



## Das Fahrrad-Lademodul FLM 500 – die USB-Schnittstelle fürs Fahrrad

Das Fahrrad-Lademodul stellt als Spannungsversorgung quasi die USB-Schnittstelle fürs Fahrrad zur Verfügung. Über ein Standard-USB-Kabel können beliebige mobile Geräte angeschlossen werden, wobei bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 10 bis 15 km/h und der Verwendung eines Standard-Nabendynamos ein Dauerstrom von bis zu 500 mA geliefert wird.

### Allgemeines

Mobile Navigationsgeräte, Smartphones, MP3-Player und Mobiltelefone sind populär, können aber nur eine begrenzte Zeit im Dauereinsatz genutzt werden und müssen dann nachgeladen oder gleich extern mit Spannung versorgt werden. Displays und insbesondere deren Hinterleuchtung haben einen recht hohen Energieverbrauch, und für längere Fahrradtouren reicht die vom internen Akku eines Navigationsgerätes zur Verfügung gestellte Energie üblicherweise nicht aus.

Während beim Auto die Zigarettenanzünder-Steckdose zur Spannungsversorgung und zum Laden des Gerätes vorhanden ist, steht auf Fahrradtouren meistens keine Steckdose zur Verfügung.

Da Fahrradtouren normalerweise tagsüber unternommen werden, wenn die Beleuchtung nicht benötigt wird, ist es natürlich sehr naheliegend, den Fahrraddynamo als Energiequelle zum Betrieb oder zum Laden von mobilen Geräten zu nutzen: Insbesondere wenn das Fahrrad mit einem Nabendynamo ausgestattet ist, der eh immer mitläuft und unter Belastung keinen spürbaren Mehraufwand an Kraft erfordert, bietet sich diese Energiequelle an. Es können aber auch preiswerte und einfache Seitenläufer in Verbindung mit unserer Schaltung genutzt werden.

Die meisten modernen Mobilgeräte verfügen über einen USB-Anschluss zur externen Spannungsversorgung und zum Laden des internen Akkus, wobei sich die Ladeelektronik üblicherweise im jeweiligen Gerät befindet. Es reicht also, eine entsprechend belastbare Spannung von 5 V zur Verfügung zu stellen.

Fahrraddynamos, egal ob Seitenläufer oder Nabendynamo, sind für den Betrieb einer Standard-Lichtanlage ausgelegt, und deren technische Anforderungen

Eingangsspannungsquelle:	Fahrraddynamo 6 V/3 W
Eingangsschutzschaltung:	Spannungsbegrenzung
Geschwindigkeit:	max. 50 km/h
Ausgang:	USB-A-Buchse
Ausgangsspannung:	5 V $\pm$ 3 %
Ausgangsstrom:	max. 500 mA
LED-Anzeigen:	Power o. k.
PWM-Schaltfrequenz:	ca. 400 kHz
Schutzschaltungen (chipintern):	Unterspannungsabschaltung, Temperaturüberwachung
Umschalter:	USB-Ausgang, Fahrradbeleuchtung
Abmessungen Gehäuse (B x H x T):	45 x 30 x 22 mm

sind in der TA 24 (Fahrradlichtmaschinen) geregelt. Nach der StVZO beträgt die Nennspannung 6 V und die Nennleistung 3 W (Beleuchtung: 2,4 W vorne, 0,6 W hinten). Es gibt zwar auch zugelassene 12-V-Systeme, aber die sind in der Praxis kaum anzutreffen. Unsere Schaltung ist daher ausschließlich für 6-V/3-W-Dynamos ausgelegt. Durch die Festlegung ist eine nahezu beliebige Zusammenstellung der Komponenten für Fahrrad-Lichtanlagen möglich.

Da die Energieabgabe so weit wie möglich unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit sein sollte, gibt es in der TA 24 recht enge Grenzen bezüglich der Spannungsabgabe an einem 12- $\Omega$ -Lastwiderstand (12  $\Omega$  entspricht bei 6 V Spannung einer angeschlossenen Last von 3 W).

