



# Experimente mit der Fotodiode BPW34

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

Teil 9

In diesem Teil unserer Serie zum PAD-PRO-EXSB beschäftigen wir uns mit der lichtempfindlichen Fotodiode, die im Set des PAD-PRO-EXSB enthalten ist. Anhand von Beispielschaltungen (Dämmerungsschalter und IR-Tester) erklären wir den praktischen Einsatz dieser Fotodiode.

### Licht – sichtbar oder unsichtbar

Um Licht detektieren zu können, ist ein optischer Sensor erforderlich. Hier wird zwischen lichtempfindlichen Widerständen, kurz LDR genannt (Light Dependent Resistor), und den Fotodioden und Fototransistoren unterschieden. Die LDRs (Bild 1) waren früher sehr verbreitet, da ihre elektrischen Eigenschaften denen eines ohmschen Widerstands gleichen. Je mehr Licht auf den Sensor fällt, desto kleiner wird sein Widerstandwert. Die Handhabung von LDRs ist somit recht einfach und bedarf keiner komplizierten Elektronik. Da diese LDRs jedoch giftige und gefährliche Substanzen wie Cadmium und Blei enthalten, entsprechen sie nicht den europäischen

RoHS-Richtlinien. Aus diesem Grund werden heutzutage fast nur noch moderne Fotodioden bzw. Fototransistoren eingesetzt. In unseren Beispielschaltungen verwenden wir die Fotodiode BPW34. Im Folgenden zeigen wir, wie mit wenig Elektronik ein Infrarot-Detektor (IR-Tester) oder ein Dämmerungsschalter realisiert werden kann. Da die Fotodiode auch nicht sichtbares Licht im Infrarotbereich detektieren kann, lässt sich damit ein einfacher Tester für handelsübliche Fernbedienungen auf Infrarotbasis aufbauen.

Als Plattform zum Aufbau der Schaltungen dient das Bauteileset **PAD-PRO-EXSB** und ein Experimentierboard wie z. B. das **ELV-EXSB1**, das **EXSB-Mini** (Fertigerät oder Bausatz) oder ein gewöhnliches Steckboard.



Bild 1: LDR-Fotowiderstand

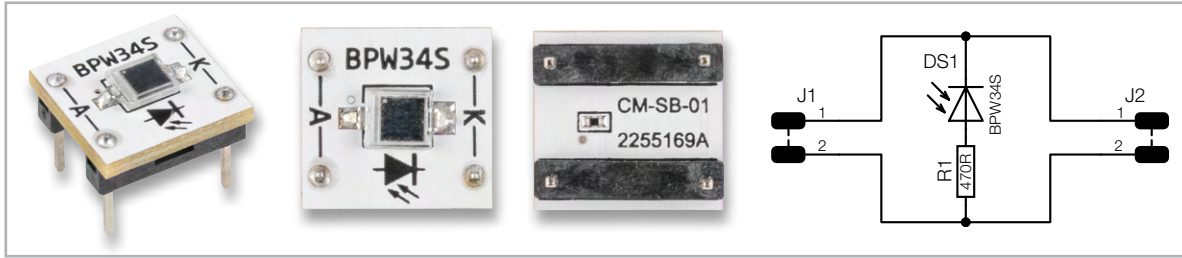


Bild 2: Der Helligkeits-/Lichtsensord BPW34S

Die Schaltung kann auch mit handelsüblichen Bauteilen auf Steckboards oder Lochrasterplatten nachgebaut werden. Vorzugsweise sollten jedoch eher Steckboards verwendet werden, da es sich um eine Experimentierschaltung und nicht um eine praxisorientierte Schaltung handelt.

### Fotodiode BPW34

Der hier verwendete Lichtsensor BPW34S (Bild 2) ist eine Fotodiode und besteht aus einem lichtempfindlichen Halbleiter. Dieser verhält sich, elektrisch betrachtet, annähernd wie eine normale Diode. Normalerweise wird diese Diode in Sperrrichtung betrieben. Trifft Licht auf den freiliegenden PN-Übergang (Sensorfläche) des Halbleiters, wird ein elektrischer Strom in Sperrrichtung erzeugt. Diese lichtempfindlichen Halbleiter reagieren nicht nur auf sichtbares Licht, sondern auch auf Licht im Infrarotbereich. Somit kann der Sensor z. B. für einen Dämmerungsschalter oder als IR-Detektor für einen Fernbedienungstester eingesetzt werden.

Bild 3 zeigt die Kennlinie in Bezug zur Wellenlänge des Lichts, und Tabelle 1 zeigt die wichtigsten technischen Daten.

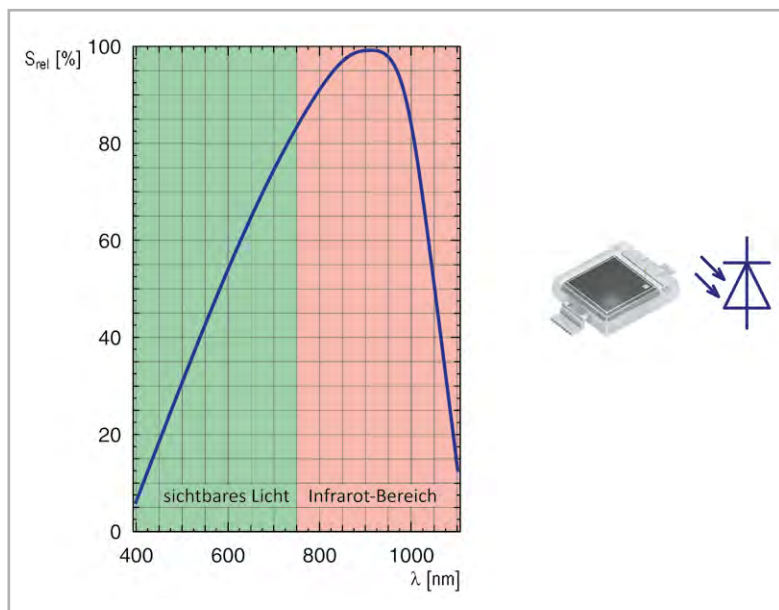


Bild 3: Kennlinie des BPW34S

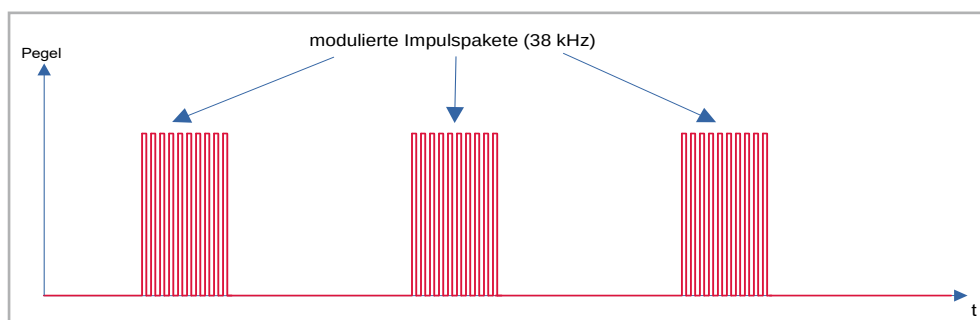


Bild 4: So sehen die Impulspakete eines IR-Sendesignals aus.

