



Funk-Messwertübertragung Teil 2

Mit der Kombination aus einem Funk-Messwert-Sender FM3 TX und einem Funk-Messwert-Empfänger FM3 RX lassen sich gemessene Spannungswerte per Funk übertragen. In diesem Teil des Artikels beschreiben wir die Schaltungen und erklären den Nachbau der beiden Komponenten.

Schaltung

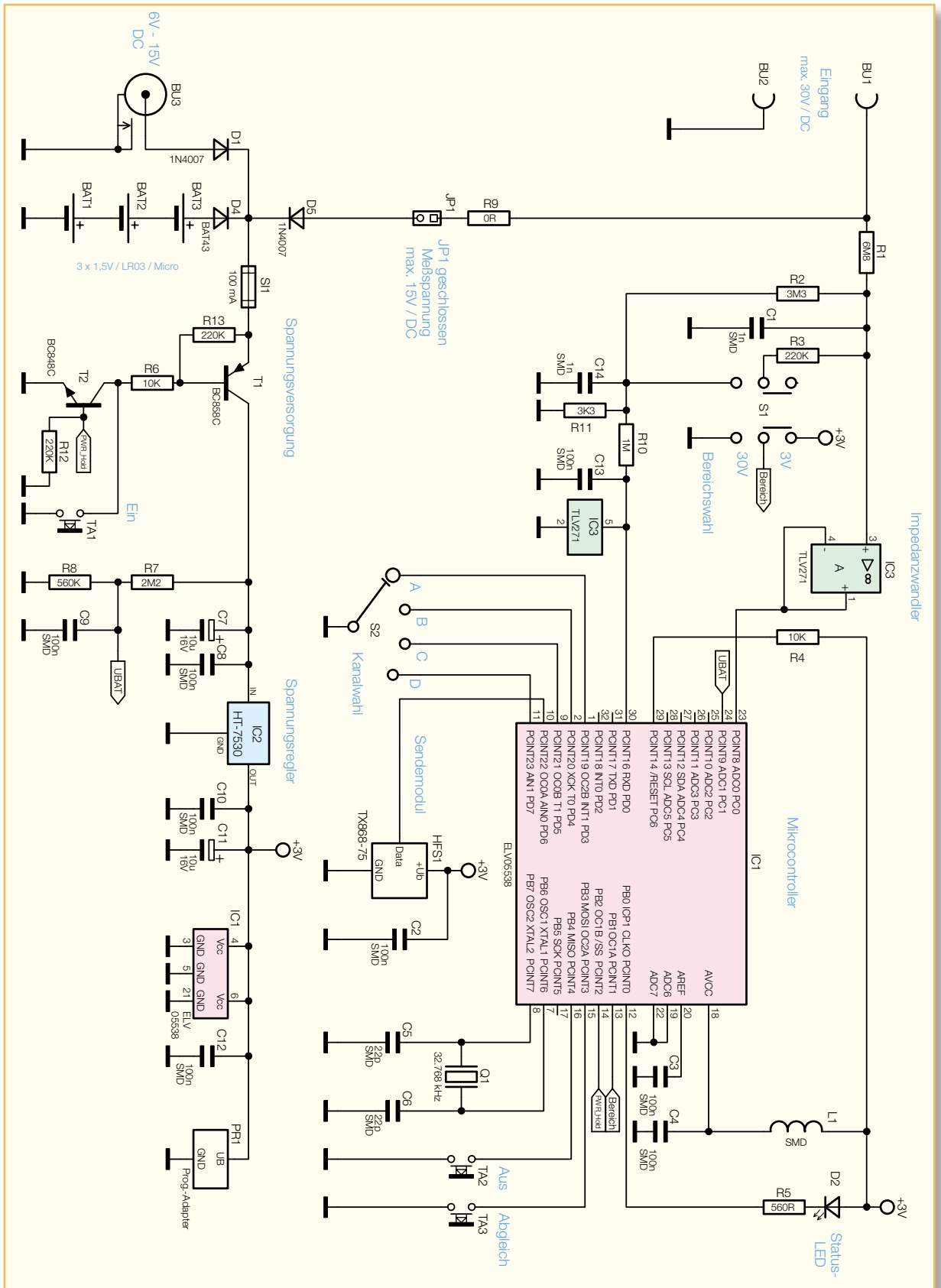
Funk-Messwert-Sender FM3 TX

Die Schaltung des Funk-Messwert-Senders ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Messwerte werden mit dem internen Analog-Digital-Wandler des Mikrocontrollers IC 1 erfasst und in Form eines Funkprotokolls über das Sendemodul HFS 1 ausgestrahlt.

