



## Lichtdeko für die Weihnachtszeit – LED-Weihnachtsbaum

Alle Jahre wieder – plötzlich ist es Weihnachten. Damit Sie rechtzeitig darauf vorbereitet sind, kommt unser Weihnachtsprojekt schon im Herbst. Der kleine, dekorative LED-Weihnachtsbaum kann mit LEDs verschiedener Leuchtfarben bestückt werden, die, von einem Mikroprozessor gesteuert, auch wie echtes Kerzenlicht flackern können.

### „... wie grün sind deine Blätter“

Die (heutige) Textsequenz aus dem bekannten Weihnachtslied „O Tannenbaum“ kennt wohl jeder. Jenes Grün spiegelt sich quasi symbolisch in der Grundkonstruktion unseres kleinen Weihnachtsprojekts wider, das statt mit Kerzen mit 29 LEDs bestückt ist. Diese werden von einem Mikrocontroller angesteuert, der verschiedene Betriebsmodi realisieren kann. Einmal ist das dauerhafte Anschalten der LEDs möglich, alternativ dazu werden die LEDs über eine PWM-Helligkeitssteuerung unregelmäßig angesteuert, sodass sich ein Flackereffekt wie bei einer Kerze ergibt. Die LED-Bestückung ist in 3 Farbvarianten (Rot, Gelb, Orange) möglich. Der LED-Weihnachtsbaum ist aufgrund der weitgehenden mechanischen Vorfertigung und der bereits ab Werk vorgenommenen SMD-Bestückung hervorragend als Einsteigerprojekt für Anfänger geeignet, weshalb wir hier auch einen Schwerpunkt in der Beschreibung zur Berechnung von

LED-Schaltungen (siehe Elektronikwissen) und der genaueren Erklärung zur Pulsweitenmodulation (PWM) setzen.

### Schaltungsbeschreibung

Das Schaltbild des LED-Weihnachtsbaums LED-WB1 ist in [Bild 1](#) dargestellt. Zur Ansteuerung der zahlreichen LEDs (D1 bis D29) wird ein Mikrocontroller (IC1) vom Typ ATmega88 verwendet. Dieser Controller besitzt 6 PWM-Ausgänge, mit deren Hilfe die Helligkeit der LEDs in 256 Stufen einstellbar ist.

Die LEDs werden über die Transistoren T1 bis T6 ein- bzw. ausgeschaltet. Da anhand der Betriebsspannung von 5 V die LEDs nicht alle komplett in Reihe geschaltet werden können, sind diese zu mehreren Strängen zusammengefasst. Ein Widerstand (R7 bis R22) begrenzt dabei den LED-Strom (siehe auch Elektronikwissen).

**Hinweis:** Es können nur LEDs mit einer Flussspannung von  $\leq 2$  V verwendet werden (Rot, Gelb, Orange).

Spannungsversorgung:	7,5–12 Vdc
Stromaufnahme:	max. 120 mA
LEDs:	29 x 3 mm
Sonstiges:	Taster für Ein/Aus/Dauerlicht/Flackereffekt
Umgebungstemperatur:	+5 bis +35 °C
Abmessungen (H x Ø):	117 x 78 mm
Gewicht:	52 g

