



Pulsweiten-Modulator für DC-Verbraucher PWM 101

Der hier vorgestellte Pulsweiten-Modulator erlaubt eine nahezu verlustfreie Einstellung der Drehzahl von Gleichstrommotoren. Das Ausgangssignal ist in seinem Puls-Pause-Verhältnis stufenlos einstellbar. Durch einen Sanftanlauf (Softstart) können auch Verbraucher mit einem relativ hohen Einschaltstrom verwendet werden.

Drehzahl fast verlustlos steuern

Die Drehzahl- und Helligkeitseinstellung von Gleichspannungsverbrauchern wie kleinen DC-Motoren oder LEDs über eine lineare Regelung der Versorgungsspannung ist in vielen Fällen nicht zeitgemäß, zu hoch sind die dabei auftretenden Verlustleistungen, zu voluminös die erforderlichen

Kühleinrichtungen der steuernden Halbleiter. Ganz anders hingegen präsentiert sich eine „getaktete“ Steuerung wie der Pulsweiten-Modulator (PWM). Bei diesem wird das Ausgangssignal nicht linear, also von 0 V bis U_B geregelt, sondern der Verbraucher periodisch mit unterschiedlichen Puls-Pause-Verhältnissen eines Rechtecksignals mit konstanter Frequenz eingeschaltet. Je höher die Pulslänge gegenüber der Pausenlänge ist, desto höher ist die gemittelte Ausgangsspannung des PWM (Abbildung 1) und desto höher ist die Drehzahl bzw. Helligkeit der angeschlossenen Last. Wählt man eine genügend hohe PWM-Frequenz, erreicht man einen runden Motorlauf ohne merkbare Auswirkungen des ständigen Ein- und Ausschaltens. Zudem unterstützt die mechanische Trägheit – also das kurze Weiterdrehen des Motors nach Abschalten der Spannung – diese Art der Steuerung. Bei Beleuchtungen muss die Frequenz ebenfalls hoch genug gewählt werden, um Flackererscheinungen zu vermeiden. Die Wahl der Frequenz ist auch abhängig von lastabhängig auftretenden Nebenwirkungen wie Drehmomentabhängigkeit von der Frequenz, Geräuschen (Brummen, Schwinggeräusche), übermäßige Erwärmung der Last oder die Bildung von Oberwellen, die u. a. auch von den hier wie

Technische Daten: PWM 101

Spannungsversorgung:	7–15 Vdc
Stromaufnahme (ohne Last):	12 mA
Ausgangsstrom:	max. 10 A
Stromsicherung:	10 A
PWM-Frequenz:	ca. 18 kHz
Einstellbereich:	0–100 %
Sonstiges:	Softstart (Sanftanlauf) / elektronische Sicherung
Abmessungen:	50 x 89 mm

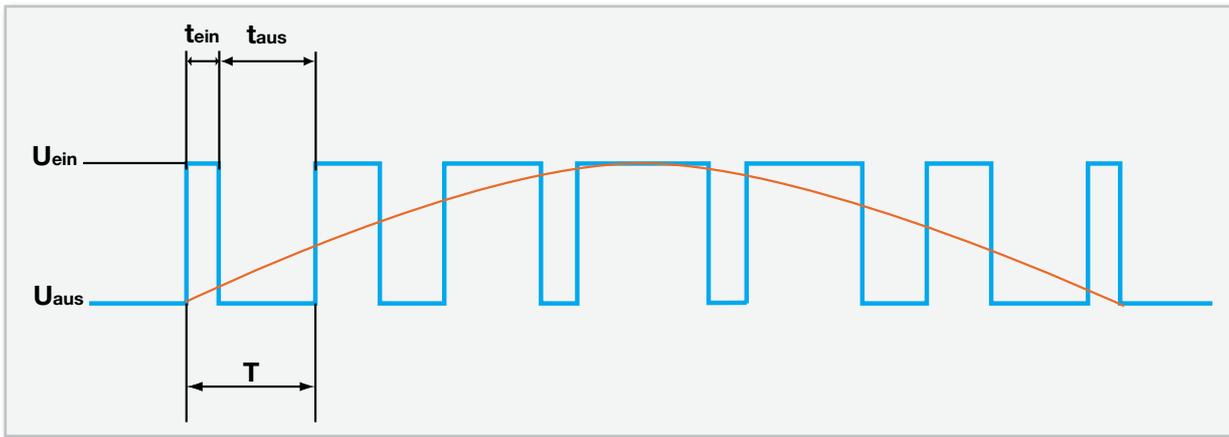


Bild 1: Die Funktionsweise der Pulsweiten-Modulation: Je breiter der Ein-Impuls wird, desto höher ist die gemittelte Ausgangsspannung (rote Linie).

