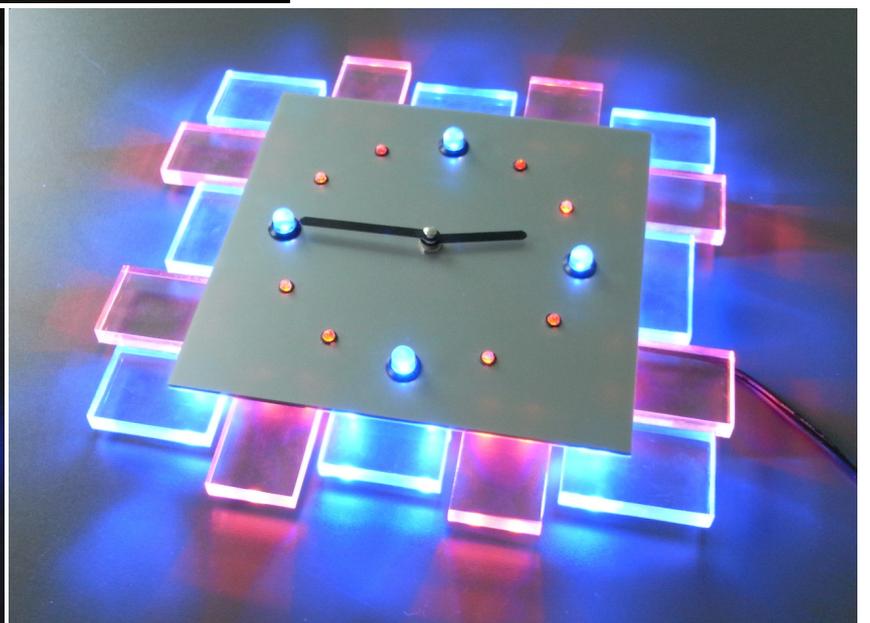


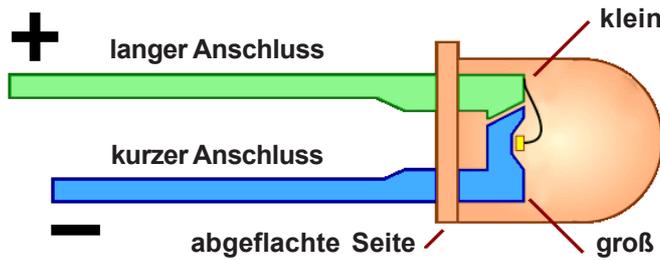
# Ultrahelle Leuchtdioden

und ihre  
praktische Anwendung

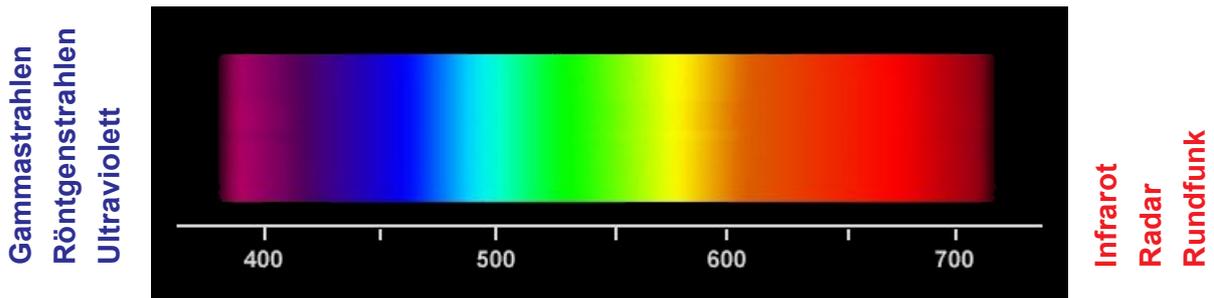
Josef Straßhofer  
josef@strasshofer.at  
2020



## Ultrahelle Leuchtdioden ... light-emitting diodes (LED)



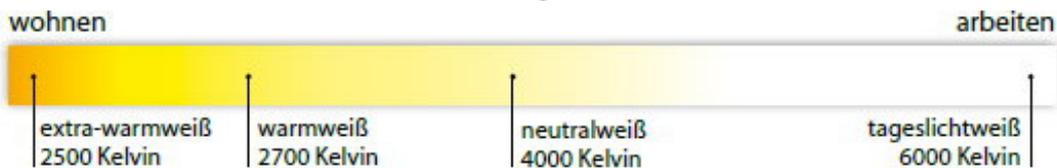
## Wellenlängen des sichtbaren Lichts in Nanometer (nm)



**LED-Farben:** violett (pink) blau grün gelb orange rot

**weißes Licht:** a) Umwandlung des Lichts blauer LED durch Farbstoffe  
b) Mischung des Lichts von roten, grünen und blauen LED (RGB-Prinzip)

## Lichtfarben und Farbwiedergabeindex für weißes Licht



Bei der LED-Farbe **weiß** spielt die Lichtfarbe eine besondere Rolle. Sie wird in **Kelvin (K)** gemessen. Die Lichtfarbe weiß mit etwa 6000 Kelvin steht für das „harte Weiß“ der Mittagssonne, „weiches Weiß“ mit etwa 2700 Kelvin wird als angenehmes Licht empfunden.

Auf Verpackungen wird die **Lichtfarbe** oft in Kelvin angegeben, aber auch durch eine dreistellige Ziffernfolge, wie z.B. 827. Die Zahl 27 steht dann für 2700 Kelvin. Die Zahl 8 kennzeichnet den **Farbwiedergabeindex**, ein Qualitätsmerkmal, um den Einfluss einer Lichtquelle auf die Farbwirkung von Objekten zu beschreiben. 8 bedeutet 80. Das Maximum beträgt 100 für echtes Tageslicht, das sich durch eine gleichmäßige Verteilung der Spektralfarben auszeichnet ( $R_a = 100$ ).

## Was ist Watt (W) in Lumen (lm)? ..... Helligkeitsvergleich von Lampen

15 W	25 W	40 W	60 W	75 W	100 W	150 W
136 lm	249 lm	470 lm	806 lm	1055 lm	1521 lm	2452 lm

Auf vielen **LED-Lampen** ist angegeben, welcher Glühlampe in Watt, was ihre Helligkeit betrifft, sie entsprechen. Ist das nicht angegeben, so kann man sich an der **Lumen-Angabe** orientieren. Die Helligkeit einer **60 Watt - Glühlampe** entspricht dann etwa einer **LED - Birne mit 806 Lumen**, die z.B. nur mit ungefähr **6 Watt** Leistung, derzeit noch ein wenig mehr (etwa 8 Watt), auskommt.