Tabelle 1

#### CM-SB-01

Typ:	BPW34S(SMD)
Lichtspektrum:	430-1100 nm
Durchbruchspannung:	60 V
Erfassungswinkel:	$\pm 60^\circ$
Fotostrom:	$> 55 \mu\text{A}$

### Schaltung des IR-Testers

Herkömmliche Fernbedienungen für z. B. Fernseher, DVD- oder Mediaplayer arbeiten in der Regel mit unsichtbarem Infrarotlicht (IR), um Fernbedienungsbefehle zu übertragen. Modernere Geräte kommunizieren eventuell bereits über eine drahtlose Funkverbindung (Bluetooth), die natürlich nicht mit einer Fotodiode detektiert werden kann. Bevor wir uns der eigentlichen Schaltung zuwenden, schauen wir uns kurz an, welcher Struktur ein IR-Signal von Fernbedienungen folgt. Der IR-Sender (Fernbedienung) sendet kein kontinuierliches Signal, sondern periodisch wiederkehrende Impulspakete. Die Sendediode der Fernbedienung wird mit einer kodierten Impulsfolge im Frequenzbereich von ca. 38 kHz moduliert (siehe Bild 4). In diesen Impulspaketen steckt die eigentliche zu übertragende Information, auf die wir hier im Folgenden eingehen.

Die doch recht übersichtliche Schaltung unseres IR-Testers ist als Schaltbild in Bild 5 dargestellt. Da die Fotodiode nur einen sehr kleinen Fotostrom generiert, muss dieser Strom verstärkt werden. Dies geschieht mit einem speziellen Strom-Spannungswandler, auch Transimpedanzverstärker genannt. Die Funktionsweise dieser Verstärkerstufe wollen wir uns nun etwas genauer anschauen. Hierzu ist in Bild 6 die Grundsaltung des Transimpedanzverstärkers noch einmal separat dargestellt.

In unserer Grundsaltung liegt der nichtinvertierende Anschluss (+) auf Masse. Durch die Rückkopplung mit einem Widerstand (R) vom Ausgang

auf den invertierenden Eingang(-) versucht der Operationsverstärker, den Pegel am invertierenden Eingang(-) auszugleichen, so dass hier ebenfalls ein Potential von 0 V (Massepotential) anliegt. Der invertierende Eingang(-) des Operationsverstärkers hat durch die Rückkopplung immer Massepotential und kann auch als virtuelle Masse bezeichnet werden.

Für die Fotodiode stellt dieser Eingang einen virtuellen Kurzschluss dar. Bei Belichtung der Fotodiode fließt ein, wenn auch sehr kleiner, Kurzschlussstrom  $I_D$  (Sperrstrom). Da bekannt ist, dass dieser Strom nicht in den bzw. aus dem Eingang des Operationsverstärkers fließen kann, muss dieser Strom zwangsläufig über den Widerstand(R) fließen. Der Operationsverstärker regelt den Ausgang so weit nach, bis der Strom durch R gleich dem Fotodiodenstrom  $I_D$  ist. Nach dem ohmschen Gesetz ergibt sich für die Ausgangsspannung folgende Formel:

$$U_A = -I_D \times R$$

Da der invertierende Eingang(-)Massepotential hat, entspricht die Spannung über dem Widerstand R der Ausgangsspannung  $U_A$ . Aus der Formel ergibt sich: Je größer der Rückkopplungswiderstand R ist, desto größer ist auch die Ausgangsspannung  $U_A$ . Aus einem sehr kleinen Eingangsstrom ergibt sich bei entsprechender Dimensionierung des Rückkopplungswiderstands eine relativ große Ausgangsspannung. In unserer Schaltung ist parallel zum Rückkopplungswiderstand R1 noch ein Kondensator C1 geschaltet, der dem Operationsverstärker ein Tiefpassverhalten verleiht. Dadurch werden unerwünschte höhere Frequenzen unterdrückt.

Wird eine Fernbedienung in geringem Abstand zur Fotodiode gehalten (Bild 7), erzeugt dies am Ausgang des Verstärkers U1A ein Rechtecksignal, dessen Verlauf dem in Bild 4 entspricht. Dieses Signal muss nun zur Anzeige gebracht werden. Dies geschieht mithilfe eines Komparators, der mit U1B aufgebaut ist.

Da wir ausschließlich das Wechselspannungssignal des Fernbedienungs-codes und nicht das Gleichspannungssignal auswerten wollen, das durch schwankende Umgebungshelligkeit entsteht, kommt eine automatische Arbeitspunkteinstellung zum Einsatz. Der Arbeitspunkt, also die Schaltschwelle, wird am nichtinvertierenden Eingang(+) von U1B eingestellt. Da das Ausgangssignal der ersten Verstärkerstufe eine Mischung aus Gleich- und Wechselspannung ist, nutzen wir den Gleichspannungsanteil als Referenz für unsere Schaltschwelle. Mit dem Widerstand R2 und dem Kondensator C2, der als Tiefpass arbeitet, wird die Wechselspannung unterdrückt und nur der Gleichspannungsanteil