Über den Eingangsbuchsen BU 1 und BU 2 liegt die zu messende Spannung an und wird über den hochohmigen Eingangsspannungsteiler, bestehend aus den Widerständen R 1 und R 2, der internen Referenzspannung des Mikrocontrollers mit 1,1 Volt angegeben, wegen des weiten Toleranzbereichs und der Toleranzen der Widerstände ist der Eingangsspannungsteiler so dimensioniert, dass die maximale

Spannung am Eingang des AD-Wandlers 1 Volt nicht überschreitet. Der Widerstand R 3 wird für den Messbereich bis 30 Volt mit dem Schiebeschalter S 1 parallel zum Widerstand R 2 geschaltet. Über den zweiten Kontakt des Schiebeschalters ändert sich der Spannungspegel am Anschluss-„Bereich“ des Mikrocontrollers IC 1, so dass dieser die zum gewählten Messbereich gehörigen Kalibrierungsdaten in die Messungen einrechnet und im Funkproto-

Bild 4:
Schaltbild des
Funk-Mess-
wert-Senders
FM3 TX



koll vermerkt, um welchen Messbereich es sich handelt.

Der Eingangsspannungsteiler ist nicht direkt mit Masse verbunden, sondern mit einer durch R 10 und R 11 erzeugten, virtuellen Masse. Damit soll verhindert werden, dass der Operationsverstärker IC 3,

für den hier keine negative Versorgungsspannung zur Verfügung steht, an die untere Grenze seines Arbeitsbereichs gerät. Der Operationsverstärker IC 3 ist als Impedanzwandler geschaltet und übergibt das Messsignal mit einer Spannungsverstärkung von 1 quasi unverändert an den

AD-Wandler. Der Impedanzwandler ist erforderlich, da der AD-Wandler selbst wegen seiner internen Schutzdioden nicht für einen so hochohmigen Eingangsspannungsteiler geeignet ist. Die Spannungsversorgung der Eingangsschaltung wird von einem Anschlusspin des Mikrocontrollers

IC 1 nur für den Zeitraum der Messung eingeschaltet, um die Stromaufnahme gering zu halten.

Die Kondensatoren C 1, C 14 und C 13 filtern das Eingangssignal und die Versorgungsspannung des Operationsverstärkers IC 3 und erhöhen damit die Störfestigkeit der Schaltung.

Die Betriebsspannung des FM3 TX wird durch die Dioden D 1, D 4 oder D 5 entweder über die Kleinspannungsbuchse BU 3, die Batterien BAT 1 bis BAT 3 oder die Eingangsbuchsen bezogen. Die Spannung aus den Eingangsbuchsen kann mit dem Jumper JP 1 je nach Bedarf zu- oder abgeschaltet werden.

Über die Sicherung SI 1 und den Schalttransistor T 1 wird die Betriebsspannung weitergeleitet an den Spannungsregler IC 2. Der Schalttransistor T 1 mit seinem Basisspannungsteiler aus den Widerständen R 13 und R 6 wird beim Einschalten vom Taster TA 1 durchgesteuert und später mittels Transistor T 2 weiterhin im Sinne einer Selbsthaltung durchgesteuert. Die Basis von Transistor T 2 wird dabei über einen internen Pull-up-Widerstand des Mikrocontrollers IC 1 so lange mit Strom versorgt, bis der FM3 TX wieder ausgeschaltet wird. Im ausgeschalteten Zustand sorgt der Widerstand R 12 dafür, dass kein ungewollter Strom durch die Basis vom Transistor T 2 fließt.

Mit dem Spannungsteiler aus den Widerständen R 7 und R 8 wird die Betriebsspannung abgegriffen und dem AD-Wandler des Mikrocontrollers IC 1 zugeführt, damit der Zustand der Batterien ermittelt werden kann. Der Kondensator C 9 filtert dabei die zu messende Spannung.

Der Spannungsregler IC 2 ist zum Filtern der Betriebsspannung und zur Schwingneigungsunterdrückung mit den Kondensatoren C 8 und C 10 sowie den Elkos C 7 und C 11 beschaltet. Die weiteren Kondensatoren C 2 und C 12 filtern zusätzlich die Betriebsspannung am Sendemodul HFS 1 und am Mikrocontroller IC 1.

Der interne Analog-Digital-Wandler wird über einen eigenen Anschlusspin mit Spannung versorgt, die mittels der Spule L 1 und des Kondensators C 4 gefiltert wird. Die interne Referenzspannung wird über einen weiteren Anschlusspin herausgeführt und durch den Kondensator C 3 stabilisiert.

Des Weiteren sind an den Mikrocontroller IC 1 noch die Taster TA 2 und TA 3 sowie der Schiebeschalter S 2 angeschlossen, die beim Schalten die jeweiligen internen Pull-up-Widerstände des Mikrocontrollers gegen Masse kurzschließen können. Um die Stromaufnahme gering zu halten, werden die internen Pull-up-Widerstände, die mit dem Schiebeschalter S 2 verbunden sind, nur bei der zyklischen Abfrage des Schie-

beschalters aktiviert. In den Pausen liegen diese Anschlüsse auf Masse.

