

# Universal-Step-up/Step-down-Spannungswandler

**Der hier vorgestellte Spannungswandler liefert eine einstellbare, stabilisierte Ausgangsspannung zwischen 4 V und 25 V mit bis zu 5 A Strombelastbarkeit bei einem Eingangsspannungsbereich von 7 V bis 25 V.**

## Allgemeines

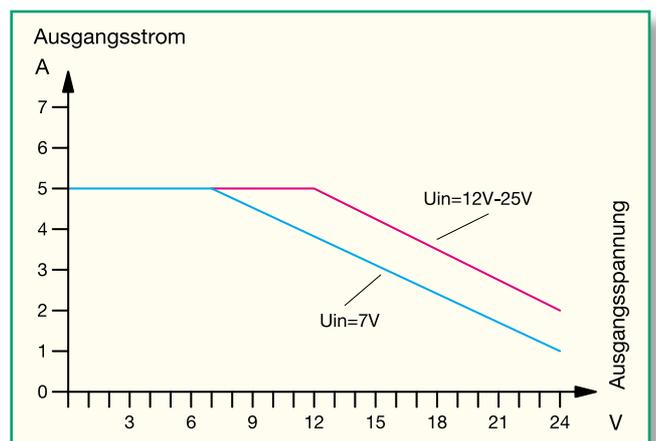
Mobile, mit Akkus betriebene Anwendungen erfordern oft eine Versorgungsspannung, die je nach Betriebsbedingung oberhalb oder unterhalb der Akkuspannung liegen kann. In den meisten Anwendungen muss dabei die Umschaltung der Funktion vom Abwärts- zum Aufwärtswandler automatisch und verzugslos erfolgen.

Technische Daten: USW 525	
Eingangsspannung:	7–25 V <sub>DC</sub>
Ausgangsspannung:	4–25 V <sub>DC</sub>
Ausgangsstrom:	max. 5 A
Wirkungsgrad:	bis 97 %
Anzeigen:	LED (Power-Good)
Abmessungen:	76 x 65,5 mm

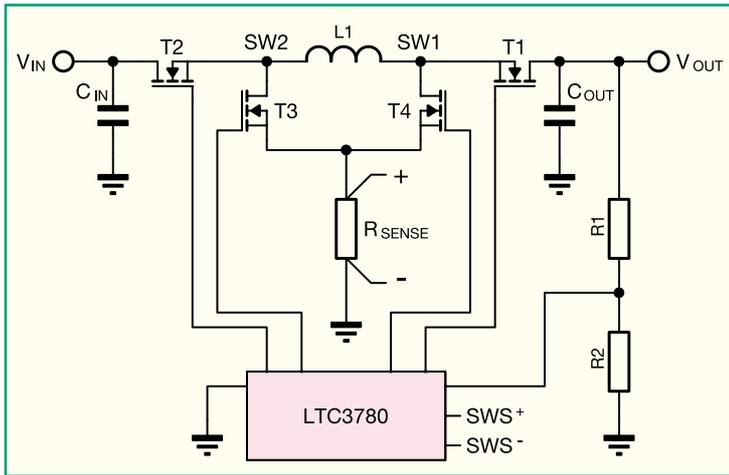
Dies ist z. B. bei einer kontinuierlich sinkenden Akkuspannung der Fall. Eine weitere wichtige Forderung an einen Schaltregler ist ein möglichst hoher Wirkungsgrad, denn schließlich soll die Energie des Akkus nicht unnötig in Wärme umgesetzt werden. Der maximale Ausgangsstrom in Abhän-

gigkeit von der Eingangs- und Ausgangsspannung des hier vorgestellten DC/DC-Wandlers ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Schaltung ist mit einem Schaltregler IC von Linear Technology aufgebaut und erfüllt alle zuvor aufgestellten Forderungen an die Funktion, kommt mit einer einzigen



**Bild 1: Maximal zulässiger Ausgangsstrom des USW 525 in Abhängigkeit von der Ein- und Ausgangsspannung**



**Bild 2: Grund-sätzliches Funktions-prinzip des Universal-Schaltreglers**

aufrechterhalten. Das Tastverhältnis, mit dem die beiden FETs (T 2, T 3) durchgesteuert werden, bestimmt die Ausgangsspannung.