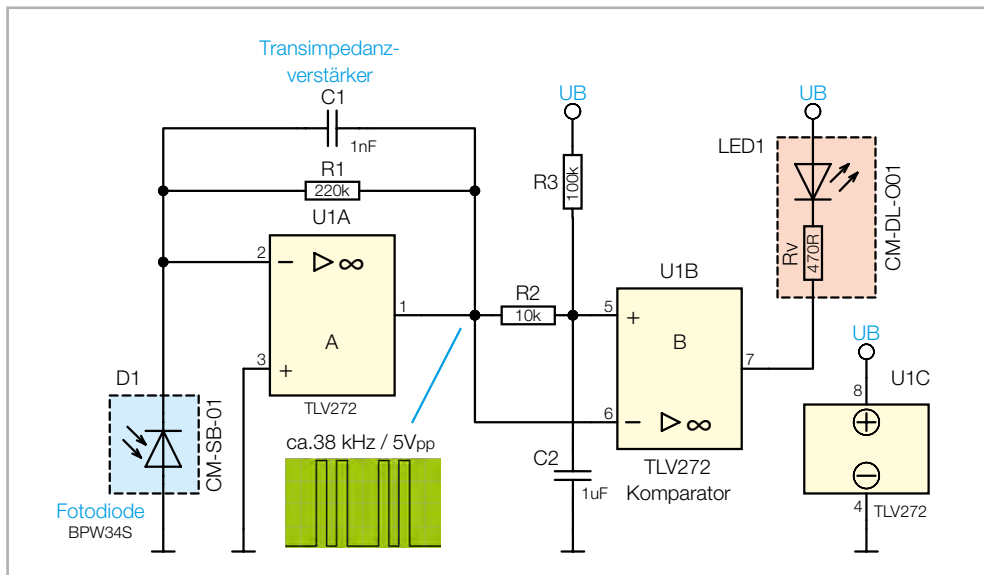


Bild 5: Schaltbild des IR-Testers

durchgelassen. Der Widerstand R3 hebt diesen Pegel noch geringfügig an, um eine sichere Schaltschwelle zu definieren. Der Gleichspannungspegel an diesem Eingang des Komparators entspricht dem Mittelwert der zugeführten Mischspannung.

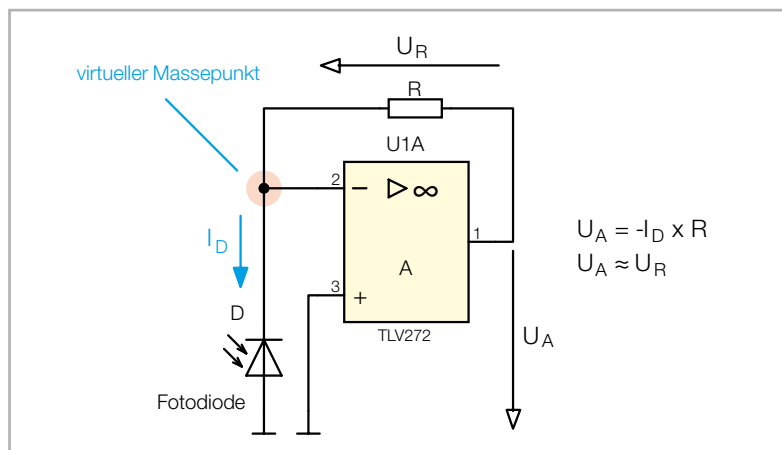


Bild 6: Funktionsprinzip des Transimpedanzverstärkers



Bild 7: Der Abstand zwischen der zu testenden Fernbedienung und der Fotodiode sollte weniger als 10 cm betragen.



Zusätzlich wird das Ausgangssignal des Verstärkers unbeeinflusst auf den invertierenden Eingang(-) des Komparators gegeben. Wird ein Signal von einer Fernbedienung empfangen, geschieht am Komparator Folgendes: Die Impulspakete generieren über den Tiefpass R2 und C2 eine Schaltschwelle am Eingang(+). Aufgrund der Trägheit des Tiefpasses kann die Spannung den Impulsen nicht schnell genug folgen. Am invertierenden Eingang liegen die Impulspakete unbeeinflusst an. Da die Impulsspannung nun über dem Potential der Schaltschwelle liegt, schaltet der Komparator, sodass der Ausgang auf Low-Pegel wechselt. Dadurch leuchtet die angeschlossene LED auf. Da diese Impulspakete nicht kontinuierlich, sondern gepulst gesendet werden, flackert die LED im Takt dieser Impulspakete. Im Abschnitt „Aufbau der Beispielschaltungen“ zeigen wir verschiedene Varianten für den Aufbau der Schaltung auf einem Steck- bzw. Experimentierboard.

### Schaltung des Dämmerungsschalters

Als zweites Schaltungsbeispiel zeigen wir das Funktionsprinzip eines Dämmerungsschalters. Wie im Schaltbild (Bild 8) zu erkennen ist, wird auch hier die Fotodiode verwendet. Zur Verstärkung und Auswertung wird jedoch nicht wie beim IR-Tester ein Transimpedanzverstärker, sondern ein Komparator verwendet. Je nach Lichteinfall auf die Fotodiode ändert sich der Sperrstrom durch die Diode. Im Prinzip ähnelt das Verhalten der Fotodiode dadurch einem Widerstand.

Wenn nun die Fotodiode mit einem Widerstand (R1) in Reihe geschaltet wird, entsteht ein Spannungswandler, dessen Spannung sich am Knotenpunkt in Abhängigkeit von der Helligkeit ändert. Diese Spannung gelangt auf den invertierenden Eingang(-) von U1A. Der zweite Eingang des Komparators(+) ist mit dem Potentiometer P1 verbunden, das zur Einstellung der Schaltschwelle eingesetzt wird.

Nimmt die Umgebungshelligkeit ab, verringert sich der Sperrstrom durch die Fotodiode. Dadurch sinkt die Spannung an R1. Fällt die Spannung an R1 und damit auch am Eingang(-) des Komparators U1A unter die eingestellte Schaltschwelle, schaltet der Ausgang auf High-Pegel (ca. Potential UB). Durch Einsatz des Rückkopplungswiderstands R2 wird eine Hysterese erzeugt. Was genau eine Hysterese ist und welche Auswirkungen sie auf das Schaltverhalten eines Komparators hat, wird im [Teil 7](#) unserer Serie detailliert erklärt.

Der Ausgang des Komparators steuert ein Relaismodul CM-PB-4101 an. Auf diesem Modul sind, wie in [Bild 9](#) erkennbar, bereits alle notwendigen Bauteile vorhanden – zur Ansteuerung muss lediglich eine Spannung an den Eingang IN angelegt werden. Der Eingangsspannungsbereich liegt zwischen 1,5 und 5 Vdc. Die Schaltkontakte sind mit COM, also dem Mittelanschluss des Schalters, und NO/NC bezeichnet. NO bedeutet „normally open“, also im Normalfall offen (Ruhekontakt). NC hingegen steht für „normally closed“, also im Ruhezustand geschlossen. In unserer Beispielschaltung schalten wir mit diesen Kontakten die LED 1, die bei Spannungsansteuerung des Relaismodus aufleuchtet. Die LED dient hierbei als Ersatz für eine am Relais angeschlossene Last.

#### Wichtiger Hinweis!

Die Relaiskontakte weisen eine maximale Schaltleistung von 30 Vdc und 1 A auf. Zudem muss es sich bei der Lastspannung um eine Schutz-Kleinspannung handeln!

