, wo mehr Wert auf eine genauere Emission der LEDs gelegt wird. Der T_k der Schaltungsanordnung lässt sich anpassen, dazu wird vorzugsweise ein Stromspiegel eingesetzt. Bild 7 zeigt eine solche Anordnung. Ist $R4 = 0 \Omega$, steuert der Kollektorstrom T2 die Transistoren T1 und T3 auf. Der Kollektor T3 übernimmt jetzt den Kollektorstrom von T2, reduziert um die Basisströme von T1 und T3. Sind beide Transistoren gleich und haben beide die gleiche Temperatur, fließt durch T1 auch der gleiche Kollektorstrom wie durch T3, da T1 genau die gleiche Basisspannung sieht, die auch T3 für seinen Kollektorstrom benötigt. Die Stromquelle T2 mit R1 und der LED ist weitgehend

temperaturstabil, somit ist der Kollektorstrom T1 auch temperaturstabil, nur als LED-Strom viel zu klein. Üblicher Weise würden dann für T1 größere Chips verwendet werden, die bei gleicher Basisspannung größere Kollektorströme fließen lassen. Das reicht hier nicht aus, außerdem wird für diese LED-Anwendung kein temperaturneutraler Strom benötigt. Es wird R4 eingefügt. Der Stromspiegel wird asymmetrisch. R4 sorgt dafür, dass die $U_{BE T1}$ gegenüber $U_{BE T3}$ ansteigt und T1

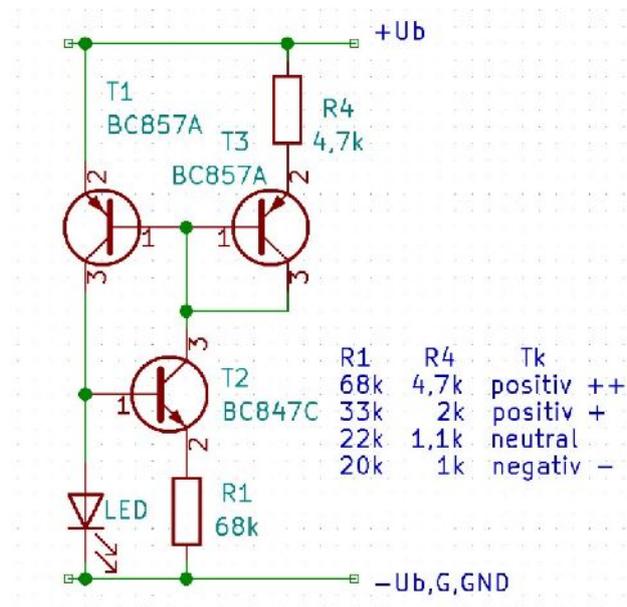


Bild 7:

Durch hinzufügen des weiteren Transistors T3 zu T1 entsteht ein asymmetrischer Stromspiegel, wodurch der Tk der Schaltung einstellbar wird, siehe Text.

mehr Kollektorstrom in die LED liefert. Mit der Größe von R4 ändert sich die Temperaturabhängigkeit. Bei kleineren Werten wird sie negativ, bei größeren Werten ist sie positiv einstellbar, mit R1 wird der LED-Strom bei Nenntemperatur eingestellt. R1 und R4 beeinflussen sich jedoch auch. Empfehlenswert ist für T1 und T3 ein Doppeltransistor, da dieser in einem Gehäuse gleiche Chiptemperaturen und besseren Gleichlauf ermöglicht, zum Beispiel BC856S oder der BCV62. Letzterer ist mit Amateurmitteln besser händelbar. Werden Einzeltransistoren verwendet, zum Beispiel für T1 eine höhere Leistungsklasse, sind beide in unmittelbarer Nähe zu platzieren, um bei Änderung der Umgebungstemperatur Schwankungen des LED-Stromes zu minimieren. Dimensionierungsbeispiele zeigt die Tabelle im Bild 7, das Diagramm im Bild 8 zeigt die Ergebnisse. Die Schaltung lässt sich auch für Referenzschaltungen mit Z-Dioden verwenden, wenn ein restlicher Temperaturgang der Dioden ausgeglichen werden soll: R4 stellt den Temperaturgang ein, R1 den Z-Strom, Abgleich wechselseitig.

