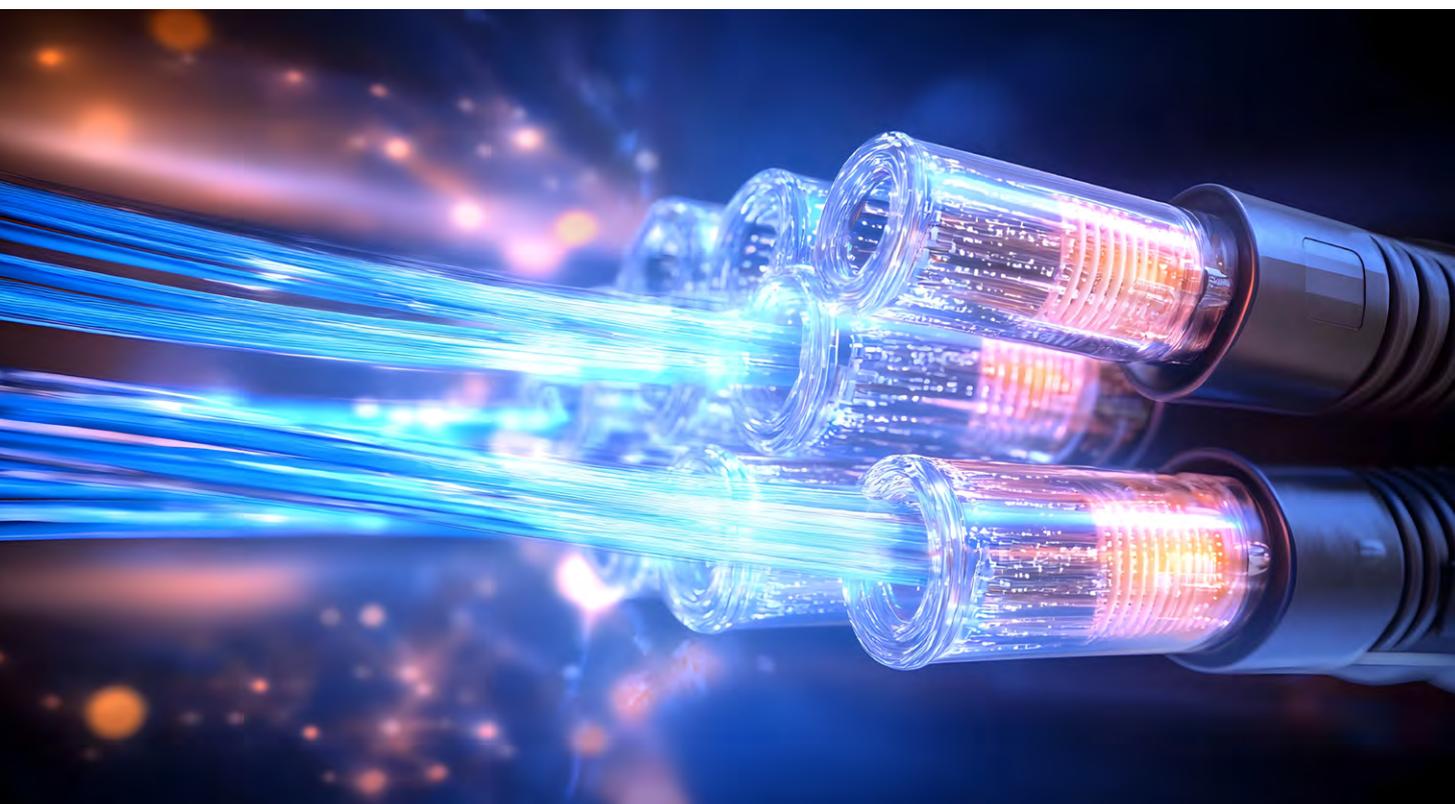


# Optische Ton- und Signalübertragung

## Projekte für Elektronikeinsteiger

Teil 12

Im letzten Artikel wurden Opto-Sensoren für einfache Lichtschranken eingesetzt. Damit ist das Potenzial dieser vielseitigen Bauelemente allerdings noch lange nicht ausgereizt. Die moderne optische Signalübertragung nutzt Licht zur Übermittlung von Informationen. Damit wurde sie zur Schlüsseltechnologie in der Telekommunikation. Sie bietet hohe Bandbreiten, geringe Verluste und eine störungsfreie Übertragung über große Entfernungen. Als Träger des Signals dient sichtbares oder infrarotes Licht, das in einem Medium wie Glasfasern geleitet wird. Dabei werden die Daten durch Modulation des Lichts in Form von Änderungen in Amplitude, Frequenz oder Phase übertragen. Dieser Artikel erklärt mit einfachen Mitteln die grundlegenden Prinzipien dieser faszinierenden Technik.



### Optische Übertragungssysteme

Ein optisches Übertragungssystem besteht aus drei Hauptkomponenten: dem Sender, dem Übertragungsmedium und dem Empfänger. Der Sender, meist eine Laserdiode oder LED, erzeugt das Lichtsignal und moduliert die Daten darauf. Das Übertragungsmedium, in der Regel eine Glasfaser, leitet das Licht mit sehr geringen Verlusten. Glasfasern nutzen das Prinzip der Totalreflexion, um das Licht über große Distanzen effizient zu transportieren. Der Empfänger am Zielort wandelt das optische Signal mittels Fotodioden wieder in elektrische Signale um und demoduliert die enthaltenen Daten.