Auch für diese Beispielschaltung gibt es im Abschnitt „Aufbau der Beispielschaltungen“ verschiedene Varianten für den Schaltungsaufbau auf einem Steckboard bzw. Experimentierboard.

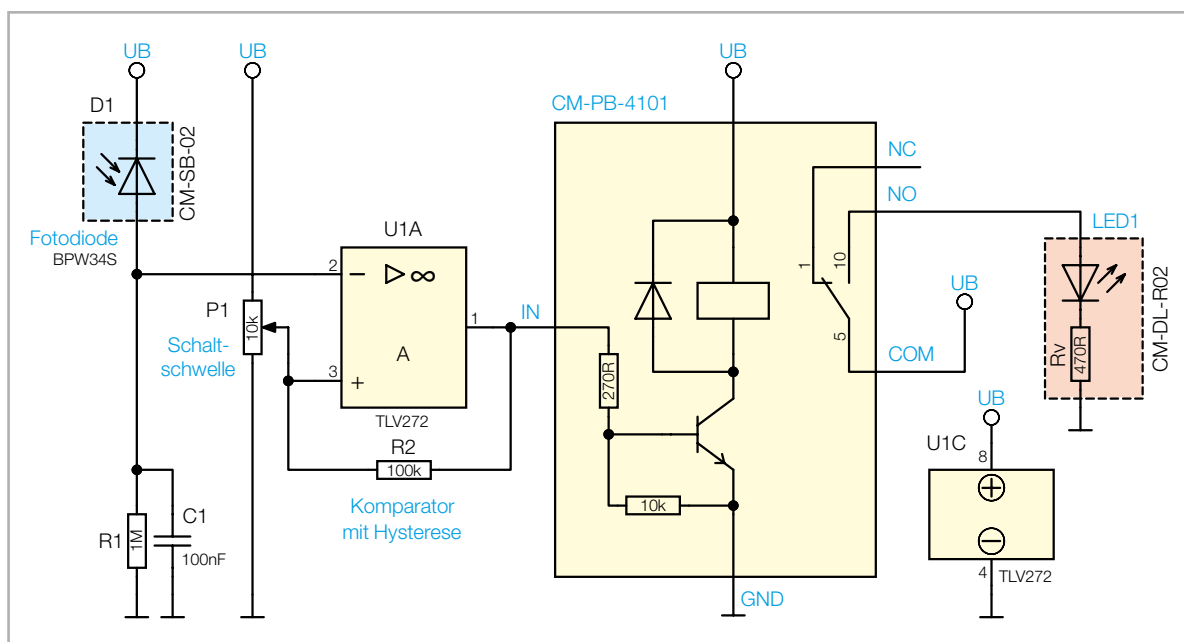


Bild 8: Schaltbild des Dämmerungsschalters

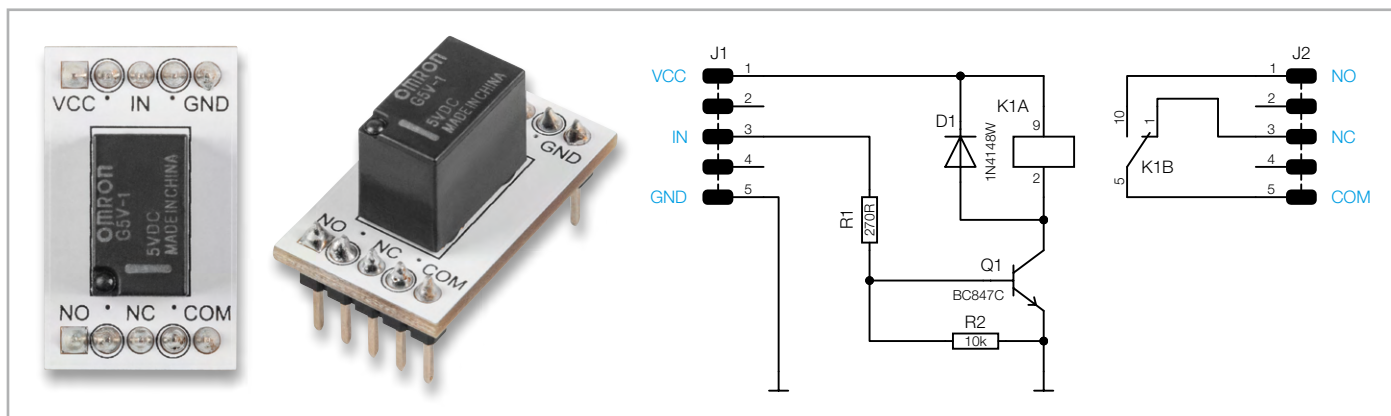


Bild 9: Foto und Anschlussschema der Relais-Platine CM-PB-4101

## Aufbau der Beispielschaltungen

Für unsere Beispielschaltung setzen wir das Experimentierset PAD-PRO-EXSB ein, das bereits alle notwendigen Bauteile enthält. Zusätzlich wird noch eine Aufbauplattform benötigt wie die Experimentierplattformen EXSB1, das EXSB-Mini oder ein „normales“ Steckboard. Die Kontakte der Steckboards sind in der Regel nummeriert: Spalten von links nach rechts mit den Ziffern 1 bis 63 und Reihen mit den Buchstaben A bis F. Dies kann jedoch je nach Hersteller des Steckboards geringfügig variieren. Anhand der Nummerierung lässt sich die Position der Bauteile und Brücken in den Bildern abzählen und auf die eigene Schaltung übertragen.

Wichtig: Das Steckboard muss so platziert werden, dass sich Pin 1 auf der rechten Seite befindet. Wird die Platine andersherum gedreht, stimmen die Positionen nicht mehr mit den Bildern überein.

Die elektrischen Verbindungen werden mit starren und flexiblen Steckbrücken hergestellt. Diese sind im Experimentierset enthalten.

## Versorgungsspannung

Die Versorgungsspannung für die beiden Schaltungen sollte 5 V betragen, der IR-Tester kann jedoch auch mit einer höheren Spannung bis zu 9 V betrieben werden. Beim Dämmerungsschalter ist das spannungsbegrenzende Bauteil das Relaismodul, das für eine Betriebsspannung von maximal 5 V ausgelegt ist. Doch auch hier ist eine Spannung von max. 9 V noch tolerierbar, allerdings mit dem Nachteil einer erhöhten Stromaufnahme.

Für das universelle Steckboard stehen verschiedene Möglichkeiten der Spannungsversorgung zur Verfügung, wie in Bild 10 dargestellt. Über eine USB-Buchse kann ein normales Steckernetzteil oder ein Ladegerät mit Micro-USB-Stecker als Spannungsquelle eingesetzt werden. Die Variante mit Klemmleiste eignet sich zum Anschluss einer externen Spannungsversorgung wie z. B. einem Netzteil oder einer Batterie. Hierbei ist unbedingt auf die korrekte Polung zu achten. Eine sehr komfortable Lösung bietet auch das ELV Powermodul PM-SB1, das mit zwei Batterien ausgestattet ist und somit autark arbeitet.