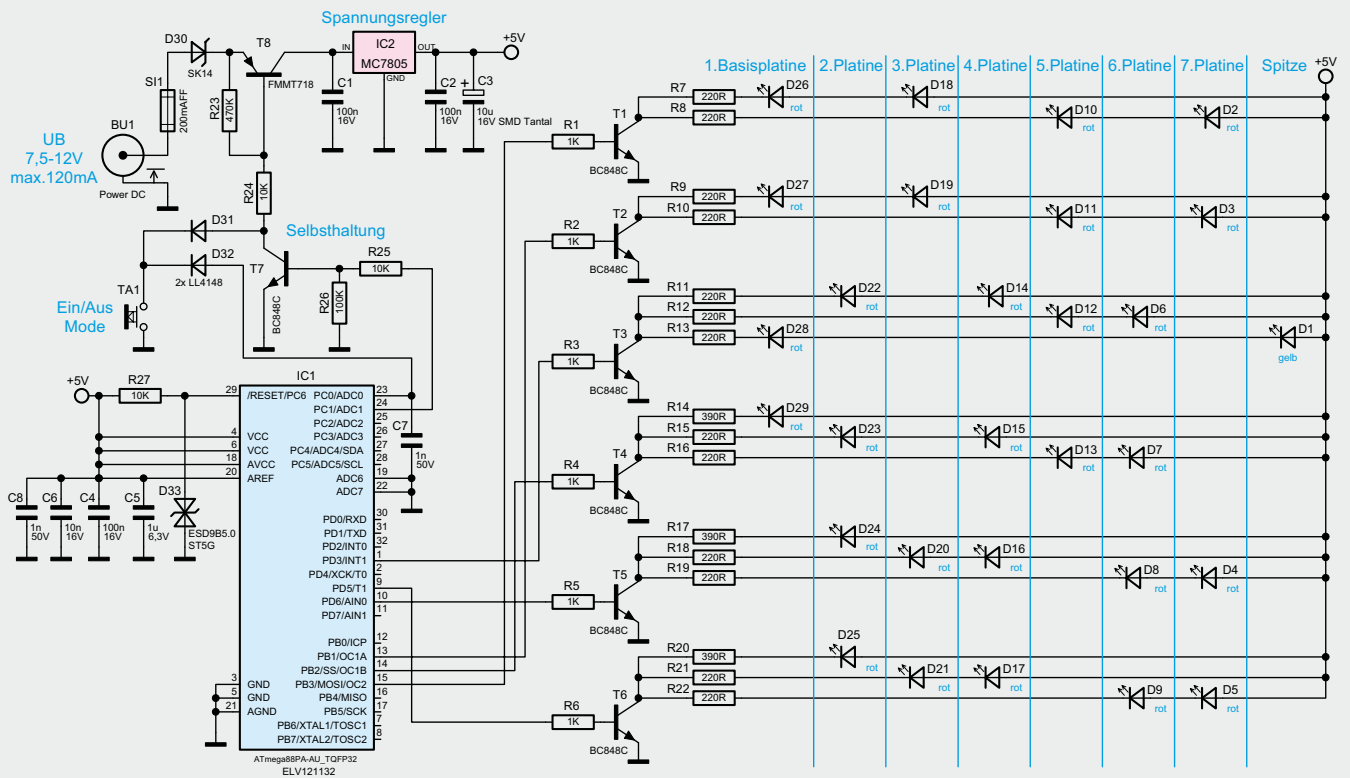


Bild 1: Die komplette Schaltung des LED-Weihnachtsbaums

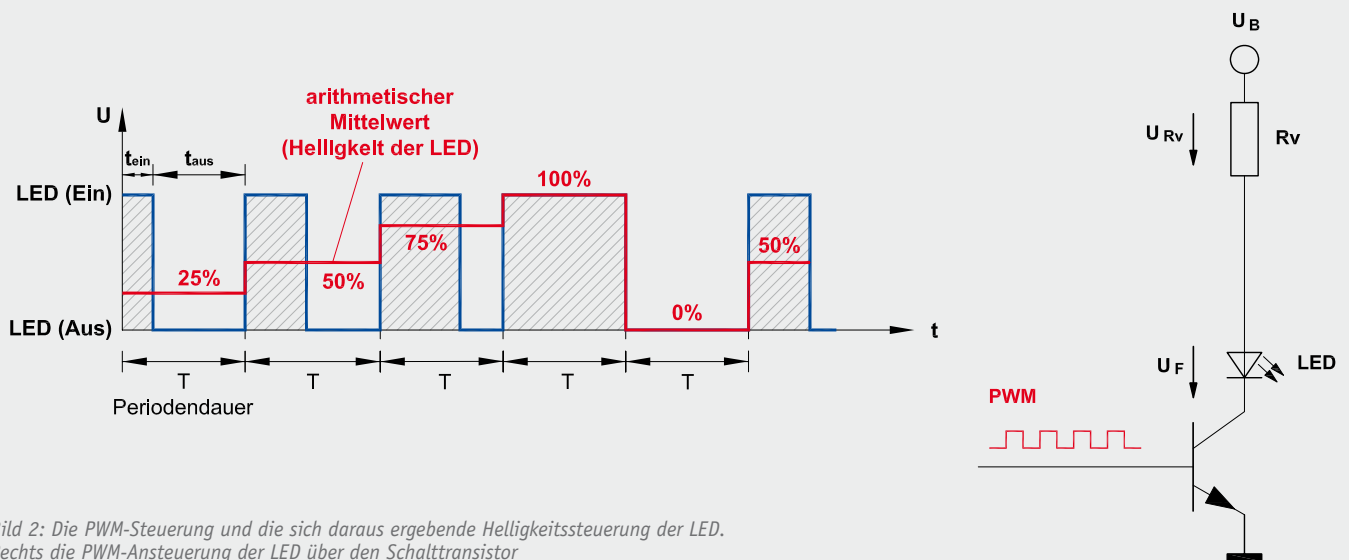


Bild 2: Die PWM-Steuerung und die sich daraus ergebende Helligkeitssteuerung der LED. Rechts die PWM-Ansteuerung der LED über den Schalttransistor

Die Helligkeitssteuerung erfolgt durch die schon erwähnte PWM. PWM bedeutet, dass sich das Puls-Pausen-Verhältnis (also das zeitliche Verhältnis von eingeschalteter und ausgeschalteter LED) des Rechteckausgangssignals ändert bzw. gesteuert werden kann.

Dies erfolgt mit einer Frequenz, die vom menschlichen Auge nicht mehr wahrgenommen wird. Je nach Puls-Pausen-Verhältnis ergibt sich somit ein bestimmter Helligkeitswert (arithmetischer Mittelwert) wie in Bild 2 illustriert. Die Firmware des Mikrocontrollers ist nun so programmiert, dass das Puls-Pausen-Verhältnis für die einzelnen LED-Stränge zeitlich zufällig generiert wird, wodurch der Eindruck des Flackerns entsteht.

Die Versorgungsspannung wird der Schaltung über die Buchse BU1 zugeführt. Die Sicherung schützt das Netzteil im Falle eines Defekts (z. B. Kurzschluss in der Schaltung), während die Diode D30 als Verpolungsschutz dient.

Mit dem Schalttransistor T8 wird die Versorgungsspannung in einer sogenannten Selbsthaltung geschaltet. Schauen wir uns diesen Schaltungsbereich im Detail an:

Durch Betätigen des Tasters TA1 wird zunächst über die Entkoppeldiode D31 der Basiswiderstand R24 von T8 gegen Masse (GND) geschaltet. T8 schaltet durch, und die Betriebsspannung gelangt auf den Spannungsregler IC2, der wiederum eine stabile Spannung von 5V für die restliche Elektronik zur Verfügung stellt. Nun wird auch der Mikrocontroller IC1 mit Spannung versorgt. Die interne Firmware wird gestartet und der Ausgangsport PC1 (Pin 24 von IC1) auf High-Potenzial gelegt. Dies hat zur Folge, dass über den Widerstand

R25 der Transistor T7 angesteuert wird und durchschaltet. T7 übernimmt nun die Funktion des Tasters TA1, den wir betätigt haben. Nach „Loslassen“ des Tasters TA1 bleibt die Versorgungsspannung erhalten – die Selbsthaltung ist aktiv. Der Ausschalten erfolgt ebenfalls durch Betätigung des Tasters TA1, der über die Diode D32 den Pegel des Ausgangsports PC 0 (Pin 23 von IC1) auf Low-Pegel legt. Da mit dem Taster TA1 auch der Betriebsmodus umgeschaltet wird (siehe Abschnitt „Inbetriebnahme und Bedienung“) muss der Taster zum Ausschalten für mindestens 3 Sekunden gedrückt gehalten werden. Dieses wird vom Controller als Befehl zum Ausschalten erkannt, woraufhin die Selbsthaltung gelöst wird, indem der Port PC 1 auf Low-Potenzial wechselt und der Transistor T7 sperrt. Jetzt befindet sich die Schaltung wieder im Ausgangszustand (ausgeschaltet).