### Erforderliches Material für dieses Projekt:

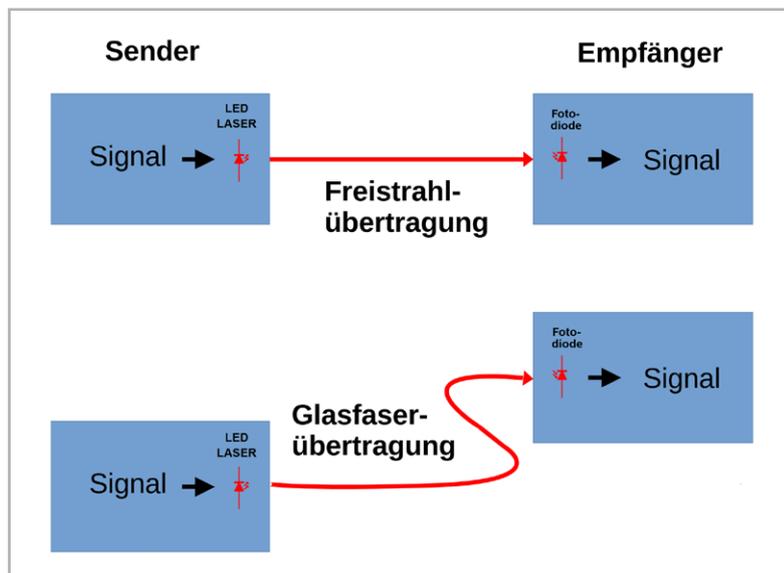
- Photodiode, z. B. [BPW 34](#) oder Photodiodenmodul
- LED oder LED-Cluster
- Verschiedene Widerstände
- Transistoren z. B. BC 847 oder BC 547
- 3,5-mm-Buchsen und -Kabel
- Tonquelle wie z. B. Handy oder MP3-Spieler
- Kopfhörer oder Aktivboxen o. Ä.

Siehe auch Kasten „Benötigtes Material“ am Ende des Beitrags.

#### Über den Autor

Dr. Günter Spanner ist als Autor zu den Themen Elektronik, Sensortechnik und Mikrocontroller einem weiten Fachpublikum bekannt. Schwerpunkt seiner hauptberuflichen Tätigkeit für verschiedene Großkonzerne wie Siemens und ABB ist die Projektleitung im Bereich Entwicklung und Technologie-Management. Der Dozent für Physik und Elektrotechnik hat zudem zahlreiche Fachartikel und Bücher veröffentlicht sowie Kurse und Lernpakete erstellt.

Bild 1: Datenübertragung mit Licht



### Tonübertragung mit Licht

Die Tonübertragung mit Licht ist eine grundlegende Technik der optischen Kommunikation. Sie erlaubt es, Audiosignale mithilfe von Lichtstrahlen zu übertragen. Dazu wird der Ton in elektrische Signale umgewandelt. Diese werden dann auf einen Lichtstrahl aufmoduliert. Das Signal wird anschließend über eine optische Strecke, etwa durch Luft oder über ein Glasfaserkabel übertragen. Der Empfänger konvertiert das Lichtsignal zurück in elektrische Impulse, die wiederum in hörbare Töne umgewandelt werden (Bild 1).

Die grundlegenden Schritte der Tonübertragung mit Licht sehen so aus:

#### 1. Modulation des Tonsignals:

Zunächst wird das Audiosignal in elektrische Signale umgewandelt. Diese elektrischen Signale modulieren dann die Intensität des Lichtstrahls. Dies geschieht über analoge (AM, FM, d. h. Amplituden- oder Frequenzmodulation) oder digitale Modulationstechniken.

#### 2. Übertragung des Lichtsignals:

Der modulierte Lichtstrahl wird durch ein Medium übertragen. In der Luft erfolgt dies typischerweise über freie Sichtverbindungen („Line-of-Sight“), während in der Glasfaserkommunikation das Licht in den Glasfasern geleitet wird. Lichtwellenleiter bieten den Vorteil, dass sie über lange Distanzen nahezu verlustfrei arbeiten.

#### 3. Empfang und Demodulation:

Am Empfänger wandelt ein Lichtsensor, das Lichtsignal, wieder in ein elektrisches Signal um. Diese elektrischen Signale werden anschließend demoduliert, um das ursprüngliche Tonsignal wiederherzustellen.

#### 4. Wiedergabe des Tons:

Das zurückgewonnene elektrische Signal wird schließlich verstärkt und an Lautsprecher oder Kopfhörer geleitet, um die ursprüngliche Toninformation hörbar zu machen.

### Vorteile und Herausforderungen

Tonübertragung mit Licht bietet hohe Übertragungsraten und ist weniger anfällig für elektroma-

gnetische Störungen als herkömmlichen Funktechnologien. Allerdings erfordert die Übertragung in der Luft eine klare Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger, und Umwelteinflüsse wie Nebel oder Regen können die Signalqualität beeinträchtigen.

