

# Einfaches, aber genaues Thermometer mit dem Pt100

WOLFGANG SPINDLER

*Die gut verfügbaren Platinsensoren eignen sich hervorragend zur Ermittlung von Temperaturen. Um jedoch zu korrekten Ergebnissen zu kommen, sind einige Anforderungen an die umgebende Schaltung einzuhalten.*

Die Verwendung von Platinsensoren zum Messen der Temperatur ist nicht neu. Thermometer auf Basis der Sensoren Pt100, Pt500 oder Pt1000 sind im Prinzip präzise Ohmmeter, wobei die ermittelten Widerstandswerte anschließend anhand der in den Normen [1] und Datenblättern der Hersteller enthaltenen Umrechnungstabellen als Temperaturwerte ausgegeben werden. Die Tabellen sind erforderlich, da die Kennlinien von Platinsensoren leicht gekrümmt sind.



**Bild 1:** Thermometerplatine mit aufgesetztem Display und Sensor im Vordergrund

## ■ Schaltungsprinzip

Aus historischen Gründen ist der Pt100 am stärksten verbreitet. Das liegt daran, dass früher so ein Sensor aus dünnem, auf einen Glas- oder Keramikern aufgewickelten Platindraht hergestellt wurde. Das ist in etwa so wie die Herstellung von Drahtwiderständen: Je höher der Widerstand sein soll, desto größer ist der Aufwand bei der Herstellung. Heutzutage lassen sich eine dünne Platinschicht auf ein flaches Stück Keramik aufbringen und anschließend per Laser mäanderförmige Unterbrechungen herstellen. Mit dieser Technik sind dann auch hochohmigere Platinsensoren wie der Pt1000 gut herstellbar ( $R_{0^\circ\text{C}} = 1000 \Omega$ ). Deren Temperaturverhalten ist exakt das gleiche wie beim Pt100 ( $R_{0^\circ\text{C}} = 100 \Omega$ ).

Ein Pt100 ändert seinen Widerstand um etwa  $0,4 \Omega/\text{K}$ . Um also Temperaturen mit 1 K Genauigkeit messen zu können, ist ein Ohmmeter erforderlich, das einen Widerstand von  $60 \Omega$  bis  $300 \Omega$  mit einer Ge-

nauigkeit von mindestens  $0,4 \Omega$  messen kann. Das ließe sich mit einem A/D-Umsetzer realisieren, der eine Auflösung von 10 Bit (1024 Stufen) besitzt, denn für  $300 \Omega$  sind bei  $0,4 \Omega$  Auflösung nur 750 Werte zu unterscheiden. Doch bevor wir in Jubel ausbrechen, weil der ohnehin im Controller eingebaute A/D-Umsetzer schon diese Auflösung bietet, sollten wir eines bedenken: Es sind keine Spannungen zu messen, sondern Widerstände. Dabei ist Vorsicht walten zu lassen, weil die durch den Messstrom erzeugte Wärme den Sensor aufheizt und damit das Messergebnis verfälscht. Daher empfehlen die Hersteller der Sensoren bestimmte Messströme. Bei den meisten modernen Pt100 liegt er bei 1 mA und bei den Pt1000 bei 0,1 mA. Damit verkleinert sich der zu messende Spannungsbereich auf 60 mV bis 300 mV. Das ist nicht viel und der einfache A/D-Umsetzer im Mikrocontroller ist damit hoffnungslos überfordert, selbst wenn der Einfachheit halber die Auflösung nur 1 K betragen soll.