## Nachbau

Der Aufbau erfolgt auf mechanisch vorgefertigten Platinen, die zusammenhängend auf einem sogenannten Nutzen (Bild 3) untergebracht sind. Die einzelnen Platinen können von Hand mittels der Perforation herausgebrochen werden. Bedingt durch die Perforation entsteht an 4 Seiten einer kleiner Grat, der leicht mit einer Feile oder Schleifpapier zu entfernen ist (Bild 4). Die im Folgenden beschriebene Reihenfolge des Zusammenbaus ist unbedingt einzuhalten, um das Projekt fehlerfrei aufzubauen. Grundlage sind dazu die Platinenfotos und die Bestückungspläne (Bild 5/ Bild 6) sowie Bestückungsdruck und Stückliste.

Da alle SMD-Bauteile schon vorbestückt sind, muss man nur noch wenige bedrahtete Bauteile bestücken. Hierzu zählt das Bestücken der LEDs, der Buchse BU1 sowie des Tasters TA1. Die LEDs werden von der Platinenoberseite der Platine eingesetzt und auf der Platinenunterseite verlötet. Die überstehenden Drahtenden der LEDs werden mit einem Seitenschneider gekürzt. Wichtig ist hier, auf die richtige Polung der LEDs zu achten. Bild 7 zeigt, dass ein Anschlussdraht der LED etwas länger ist. Dies ist die Anode und somit der Pluspol („+“-Symbol auf der Platine).

Das Bestücken und Verlöten des Tasters und der Buchse ist einfach, da die richtige Einbauposition durch die Bohrungen vorgegeben ist. Hier ist lediglich zu beachten, dass spätere mechanische Kräfte dadurch aufgefangen werden, indem man die Taster-Armierung bzw. das Buchsengehäuse plan auf die Platine aufsetzt und beim Verlöten zusätzlich andrückt, sodass mechanische Kräfte direkt auf die Platine übertragen werden. Bild 8 zeigt die so fertig bestückte Platine.

Nachdem alle Platinen bestückt worden sind (Bild 9), erfolgt der Zusammenbau und das Verlöten der Platinen.

Zunächst werden die beiden Stamm-Platinen wie in Bild 10 dargestellt, zusammengesteckt. Wichtig hierbei sind die Markierungen auf der Platine (weiße Pfeile), die auch auf allen anderen Platinen vorhanden sind. Diese beiden Platinen werden nicht direkt miteinander verlötet, sondern durch die weiteren Platinen stabilisiert. Nun kann die Basisplatine (Nr. 1) von oben auf diese Konstruktion aufgesetzt werden. Bild 11 zeigt, wie das Verlöten der Platinen korrekt durchgeführt

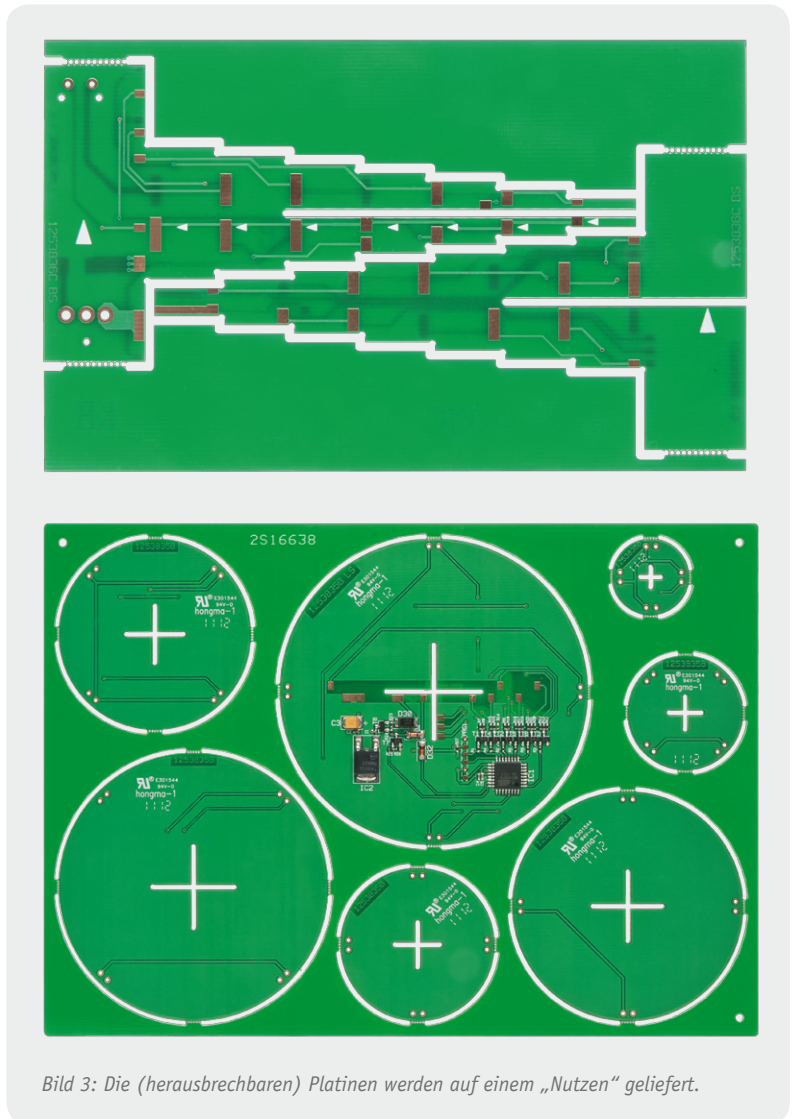


Bild 3: Die (herausbrechbaren) Platinen werden auf einem „Nutzen“ geliefert.