In der Praxis wird diese Technologie in der optischen Datenübertragung (z. B. Glasfaserkommunikation), in der drahtlosen optischen Kommunikation (Free-Space Optical Communication) sowie in spezialisierten Anwendungen wie Audio-Lasersystemen eingesetzt.

Für eine einfache Schaltung zur Tonübertragung mit Licht können folgende Komponenten verwendet werden:

#### 1. Sender-Schaltung:

- Ein Mikrofon, um das Tonsignal aufzunehmen
- Ein Verstärker, um das Mikrofonsignal zu verstärken
- Eine LED oder ein Laser, um das elektrische Signal in Licht zu wandeln und das modulierte Licht zu senden

#### 2. Empfänger-Schaltung:

- Eine Fotodiode oder ein Fototransistor, um das Lichtsignal zu empfangen und in ein elektrisches Signal zurückzuwandeln
- Ein Verstärker für das empfangene Signal
- Ein Lautsprecher oder Kopfhörer zur Wiedergabe des Tons

Bild 2 zeigt den grundlegenden Aufbau eines entsprechenden Systems.

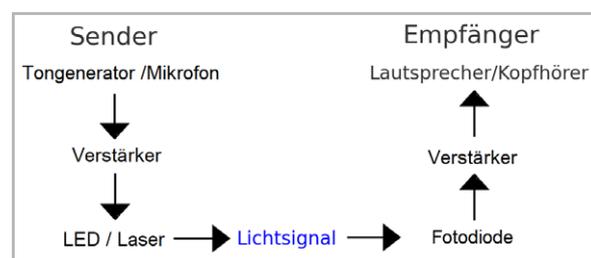


Bild 2: Prinzipielle Funktionsweise der Tonübertragung mit Licht

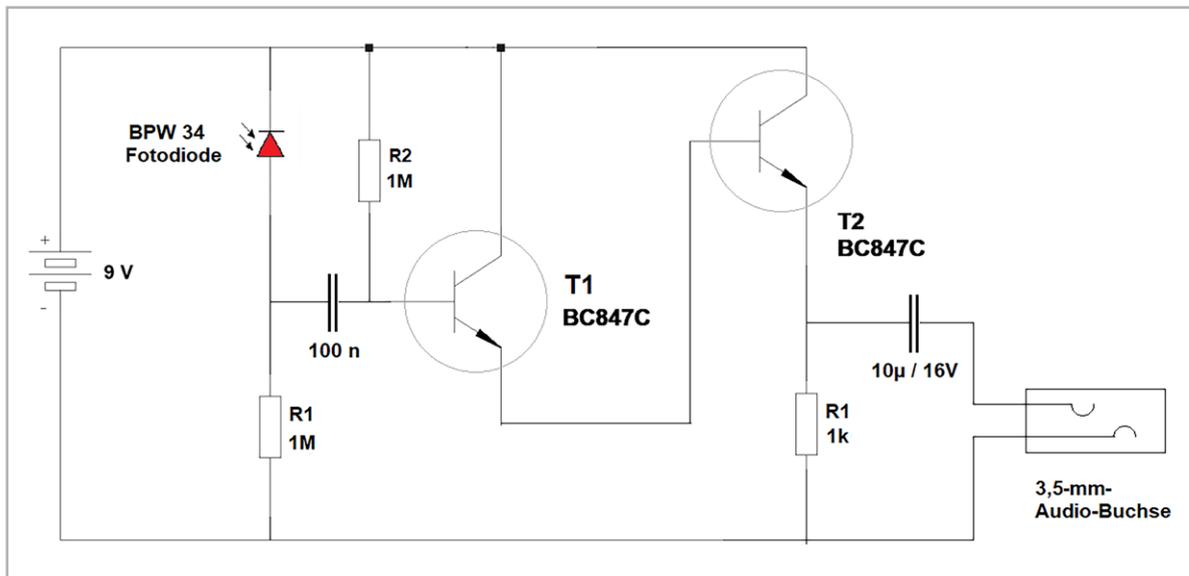


Bild 3: Die Empfängerschaltung

## Der optische Empfänger

Zunächst sollte die Empfängerschaltung aufgebaut werden, da diese auch ohne den Sender erprobt werden kann. Bild 3 zeigt das Schaltbild und Bild 4 einen Aufbauvorschlag dazu. Eine Fotodiode (BPW34) empfängt das Lichtsignal und wandelt es in ein elektrisches Signal um. Dieses Signal wird durch einen zweistufigen Transistor-Verstärker verstärkt und dann an einen Lautsprecher oder Kopfhörer weitergeleitet, um den Ton wiederzugeben. Für die ersten Versuche empfiehlt sich ein Kopfhörer oder Aktivboxen, da das Signal in einem Lautsprecher im Allgemeinen recht leise ist.

An die 3,5-mm-Audio-Klinkenbuchse kann eine Aktivbox oder ein Kopfhörer mit 4 bis 32 Ohm angeschlossen werden. Nach dem Aufbau kann die Schaltung zunächst ohne einen speziellen Sender getestet werden. Dazu beleuchtet man die Fotodiode mit künstlichem Licht, z. B. aus einer Schreibtischlampe (Bild 5).