Antennen wirkenden Last-Zuleitungen oder Last-Induktivitäten abgestrahlt werden. Deshalb gilt hier verallgemeinernd, dass eine möglichst hohe Frequenz die meisten dieser Nebenwirkungen eliminiert. Die Höhe der Frequenz ist auf der anderen Seite abhängig von den Daten des schaltenden Bauelements, meist eines MOSFETs. Der hat den Vorteil, dass relativ hohe Ströme ohne nennenswerte Verlustleistung verarbeitet werden können, da nur während der Durchsteuerungsphase eine geringe Verlustleistung, bedingt durch den Einschaltwiderstand (On-Widerstand) des MOSFETs, entsteht. Moderne MOSFET-Transistoren mit niedrigem Einschaltwiderstand ermöglichen so das Schalten auch sehr hoher Ströme ohne aufwändige Kühlmaßnahmen.

Unser PWM 101 ist genau so ein im Pulsweitenverhältnis veränderbarer Rechtecksignal-Generator mit nachgeschaltetem Leistungsschalter. Mit ihm lässt sich z. B. die Drehzahl von Motoren oder die Helligkeit von Lampen, LEDs usw. einstellen. Hier muss aber angemerkt werden, dass ein Betrieb dieser Schaltung mit einer festen Beleuchtungsanlage zwar möglich, aber aus Zulassungsgründen nicht erlaubt ist. Für Labor- und Versuchsaufbauten dürfen jedoch auch z. B. Halogenlampen oder LED-Anordnungen angeschlossen werden. Der Haupteinsatzbereich ist daher neben Ausbildungszwecken die Ansteuerung von kleinen Gleichstrommotoren, wie man sie in Elektrowerkzeugen einsetzt, wie z. B. den beliebten Mini-Kreissägen für Elektronikplatinen, DC-Lüftern, in analog gesteuerten Modelleisenbahnen, allgemein bei Modellantrieben und weiteren Niederspannungsantrieben.

Dank der Mikrocontrollersteuerung der Schaltung gehören eine elektronische Überlast-Sicherung sowie ein Sanftanlauf (Softstart), der eine Verwendung von Verbrauchern mit einem hohen Einschaltstrom erlaubt, zur weiteren Ausstattung. Der Sanftanlauf vollzieht sich dabei unmerkbar, schont aber nebenbei auch erheblich Motoren und Lampen, da diese im Einschaltmoment nicht sofort mit dem vollen Strom beaufschlagt werden.

Schaltung

Die Schaltung des PWM 101 ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Erzeugung des PWM-Signals übernimmt ein kleiner Mikrocontroller (IC 2) vom Typ ATtiny25. Durch Einsatz eines Controllers statt eines Einzweck-Spezial-ICs ergeben sich

Vorteile wie z. B. geringe Abmessungen, einfache Implementierung von Zusatzfunktionen wie Softstart usw.

Die Betriebsspannung wird über die Anschlusspunkte ST 1 und ST 2 zugeführt, sie darf im Bereich von 7 V bis 15 V liegen. Da der Controller mit einer maximalen Betriebsspannung von nur 5 V arbeitet, ist eine Spannungsstabilisierung auf 5 V notwendig, die mit dem Spannungsregler IC 1 erfolgt.

IC 2 gibt an Pin 6 (PB 1) das intern generierte Rechtecksignal aus, welches über den Widerstand R 4 auf das Gate des MOSFETs T 1 gelangt. Dieser Transistor schaltet die Last, welche an ST 3 und ST 4 angeschlossen ist. Über die beiden parallel liegenden Shunt-Widerstände R 8 und R 9 wird der Laststrom gemessen. Die über diese Widerstände abfallende Spannung ist proportional zum momentan fließenden Strom, wobei die Spannung bei maximalem Strom (10 A) nur 70 mV beträgt. Mit dem Operationsverstärker IC 3 wird die Spannung um den Faktor 22 verstärkt und dem A/D-Wandler-Eingang Pin 7 vom Controller zugeführt. Über diese Spannung erkennt der Controller, ob eine Überlastung (Strom >10 A) vorliegt. Im Fehlerfall wird die Ansteuerung des Transistors abgeschaltet und die Betriebs-LED blinkt. Die Einstellung des Puls-Pause-Verhältnisses erfolgt mit dem Trimmer R 3, dessen Schleiferkontakt auf den A/D-Wandler-Eingang PB 3 (Pin 2) von IC 2 führt. Über den an ST 5 und ST 6 angeschlossenen Schalter wird das Gerät ein- und ausgeschaltet bzw. der PWM-Ausgang geschaltet.