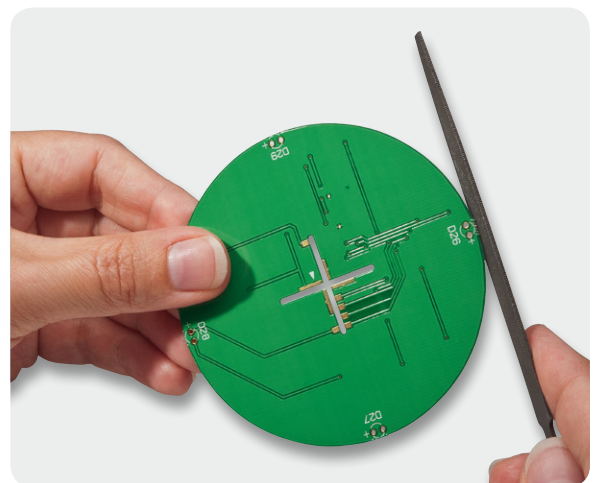


Bild 4: Nach dem Herausbrechen der Platinen wird der Grat mit einer Feile entfernt.

wird. Die beiden Stamm-Platinen sollten auf einer ebenen Fläche stehen, damit kein Versatz entsteht, und der fertige Weihnachtsbaum später nicht wackelt. Sorgfältiges und genaues Arbeiten ist hier Voraussetzung. Nun kann die nächstkleinere Platine aufgesetzt und verlötet werden.

**Achtung!** Zwischen der 5. und 6. Platine gilt es, eine wichtige Lötstelle zu beachten (Bild 12). Bevor die 6. Platine aufgesetzt wird, sollte diese Lötverbindung hergestellt werden.

Nachdem alle Platinen Schritt für Schritt zu einer Pyramide zusammengelötet worden sind, fehlt nur noch die LED auf der Spitze. Die Po-



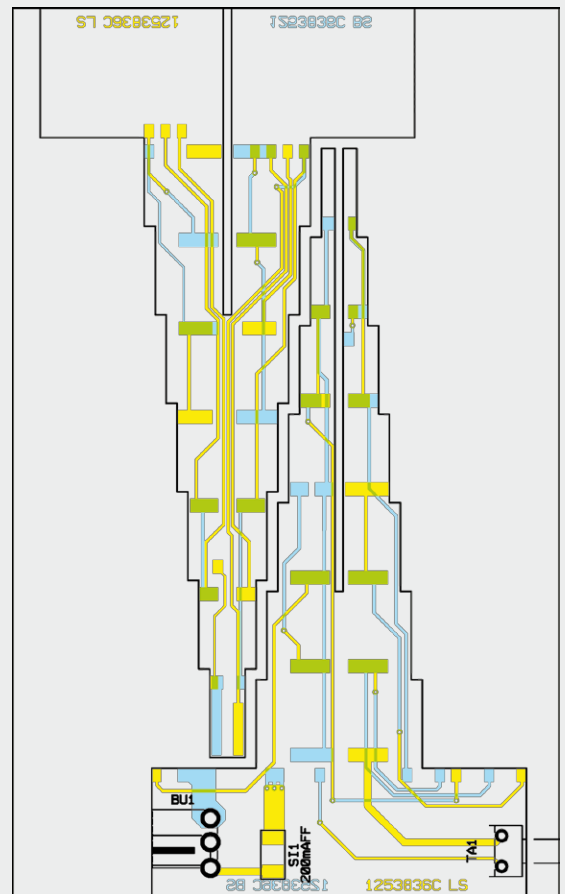
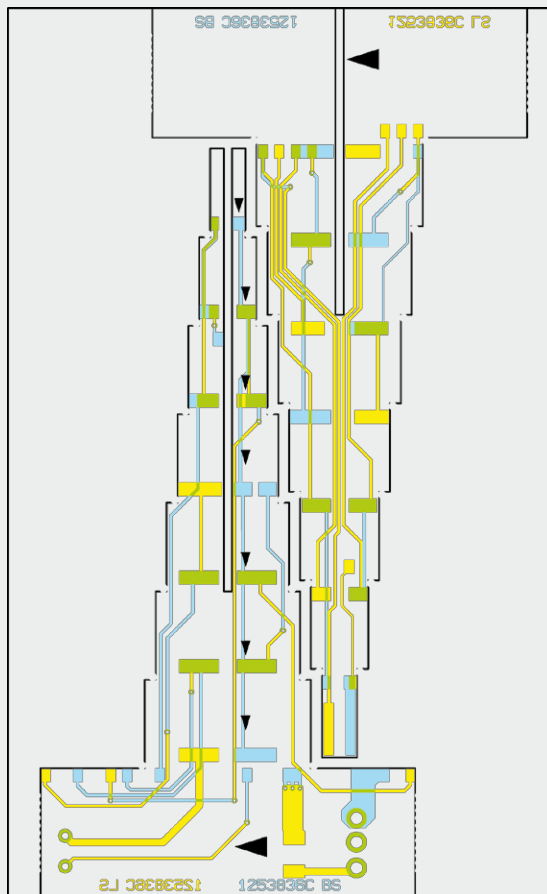
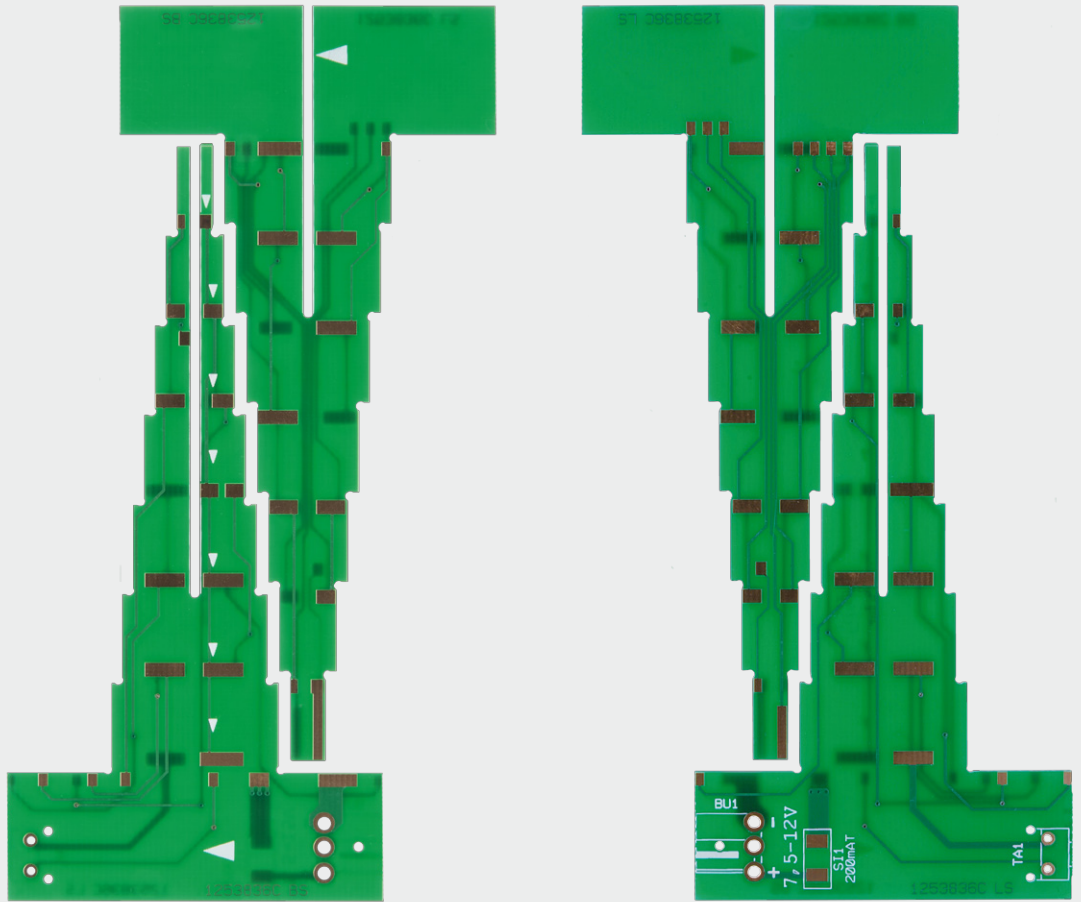


