



Lichtwellenleiter-Kabeltester

Wenn es um hohe Übertragungskapazitäten bei digitalen Daten geht, gewinnen Lichtwellenleiter immer mehr an Bedeutung. Der LWL-Tester, bestehend aus Sender und Empfänger, dient zur Überprüfung von optischen Übertragungsstrecken und zur Messung der Leitungsdämpfung.

Allgemeines

Ob in der Nachrichtentechnik, in der Telekommunikation oder in der Messtechnik, überall werden immer höhere Übertragungskapazitäten bei hoher Störsicherheit gefordert. Immer mehr an Bedeutung gewinnt dabei das Übertragungsmedium Licht, welches mit Hilfe von Kunststoff-Lichtwellenleitern oder mit Glasbündelfasern übertragen wird. Die Übertragung von Daten mit Hilfe von Licht bietet entscheidende Vorteile. So besteht eine 100%ige galvanische Trennung zwischen

den vernetzten Geräten, und es gibt keinerlei EMV-Probleme. Die Leitungen sind vollkommen immun gegenüber Störstrahlung, und es werden keinerlei elektromagnetische Störungen auf der Übertragungsstrecke erzeugt. Die Vernetzung ist vollkommen unabhängig von der Einsatzumgebung und vom Stromnetz.

Neben dem klassischen Glasfaserkabel kommen auch immer mehr die in der Consumerlektronik weit verbreiteten Kunststoff-Lichtwellenleiter zum Einsatz, da diese erheblich einfacher zu konfektionieren sind.

Der Gesamtdurchmesser von Kunststoff-Lichtwellenleitern liegt bei 2,2 mm, wobei

der Kern einen Durchmesser von ca. 1 mm aufweist und aus PMMA (Polymethylmethacrylat) besteht. Im Wesentlichen beschränkt sich die Konfektionierung auf das gerade Abschneiden der Leiterenden. Eine Erhöhung der Reichweite kann dann noch durch ein Polieren der Stirnflächen erreicht werden.

Die Dämpfung der Gesamtstrecke hängt wesentlich von der Behandlung der Faserenden ab. Mit Kunststoff-Lichtwellenleitern können Entfernungen bis zu 100 m überbrückt werden. Größere Distanzen erfordern dann den Einsatz von Lichtwellenleiter-Repeater, wodurch die Übertragungsstrecke in zwei oder mehrere Lichtwellenleiter-Segmente aufgeteilt wird.

Kunststoff-LWL weisen eine hohe mechanische Stabilität auf und sind besonders einfach zu verlegen. Bei der Verlegung sollte allerdings darauf geachtet werden, dass der Biegeradius 2 cm nicht unterschreitet, da andernfalls die Faserdämpfung erheblich zunimmt.

Während Kunststoff-LWL die geringste Faserdämpfung im sichtbaren Bereich aufweisen, bieten klassische Glasbündelfasern eine geringere Dämpfung im Infrarotbereich. Abbildung 1 zeigt die typische Dämpfung von Kunststoff-LWL und Glasbündelfasern im Vergleich.

Glasbündelfasern bestehen aus ca. 300 Einzelfasern mit ca. 50 µm Dicke, da eine einzelne Quarzglasfaser sehr teuer in der Herstellung und natürlich auch sehr zerbrechlich wäre. Eine derartige Faser ist in der Praxis nicht zu verarbeiten. Die Alternative ist daher das Einkoppeln von ausreichend Licht in ein Glasfaserbündel.

Wenn wir den Dämpfungsverlauf in Abhängigkeit von der Wellenlänge mit dem Dämpfungsverlauf von Kunststoff-LWL

Technische Daten:

LWL-Sender LWL 100 S

Wellenlänge: 850 nm
Anschluss Sendediode: .. F-ST, Metall
Einkoppelleistung: -26 dBm bis
-20 dBm
Betriebsspannung: 9-V-Blockbatterie
Stromaufnahme: <30 mA
Abmessungen: 115 x 65 x 27
(ohne LWL-Anschluss)

LWL-Empfänger LWL 100 E

Wellenlänge: 400 nm bis 1100 nm
Anschluss Empfangsdiode: F-ST,
Metall
Anzeige: -40 dBm bis -22 dBm,
Low-Bat, Betrieb
Betriebsspannung: 9-V-Blockbatterie
Stromaufnahme: 15 mA bis 60 mA
(je nach Anzeige)
Abmessungen: 115 x 65 x 27 mm
(ohne LWL-Anschluss)