Man kann ganz grob in etwa davon ausgehen, dass eine LED-Lampe bei gleicher Helligkeit mit **10 Prozent** der Leistung auskommt wie eine Glühlampe. (z.B.: 6 Watt LED ... 60 Watt Glühlampe) Eine LED-Lampe benötigt also deutlich weniger Energie (6 Watt), um dieselbe Helligkeit zu erzeugen wie eine vergleichbare Glühlampe (60 Watt). Die **Lichtausbeute** bei LED-Lampen liegt derzeit bei etwa 100 Lumen pro Watt, die Effizienz steigt aber ständig. Inzwischen werden bereits Werte um 250 Lumen pro Watt erreicht, dies jedoch erst bei kaltweißen LED (6000 Kelvin).

# LED FARBEN

Leuchtdioden gibt es in unterschiedlichen Farben. Bei den hier abgebildeten Farben handelt es sich um **Standardfarben**, die man auch preisgünstig kaufen kann. Bei der praktischen Anwendung ist darauf zu achten, dass die LED mit **unterschiedlichen Spannungen** betrieben werden müssen, wobei es auch noch geringfügige herstellerspezifische Unterschiede geben kann. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen **warmen und kalten Farben**.

**„Warme“ LED-Farben:** gelb, orange, rot .... Diese LED benötigen im Betrieb eine Spannung von ca. **1,95 Volt**. Diese Spannung ist bei der **Berechnung des Vorwiderstandes** wichtig.



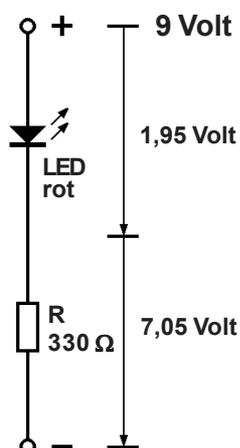
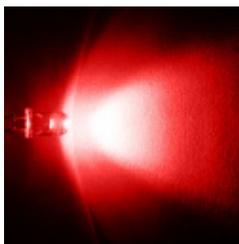
**„Kalte“ LED-Farben:** violett (pink), blau, grün, weiß, warm-weiß  
Diese LED benötigen für den Betrieb eine Spannung von ca. **3,15 Volt**.



**LED für spezielle Anwendungen:** RGB-LED: Farbwechsler, Mischfarben, ...  
ultraviolett: UV-LED ... Schwarzlicht, infrarot: IR-LED ... Lichtschranken, Fernsteuerungen, ...



Weitere Informationen (Bilder): [www.ledshift.com](http://www.ledshift.com)



## Berechnung des Vorwiderstandes einer Leuchtdiode

### Anwendungsbeispiel für eine rote ultrahelle LED:

Eine **ultrahelle rote LED** soll an eine Betriebsspannung (Batterie, Akku, Netzgerät) von **9 Volt** angeschlossen werden.

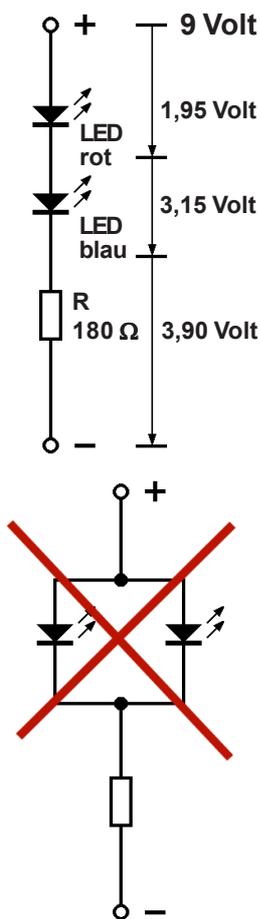
#### Vorbedingungen:

- Eine ultrahelle rote LED benötigt eine Betriebsspannung von **1,95 Volt**, damit sie leuchtet. Eine höhere Spannung würde sie zerstören.
- Handelsübliche Leuchtdioden dieser Bauart benötigen für den Betrieb einen Strom von **20 mA** (= 0,02 A).
- Die Betriebsspannung für die Anwendung beträgt **9 Volt**.

#### Berechnung:

- Wenn man von der Betriebsspannung (9 V) die LED-Spannung (1,95 V) abzieht, verbleiben für den Vorwiderstand R genau **7,05 Volt**.
- Die Anwendung des **Ohm'schen Gesetzes** ergibt einen Vorwiderstand von **352,5 Ohm**. Diesen gibt es jedoch nicht zu kaufen.
- Man wählt daher einen passenden Widerstand aus der **E12 - Reihe** mit **330 Ohm**. Die Abweichung liegt innerhalb der Toleranz für den LED-Strom.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{7,05}{0,02} = 352,5 \text{ Ohm} \gggg 330 \text{ Ohm}$$



### Reihenschaltung von Leuchtdioden:

In der Praxis werden LED, wenn es sich mit der Versorgungsspannung ausgeht, immer in Reihe geschaltet, da der Stromverbrauch dabei möglichst gering bleibt. In diesem Fall benötigt die gesamte Schaltung ebenfalls nur einen Strom von **20 mA**, es leuchten aber **2 LED** an derselben Betriebsspannung.

Nach Abzug der beiden LED-Spannungen (1,95 Volt + 3,15 Volt = 5,1 Volt) verbleibt für den Widerstand nur mehr eine Spannung von **3,90 Volt**.

Mit dem Ohm'schen Gesetz ergibt sich ein Vorwiderstand von 195 Ohm. Aus der E12-Reihe wählt man jetzt einen Widerstand mit **180 Ohm**.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,90}{0,02} = 195 \text{ Ohm} \ggg 180 \text{ Ohm}$$

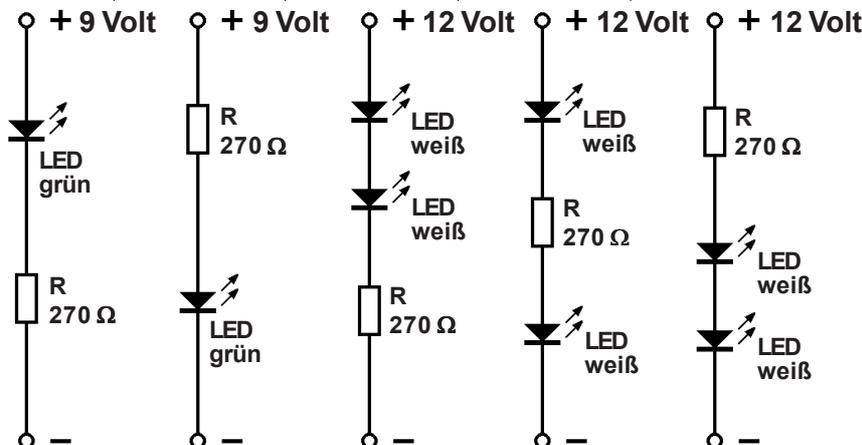
Grundsätzlich gilt bei Verwendung von mehreren LED die Regel, dass man sie so lange in Reihe schaltet, bis es sich mit der Spannung nicht mehr ausgeht. Erst dann schaltet man die Widerstände mit den zusätzlichen LED parallel.