Die vom Dynamo abgegebenen Effektivwerte der Spannung müssen laut TA 24 bei 5 km/h mindestens 3 V, bei 15 km/h mindestens 5,7 V betragen, und bei 30 km/h dürfen 7,5 V nicht überschritten werden.

Bild 1 zeigt einen typischen Spannungsverlauf unter Nennlast und ohne Last in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit. Ohne Last würde die Leerlaufspannung theoretisch proportional zur Fahrgeschwindigkeit hochlaufen.

Zum Schutz der vorderen Glühlampe gegen Überspannung beim Ausfall der Rückleuchte darf laut TA 24 bei einer Last von 60  $\Omega$  die abgegebene Spannung den Effektivwert von 9 V nicht überschreiten. Um die Anforderungen der TA 24 einhalten zu können, müssen Dynamos bei höheren Geschwindigkeiten konstruktionsbedingt einen geringeren Wirkungsgrad aufweisen (Innenwiderstand steigt mit der Drehzahl).

Im typischen Geschwindigkeitsbereich und bei typischer Nennlast ist das Verhalten eines Dynamos am ehesten mit einer Stromquelle zu vergleichen. Zu bedenken ist aber, dass in der Praxis nicht alle Dynamos die Anforderungen der TA 24 einhalten.

Insbesondere bei geringer Last kann die Spannung bei einigen Nabendynamos stark ansteigen. Dabei ist zu bedenken, dass unsere Schaltung entweder eine hohe Eingangsspannung verkraften oder eine entsprechende Last für den Dynamo darstellen muss.