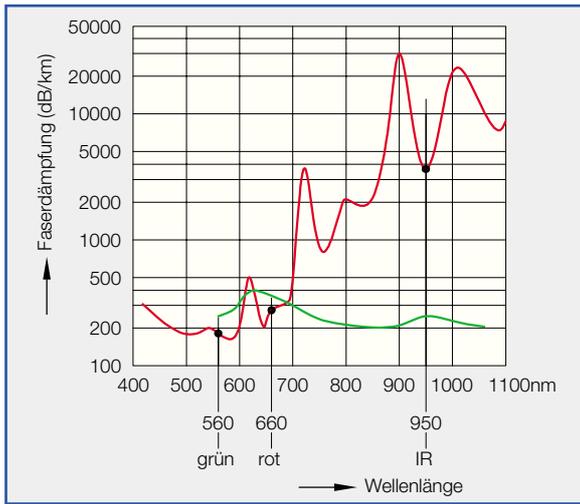


Bild 1: Dämpfungsverlauf von Kunststoff-LWL (rot) und Glasfaserkabel (blau) in Abhängigkeit von der Wellenlänge

vergleichen (siehe Abbildung 1) ist festzustellen, dass Glasbündelfasern einen umgekehrten Dämpfungsverlauf aufweisen. Die geringste Dämpfung ist im Infrarotbereich, und das Dämpfungsmaximum liegt im sichtbaren Lichtbereich.

-22 dBm	=	6,3 µW
-24 dBm	=	4,0 µW
-26 dBm	=	2,5 µW
-28 dBm	=	1,6 µW
-30 dBm	=	1,0 µW
-32 dBm	=	0,6 µW
-34 dBm	=	0,4 µW
-36 dBm	=	0,3 µW
-38 dBm	=	0,2 µW
-40 dBm	=	0,1 µW

Tabelle 1: Anzeigebereich des Empfängers in dBm und µW

Da die Dämpfungskurve im infraroten Wellenlängenbereich relativ flach verläuft, sind die Übertragungsverhältnisse auch bei Änderungen der Sendewellenlängen sehr stabil.

Glasfasern sind mechanisch sehr flexibel und lassen Biegeradien bis hinunter auf 5 mm zu, ohne negative Auswirkungen auf die Leitungsdämpfung. Die Endenbehand-

lung von Glasfasern ist aber erheblich aufwändiger als bei Kunststoff-LWL. Üblicherweise erfolgt die Konfektionierung mit einer Faserendhülle vom Hersteller.

Die Leistungsfähigkeit eines optischen Übertragungssystems ist im Wesentlichen abhängig vom Zusammenwirken der Senderwellenlänge mit der Faserdämpfung bei dieser Wellenlänge und von der wellenlängenabhängigen Empfängerempfindlichkeit. Die spektrale Empfindlichkeit des im LWL-Tester eingesetzten Empfängers in Abhängigkeit von der Wellenlänge ist in Abbildung 2 dargestellt.

Das Empfängerbauelement ist speziell geeignet für Anwendungen mit Lichtwellenleitern bis zu einem Faserdurchmesser von 1 mm. Bestückt mit einer schnellen Silizium-PIN-Diode, die über kurze Schaltzeiten und eine spektrale Bandbreite von 400 nm bis 1100 nm verfügt, wird dieses Bauelement üblicherweise auch in Datenübertragungssystemen mit Lichtwellenleitern verwendet.

Neben den guten optischen und mechanischen Eigenschaften zeichnet sich die integrierte Empfängerdiode durch kurze Schaltzeiten (≤ 5 ns) aus. Die größte spektrale Empfindlichkeit liegt bei 850 nm.

In Lichtleiter-Übertragungssystemen kommt es auf andere Eigenschaften und Kenngrößen an als bei einer drahtgebundenen Übertragung. Zur Überprüfung von Lichtleiter-Übertragungssystemen ist daher auch eine völlig andere Messtechnik erforderlich.

Die grundsätzliche Funktion und die wichtigste Kenngröße, die Dämpfung, ist schnell und einfach mit dem ELV-LWL-Tester zu überprüfen. Der LWL-Tester besteht aus 2 Komponenten, einem Sender (LWL 100 S) und einem Empfänger (LWL 100 E).