### Falsch!

Keinesfalls zulässig ist die Parallelschaltung von Leuchtdioden nach dem Muster der Abbildung links.

Wenn es sich um LED mit unterschiedlicher Spannung handelt, leuchtet ohnehin nur jene LED, die die **niedrigere Spannung** benötigt. Bei Parallelschaltung einer roten und einer blauen LED wäre das die **rote LED**. Die blaue LED würde überhaupt nicht leuchten, da sie ihre Betriebsspannung nicht erreicht.

Auch bei **LED gleicher Farbe** empfiehlt sich die Parallelschaltung nicht, da LED geringfügige Toleranzen haben können, was eine unmittelbare Auswirkung auf die Helligkeit und damit auf den Stromfluss der LED mit der geringsten Spannung haben würde. Diese würde überlastet werden. Abgesehen davon hätte man unnötigerweise bei gleicher Betriebsspannung den doppelten Stromverbrauch, also 40 mA.



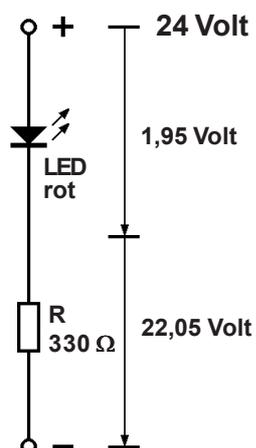
### Reihenfolge von LED und Widerstand

In welcher **Reihenfolge** die LED mit ihren Vorwiderständen verschaltet werden, ist elektronisch vollkommen gleichgültig.

Wo der Vorwiderstand in der Praxis eingebaut wird, hängt ganz einfach vom technischen Aufbau der Schaltung ab.

Die 5 Beispiele zeigen die möglichen Varianten mit einer LED bzw. mit zwei LED.

### Leistungsberechnung für den Vorwiderstand



Bei Betriebsspannungen **über 12 Volt** kann die Verwendung von Standard-Widerständen, die nur eine maximale Verlustleistung von **0,25** bzw. **0,33 Watt** vertragen, zum Problem werden. Die Verlustleistung wird im Widerstand in **Wärme** umgesetzt.

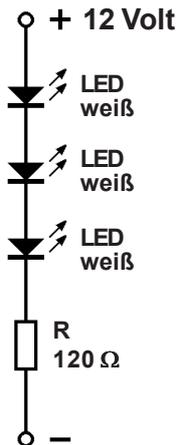
Beim abgebildeten Beispiel ergibt sich eine errechnete Leistung von **0,441 Watt** für den Widerstand. Wählt man aus der E12 - Reihe einen **1 kOhm - Widerstand**, dann ist die Verlustleistung noch einmal geringfügig höher, nämlich **0,486 Watt**. Man muss also hier einen Widerstand verwenden, der **mindestens 0,5 Watt** verträgt.

**In der Praxis** werden bei höheren Spannungen ohnehin **mehrere Leuchtdioden** in Reihe geschaltet, sodass die Verlustleistung im Vorwiderstand in Grenzen bleibt.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{22,05}{0,02} = 1102,5 \text{ Ohm} \ggg 1 \text{ kOhm}$$

$$P = U \cdot I = 22,05 \cdot 0,02 = 0,441 \text{ Watt}$$

## Ultrahelle Leuchtdioden in der Beleuchtung



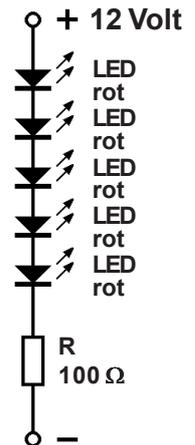
Ultrahelle LED werden auf Grund ihrer Helligkeit als Beleuchtungselemente und für intensive Lichteffekte (Werbung) eingesetzt. Dabei spielt die optimale Ausnutzung des Stroms eine entscheidende Rolle.

Dabei sollte man aus Kostengründen auf handelsübliche Stromversorgungen zurückgreifen. Die heutzutage üblichen **elektronischen Netzgeräte** haben in der Regel eine Ausgangsspannung von **12 Volt**. Der maximale Ausgangsstrom (z.B. 500mA oder 1A) ist ebenfalls immer angegeben.

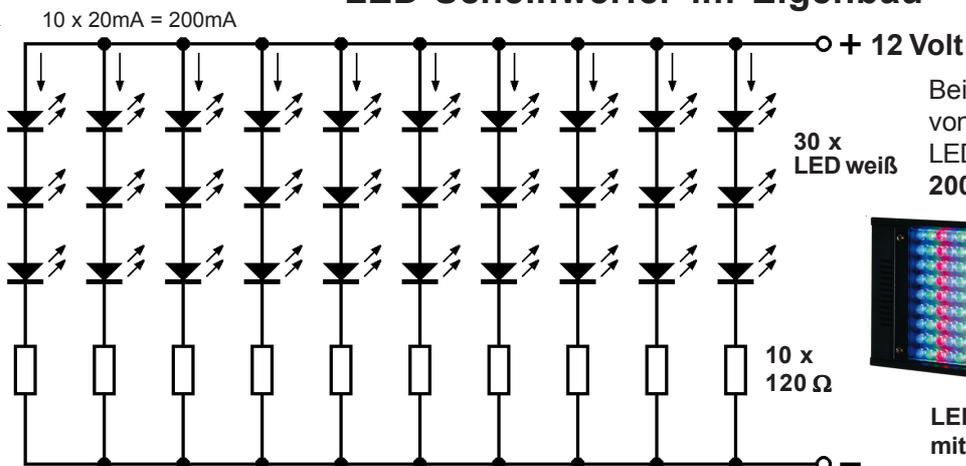
Grundsätzlich sollte man immer so viele **LED in Reihe** schalten, bis man gezwungen ist, den nächsten LED-Block **parallel** zu schalten.