### Nabendynamo mit Last und Leerlauf

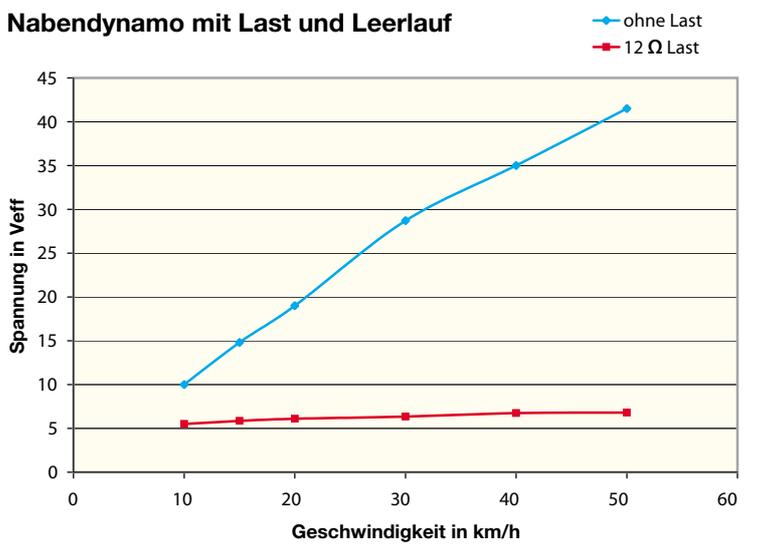


Bild 1: Spannungsverlauf am Nabendynamo bei Leerlauf und Nennlast

### Spannungsverlauf am Schaltregler-Eingang beim Einsatz eines Nabendynamos

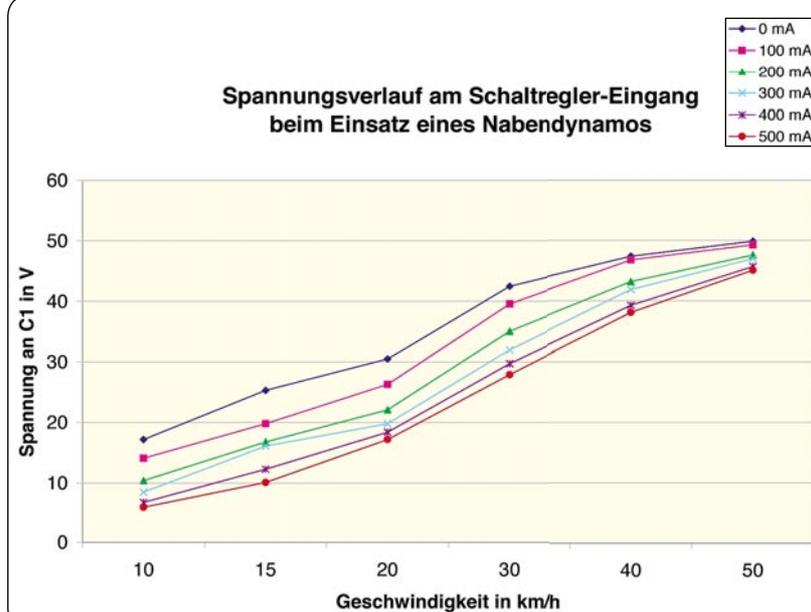
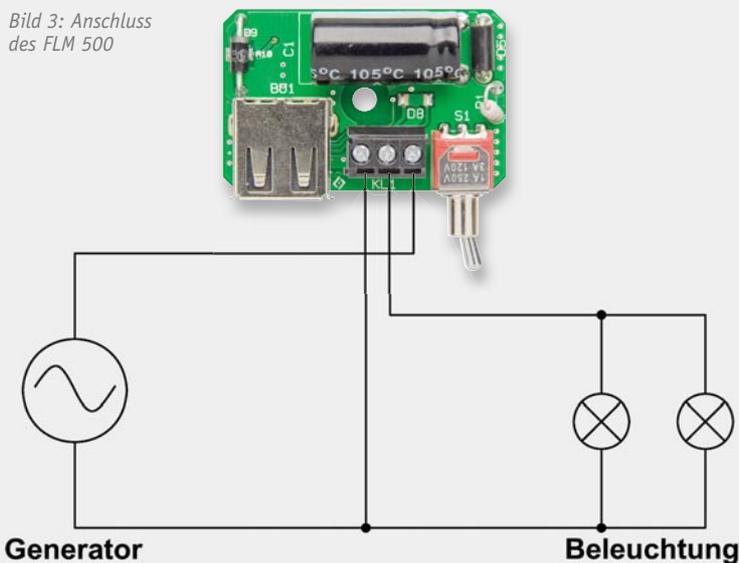


Bild 2: Spannungsverlauf am Schaltregler-Eingang beim Einsatz eines Nabendynamos

Bild 3: Anschluss des FLM 500



Unser Schaltungskonzept basiert auf einem Schaltregler für hohe Eingangsspannungen, wodurch die Verlustleistung unter allen Betriebsbedingungen sehr gering ist. Bei Verwendung eines entsprechenden Nabendynamos steigt dann allerdings die Spannung am Schaltregler-Eingang entsprechend an. In Bild 2 ist der Spannungsverlauf bei unterschiedlichen Lastbedingungen zu sehen.

Damit die Vorschriften der StVZO nicht verletzt werden, darf das Fahrrad-Lademodul FLM 500 nicht parallel zur Beleuchtung genutzt werden. In der Beleuchtungsanlage stellt die Schaltung somit einfach nur einen Lichtschalter dar (Licht an = kein Ladebetrieb möglich, Licht aus = Lademodul aktiv). Der typische Anschluss des FLM 500 ist in Bild 3 dargestellt.

Das Fahrrad-Lademodul ist in einem Miniaturgehäuse untergebracht und kann z. B. an die Fahrradgabel oder den Lenker montiert werden. Bei korrekter Montage stellt das Gehäuse einen begrenzten Spritzwasser-



unterdrückung. Nach der Gleichrichtung übernimmt C 1 die Pufferung der unstabilierten Gleichspannung, die direkt dem hocheffizienten Step-down-Schaltregler IC 1 zugeführt wird. C 4 und C 5 dienen in diesem Zusammenhang zur weiteren Störunterdrückung.