Abschließend noch einige Erläuterungen zu den eingesetzten Schutzelementen. Die Diode D 2 ist eine sogenannte Freilaufdiode, die verhindert, dass die von einem Motor induzierte Spannung (durch Nachlaufen des Motors) die Schaltung zerstört. Die Z-Dioden D 3 und D 4 begrenzen die Gate-Drain-Spannung und schützen somit den Transistor T 1 vor zu hohen Spannungen.

Nachbau

Der Nachbau ist in relativ kurzer Zeit zu bewerkstelligen, da die Platine schon mit SMD-Bauteilen vorbestückt ist. Es müssen lediglich wenige bedrahtete Bauteile sowie einige mechanische Bauteile bestückt und verlötet werden. Die Bauteile werden in gewohnter Weise anhand der Stückliste und des Bestückungsplans bestückt und auf der Platinenunterseite verlötet. Die dabei überstehenden Drahtenden

werden mit einem Seitenschneider abgeschnitten. Wir beginnen mit dem Einsetzen der beiden Widerstände R 8 und R 9. Diese Widerstände bestehen aus einem speziellen Widerstandsdraht (Manganin), der entsprechend dem Rastermaß abzuwickeln ist. Es ist darauf zu achten, dass der Draht plan auf der Platine aufliegt, wodurch sich die korrekte Länge ergibt. Das Verlöten sollte mit reichlich Lötzinn erfolgen, da über diese beiden Widerstände ein Gesamtstrom von bis zu 10 A fließen kann.

Als Nächstes werden die drei Elkos und die Diode D 2 bestückt. Bei diesen Bauteilen muss auf die Polarität geachtet werden. Die Elkos sind am Minuspol gekennzeichnet, während bei D 9 die Katode mit einer Strichmarkierung versehen ist. Der Elko C1 wird liegend montiert, weshalb zuvor die Anschlüsse um 90° abzuwickeln sind. Eine gute Hilfestellung für die Bestückungsarbeiten liefert auch das Platinenfoto. Im nächsten Arbeitsschritt wird der Trimmer R 3 bestückt, der nach Abschluss der Lötarbeiten mit einer Steckach-

se versehen wird. Der MOSFET-Transistor T 1 ist liegend zu montieren und auf einen Kühlkörper zu schrauben (siehe Platinenfoto). Zuvor wird die Kühlfahne des Transistors mit einer dünnen Schicht Wärmeleitpaste bestrichen. Zur Befestigung dienen eine Schraube M3 x 8 mm, Fächerscheibe und Mutter. Die Schraube wird dabei von unten, also der Platinenunterseite, eingesetzt.

Die Sicherung SI 1 ist eine Mini-Kfz-Sicherung, für die zwei Sicherungshalter auf der Platine einzulöten sind (ebenfalls reichlich Lötzinn verwenden). Anschließend wird die Sicherung (15 A) in diese Halterung eingesetzt.

Die LED wird auf der Platinenunterseite bestückt. Der Abstand zwischen LED-Oberkante und Platine muss 8 mm betragen. Die Polung der LED ist durch den etwas längeren Anschlussdraht (+ Anode) erkennbar.

