

LEDs richtig ansteuern

Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB

Teil 5

In diesem Teil der Serie für das PAD-PRO-Experimentierset zeigen wir, wie man LEDs richtig ansteuert. Wir erklären, was eine Stromquelle ist und wie man diese anhand von Schaltungsbeispielen für den Betrieb mit LEDs nutzen kann.

LEDs – Grundlagen

Eine LED (light-emitting diode) ist ein Halbleiterbauteil, das Licht ausstrahlt, wenn ein Strom durch den Halbleiterkristall fließt. Elektrisch gesehen verhält sich eine LED wie eine normale Diode – es kann nur Strom in einer Richtung durch die LED fließen. Im Prinzip ist die Kennlinie einer LED mit einer Diode identisch, mit dem Unterschied, dass die Flussspannung deutlich höher ist. Dabei ist die Flussspannung abhängig von der emittierenden Lichtfarbe einer LED (Bild 1). Eine rote LED weist z. B. eine Flussspannung von 1,8 V auf, während es bei einer blauen LED ca. 3 V sind.

Damit eine LED leuchtet, muss ein bestimmter Strom fließen. Die Helligkeit einer LED wird nicht von der Spannung, sondern vom Strom bestimmt. Eine LED kann aber nicht einfach an eine Spannungs-

quelle angeschlossen werden, da genau die zum gewünschten Strom erforderliche Spannung eingestellt werden müsste. Dieser Bereich ist sehr klein, und eine Abweichung nach oben würde die LED zerstören. Dies ist im Diagramm in Bild 2 gut zu erkennen. Der nutzbare Bereich einer LED ohne Vorwiderstand beträgt im dargestellten Beispiel nur 2 bis 2,2 V. Bei einer Spannung von 2,5 V würde der Strom ins Unendliche ansteigen und die LED damit zerstören.

Der einfachste Weg zur Strombegrenzung ist ein vorgeschalteter Widerstand. In Bild 2 ist die Kennlinie für die Kombination aus LED und Vorwiderstand dargestellt. Wie man gut erkennt, wird die Kurve durch diese Maßnahme wesentlich flacher. Der nutzbare Bereich erstreckt sich nun von 3,5 bis 5 V. Durch eine noch höhere Spannung steigt der LED-Strom zwar an, wird aber nicht so groß, dass die LED zerstört, sondern lediglich überlastet wird. Mit Kenntnis der Flussspannung der verwendeten LED, der Betriebsspannung und des gewünschten Stroms kann der erforderliche Vorwiderstand einfach berechnet werden, wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden.

Vorwiderstand oder Stromquelle

Wie schon erwähnt, benötigen wir zum Betrieb einer LED immer eine Strombegrenzung. Wir unterscheiden zwei unterschiedliche Verfahren: die klassische Strombegrenzung mittels Vorwiderstand und die Verwendung einer Stromquelle/-senke. Im Folgenden wollen wir uns beide Schaltungsvarianten genauer anschauen.

Wenn die Betriebsspannung stabil ist und sich im normalen Betrieb nicht ändert, ist ein Vorwiderstand die einfachste Lösung für den Betrieb einer bzw. mehrerer LEDs, wie in Bild 3 dargestellt. Die Berechnung des Vorwiderstands ist relativ einfach und geschieht mit der in Bild 3 dargestellten Formel.

