

Herzfrequenz abgetastet – Pulsmesser PM1

Der PM1 ist eine einfache, batteriebetriebene Schaltung zur Messung bzw. Veranschaulichung von EKG-Signalen. Durch Auflegen der Finger auf die seitlichen Elektroden wird aus der gemessenen EKG-Spannung die Herzfrequenz ermittelt und auf einem LC-Display zur Anzeige gebracht. Zusätzlich wird der Herzschlag optisch mit einer LED bzw. akustisch durch einen Signalgeber angezeigt.

EKG home-made?

Nein, das ist hier nicht das Thema, der PM1 ist kein medizinisches Gerät, schon gar keines, das einen Arztbesuch bei entsprechenden Beschwerden erspart. Und es geht auch weniger um die Überwachung der Herzfrequenz im Rahmen sportlicher Aktivitäten, wenn auch gewisse technische Prinzipien sich gleichen. Vielmehr soll unser kleiner Pulsmesser als ein praktisches Anschauungs- und Lernprojekt dienen, um das Funktionsprinzip der EKG-Erfassung zu vermitteln. Deshalb auch ist der Aufbau bewusst einfach gehalten und die Schaltungsdiskussion konzentriert sich auf die Möglichkeiten, derart kleine Messimpulse, wie sie es

hier zu erfassen gilt, fachgerecht ohne Irrtümer auszuwerten.

Funktionsweise

Bei jedem Herzschlag breitet sich im menschlichen Körper eine elektrische Spannung aus, die vom Herzen, besser gesagt vom sogenannten Sinusknoten (siehe Bild 1) ausgeht. Ohne diese elektrischen Impulse würde unser Herz nicht schlagen. Die vom Herzen generierten Spannungen sind sehr gering und können nur mittels spezieller Elektroden auf der Hautoberfläche gemessen werden. Das Aufnehmen und die Darstellung wird in der Medizintechnik als EKG bezeichnet (siehe „Elektronikwissen“).

Bei einem professionellen EKG-Gerät werden über drei bis vier Elektroden an verschiedenen Stellen am Körper die Spannungen auf der Haut gemessen. Im einfachsten Fall wird jeweils eine Elektrode an jedem Arm und eine Elektrode am linken Bein platziert. Eine hochwertige Elektronik verstärkt die sehr schwachen Signale, die dann z. B. auf einem Bildschirm dargestellt

Daten

Spannungsversorgung: 3-V-Lithium-Batterie
 Stromaufnahme: max. 1 mA
 Anzeige: LC-Display + Tonsignalgeber
 Sonstiges: Low-Bat-Anzeige/Auto-Power-Off
 Abm. (B x H x T): 57 x 23,5 x 112 mm

oder auf einem speziellen Drucker ausgedruckt werden.

Normalerweise werden als Eingangsverstärker in solchen Geräten sehr gute und deshalb teure Differenzverstärker (engl. instrumentation amplifier, Instrumentenverstärker), wie z. B. der INA321 eingesetzt. Dieser Baustein hat eine hohe Gleichtaktnunterdrückung und verhindert so die Störwirkung, z. B. der Netzfrequenz, die über elektrische Leitungen in die Elektronik einstreuen kann.

Unsere kleine Schaltung ist aus Kostengründen jedoch mit konventionellen Operationsverstärkern aufgebaut, mit denen ein Differenzverstärker nachgebildet wird. Aus Sicherheitsgründen dürfen solche Eigenbausaltungen nur mit Batteriespannung versorgt werden!

Die in der Medizintechnik eingesetzten Elektroden sind in der Regel nur einmal verwendbar, da sich auf der Kontaktfläche ein spezielles Gel befindet, das die elektrische Leitfähigkeit zur Haut steigert. Dieses Gel wird durch Abziehen einer Schutzfolie freigesetzt, weshalb dieser Typ von Sensor nur einmal verwendet werden kann.