Das Mess- bzw. Sendeintervall wird mit einem internen Timer des Mikrocontrollers IC 1 erzeugt, dessen Frequenz Quarz Q 1 bestimmt. Die Kondensatoren C 5 und C 6 bilden die erforderlichen Lastkapazitäten für den Quarz.

Die Status-LED D 2 wird vom Mikrocontroller IC 1 über den Vorwiderstand R 5 angesteuert.

Der Widerstand R 4 soll einen ungewollten Reset des Mikrocontrollers IC 1 während des Betriebs verhindern. Eine interne Power-on-Reset-Schaltung sorgt beim Einschalten für eine ausreichend lange Reset-Phase.

Funk-Messwert-Empfänger FM3 RX

Die Schaltung des Funk-Messwert-Empfängers FM3 RX (Abbildung 5) ähnelt der Schaltung des Funk-Messwert-Senders FM3 TX in einigen Punkten. So wird z. B. der gleiche Mikrocontroller eingesetzt und auch die Abfrage von Schiebeschalter S 1 und der Taster TA 2 und TA 3, die Signalisierung mit der Status-LED D 8 und ihrem Vorwiderstand R 14 sowie der Widerstand R 12 am Reset-Anschluss funktionieren beim FM3 RX in gleicher Weise wie beim FM3 TX.

Der Keramikresonator Q 2 bestimmt den Arbeitstakt des Mikrocontrollers IC 2. Beim Filtern der Versorgungsspannung für den internen Analog-Digital-Wandler des Mikrocontrollers wurde auf eine Spule verzichtet, da dieser hier nur zum Messen der Betriebsspannung zum Einsatz kommt.

Anstelle eines Sendemoduls ist beim FM3 RX der Empfänger HFE 1 eingebaut. Die Versorgungsspannung des Empfängers schaltet der Mikrocontroller IC 2 bei Batteriebetrieb in den Sendepausen des aktuell überwachten Funk-Messwert-Senders FM3 TX über den Transistor T 1 ab, um die Batterielebensdauer zu erhöhen. Der Kondensator C 9 soll hochfrequente Störungen von der Versorgungsspannung des Empfängers fernhalten.

Die Betriebsspannung des FM3 RX kann wie beim FM3 TX aus verschiedenen Quellen bezogen werden, die über die Dioden D 1, D 2 und D 3 entkoppelt sind. Neben den Batterien BAT 1 bis BAT 3 und der Kleinspannungsbuchse BU 2 gibt es beim FM3 RX noch die Versorgung über USB. Damit sichergestellt ist, dass der Mikrocontroller IC 2 immer eingeschaltet ist, wenn die Schaltung über USB versorgt wird, ist zusätzlich der Transistor T 3 eingebaut, dessen Basis über den Vorwiderstand R 19 mit der USB-Spannung verbunden ist, so dass der Schalttransistor T 2 immer durchgeschaltet wird, wenn die USB-Spannung anliegt. Der Rest der Spannungsver-

sorgungsschaltung inklusive Batteriemessung und Spannungsregler funktioniert genauso wie beim FM3 TX.