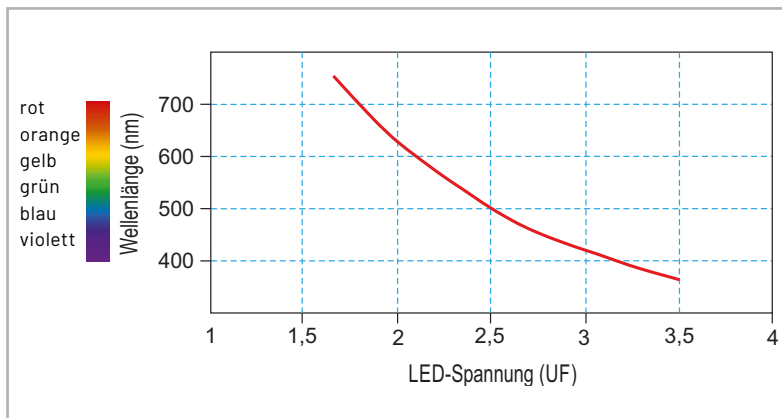


Bild 1: LED-Farbe vs. Flussspannung

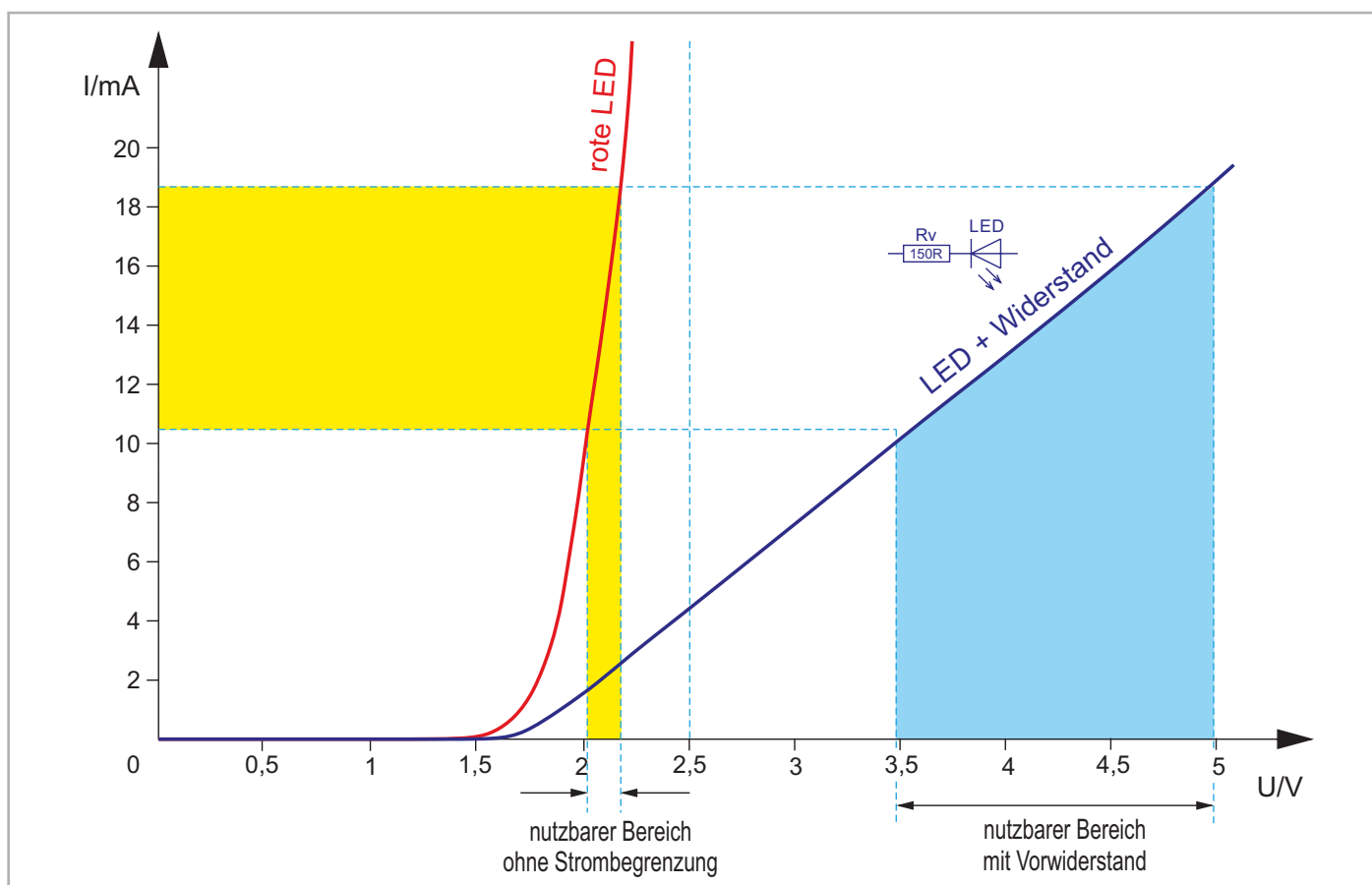


Bild 2: Kennlinie einer LED, mit und ohne Vorwiderstand

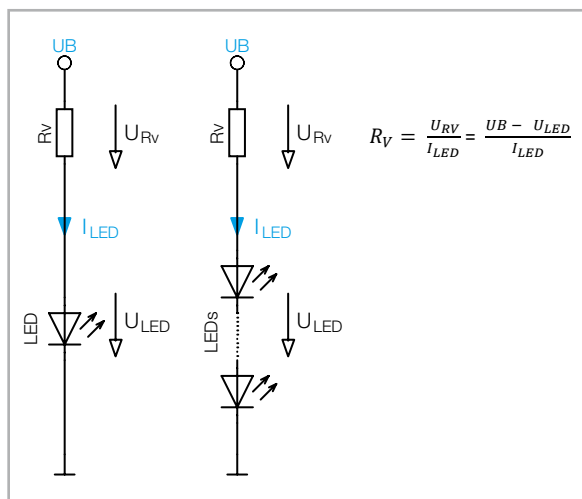


Bild 3: LED mit Vorwiderstand

Je nach gewünschter Helligkeit werden LEDs mit einem Strom von ca. 5 bis 20 mA betrieben. Die in der Formel gekennzeichnete Spannung U_{RV} ist die Spannung, die über dem Vorwiderstand abfällt, und errechnet sich aus der Subtraktion der LED-Spannung (U_{LED} = Summe aller U_F der einzelnen LEDs) von der Betriebsspannung U_B . Die Flussspannung (U_F) findet man entweder im jeweiligen Datenblatt oder man richtet sich nach der LED-Leuchtfarbe und entnimmt den Spannungswert aus der Kennlinie in Bild 1. Als Beispiel sind die vorgegebenen Parameter: Betriebsspannung = 12 V, gewünschter LED-Strom = 10 mA und eine LED-Spannung (U_{LED} = U_F) von 1,8 V (U_F einer roten LED).

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_{LED}} = \frac{U_B - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{12\text{ V} - 1,8\text{ V}}{10\text{ mA}} = \frac{10,2\text{ V}}{10\text{ mA}} = 1020\ \Omega$$

Möchte man mehrere LEDs gleichzeitig betreiben, ist es sinnvoll, diese in Reihe zuschalten, wie es in Bild 3 zu sehen ist. Man sollte darauf achten, dass eine gewisse minimale Spannung an dem Vorwiderstand abfallen kann. Die Spannung U_{RV} sollte mindestens 1,5 V betragen.

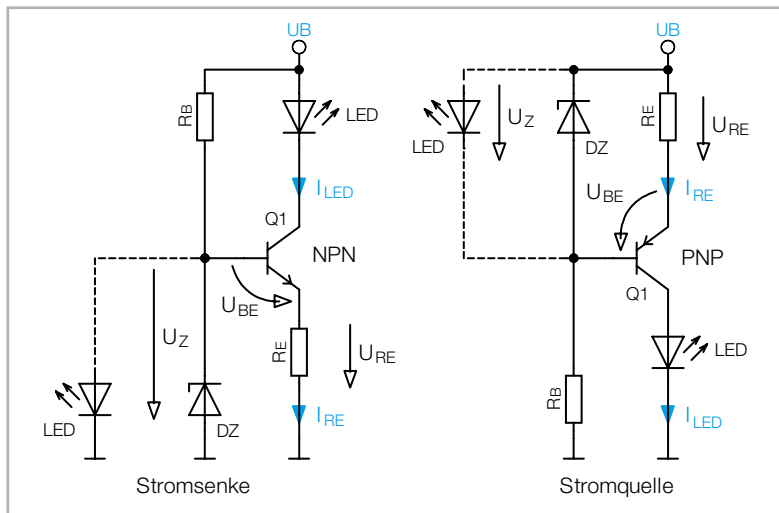


Bild 4: Stromquelle und Stromsenke

Eine andere Methode, um den Strom zu begrenzen, sind sogenannte Stromquellen bzw. Stromsenken. Mit dieser Schaltungstechnik wird der Strom nicht nur begrenzt, sondern auch konstant gehalten. Ob nun Stromsenke oder Stromquelle, funktionstechnisch handelt es sich um identische Schaltungen. Der Unterschied besteht darin, ob der konstante Strom in die Schaltung hinein- oder hinausfließt (Bild 4). LEDs sollten mit einem konstanten Strom betrieben werden, wenn sich die Betriebsbedingungen ändern, z. B. die Versorgungsspannung stark variiert.

In Bild 4 ist je eine simple Stromquelle und Stromsenke mit einem Transistor dargestellt. Wenn wir uns die beiden Schaltbilder anschauen, sehen wir, dass es sich eigentlich um identische Schaltungen handelt. Mit dem Unterschied, dass die Stromsenke mit einem NPN-Transistor und die Stromquelle mit einem PNP-Transistor realisiert ist. Beide Schaltungen haben eins gemeinsam: Sie halten den Strom in einem bestimmten Stromkreis konstant. Die Funktionsweise ist schnell erklärt. Grundprinzip ist, die Spannung über dem Emitterwiderstand R_E konstant zu halten, denn wie wir nach dem ohmschen Gesetz wissen, ist der Strom durch einen Widerstand konstant, wenn auch die an dem Widerstand abfallende Spannung konstant ist. Der Hauptstrom fließt durch die Last, in unserem Fall durch eine LED dargestellt, den Transistor und den Emitterwiderstand R_E .