Über den Spannungsteiler R 1, R 2 misst der LTC 3780 die Ausgangsspannung, womit der Regelkreis geschlossen ist.

Wenn die Eingangsspannung geringer ist als die Ausgangsspannung, arbeitet der LTC 3780 im „Boost-Mode“ (Step-up-Wandler). In dieser Betriebsart ist FET T 2 ständig durchgesteuert und FET T 3 befindet sich dauerhaft im Sperrzustand. Die FETs T 4 und T 1 werden nun alternierend im Takt der Schaltfrequenz gesteuert. Auch hierbei bestimmt wiederum das Tastverhältnis die Ausgangsspannung.

Wenn sich die Eingangsspannung in der Nähe der Ausgangsspannung befindet, sind die FETs T 2 und T 1 nahezu ständig durchgesteuert. Die FETs T 3 und T 4 werden nur noch kurz zum Regulieren der Ausgangsspannung in den leitenden Zustand versetzt.

Induktivität aus und ermöglicht dadurch einen besonders platzsparenden Aufbau.

Bisherige Hochleistungs-Spannungswandler, die mit Eingangsspannungen unterhalb, oberhalb oder gleich der Ausgangsspannung arbeiten können, sind entweder mit Transformatoren oder zwei getrennten DC/DC-Wandlern aufgebaut, wobei einer für die Aufwärtswandlung und der andere für die Abwärtswandlung zuständig ist.

So genannte SEPIC-Wandler kommen zwar auch mit einer Induktivität aus, sind jedoch nur für geringe Leistungen geeignet, da der Wirkungsgrad deutlich schlechter ist.

Im LTC 3780 sind sämtliche Stufen, die zum Aufbau eines hocheffizienten „Buck-Boost-Converters“ (Step-up/Step-down-Wandler) erforderlich sind, integriert. Der Wandler ermöglicht einen nahtlosen Übergang zwischen allen Betriebsarten, egal ob von Step-up nach Step-down oder umgekehrt gewechselt werden muss.

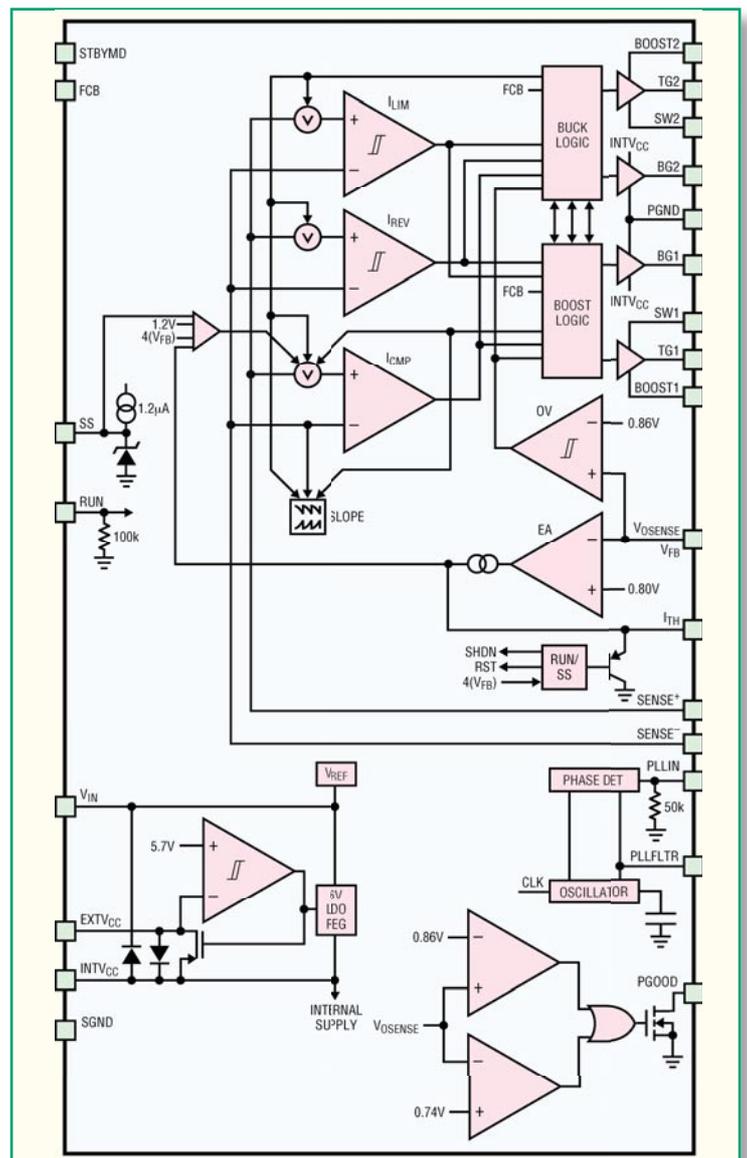
Für einen hohen Wirkungsgrad von bis zu 97 % sorgt ein Synchronbetrieb mit 4 Hochleistungs-Schalttransistoren (FETs), wie das Funktionsprinzip in Abbildung 2 zeigt. Die im LTC 3780 integrierten Stufen sind im Blockschaltbild (Abbildung 3) dargestellt.