**Abbildung links:** In diesem Fall gehen sich **3 weiße LED** zu je 3,15 Volt (= 9,45 Volt) aus, und damit ein Vorwiderstand von 120 Ohm.

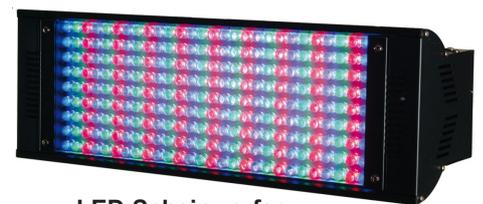
**Abbildung rechts:** In der gleichen Weise gehen sich bei 12 Volt Betriebsspannung **5 rote LED** zu je 1,95 Volt (= 9,75 Volt) aus, und damit ein Vorwiderstand von 100 Ohm.



## LED-Scheinwerfer im Eigenbau



Bei einer Betriebsspannung von **12 Volt** ergibt sich mit 30 LED ein Gesamtstrom von nur **200 mA**, also 2,4 Watt.



LED-Scheinwerfer mit Farbmischung

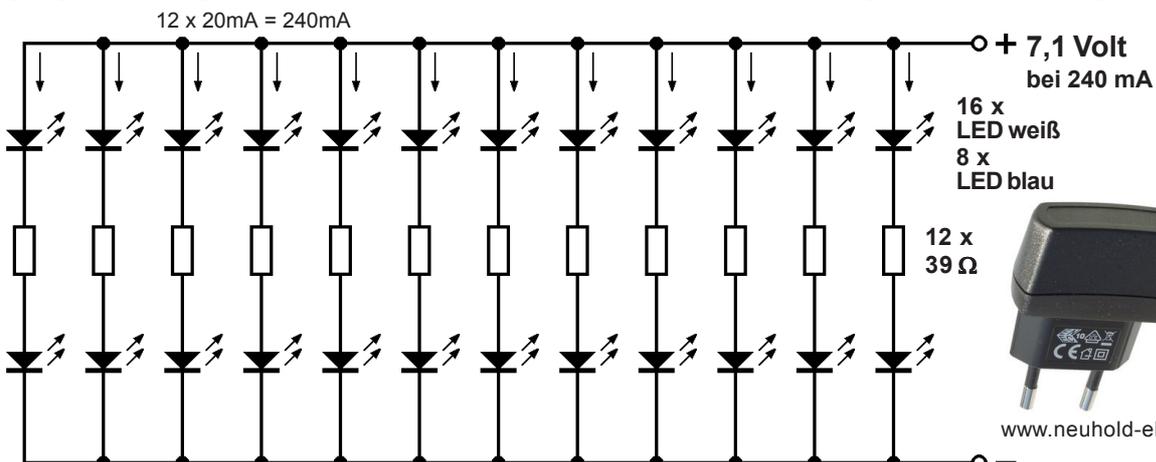
## Beleuchtungskörper mit Handy-Ladegerät

Grundsätzlich kann **fast jede Art von Netzgeräten**, sofern sie ausreichend Strom liefern und mit der Spannung passen, verwendet werden. Im konkreten Fall wird aus Kostengründen ein Handy-Ladegerät mit den Daten **5V/420mA** von Siemens eingesetzt, auch wenn es keine stabile Ausgangsspannung besitzt.

Dabei ist zu beachten, dass bei geringerer Strombelastung die Ausgangsspannung höher ist, als auf dem Stecker angegeben. Gegebenenfalls ist der Zusammenhang zwischen **Strombelastung und Ausgangsspannung experimentell zu ermitteln**.

Liegt die Betriebsspannung nahe an der Summe der LED-Gesamtspannung, so ist der **Vorwiderstand sehr genau** zu dimensionieren. Geringfügige Ungenauigkeiten können bereits zu hohen Abweichungen bei den LED-Strömen führen. Mit einer **Konstantstromquelle**, die nahezu spannungsunabhängig 20mA Strom liefert, kann man aber auch dieses Problem umgehen.

Völlig auf der sicheren Seite ist man mit einem **elektronischen Netzteil** (Schaltnetzteil), das über eine stabile Ausgangsspannung verfügt. Allerdings ist dabei auf die strommäßige Mindestbelastung zu achten.

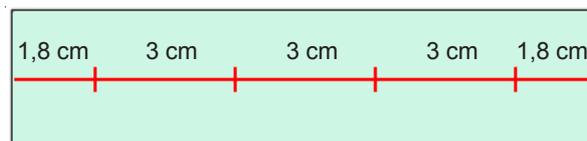
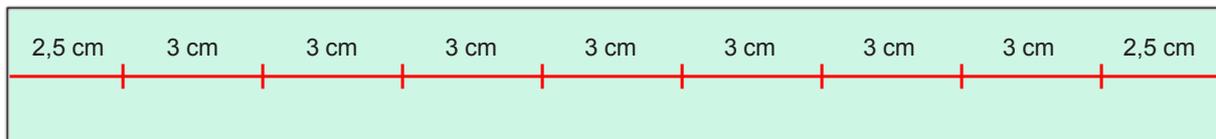