Damit die Spannung am Emitterwiderstand konstant bleibt, müssen wir dafür sorgen, dass die Spannung an der Basis des Transistors konstant bleibt. Dies kann auf unterschiedliche Arten geschehen. In der Prinzipschaltung gemäß Bild 4 geschieht die Spannungsstabilisierung mit einer Z-Diode und einem entsprechenden Vorwiderstand R_V . So bleibt die Spannung an der Basis auch bei unterschiedlichen Betriebsspannungen konstant. Als Alternative zu einer Z-Diode kann man

auch eine LED in Flussrichtung nutzen, da die LED in Flussrichtung eine Dioden-Charakteristik aufweist, weshalb in vielen Schaltungen gerne eine LED zur Spannungsstabilisierung genommen wird. Der LED-Strom kann dabei so klein sein, dass diese nicht einmal aufleuchtet. Ist die Spannung an der Basis konstant, ist auch die um $0,7\text{V}$ (Flussspannung der Basis-Emitterstrecke) kleinere Emitterspannung an R_E konstant, und unsere gestellte Bedingung ist erfüllt. Der Konstantstrom errechnet sich wie folgt:

$$I_{LED} = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{U_Z - 0,7V}{R_E}$$

In Bild 5 ist eine weitere Variante einer Konstantstromsenke zu sehen. Hier wird als Referenz die Basis-Emitterspannung eines weiteren Transistors genutzt, die bei einem Standardtransistor ca. $0,7\text{V}$ beträgt. Die Leuchtdiode (LED) wird über den Transistor $Q1$ angesteuert und befindet sich im Kollektorzweig. Wenn über den Emitterwiderstand R_E ein Strom fließt, wird der Spannungsabfall über diesen durch die parallel liegende Basis-Emitterstrecke von $Q2$ auf $0,7\text{V}$ begrenzt. Der Kollektor von Transistor $Q2$ ist mit der Basis vom Transistor $Q1$ verbunden, wodurch eine Rückkopplung, genauer gesagt eine Gegenkopplung stattfindet. Im Prinzip stellen sich alle Ströme und Spannungen so ein, dass über R_E eine Spannung von $0,7\text{V}$ abfällt, was der Basis-Emitterspannung von $Q2$ entspricht. Da die Spannung über R_E konstant ist, ist auch der Strom konstant. Der Strom errechnet sich nach folgender Formel:

$$I_{LED} = \frac{0,7\text{V}}{R_E}$$

In Bild 5 ist auch der Aufbau auf einem Steckboard mittels PAD-Bauteilen aus dem PAD-PRO-EXSB dargestellt. Da es sich um eine einfache Schaltung mit wenigen Bauteilen handelt, kann diese leicht auf die anderen Experimentierplattformen EXSB1 und EXSB-Mini übertragen werden. Diese Schaltung arbeitet mit einer Spannung von ca. 5 bis 24 V. Durch Verändern der Betriebsspannung erfolgt eine Funktionsprüfung, da die Helligkeit und somit der Strom der LED trotz Spannungsänderung konstant bleiben sollte.

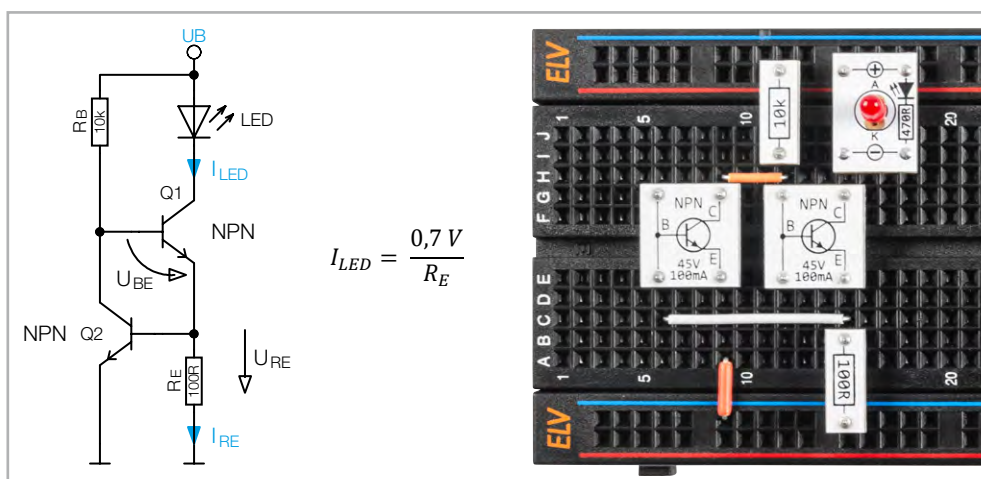


Bild 5: Konstantstromsenke mit zwei Transistoren und Aufbau mit PAD-Modulen (rechts)

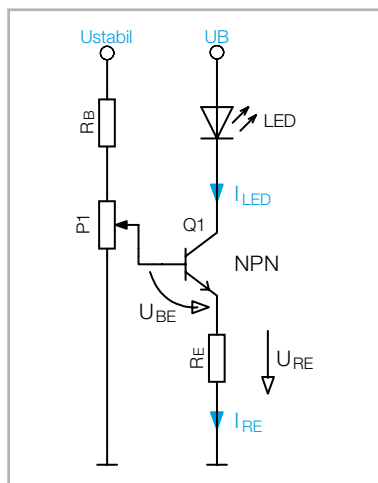


Bild 6: Einstellbare Stromsenke

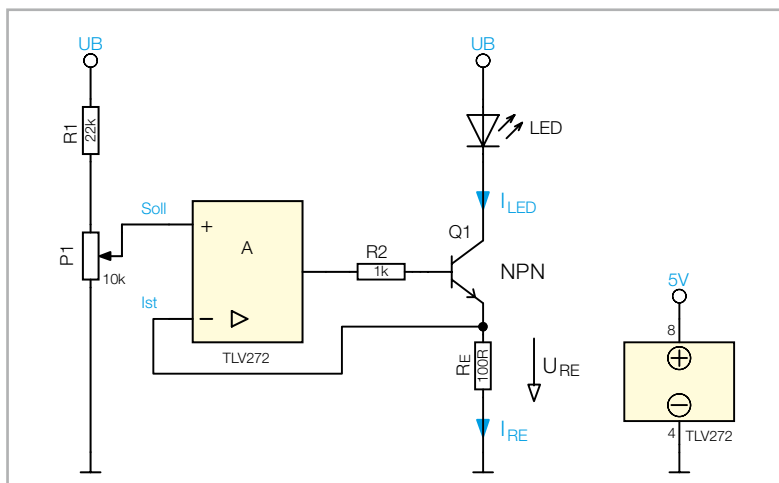


Bild 7: Einfache Stromsenke mit einem Operationsverstärker

Helligkeitseinstellung von LEDs

Oft besteht auch der Wunsch, die Helligkeit von LEDs verändern zu können. Wie wir wissen, ist die Helligkeit einer LED vom fließenden Strom abhängig, weshalb zur Helligkeitssteuerung der LED-Strom einstellbar gemacht werden muss. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die wir uns im Folgenden anschauen wollen.