Die Transil-Schutzdiode D 5 mit zugehörigem Vorwiderstand (R 1) schützt den Schaltregler bei sehr hohen Geschwindigkeiten und geringer Ausgangslast. Die Transildiode wird bei ca. 43 V leitend und da Transildioden hohe Impulsbelastungen verkraften, werden auch Impulsspitzen sicher abgefangen.

Das Blockdiagramm in Bild 5 zeigt den komplexen internen Aufbau des Step-down-Wandlers IC 1. Wie im Blockschaltbild zu sehen, ist auch die Endstufe im Chip integriert. Neben der Speicherdrossel L 1 und der Diode D 7 werden an externer Beschaltung nur noch wenige Widerstände und Kondensatoren benötigt und die Arbeitsweise entspricht einem typischen PWM-Schaltregler. Die Schaltfrequenz des Reglers wird durch den externen Widerstand R 4 bestimmt und liegt in unserem Fall bei ca. 400 kHz.

Der Pegel am „Power Good“-Ausgang (Pin 6) wechselt von „low“ nach „high“, wenn die Ausgangsspannung zwischen 94 % und 107 % des nominalen Wertes liegt. Der Transistor T 1 wird leitend und die im Kollektorkreis geschaltete Leuchtdiode D 5 zeigt die korrekte Funktion des Bausteins an. Das mit C 8, C 9 und R 5 aufgebaute Filter bestimmt die Regeleigenschaften des Schaltreglers und der mit R 6, R 7 und R 11 aufgebaute Spannungsteiler bestimmt die Ausgangsspannung.

Der Polyswitch R 10 (PTC) schützt die Schaltung vor Überlast und im Falle eines Schaltreglerdefekts den angeschlossenen Verbraucher in Verbindung mit der Z-Diode D 9. Aus diesem Grund sind die Z-Diode und der Polyswitch direkt thermisch gekoppelt (die Z-Diode liegt auf dem Polyswitch-Gehäuse auf). Sobald die Z-Diode durch Überspannung leitend wird, führt

Bild 6: Miniatur-Schaltregler im Größenvergleich



die Erwärmung dann zum schnellen Abschalten des Polyswitch. Ein erneutes Zuschalten ist erst möglich, wenn ein geringer Haltestrom unterschritten wird.

Wichtig für einen geringen Ausgangsripple sind die „Low-ESR“-Elkos C 10 und C 12, wobei C 11 zusätzlich für eine hochfrequente Störunterdrückung sorgt. Die Ausgangsspannung wird letztendlich über die zur weiteren Störunterdrückung dienenden Ferrite L 4 und L 5 der USB-Buchse BU 1 zugeführt.

## Nachbau

Da alle SMD-Komponenten bereits werkseitig vorbestückt sind, stellt der praktische Aufbau trotz der winzigen Bauteile keine große Herausforderung dar. Besonders der Miniatur-Schaltregler, dessen Abmessungen im Größenvergleich zu einer Bleistiftspitze in Bild 6 zu sehen sind, wäre von Hand kaum noch zu verarbeiten. Auch die Speicherdrossel L 1 (in Bild 5 oben rechts neben dem Schaltregler) und die SMD-Widerstände und Kondensatoren in der Bauform 0402 sind mit einem LötKolben schwierig zu verarbeiten. Es bleiben somit nur noch wenige konventionelle, bedrahtete Bauelemente, wobei aufgrund der beengten Platzverhältnisse allerdings ein paar Besonderheiten zu beachten sind.