Der Wandler arbeitet in unserer Schaltung mit einer in der Phase rastbaren Schaltfrequenz von ca. 200 kHz. Ein so genanntes Power-Good-Signal (Open-Drain-Ausgang des LTC 3780) liefert die Information, ob sich die Ausgangsspannung im geregelten Zustand befindet.

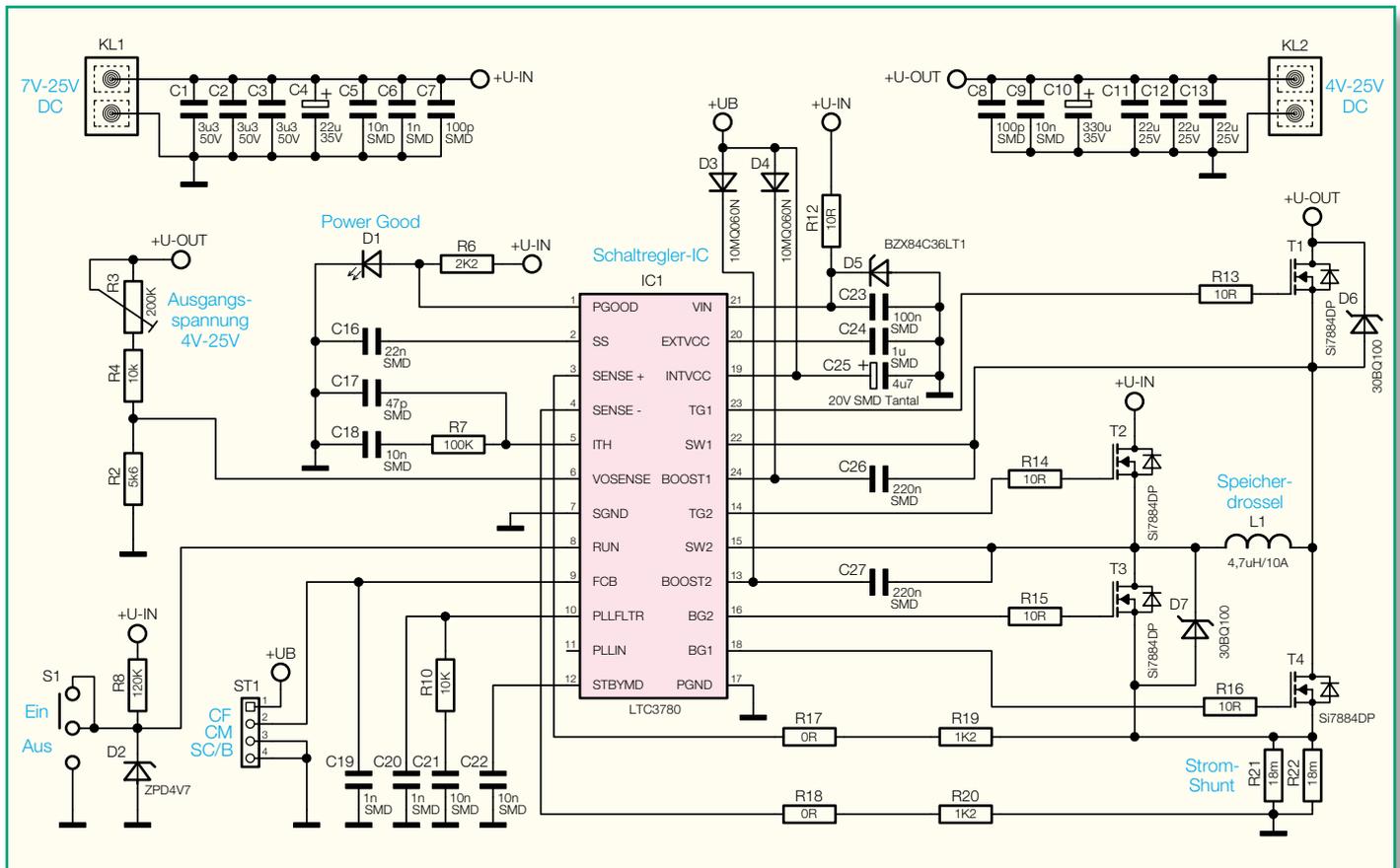
Doch nun zurück zu Abbildung 2, wo die grundsätzliche Funktionsweise vereinfacht dargestellt ist.