Wir verwenden zur Kontaktierung mit der Haut einfache vergoldete Kupferflächen (Platinenmaterial), an

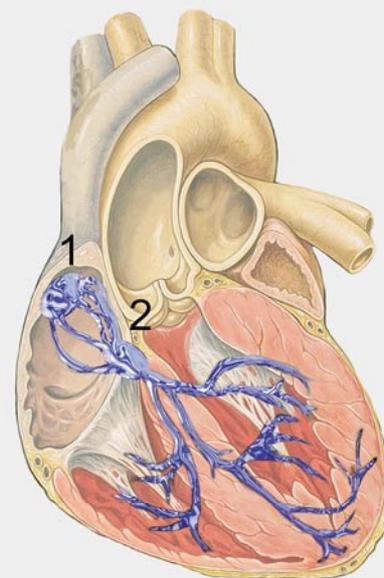


Bild 1: Das Reizleitungssystem des menschlichen Herzens (blau). Der Sinusknoten (1) ist der zentrale, elektrische Taktgeber für die Herzmuskeln.
Quelle: Wikipedia, J. Heuser

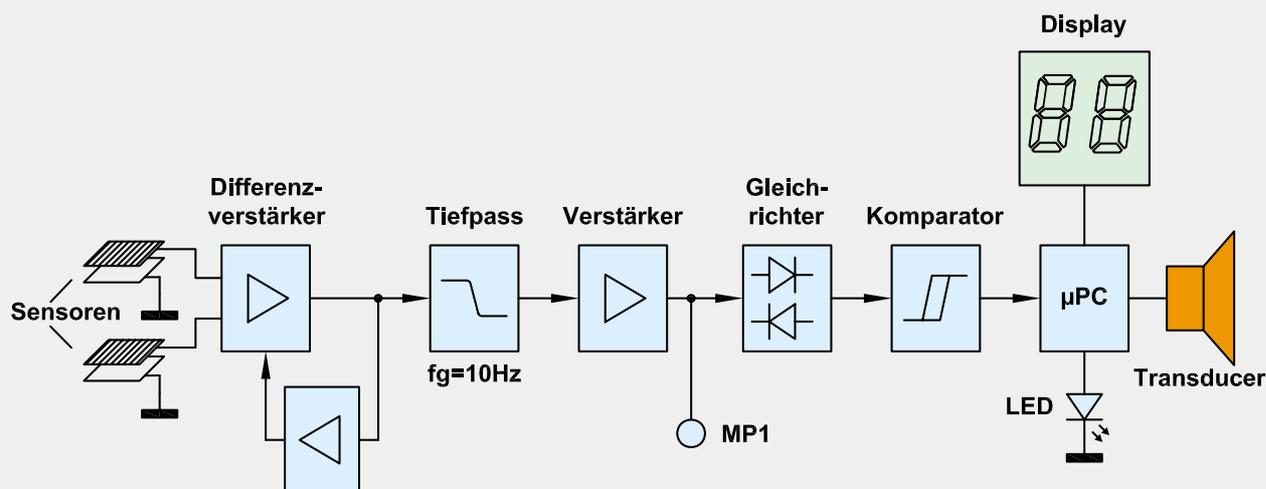


Bild 2: Blockschaltbild des Pulsmessers PM1

die man jeweils die Finger einer Hand hält. In Bild 2 ist das Blockschaltbild des Pulsmessers dargestellt.

Neben der Netzfrequenz gibt es noch weitere Störfaktoren, die berücksichtigt werden müssen. Durch sich ändernde Übergangswiderstände zwischen Elektrode und Haut, die durch Muskelbewegungen entstehen, bilden sich sehr niederfrequente Störspannungen, die als DC-Drift am Ausgang des Eingangsverstärkers sichtbar sind. Dieser Effekt wird auch als Baseline-Drift bezeichnet. Diese Gleichspannungsüberlagerungen müssen unbedingt minimiert werden. In einem professionellen Gerät wird hierzu eine Gegenspannung erzeugt, die in der Regel über den Sensor am Bein wieder zugeführt wird.

In unserem Pulsmesser wird dies innerhalb der Schaltung durchgeführt (siehe „Blockschaltbild“).