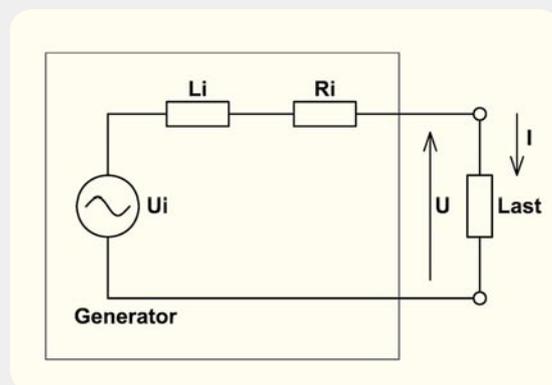
## Fahrraddynamo

Beim Fahrraddynamo handelt es sich um einen Einphasen-Wechselstromgenerator auf der Basis eines Klauenpolgenerators, der üblicherweise eine Nennspannung von 6 V bei 3 W Last abgibt. Nennspannung und Leistung waren bis vor Kurzem fest durch die Straßenverkehrs-zulassungsordnung vorgegeben, wobei mittlerweile aber auch wenige Ausnahmen mit abweichenden Daten zugelassen sind.

Das Funktionsprinzip basiert auf einem während der Fahrt durch das Rad angetriebenen Permanentmagneten, der in einer feststehenden Ständerwicklung rotiert und dadurch einen Wechselstrom induziert.

Theoretisch würde die Ausgangsspannung bei einem idealen Generator linear zur Drehzahl und somit zur Fahrgeschwindigkeit ansteigen. In der Praxis verringern aber Ummagnetisierungsverluste den Spannungsanstieg.

Unter Lastbedingungen knickt somit die Span-



nungskennlinie schon bei mäßiger Geschwindigkeit ab. Die Induktivität der Generatorwicklung bildet bei steigenden Drehzahlen einen steigenden Serienwiderstand ( $L_i$ ), d. h. unter Lastbedingungen steigt die Ausgangsspannung mit steigender Drehzahl nur leicht über die Nennspannung der Glühlampen an. Das Ersatzschaltbild verdeutlicht die Zusammenhänge.

Wir beginnen die Bestückungsarbeiten mit dem Einlöten der USB-Buchse BU 1, die plan auf der Platinenoberfläche aufliegen muss. Der Schalter S 1 muss ebenfalls beim Verlöten plan aufliegen.

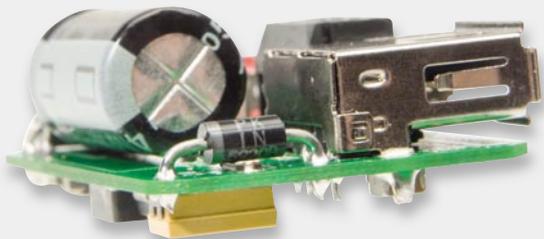


Bild 7: D 9 muss mit dem Körper auf R 10 aufliegen.

Beim Einlöten der 3-poligen Schraubklemme KL 1 ist zu beachten, dass die Kabelöffnungen nicht zum Platinenrand weisen müssen, sondern zur Geräteinnenseite. Dadurch wird das spätere Anschließen der Kabel erleichtert.

Der bedrahtete Widerstand R 1 ist in stehender Position einzulöten und die Transildiode D 5 benötigt einen Platinenabstand von ca. 1 mm zur Platinenoberfläche.

Einen Sonderfall stellt die Z-Diode D 9 dar. Dieses Bauelement ist so einzubauen, dass das Gehäuse zur thermischen Kopplung auf dem Polyswitch R 10 aufliegt (Bild 7).

Um einen ausreichenden Abstand zum Gehäuse zu gewährleisten, ist R 1 danach entsprechend Bild 8 leicht nach innen zu biegen.

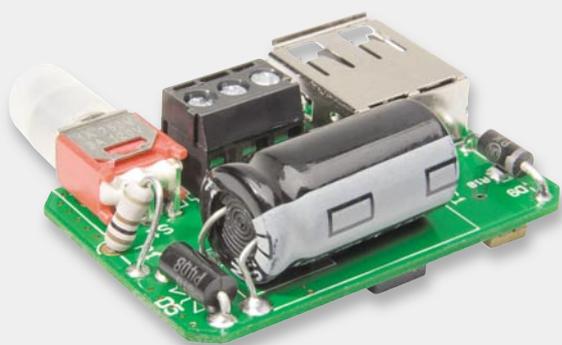


Bild 8: R 1 ist leicht nach innen zu biegen.