Beim Pegelsender handelt es sich um eine stabilisierte Lichtquelle und beim Empfänger um ein optisches Leistungsmessgerät. Mit Hilfe von diesen bei-

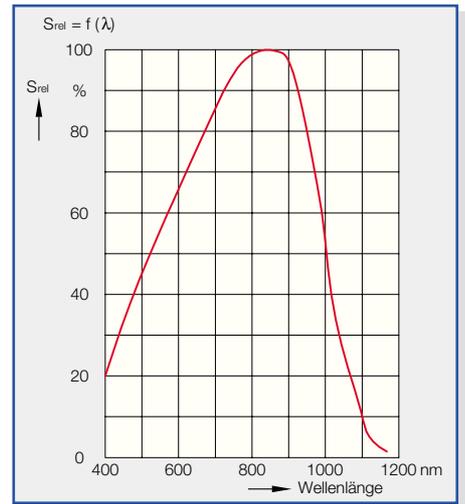


Bild 2: Empfänger-Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge

den Komponenten kann die Gesamtdämpfung einer Übertragungsstrecke schnell geprüft werden. Üblicherweise ist die Dämpfung in LWL-Systemen in beide Übertragungsrichtungen unterschiedlich, so dass in beide Richtungen zu messen ist. Als Gesamtdämpfung bildet man dann aus beiden Messwerten das arithmetische Mittel. Für die Messung ist es in der Regel sinnvoll, wenn beide Faserenden zugänglich sind.

Natürlich kann auch mit dem Empfänger der absolute Leistungspegel einer bestehenden Lichtquelle angezeigt werden, wobei der Anzeigebereich von -22 dBm bis -40 dBm reicht. Tabelle 1 zeigt die zugehörige Leistung in µW, wobei vom LWL-Sender -20 dBm in 100-µ-LWL, -23 dBm in 62,5-µ-LWL und -26 dBm in 50-µ-LWL gekoppelt werden.

In LWL-Netzwerken kommen vorwiegend F-ST- und SC-Stecksysteme zum Einsatz. Die Komponenten des LWL-Testers sind mit F-ST-Anschlüssen aus Metall ausgestattet, wobei auch eine Umsetzung mit Hilfe von Adapterkabeln erfolgen kann.

Schaltung des Senders

Die Schaltung des LWL-Senders besteht aus wenigen Bauelementen und ist in Abbildung 3 dargestellt. Im Wesentlichen besteht die Schaltung aus einer einstellbaren Konstantstromquelle und der Spezial-Sendediode.

Zur Spannungsversorgung des Senders dient eine 9-V-Blockbatterie, deren Spannung über den Schalter S 1 direkt auf den Eingang des einstellbaren Spannungsreglers IC 1 gelangt. Der Elko C 1 dient dabei zur ersten Pufferung, und der Keramik-kondensator C 2 verhindert hochfrequente Störeinkopplungen auf den Eingang.

Üblicherweise ist der LM 317 als ein-

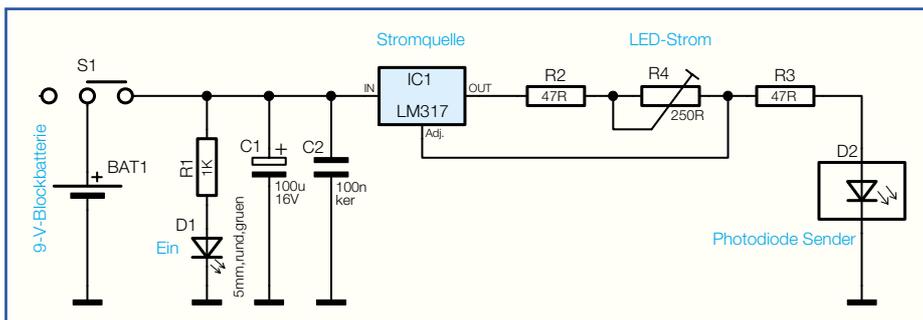


Bild 3: Schaltung des LWL-Senders

Faser μW	
50 / 125 μm (GI)	29
62,5 / 125 μm (GI)	89
100 / 140 μm (GI)	200
200 / 230 μm (SI)	750

Tabelle 2:
Typ. Einkoppleistung der Sendediode in Lichtleiter bei $I_F=100 \text{ mA} @ 25^\circ\text{C}$

stellbarer Festspannungsregler konzipiert. In der vorliegenden Beschaltung stellt sich am Adjust-Eingang eine Referenzspannung ein, die immer 1,25 V unterhalb der Ausgangsspannung von IC 1 liegt. Dadurch erhalten wir einen sehr konstanten Strom, der mit Hilfe des Trimmers R 4 im Bereich von ca. 5 mA bis ca. 25 mA einstellbar ist. Die Stromquelle speist über R 3 direkt die Sendediode D 2.