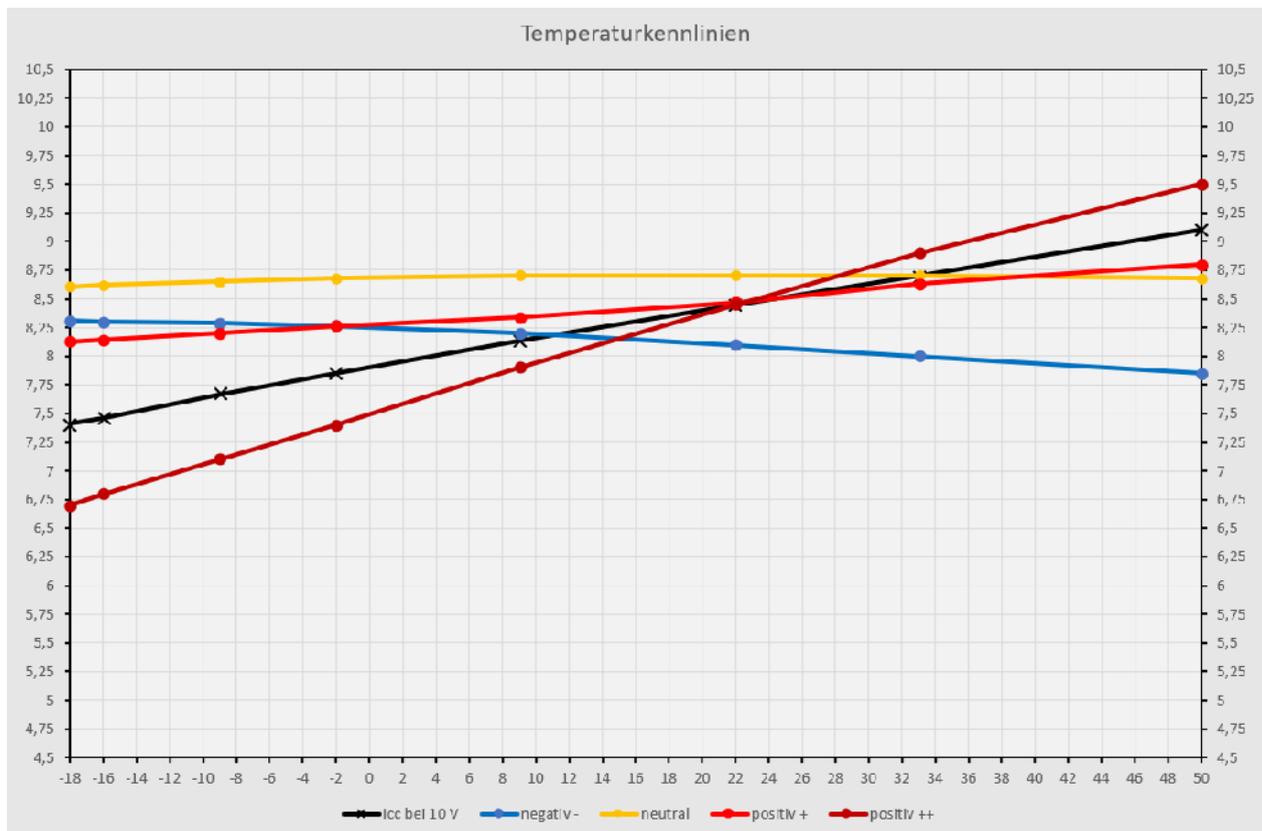


Bild 8: Aufgenommene Temperaturverläufe nach Bild 7. Die schwarze Kurve ist die der Stromquellenschaltung lcc.

Applikationen Modellbahn

Beispielhaft wurden vier SMD-Platinen für die Modellbahn entworfen, die verschiedene Anwendungen ermöglichen, entweder als eine Leuchtleiste oder als Einzel-LED-Stromquellen, von in Segmente geschnittenen Ergänzungsplatinen. Hier sind alle LEDs parallel und nicht in Reihe geschaltet, um bei kleinen Fahrspannungen volle Beleuchtung <4 V und zusammen mit Elkos große Pufferzeiten zu erreichen. In jeweils 2 Längen sind 2 Platinen trimmbar oder werden über Festwiderstände eingestellt, Bild 9. Bild 10 zeigt die Platinen „15“ und 2x „20“, eine davon in Segmente

Segmente	Länge	Breite	LED-Raster	Typ
15 Stück	192,5 mm	19 mm	12,5 mm	trimmbar, Pads für SMD-Elkos
22 Stück	281,8 mm	19 mm	12,5 mm	trimmbar, Pads für SMD-Elkos
20 Stück	207,5 mm	12 mm	10,0 mm	Festwiderstände
27 Stück	277,5 mm	12 mm	10,0 mm	Festwiderstände

Bild 9: Vier SMD-Platinen stehen zur Verfügung.