Betrachten wir den Signalverlauf in unserer Schaltung anhand des Blockschaltbildes. Dem Eingangsdifferenzverstärker ist ein Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von 10 Hz nachgeschaltet, der vor allem die 50-Hz-Netzfrequenz unterdrückt. Anschließend wird die Signalspannung nochmals verstärkt. Am Messpunkt MP 1 und MP 2 (GND) kann zu Testzwecken das Oszillogramm gemessen werden.

Ein Gleichrichter (bestehend aus zwei Dioden) und der nachfolgende Komparator wandeln die positiven und negativen Spannungsspitzen in Rechtecksignale um, die dann vom Mikrocontroller weiterverarbeitet werden. Dieser Controller errechnet aus den Pulsabständen die Herzfrequenz, die auf dem LC-Display angezeigt wird. Zusätzlich wird jeder Herzschlag durch kurzes Aufblinker der LED und ein akustisches Signal angezeigt.

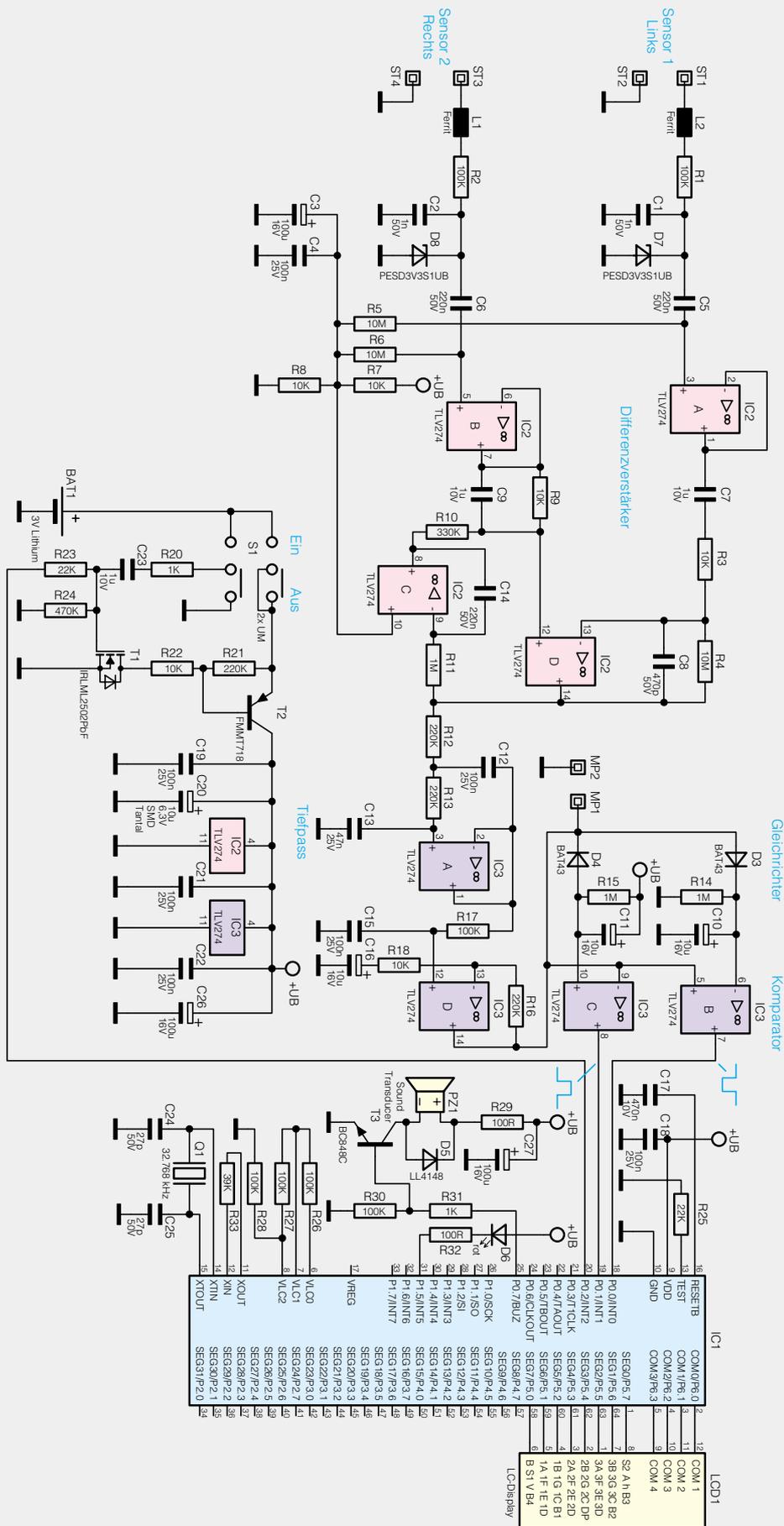


Bild 3: Das komplette Schaltbild des Pulsmessers PM1

Schaltung

Das komplette Schaltbild des Pulsmessers ist in Bild 3 dargestellt. Beginnen wir mit dem Eingangsverstärker auf der linken Seite des Schaltbildes. Die beiden Operationsverstärker IC 2 A und IC 2 B sind als Impedanzwandler geschaltet, die einen sehr hohen Eingangswiderstand aufweisen. Über C 5 und C 6 werden eventuelle Gleichspannungen von den Eingangsklemmen ST 1 und ST 2 abgeblockt und nur die wechsellspannungsmäßigen Signale „durchgelassen“. Durch diese Maßnahme wird die „Baseline-Drift“ (siehe Abschnitt „Funktion“) minimiert. Alle anderen Bauteile wie L 1/L 2 , R 1/R 2, C 1/C 2 sowie die Transildioden D 1 und D 2 dienen dem Schutz vor Überspannungen am Eingang. Mit dem Spannungsteiler R 7 und R 8 wird der Arbeitspunkt (UB/2) für die Schaltung festgelegt. Über R 5 und R 6 gelangt diese Spannung auf die Eingänge der beiden Impedanzwandler.