Wenn man das Licht der Lampe direkt auf die Fotodiode richtet, ertönt ein intensiver, technisch klingender Brummtone im Kopfhörer. Eventuell muss der Abstand zwischen Lampe und Fotodiode angepasst werden. Ist der Abstand zu klein, kann die Fotodiode gesättigt werden, sodass Hell-dunkel-Unterschiede nicht mehr erkannt werden. Bei zu großen Abständen wird der Helligkeitsunterschied ebenfalls zu gering, sodass auch kein Ton zu hören ist.

Bild 6 zeigt das so empfangene Signal auf einem Oszilloskop. In früheren Zeiten konnten auf diese Weise harmonische Sinussignale

empfangen werden. Dies war möglich, da die damals verwendeten Glühlampen mit einem Glühdraht gemäß der elektrischen Wechselspannung ein sinusförmiges Helligkeitssignal erzeugten. Bei den heute praktisch ausschließlich verwendeten LED-Leuchtmitteln zeigt das Signal jedoch starke Verzerrungen.

Die Netzfrequenz beträgt in Europa 50 Hz. Da bei einer Lampe jedoch auch die negativen Halbwellen der Wechselspannung in Licht umgewandelt werden, weist das Signal die doppelte Frequenz, also 100 Hz auf.

Nachdem der Empfänger erfolgreich getestet wurde, kann man mit dem Aufbau des Lichtsenders beginnen.

## Die Sender-Schaltung – ein optischer Tonsignalsender

Um mit der Übertragung von Tonsignalen zu experimentieren, kann der Sender aus Bild 7 und Bild 8 verwendet werden. Dieser besteht aus einem astabilen Multivibrator, der eine LED oder einen LED-Cluster ansteuert. Diese Schaltung wurde in früheren Beiträgen bereits mehrfach verwendet. Einzelheiten dazu können in den entsprechenden Beiträgen nachgelesen werden.