Bild 5: Die beiden Stamm-Platinen des LED-Weihnachtsbaums mit zugehörigem Bestückungsplan (Abbildung auf 80 % verkleinert)



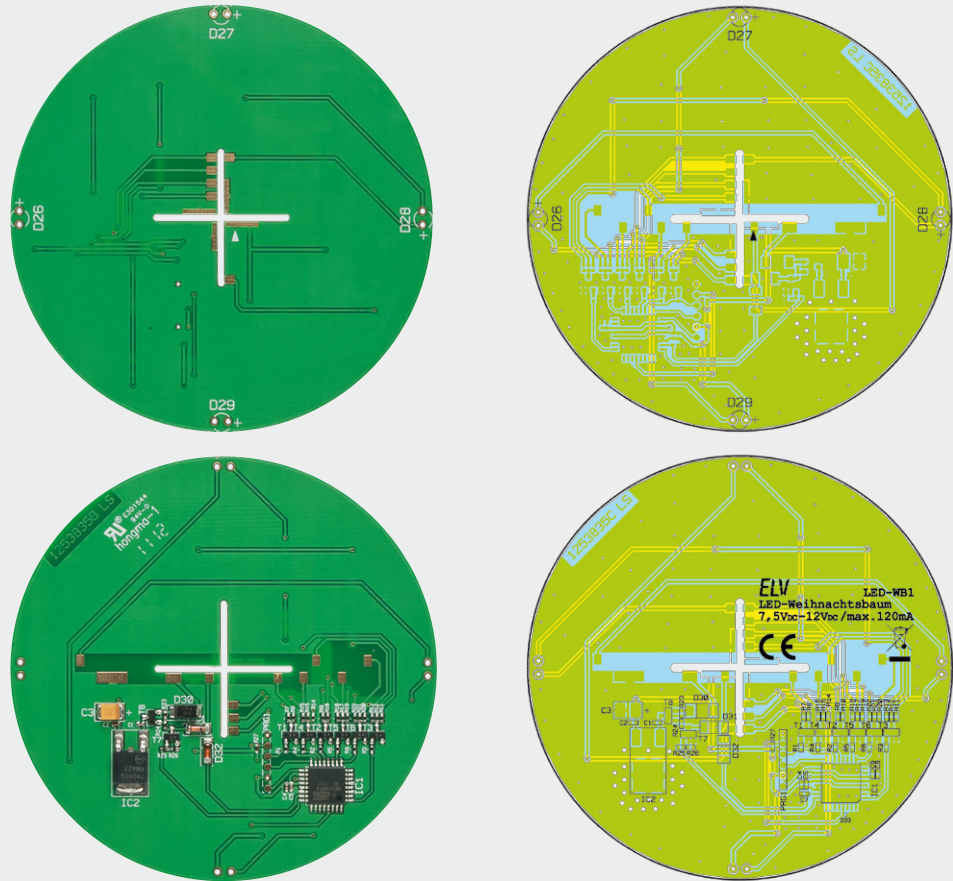


Bild 6: Die Basis- und LED-Platinen mit zugehörigem Bestückungsplan, oben die Oberseite, unten die Unterseite (Abbildung auf 70 % verkleinert)