# Beleuchtungskörper (Nachtlicht) .... hinterleuchtete Fläche

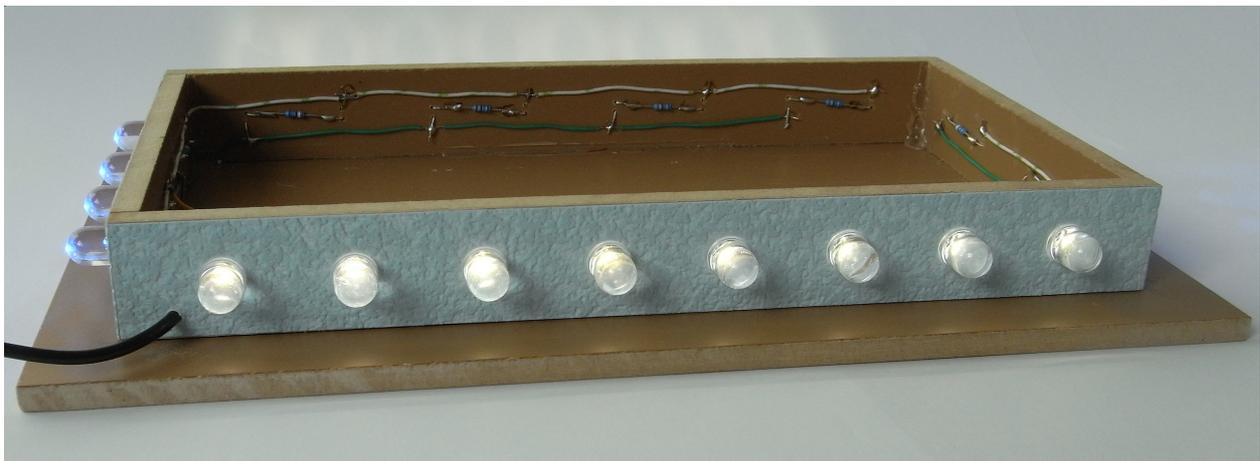
**Materialien:** Frontplatte (30 x 18 cm) .... Laminat (7 mm)  
Blenden (2 Stück ... 26 x 3 cm, 2 Stück ... 12,6 x 3 cm) .... Laminat (7 mm)  
Klebstoff (Uhu, Schmelzklebstoff, Leim)  
Tapetenstreifen (3 x 90 cm)  
isolierter Kupferdraht (0,35 mm, Telefondraht, ....), ca. 2 m  
Leuchtdioden 10 mm .... 24 Stück (3,15 Volt), (ev. 36 Stück (1,95 Volt))  
Widerstände .... 39 Ohm (12 Stück), (ev. 56 Ohm (12 Stück))  
Handy-Ladegerät von Siemens .... 5V/420mA

**Herstellung:** **Bohrmittelpunkte** für die LED auf den Blenden anzeichnen  
**Bohrungen** (1 mm) für die LED, je Markierung 2 Bohrungen im Abstand von **2,54 mm** vertikal, Von außen nach innen leicht V-förmig bohren!  
**Frontplatte-Rückseite** ... Orientierungslinie 2 cm zurückversetzt zeichnen  
**Blenden** ... provisorisch mit Uhu ankleben, dann mit Schmelzklebstoff endgültig an der Frontplatte und an den Innenkanten fixieren  
**Tapetenstreifen** ... mit Leim (nicht verdünnen) rundherum ankleben  
**Bohrlöcher** von innen mit Nadel durchstechen und LED einstecken  
Wichtig! Polarität der LED beachten! **MINUS** bei der Frontplatte, LED an der Frontplatte gut andrücken und Anschlüsse innen biegen.  
**Löten** ... LED-Anschlüsse und Widerstände ablängen und Enden verzinnen, dann LED-Anschlüsse mit dazwischen liegenden Widerständen verlöten.  
**PLUS- und MINUS-Pole** der LED jeweils mit isoliertem Schalt draht verlöten.  
Das ergibt 2 offene PLUS- und MINUS-Ringleitungen an der Innenseite.  
**Netzteil** .... Stecker abtrennen, Anschlüsse (gelb, braun) 3 mm abisolieren und vorverzinnen; eventuell 3,5 mm - Loch in eine Blende für Zuleitung bohren, polaritätsrichtig an die Ringleitungen anlöten, **gelb = plus, braun = minus**

**Blenden** 2 Stück ... 26 x 3 cm, 2 Stück ... 12,6 x 3 cm, Abbildung verkleinert  
1 mm - Bohrungen an den Querstrichen im Abstand von 2,54 mm

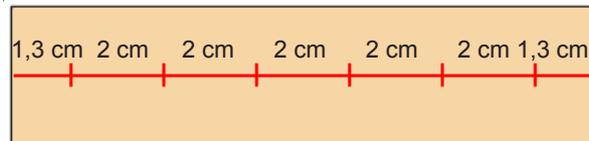
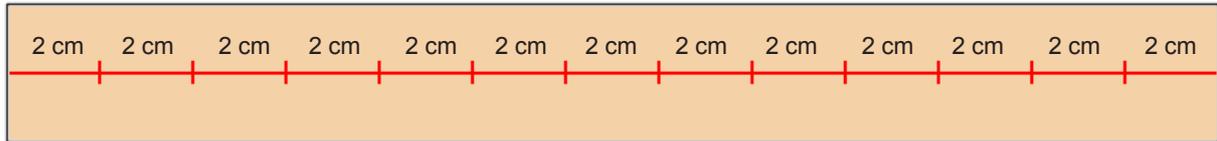


**Verdrahtung** - Blick auf die Rückseite des Beleuchtungskörpers



## Alternative Aufbaumöglichkeit mit warmen LED-Farben (rot, orange, gelb)

Mit dem Handy-Ladegerät von Siemens lassen sich auch **3 LED in Reihe** schalten, sofern sie jeweils nur eine Spannung von 1,95 Volt benötigen. Bei Verwendung von 3 LED ist auch der Vorwiderstand höher (56 Ohm). Der Stromverbrauch bleibt mit 240 mA bei 36 LED allerdings gleich.