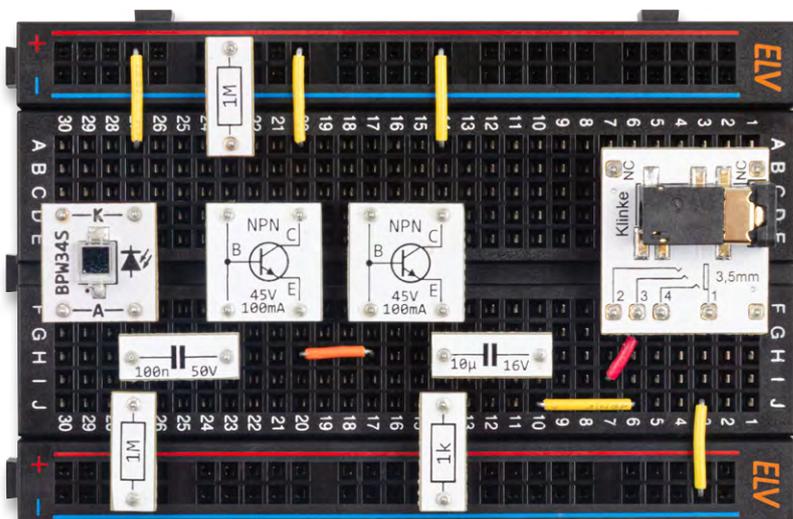


Bild 4: Aufbau zur optischen Empfängerschaltung



Bild 5: Töne aus einer Schreibtischlampe

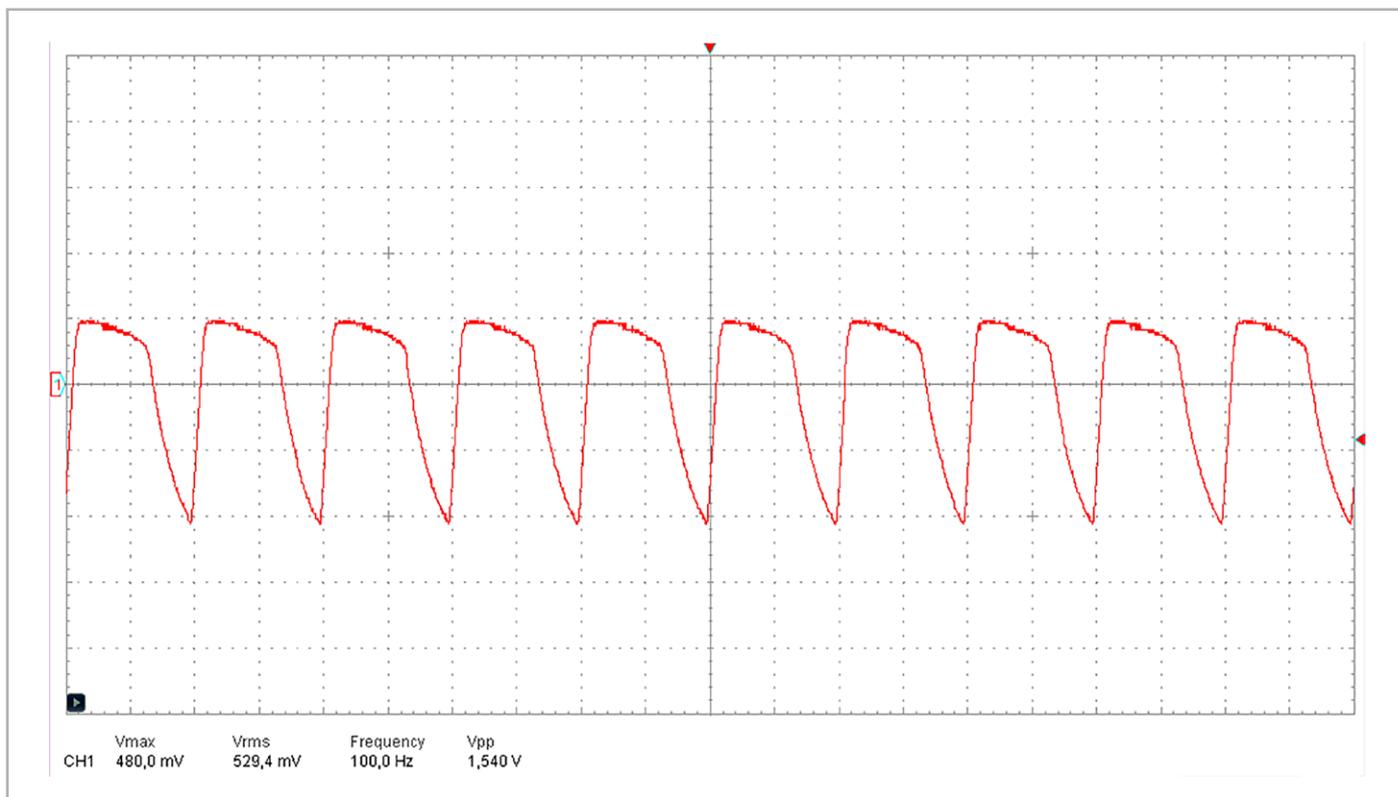


Bild 6: Tonsignal der Schreibtischlampe

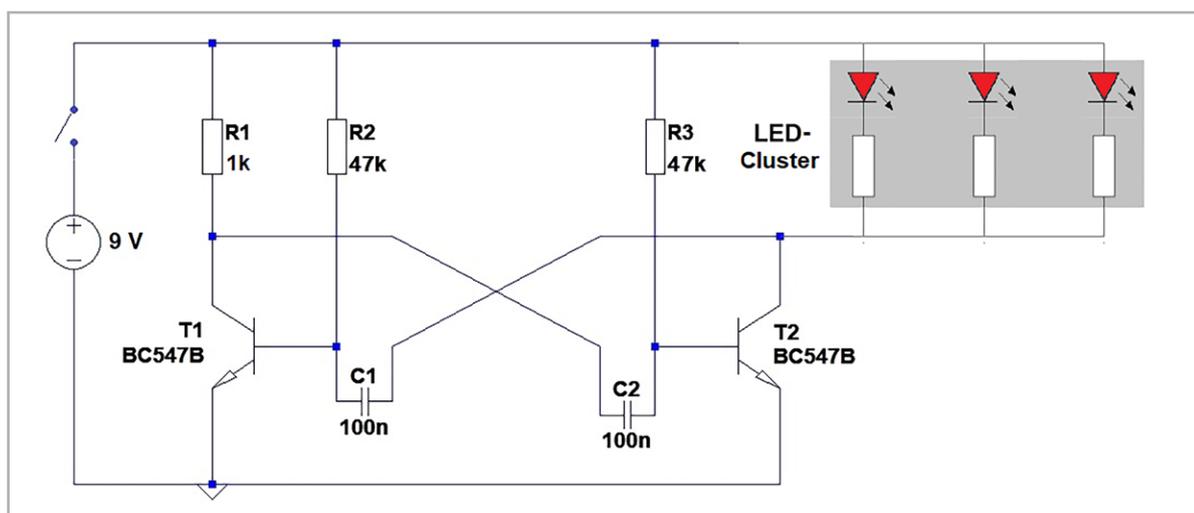


Bild 7: Schaltbild zum optischen Tonsignalsender

Der Tonsignalsender erzeugt eine Frequenz im hörbaren Bereich (ca. 300 Hz). Dieses Signal wird von der angeschlossenen Leuchtdiode abgestrahlt. Wenn die Strahlung den Empfänger erreicht, wird das Signal im Kopfhörer hörbar.

Signalstärke und Qualität hängen natürlich stark von der Ausrichtung des Senders und Empfängers ab. Bei optimaler Ausrichtung können aber durchaus Entfernungen von bis zu einem Meter und mehr überbrückt werden. Im Abschnitt „Ergänzungen und Erweiterungen“ werden einige Hinweise gegeben, wie man die Signalqualität beeinflussen und optimieren kann.