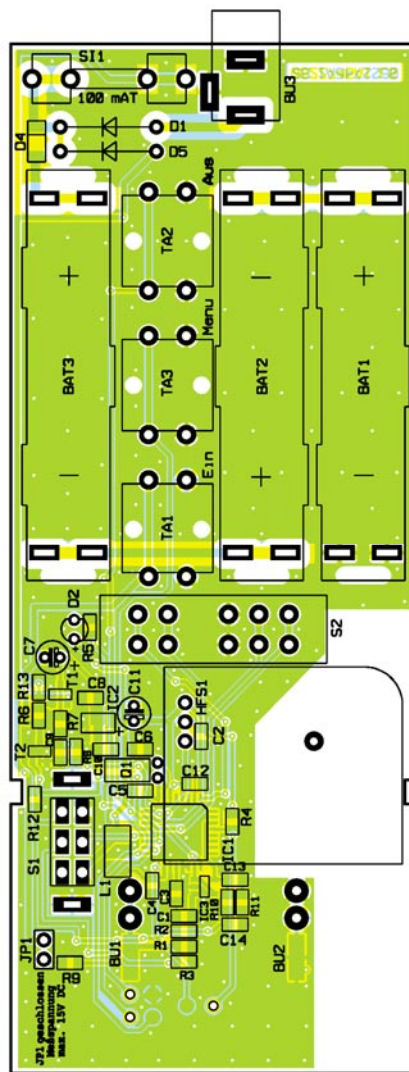
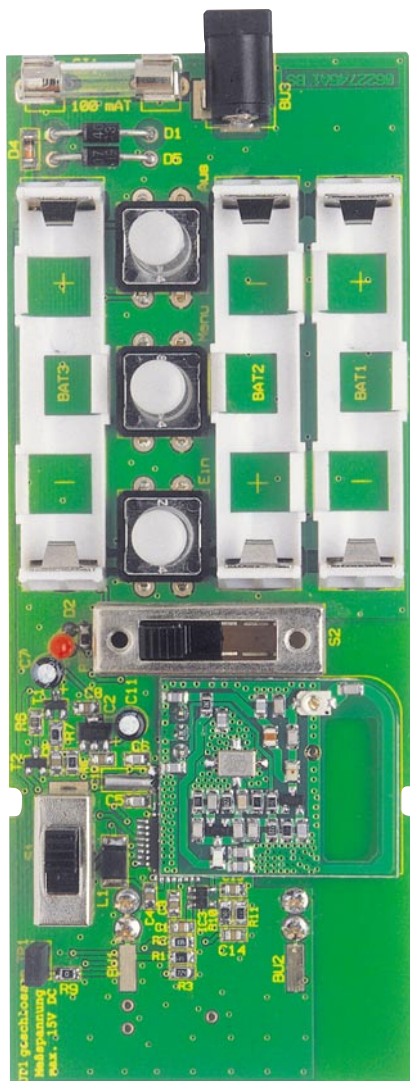
Für das Erzeugen der analogen Ausgangsspannung wird der Operationsverstärker IC 5 benutzt. Damit dieser auch zuverlässig eine Spannung von 0 Volt liefern kann, kommt hier eine Ladungspumpe zum Einsatz, die eine negative Betriebsspannung für den Operationsverstärker erzeugt. Die Ladungspumpe wird mit einem Rechtecksignal aus dem Mikrocontroller IC 2 angesteuert. Dabei fließt ein Basisstrom über den gemeinsamen Vorwiderstand R 23 abwechselnd durch die Transistoren T 5 und T 6. Die Dioden D 4 und D 5 sind so angeordnet, dass der Elko C 23 zunächst aufgeladen wird, und diese Ladung anschließend in den Elko C 24 fließt. Dieser Vorgang wiederholt sich im Takt der anliegenden Rechteckspannung, so dass am Elko C 24 eine ausreichend stabile negative Spannung zur Verfügung steht.

Das zu messende Analog-Signal wird zunächst mit einem internen Timer des Mikrocontrollers IC 2 als PWM-Signal auf einen Tiefpass, bestehend aus dem Widerstand R 13 und dem Elko C 12 sowie dem Kondensator C 13, gegeben. Zum weiteren Ausfiltern der PWM-Frequenz ist ein Operationsverstärker nachgeschaltet. Die Widerstände R 15 und R 16 bestimmen die Verstärkung von 2, und der Elko C 14 sowie der Kondensator C 15 sorgen für die erforderliche Tiefpass-Charakteristik. Die Dimensionierung des Frequenzganges ist ein Kompromiss aus ausreichender Reaktionsgeschwindigkeit des Ausgangssignals und einer geringen Restwelligkeit, die ein Multimeter im DC-Messbereich jedoch nicht stören sollte.

Die Widerstände R 17 und R 18 zusammen mit dem Kondensator C 16 und der Diode D 9 schützen den Ausgang gegen von dort möglicherweise anliegende Spannungen (ESD).

Der USB-Controller IC 4 wird über die USB-Spannung versorgt. Diese wird mit den Kondensatoren C 1 bis C 4 und durch die Spule L 1 gefiltert. Mit der Sicherung SI 2 wird vermieden, dass die Schaltung im Fehlerfall einen Schaden am USB-Host verursacht. Die Dioden D 6 und D 7 sorgen dafür, dass der USB-Controller bei fehlender USB-Spannung nicht ungewollt über die Datenleitungen vom Mikrocontroller IC 2 mit Spannung versorgt wird. Der Widerstand R 10 verhindert, dass bei inaktivem USB-Controller ein undefinierter Pegel am Dateneingang des Mikrocontrollers liegt.

Wenn der USB-Controller IC 4 mit dem USB verbunden ist, erkennt der Mikrocontroller IC 2 dies an dem Pegel, der sich am Spannungsteiler aus R 7 und R 8 einstellt. Außerdem kann der USB-Controller Daten



Ansicht der fertig bestückten Platine des Senders FM3 TX mit zugehörigem Bestückungsplan

über den Widerstand R 9 und die Diode D 6 an den Mikrocontroller senden. Ein interner Pull-up-Widerstand im USB-Controller ermöglicht die Datenübertragung vom Mikrocontroller über die Diode D 7 nach dem „Active-Low“-Prinzip.