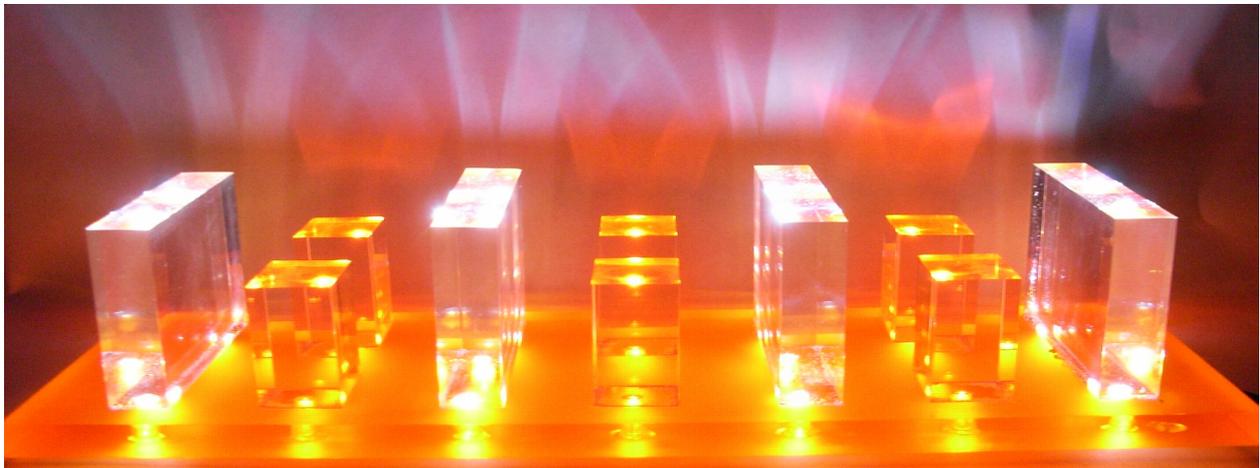


## Stromversorgung - Leuchtdioden - Widerstände

**Netzgeräte:** Für eine energiesparende Anwendung sollte man elektronische Netzteile (Schalt-Netzteile) mit **12 Volt** Ausgangsspannung verwenden. Alternativ sind, sofern man damit umgehen kann, alle möglichen Netzteile, wie z.B. auch Ladegeräte, verwendbar. Wichtig ist, dass man sich den benötigten Strom für die jeweilige Schaltung ausrechnet. Mit einem kleinen preisgünstigen 12V/500mA - Netzteil kann man bereits 75 weiße oder 125 rote LED betreiben.

**LED:** Da LED in größeren Stückzahlen benötigt werden, empfiehlt es sich, diese im Internet günstig einzukaufen. Neben ebay als Fundgrube gibt es jede Menge Händler, die preiswerte Leuchtdioden in Mengen anbieten. Die bei diesem Beleuchtungskörper verwendeten Leuchtdioden stammen von **www.easyseller24.de**.

**Widerstände:** Im Normalfall genügen Widerstände mit einer max. Verlustleistung von 0,25 Watt. Es empfiehlt sich, diese zumindest in 100 Stück - Packungen zu kaufen.



## LED-Beleuchtung mit Standard-LED

Diese LED-Birne kann direkt als Ersatz für eine 60 Watt - Glühbirne verwendet werden. Technisch ist sie im Prinzip so aufgebaut, wie die beschriebene Anwendung. Amortisation (Gesamtkosten): ca. 1 Jahr

Fassung: E27 ... 230 Volt

Lebensdauer: 50000 Stunden

Abstrahlwinkel: wie Glühbirne

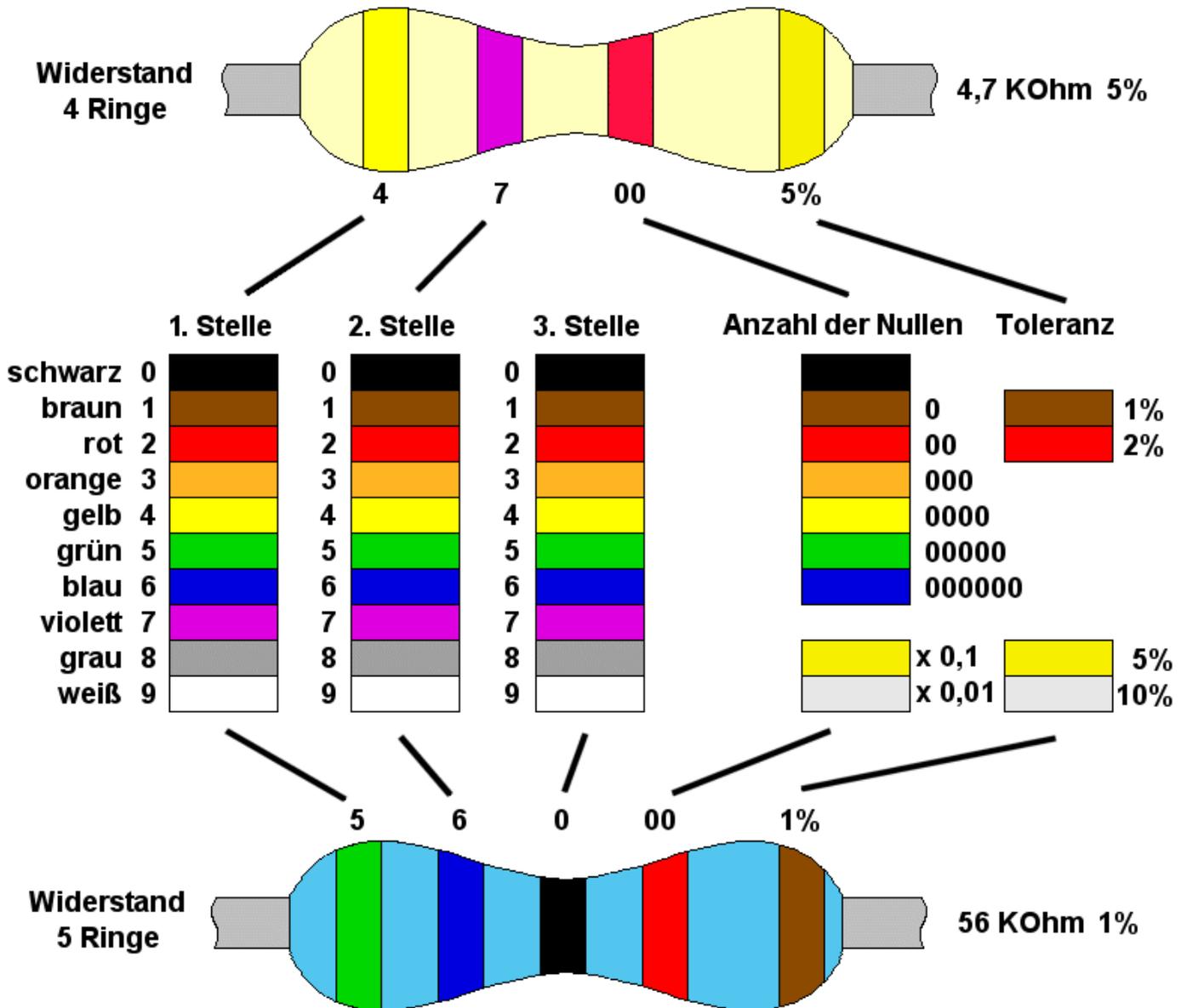
8 Watt LED ... 60 Watt Glühbirne ... 645 Lumen

Farbtemperatur: 3000 Kelvin = warmweiß

Stromrechner: [www.beleuchtung-mit-led.de](http://www.beleuchtung-mit-led.de)



# Widerstandsbestimmung



## E12 - Reihe

Standard-Normreihe für Widerstände

Bei Widerständen mit **5 Ringen** ist die Identifikation der Farben manchmal sehr schwierig. In diesen Fällen empfiehlt es sich, den Widerstand mit dem Multimeter (Ohm-Bereich) zu messen, wobei auf die passende Messbereichseinstellung zu achten ist. Die Widerstände sind so genau, dass der Messwert dann eindeutig einem bestimmten Ohm-Wert aus der **E12-Reihe** zugeordnet werden kann.