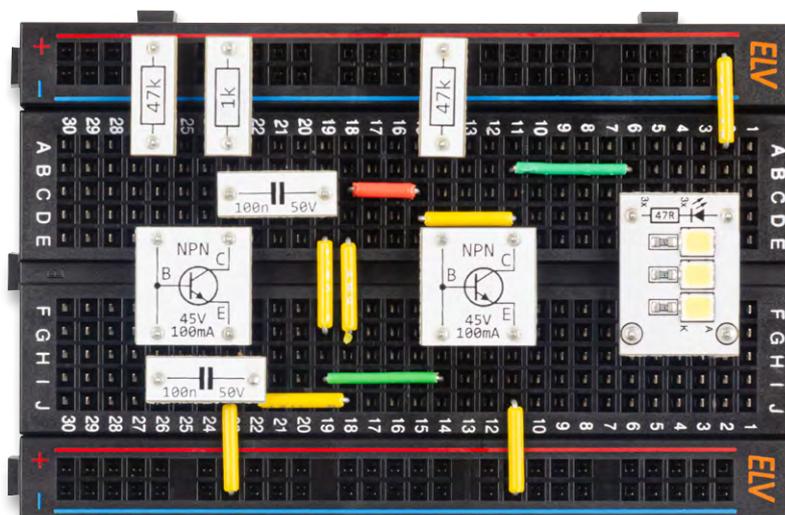


Bild 8: Aufbau zum Tonsignalsender

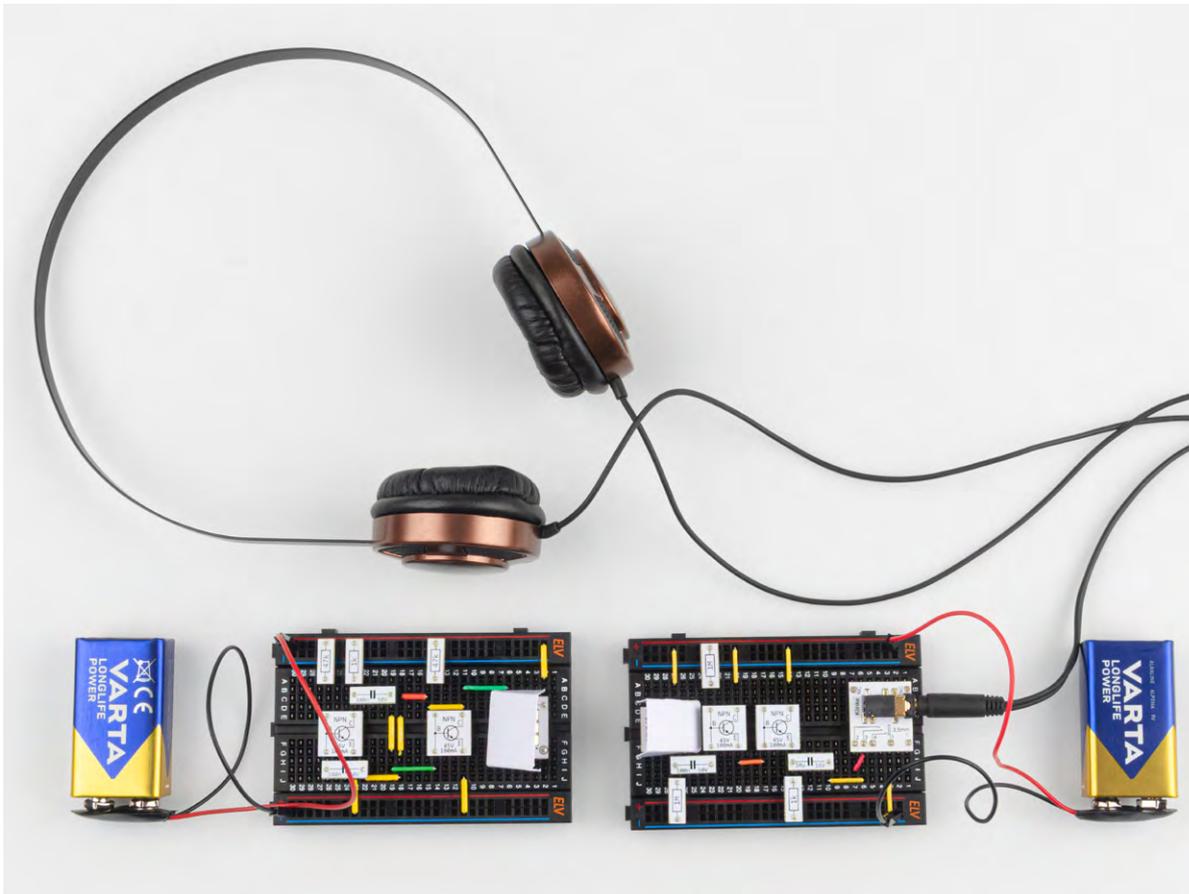


Bild 9: Gesamtaufbau zum Experiment „Optische Tonsignalübertragung“

Die LEDs und Fotodioden auf Trägerplättchen zeigen mit ihrer aktiven Seite nach oben. Mithilfe von Strahlumlenkungen kann dieses Problem jedoch einfach behoben werden. Aus weißem Karton lassen sich leicht geeignete Strahlumlenkungen herstellen. Hierzu schneidet man entsprechende Stücke aus und faltet sie in geeigneter Weise. Die so entstehenden Umlenkungen können dann über den optischen Bauelementen aufgestellt werden (Bild 9). Das funktioniert sowohl bei LED-Clustern als auch bei Fotodiodenmodulen. Weitere Details dazu finden sich im letzten [Beitrag](#) zu dieser Serie.