Wenn die Eingangsspannung höher ist als die eingestellte Ausgangsspannung, arbeitet der Baustein im „Buck-Mode“ (Step-down-Wandler). In dieser Betriebsart ist der FET T 1 ständig durchgesteuert und FET T 4 befindet sich ständig im Sperrzustand. Die FETs T 2 und T 3 werden dann alternierend im Takt der Schaltfrequenz durchgesteuert.

In der ersten Phase fließt der Strom über den FET T 2, die Speicherdrossel L 1 und den FET T 1 zum Ausgang bzw. in den Pufferelko C<sub>out</sub>. In der zweiten Phase ist FET T 2 gesperrt und FET T 3 durchgesteuert. Durch die in der Speicherdrossel gespeicherte Energie bleibt der Stromfluss nun



**Bild 3: Blockschaltbild mit den im LTC 3780 integrierten Stufen**



**Bild 4: Schaltung des Universal-Spannungswandlers USW 525**

Im so genannten Buck-Boost-Mode sind die Spitzenströme in der Induktivität deutlich geringer als bei konventionellen Buck-Boost-DC/DC-Wandlern. Die Synchron-Gleichrichtung mit 4 Schaltern und der geringe Stromripple in der Induktivität sorgen für einen hohen Wirkungsgrad.

Der Stromshunt ( $R_{Sense}$ ) in der gemeinsamen Source-Leitung von FET T 3 und FETT 4 dient zur Stromerfassung. Dadurch ist in sämtlichen Betriebsmodi ein Schutz gegenüber zu hohen Spannungen, zu hohen Strömen und Kurzschluss vorhanden. Bei Standard-Boost-Konvertern (Step-up-Wandler) ist die Realisierung eines Kurzschlusschutzes äußerst schwierig. Beim LTC 3780 hingegen wird der Wandler zuerst zwangsweise in den Buck-Mode geschaltet und dann der Strom durch die Induktivität begrenzt.

## Schaltung

Die Schaltung des gesamten Step-up/Step-down-Spannungswandlers ist in Abbildung 4 dargestellt. Wie zu sehen ist, sind neben dem LTC 3780 und den 4 Leistungs-FETs nur noch wenige externe Komponenten erforderlich. Die Bauteil-Nummerierung der Leistungs-FETs stimmt mit der Nummerierung in Abbildung 2 überein, so dass die Funktionsweise leicht wiederzuerkennen ist.

Die Eingangsspannung wird der Schaltung an der Schraubklemme KL 1 zugeführt und gelangt direkt auf den Schalttransistor T 2. Die Kondensatoren C 1 bis C 7 dienen zur hochfrequenten Störunterdrückung und zur Pufferung. Insbesondere die steilen Schaltflanken der Leistungstransistoren müssen mit entsprechenden Kondensatoren abgefangen werden.

Der LTC 3780 wird über R 12 mit Spannung versorgt, wobei D 5 zum Überspannungsschutz dient.

Eine intern erzeugte stabilisierte Gleichspannung von 6 V steht auch extern an Pin 19 zur Verfügung.

Über die Pins 13 bis 16, 18 und 22 bis 24 werden die Schalttransistoren, wie bereits in Abbildung 2 beschrieben, gesteuert.