Bei D 2 handelt es sich um eine Spezial-Sendediode, mit einer Wellenlänge von 850 nm und sehr guten optischen und mechanischen Eigenschaften. Das Bauelement ist speziell für Datenübertragungssysteme mit Multimode-Lichtwellenleitern von 50/125 μm bis 200/230 μm konzipiert.

Tabelle 2 zeigt die typische Einkoppleistung in einen Lichtwellenleiter bei 100 mA Diodenstrom und Abbildung 4 die relative optische Ausgangsleistung.

Schaltung des Empfängers

Die Schaltung des LWL-Empfängers konnte ebenfalls mit recht wenig Aufwand realisiert werden (Abbildung 5).

Die vom Lichtwellenleiter kommende optische Energie wird mit Hilfe der Photodiode in einen proportionalen Fotostrom gewandelt. Der Fotostrom erzeugt wiederum einen proportionalen Spannungsabfall

am Widerstand R 7 und somit am nichtinvertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC 1B. Die Verstärkung des OPs wird durch den Widerstand R 6 im Rückkopplungszweig zum Widerstand R 1 festgelegt.

Um mit R 13 eine Offset-Korrektur in beiden Richtungen vornehmen zu können, wird der invertierende Eingang des OPs (Pin 6) über R 3 leicht positiv vorgespannt.

Die Kondensatoren C 3, C 10 verhindern hochfrequente Störeinkopplungen auf den OP-Eingängen und C 9 dient zur Schwingneigungsunterdrückung. Über den Widerstand R 5 gelangt die verstärkte Ausgangsspannung auf den Signaleingang der 10-stufigen Balkenanzeige mit logarithmischer Skala. Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, besteht das IC intern im Wesentlichen aus 10 Komparatoren mit entsprechendem Eingangsspannungsteiler.

Je nach Beschaltung von Pin 9 arbeitet das IC als Balkenanzeige (Pin 9 an $+U_B$) oder als Punktanzeige (Pin 9 mit der Schaltungsmasse verbunden).

Eine interne Referenzspannung von 1,25 V steht an Pin 7 zur Verfügung, die in unserer Schaltung direkt mit dem oberen Anschluss des internen Spannungsteilers verbunden ist. Der untere Anschluss des Spannungsteilers (Pin 4) liegt direkt an Schaltungsmasse.

Der Strom durch die Leuchtdioden ist von der Belastung der Referenzspannungsquelle abhängig und wird durch den Widerstand R 2 bestimmt.

Die mit IC 1A aufgebaute Komparator-schaltung dient zur Batterie-Spannungsüberwachung. Während der invertierende Eingang (Pin 2) direkt mit der stabilisierten

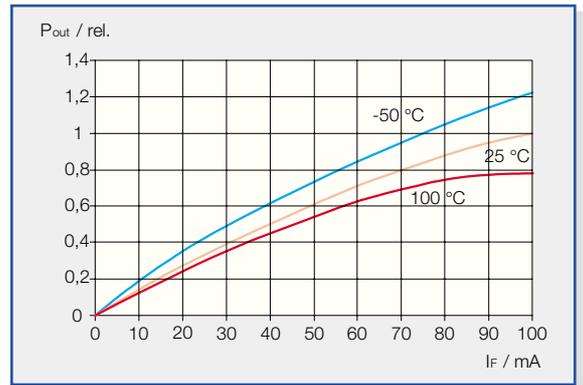


Bild 4: Relative optische Ausgangsleistung der Sendediode

Spannung von 5 V verbunden ist, erhält der nichtinvertierende Eingang eine Spannung über den mit R 10, R 12 aufgebauten Spannungsteiler, die direkt proportional zur Batteriespannung ist. Sobald die Batteriespannung unterhalb von 6,3 V sinkt, wechselt der Ausgang des Komparators (Pin 1) von „High“ nach „Low“. Die Leuchtdiode D 13 zeigt die Batterieunterspannung an, und der Widerstand R 11 sorgt für eine Schalthysterese.

Betrachten wir nun die recht einfache Spannungsversorgung, die in Abbildung 7 dargestellt ist. Auch beim Empfänger dient eine 9-V-Blockbatterie zur Spannungsversorgung. Die Batteriespannung gelangt über den Schalter S 1 direkt auf den Versorgungspin des Operationsverstärkers IC 1 und auf den Eingang des Low-Drop-Spannungsreglers IC 3.

Die Batteriespannung wird mit C 4 gepuffert, und die über R 9 mit Spannung versorgte Leuchtdiode D 12 dient zur Betriebsanzeige.