Der eigentliche Differenzverstärker wird von IC 2 D gebildet, der eine 1000fache Verstärkung aufweist. Vom Ausgang (Pin 14) von IC 2 D gelangt das Signal auf den Tiefpass, der von IC 3 A mit Zusatzbeschaltung gebildet wird. Anschließend wird das Signal mit IC 3 D nochmals um den Faktor 22 verstärkt. Die beiden Dioden D 3 und D 4 bilden den im Blockschaltbild (Bild 2) dargestellten Gleichrichter. Es werden beide Halbwellen gleichgerichtet und mit C 10 und C 11 geglättet. An den Ausgängen der Komparatoren (Pin 7 und Pin 8) liegen entsprechende Rechtecksignale an, die zur digitalen Weiterverarbeitung mit dem Controller IC 1 geeignet sind.

Mithilfe der integrierten Software (Firmware) des Mikrocontrollers IC 1 werden diese Signale ausgewertet und die Pulsfrequenz errechnet, sowie die LED D 6 und der Tonsignalgeber PZ 1 im Takt der Herzfrequenz angesteuert.

Die Spannungsversorgung der Schaltung erfolgt über eine auf der Platine befindliche Batterie (BAT 1).

Mit den Transistoren T 1 und T 2 ist eine Auto-Power-off-Funktion realisiert, die folgendermaßen funktioniert: Durch Betätigen des

Schalters S 1 von „Aus“ nach „Ein“ wird zum einen Spannung an den Emitter von T 2 gelegt und zum anderen gelangt ein Spannungsimpuls (infolge der Aufladung von C 23) an das Gate von T 1. Der MOSFET (T 1) schaltet durch, wodurch sich eine Emitter-Basisspannung an T 2 aufbaut – T 2 wird leitend. Jetzt liegt auch am Kollektor von T 2 Spannung an, und die Schaltung wird mit Spannung versorgt. Im ausgeschalteten Zustand liegt am Port-Ausgang P 0.2 (Pin 20) Low-Pegel, sodass über R 23 das Gate von T 1 nicht mit Spannung versorgt wird. Allein durch den kurzen Spannungsimpuls über C 23 und S 1 wird T 1 kurz leitend. Diese kurze Zeit reicht aber aus, damit der Controller aktiv wird und jetzt eine Spannung an Port 0.2 generiert, die dafür sorgt, dass T 1 dauerhaft mit Spannung versorgt wird. Dies wird als sogenannte Selbsthaltung bezeichnet. Nach 60 Sekunden (Auto-Power-off-Zeit) schaltet der Controller die Spannung an Port 0.2 ab, wodurch die Selbsthaltung aufgelöst und die Spannungsversorgung unterbrochen wird. Nur durch ein wiederholtes Aus- und Wiedereinschalten mit Schalter S 1 kann das Gerät wieder eingeschaltet werden.

