

## **Stromversorgung über Lichtleiter**

Von Nothart Rohde / Januar 2016

-1-

Es gibt Fälle, etwa in der Sensorik oder Steuerungstechnik, wo eine kleine, autonome Stromversorgung benötigt wird, ohne dass man Batterien wechseln könnte oder Licht für eine Solarzelle vorhanden wäre. Da kommt man auf die Idee, mit einem Laser in einen Lichtleiter (LWL) hineinzuleuchten und am anderen Ende Energie zu gewinnen. Nach einigen grundsätzlichen Untersuchungen kann man abschätzen, was der Elektroniker hinbekommt und was er eher als Science-fiction abtun muss.

### **Allgemeine Überlegungen**

Aktuelle LEDs haben einen Wirkungsgrad von etwa 20 %. Bei einer gängigen Leistungs-LED (1 W elektrisch) hat man daher 200 mW reines Licht zur Verfügung. Das ist eine Menge. Die Wärmewirkung, etwa auf dem Handrücken, ist hier direkte Folge des Lichtes, also kein Effekt zusätzlicher Wärmestrahlung.

Ein einfacher Halbleiter-Laser, der zulassungsfrei betrieben werden darf, erzeugt einige wenige mW an Licht. Überraschenderweise hat der reine Halbleiter einen ziemlich großen Strahlwinkel, wenig besser als bei einer LED. Der scharfe Strahl entsteht erst durch eine zusätzliche Optik und wird nur deshalb scharf, weil die Lichtquelle nahezu punktförmig ist, ganz im Gegensatz zur LED. Will man die 5 mW eines Laserpointers komplett in einen Lichtleiter einkoppeln, muss man sich konstruktiv anstrengen. Hält man dagegen einen Plastiklichtleiter (z.B.  $Q = 1$  mm) direkt an eine Leistungs-LED, hat man ein Mehrfaches an Licht im Leiter, und dies ganz ohne Anstrengung. Wenn der Wirkungsgrad keine Rolle spielt bzw. bei grundsätzlichen Versuchen ist daher die Verwendung eines kleinen Lasers der falsche Weg.

Als optischer Empfänger bieten sich verschiedene Sensoren auf Siliziumbasis an, die sinnvollerweise nicht viel größer als der Lichtfleck sein sollten, der aus dem Lichtleiter austritt. Zu Silizium passt gut das übliche Rot (630 nm), was den Vorteil hat, dass sich alles visuell kontrollieren lässt.

### **Bevorzugte Bauteile**

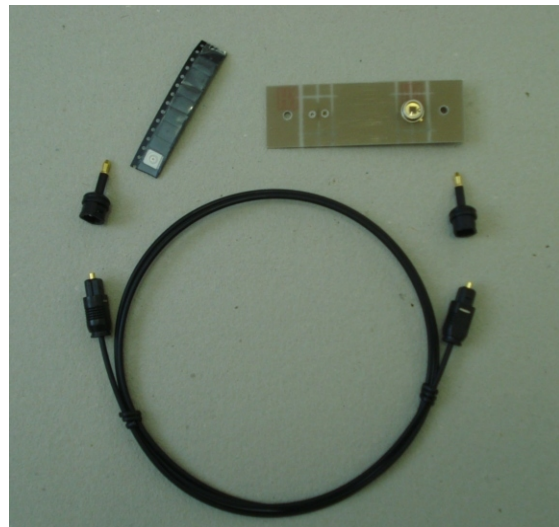
Es gibt eine Vielzahl von LEDs. Für die Anwendung sollten sie keine Linse haben, sondern einen Aufbau, bei dem man den Lichtleiter (plan) möglichst nahe an den Kristall bringen kann. Dabei ist allerdings Vorsicht geboten, denn man sollte den Silikonverguss der LED nicht deformieren. Ein gerissener Bonddraht könnte die Folge sein. Ausreichend Licht hat man z.B. mit dem Typ Vishay VLMR71AAAC (*Farnell 156-1016*), der bei ausreichender Kühlfläche mit bis zu 400 mA belastbar ist.