Am Ausgang von IC 3 stehen stabilisierte 5 V zur Versorgung der Balkenanzeige (IC 2) zur Verfügung. Hochfrequen-

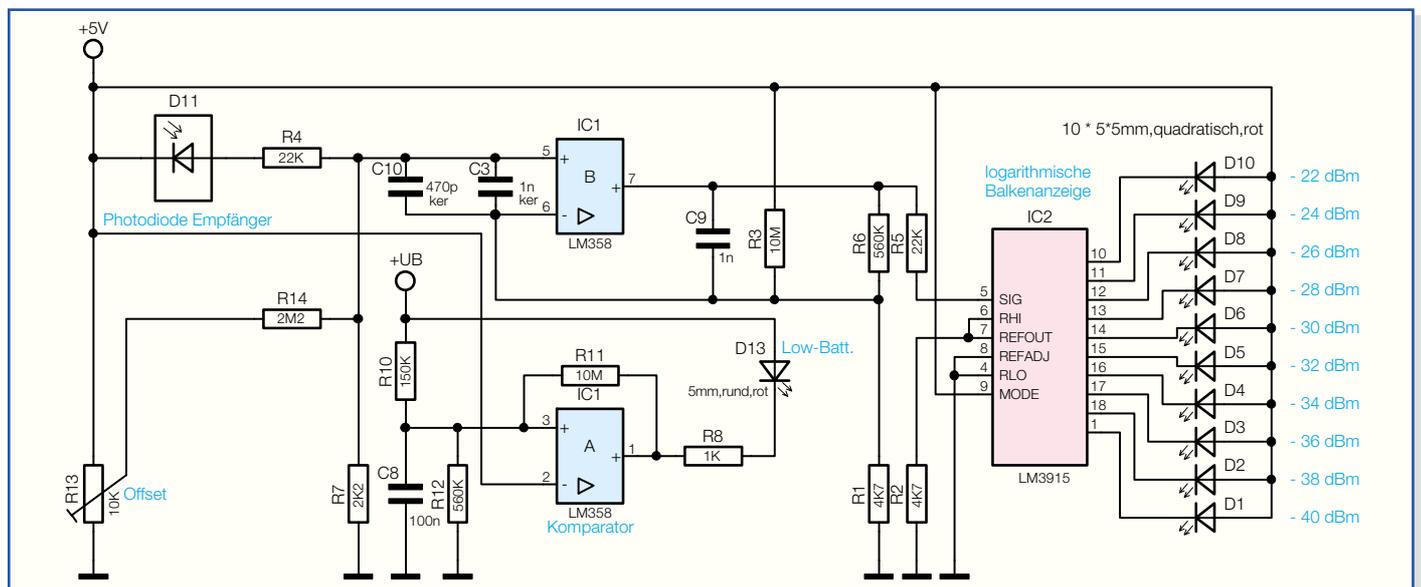


Bild 5: Schaltung des LWL-Empfängers

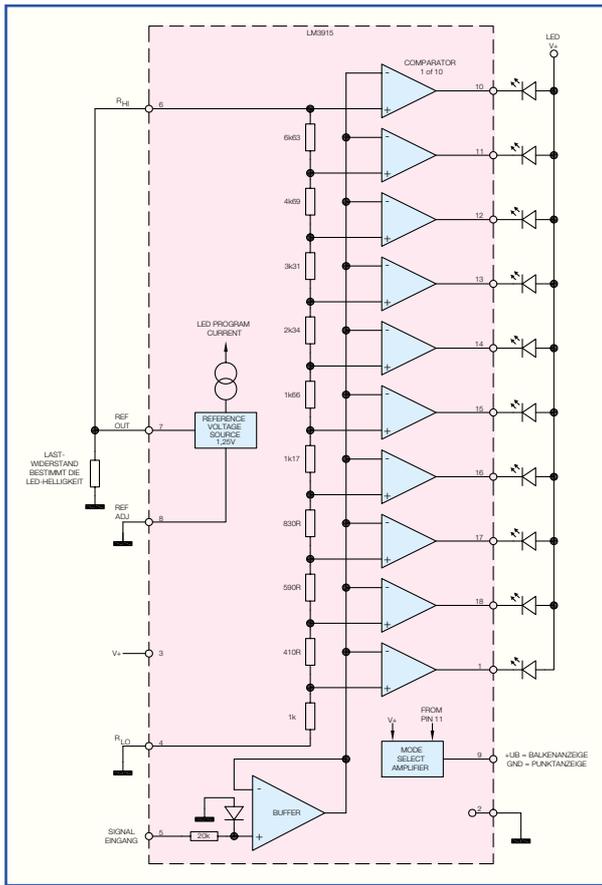


Bild 6: Interner Aufbau des LM 3915

te Störeinflüsse werden mit C 1, C 2, C 6 und C 7 verhindert.