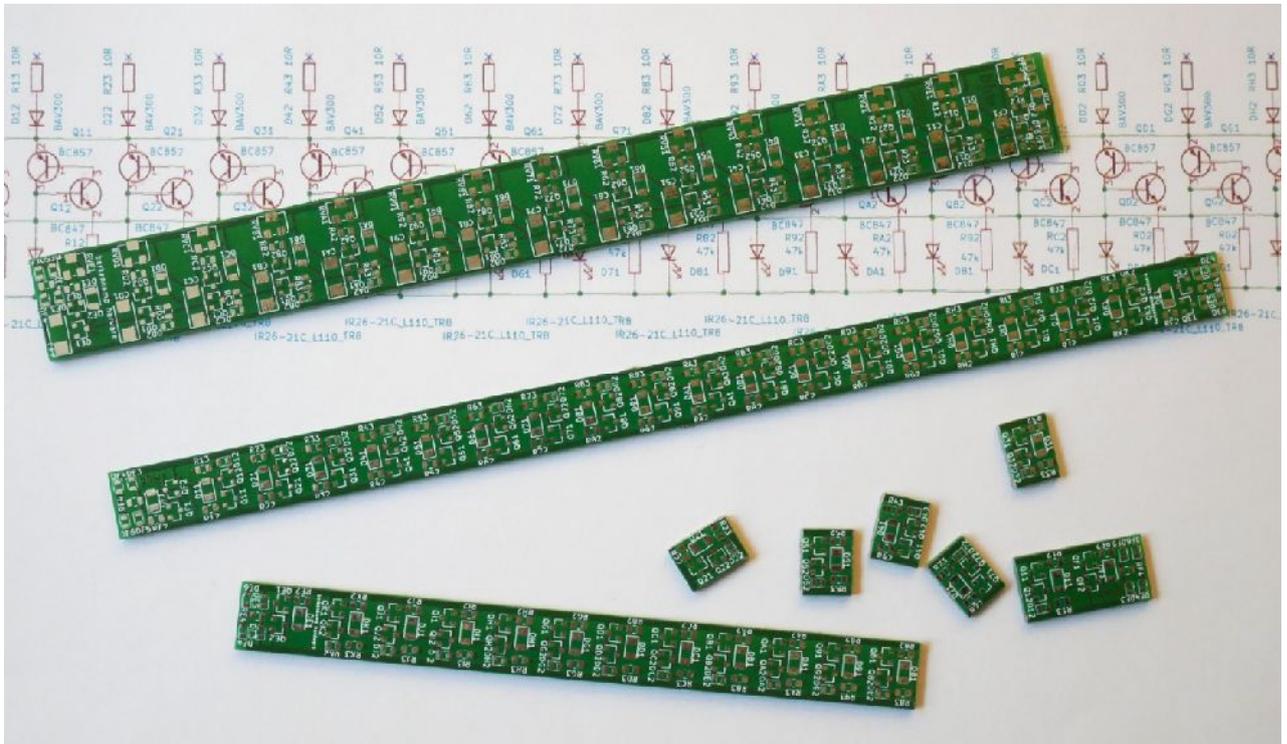
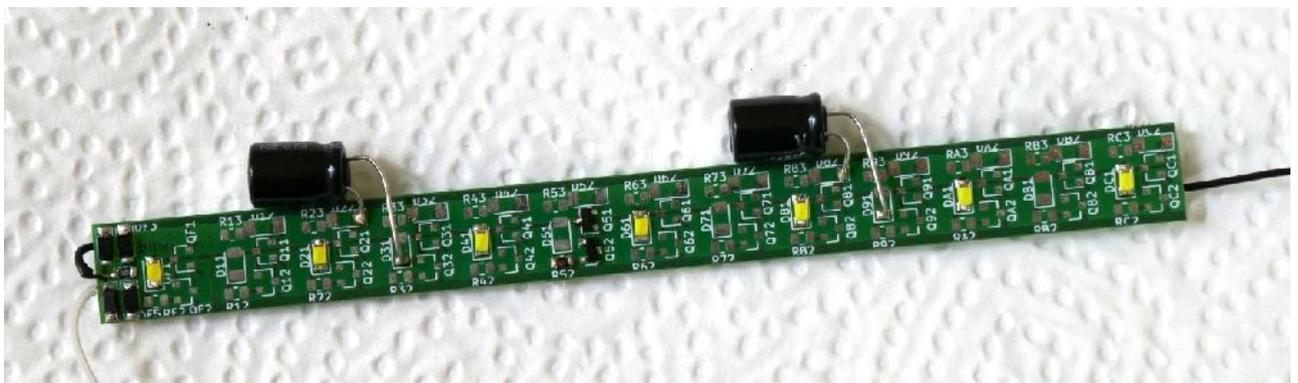


Bild 10: Zwei der segmentierbaren vier Leiterplatten, hier „15“ und „20“ nach Bild 12 und 13.

geteilt. Es wird nur das bestückt, was notwendig ist, Bild 11. Die beiden Schaltungen zeigen auszugsweise die Bilder 12 und 14. Die Bestückung zeigen Bild 13 und 15. Bedrahtete Elkos werden hier an geeigneter Stelle auf die Randleiter + und – gelötet oder auf andere Pads, sofern Spannungseinbrüche zu erwarten sind. Die Endsegmente E und F können mit Gleichrichterbrücken für den Betrieb an Wechselspannung bzw. wechselnder Polarität bei DC-Betrieb bestückt werden. Sie wirken auf alle Segmente. Mit Feinmechanikerwerkzeug sind die Segmente oder Leiterbahnen beliebig trennbar. Günstige Trennstellen sind im Layout markiert, Bilder 13 und 14. Jedes Leiterplattensegment kann mit einem optionalen Gleichrichter und Strombegrenzungswiderstand bestückt werden, was polungsabhängige Beleuchtung (Verpolung, Fahrtrichtungsabhängigkeit) ermöglicht. Es entstehen keine unbrauchbaren Leiterplattenreste. Die Platinen lassen sich auch verlängern.



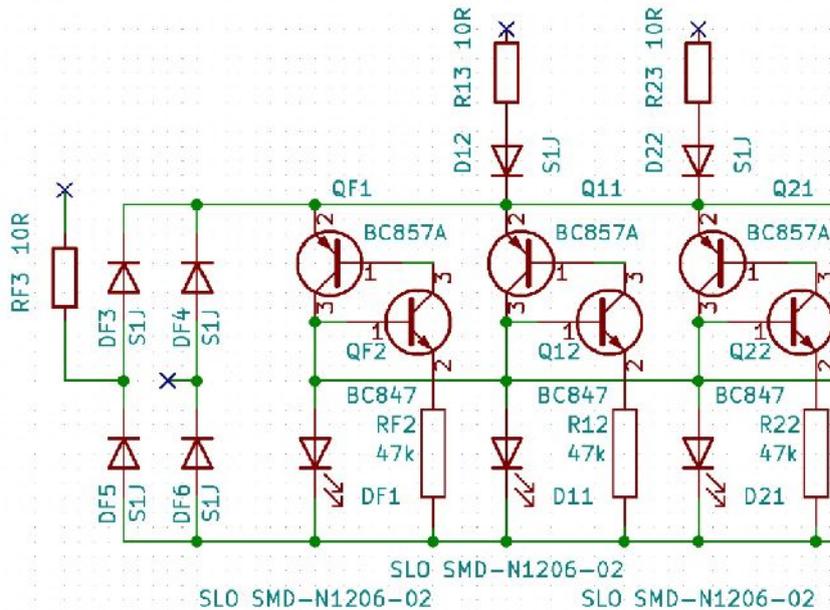


Bild 12:

Schaltungsteile der Lichtleisten 20 und 27, weitere Stromquellenschaltungen und die 2. Diodenbrücke am anderen Ende sind identisch.