Versuche mit kleinen Siliziumdioden bzw. Fotoelementen führten mehrfach zum Ergebnis, dass das Fotoelement BPW20 bzw. BPW20RF das deutlich bessere Ergebnis liefert. BPW20 entspricht der für Luxmessungen üblichen BPW21, hat jedoch ein farbloses Fenster. Der Grund ist nicht ganz einsichtig und hat vielleicht damit zu tun, dass das Bauteil auf geringen Dunkelstrom gezüchtet wurde (weniger Eigenverluste) und dass die meisten Optoempfänger die Struktur PIN haben, was die Kapazität senkt und damit die Reaktionszeit verbessert, aber möglicherweise die Effizienz verschlechtert.

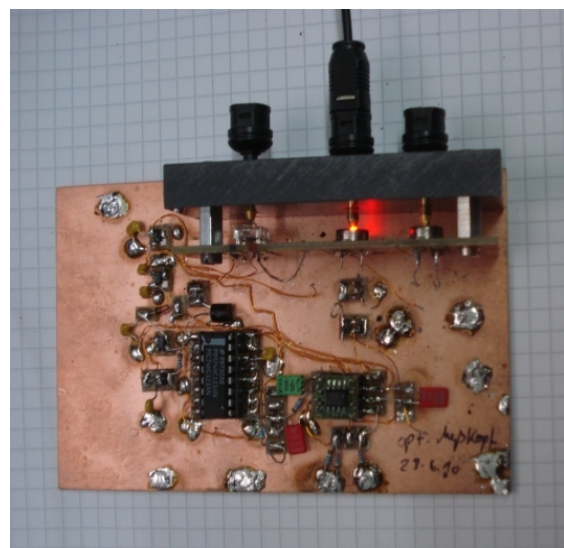
Beim Aufbau einer optischen Übertragungsstrecke ist zu beachten, dass die meisten Verluste an den Stoßstellen entstehen. Hier hat man leicht einen Verlust von 50% pro Übergang, während der reine Acryl-Lichtleiter bei 10 m auf etwa 60% dämpft. Optische Stecker sollten daher, wenn überhaupt, sehr sparsam verwendet werden.

Es gibt verschiedene LWL Stecksysteme nach Firmen-Hausnorm. Recht gängig ist das System *Toslink* (Digital Audio, seinerzeit von Toshiba eingeführt). Zubehör und konfektionierte Kabel sind leicht erhältlich. Der übliche Sender und Empfänger sind aber nicht zu gebrauchen. Ein gutes Sortiment bei sehr realen Preisen findet man bei [reichelt.de](http://reichelt.de).

Ein wichtiges Hilfsmittel für praktische Aufbauten ist der LWL-Übergang auf 3,5 mm Klinkenbuchse, denn damit kann man die Übergänge LED / LWL bzw. LWL / Empfänger auf einfache Weise steckbar machen. **Bild 1** zeigt die Komponenten für die komplette Übertragungskette. Auch hier ist die Berechnung der Dämpfung recht ernüchternd : 4 Stoßstellen zu 50 %, dazu die Dämpfung des Leiters führen dazu, dass am Empfänger nur einige Prozent des erzeugten Lichtes erscheinen. Um es vorwegzunehmen : Sicher erzeugte elektrische Leistung von 0,1 mW bei einigen Volt sind ein gutes Ergebnis der Mühe. Damit kann man immer noch einiges machen.



Optoelektronik "frei Hand" geht nicht, man muss mechanisch stabil bauen. Für die Stecker hat es sich bewährt, über der Platine eine (PVC)-Platte (8...10 mm) zu montieren und sie mit Bohrungen zu versehen, fluchtend mit den Optoteilen. Die Stecker werden in das Loch geschoben, bis sie das Bauteil berühren und in dieser Stellung festgeklebt. Wie das aussieht, zeigt **Bild 2**.