1 Ohm	27 Ohm	680 Ohm	18 kOhm	470 kOhm
1,2 Ohm	33 Ohm	820 Ohm	22 kOhm	560 kOhm
1,5 Ohm	39 Ohm	1 kOhm	27 kOhm	680 kOhm
1,8 Ohm	47 Ohm	1,2 kOhm	33 kOhm	820 kOhm
2,2 Ohm	56 Ohm	1,5 kOhm	39 kOhm	1 MOhm
2,7 Ohm	68 Ohm	1,8 kOhm	47 kOhm	1,2 MOhm
3,3 Ohm	82 Ohm	2,2 kOhm	56 kOhm	1,5 MOhm
3,9 Ohm	100 Ohm	2,7 kOhm	68 kOhm	1,8 MOhm
4,7 Ohm	120 Ohm	3,3 kOhm	82 kOhm	2,2 MOhm
5,6 Ohm	150 Ohm	3,9 kOhm	100 kOhm	2,7 MOhm
6,8 Ohm	180 Ohm	4,7 kOhm	120 kOhm	3,3 MOhm
8,2 Ohm	220 Ohm	5,6 kOhm	150 kOhm	3,9 MOhm
10 Ohm	270 Ohm	6,8 kOhm	180 kOhm	4,7 MOhm
12 Ohm	330 Ohm	8,2 kOhm	220 kOhm	5,6 MOhm
15 Ohm	390 Ohm	10 kOhm	270 kOhm	6,8 MOhm
18 Ohm	470 Ohm	12 kOhm	330 kOhm	8,2 MOhm
22 Ohm	560 Ohm	15 kOhm	390 kOhm	10 MOhm

# Richtiges Löten

## LötKolben

max. **30 Watt** mit gerader abgeflachter Spitze  
**Wichtig!** Die Lötspitze muss gut verzinnt sein.  
Beim **ersten Erwärmen** sofort mit Lötzinn verzinnen.  
Dauerlötspitzen sind löstechnisch kein Problem.  
Kupferspitzen müssen immer wieder nachgefeilt und verzinnt werden.  
Die **Lötspitze** muss immer **gut gereinigt** sein, fast nach jeder Lötung.  
Dazu eignet sich ein Lötschwamm oder zur Not ein Papiertaschentuch.  
Lölfett oder Lötwasser sind auf keinen Fall geeignete Löthilfsmittel.

preiswerter  
LötKolben mit 30 Watt



## Lötzinn

Ideal ist handelsübliches Elektronik-Lötzinn mit einer Kolophonium-Flussmittelader. Der Durchmesser des Lötzinns sollte von 0,7 mm bis **1 mm** betragen, keinesfalls mehr. 1 mm - Lötzinn ist handelsüblich und am preisgünstigsten.

## Löttechnik

Die richtige Löttechnik ist die unbedingt notwendige Voraussetzung für eine funktionierende Schaltung. Dazu ist folgende **Vorgangsweise** ganz besonders wichtig:

**LötKolben und Lötzinn müssen immer gleichzeitig auf die Lötstelle zugeführt werden.**

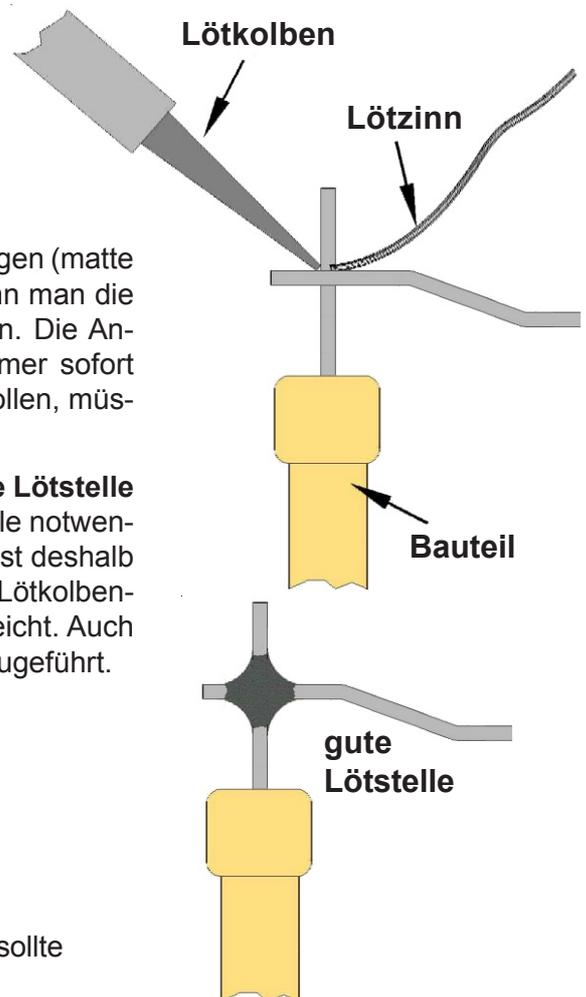
**Niemals** mit dem LötKolben das Lötzinn von irgendwo auf dem Tisch „holen“ und dann versuchen zu löten. Auf dem Weg vom Zinn zur Lötstelle verdampft das Flussmittel. Eine funktionierende Lötstelle ist dann auch mit noch so hoher Temperatur nicht mehr möglich. Eine gute Lötstelle zeichnet sich durch silbriges Glänzen aus.

Die **Lötstellen** sollen auf jeden Fall frei von Verunreinigungen (matte dunkle Oberfläche) sein. Wenn das nicht der Fall ist, kann man die zu verlötenden Flächen mit feinem Schleifpapier reinigen. Die Anschlussdrähte von Bauelementen sind in der Regel immer sofort lötfähig. **Zwei Drähte**, die miteinander verlötet werden sollen, müssen sich an der Lötstelle **berühren**.

**Wichtig!** Der **LötKolben** wird mit **leichtem Druck** auf die **Lötstelle** gehalten, da eine gute Wärmeübertragung auf die Lötstelle notwendig ist. Bei dickeren Drähten, die verlötet werden sollen, ist deshalb darauf zu achten, dass man mit der **flachen Fläche** der LötKolbenspitze eine gute Wärmeübertragung auf die Lötstelle erreicht. Auch das **Lötzinn** wird mit **leichtem Druck** auf die Lötstelle zugeführt.