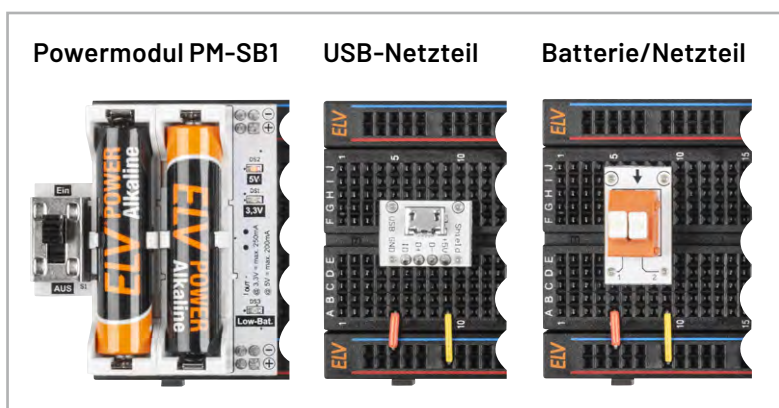


Bild 10: Unterschiedliche Varianten der Spannungsversorgung; mittels Powermodul PM-SB1, per 5-V-USB-Steckernetzteil oder einer Klemmleiste zum Anschluss an ein Labornetzteil oder eine Batterie

## Aufbau IR-Tester

Für den Aufbau der Beispielschaltung „IR-Tester“ gibt es Aufbauvorschlüsse für alle drei Varianten:

Steckboard (Bild 11), EXSB1 (Bild 12) und EXSB-Mini (Bild 13). Der Verdrahtungsplan für den IR-Tester ist in Bild 17 dargestellt.

## Aufbau Dämmerungsschalter

Die Aufbauvorschlüsse für den Dämmerungsschalter sind in Bild 14 bis Bild 16 dargestellt. Der Verdrahtungsplan für den Dämmerungsschalter ist in Bild 18 zu sehen.