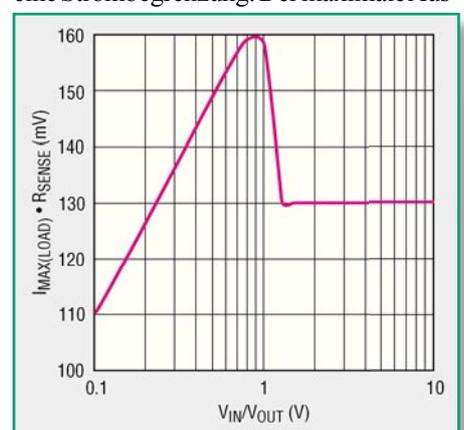
Zur Regelung wird die Ausgangsspannung über den einstellbaren, mit R 2 bis R 4 aufgebauten Spannungsteiler auf den Eingang des Fehlerverstärkers (Pin 6) geführt. Mit R 3 kann nun die Ausgangsspannung des Wandlers zwischen 4 V und 25 V stufenlos eingestellt werden.

An Pin 1 des Bausteins steht das so genannte „Power-Good“-Signal zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um einen „Open-Drain-Ausgang“, der intern nach Masse gezogen wird, wenn die Ausgangsspannung mehr als  $\pm 7,5\%$  vom eingestellten Soll-Wert abweicht. Die über R 6 mit Spannung versorgte Leuchtdiode D 1

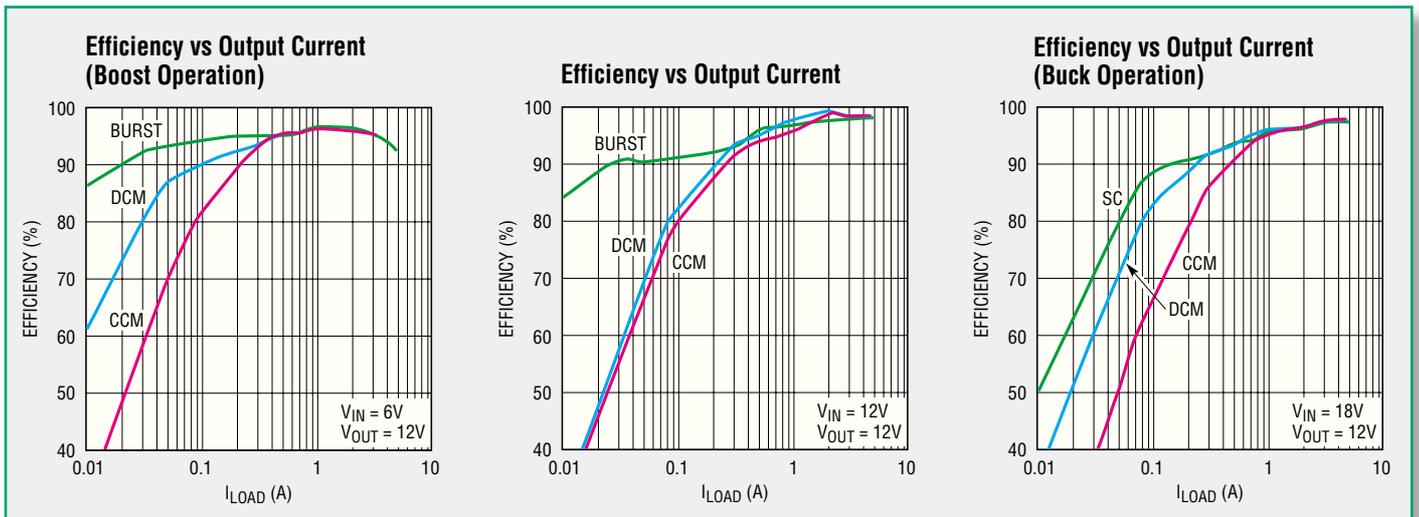
leuchtet somit immer bei korrekter Ausgangsspannung.

Der Kondensator C 16 an Pin 2 sorgt für einen „Soft-Start“ bei Anlegen der Betriebsspannung.