Zum späteren Anschluss der 4-mm-Telefonbuchsen versteht man die Platinenanschlüsse ST 1 bis ST 4 jeweils mit einem ca. 3 cm langen Stück Litze 0,75 mm² (rot an + und schwarz

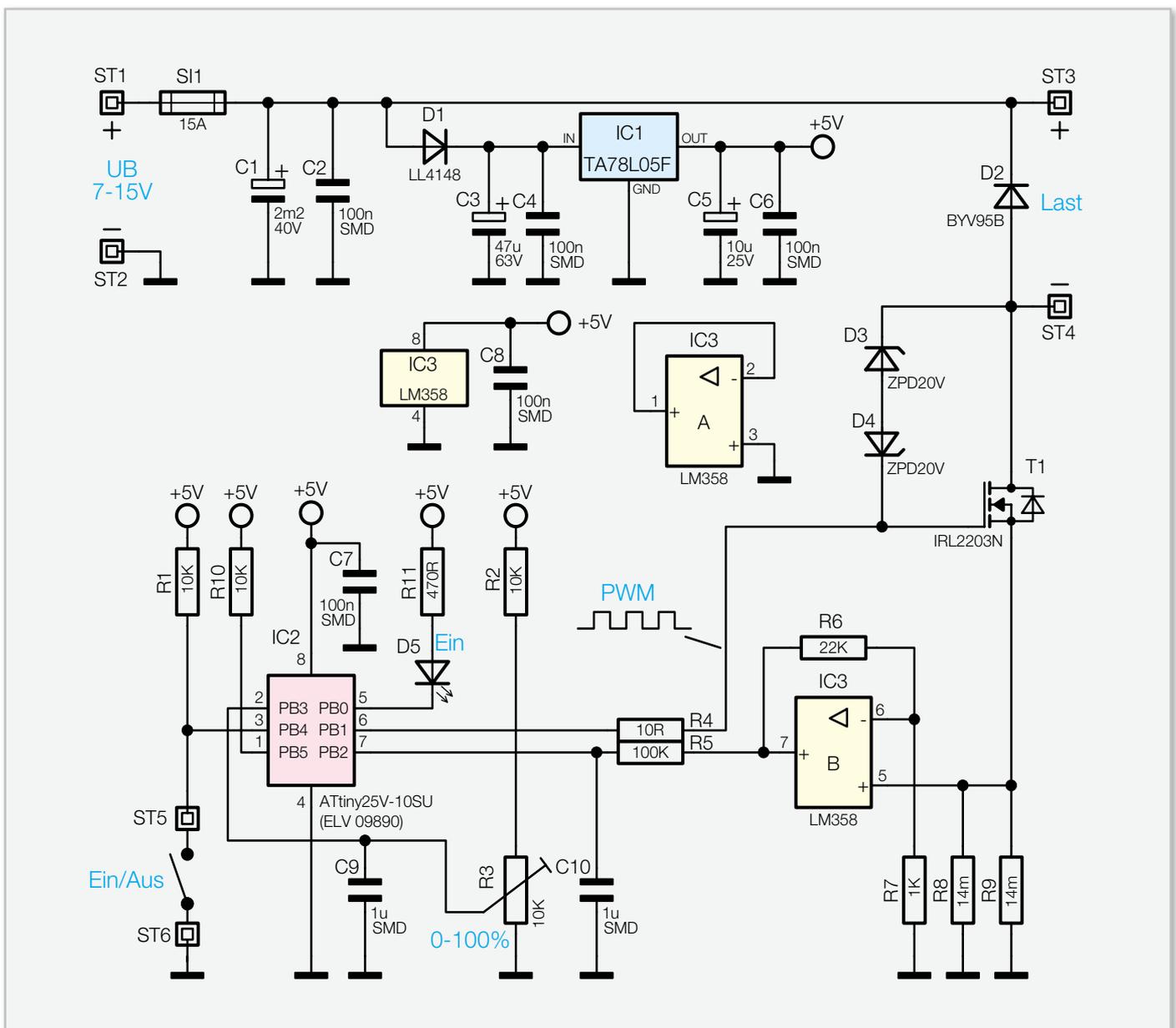
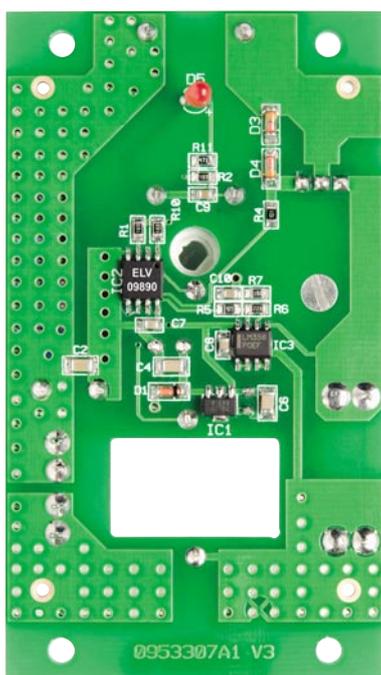
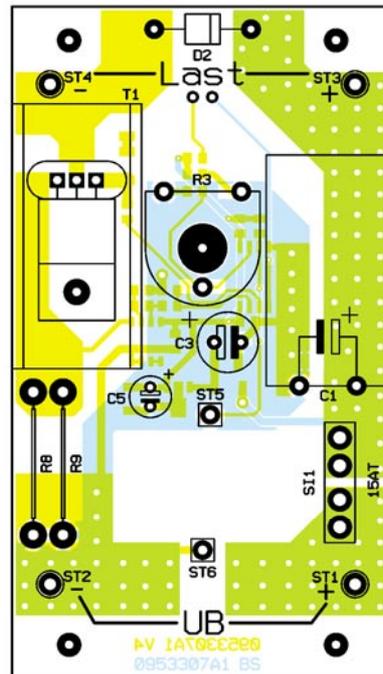