Wenn Sie für die Verpolschutzdioden Dn2 Schottkydioden verwenden, muss über die Betriebsspannung (Randleiter + und -) eine weitere Diode geschaltet werden mit der Katode an +, um die schlechte Sperrwirkung der Schottkydioden Dn2 aufzuheben. Bei Siliziumtypen ist das nicht notwendig. Die Diodenbrücken (Dx3 – Dx6) können als Silizium- oder Schottkydioden ausgeführt werden.

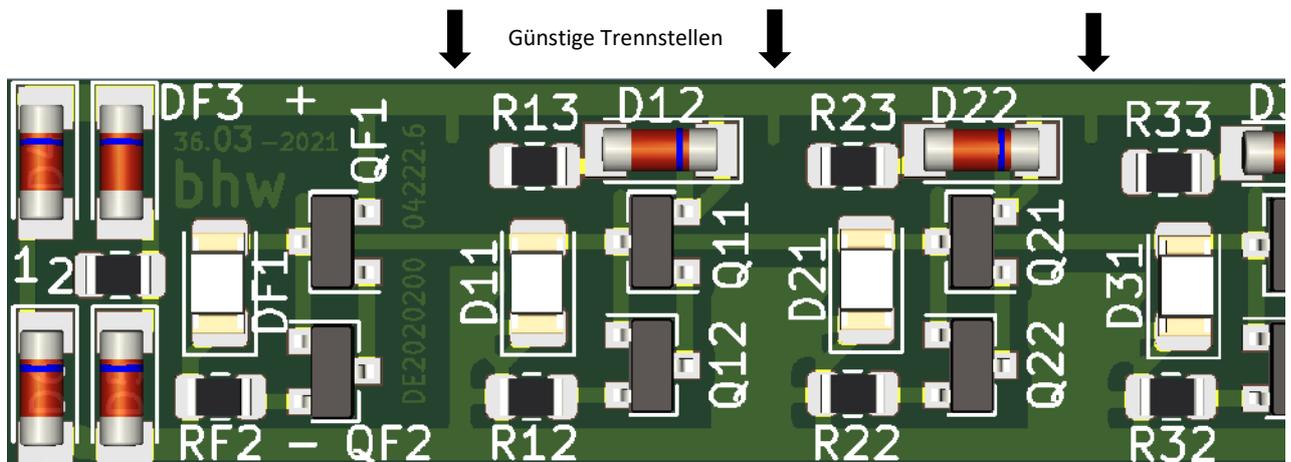


Bild 13: Bestückung der Lichtleisten 20 und 27 auszugsweise, weiter wie im Bild 12.

Die Leuchtleisten sind hauptsächlich ausgerichtet auf die Beleuchtung von Modelleisenbahnfahrzeugen. Auf Grund des anwendungsspezifischen großen Spannungshubs von <4 V bis 20 V und des geringeren Strombedarfs wurden die LEDs parallelgeschaltet und auf eine Spannungskompensation wie in Bild 4, 5 verzichtet. Da auch Helligkeitsschwankungen visuell kaum erkannt werden und keine besonderen Temperaturanforderungen bestehen, Bild 7 und 8, kann diese Stromquellenschaltung ihren minimalistischen Aufwand voll zur Wirkung bringen.

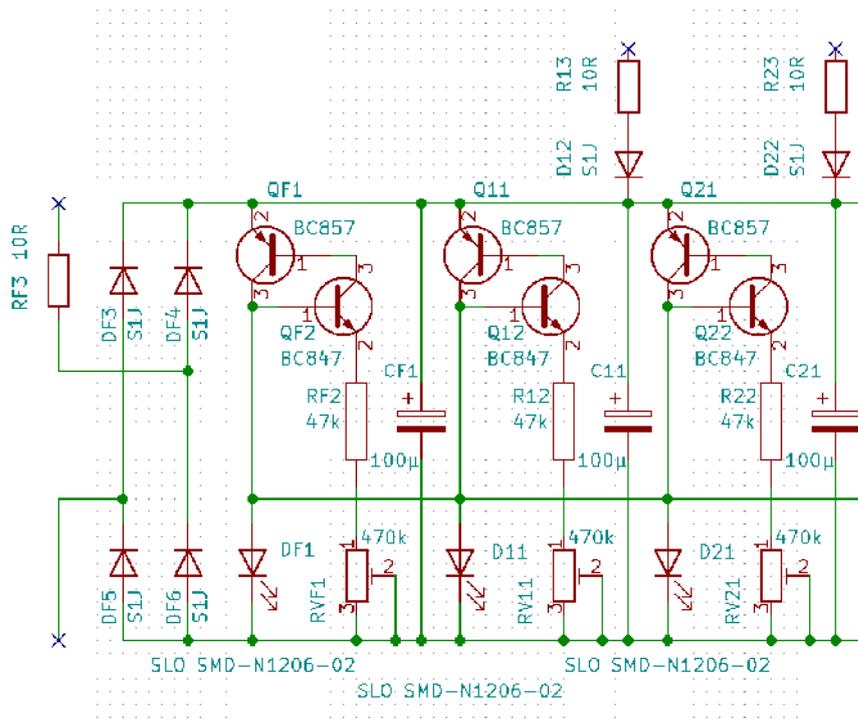


Bild 14:

Die Lichtleisten 15 und 22 mit Pads für SMD-Elkos, weitere Stromquellen und die 2. Diodenbrücke am anderen Ende sind identisch.