Prinzipiell könnte man ein Potentiometer (Poti) als Vorwiderstand nehmen und so den LED-Strom einstellbar machen. Dies ist aber keine elegante Lösung, da das Verhältnis der Poti-Stellung nicht proportional zur Helligkeit ist. Zudem müsste noch ein zusätzlicher fester Widerstand eingefügt werden, der den maximalen Strom begrenzt.

Eine komfortablere Lösung zeigt Bild 6 mit einer einstellbaren Stromsenke. Von der Funktion her ist diese Schaltungsvariante fast identisch mit der in Bild 4 dargestellten Schaltung. Der Unterschied besteht darin, dass die Spannung an der Basis nicht durch eine LED bzw. Z-Diode stabilisiert wird, sondern mit dem Potentiometer P1 veränderbar ist. So kann mittels der Basisspannung der LED-Strom verändert werden.

Der Widerstand R_B ist besonders wichtig, da hiermit der maximale Strom begrenzt wird. Der im Schaltbild dargestellte obere Anschluss des Potentiometers darf niemals direkt mit der Betriebsspannung verbunden werden. Ohne den Widerstand R_B könnte die Basis vom Transistor Q1 direkt mit der Betriebsspannung verbunden werden, was zur Zerstörung von Q1 führen würde. Möchte man die Stromsenke unabhängig von der Betriebsspannung machen, muss die Spannung an R_B jedoch stabilisiert sein (U_{stabil}).

In diesem Zusammenhang wollen wir uns auch eine Konstantstromsenke, aufgebaut mit einem Operationsverstärker, anschauen (Bild 7). Der Operationsverstärker arbeitet hier als Vergleichs (Stellglied) und ist Teil des Regelkreises. Der Operationsverstärker ist bestrebt, die beiden Spannungseingänge („+“ = nichtinvertierender Eingang und „-“ = invertierender Eingang) auf dem gleichen Spannungspegel zu halten, vorausgesetzt die entspre-

chende Rückkopplung ist vorhanden. Der Ausgang vom Operationsverstärker steuert über den Widerstand R_2 die Basis des Transistors. Abhängig vom Basisstrom fließt ein Strom durch die LED, die Kollektor-Emitterstrecke und den Emitterwiderstand R_E . Die Spannung über dem Emitterwiderstand ist unser Istwert, denn diese Spannung ist proportional zum fließenden Strom.

In welchem Zusammenhang diese Spannung zum Emitterwiderstand und zum fließenden Strom steht, zeigt diese Formel:

$$U_{RE} = R_E \times I_{LED}$$

Angenommen, wir wünschen uns einen LED-Strom von 10 mA, dann müsste die Spannung über dem Widerstand R_E 1V betragen.

$$U_{RE} = 100 \Omega \times 10 \text{ mA} = 1 \text{ V}$$

Da unser Regelkreis mit einem Sollwert und einem Istwert arbeitet, muss also der Sollwert 1V betragen, um einen Strom von 10 mA zu generieren. Der Sollwert wird von einem Potentiometer P1 bereitgestellt. Wenn wir einen Einstellbereich von 0 bis 2 V für den Sollwert möchten, was ja einem LED-Strom von 0 bis 20 mA entspricht, müssen wir den Einstellbereich von P1 auf diesen Spannungsbereich begrenzen. Dies geschieht mit dem Widerstand R_1 , der dem Potentiometer vorgeschaltet ist.

Da die Helligkeit einer LED abhängig vom LED-Strom ist, können wir mit P1 die Helligkeit der LED verändern. Ein Aufbauvorschlag für unsere Experimentierplattformen ist im Abschnitt „Aufbau der Beispielschaltungen“ dargestellt.

Bei den genannten Strombegrenzungsschaltungen wird die überschüssige Energie (Verlustleistung) durch einen Widerstand in Wärme umgewandelt. Gerade bei LEDs, die mehr Strom verbrauchen, ist dies nicht immer gewünscht. Um diesen Effekt zu vermeiden, kann ein Pulsweitenmodulator (PWM) eingesetzt werden. Hierbei wird die Helligkeit der LED nicht linear geregelt bzw. eingestellt, sondern digital durch periodisches Ein- und Ausschalten.

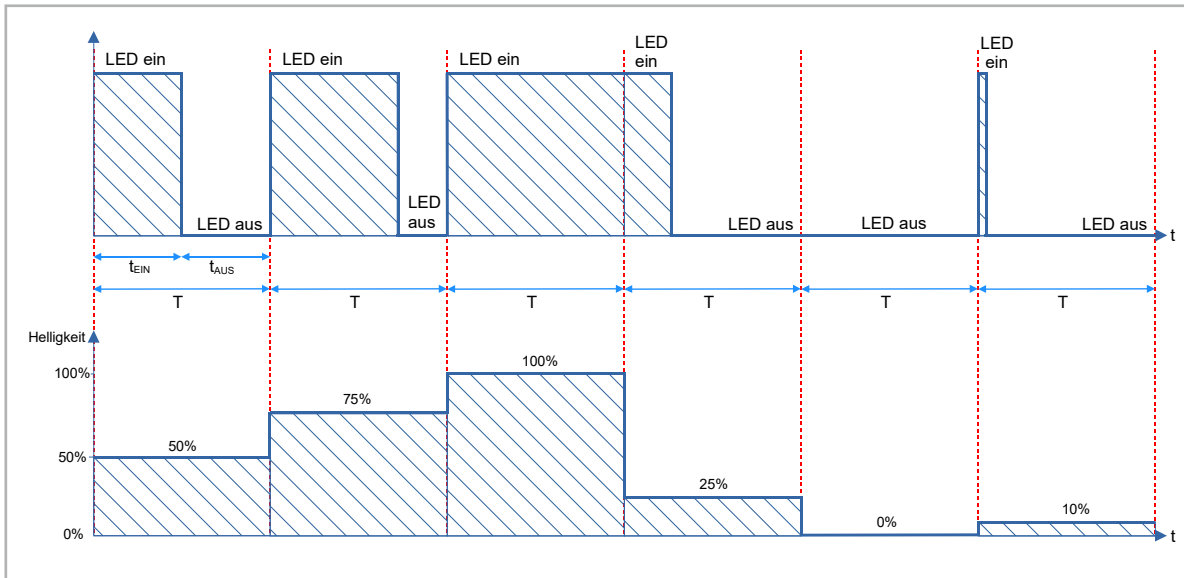


Bild 8: Funktionsweise einer PWM

Das Diagramm in Bild 8 veranschaulicht, wie die Helligkeit einer LED durch das Puls-/Pausenverhältnis (t_{EIN}/t_{AUS}) bestimmt wird. Je länger die Einschaltzeit (t_{EIN}) im Verhältnis zur Ausschaltzeit (t_{AUS}) ist, desto höher ist der arithmetische Mittelwert und somit die Helligkeit der LED. Das Ein- und Ausschalten muss jedoch so schnell erfolgen, dass das menschliche Auge die Schaltfrequenz nicht mehr wahrnehmen kann. Durch die Trägheit unseres Auges können wir einen Wechsel zwischen hell und dunkel, also die Frequenz einer Lichtquelle oberhalb von ca. 75 Hz, nicht mehr wahrnehmen.