Ein weiterer Bestandteil der Beschaltung des USB-Controllers ist das EEPROM IC 3. Hier sind die spezifischen Daten des FM3 RX gespeichert, die später am PC u. a. im Windows-Gerätanager angezeigt werden. Die weitere Beschaltung des USB-Controllers entspricht den Empfehlungen des Herstellers (<http://www.ftdichip.com>).

Nachbau

Sowohl beim FM3 TX als auch beim FM3 RX sind die SMD-Bauteile bereits vorbestückt, sollten aber zur Sicherheit vor dem weiteren Zusammenbau auf eventuelle Bestückungsfehler und fehlerhafte Lötstellen überprüft werden.

Das Bestücken der bedrahteten Bauteile muss sorgfältig und präzise erfolgen,

damit die Passgenauigkeit von Schaltern, Tastern und Buchsen im Gehäuse gewährleistet ist.

Als Hilfe bei der Bestückung dienen die Platinenfotos, der Bestückungsdruck und die Stückliste. Alle noch zu bestückenden Bauteile werden von der Bestückungsseite der Platine her eingesetzt und auf der Lötseite verlötet.

Vor dem Bestücken der Bauteile sollten die Anschlussbuchsen in die Gehäuseoberflächen der beiden Geräte eingebaut werden. Dabei ist jeweils die rote Buchse für den positiven und die schwarze Buchse für den negativen Anschluss entsprechend dem Gehäusedruck vorgesehen. Die Anschlussbuchsen werden mit einer Unterlegscheibe und einer Mutter geliefert, die zunächst beide zu entfernen sind. Die Buchsen werden dann von der Außenseite her in das Gehäuse gesteckt und von innen mit der Unterlegscheibe und der Mutter festgeschraubt. Vor dem endgültigen Festziehen der Muttern müssen die Anschlussflächen durch drehen der Buchsen so ausgerichtet werden, dass sie senkrecht nach

Stückliste: Sender für Funk-Messwertübertragung FM3 TX

Widerstände:

0 Ω/SMD/0805.....	R9
560 Ω/SMD/0805.....	R5
3,3 kΩ/SMD/0805.....	R11
10 kΩ/SMD/0805.....	R4, R6
220 kΩ/SMD/0805.....	R3
560 kΩ/SMD/0805.....	R8
1 MΩ/SMD/0805.....	R10
2,2 MΩ/SMD/0805.....	R7
3,3 MΩ/SMD/0805.....	R2
6,8 MΩ/SMD/0805.....	R1

Kondensatoren:

22 pF/SMD/0805.....	C5, C6
1 nF/SMD/0805.....	C1, C14
100 nF/SMD/0805 ...	C2–C4, C8–C10, C12, C13
10 µF/16 V.....	C7, C11

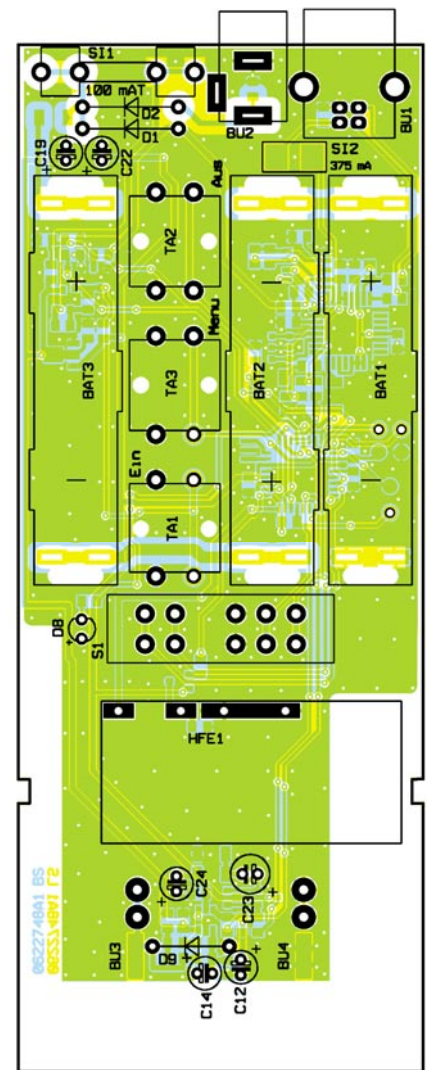
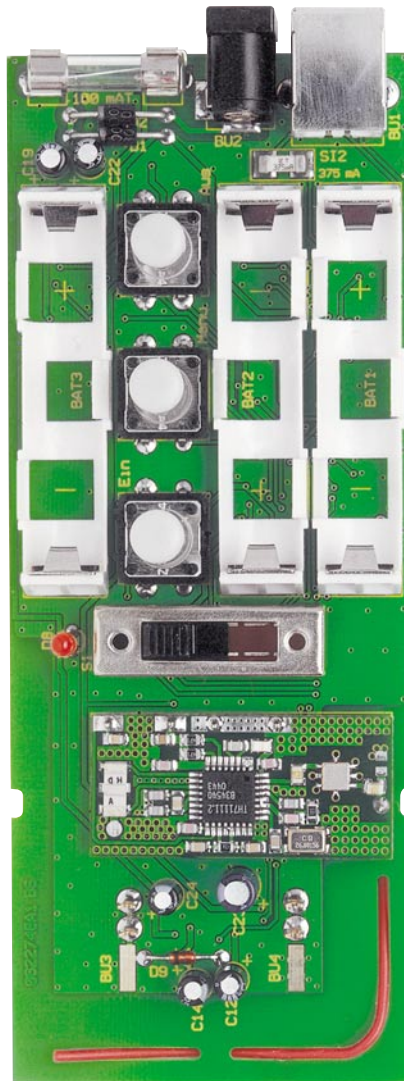
Halbleiter:

ELV05538/SMD.....	IC1
HT7530/SMD.....	IC2
TLV271/SMD.....	IC3
BC858C.....	T1
BC848C.....	T2
1N4007.....	D1, D5
BAT43/SMD.....	D4
LED, 3 mm, Rot.....	D2

Sonstiges:

Quarz, 32,768 kHz.....	Q1
SMD-Induktivität, 10 µH.....	L1
Sicherheits-Bananenbuchse, 4 mm, Rot.....	BU1
Sicherheits-Bananenbuchse, 4 mm, Schwarz.....	BU2
Hohlsteckerbuchse, 2,1 mm, print.....	BU3
Schiebeschalter, 2 x um, hoch, print.....	S1
Schiebeschalter, 4 Stellungen, print.....	S2
Mini-Drucktaster, B3F-4050, 1 x ein.....	TA1–TA3
Tastknopf, 18 mm.....	TA1–TA3
Sicherung, 100 mA, träge.....	SI1
Platinensicherungshalter (2 Hälften),.....	SI1
Stiftleiste, 1 x 2-polig, gerade, print.....	JP1
Jumper, geschlossene Ausführung.....	JP1
Sendemodul TX868-75, 868 MHz.....	HFS1
4 Gabelfedern, print.....	BU1, BU2
3 Micro-Batterie-Kontakt-rahmen.....	BAT1–BAT3
6 Micro-Batteriekontakte, print.....	BAT1–BAT3
1 Profil-Gehäuse, Lichtgrau, seidenmatt, komplett, bearbeitet und bedruckt	

Ansicht der fertig bestückten Platine des Empfängers FM3 RX mit zugehörigem Bestückungsplan von der Bestückungsseite



oben stehen. Später müssen Gabelfedern, die auf der jeweiligen Platine angebracht werden, über diese Anschlussfahnen fassen können.

Funk-Messwert-Sender FM3 TX

Zuerst erfolgt das plane Einsetzen des Quarzes Q 1, dann das der Dioden D 1 und D 5. Die richtige Einbaulage der Dioden ist am Farbring zu erkennen, der jeweils die Katode markiert. Danach werden die beiden Elkos C 7 und C 11 bestückt. Hier ist die Markierung des Minuspols an den Elkos für eine korrekte Polung zu beachten. Anschließend können die Taster TA 1 bis TA 3 eingesetzt werden. Es folgen die Stifte für den Jumper JP 1, die Niederspannungsbuchse BU 3 und die beiden Teile des Sicherungshalter für SI 1. Beim Sicherungshalter ist darauf zu achten, dass die beiden abgewinkelten Metallnasen nach außen weisen, so dass die Sicherung hineinpasst. Am besten lässt sich der Sicherungshalter komplett mit eingelegter Sicherung montieren.

Beim Einbau der Gabelfedern, die über die Eingangsbuchsen BU 1 und BU 2 fassen müssen, ist besondere Sorgfalt gefor-

dert. Die Gabelfedern dürfen nicht gekürzt werden. Daher sind sie nur so weit durch die Platine zu stecken, dass man sie von oben und von unten verlöten kann. Wichtig ist auch, dass die Gabelfedern im 90°-Winkel zu den Anschlussfahnen der Eingangsbuchsen stehen und genau senkrecht eingelötet werden. Nach dem Einlöten der Gabelfedern sollte die Passgenauigkeit mit der Gehäuseoberschale überprüft werden. Falls die Platine nicht spannungsfrei sitzt, kann man die Lötstellen im zusammenge- steckten Zustand noch einmal erhitzen und damit die Lage der betroffenen Gabelfeder vorsichtig korrigieren.