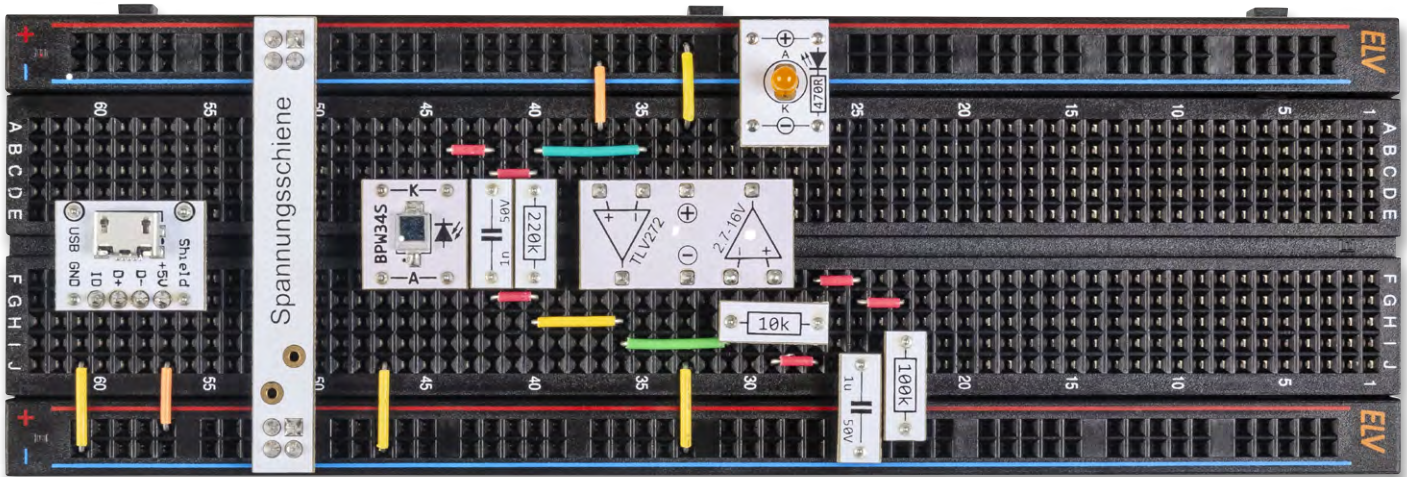


Bild 11: Aufbau des IR-Testers auf einem Steckboard

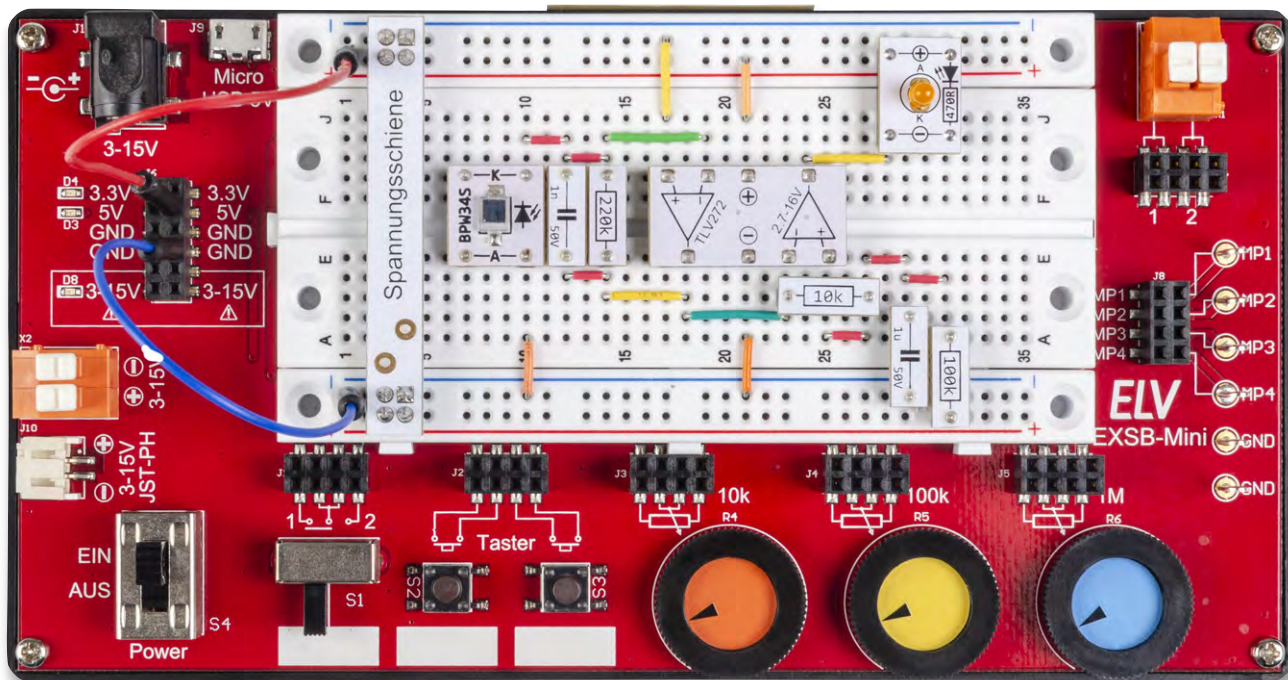


Bild 12: Aufbau des IR-Testers auf dem EXSB-Mini

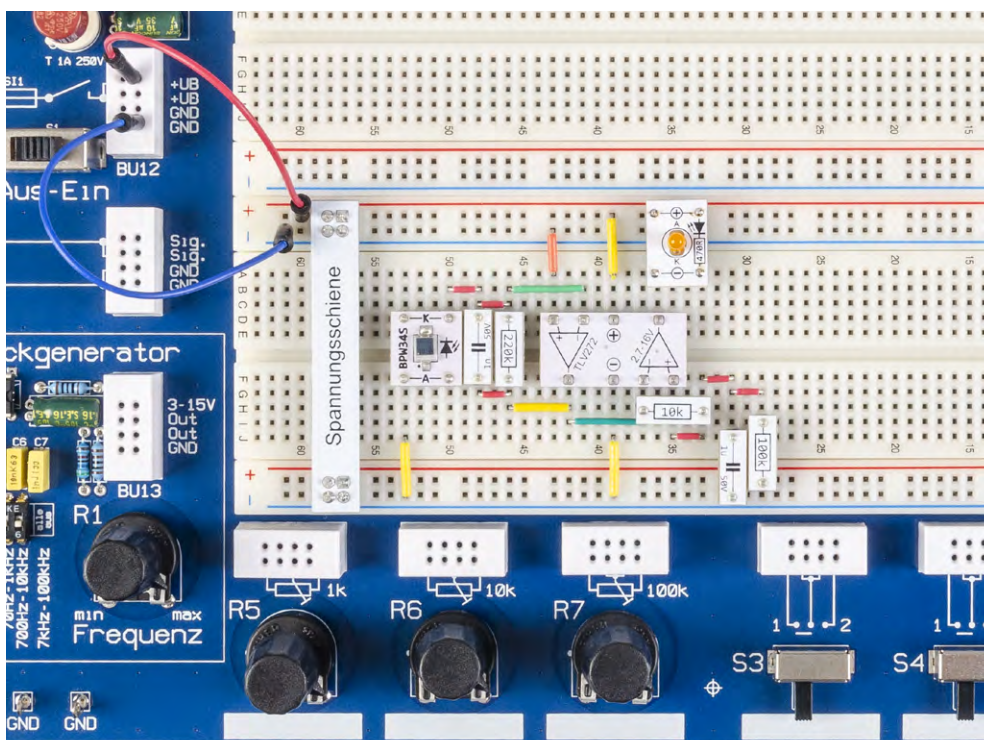


Bild 13: Aufbau des IR-Testers auf dem EXSB1



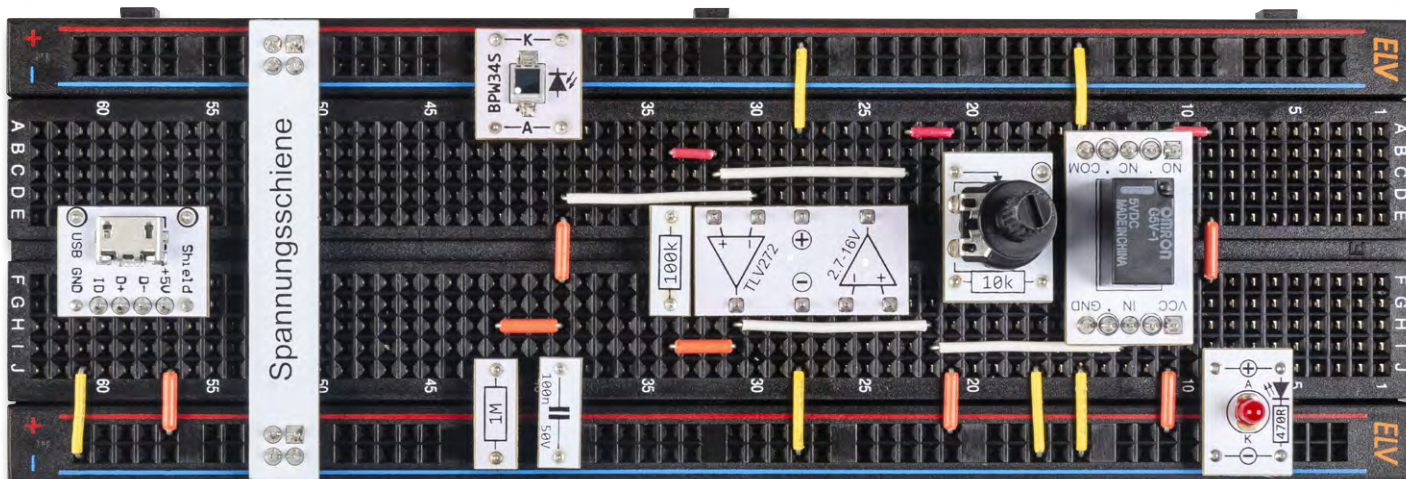


Bild 14: Aufbau des Dämmerungsschalters auf einem Steckboard

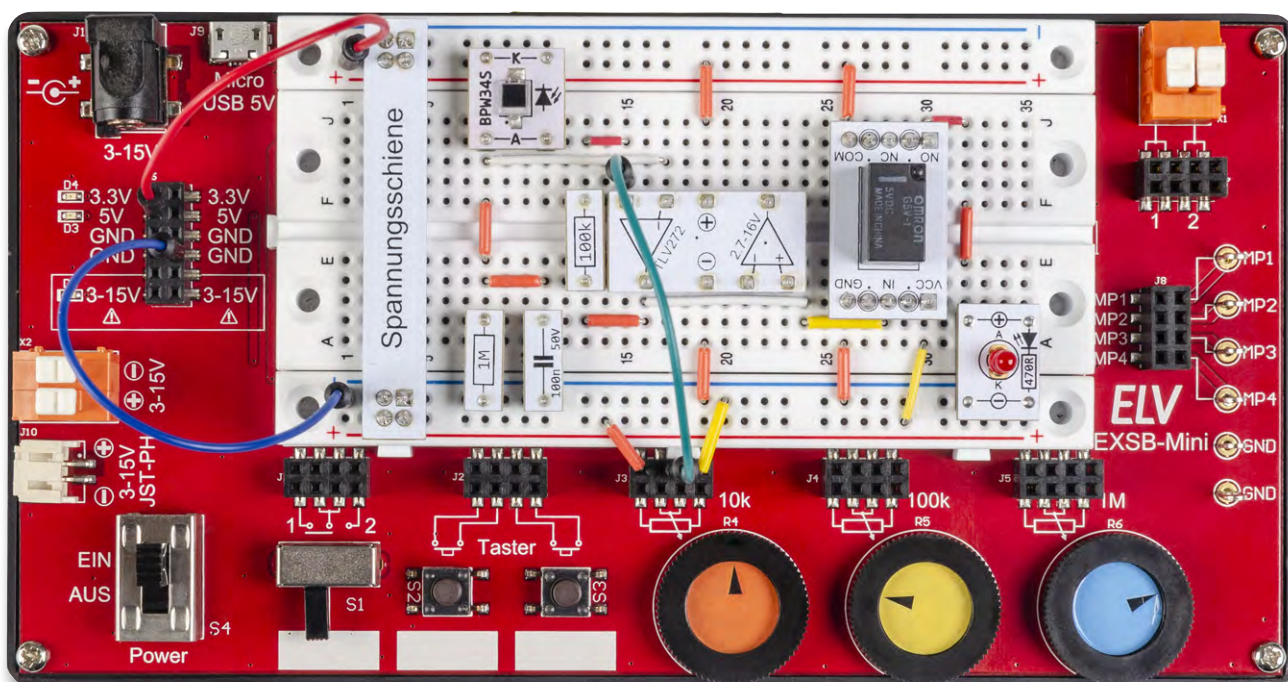


Bild 15: Aufbau des Dämmerungsschalters auf dem EXSB-Mini

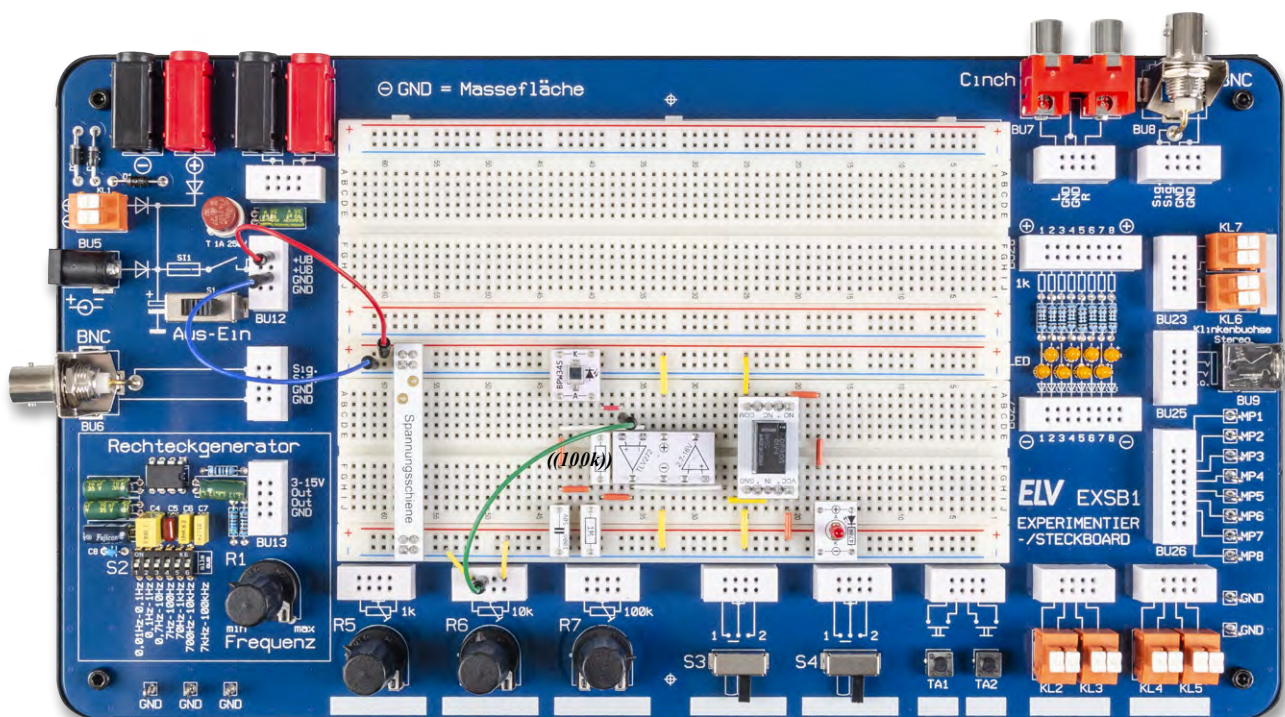


Bild 16: Aufbau des Dämmerungsschalters auf dem EXSB1



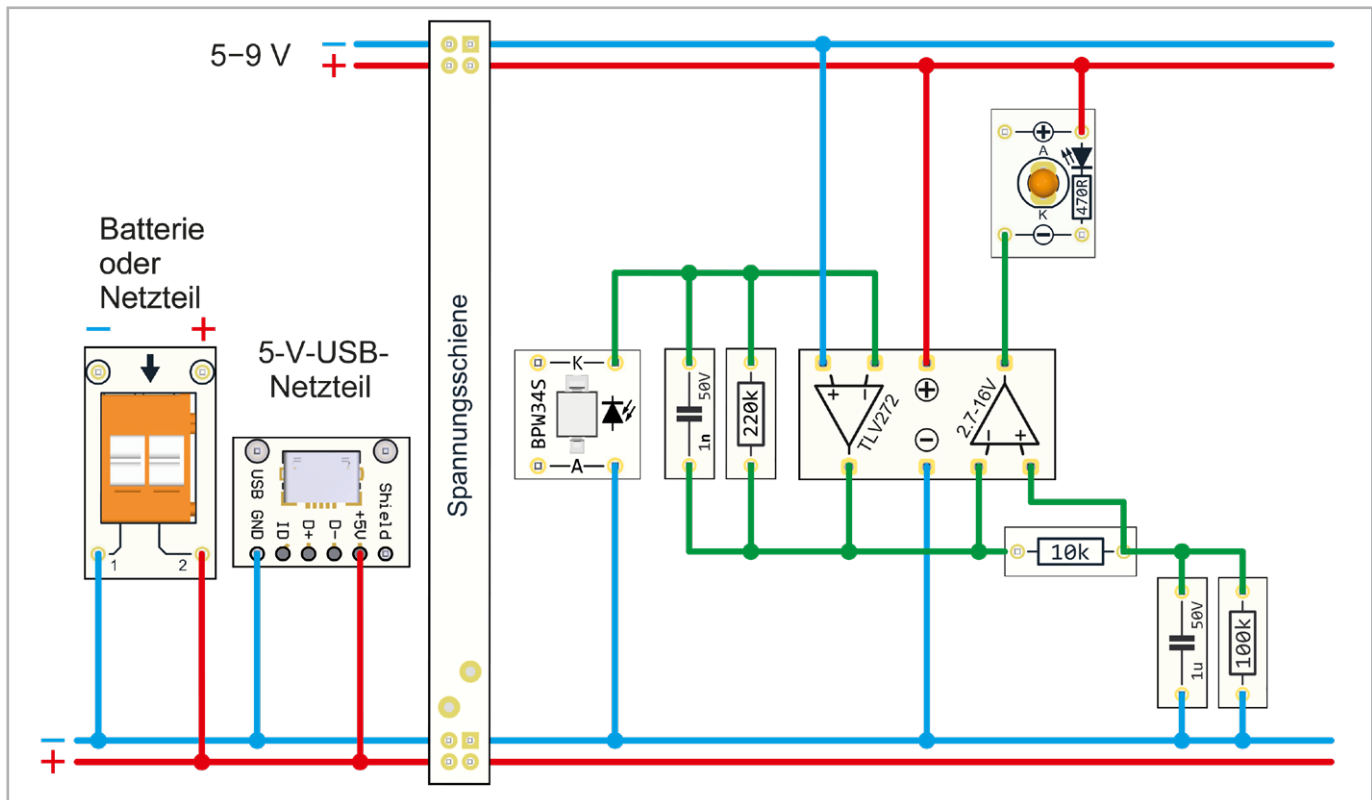