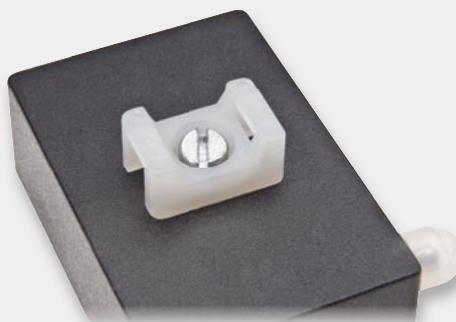


Bild 9: Montage der Kabelbinderschelle an der Gehäuseunterseite



Bild 10: Verschraubung der Kabelbinderschellen an der Gehäuseinnenseite



Bild 11: Spritzwasserschutz des Schalters mit Silikonhaube



Bild 12: In das Gehäuse eingebaute Elektronik



Bild 13: Gehäusedeckel mit eingeklebtem Lichtwellenleiter

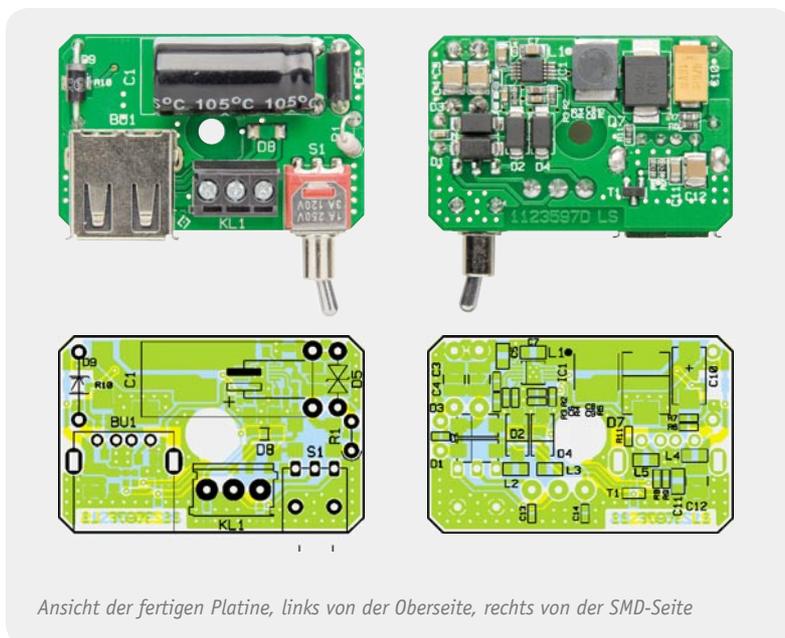


Bild 14: Fertig aufgebautes FLM 500 mit Schutzkappe über der USB-Buchse

Es folgt das Einlöten des Elkos C 1 in liegender Position, wobei unbedingt die korrekte Polarität zu beachten ist, da falsch gepolte Elkos sogar explodieren können. Um einen ausreichenden Abstand zur Transdiode D 5 sicherzustellen, sind die Anschlüsse erst 2 bis 3 mm hinter dem Gehäuseaustritt abzuwinkeln. Nachdem die Platine vollständig bestückt ist, erfolgt eine gründliche Überprüfung hinsichtlich Löt- und Bestückungsfehlern und danach wird das Gehäuse für den Platineinbau vorbereitet.