Die Mess-Eingänge zur Erkennung des Ausgangsstroms stehen an Pin 3 und Pin 4 des Bausteins zur Verfügung. Die an den Shunt-Widerständen R 21, R 22 abfallende Spannung wird über R 17 bis R 20 auf diese Eingangspins gegeben. Sobald der Spannungsabfall an den Shuntwiderständen den Grenzwert überschreitet, erfolgt eine Strombegrenzung. Der maximale Aus-



**Bild 5: Max. Spannungsabfall an den Shunt-Widerständen in Abhängigkeit vom Verhältnis der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung**



**Bild 6 bis 8: Wirkungsgrad des LTC 3780 in Abhängigkeit von der Last sowie von den Ein- und Ausgangsspannungen**

gangsstrom errechnet sich im Boost-Mode (Step-up-Wandler) nach der Formel:

$$I_{OUT(MAX, BOOST)} = \frac{160mV \cdot V_{IN}}{R_{SENSE} \cdot V_{OUT}} \cdot \frac{\Delta L}{2}$$

und im Buck-Mode nach der Formel:

$$I_{OUT(MAX, BUST)} = \frac{130mV}{R_{SENSE}} + \frac{\Delta L}{2}$$

Der maximale Spannungsabfall an den Shuntwiderständen und somit zwischen Pin 3 und Pin 4 des Bausteins in Abhängigkeit vom Verhältnis der Eingangsspannung zur Ausgangsspannung ist in Abbildung 5 dargestellt.

Die Komponenten C 17, C 18 und R 7 bestimmen die Regelzeitkonstante der Regelschleife am Ausgang des internen Fehlerverstärkers.

Das Ein- und Ausschalten des Schaltreglers erfolgt an Pin 8 des LTC 3780. Bei einer Spannung unter 1,5 V befindet sich der LTC 3780 im Shut-down-Mode und bei einer Spannung zwischen 1,5 V und 6 V ist

der Wandler eingeschaltet. Die Spannung an diesem Pin darf 6 V nicht überschreiten. Intern ist an Pin 8 ein Widerstand von 100 kΩ nach Masse vorhanden.

An Pin 9 (FCB) kann der Betriebsmode des Wandlers bei geringer Ausgangslast eingestellt werden. Pin 9 ist dabei mit Schaltungsmasse (Continuous-Mode) oder mit +U<sub>B</sub> (Constant-Frequency-Mode) zu verbinden oder bleibt unbeschaltet im Skip-Cycle-Mode bzw. Bust-Mode. Wenn an Pin 9 kein Gleichspannungspotential angelegt wird, arbeitet der Wandler im Step-down-Betrieb im Skip-Cycle-Mode und im Step-up-Betrieb im Burst-Mode. In diesem Betriebsmode hat der Wandler bei geringer Last den höchsten Wirkungsgrad (Abbildungen 6 bis 8). Im Normalfall bleibt also die Codierbrücke JP 1 offen.

Der interne Taktoszillator des Bausteins kann an Pin 11 extern synchronisiert werden, und an Pin 10 wird die interne PLL-Schaltung mit einem Tiefpassfilter (R 10, C 20, C 21) beschaltet.

Der Stand-by-Eingang (Pin 12) ist in unserer Schaltung nur mit einem Abblock-Kondensator (C 22) beschaltet.

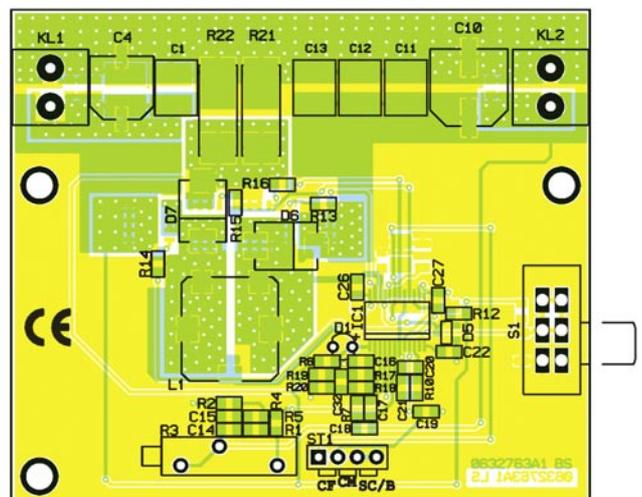
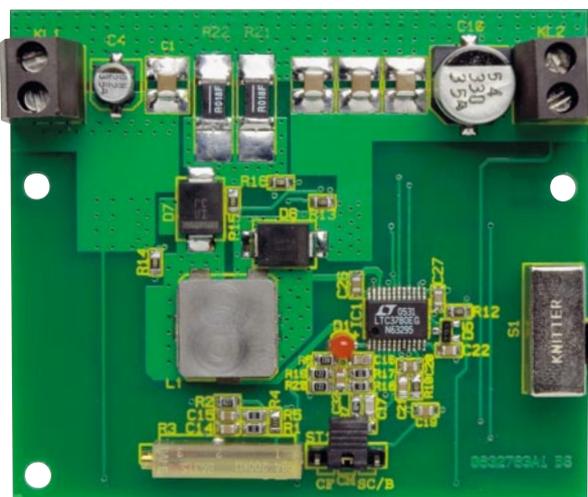
### Nachbau