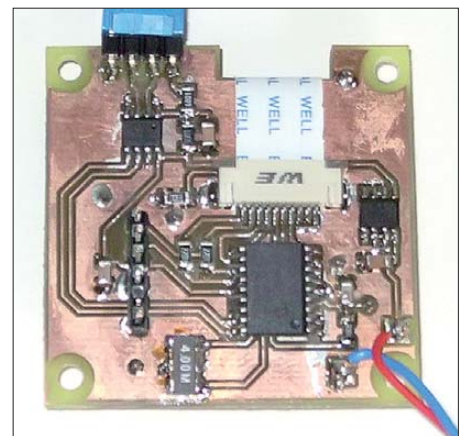
Wer denkt, mit einer Widerstandsbrücke nebst Operationsverstärkern [2] das Problem zu lösen, handelt sich auf anderen Gebieten Probleme ein. All diese Bauteile bringen nicht nur einen zusätzlichen Temperaturgang, sondern auch Toleranzen und weitere Kennlinienkrümmungen mit sich, die den Werksabgleich des Sensors praktisch hinfällig machen. Man braucht also einen besseren A/D-Umsetzer als diejenigen, die in den einschlägigen Mikrocontrollern enthalten sind. Und dieser Umsetzer muss zur Widerstandsmessung geeignet sein.

Die einzige sinnvolle Methode dafür ist die ratiometrische Widerstandsmessmethode. Dabei werden der zu messende Widerstand und ein Referenzwiderstand vom gleichen Messstrom durchflossen. Die an beiden Widerständen abfallenden Spannungen werden gemessen und ins Verhältnis gesetzt. Auf diese Weise hebt sich der Messstrom bei der Berechnung heraus und in das Ergebnis gehen nur der zu ermittelnde Widerstand sowie der Referenzwiderstand ein. Es ist dafür also keine Referenzspannungs- oder Stromquelle erforderlich, sondern nur ein temperaturstabiler Referenzwiderstand.

## ■ Messschaltung

Da die in Mikrocontrollern eingebauten A/D-Umsetzer für den hier dargestellten Zweck ungeeignet sind, stellt sich die Frage nach einem besseren Exemplar. Zum Glück ist so etwas schon seit einigen Jahren als Sigma-Delta-Umsetzer als ICs verfügbar. Das sind im Prinzip Ladungsbalance-Umsetzer, die sowohl eine hohe Auflösung als auch eine prinzipbedingte hohe Linearität haben – also genau das, was wir an dieser Stelle benötigen.

Ich habe für dieses Projekt den MCP3551 von Microchip ausgewählt, weil er bei Reichelt ([www.reichelt.de](http://www.reichelt.de)) für 3,55 € erhältlich ist. Ebenso gibt es dort den Controller PIC16F628 für 1,95 €. Bei Pollin ([www.pollin.de](http://www.pollin.de)) ist seit längerem ein LC-Display (Best.-Nr. 120-622) mit zwei Zeilen zu je acht Zeichen für 0,95 € erhältlich. Und damit ist die Einkaufsliste für ein präzises Digitalthermometer schon fast vollständig. Der Rest umfasst passive Bauteile und den Platinsensor.



**Bild 2:** Ansicht der selbst geätzten und überwiegend mit SMD-Bauteilen bestückten Platine  
Fotos: Spindler

Die eigentliche Messschaltung ist geradezu frapierend einfach. Sie besteht nur aus einem einzigen Widerstand R2 (siehe Bild 3) und dem A/D-Umsetzer. Das ist wohl die einfachste Widerstandsmessschaltung der Welt! Die Betriebsspannung des Umsetzers wird über R1 und C2 geglättet an den Referenzspannungseingang gelegt. Von dort aus fließt der Messstrom über den Referenzwiderstand R2 und den Pt100 nach Masse. Der A/D-Umsetzer misst die Spannung, die über dem Pt100 abfällt. Er benutzt dafür die Spannung, die an seinem Referenzeingang anliegt. Auf den ersten Blick ist so nur eine der beiden für die ratiometrische Widerstandsmessung benötigten Spannungen ermittelbar. Auf den zweiten Blick sieht dies jedoch ganz anders aus, denn es ist offensichtlich, dass die Spannung über R2 die Differenz zwischen der Referenzspannung und der gemessenen Spannung ist.

Und so verhält es sich auch mit den Zahlen, die der A/D-Umsetzer liefert. Ist die Eingangsspannung gleich der Referenzspannung, dann liefert der Umsetzer die Zahl 2097152 ( $2^{21}$ ), was seinem Maximalwert entspricht. Wenn man nun die Zahl, die der gemessenen Spannung über dem Pt100 entspricht, von 2097152 abzieht, ist das Ergebnis die Zahl, die der Spannung über R2 entspricht. Genauer kann man in [3] nachlesen, wo die Verwendung des MCP3551 zum Temperaturmessen sehr ausführlich beschrieben ist.