Wie man einen PWM-Generator elektronisch realisiert, zeigt die Schaltung mit dem Timer-Baustein NE555/ICM7555 in Bild 9. Wie diese Schaltung funktioniert, ist in Teil 3 dieser Beitragsreihe beschrieben.

Dort gibt es auch eine Aufbauanleitung für unsere Experimentierplattformen.

Beispielschaltung: Farbwechsler für RGB-LEDs

In folgender Beispielschaltung zeigen wir, wie man mithilfe von drei einstellbaren Stromsenken eine RGB-LED ansteuern kann. In unserem Experimentierset sind zwei analoge RGB-LEDs, aufgebaut als PAD-Platine, vorhanden (Bild 10). Bei der RGB-LED handelt es sich um eine Variante mit gemeinsamer Anode, bei der die Anoden der drei einzelnen LEDs miteinander verbunden sind. Dieser Anschluss wird mit der Versorgungsspannung (+) verbunden, während die einzelnen Kathodenanschlüsse über Widerstände mit Masse (-) verbunden werden. Im Prinzip

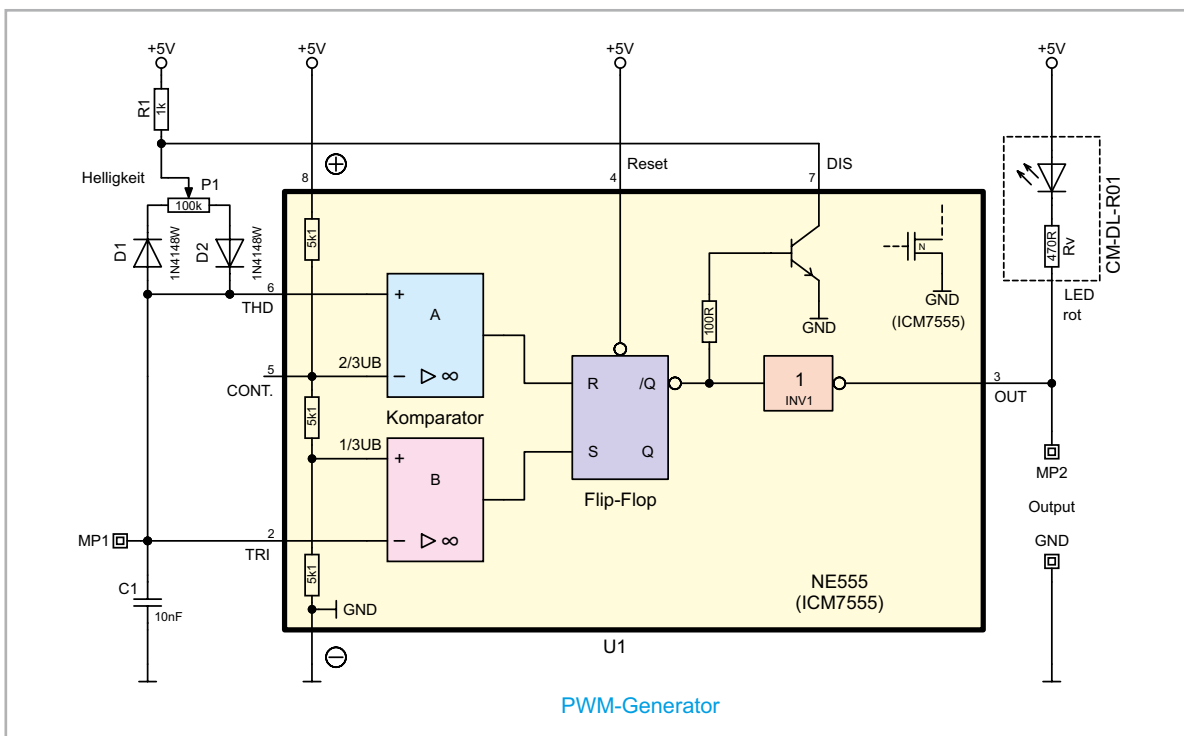


Bild 9: PWM-Generator mit dem Timer-Baustein NE555/ICM7555

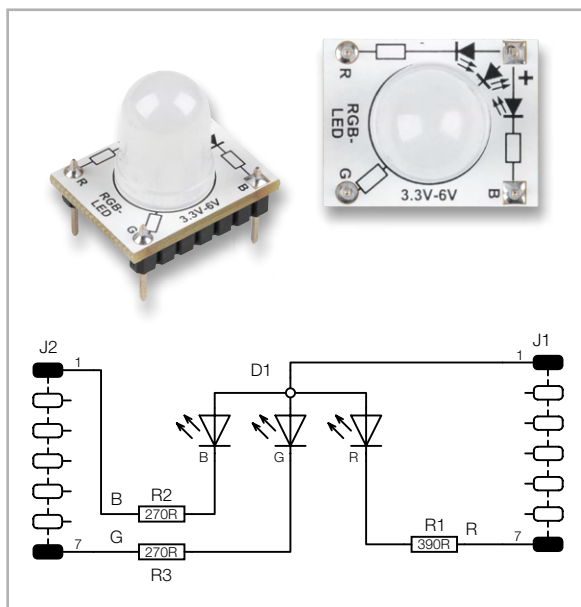


Bild 10: Aufbau der RGB-LED-Platine CM-DL-RGB01

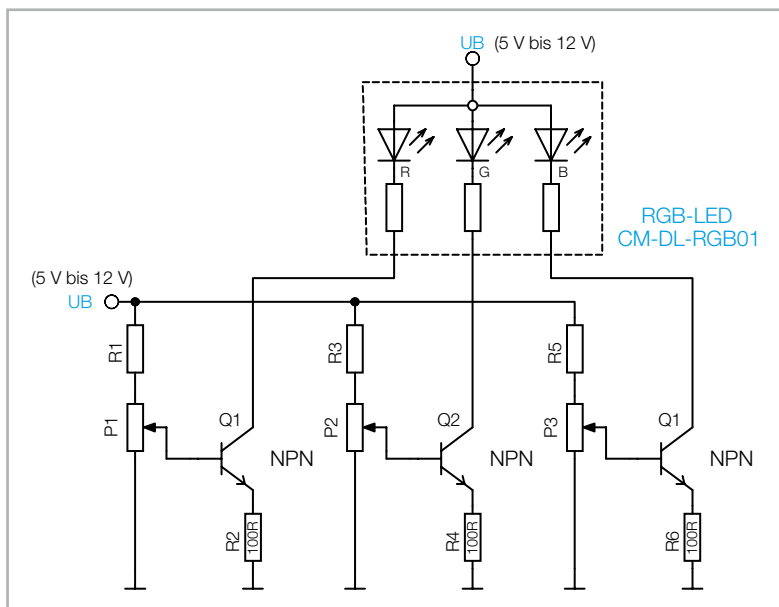


Bild 11: Schaltbild einer Ansteuerung für RGB-LEDs

können diese einzelnen Anschlüsse direkt mit einer negativen Spannungsversorgung (Masse) verbunden und einzelne LED-Farben aktiviert werden. Mit den drei Grundfarben lassen sich durch additive Farbmischung fast alle Farben aus dem Farbspektrum erzeugen. Damit jede LED-Farbe in der Helligkeit gesteuert werden kann, benötigen wir drei einstellbare Stromsenken, wie in Bild 11 dargestellt.