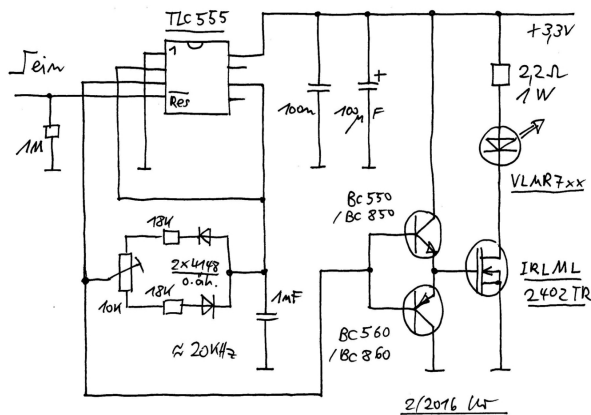
### Ein optischer Sender

Bei der Auslegung eines geeigneten Senders muss man sich zunächst die Eigenschaften des Empfängers ansehen. Sensoren / Solarzellen kann man als besondere Diode beschreiben. Bei Beleuchtung tritt die erzeugte Spannung in Flussrichtung der Diode auf, wird also gerade nicht kurzgeschlossen, wie man es erwarten würde. Weiterhin ist wichtig zu wissen, dass der Kurzschlussstrom proportional zur Helligkeit ist, die Leerlaufspannung hingegen proportional zum Logarithmus der Helligkeit. Leistungsabgabe ist also nur zwischen diesen Beschaltungen möglich.

Ganz praktisch stellt man fest, dass die erzeugten Spannungen durch die logarithmische Kennlinie so gering sind, dass man kaum einen geeigneten Aufwärtswandler findet. Die einfachste und möglicherweise einzige Lösung besteht darin, das Licht ein- und auszuschalten. Damit lässt sich auch die kleinste Spannung induktiv transformieren. Im Prinzip ginge das auch mit doppeltem Aufwand und doppelter Leistung im Gegentakt mit 2 LWL, das soll aber nicht verfolgt werden. Die LED ist also periodisch ein oder aus, wobei die Schaltfrequenz sich an den magnetischen Bauteilen orientiert (hier 20 kHz).

Man stellt fest, dass etwas mehr Energie übertragen wird, wenn die Auszeit etwas kürzer gewählt wird. Dabei gibt es ein Optimum. Daher ist es zweckmäßig, zumindest für Experimente das Tastverhältnis einstellbar zu machen. **Bild 3** zeigt die Schaltung.

**Bild 3**



Die Versorgung erfolgt mit 3,3 V. Der Widerstand von 2,2 Ohm legt den Strom fest, etwa 320 mA. Für eine höhere Versorgungsspannung muss er entsprechend größer sein, wobei an der Diode weitgehend konstant 2,6 V abfallen. Über einen digitalen Eingang kann die Funktion ein- und ausgeschaltet werden.

### Optischer Empfang

Da die Leistungen so gering ausfallen, möchte man gerne die magnetischen Teile optimieren und hat dazu viele Möglichkeiten. Tendenziell kann man feststellen, dass die Ferrite höherwertig sein sollten (z.B. Epcos N87) und man das fehlende  $\mu$  mit mehr Windung ausgleichen sollte. Auch geringere Schaltfrequenzen (knapp über der Hörgrenze) haben günstige Wirkung. Das Übertragungsverhältnis sollte im Bereich von 1:3 bis 1:5 liegen, darunter wird die Spannung unbrauchbar niedrig und darüber entstehen zusätzliche Verluste.