Die LEDs werden an geeigneten Stellen auf der Platine platziert, um gezielte Beleuchtung zu erreichen, Bild 11. Es können bei Bedarf mehrere Stromquellschaltungen verteilt eingesetzt werden, falls die Verlustleistung der Transistoren, Bild 12 und 14, partiell etwa 120 mW überschreiten würden. Noch einfacher geht es, wenn ein weiterer Transistor Qx1 auf einem freien

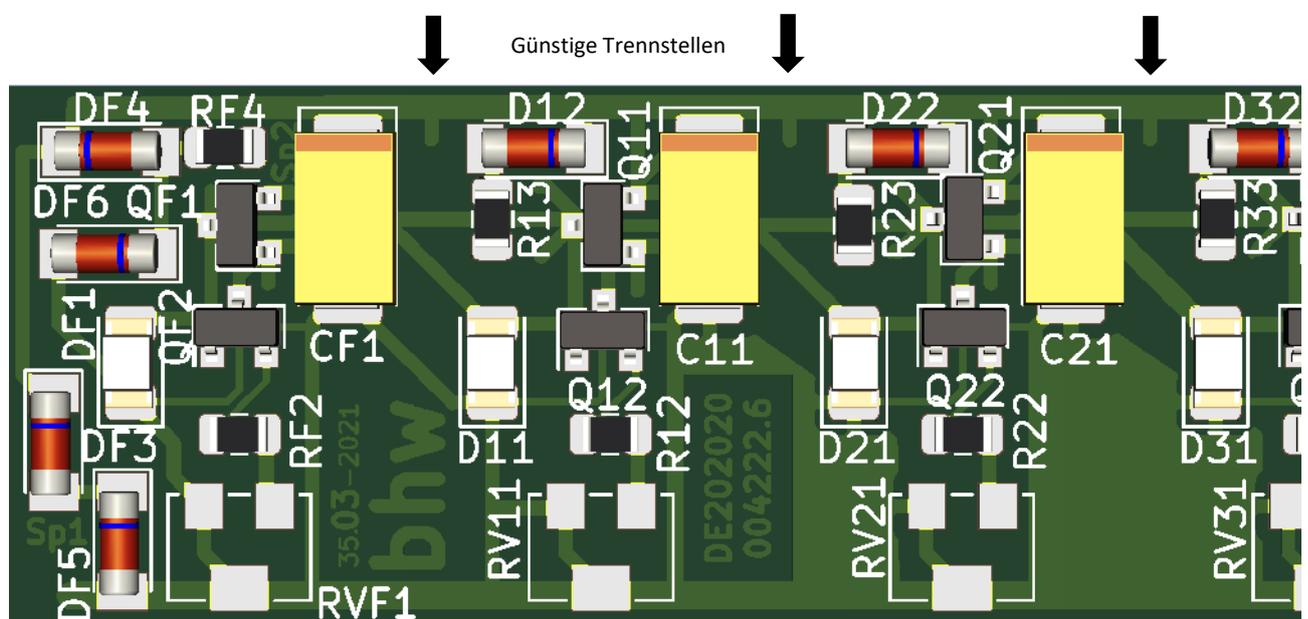


Bild 15: Bestückung der Lichtleisten 15 und 22 auszugsweise, weiter wie im Bild 14.

Segment x bestückt wird, was Emitter Qx1 und Kollektor Qx1 bereits kontaktiert und weiter wird dessen Basis noch mit einer Brücke auf die Basis des zu entlastenden Qn1 geschaltet. Es wird eine Parallelschaltung und bessere Wärmeverteilung erreicht. Rn2 bestimmt dann den Gesamtstrom,

mehrere Abgleichpunkte werden vermieden. Separierte Stromquellenschaltungen auf der Leuchteleiste können andersfarbige LEDs treiben oder ähnliches.

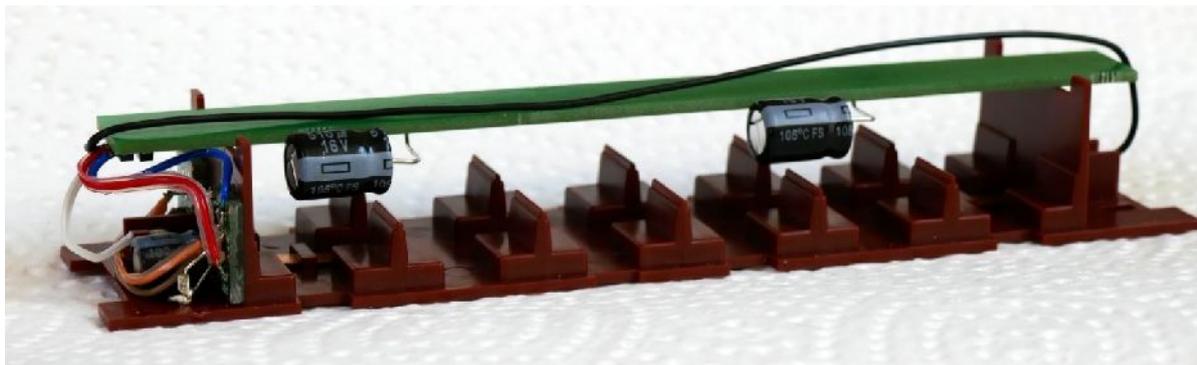


Bild 16: Aufgeklebte Lichtleiste mit 8 mA und fahrtrichtungsabhängigem Schlusslicht.

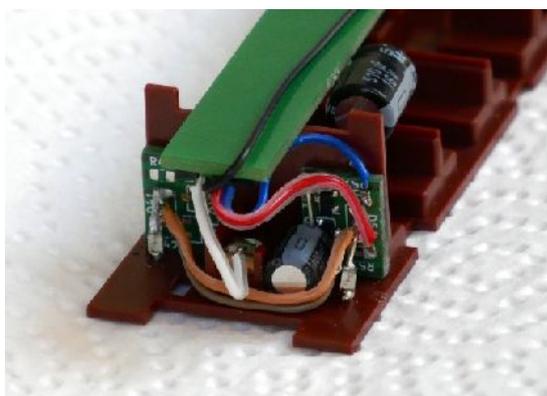


Bild 17:

Mit 2 Segmentplatinen, einer 0,5 mA-Stromquelle und Verpolschutz für das rote Schlusslicht „PIKO Rekowagen 3-achsig“.