### Musikübertragung mit Licht

Bevor Bluetooth zum allgemeinen Standard für drahtlose Audioübertragungen bei Kopfhörern oder Bluetooth-Lautsprechern wurde, waren optische Sender und Empfänger weit verbreitet. Diese Systeme nutzten meist mehrere Infrarotsender-LEDs (IR-LEDs), um die optische Signalstärke zu verbessern. Auf der Empfängerseite kamen IR-Fotodioden zum Einsatz, die in entsprechenden Kopfhörern eingebaut waren. Damit ließ sich durchaus HiFi-Qualität bei der Übertragung von Audiosignalen erreichen.

Der folgende Aufbau ermöglicht ebenfalls die Übertragung von Audiosignalen. Bild 10 zeigt das Schaltbild, Bild 11 den zugehörigen Aufbau.

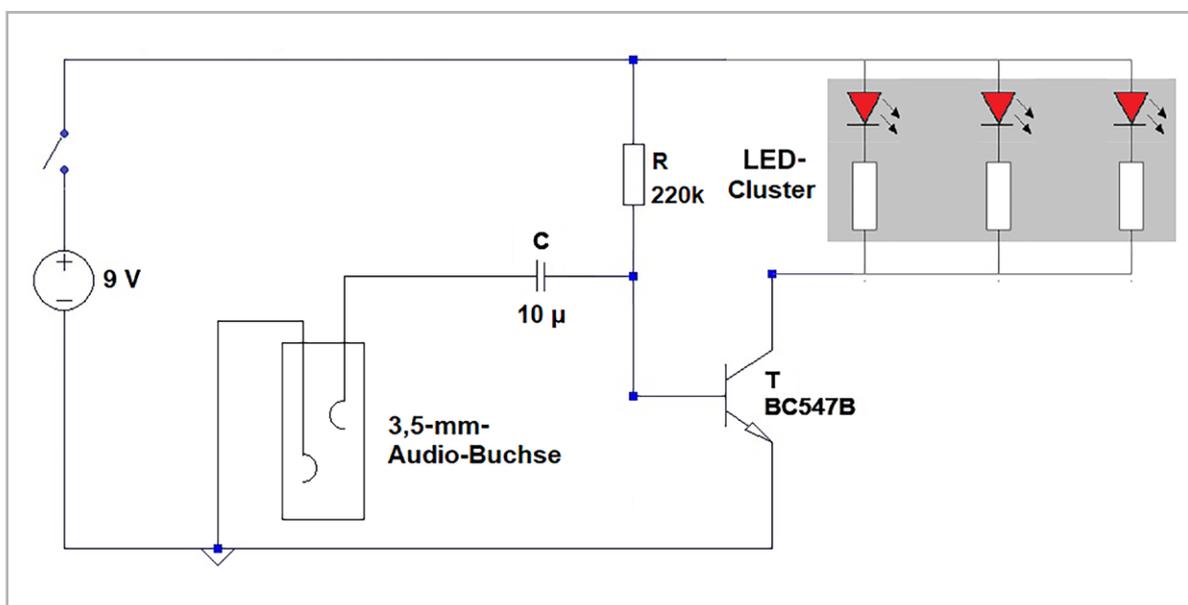


Bild 10: Sender für die Übertragung von Audiosignalen

Als Tonquelle kann beispielsweise ein Handy oder ein MP3-Player eingesetzt werden. Der Anschluss der Tonquelle erfolgt wieder über ein 3,5-mm-Audiokabel (Bild 11).

Anstelle des periodischen Signals in Bild 6 wird die LED nun mit einem komplexen Musiksignal moduliert (Bild 12).

Auch in diesem Fall kann man wieder für optimale Übertragungsbedingungen sorgen:

- Kein direktes Störlicht auf der Empfängerdiode
- Kein künstliches Licht, um 100-Hz-Brummen zu vermeiden
- Optimale Wahl der Lautstärke der Tonquelle über deren Lautstärkereglern
- Einjustierung des Abstands zwischen Sender und Empfänger (10 cm bis ca. 1 m)

Unter guten Bedingungen lässt sich auch hier eine Reichweite von über 1 m erreichen. Die Tonqualität entspricht natürlich keinen HiFi-Standards, dennoch können unter guten Bedingungen durchaus recht brauchbare Ergebnisse erzielt werden. **ELV**