Der in Reihe zur Batterie geschaltete Widerstand R 19 dient als Sicherung und darf im Fehlerfall nur durch ein Originalersatzteil ersetzt werden.

Nachbau

Die Platine wird bereits mit SMD-Bauteilen bestückt geliefert, sodass nur die bedrahteten Bauteile bestückt werden müssen.

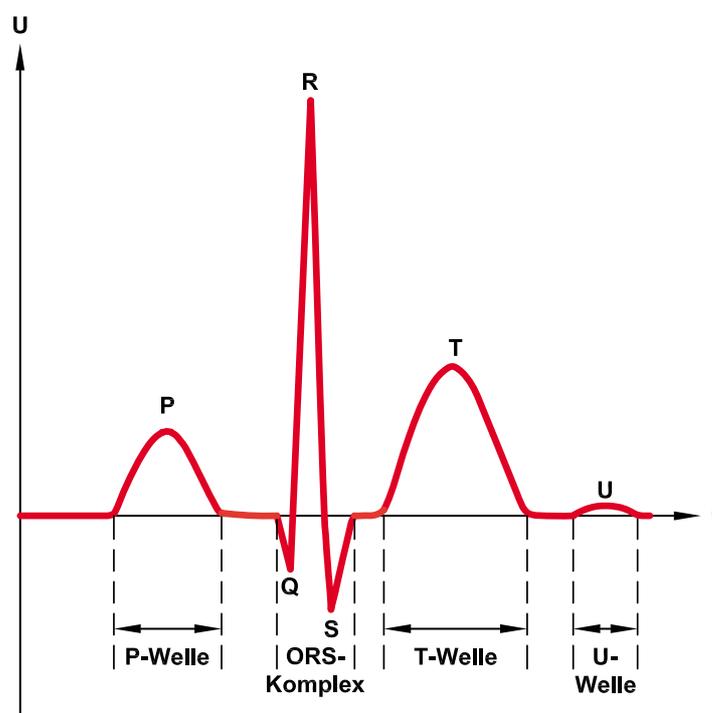
Die Bestückung der bedrahteten Bauteile erfolgt in gewohnter Weise anhand der Stückliste und des Bestückungsplans. Die Bauteilanschlüsse werden entsprechend dem Rastermaß abgewinkelt und durch die im Bestückungsdruck vorgegebenen Bohrungen geführt. Nach dem Verlöten der Anschlüsse auf der Platinenunterseite (Lötseite) werden überstehende Drahtenden mit einem Seitenschneider sauber abgeschnitten,

EKG – Elektrokardiogramm

Das EKG (Elektrokardiogramm) zeigt die Herzaktivität anhand von elektrischen Signalen, die mittels Sensoren auf der Hautoberfläche gemessen werden. Ein EKG ist die zeitliche Darstellung (Herzspannungskurve) der gemessenen Spannungen und wird vorwiegend zur medizinischen Diagnostik des Herzens eingesetzt. Die EKG-Kurve kann entweder auf einem Bildschirm dargestellt oder auf einem Papierstreifen ausgedruckt werden.

Die Herzmuskelzellen werden durch ein elektrisches Signal erregt, welches vom sogenannten Sinusknoten (Sinuatrial-Knoten) erzeugt wird. Der Sinusknoten ist ein bestimmter Bereich im rechten Vorhof des Herzens, der auch als Schrittmacher (Taktgeber) bezeichnet wird. Bei jeder Kontraktion des Herzmuskels entstehen elektrische Ströme, die als sehr kleine Spannungen (einige Millivolt) auf der Hautoberfläche mittels Elektroden messbar sind.

Im Bild rechts ist ein solches EKG dargestellt, wobei die einzelnen Signale als Wellen und Zacken bezeichnet werden.