Zuerst wird mit einer Schraube M3 x 12 mm und einer M3-Mutter sowie einer Polyamidscheibe M3 eine Kabelbinderschelle, wie in Bild 9 zu sehen, an die Gehäuseunterseite montiert. Bild 10 zeigt die Verschraubung an der Gehäuseinnenseite, wobei die dünne Polyamidscheibe mit 0,5 mm Stärke zur Abdichtung dient. In die mittlere Gehäuseöffnung wird danach eine Durchführungstülle montiert. Zum Schutz vor Spritzwasser wird über den Schaltknebel des Kippschalters S 1 eine Silikon-Dichtungshaube gesetzt (Bild 11). Auf die Mutter im Gehäuseinneren folgt nun eine weitere 0,5-mm-Polyamidscheibe, und mit einer weiteren M3-Mutter, unter die eine M3-Zahnscheibe zu legen ist, erfolgt die Montage der fertig vorbereiteten Platine ins Gehäuse. Bild 12 zeigt die ins Gehäuse montierte Elektronik.

Wie in Bild 13 zu sehen, wird mit einem geeigneten Klebstoff ein Kunststoff-Lichtleiter von der Innenseite in den Gehäusedeckel geklebt. Dieser Lichtleiter wird später über die SMD-Leuchtdiode auf der Platine positioniert.



Ansicht der fertigen Platine, links von der Oberseite, rechts von der SMD-Seite

Zum Schutz vor Spritzwasser und Schmutz ist die USB-Buchse bei Nichtbenutzung mit einer Schutzkappe zu verschließen (Bild 14).

Bei der Montage des fertig aufgebauten FLM 500 am Fahrrad (z. B. Gabel oder Lenker) ist darauf zu achten, dass die Gehäuseöffnungen nach unten weisen müssen. Die Befestigung erfolgt mit Hilfe eines Kabelbinders.

Nach dem Anschluss und einem ersten Funktionstest ist der Gehäusedeckel mit einem geeigneten Klebstoff so aufzukleben, dass durch die Naht zwischen Gehäuseunterteil und Deckel kein Spritzwasser (z. B. Regen) eindringen kann. **ELV**

#### Widerstände:

100 $\Omega$ /0,5W/Metalloxid	R1
470 $\Omega$ /SMD/0603	R9
10 k $\Omega$ /SMD/0603	R8, R11
68 k $\Omega$ /SMD/0603	R5, R7
240 k $\Omega$ /SMD/0603	R6
330 k $\Omega$ /SMD/0603	R4
Polyswitch, 6 V, 0,5 A, SMD, 1206	R10

#### Kondensatoren:

6,8 pF/SMD/0603	C8
470 pF/SMD/0603 / 100 V	C13, C14
2,7 nF/SMD/0603	C9
10 nF/SMD/0603	C6
100 nF/SMD/0603	C2
100 nF/SMD/0805	C5, C7, C11
2,2 $\mu$ F/50 V/SMD/1210	C4
10 $\mu$ F/SMD/1210	C12
47 $\mu$ F/16 V/Tantal/SMD	C10
470 $\mu$ F/50 V	C1

#### Halbleiter:

TPS54160DGQ/SMD	IC1
BC848C	T1
10MQ060N/SMD	D1-D4
BZW06-37B	D5
30BQ100/SMD	D7
LED, SMD, Grün, low current	D8
ZPD5,6 V/3 W	D9

#### Sonstiges:

Speicherdrossel, SMD, 10 $\mu$ H/1,2 A	L1
Chip-Ferrite, 0805,	
1000 $\Omega$ bei 100 MHz, 1 A	L2-L5
USB-A-Buchse, winkelprint, liegend	BU1
Mini-Schraubklemmleiste, 3-polig, print	KL1
Sub-Miniatur-Schalter, 1x um	S1
1 Kabelbinderschelle für M3	
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 12 mm	
1 Fächerscheibe, M3	
2 Muttern, M3	
2 Polyamid-Unterlegscheiben M3, 0,5 mm	
1 Schalter-Schutzkappe, Silikon	
2 Kabelbinder, 180 mm	
1 Kabel-Durchführungstülle, 9 (6) x 5 (1,5) mm	
1 Kunststoffgehäuse, komplett, bearbeitet und bedruckt, Schwarz	
1 LED-Lichtleiter, transparent	
1 USB-Schutzkappe Typ A, Schwarz	