Anschließend erfolgt die Montage des Sendemoduls HFS 1 über die drei Kontaktstifte des Moduls. Dabei sollte ein Abstand von etwa 5 mm zwischen Sendemodul und Hauptplatine eingehalten werden. Der zusätzliche vierte Befestigungspunkt muss nicht unbedingt verwendet werden. Für einen stabileren Sitz des Sendemoduls kann man jedoch hier ein Reststück eines der 3 vorhandenen Stifte verwenden.

Danach sind die Batteriehalter BAT 1 bis BAT 3 und die Schiebeschalter S 1 und S 2 zu bestücken. Die Status-LED D 2 muss,

wie in Abbildung 6 dargestellt, mit einer Höhe der Gehäusespitze von etwa 18 mm über der Platinenoberfläche eingelötet werden. Der längere Anschluss der LED ist die Anode und gehört in die mit „+“ markierte Bohrung. Als Montagehilfe für die LED kann die Gehäuseoberschale verwendet werden.

Zuletzt erfolgt noch das Aufstecken der Tastkappen auf die Taster. Damit ist der Funk-Messwert-Sender betriebsbereit und kann, wie im Abschnitt „Bedienung“ beschrieben, in Betrieb genommen werden. Für eine aussagekräftige Funktionskontrolle empfiehlt es sich jedoch, zunächst den zugehörigen Funk-Messwert-Empfänger FM3 RX aufzubauen.

Funk-Messwert-Empfänger FM3 RX

Zuerst werden hier die Dioden D 1, D 2 und D 9 bestückt. Ein Farbring markiert die Katode, die Einbaulage muss mit dem Bestückungsdruck übereinstimmen. Es folgen die Elkos C 19, C 22, C 12, C 14, C 23 und C 24. Hier muss die Polarität beachtet werden. Der Minuspol ist auf den Elkos markiert.

Der Empfänger HFE 1 wird mit den

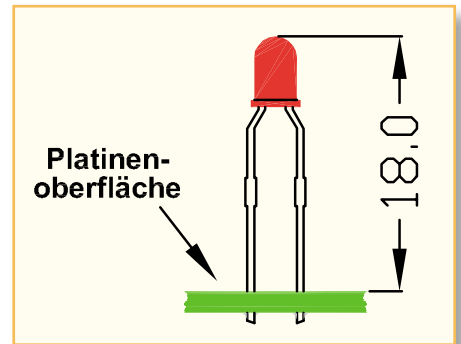
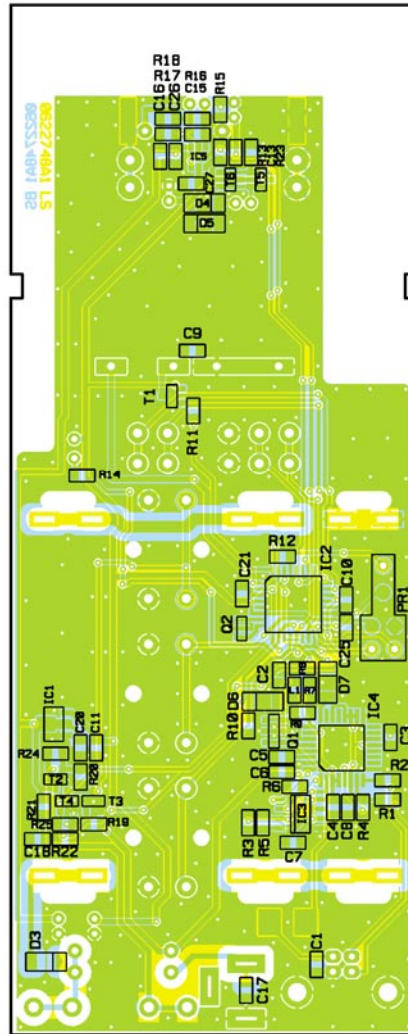
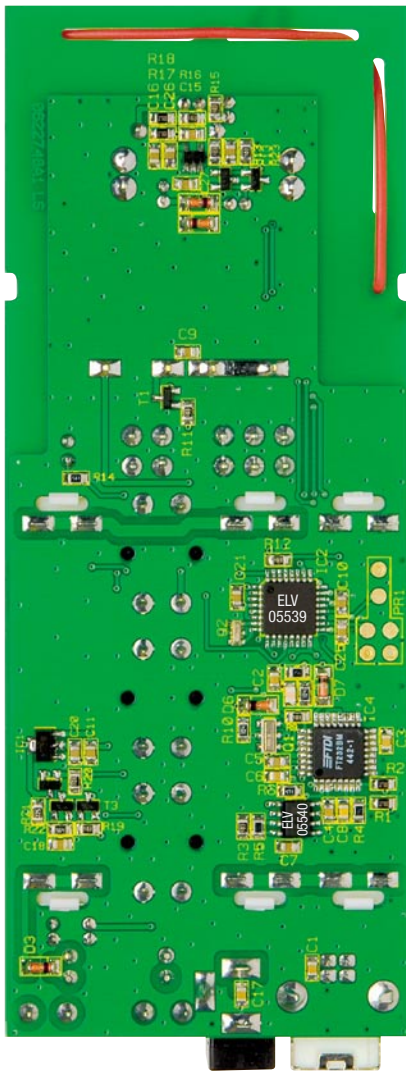