Der praktische Aufbau des Wandlers ist besonders einfach, da bereits alle SMD-Komponenten werkseitig bestückt sind. Besonders der LTC 3780 mit seinem geringen Pin-Abstand und die Leistung-FETs sind von Hand kaum zu verarbeiten. Hinzu kommt, dass die Kupferauflage der Leiterplatte die vierfache Dicke einer herkömmlichen doppelseitigen Leiterplatte hat. Beim Lötvorgang wird also der Lötspitze sehr viel Wärme entzogen.

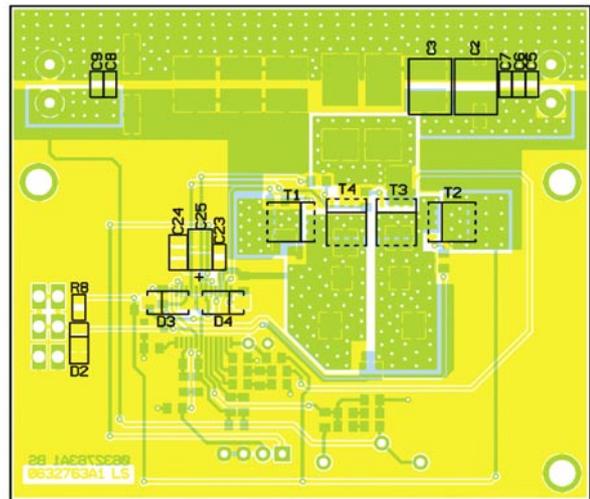
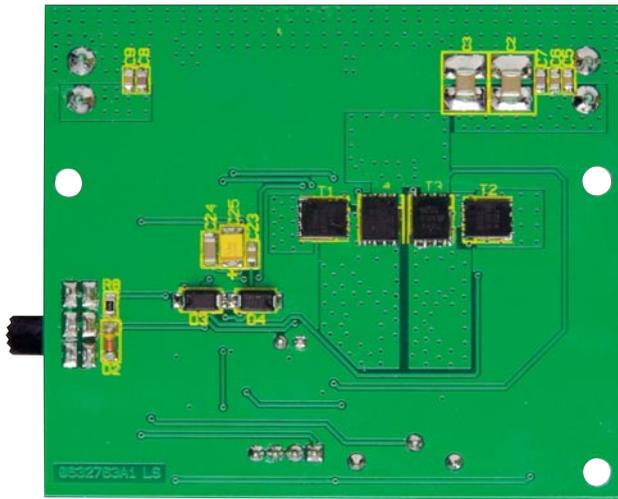
Beim Verarbeiten der noch wenigen verbleibenden konventionellen Bauteile sollte unbedingt der verwendete LötKolben auf eine hohe Temperatur eingestellt werden.

Doch nun zur Bestückung, wo zuerst der Trimmer R 3 sorgfältig einzulöten ist.

Danach wird der Schiebeschalter S 1 so



**Ansicht der fertig bestückten Platine des Spannungswandlers USW 525 mit zugehörigem Bestückungsplan von der Oberseite**



**Ansicht der fertig bestückten Platine des Spannungswandlers USW 525 mit zugehörigem Bestückungsplan von der Unterseite**

eingesetzt, dass das Gehäuse plan auf der Leiterplatte aufliegt, und von der Platinenunterseite wird danach das Bauteil sorgfältig verlötet.