Nachbau

Der praktische Aufbau des LWL-Testers ist einfach, da ausschließlich konventionelle bedrahtete Bauelemente zum Einsatz kommen.

Die Bestückungsarbeiten beginnen wir mit der Senderplatine, wo zuerst 3 bedrahtete 1%ige Metallfilmwiderstände einzulöten sind. Diese werden zuerst auf Rastermaß abgewinkelt, von der Platinenoberseite durch die zugehörigen Bohrungen gesteckt und dann verlötet. Die überstehenden Drahtenden sind, wie auch bei allen nachfolgenden bedrahteten Bauelementen, mit einem scharfen Seitenschneider direkt oberhalb der Lötstellen abzuschneiden.

Im nächsten Arbeitsschritt werden die

Platinenfoto zu sehen ist) und dann sorgfältig verlötet.

Jetzt bleibt nur noch die Kontroll-LED D 1 zu verarbeiten. Dieses, an der Anodenseite durch ein längeres Anschlussbeinchen gekennzeichnete Bauelement, benötigt eine Einbauhöhe von 19 mm, gemessen von der LED-Spitze bis zur Platinenoberfläche.

Aufbau der Empfängerplatine

Die Empfängerplatine benötigt etwas mehr Bauelemente als die Senderplatine, ist aber auch recht einfach aufzubauen. Hier wird zuerst eine Brücke aus versilbertem Schmelzdraht bestückt. Danach erfolgt die Verarbeitung der 13 Metallfilmwiderstände in der gleichen Arbeitsweise wie beim Sender.

Im nächsten Arbeitsschritt sind die Kera-

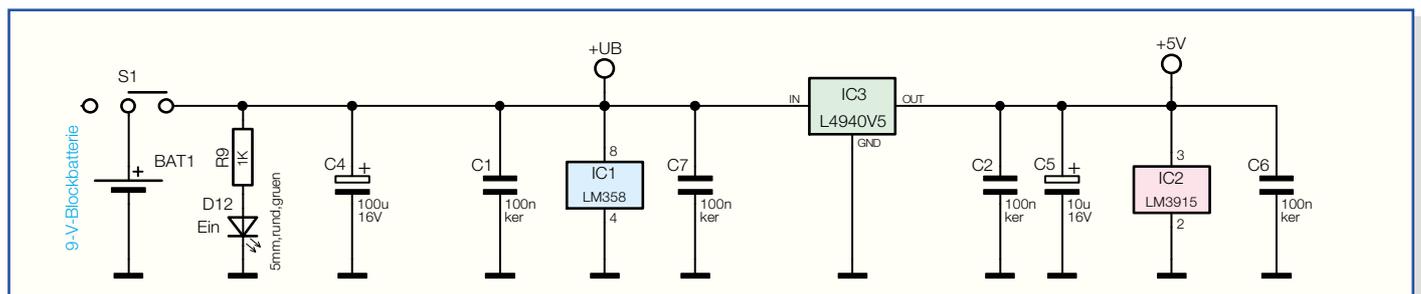


Bild 7: Spannungsversorgung des LWL-Empfängers

Anschlüsse des Spannungsreglers auf Rastermaß abgewinkelt, das Bauteil wird danach mit einer Schraube M3 x 6 mm, Zahnscheibe und Mutter auf die Platine montiert und nach dem Verschrauben der Anschlüsse verlötet.

Beim Einbau des Elkos C 1 ist unbedingt auf die richtige Polarität zu achten, da falsch gepolte Elkos sogar explodieren können, der Trimmer R 4 darf beim Lötvorgang nicht zu heiß werden.

Die Anschlüsse des Keramik-Abblockkondensators C 2 sind mit beliebiger Polarität so weit wie möglich durch die zugehörigen Platinenbohrungen zu führen und dann zu verlöten.

Nun werden die Sendediode D 2 und der Schalter S 1 eingebaut. Diese Bauteile müssen vor dem Verlöten plan auf der Platinenoberfläche aufliegen.