Die Funktion der einstellbaren Stromsenke haben wir ja bereits beschrieben (siehe Abschnitt „Helligkeitseinstellung von LEDs“). Mithilfe der drei Einsteller (Potis) kann nun der Strom und damit die Helligkeit der einzelnen LEDs verändert werden. So lässt sich z. B. herausfinden, welche Farbe entsteht, wenn man die einzelnen Primärfarben miteinander mischt. Mehr Infos zur additiven Farbmischung gibt es [hier](#). Im folgenden Abschnitt wird auch für diese Schaltung eine detaillierte Aufbauanleitung gezeigt.

Aufbau der Beispielschaltungen

Für unsere Beispielschaltungen gibt es Aufbauvorschlüsse unter Zuhilfenahme des Experimentierkits PAD-PRO-EXSB. Zum Set, das alle notwendigen Bauteile enthält, wird zusätzlich noch eine Aufbauplattform benötigt. Dies können die Experimentierplattformen EXSB1 und EXSB-Mini sowie ein „normales“ Steckboard sein. Die Kontakte der Steckboards sind in der Regel nummeriert: Spalten, also von links nach rechts, mit 1 bis 63 und die Reihen mit den Buchstaben A bis F. Dies kann sich aber je nach Hersteller geringfügig unterscheiden. Anhand der Nummerierung kann man die Position der Bauteile und Brücken in den Bildern abzählen und auf die eigene Schaltung übertragen. Wichtig ist hierbei, dass das Steckboard so platziert werden muss, dass sich Pin 1 auf der linken Seite befindet. Dreht man das Steckboard andersherum, stimmen die Positionen nicht mehr mit den Bildern überein. Die elektrischen Verbindungen werden mit starren und flexiblen Steckbrücken hergestellt, die im Experimentierkit vorhanden sind.

Versorgungsspannung

Die Spannungsversorgung für diese beiden Schaltungen ist nicht kritisch und kann im Bereich 5 bis 12 V liegen. Die beiden Experimentierboards EXSB1 und EXSB-Mini verfügen über eigene Spannungsversorgungseinheiten, auf die wir hier nicht weiter eingehen wollen, da dies in der jeweiligen Bauanleitung beschrieben ist.

Für das universelle Steckboard kann man auf unterschiedliche Möglichkeiten der Spannungsversorgung zurückgreifen, wie man in Bild 12 sieht.

Über eine USB-Buchse kann ein normales Steckernetzteil oder ein Ladegerät mit Micro-USB-Stecker als Spannungsquelle genutzt werden. Die Variante mit einer Klemmleiste dient zum Anschluss einer externen Spannungsversorgung wie z. B. einem Netzteil oder einer Batterie. Hierbei muss unbedingt auf die korrekte Polung geachtet werden.

Eine sehr komfortable Lösung bietet auch das ELV-Powermodul [PM-SB1](#), das mit zwei Batterien ausgestattet ist und somit autark arbeitet.

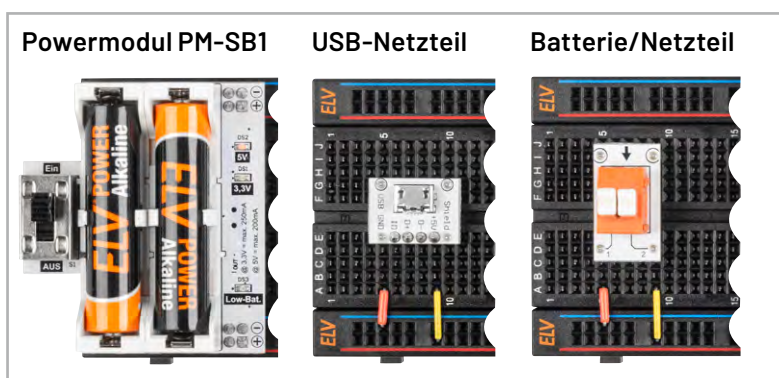


Bild 12: Unterschiedliche Varianten der Spannungsversorgung: mittels Powermodul PM-SB1, per 5-V-USB-Stecker oder einer Klemmleiste zum Anschluss an ein Labornetzteil oder eine Batterie.

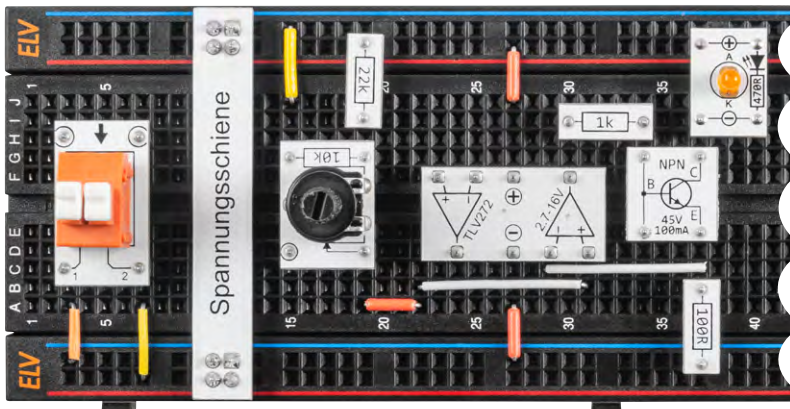


Bild 13: Steckbordaufbau der Stromsenke mit OP

Aufbau „Stromsenke mit OP“

Für den Aufbau der Beispielschaltung „Stromsenke mit OP“ gibt es einen Aufbauvorschlag auf einem Steckboard wie in Bild 13 dargestellt. Der dazu passende Verdrahtungsplan ist in Bild 14 zu sehen. Da diese Schaltung recht einfach ist, verzichten wir auf eine gesonderte Beschreibung zum Aufbau auf dem EXSB1 und dem EXSB-Mini. Der Aufbau kann leicht auf diese beiden Experimentierplattformen übertragen werden. Das Potentiometer kann bei diesen Plattformen durch das integrierte Potentiometer mit dem Wert 10 kΩ ersetzt werden.