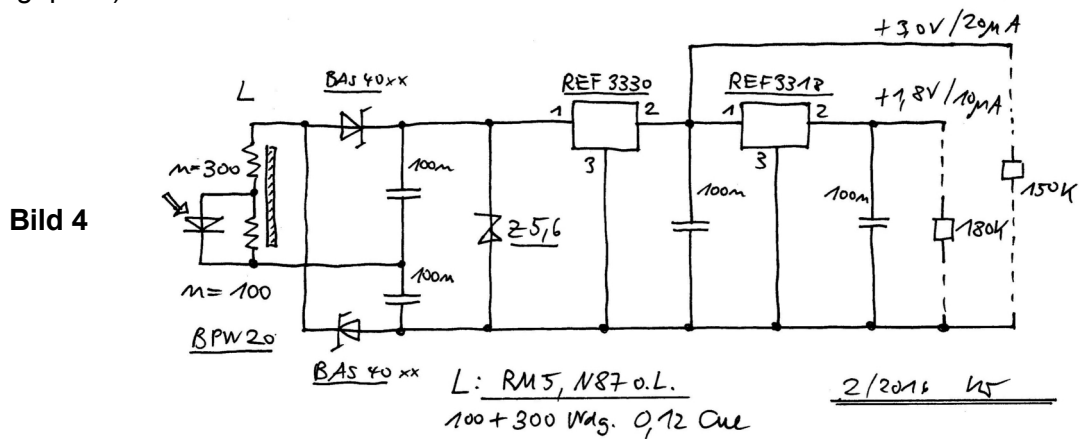
Wer nicht wickeln möchte, kann mit 4-phasigen Gleichtaktdrosseln experimentieren (z.B. Epcos B82792-C2475-N365, 4 x 4,7 mH). Man hat 4 Wicklungen, die man phasenrichtig in Reihe schaltet und an den untersten Abgriff die Diode legt. Die Transformation ist damit 1 : (1+3), also genau richtig. Die Ergebnisse sind aber nicht so gut, wobei die Induktivität als solche ausreicht, der Ferrit aber merklich dämpft.

Auf die Hochohmigkeit der Schaltungen muss man sich in jedem Fall einstellen, denn die 10 MOhm des Tastkopfs oder des Voltmeters sind häufig eine unzulässige Belastung des Schaltung.

### Analoge und digitale Schaltungen

**Bild 4** gibt eine Anregung für solche Schaltungen. Als Gleichrichter kommen Schottkydioden in Frage, aber keine für Leistungsanwendungen, die sind in Sperrichtung zu niederohmig. Der Transformator liefert kein gutes Rechteck, die LED-Schaltphasen sind meist höher. Die beste Energiebilanz ergibt sich, wenn der Verbraucher mit einem doppelten Einweggleichrichter beide Schaltphasen belastet.

Hervorragende Linearregler für die Anwendung sind 3-polige Referenzdioden (REF33xx von Tx), denn sie haben nur 4  $\mu\text{A}$  Eigenverbrauch. Auch preisgünstige Ops mit vergleichbarem Stromverbrauch sind verfügbar (LPV 321, 5  $\mu\text{A}$ ). Wenn man Pausen zum Energiespeichern vorsieht, kann man auch einen Prozessor aufwecken und Meldungen absetzen (per Funk oder optisch gepulst).



Im Schaltbild war die Energiebilanz wie folgt : 2 Regler (10  $\mu\text{A}$ ), Analogteil (3,0 V, 20  $\mu\text{A}$ ), Digitalteil (74HCxx, quasi statisch, 1,8 V, 10  $\mu\text{A}$ ), insgesamt 40  $\mu\text{A}$ . Unter dieser Belastung war die Spannung vor dem Regler auf 3,3 V gesunken, entsprechend einer Gesamtleistung von 132  $\mu\text{W}$ .