Die Anschlüsse des 9-V-Batterieclips werden zuerst zur Zugentlastung durch die zugehörigen Platinenbohrungen geführt (wie auf dem Platinen-

**Stückliste:
Sender LWL 100 S**

Widerstände:

- 47 Ω R2, R3
- 1 kΩ R1
- PT10, liegend, 250 Ω R4

Kondensatoren:

- 100 nF/ker C2
- 100 µF/16V C1

Halbleiter:

- LM317 IC1
- LED, 5 mm, grün D1
- LWL-Fotodioden-Buchse, 850 nm, winkelprint D2

Sonstiges:

- Schiebeschalter, 2 x um, winkelprint S1
- 9-V-Batterieclip BAT1
- 1 Zylinderkopfschraube, M3 x 8 mm
- 1 Mutter, M3
- 1 Mutter für Lichtwellenleiter-Foto-Buchse, 3/8"
- 1 Federscheibe für Lichtwellenleiter-Foto-Buchse, 3/8"
- 1 Fächerscheibe, M3
- 2 Knippingschrauben 2,5 x 6 mm
- 1 Sendergehäuse, komplett, bearbeitet und bedruckt

mikkondensatoren an der Reihe, wobei auf möglichst kurze Anschlüsse zu achten ist.

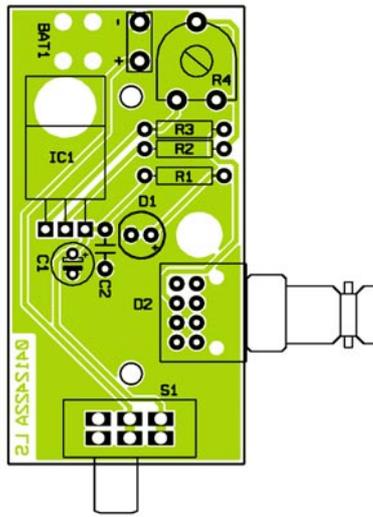
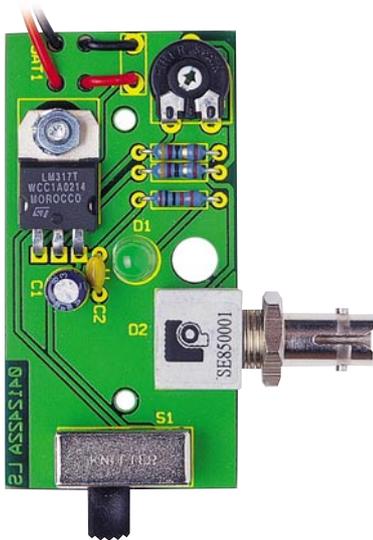
Wie beim Sender wird auch beim Empfänger der Spannungsregler mit einer Schraube M3 x 6 mm, Zahnscheibe und Mutter in liegender Position auf die Leiterplatte montiert und dann an der Platinenunterseite verlötet.

Danach sind die beiden integrierten Schaltkreise so zu bestücken, dass die Gehäusekerbe des Bauelements mit dem Symbol im Bestückungsdruck übereinstimmt.

Der Schiebeshalter S 1 und die Empfängerdiode D 11 müssen vor dem Verlöten der Anschlüsse plan auf der Platinenoberfläche aufliegen.

Nun werden die üblicherweise am Minuspol gekennzeichneten Elkos unter Beachtung der korrekten Polarität eingelötet.

Beim Einbau des Einstelltrimmers R 13



Ansicht der fertig bestückten Senderplatine mit zugehörigem Bestückungsplan

ist eine zu große Hitzeeinwirkung auf das Bauteil zu vermeiden.

Die Anschlüsse des 9-V-Batterieclips werden vor dem Verlöten zur Zugentlastung durch die zugehörigen Platinenbohrungen geführt.

Jetzt bleiben nur noch 2 runde LEDs und die 10 Rechteck-LEDs der Balkenanzeige zu bestücken, wobei grundsätzlich die Anoden durch einen längeren Anschluss gekennzeichnet sind. Die rote Low-Bat-Anzeige und die grüne Kontroll-LED benötigen eine Einbauhöhe von 19 mm, gemessen von der LED-Spitze bis zur Platinoberfläche, während die Rechteck-LEDs mit 17,5 mm Bauhöhe einzulöten sind.

Abgleich

Der Abgleich, sowohl des Senders als auch des Empfängers, ist sehr einfach und in wenigen Minuten zu bewerkstelligen.

Als Erstes sind Sender und Empfänger über ein kurzes, dämpfungsarmes Glasfaserkabel (62,5 µ) miteinander zu verbinden.

Der Spannungsabfall über R 3 des Senders ist zu messen und mit R 4 auf einen Wert von 310 mV einzustellen.

Im nächsten Abgleichschritt ist der Offset des Verstärker-OPs im Empfänger so zu korrigieren, dass genau 5 LEDs der Balkenanzeige leuchten. Der Empfängerabgleich ist damit bereits abgeschlossen.