Bild 2: Die Schaltung des Pulsweiten-Modulators

an -). Für die Anschlusspunkte ST 5 und ST 6 wird jeweils ein Lötstift mit Lötöse eingesetzt. Die fertig aufgebaute Platine wird nicht wie üblich im Gehäuseunterteil, sondern im **Gehäuseoberteil** mit vier Schrauben 2,9 x 6,5 mm befestigt. Die Platine befindet sich also kopfüber im Gehäuseoberteil!

In die beiden Gehäuseseitenteile sind jeweils eine schwarze und eine rote Telefonbuchse einzuschrauben, wobei die roten

Buchsen jeweils den Anschluss „+“ kennzeichnen. Anschließend werden die Telefonbuchsen mit den Litzen verlötet, die zu den Platinenanschlusspunkten ST 1 bis ST 4 führen. Hier sollte nicht mit Lötzinn gespart werden, jedoch sollte eine zu starke Erwärmung der Buchsen vermieden werden, da sich der Kunststoff sonst unter der Hitzeeinwirkung verformt. Die beiden Seitenteile werden in die dafür vorgesehenen Führungen im Gehäuse eingeschoben. Als Nächstes wird der



Schalter in das Gehäuseoberteil eingeklippt. Die Verbindung der Schalteranschlüsse mit den Anschlüssen ST 5 und ST 6 erfolgt mittels einer Litze (0,22 mm²). Abbildung 3 zeigt das so weit montierte Gerät. Nun können beiden Gehäusehälften miteinander verschraubt und der Drehknopf befestigt werden, nachdem man diesen vorher mit einer Pfeilscheibe, Deckel und einer Madenschraube versehen hat.

Stückliste: PWM 101

Widerstände:

7 cm Manganindraht, 0,659 Ω/m	R8, R9
10 Ω/SMD/0805	R4
470 Ω/SMD/0805	R11
1 kΩ/SMD/0805	R7
10 kΩ/SMD/0805	R1, R2, R10
22 kΩ/SMD/0805	R6
100 kΩ/SMD/0805	R5
10 kΩ, PT15, liegend	R3

Kondensatoren:

100 nF/SMD/0805	C7, C8
100 nF/SMD/1206	C2, C4, C6
1 µF/SMD/0805	C9, C10
10 µF/25 V	C5
47 µF/63 V	C3
2200 µF/40 V	C1

Halbleiter:

TA78L05F/SMD	IC1
ELV09890/SMD	IC2
LM358/SMD	IC3
IRL2203	T1
LL4148	D1
BYV95B	D2
ZPD20V/SMD	D3, D4
LED, 3 mm, Rot	D5

Sonstiges:

Telefonbuchse, 4 mm, Rot	ST1, ST3
Telefonbuchse, 4 mm, Schwarz	ST2, ST4
2 Kfz-Sicherungshalter für Mini-Flachstecksicherung, print, stehend	SI1
Mini-Flachstecksicherung für Kfz, 15 A	SI1
Lötstift mit Lötöse	ST5, ST6
1 U-Kühlkörper, SK13	
1 Einbau-Wippschalter, 1x ein, Schwarz	
1 Kunststoff-Steckachse, (ø x L) 6 x 16,8 mm	
1 Drehknopf mit 6 mm Innendurchmesser, 21 mm, Hellgrau	
1 Knopfkappe, 21 mm, Dunkelgrau	
1 Pfeilscheibe, 21 mm, Dunkelgrau	
1 Gewindestift mit Spitze, M3 x 4 mm	
4 Knippingschrauben, 2,9 x 6,5 mm	
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 8 mm	
1 Mutter, M3	
1 Fächerscheibe, M3	
1 Tube Wärmeleitpaste	
1 Element-Gehäuse, G436, komplett, Hellgrau, bearbeitet und bedruckt	
10 cm flexible Leitung, ST1 x 0,22 mm ² , Schwarz	
10 cm flexible Leitung, ST1 x 0,75 mm ² , Rot	
10 cm flexible Leitung, ST1 x 0,75 mm ² , Schwarz	

Inbetriebnahme

Aufgrund der relativ hohen Betriebsströme sollten die Zuleitungen einen Leiterquerschnitt von mind. 1,5 mm² aufweisen. Als Betriebsspannung darf nur eine Gleichspannung verwendet werden. Das verwendete Netzteil sollte auch den nötigen Strom liefern können.

Die Schaltung ist mit zwei Sicherungen ausgestattet. Dies ist zum einen eine Schmelzsicherung (15 A), die im Kurzschlussfall auslöst. Bei Überlastung (Strom >10 A) wird die elektronische Sicherung aktiv. In diesem Fall wird der Verbraucher abgeschaltet und die Betriebs-LED blinkt. Erst durch ein Aus- und Wieder-Einschalten des Gerätes wird die Sicherung zurückgesetzt. Um den Betrieb mit Verbrauchern zu ermöglichen, die einen hohen Einschaltstrom aufweisen (z. B. kräftige Motoren), ist ein Sanftanlauf, auch Softstart genannt, vorhanden. Dieser lässt den Ausgangsstrom nach dem Einschalten langsam auf Soll-Wert ansteigen. Hierdurch wird außerdem der Verbraucher vor unnötigem Verschleiß bewahrt.

Wie schon erwähnt, darf diese Schaltung nicht als Dimmer für eine festinstallierte Beleuchtungsanlage benutzt werden, da hierfür eine spezielle Zulassung erforderlich ist. Ein Betrieb von Lampen (z. B. Halogenlampen) für Laborversuche oder ähnliche Anwendungen ist jedoch erlaubt. **ELV**

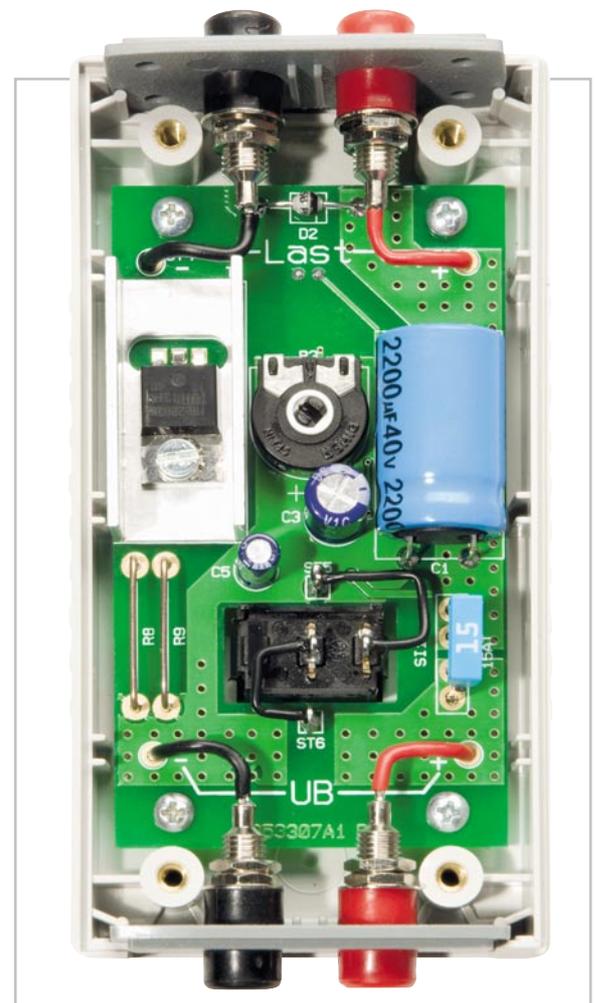


Bild 3: Innenansicht des komplett montierten Gerätes