

# Low-Cost 250°C-Digital-Thermometer



Die Meßbereiche der inzwischen recht preiswert erhältlichen LCD-Digital-Thermometer reichen häufig nur bis 120° bzw. 150° C. Für diejenigen unter unseren Lesern, die auch höhere Temperaturen messen möchten, stellen wir hier eine preiswerte Alternative vor, mit der Messungen bis zu 250° C (Dauertemperatur) möglich sind.

## Allgemeines

Digitale elektronische Temperaturmeßgeräte gibt es bereits in großer Zahl. Die meisten der zum Teil recht preiswerten Geräte weisen einen Temperaturbereich auf, der bis 80° C, manchmal bis 120° C und selten bis 150° C reicht – für die meisten Anwendungsfälle sicherlich zufriedenstellend. Zahlreiche Anwendungsfälle erfordern dagegen einen größeren Meßbereich.

Mit dem hier vorgestellten preiswert aufzubauenden Gerät können Temperaturen im Bereich von -50° C bis +250° C im Dauerbetrieb gemessen werden. Die Genauigkeit liegt im Mittel bei ca. 1 K (Kelvin), während die Auflösung im Bereich bis 199,9° C bei 0,1 K liegt und ab 200° C bei 1 K.

In Tabelle I sind die typischen, systematischen Abweichungen aufgezeigt, die mit einer Genauigkeit von ca. 0,3 K reproduzierbar sind.

Für die meisten Anwendungsfälle ist sowohl der Meßbereich als auch die erzielbare Genauigkeit dieses Gerätes ausreichend.

## Zur Schaltung

Als Meßwertempfänger dient ein industriell gefertigter Temperaturfühler. Hierbei handelt es sich um einen besonders temperaturstabilen Temperatursensor, der in einem besonderen Verfahren in ein Edelstahlrohr eingebaut und mit Griffstück und Zuleitung versehen wurde. Diese Einheit wird komplett montiert geliefert, da die Fertigung die Beherrschung besonderer Techniken erfordert (z. B. mechanische Befestigung und Anlöten der Zuleitung ist mit Weichlot nicht möglich, da der Schmelzpunkt bei 180° C liegt; andererseits zerstören zu hohe Temperaturen, wie sie beim Hartlöten auftreten, den Halbleitersensor).

Der polarisierte Halbleitersensor setzt die Temperatur in einen Widerstand um, wobei der Widerstandswert leicht überproportional zur Temperaturerhöhung ansteigt.

In Verbindung mit dem Linearisierungsvorwiderstand R1 wird die Sensorkennlinie soweit linearisiert, daß die Abweichungen den Werten, die in der Tabelle I angegeben sind, entsprechen. Es handelt

tatsächliche Temperatur (°C)	angezeigte Temperatur (°C)	Abweichung (K)
-50	-42,5	+7,5
-40	-34,7	+5,3
-30	-26,6	+3,4
-20	-17,9	+2,1
-10	- 9,1	+0,9
± 0	0,0	±0,0
10	9,4	-0,6
20	19,1	-0,9
30	28,7	-1,3
40	38,7	-1,3
50	48,7	-1,3
60	58,9	-1,1
70	68,9	-1,1
80	79,2	-0,8
90	89,7	-0,3
100	100,0	0
110	110,3	+0,3
120	120,5	+0,5
130	130,5	+0,5
140	140,8	+0,8
150	151,0	+1,0
160	161,3	+1,3
170	170,7	+0,7
180	180,7	+0,7
190	190,3	+0,3
200	200	0
210	209	-0,6
220	219	-1,2
230	228	-2,1
240	237	-3,0
250	245	-4,8

sich hierbei, wie bereits erwähnt, um systematische Abweichungen, die mit einer Genauigkeit von ca. 0,3 K reproduzierbar sind. Unter Verwendung der Tabelle 1 läßt sich die gemessene Temperatur auf ca. ± 0,3 K genau bestimmen.