Bild 6: Einbaulage der Signal-LED

Ansicht der fertig bestückten Platine des Empfängers FM3 RX mit zugehörigem Bestückungsplan von der Lötseite

4 Anschluss-Stiften auf der Platine befestigt. Die Kunststoffstücke geben dabei den Abstand vor. Zum Einbau des Empfängers muss zuerst die Antenne von der Bestückungsseite her durch die zugehörige Bohrung gezogen werden. Anschließend lötet man den Empfänger mit den Stiften fest ein. Die überstehenden Enden der Stifte werden abgeschnitten. Die Antenne ist wie auf den Platinen-Fotos zu sehen, durch die Schlitze in der Platine zu führen.

Der Einbau der weiteren Bauteile wie Taster, Buchsen, Sicherungshalter, Batteriehalter, Schiebeschalter und LED wird wie für den FM3 TX beschrieben vorgenommen. Beim FM3 RX gibt es allerdings zusätzlich noch die USB-Buchse BU 1.

Der Einbau der Gabelfedern zum Kontaktieren der Ausgangsbuchsen muss ebenso sorgfältig vorgenommen werden, wie für den FM3 TX beschrieben.

Nach dem Aufstecken der Tastkappen ist auch der FM3 RX betriebsbereit und kann wie im Abschnitt „Bedienung“ in Betrieb genommen werden. **ELV**

Stückliste: Empfänger für Funk-Messwertübertragung FM3 RX

Widerstände:

- 27 Ω/SMD/0805..... R1, R2, R17, R18
- 470 Ω/SMD/0805..... R6
- 560 Ω/SMD/0805..... R14
- 1,5 kΩ/SMD/0805..... R4
- 2,2 kΩ/SMD/0805..... R5
- 10 kΩ/SMD/0805...R3, R9, R11–R13, R15, R16, R19, R20
- 100 kΩ/SMD/0805..... R7, R10
- 150 kΩ/SMD/0805..... R8
- 560 kΩ/SMD/0805..... R22
- 2,2 MΩ/SMD/0805..... R21

Kondensatoren:

- 1 nF/SMD/0805 C16
- 10 nF/SMD/0805 C1–C4, C6, C17
- 33 nF/SMD/0805 C8
- 100 nF/SMD/0805 ...C5, C7, C9–C11, C13, C15, C18, C20, C21, C25–C27
- 1 µF/100 V C23
- 10 µF/16 V...C12, C14, C19, C22, C24

Halbleiter:

- HT7530/SMD IC1
- ELV05539/SMD/Prozessor..... IC2
- ELV05540/SMD/USB-EEPROM...IC3
- FT232BM/SMD IC4
- TLV271/SMD IC5
- BC858C..... T1, T2, T6
- BC848C..... T3–T5
- 1N4007..... D1, D2
- BAT43/SMD D3–D7
- 1N4148..... D9
- LED, 3 mm, Rot..... D8

Sonstiges:

- Keramikschwinger, 6 MHz, SMD ...Q1
- Keramikschwinger, 8 MHz, SMD ...Q2
- SMD-Induktivität, 10 nH, 0805 L1
- USB-B-Buchse, winkelprintBU1
- Sicherheits-Bananenbuchse, 4 mm, Rot.....BU3
- 4 mm, Schwarz.....BU4

- Hohlsteckerbuchse, 2,1 mm, print ..BU2
- 4 Stiftleisten, einpolig, gerade ...HFE1
- Schiebeschalter, 4 Stellungen, print... S1
- Mini-Drucktaster, B3F-4050, 1 x ein..... TA1–TA3
- Tastknopf, 18 mm TA1–TA3
- Sicherung, 100 mA, trägeSI1
- Sicherung, 375 mA, träge, SMD....SI2
- Platinensicherungshalter (2 Hälften)SI1
- Empfangsmodul RX868SH-C3 mit flexibler Antenne.....HFE1
- 4 Gabelfedern, print BU3, BU4
- 3 Micro-Batterie-Kontaktrahmen..... BAT1–BAT3
- 6 Micro-Batteriekontakte, print..... BAT1–BAT3
- 1 CD Bedienssoftware FM3 RX
- 1 USB-2.0-Kabel (Typ A→Typ B), 1,5 m
- 1 Profil-Gehäuse, Lichtgrau, seidenmatt, kpl., bearbeitet und bedruckt