### Fernsteuerung von Leistungshalbleitern

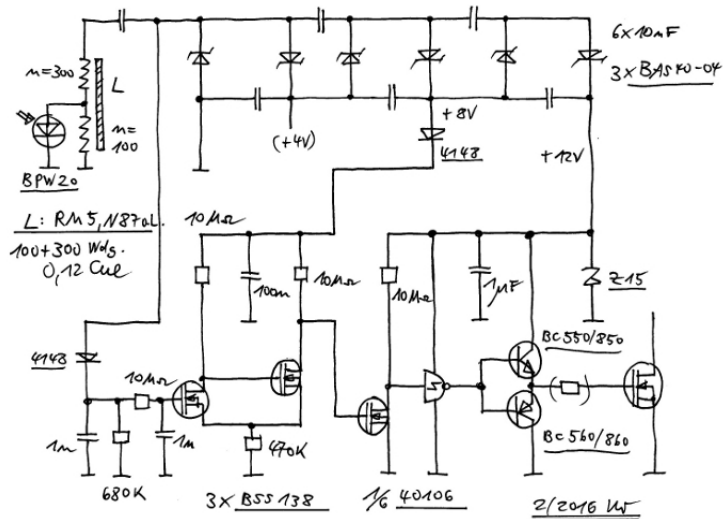
Eine naheliegende Anwendung ist die Fernsteuerung von Leistungsschaltern, wenn sie auf hoher Spannung liegen. Solche Teile sind nicht leistungslos zu steuern, aber Energie ist nur während des Schaltvorgangs notwendig und muss dann entsprechend bereitgehalten werden. Problematisch ist hier eher die hohe Spannung zur Steuerung (z.B. ab 10 V) und die Forderung, dass möglichst schnell geschaltet wird, weil "Zwischenwerte" den Halbleiter gefährden.

Spannungsvervielfacher werden angeboten, aber auch der "leistungslose" (TC)7660 benötigt viel mehr Ruhestrom, als zur Verfügung steht. Ähnlich sieht es bei Taktgebern (TL)C555 aus, die man hier mit zusätzlichen Dioden und Kondensatoren verwenden könnte.

Was als Lösung übrigbleibt, ist, da Wechselfeld vorliegt, die aus der Hochspannungstechnik wohlbekannte Greinacher-Schaltung. **Bild 5** zeigt einen entsprechenden (3-stufigen) Aufbau. Die Endspannung von nominell 12 V wird verwendet, Zwischenstufen (4 bzw. 8 V) dienen zur Steuerung. Im Prinzip ist die Schaltung einfach : nach Einschalten der optischen

Versorgung wird mit einer gewissen Verzögerung, die dem Aufbau der 12 V dient, der Verbraucher eingeschaltet. Wird die optische Versorgung unterbrochen, wird der Verbraucher sofort ausgeschaltet, solange die 12 V noch kapazitiv gespeichert sind.

Bild 5



Das hat zunächst nicht funktioniert, weil durch das "leistungslose" CMOS-Gatter (40106) beim Schalten ein so hoher Querstrom fließt, dass die Ladung weitgehend abgebaut ist, noch bevor der Schaltvorgang zu Ende ist. Auch die Schmitt-Trigger-Eigenschaft des Gatters hat das nicht verbessert. Benötigt wird also querstromfreie Logik, letztendlich ein Transistor / FET mit einem Kollektorwiderstand. Diese Art von Logik hat am Ausgang eine langsame Flanke (für Ein) und eine schnelle Flanke (für Aus).

Diese Erkenntnis erläutert ein wenig die Schaltung. Die ersten beiden FETs erkennen, ob Signal vorhanden ist und haben durch den gemeinsamen Source-Widerstand Trigger-Eigenschaften. Der dritte FET wandelt den Pegel und schaltet so, dass bei "Ein" seine schnelle Flanke wirkt, was den Querstrom minimiert. Das Ausschalten geht entsprechend langsamer, aber der Querstrom ist hier kaum noch schädlich.

Wird eine höhere Treiberleistung benötigt, könnte man mehr Gatter parallel schalten, besser ist aber die Verwendung eines (querstromfreien) doppelten Emitterfolgers. Für ein Design kann man durchaus ein Einzelgatter Typ 40106 vorsehen, denn es gibt 2 Hersteller für das vergleichbare Gatter xx4S584 (Toshiba und Rohm).

Nach der beschriebenen Optimierung war die Schaltung in der Lage, Lasten von einigen nF mit bis zu 20 Hz Folgefrequenz zu schalten.