Wird eine fahrtrichtungsabhängige Beleuchtung benötigt, zum Beispiel bei Lokomotiven, im Wendezugbetrieb oder als Schlusslicht, werden einzelne Segmentplatinen mit ihren $Dn2$ Dioden und bedrahtete Elkos auf den + und – Randleitern verwendet, siehe Bilder 16 und 17. Die Elkos sollen den unsicheren Kontakt zwischen Rad und Schiene sowie Unterbrechungen durch Herzstücke und andere Störungen der Fahrspannung puffern. Je nach eingestellten Strömen können die Stromquellen mit $220 \mu\text{F}$ - $1000 \mu\text{F}$ bis zu 2 s puffern. Es werden 16 V oder 25 V-Elkos, je nach Systemspannung, benötigt. Bei Betrieb mit PWM-Fahrtreglern und Tastverhältnissen bis herunter zu 1,5 % kann sogar im Stillstand die Fahrzeugbeleuchtung voll betriebsfähig sein – was sonst bei konventionellem und PWM-Betrieb nicht üblich ist. Bilder 18 und 19 zeigen, dass mit insgesamt 8,5 mA ein Fahrzeugmodell reichlich ausgeleuchtet ist.



Bild 18 und 19: Beleuchtungseindruck mit fahrtrichtungsabhängigem Schlusslicht, insgesamt 8,5 mA.

Applikationen Illumination

Eine weitere Anwendung findet sich bei der weihnachtlichen Illumination mit Batterie-Lichterketten. Dort erfolgt die StromEinstellung bei 4,5 V mit einem Vorwiderstand 10 Ω , der dann zwischen >100 und <6 mA in eine 40er-LED-Kette fließen lässt, Bild 20. Bild 21 zeigt eine eingesetzte Segment-

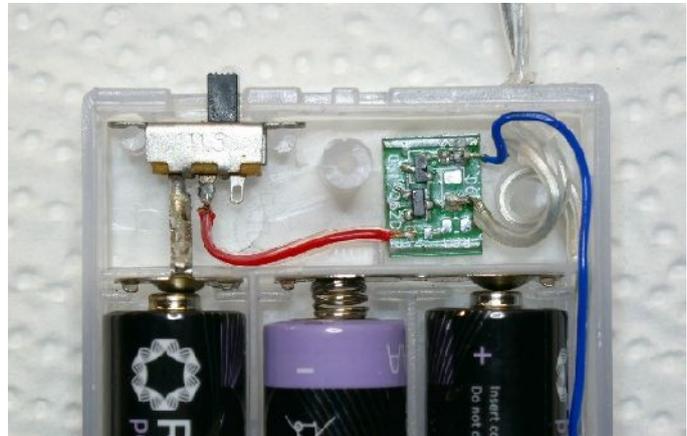
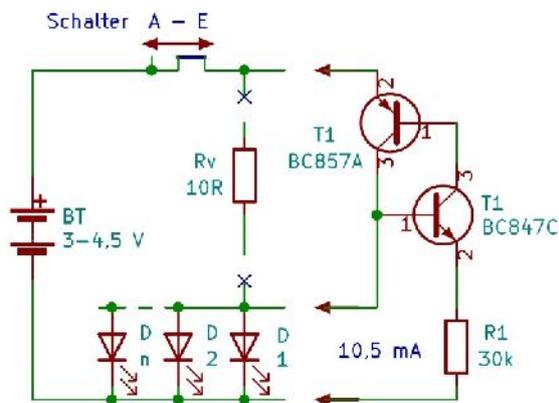


Bild 20: Im Beispiel einer 40er-Lichterkette wird der Begrenzungswiderstand durch die Stromquelle ersetzt.

Bild 21: Umbau entsprechend Bild 5, 10 und Bild 13 auf einer Segmentplatine.

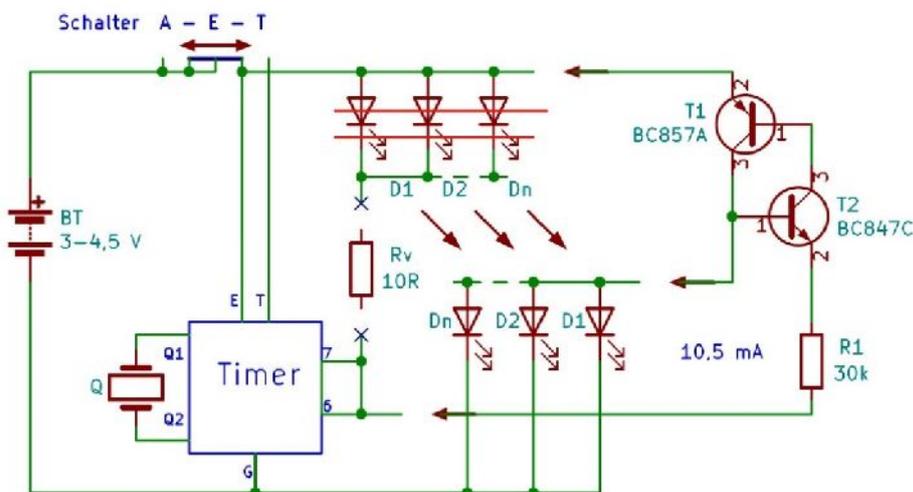


Bild 22: Ist eine Timer-Schaltung vorhanden, wird die Lichterkette nach Minus geschaltet und die Stromquelle entsprechend eingefügt. Die Stromquelle wird jetzt über R1 gesteuert. Da über pin 6+7 nicht mehr der LED-Strom fließt, sondern nur 67 μ A, werden weitere 0,3 V Verluste vermieden.