Bei der Leuchtdiode D 1 (Power-Good) ist die Polarität am Bauteil durch einen längeren Anodenanschluss gekennzeichnet. Die Einbauhöhe der LED richtet sich nach den individuellen Wünschen.

Zuletzt bleiben nur noch die beiden zweipoligen Schraubklemmen für die Ein- und Ausgangsspannung einzulöten. Die Anschlüsse sind dabei an der Platinenunterseite mit viel Lötzinn sorgfältig festzusetzen.

Damit über die Ein- und Ausgangsleitungen des Wandlers keine Störungen abgestrahlt werden, sind die Eingangsleitungen mit einer Windung und die Ausgangsleitungen mit 2 Windungen durch einen Ferritkern zu fädeln. In unmittelbarer Nähe der Schraubklemmen ist dabei auf der Eingangsseite ein 16 mm lan-

ger Ferritkern und auf der Ausgangsseite ein 28,5 mm langer Ferritkern erforderlich (Abbildung 9). Wenn die Leitungen sorgfältig durchgefädelt sind, erfolgt das Einschrumpfen mit Schrumpfschlauchabschnitten entsprechend der Länge (Eingangsseite 35 mm, Ausgangsseite 45 mm). Für den Betrieb ist der Spannungswandler

in ein geschlossenes Gehäuse einzubauen, welches die Anforderungen an eine Brandschutzumhüllung erfüllen muss. Für eine ausreichende Luftzirkulation ist zu sorgen und die Ein- und Ausgänge sind entsprechend der Anwendung abzusichern. Dem Einsatz des Wandlers steht danach nichts mehr entgegen. **ELV**



**Bild 9: Die Ein- und Ausgangsleitungen werden jeweils durch einen Ferritkern gefädelt.**

## Stückliste: Universal-Spannungswandler USW 525, 5 A/25 V

### Widerstände:

0 Ω/SMD/0805.....	R17, R18
18 mΩ/SMD/2512 .....	R21, R22
10 Ω/SMD/0805.....	R12–R16
1,2 kΩ/SMD/0805.....	R19, R20
2,2 kΩ/SMD/0805.....	R6
5,6 kΩ/SMD/0805.....	R2
10 kΩ/SMD/0805.....	R4, R10
100 kΩ/SMD/0805.....	R7
120 kΩ/SMD/0805.....	R8
Spindeltrimmer, 200 kΩ.....	R3

### Kondensatoren:

47 pF/SMD/0805 .....	C17
100 pF/SMD/0805 .....	C7, C8
1 nF/SMD/0805 .....	C6, C19, C20
10 nF/SMD/0805...C5, C9, C18, C21, C22	
22 nF/SMD/0805 .....	C16

100 nF/SMD/0805 .....	C23
220 nF/SMD/0805 .....	C26, C27
1 µF/SMD/1206 .....	C24
3,3 µF/50 V/SMD/3225 .....	C1–C3
4,7 µF/20 V/tantal/SMD .....	C25
22 µF/25 V/SMD .....	C11–C13
22 µF/35 V/SMD .....	C4
330 µF/35 V/SMD .....	C10

### Halbleiter:

LTC3780EG/SMD .....	IC1
Si7884DP/SMD .....	T1–T4
ZPD4, 7 V/0,4 W/SMD.....	D2
10MQ060N/SMD .....	D3, D4
BZX84C36/SMD .....	D5
30BQ100/SMD .....	D6, D7
LED, 3 mm, Rot, low current,	
klares Gehäuse .....	D1

### Sonstiges:

Speicherdrossel, SMD,	
4,7 µH/10 A.....	L1
Schraubklemmleiste,	
2-polig, print .....	KL1, KL2
Schiebeschalter, 2 x um,	
winkelprint .....	S1
Stiftleiste, 1 x 4-polig,	
gerade, print .....	ST1
Jumper.....	ST1
1 Zylinder-Ferrit-Ringkern,	
16,5 (8) x 16 mm	
1 Zylinder-Ferrit-Ringkern,	
17,5 (9,5) x 28,5 mm	
200 cm flexible Leitung,	
ST1 x 1,5 mm <sup>2</sup> , Rot	
200 cm flexible Leitung,	
ST1 x 1,5 mm <sup>2</sup> , Schwarz	