Bild 17: Verdrahtungsplan für den IR-Tester

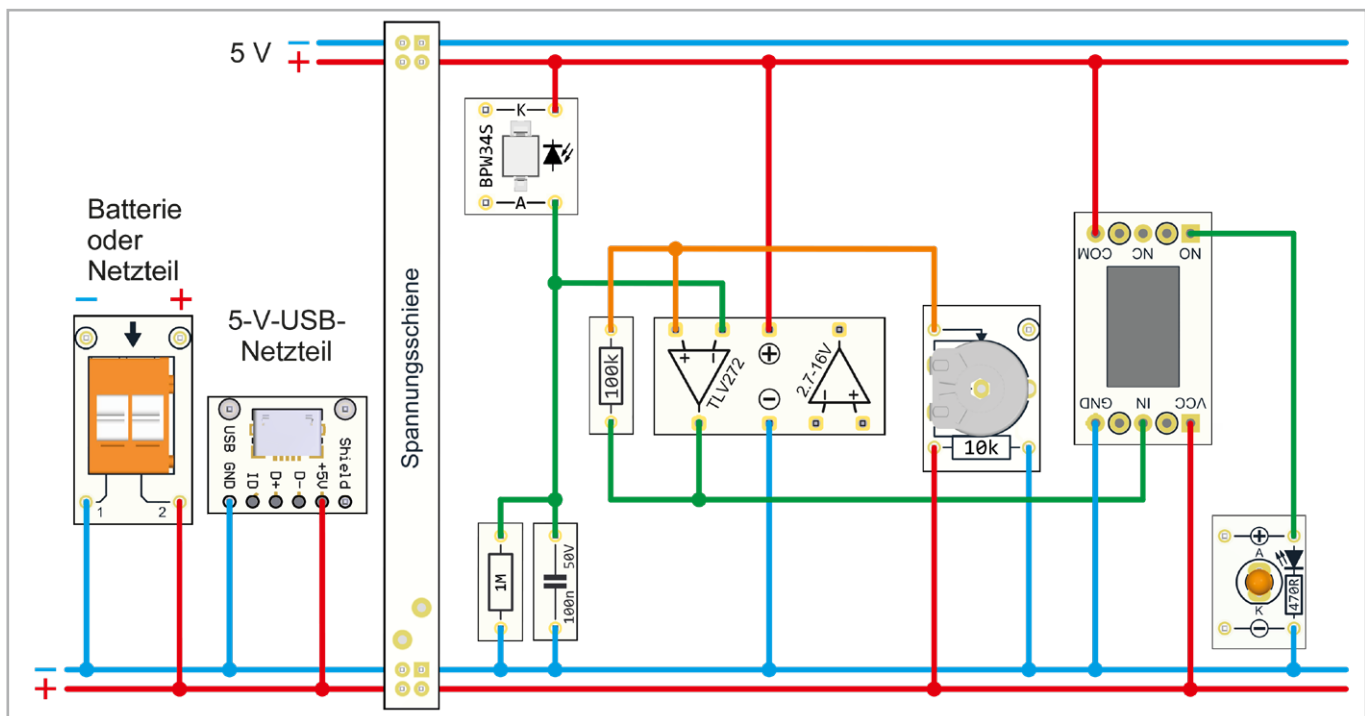


Bild 18: Verdrahtungsplan für den Dämmerungsschalter

### Alle bisher erschienenen Teile dieser Artikelserie zum PAD-PRO-Experimentierset finden Sie im ELVshop:

ELVjournal 3/2023	Teil 1: Professionell experimentieren – Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 253473
ELVjournal 5/2023	Teil 2: Audioverstärker mit MEMS-Mikrofon – Anwendungsschaltung mit dem Prototypenadapter	Artikel-Nr. 253711
ELVjournal 6/2023	Teil 3: NE555-Grundsaltungen – Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter	Artikel-Nr. 253836
ELVjournal 1/2024	Teil 4: Anwendungsschaltungen mit dem Prototypenadapter-Professional-Experimentierset PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 253948
ELVjournal 2/2024	Teil 5: LEDs richtig ansteuern – Anwendungsschaltungen mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254100
ELVjournal 3/2024	Teil 6: Alarmanlage mit Vibrationssensor – Anwendungsschaltungen mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254146
ELVjournal 5/2024	Teil 7: Komparatorschaltungen mit Operationsverstärkern – Anwendungsschaltungen mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254212
ELVjournal 6/2024	Teil 8: Aufbau einer Kojak-Sirene mit dem PAD-PRO-EXSB	Artikel-Nr. 254265