Über den Spannungsteiler R2/R3 gelangt die am Sensor TS1 abfallende und der Temperatur proportionale Spannung auf den positiven Meßeingang (Pin10) des IC2. Hierbei handelt es sich um den A/D-Wandler des Typs ICL7126R. Von diesem IC wird eine zwischen den Anschlußbeinchen 10 und 11 anliegende Gleichspannung in einen dazu proportionalen Digitalwert umgesetzt, der zur direkten Ansteuerung einer 3,5-stelligen LCD-Anzeige geeignet ist.

Der negative Meßspannungseingang (Pin11) des IC2 liegt am Mittelabgriff des Trimmers R5, mit dem ein Teilbetrag der Referenzspannung abgegriffen wird, der zur Nullpunkteinstellung dient.

Der Skalenfaktor wird über den Trimmer R8 eingestellt. Hierzu eine Erläuterung:

Im IC1 des Typs CD4053 sind 3 elektronische Umschalter (ES1, ES2, ES3) integriert.

Ist der Meßbereichumschalter S2 zur Umschaltung der Auflösung von 0,1 K auf 1 K (für Temperaturmessungen ab 200° C) in der eingezeichneten Stelle, so befinden sich auch die beiden davon angesteuerten elektronischen Umschalter ES1 und ES2 in der eingezeichneten Position.

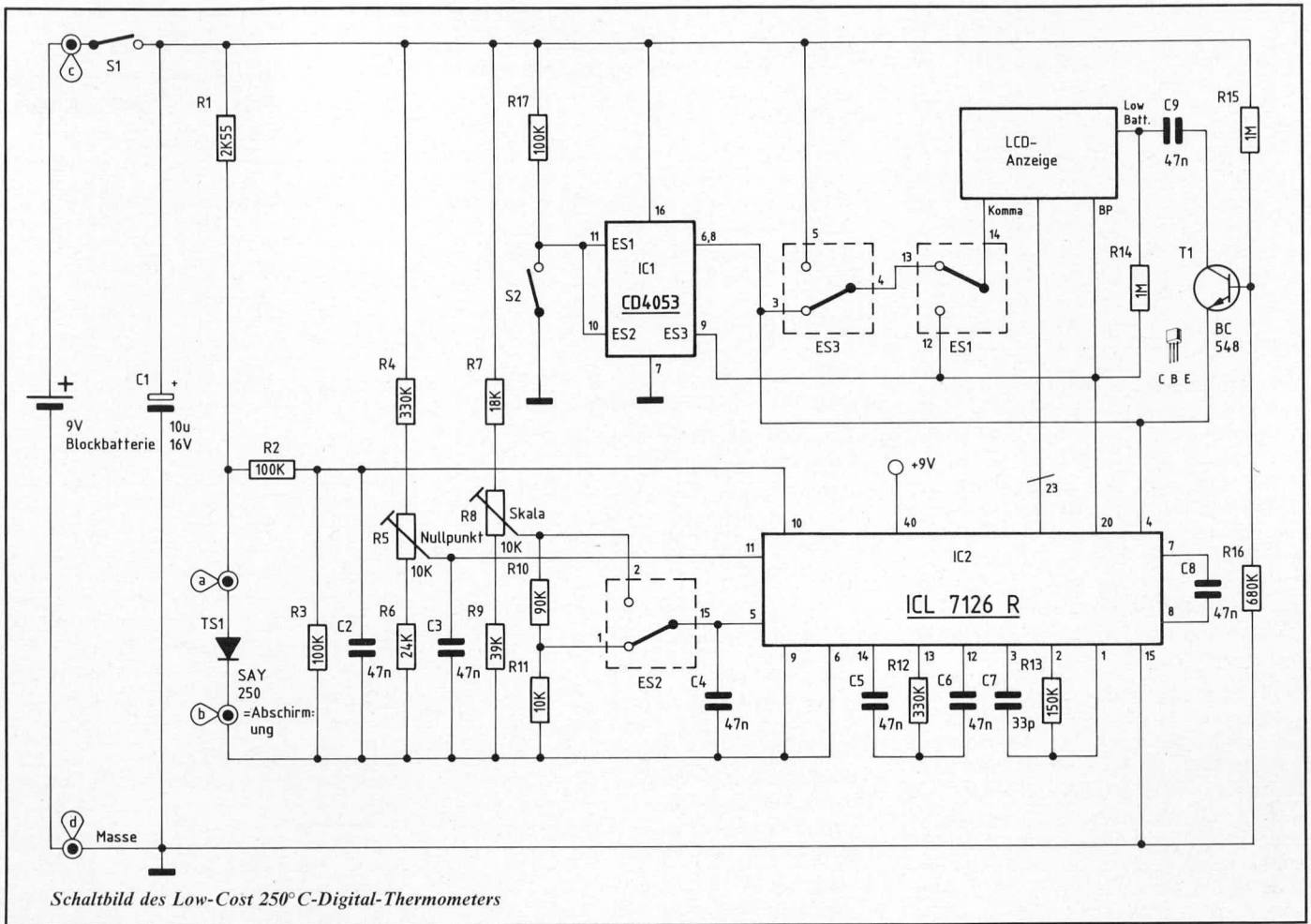
Über den Spannungsteiler R10, R11 gelangt jetzt 1/10 der mit R8 eingestellten Referenzspannung auf den positiven Referenzspannungseingang (Pin5 des IC2). Der negative Referenzspannungseingang (Pin6) liegt mit dem Referenz-Massepunkt des IC2 (Pin9) zusammen. Das hier anstehende Potential wird durch die interne, im IC2 integrierte Referenzspannung immer ca. 2,7V unterhalb der positiven Versorgungsspannung gehalten. Zwar kann der Absolutwert von IC zu IC zwischen 2,6V und 3,2V schwanken (gemessen zwischen Pin40 und Pin9), jedoch wird er aufgrund der guten Stabilisierungseigenschaften sehr konstant gehalten.