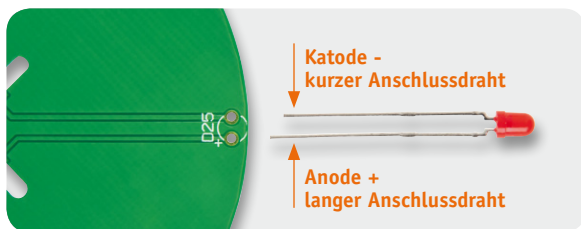


Bild 7: Der längere Anschlussdraht der LED ist die Anode (Symbol „+“ auf der Platine)

lung ist dadurch gekennzeichnet, dass sich der Pluspol (Anode) auf der markierten Seite befindet (Bild 13). Hiermit ist der Nachbau beendet, und wir können die Schaltung in Betrieb nehmen. Bild 14 zeigt noch einmal die fertig aufgebaute Schaltung von unten.

### Inbetriebnahme und Bedienung

Zur Spannungsversorgung dient ein passendes Steckernetzteil. Dessen Ausgangsspannung sollte 7,5 V betragen, um die Verluste am Spannungsregler möglichst gering zu halten. Es können aber auch Netzteile mit einer maximalen Spannung von 12 V verwendet werden. Durch kurzes Betätigen des seitlich zugänglichen Tasters wird das Gerät eingeschaltet. Der 1. von 2 Modi ist der Flackermodus, in dem die LEDs wie beschrieben zufällig angesteuert werden. Ein weiteres kurzes Betätigen des Tasters wechselt zum Dauerlicht-Modus, bei dem alle LEDs so angesteuert werden, dass sie mit gleicher Helligkeit leuchten. Das Ausschalten geschieht durch längeres Betätigen des Tasters für mindestens 3 Sekunden. **ELV**