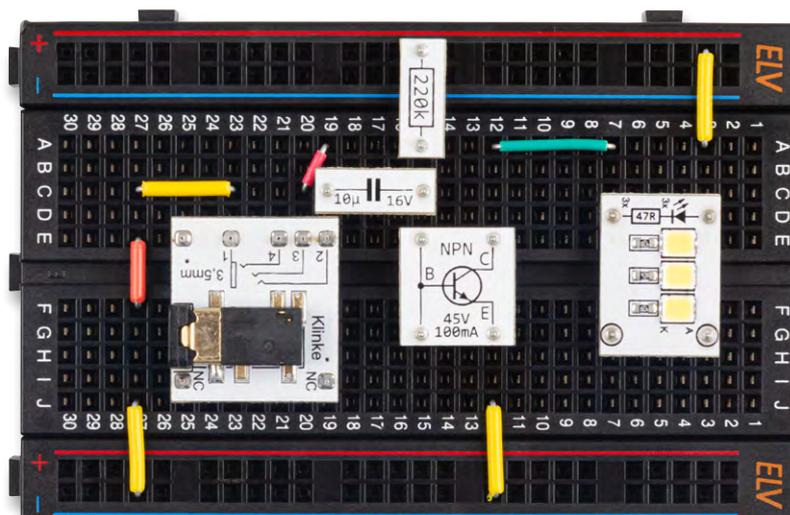


Bild 11: Aufbau zum Audiosignal-Sender

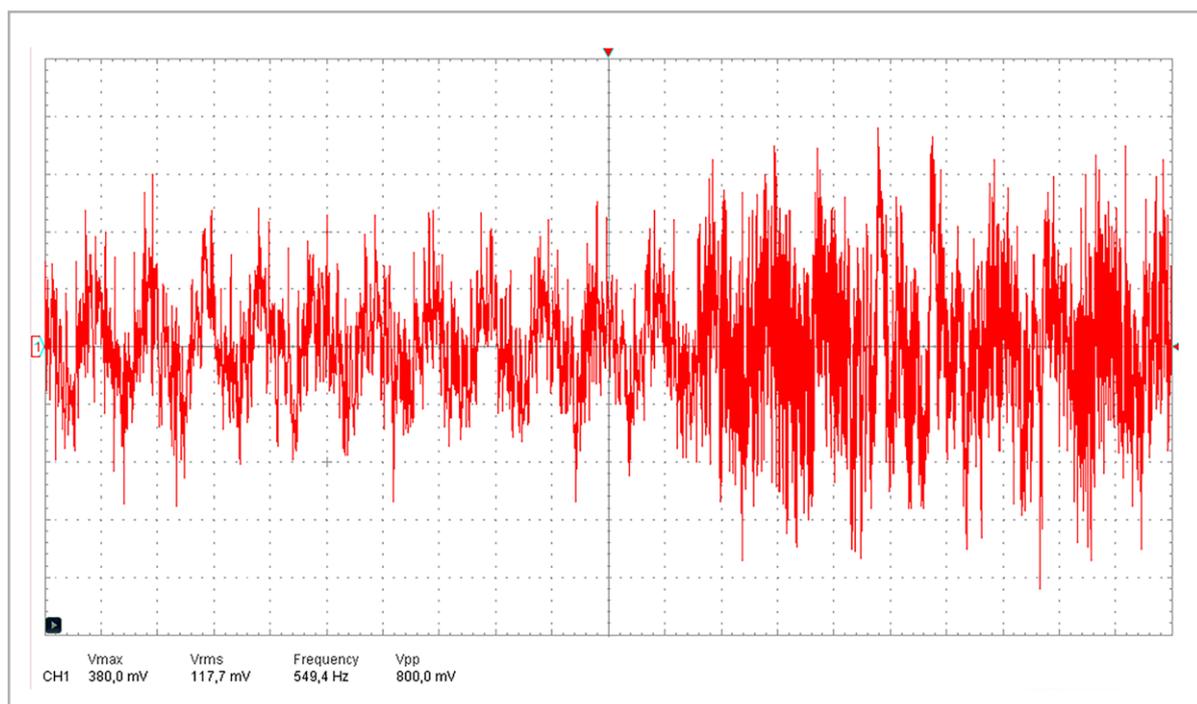


Bild 12: Beispiel für ein Tonsignal an der Sendediode



#### Benötigtes Material

2x Breadboard

Artikel-Nr. 251467  
[Zum Produkt](#)

Fotodiode, LED oder LED-Cluster, verschiedene Widerstände, Transistoren und 3,5-mm-Buchsen sind z. B. enthalten im Set PAD-PRO-EXSB

Artikel-Nr. 158980  
[Zum Produkt](#)

Tonquelle wie z. B. Handy oder MP3-Spieler

Kopfhörer oder Aktivboxen o. Ä. mit 3,5-mm-Klinkenkabel

#### Ergänzungen und Anregungen

- Wie kann die Reichweite der Tonübertragung nach Bild 9 optimiert werden?
- - Welche Rolle spielt das Umgebungslicht?  
- Wie könnte man auf der Senderseite noch weitere LEDs einsetzen?
- Welche maximale Reichweite kann mit dem Aufbau zur Musikübertragung erreicht werden?
- Wie könnte man das Musiksystem auf Lautsprecherempfang ausbauen?  
- Bringen weitere Transistorstufen einen Empfindlichkeitsvorteil?  
- Welchen Vorteil haben Aktivboxen in dieser Anwendung?
- Welche Vorteile hätte ein Infrarotsystem anstelle der sichtbaren LEDs?
- Kann man das Signal auch „um die Ecke“ leiten (Spiegel)?