Sowohl die Versorgungsspannung des Temperatursensors TS1 als auch die Gewinnung der Spannung zur Nullpunkteinstellung (mit R5) sowie die Referenzspannung zur Skalenfaktoreinstellung (mit R8) werden hieraus gespeist. Durch diese Maßnahme werden Versorgungsspannungsschwankungen und sogar Langzeitveränderungen der IC-Referenzspannung weitgehend unterdrückt.

Wird S2 geschlossen (Meßbereich ab 200° C), wechseln ES1 und ES2 in die entgegengesetzte Schaltposition.

Über ES2 gelangt jetzt die volle, mit R8 eingestellte Skalen-Referenzspannung auf den positiven Referenzspannungseingang Pin5 des IC2, während gleichzeitig ES1 den Dezimalpunkt (Komma für zehntel Gradanzeige) mit dem Backplane-Signal verbindet (das Komma verlischt).

Der Schalter ES3 dient lediglich zur Invertierung des Backplane-Signals, damit in der eingezeichneten Schalterstellung von ES1 der Dezimalpunkt durch Anlegen des invertierten Backplane-Signals erscheint. In zahlreichen Applikationen wird für die Invertierung des Backplane-



Signals ein EXOR-Gatter verwendet. Dies würde in unserem Fall jedoch den Einsatz eines weiteren ICs bedeuten, für das auf der Platine nur schwer Platz vorhanden ist. Wir haben daher den noch zur Verfügung stehenden 3. elektronischen Schalter (ES 3) für diese Aufgabe herangezogen.