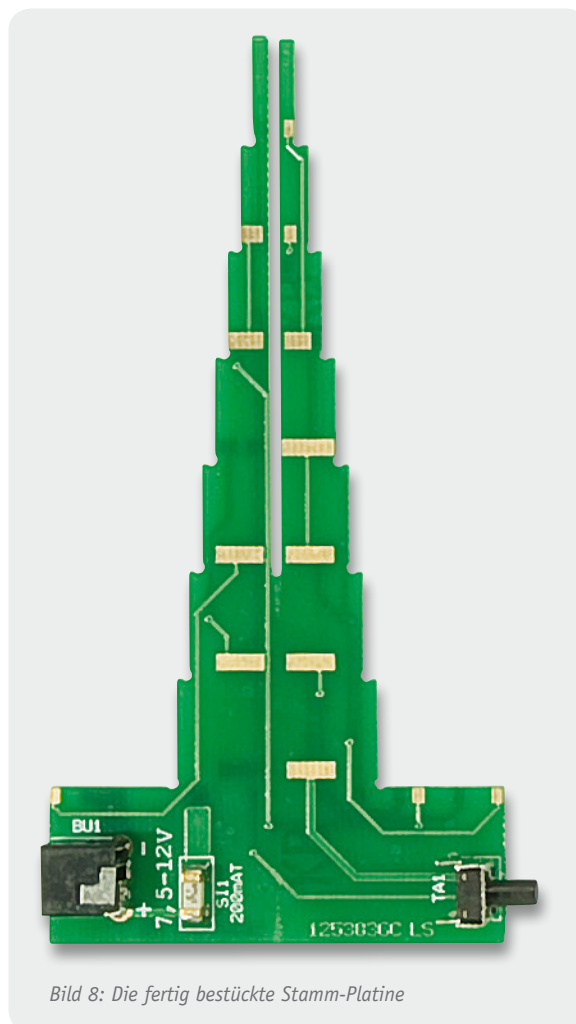


Bild 8: Die fertig bestückte Stamm-Platine

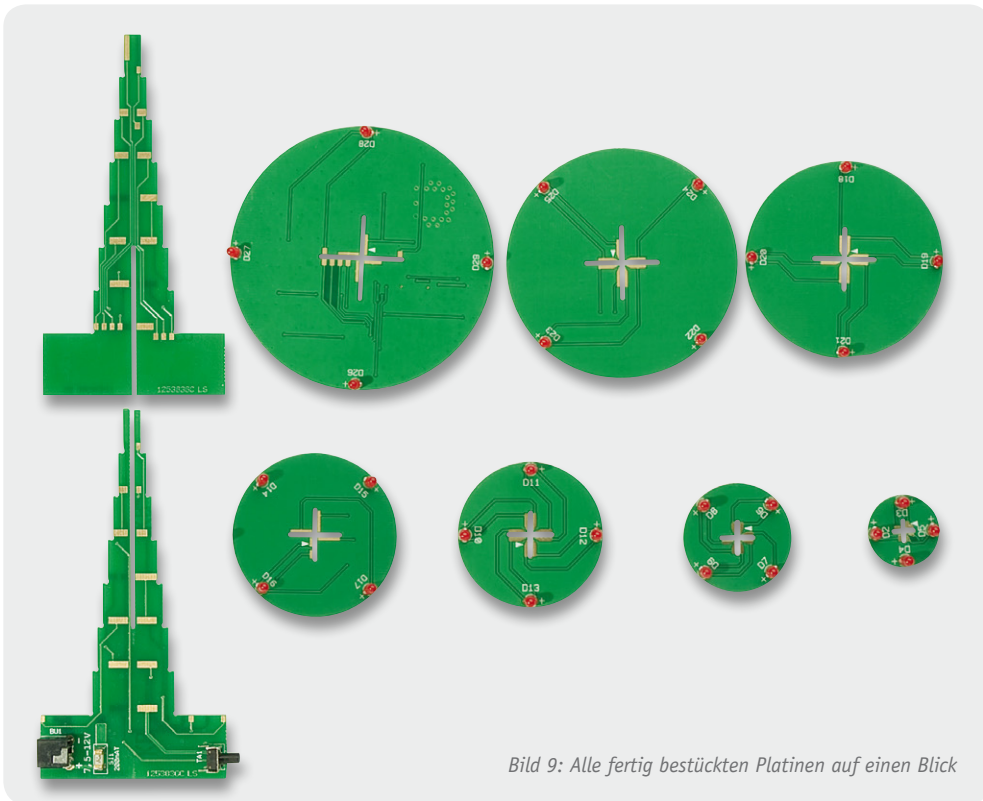


Bild 9: Alle fertig bestückten Platinen auf einen Blick



Bild 10: So werden die beiden Stamm-Platinen zusammengesteckt; dabei ist unbedingt auf die Markierung zu achten!



Bild 11: Am Beispiel der Basisplatine ist hier zu sehen, wie die Platinen korrekt miteinander verlötet werden

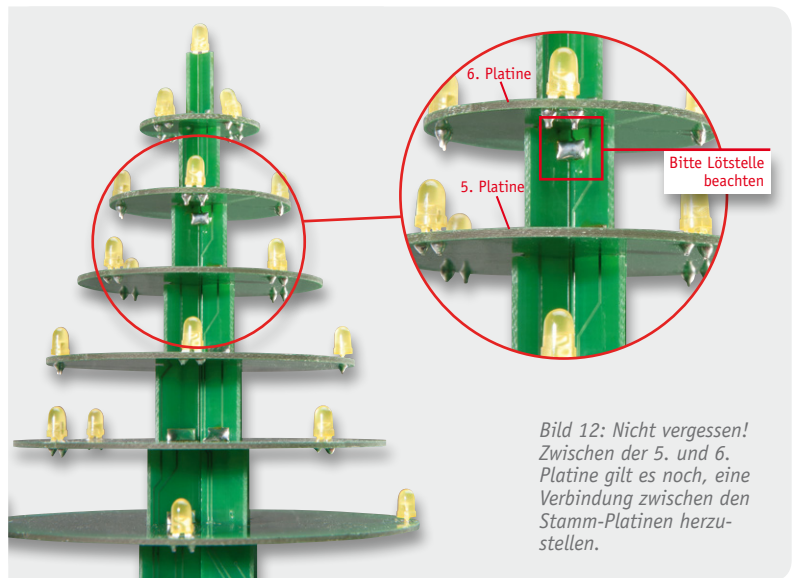


Bild 12: Nicht vergessen! Zwischen der 5. und 6. Platine gilt es noch, eine Verbindung zwischen den Stamm-Platinen herzustellen.



Bild 13: Die LED an der Spitze wird so angelötet, dass sich der längere Anschlussdraht auf der hier gezeigten Platinenseite befindet.

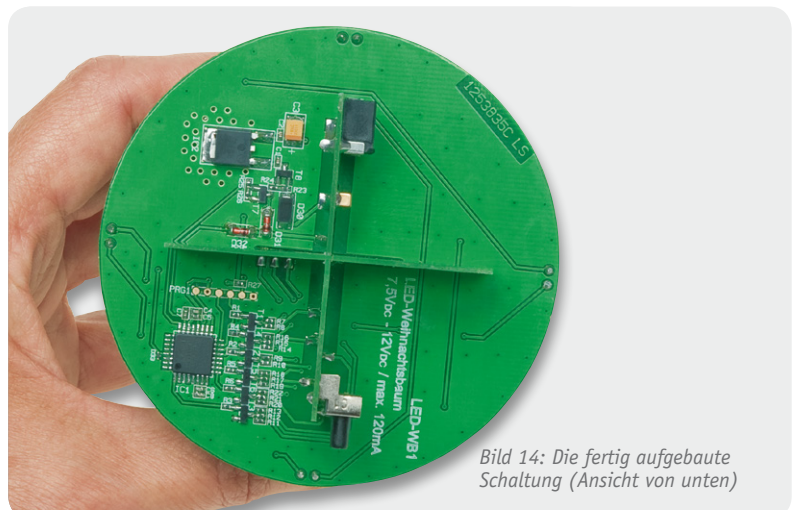


Bild 14: Die fertig aufgebaute Schaltung (Ansicht von unten)



**Widerstände:**

220 $\Omega$ /SMD/0402	R7-R13, R15, R16, R18, R19, R21, R22
390 $\Omega$ /SMD/0402	R14, R17, R20
1 k $\Omega$ /SMD/0402	R1-R6
10 k $\Omega$ /SMD/0402	R24, R25, R27
100 k $\Omega$ /SMD/0402	R26
470 k $\Omega$ /SMD/0402	R23

**Kondensatoren:**

1 nF/SMD/0402	C7, C8
10 nF/SMD/0402	C6
100 nF/SMD/0402	C1, C2, C4

1  $\mu$ F/SMD/0402

C5

10  $\mu$ F/16 V/SMD

C3

**Halbleiter:**

ELV121132/SMD	IC1
MC7805CDT/SMD	IC2
BC848C	T1-T7
FMMT718/SMD	T8
LL4148	D31, D32
ESD9B5.0ST5G/SMD	D33
SK14/SMD	D30
LED, 3 mm (nicht im Bausatz enthalten)	D1-D29