EKG-Signal

P-Welle (max. 0,12 s)

Die P-Welle entsteht durch die Vorhoferregung, die vom Sinusknoten ausgelöst wird, und hat einen relativ kleinen Spannungswert. Die positive Halbwelle entspricht dem rechten Vorhof, der abfallende Teil dem linken Vorhof.

QRS-Komplex (0,18–0,5 s)

Der eigentliche Herzschlag (Depolarisation der beiden Herzkammern) wird als QRS-Komplex dargestellt und ist folgendermaßen unterteilt.

Q-Zacke

Der erste negative Ausschlag wird als Q-Zacke bezeichnet und kennzeichnet den Beginn der Kammererregung.

R-Zacke

Die R-Zacke ist Ausdruck der Kammererregung und der erste positive Ausschlag nach der Q-Zacke. Der Spannungspegel ist relativ hoch.

S-Zacke

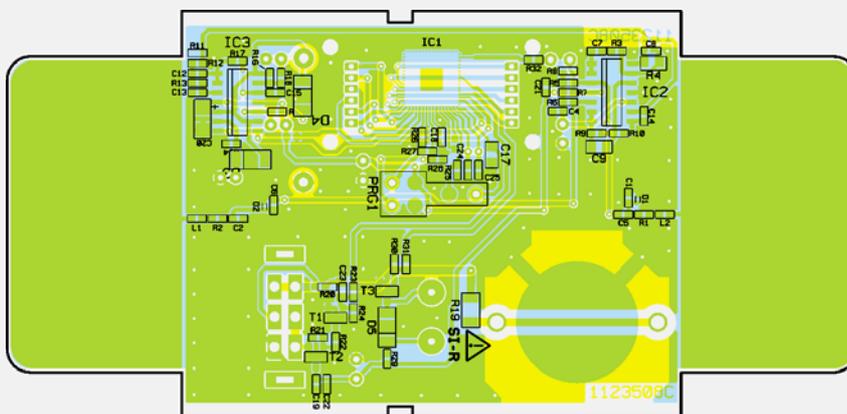
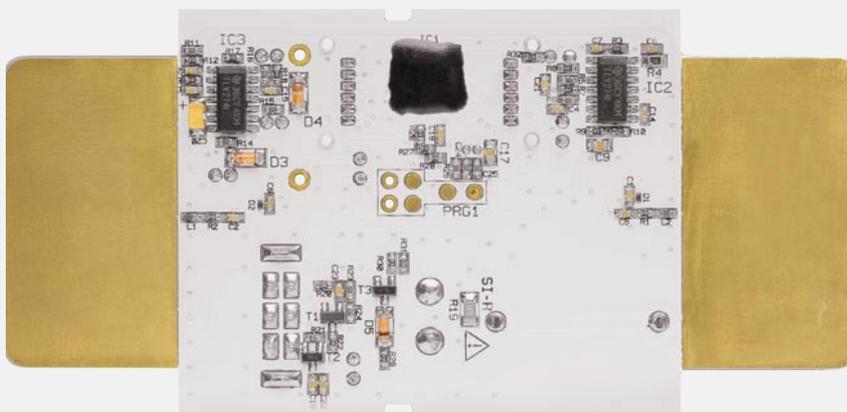
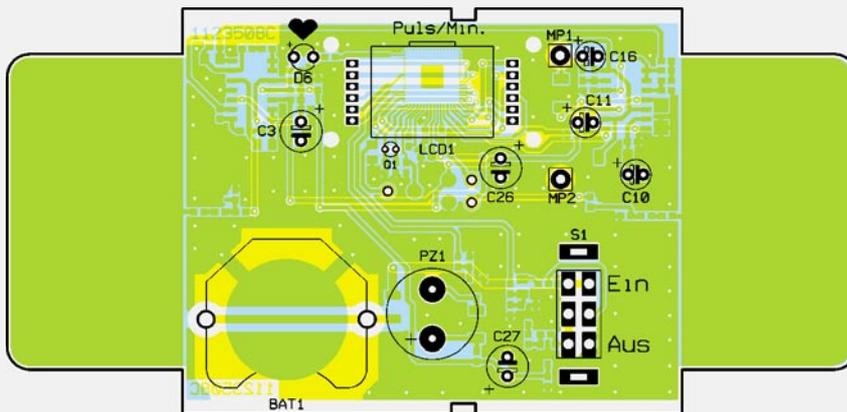
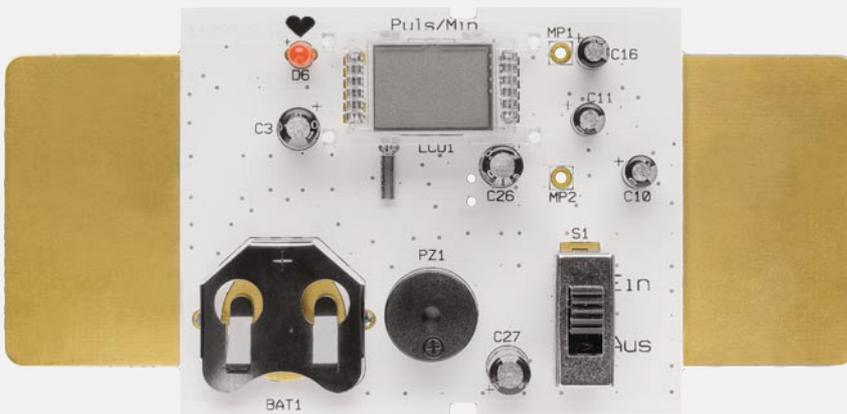
Nach der R-Zacke folgt die S-Zacke mit negativem Ausschlag. Der Pegel ist relativ klein.