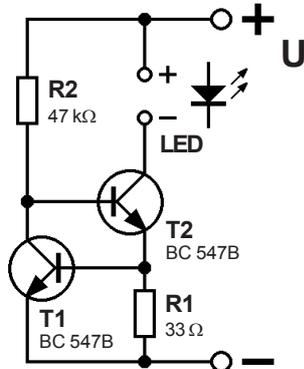
In den meisten Fällen ist es auch sinnvoll, speziell bei Litzendrähten und dickeren Volldrähten, die **Enden eines jeden Drahtes zuerst zu verzinnen**, bevor man sie ohne weitere Zugabe von Lötzinn miteinander verlötet. Wird eine Lötstelle jedoch „nachgelötet“ so hat auch das mit zusätzlichem Lötzinn und gereinigtem LötKolben zu erfolgen.

Werden **elektronische Bauelemente** (Halbleiter) gelötet, sollte eine Lötzeit von **3 Sekunden** nicht überschritten werden.

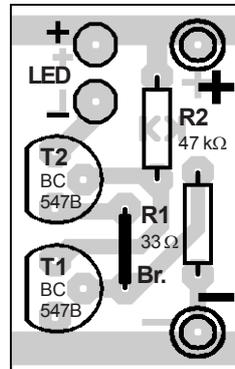


# LED - Konstantstromquelle

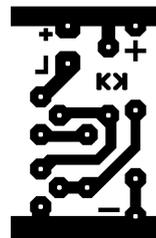
Mit dieser Konstantstromquelle können Leuchtdioden mit einem **konstanten Strom von 20 mA** betrieben werden. Werden die **Grenzwerte** eingehalten, so ist diese kleine Schaltung universell einsetzbar. Unabhängig von der Betriebsspannung und unabhängig von der Anzahl und Farbe der Leuchtdioden fließt durch die LED ein konstanter Strom von **20 mA**.



Schaltplan



Bestückungsplan vergrößert



Platinenlayout Originalgröße 20 x 33 mm

## Bauelemente - Stückliste

R1	.....	33 Ohm
R2	.....	47 kOhm
T1	.....	BC 547B
T2	.....	BC 547B
Br.	.....	Drahtbrücke
Platine	.....	20 x 33 mm

LED .... Leuchtdioden

Mehrere LED werden am angegebenen Anschluss in Reihe geschaltet.

Bei einer Betriebsspannung bis 9 Volt soll R2 auf 10 kOhm vermindert werden.

## Schaltungsbeschreibung

Bei der Konstantstromquelle handelt es sich grundsätzlich um einen **Transistorschalter (T2, R2) mit Strombegrenzung (T1, R1)**.

Über den Widerstand R2 muss so viel Strom fließen, dass der Transistor T2 ausreichend angesteuert wird, um einen Strom von 20 mA an seinem Kollektor, wo die LEDs angeschlossen sind, liefern zu können.

Für die **Strombegrenzung** sorgt der Transistor T1 mit dem Widerstand R1. Der Transistor T1 leitet, wenn von seiner Basis zum Emitter eine Spannung von **ca. 0,66 - 0,68 Volt** anliegt. Der Widerstand R1 ist nun so dimensioniert, dass genau bei dieser Spannung ein Strom von 20 mA fließt. Bei einem 33 Ohm - Widerstand und einem Strom von 20 mA ergibt sich somit genau ein Spannungsabfall von 0,66 Volt über R1. Der Strom für R1 wird vom Transistor T2 geliefert.

Steigt der Strom durch R1 über 20 mA an, so steigt auch die Spannung an R1. Als Folge leitet T1 besser und entzieht der Basis von T2 jetzt so viel Strom, dass T2 nun wieder schlechter leitet und sich somit der Strom in R1 wieder auf 20 mA reduziert.

Über diesen **Regelkreis** halten sich die beiden Transistoren so die Waage, dass sich ein Strom von 20 mA in R1, am Kollektor von T2 und somit auch in der Leuchtdiode einstellt. Der Strom über den Vorwiderstand R2 in die Basis von T2 ist vernachlässigbar gering. Er muss allerdings so groß sein, dass T2 ausreichend für den LED-Strom von 20 mA angesteuert wird.

Die Leistung, die nicht in den Leuchtdioden umgesetzt wird, fällt am Transistor T2 an. Die **maximale Verlustleistung des BC 547B** beträgt **500 mW**. Der Transistor T2 regelt also in weiten Bereichen alle Spannungsschwankungen der Betriebsspannung U bis zu seiner maximal zulässigen Verlustleistung aus.

## Dimensionierung

Im Prinzip kann die Schaltung bei Verwendung des BC 547B bis zu einer Betriebsspannung U von 45 Volt betrieben werden. Eine Obergrenze ist die maximale Verlustleistung des Transistors T2 von **500 mW**.

Am **Transistor T2** darf bei einem **Strom von 20 mA** also keine höhere Spannung als **25 Volt** anfallen. Die Spannung, die am Transistor verbleibt, ergibt sich aus der **Betriebsspannung U reduziert um die Summe der in Reihe geschalteten Leuchtdiodenspannungen**. Die an R1 abfallende Spannung wird vernachlässigt.

Die maximale **Anzahl der Leuchtdioden**, die in Reihe geschaltet an die Konstantstromquelle angeschlossen werden können, wird von der **Betriebsspannung U** bestimmt. **Die Differenz zwischen der Summe der Leuchtdiodenspannungen und der Betriebsspannung darf nicht kleiner sein als 1 Volt**, dann funktioniert die Konstantstromquelle einwandfrei.



## LED-Spannungen

Leuchtdioden benötigen bei einem **Nennstrom von 20 mA** je nach Farbe eine bestimmte Spannung, um im optimalen Bereich zu funktionieren.

Beispiele für **ultrahelle Leuchtdioden**:

rot ... 1,95 Volt; weiß, blau, gelb, grün .... 3,15 Volt;

Um festzustellen, wieviel Spannung eine LED bei einem Strom von 20 mA benötigt, schließt man sie mit einem Vorwiderstand (z.B. 100 Ohm) an eine regelbare elektronische Stromversorgung an. Dann stellt man die Spannung so ein, dass über dem Vorwiderstand eine Spannung von 2 Volt abfällt. Jetzt kann man die erforderliche **LED-Spannung** an der LED messen.