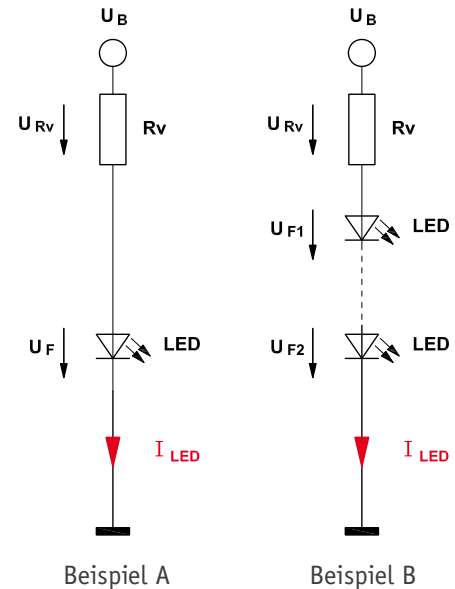
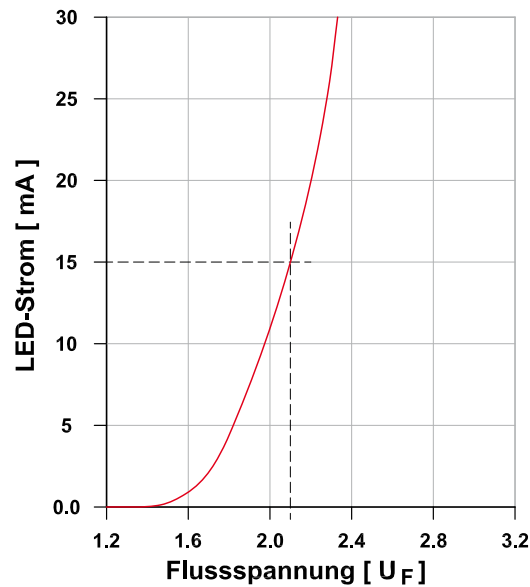
**Sonstiges:**

1 DC-Buchse, print	BU1
1 Mini-Taster, abgewinkelt, print	TA1
1 Sicherung, 200 mA, flink, SMD	SI1



Bild 15: Der fertig aufgebaute LED-Weihnachtsbaum mit Steckernetzteil





### LED-Vorwiderstand berechnen

Ein Hinweis vorweg: LEDs dürfen niemals ohne Strombegrenzung (Vorwiderstand bzw. Stromquelle) betrieben werden. Wie man an der Kennlinie einer LED erkennt, zeigt die Strom-Spannungskurve einen deutlichen Knick. Ab einer bestimmten Spannung steigt der LED-Strom deutlich an. Eine reine Spannungssteuerung ist deshalb ausgeschlossen. Der entscheidende Betriebsparameter ist der LED-Strom. Der Nennstrom liegt bei einer Standard-LED bei ca. 15–20 mA. Low-Current-LEDs sind für einen relativ niedrigen Strom von 1 mA bis 5 mA ausgelegt.

Folgende Angaben müssen für die Berechnung bekannt sein: Betriebsspannung ( $U_B$ ), Flussspannung der LEDs (in Datenblättern als  $U_F$  bezeichnet) und der LED-Strom ( $I_{LED}$ ), den man selber bestimmen kann. Es hat sich gezeigt, dass für eine Standard-LED ein Strom von ca. 15 mA optimal ist. Eine weitere Erhöhung, z. B. auf 25 mA bringt keine wesentlich größere Lichtleistung. Der Vorwiderstand ( $R_V$ ) wird nach folgender Formel berechnet:

$$R_V = \frac{U_B - U_F}{I_{LED}}$$

Da uns der Strom  $I_F$  bekannt ist – wir entscheiden uns z. B. für 15 mA (0,015 A) –, gilt es lediglich, die Spannung  $U_{RV}$  (Spannung, die am Vorwiderstand abfällt) zu ermitteln. Hierzu brauchen wir nur die Flussspannung ( $U_F$ ) der LED von der Betriebsspannung ( $U_B$ ) abzuziehen. Die Flussspannung  $U_F$  der LED ist vorwiegend von der Leuchtfarbe abhängig. Eine rote LED hat eine  $U_F$  von ca. 2 V, wobei eine weiße LED es auf eine Flussspannung von bis zu 4,5 V

bringt. Die genauen Daten können den technischen Angaben der verwendeten LED entnommen werden. Schauen wir uns die Berechnung an den folgenden Beispielen genauer an.

### Beispiel A: Einzelne LED

Betriebsspannung  $U_B = 12V$

LED-Strom  $I_{LED} = 15\text{ mA}$

Flussspannung  $U_F = 2\text{ V}$  (rote LED)

$$R_V = \frac{U_B - U_F}{I_{LED}} = \frac{12V - 2V}{0,015A} \\ = 666\Omega \approx (680\Omega / E12 - \text{Reihe})$$

### Beispiel B: Mehrere LEDs

Will man mehrere LEDs betreiben, ist es zweckmäßig, möglichst viele in Reihe zu schalten. Wie viele LEDs in Reihe geschaltet werden können, hängt von  $U_B$  und  $U_F$  ab. Bei einer  $U_B$  von 12 V und einer Flussspannung von 3 V könnte man theoretisch 4 LEDs in Reihe schalten und käme genau auf 12 V. Dies ist aber nicht möglich, da keine Spannung mehr am Vorwiderstand abfallen kann. Also müssen wir die Anzahl der LEDs verringern. Maximal könnten bei 12 V Betriebsspannung 3 LEDs in Reihe betrieben werden. In unserem Beispiel B haben wir 2 LEDs ( $U_F = 3\text{ V}$ ) gewählt. Als Vorwiderstand ergibt sich:

$$R_V = \frac{U_B - (U_{F1} + U_{F2})}{I_{LED}} = \frac{12V - (3V + 3V)}{0,015A} \\ = 400\Omega \approx (390\Omega / E12 - \text{Reihe})$$

Die Widerstandswerte müssen dann, angepasst an die E12- oder E24-Reihe, auf- bzw. abgerundet werden.