T-Welle

Die Erregungsrückbildung (Repolarisation) der Kammer ist als T-Welle gekennzeichnet. Die T-Welle ist relativ lang und stellt den ersten positiven Ausschlag nach dem QRS-Komplex dar. Die T-Welle schließt die eigentliche Herzaktion ab.

U-Welle

Die U-Welle ist nicht immer sichtbar und entspricht Nachschwankungen der Kammererregungsrückbildung.



Die fertig bestückte Platine des PM1 mit dem jeweils zugehörigen Bestückungsplan, oben die Oberseite, unten die Unterseite

ohne die Lötstelle dabei selbst zu beschädigen.

Beim Einsetzen der Elkos ist auf die richtige Einbaulage bzw. die richtige Polung zu achten. Die Elkos sind dabei in der Regel am Minus-Anschluss gekennzeichnet, wogegen der Platinaufdruck den Pluspol markiert. Bei der Leuchtdiode D 6 ist die Polung durch den etwas längeren Anschlussdraht (Anode +) gekennzeichnet.

Beim Einbau des Displays ist ebenfalls auf die richtige Einbaulage zu achten. Zudem ist das Display zusammen mit der Kunststoffhalterung einzusetzen. Das Display ist auf der Seite, die später auf der Platine nach außen zeigt („oben“) durch eine kleine Verdickung („Anguss“) gekennzeichnet. Dies ist auch auf dem Platinenfoto gut zu erkennen.

Man kann die einzelnen Segmente des Displays zur Kontrolle der richtigen Einbaulage auch ohne Elektronik „aktivieren“, indem man die Anschlüsse kurz (!) mit der Lötspitze eines eingeschalteten Lötkolbens berührt, wodurch die Segmente sichtbar werden.

Zum Schluss werden die großen mechanischen Bauteile (Schalter, Soundtransducer und Batteriehalterung) eingesetzt und verlötet. Eine gute Hilfestellung gibt auch hier das Platinenfoto. Beim Tonsignalgeber PZ 1 ist ebenfalls auf die richtige Polung zu achten.

Beim Einsetzen der Batterie ist unbedingt darauf zu achten, dass sich der Pluspol oben befindet und somit der Minuspol auf der Platine aufliegt.

Wichtig:

Bei unsachgemäßem Einsetzen bzw. Austausch der Batterie besteht Explosionsgefahr! Die verwendete Lithium-Batterie muss kurzschlussfest sein. Ein Einsetzen der Batterie mit einem metallischen Gegenstand, wie z. B. einer Zange oder einer Pinzette, ist nicht erlaubt, da die Batterie hierdurch kurzgeschlossen wird. Zudem ist beim Einsetzen unbedingt auf die richtige Polarität zu achten (Pluspol nach oben!).