Zum endgültigen Abgleich des Senders ist wieder der Spannungsabfall über dem Widerstand R 3 zu messen und mit Hilfe des Trimmers R 4 auf einen Wert von 800 mV einzustellen.

Nach erfolgreichem Abgleich und Funktionstest kommen wir zum Gehäuseeinbau.

Gehäuseeinbau

Die Senderplatine wird mit 2 und die Empfängerplatine mit 4 Knippingschrauben 2,5 x 6 mm in die jeweils zugehörige Gehäuseunterhalbschale montiert. Als dann werden die Gehäuseoberschalen aufgesetzt und mit den zugehörigen Schrauben fest verschraubt.

Zuletzt werden auf die Schraubhülse der Senderdiode und der Empfängerdiode jeweils eine Federscheibe und eine Mutter gesetzt und fest verschraubt. Dem Test von optischen Übertragungsstrecken steht nun nichts mehr im Wege. **ELV**

Stückliste: Empfänger LWL 100 E

Widerstände:

1 kΩ	R8, R9
2,2 kΩ	R7
4,7 kΩ	R1, R2
22 kΩ	R4, R5
150 kΩ	R10
560 kΩ	R6, R12
2,2 MΩ	R14
10 MΩ	R3, R11
PT10, stehend, 10 kΩ	R13

Kondensatoren:

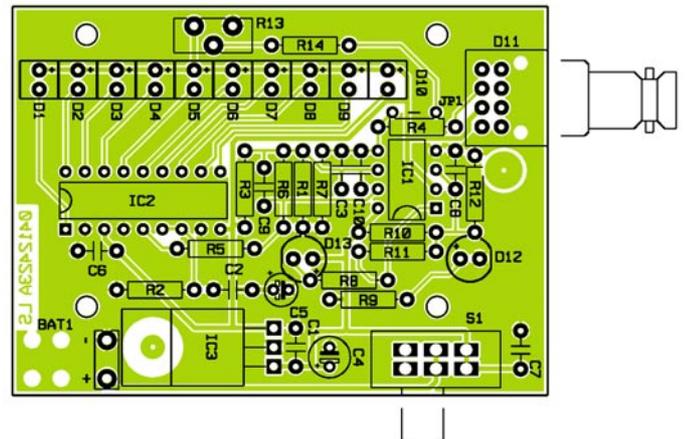
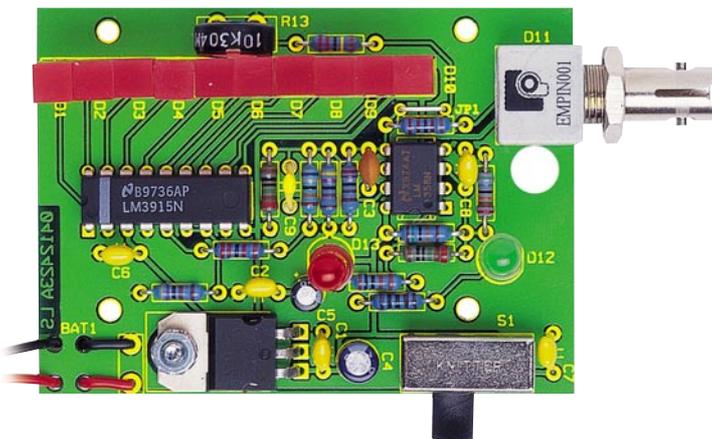
470 pF/ker	C10
1 nF/ker	C3, C9
100 nF/ker	C1, C2, C6-C8
10 µF/16V	C5
100 µF/16V	C4

Halbleiter:

LM358	IC1
LM3915	IC2
L4940V5	IC3
LED, Rechteck, 5 x 5 mm, rot	D1-D10
LED, 5 mm, grün	D12
LED, 5 mm, rot	D13
LWL-Fotoempfänger-Buchse, winkelprint	D11

Sonstiges:

Schiebeschalter, 2 x um, winkel- print	S1
9-V-Batterieclip	BAT1
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 8 mm	
1 Mutter, M3	
1 Mutter für Lichtwellenleiter- Foto-Buchse, 3/8"	
1 Federscheibe für Lichtwellenleiter- Foto-Buchse, 3/8"	
1 Fächerscheibe, M3	
4 Knippingschrauben 2,5 x 6 mm	
1 Empfängergehäuse, komplett, bearbeitet u. bedruckt	
3 cm Schaltdraht, blank, versilbert	



Ansicht der fertig aufgebauten Empfängerplatine mit zugehörigem Bestückungsplan