Die Eingänge des A/D-Umsetzers sind mit zwei separaten Leitungen, über die kein Messstrom fließt, mit dem Pt100 verbunden. Diese Art der Kontaktierung sorgt dafür, dass Leitungs- und Kontaktwiderstände nicht in das Messergebnis eingehen. Sie addieren sich stattdessen zum Referenzwiderstand. Da dieser aber mit 6,8 k $\Omega$  sehr viel größer ist als der Widerstand des Pt100, ist der Einfluss der Leitungs- und Kontaktwiderstände im Milliohmbereich entsprechend geringer. Ein nahezu vollständiges Eliminieren der Kontaktwiderstände würde nur mit einem A/D-Umsetzer gelingen, der separate hochohmige Eingänge für die Referenzspannung hat. Ein Beispiel dafür wäre der AD7714 von Analog Devices. Für den vorliegenden Fall reicht uns jedoch der MCP3551 aus.

Der Rest der Schaltung besteht aus dem PIC16F628 und dem kleinen alphanumerischen LC-Display. Der A/D-Umsetzer ist über zwei Leitungen mit dem PIC verbunden und die Anzeige wird im 4-Bit-Modus betrieben. Als Spannungsversorgung habe ich einen 5-V-Regler benutzt. Die Schaltung lässt sich aber auch gut aus einem kleinen Lithium-Akkumulator versorgen,

denn alle Bauteile funktionieren auch noch bei 3,3 V. Die Schaltung besitzt einen Betriebsstrom von etwa 6 mA. Davon entfallen rund 4 mA auf den PIC, 1 mA auf das Display und 0,6 mA auf den Messstrom. Der A/D-Umsetzer ist das sparsamste Bauteil, denn er benötigt nur etwa 0,2 mA.

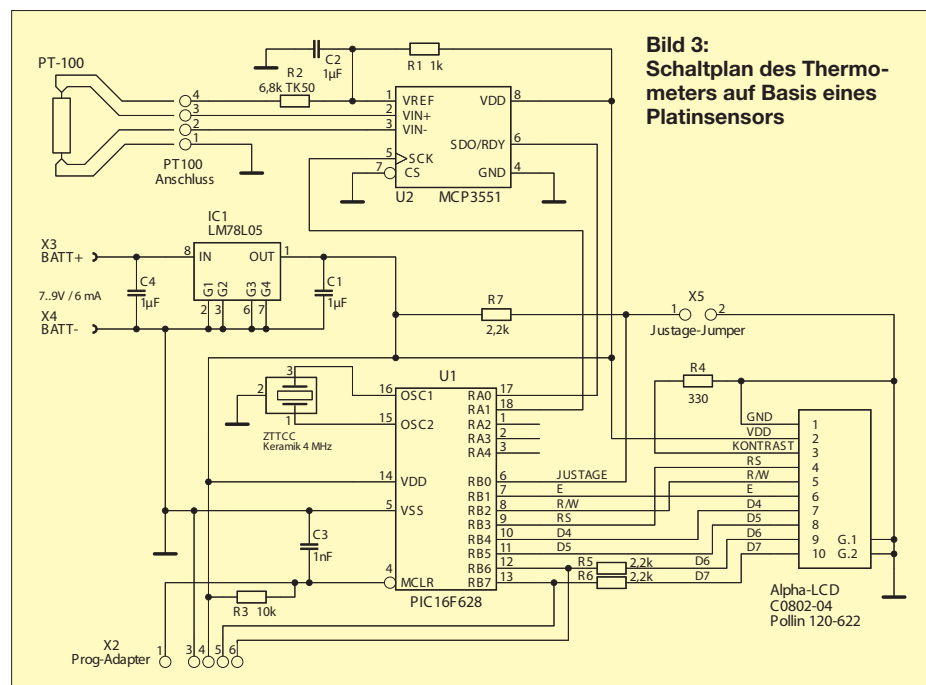
## ■ Software, Programmierung und Abgleich

Der Quelltext der Firmware für den Controller steht auf [www.funkamateuer.de](http://www.funkamateuer.de) zum Herunterladen bereit. Dort findet sich auch die fertig compilierte Hex-Datei sowie das Platinenlayout im Eagle-Format. Über den Programmieranschluss X2 ist der PIC per In-Circuit-Programmierung direkt auf der Platine programmierbar.