Bild 4: So sind die Elektroden des Pulsmessers zu erfassen.



Nun kann die Platine in das Gehäuse eingebaut werden. Dies ist relativ einfach und ohne Schrauben zu bewerkstelligen. Die Platine wird hierzu in die Gehäuseoberschale gelegt, und anschließend wird das Gehäuseunterteil aufgesetzt bzw. beide Gehäusenhälften zusammengeschoben.

Bedienung und Inbetriebnahme

Nach dem Einschalten wird kurz die Firmwareversion im Display angezeigt z. B. „1.0“. Die Kontaktierung geschieht wie in Bild 4 dargestellt durch Auflegen der Finger auf die seitlichen Kontaktflächen, wobei der Daumen jeweils auf der oberen Kontaktfläche und der Zeigefinger unten aufliegen sollte. Hierbei ist es sehr wichtig, die Finger absolut ruhig zu halten, da durch Bewegung eine Spannungsänderung auftritt, die zu keinem auswertbaren Messergebnis führt.

Nach ca. 3 Sekunden beginnt die LED zu blinken und es ertönt ein akustisches Signal, vorausgesetzt, es wurden gültige Impulse erkannt. Anschließend wird die Pulsfrequenz im Display angezeigt.

Das Gerät schaltet sich nach 60 Sekunden automatisch ab (Auto-Power-Off). Durch manuelles Aus- und Wiedereinschalten wird ein neuer Messvorgang gestartet. **ELV**



Wichtiger Hinweis:

Diese Schaltung ist kein medizinisches Gerät, sondern dient nur zur Schaltungsdemonstration. Aus Sicherheitsgründen darf die Spannungsversorgung der Schaltung nur durch die vorgesehene Batterie erfolgen. Ein Anschluss an netzbetriebene Geräte ist nicht erlaubt.

Widerstände:

100 Ω/SMD/0603	R29, R32
1 kΩ/SMD/0603	R20, R31
10 kΩ/SMD/0603	R3, R7-R9, R18, R22
22 kΩ/SMD/0603	R23, R25
39 kΩ/SMD/0603	R33
100 kΩ/SMD/0603	R1, R2, R17, R26-R28, R30
220 kΩ/SMD/0603	R16, R21
330 kΩ/SMD/0603	R10
470 kΩ/SMD/0603	R24
1 MΩ/SMD/0603	R11-R15
10 MΩ/SMD/0603	R5, R6
10 MΩ/SMD/0805	R4

Kondensatoren:

27 pF/SMD/0603	C24, C25
470 pF/SMD/0603	C8
1 nF/SMD/0603	C1, C2
47 nF/SMD/0603	C13
100 nF/SMD/0603	C4, C12, C15, C18, C19, C21, C22
220 nF/SMD/0603	C5, C6, C14
470 nF/SMD/0805	C17
1 µF/SMD/0603	C7, C9, C23
10 µF/6,3 V/Tantal/SMD	C20
10 µF/16 V	C10, C11, C16
100 µF/16 V	C3, C26, C27

Halbleiter:

ELV101018/DIE	IC1
TLV274/SMD	IC2, IC3
BC848C	T3
IRLML2502PBF	T1
FMMT718/SMD	T2
PESD3V3S1UB	D7, D8
BAT43/SMD	D3, D4
LL4148	D5
LED, 3 mm, rot	D6

Sonstiges:

Chip-Ferrite, 0603, 600 Ohm bei 100 MHz, 200 mA	L1, L2
Quarz, 32,768 kHz, 10 ppm	Q1
LC-Display IS03352P REV. B	LCD1
Schiebeschalter, 2x um, print	S1
Lötstifte mit Lötöse	MP1, MP2
Sound-Transducer, 3 V, print	PZ1
Batteriehalter für CR2032, liegend, print	BAT1
Lithium-Knopfzelle CR2032	BAT1
1 Displayrahmen, transparent	
1 Profil-Gehäuse, Typ PG97GLP, komplett, bearbeitet, transparent	