platine. Bild 22 und 23 zeigen die Schaltung einer Batteriebox mit Timer. Diese wurde zunächst dauergetestet, das Ergebnis zeigt Bild 24. Der Startstrom ist mit 125 mA unnötig hoch und nach 96 h = 4 Tagen sind die Batterien mit 3x 0,91 V und 6,5 mA verbraucht. Zum Umbau wird die LED-Kette gegen $-U_B$ geschaltet, Bild 22, und R1 wird auf pin 6/7 gelegt. Das vermeidet \sim 300 mV weitere Verluste der vorherigen Schaltung an pin 6/7. R1 ist jetzt der Stromquellenschalter. Es wurden 10,5 mA eingestellt. Bild 24 stellt die sich ergebenden Strom- und Spannungsverläufe dar.

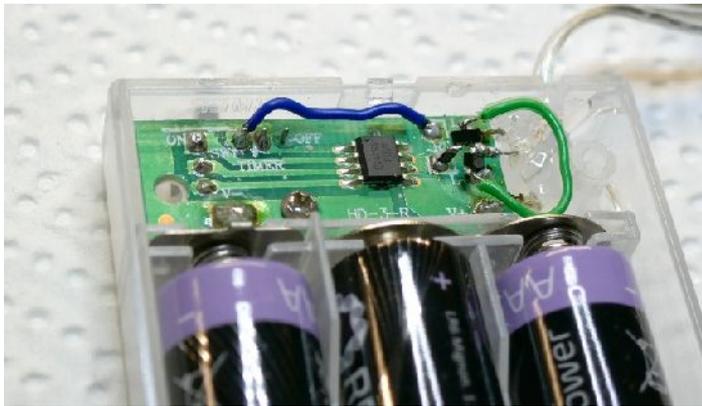


Bild 23:

Umbau entsprechend Bild 22. Die 3 Bauelemente finden auf den Pads der vorhandenen Leiterplatte Platz.

Die Batterien halten jetzt 11 Tage im Dauerlauf. Ein Beitrag für die Umwelt, wenn hier auch klein aber ressourcenschonend. Die Welligkeit der Kurve 11 hat ihre Ursache in Temperaturänderungen. Der Temperaturbereich lag bei beiden Tests zwischen 17 und 22 °C. Als Strom je parallel geschalteter LED sind 200...250 μA ausreichend, das sind 8...10 mA gesamter Kettenstrom.