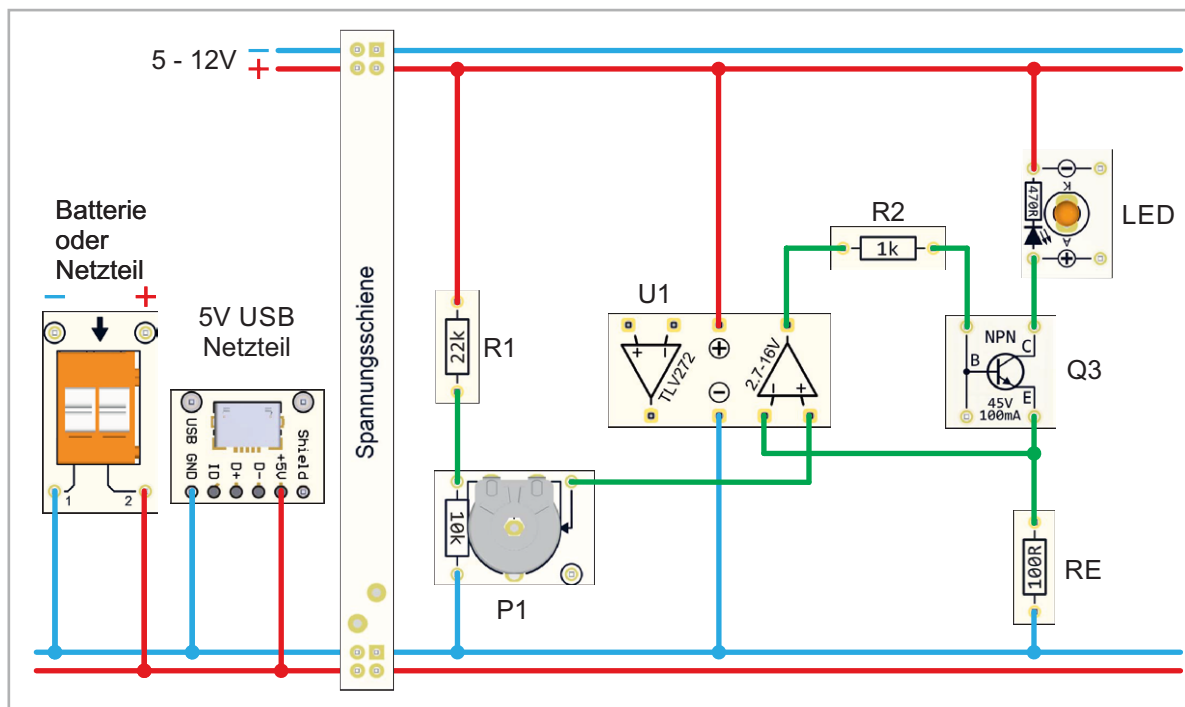
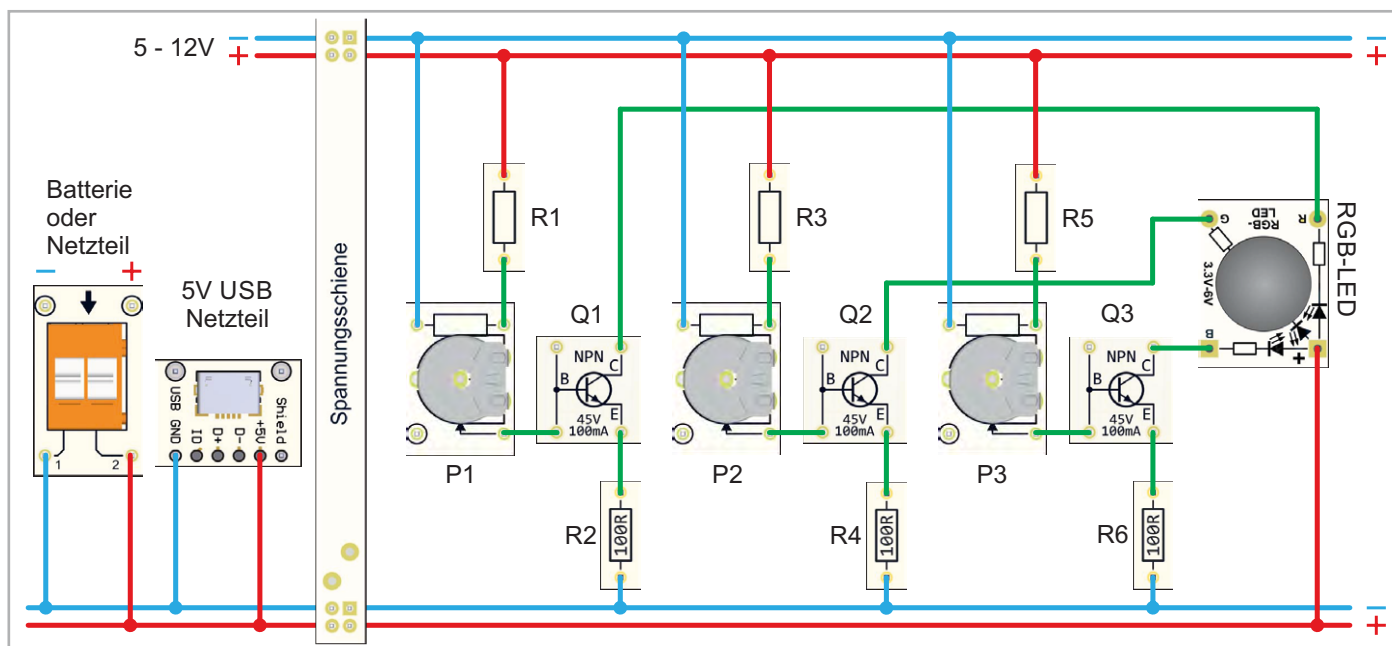


Bild 14: Verdrahtungsplan für die Schaltung „Stromsenke mit OP“



Plattform	P1	R1	P2	R3	P3	R5
EXSB-PRO	10 k	22 k	100 k	220 k	1 M	220 k
EXSB-Mini	10 k	22 k	100 k	220 k	1 M	220 k
EXSB1	1 k	1 k	10 k	22 k	100 k	100 k

Bild 15: Verdrahtungsplan für die RGB-Ansteuerung mit Wertetabelle für die Widerstände