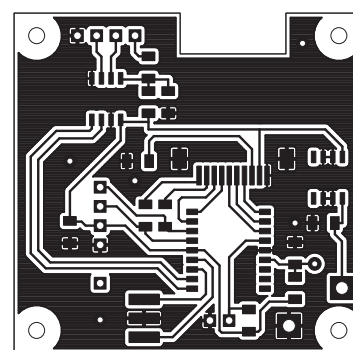
Für den Abgleich ist anstelle des Pt100 ein Referenzwiderstand von exakt 100  $\Omega$  anzuschließen. Alternativ ist der wasserdicht verpackte Pt100 auch in Eiswasser tauchbar – er besitzt dann genau 100  $\Omega$ . Nach dem Schließen der Steckbrücke X5 berechnet die Firmware im PIC den Skalierungsfaktor für alle künftigen Messungen und legt ihn im internen EEPROM ab. Nach dem anschließenden Entfernen des Jumpers ist die Justage des Thermometers erledigt.

An die Schaltung ist auch ein Pt1000 anschließbar. Wegen des empfohlenen Messstroms ist R2 entsprechend zu vergrößern. Für die Justage wäre dann ein präziser 1000- $\Omega$ -Widerstand erforderlich.

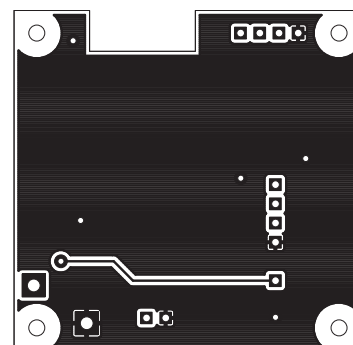
Abgesehen von der Temperaturmessung ist die Schaltung nach dem Weglassen des Firmware-Teils zum Umrechnen auf Temperaturwerte auch als präzises Ohmmeter für Widerstände bis etwa 10 k $\Omega$  einsetzbar.



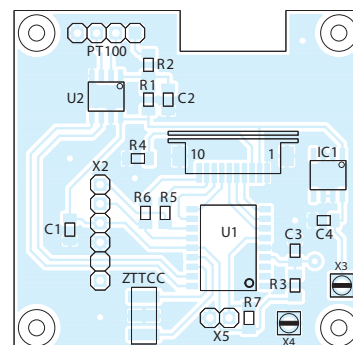
**Bild 3:** Schaltplan des Thermometers auf Basis eines Platinsensors



**Bild 4:** Layout der Bestückungsseite (Oberseite); Abmessungen 46 mm x 45 mm, M 1:1



**Bild 5:** Layout der Unterseite der Thermometerleiterplatte



**Bild 6:** Bestückungsplan der Thermometerplatine mit den SMD-Bauteilen und Steckern

## ■ Aufbauhinweise

Für die gesamte Schaltung reicht eine kleine selbst geätzte Platine von 46 mm x 45 mm aus. Die Layouts der beiden Seiten sind in den Bildern 4 und 5 zu sehen. Das LC-Display habe ich mit doppelseitigem Klebeband direkt auf die Unterseite der Leiterplatte geklebt. Für die passiven Bauteile kommt nur die größte Bauform 1206 zum Einsatz, damit niemand über SMD-Bauteile klagt, wie dies in der Vergangenheit teilweise zu lesen war.

[w-spindler@t-online.de](mailto:w-spindler@t-online.de)

## Literatur

- [1] DIN EN 60751: Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatur Sensoren (IEC 60751:2008)
- [2] Stotz, D.: Temperaturmessung mit dem Pt100. FUNKAMATUER 59 (2010) H. 10, S. 1048 ff.
- [3] Microchip: Application note AN1154 – Precision RTD Instrumentation for Temperature Sensing. [www.microchip.com](http://www.microchip.com) → Search: AN1154