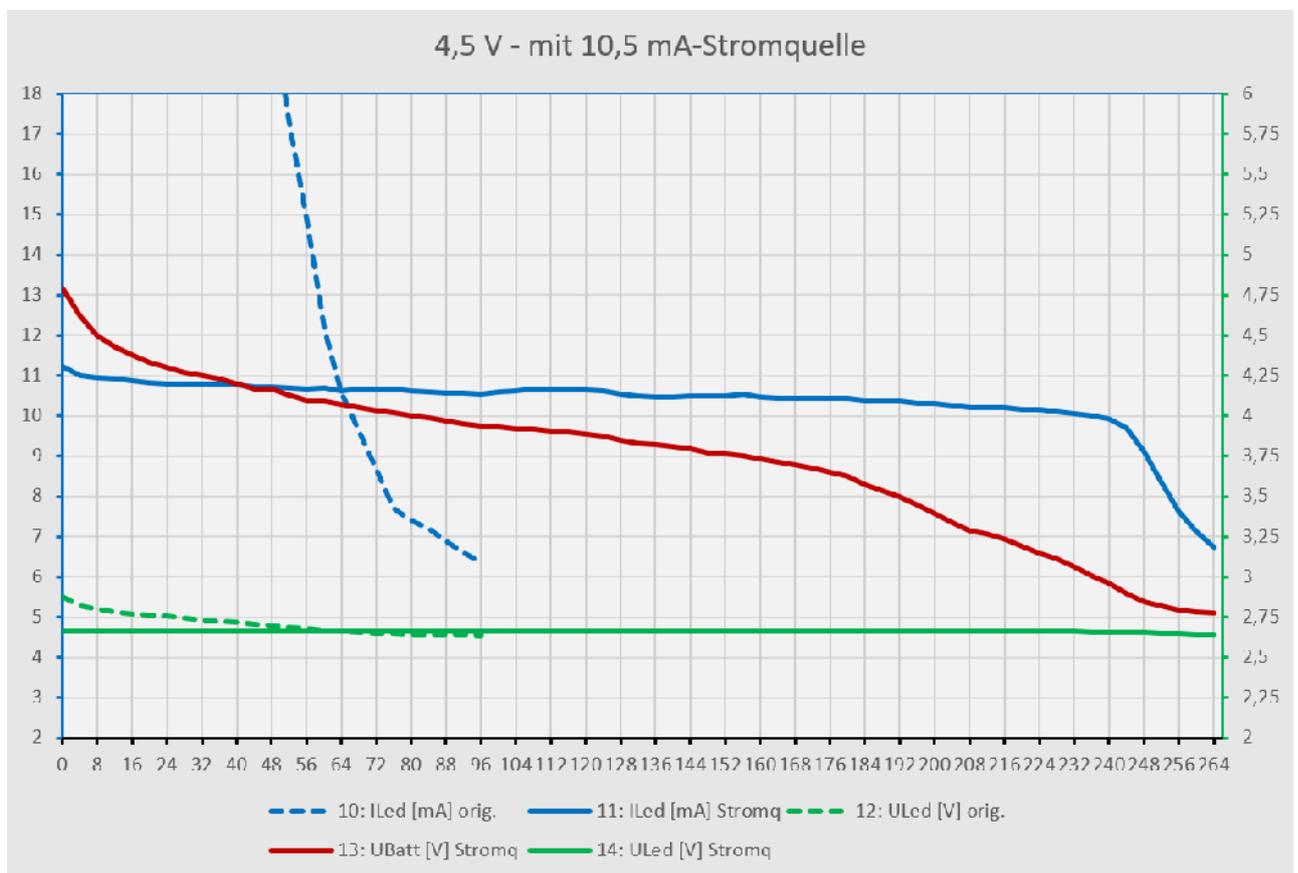


Bild 24: Gegenüberstellung der konventionellen Schaltung mit 10 Ω -Vorwiderstand und der Stromquellenschaltung: blau = LED-Strom, grün = LED-Spannung, rot = Batteriespannung bei Stromquellenbetrieb, gestrichelt = konventionelle 10 Ω -Schaltung. Die Welligkeit der Stromquellenkurven hat ihre Ursache in Temperaturschwankungen 17 – 22 °C.

Weitere Möglichkeiten

Über R1 kann nicht nur die Stromquelle leistungsarm geschaltet werden, hier kann auch zur Einstellung der LED-Emissionen eine Steuerspannung angelegt werden. Denkbar ist zum Beispiel ein Ringzähler, der ähnlich Bild 22, mehrere Stromquellen über je einen R1 ansteuert und ein Lauflicht erzeugt für zum Beispiel $4 \times n$ LED-Ketten. Mit einem Kondensator am Emitter von T2 wird das Lauflicht dann „weich“. Der analoge Steuerbereich wäre $\geq U_{LED}$ bis $-U_B$. Die angegebenen Grenzen bedeuten „aus“ und „ein“, wobei die Basis-Emitter-Sperrspannung U_{BEO} von T2 mit ~ 6 V nicht überschritten werden sollte. Ein unterschreiten der $-U_B$ steuert die Stromquelle weiter auf.

Bei Abriss der LEDs/Last fließt nur ein geringer Strom, der durch den Emitterwiderstand R1 begrenzt wird. Bei Kurzschluss der LEDs/Last schaltet die Stromquelle vollständig ab, da die Referenzspannung fehlt, es fließt nur ein Sperrstrom im Bereich $10 \mu A$. Bei üblichen Stromquellen würde der volle Strom weiterfließen und eventuell den Regeltransistor überlasten.

Bei der Dimensionierung der Schaltung sollten immer so viele LEDs in Reihe geschaltet werden, dass deren Flussspannung plus 200 mV der kleinsten Betriebsspannung entspricht. Das mindert nicht nur die Verluste am Regeltransistor T1, sondern führt auch zur Abschaltung bei Unterspannung, wie im Bild 4, wo unter 2,5 V nur ein sehr geringer Gesamtstrom fließt. Die LEDs werden hochohmig. 4 LEDs mit 3 V Flussspannung können über eine Stromquelle ab 12 V vollständig angesteuert werden, bei Unterspannung < 10 V wären sie vollständig aus. Zum Beispiel für automotiv Anwendungen kann das auch bei Anlassvorgängen sinnvoll sein, wenn sich nicht notwendige Beleuchtung selbst abschaltet oder bei langfristigen Beleuchtungen eine Tiefentladung der Batterie vermieden werden soll. Elektrische Verbraucher an 12 V-Fahrzeugnetzen müssen verpolsicher und kurzzeitig spannungsfest bis 28 V sein, um zum Beispiel bei Jumpstarts (Starthilfe aus 24 V-Bordnetzen) keinen Schaden zu nehmen. Bedenken sollte man aber auch, dass Beleuchtungseinrichtungen an Fahrzeugen zulassungspflichtig sind.

Hinweise

Die Schaltungsanordnung der Stromquelle zielt in ihrer Einfachheit auf einen typischen mittleren negativen Emissionsverlauf zur Temperatur von LEDs. Dieser kann speziell bei weißen LEDs höherer Leistung auch neutral sein. Entscheidend sind die Datenblätter.

Für die Schaltungsanordnung besteht ein Gebrauchsmusterschutz, eine kommerzielle Nutzung ist genehmigungspflichtig [3]. Sie kann jedoch für den privaten Bereich frei verwendet werden. Weitere Schaltungsanordnungen, die spezielle Temperaturgänge berücksichtigen oder LED-Gruppen überwachen, sind in [2] und [4] zu finden. In [5] ist eine Schaltungsanordnung dargestellt, die LEDs oder Lichtschachtbauelemente verlustarm ansteuert, deren Nutzung ist frei.

Die vier Leiterplatten können über [6] bestellt werden.

Fazit

Der Aufwand mit 2 Transistoren und 1 Widerstand ist gering. Die Schaltungsanordnung folgt dem Temperaturverhalten von LEDs und Batterien. Sie lässt sich bei Bedarf an unterschiedliche Anforderungen anpassen. Die Stromquelle kann einen hohen Wirkungsgrad erreichen, ist einfach zu dimensionieren, besitzt eigene Schutzfunktionen und ist vielseitig einsetzbar.

post@berkenkamp.com

Literatur und Bezugsquellen

- [1] [https://de.wikipedia.org/wiki/Batterie_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Batterie_(Elektrotechnik))
- [2] DE102009003632B4 Verfahren und Schaltungsanordnung zur Ansteuerung einer Last, CN000101841954B, US000008659235B2
- [3] DE202020004222U1 Schaltungsanordnung zur Ansteuerung einer Last
- [4] DE102008037551B4 Vorrichtung zum Betreiben von Leuchtdiodenketten
- [5] DD276554A1 Schaltungsanordnung für alphanumerische LED-Anzeigen
- [6] www.berkenkamp.com, post@berkenkamp.com