Bild 16: Aufbau auf einem Steckboard

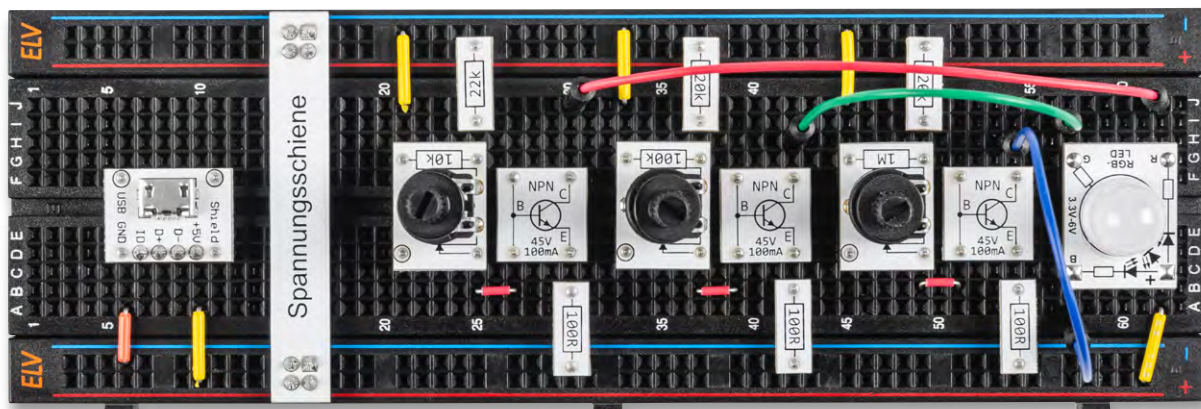
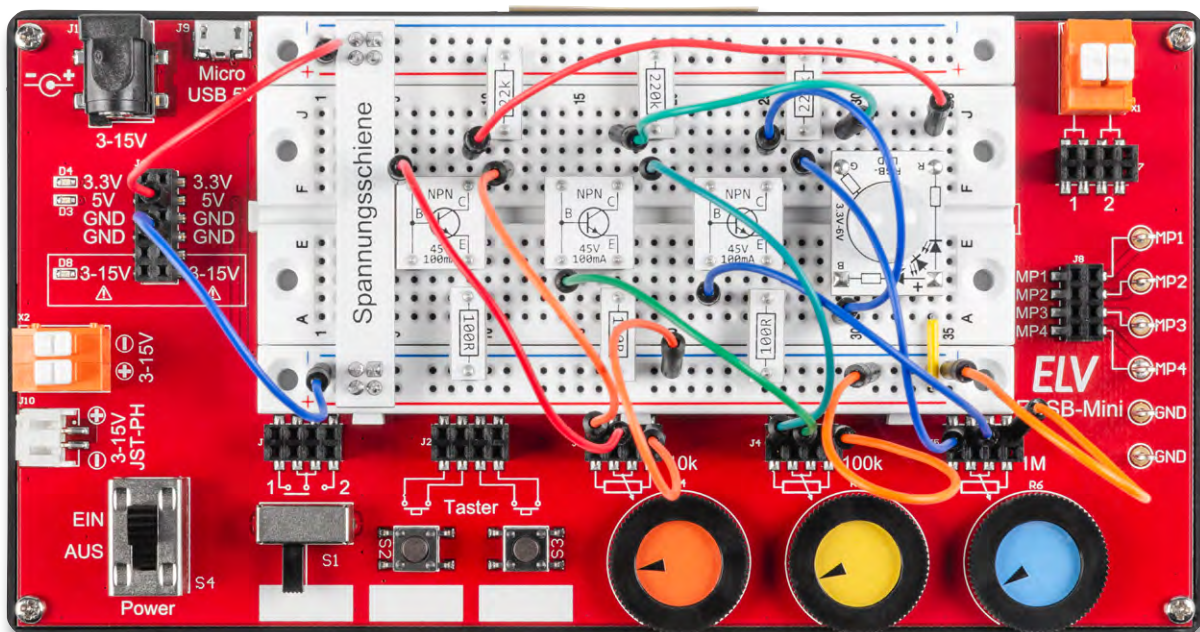


Bild 17: Aufbau auf einem EXSB-Mini



Aufbau Farbwechsler für RGB-LEDs

Für das Beispiel „Farbwechsler für RGB-LEDs“ ist in Bild 15 ein allgemeingültiger Verdrahtungsplan dargestellt. Für jede Experimentierplattform ist ein Aufbauvorschlag vorhanden. Die Aufbauvorschläge sind in Bild 16 bis Bild 18 dargestellt.

Beim EXSB1 und EXSB-Mini werden die internen Potentiometer verwendet. Diese werden beim Aufbau auf dem Steckboard durch PAD-Module ersetzt, die im [PAD-PRO-EXSB-Set](#) vorhanden sind.

Da die Widerstandswerte der Potis bezogen auf die jeweilige Plattform unterschiedlich sind, ist bei dem Verdrahtungsplan (Bild 15) eine Wertetabelle mit den Potentiometer- und Widerstandswerten abgebildet. **ELV**

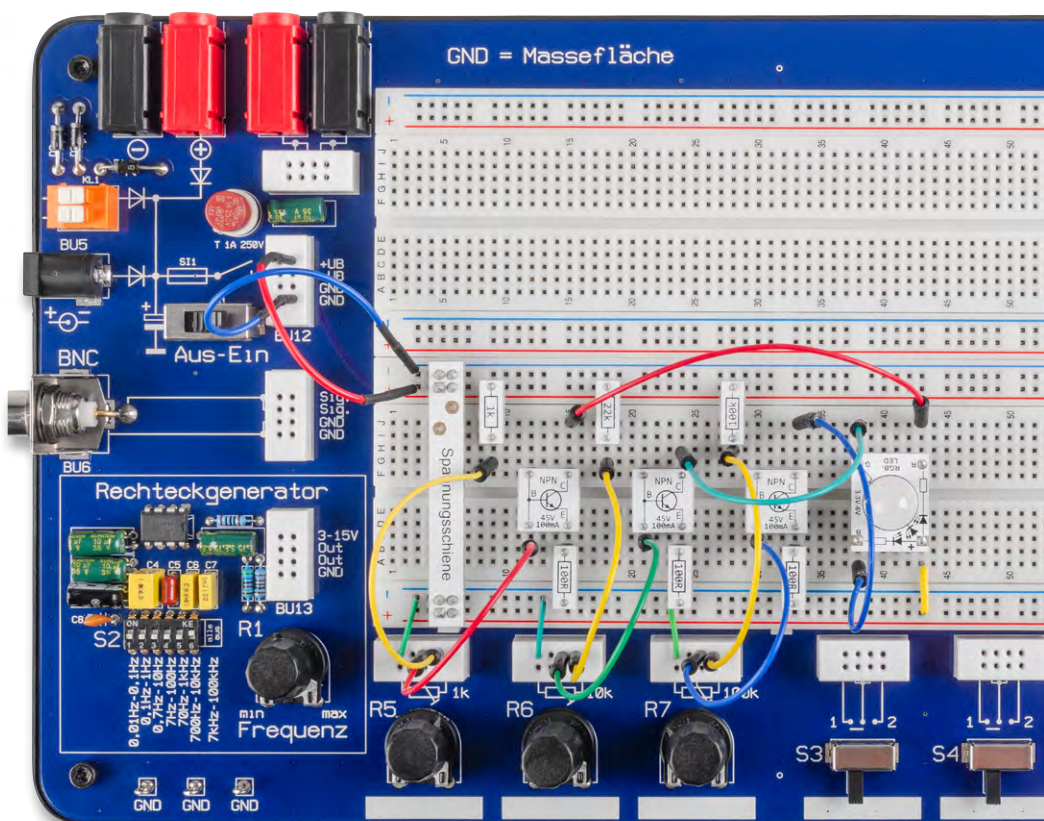


Bild 18: Aufbau auf einem EXSB1