Über R 14, C9 wird eine Phasenverschiebung des Backplane-Signals erreicht, das zur Ansteuerung der Unterspannungsanzeige (Pfeil oder „B“) dient. Dies jedoch nur, wenn der Transistor T1 durchgesteuert ist. Bei ausreichend großer Versorgungsspannung ist T1 über den Spannungsteiler R 15/R 16 gesperrt. Erst wenn die Batteriespannung auf zu geringe Werte absinkt, reicht die negative Vorspannung über R 16 nicht aus und T1 steuert über R 15 durch, so daß C9 eine Phasenverschiebung bewirken kann. Die Unterspannungsanzeige erscheint.

### Zum Nachbau

Die hier vorgestellte Schaltung ist von ELV für einen namhaften deutschen Hersteller zur Großserienfertigung entwickelt worden. Beim Nachbau sind daher einige Besonderheiten zu beachten. In diesem Zusammenhang muß allerdings angemerkt werden, daß die kommerziellen Nutzungsrechte für diese Schaltung bereits vergeben sind, der private Nachbau in Einzelstücken jedoch selbstverständlich, wie bei allen ELV-Schaltungen, gestattet ist. Wir möchten Ihnen, verehrte Leser, diese interessante Schaltung nicht vorenthalten.

Als erstes fällt dem interessierten Hobby-Elektroniker sicherlich auf, daß die LCD-Anzeige weder Anschlußbeinchen noch einen Sockel besitzt. Sie wird, wie bei Großserienfertigung heutzutage vielfach üblich, über einen speziellen Leitgummistreifen mit der Leiterplatte verbunden. Hierzu später jedoch mehr.

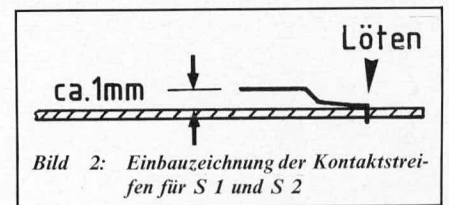
Zunächst wird die Platine in gewohnter Weise bestückt. Die Stärke des Platinenmaterials beträgt nicht, wie sonst üblich, 1,5 mm, sondern lediglich 1,0 mm, da das für den späteren Einbau vorgesehene Gehäuse speziell auf dieses dünnere Leiterplattenmaterial ausgelegt ist.

Sämtliche Bauelemente finden auf der Bestückungsseite der Platine Platz, mit Ausnahme der beiden Schalter-Kontaktstreifen (S 1 und S 2) sowie der LCD-Anzeige.

Eine weitere Besonderheit der Schaltung liegt im Aufbau der beiden Schalter S 1 und S 2. Die beiden zugehörigen Schalterknöpfe befinden sich jeweils im Gehäuseoberteil und sind mechanisch nicht mit den Kontaktstreifen verbunden. Vielmehr wird durch Betätigen (Verschieben) eines Schalters der darunter auf der Leiterplatte angeordnete Kontaktstreifen nach unten gedrückt, wodurch sich die leitende Verbindung bildet.

Der elektrische Kontakt selbst besteht aus einem korrosionsbeständigen, federnden Metallstreifen, dessen ca. 1 mm abgewinkelte Seite in das Langloch auf der Leiterbahnseite eingesetzt und verlötet

wird. Im Ruhezustand beträgt der Abstand zur Platine ca. 1 mm (Bild 2).



Als nächstes werden die beiden Adern des Batterieclips (rot entspricht Pluspol) sowie die beiden vom Temperatursensor kommenden Adern mit den entsprechenden Punkten auf der Platine verlötet. Auch beim Temperatursensor ist auf die richtige Polarität zu achten, da dieses Halbleiterbauelement ebenfalls gepolt ist. Bei versehentlichem Fehlschluß nimmt der Sensor keinen Schaden. Bemerkbar macht sich dies im allgemeinen erst bei Temperaturen über 150° C, indem der Widerstand in dem Temperaturbereich plötzlich wieder stark abnimmt, d. h. auch die Anzeige geht trotz steigender Temperatur auf deutlich kleinere Werte zurück. In diesem Fall ist die Polarität zu vertauschen und das Gerät neu abzugleichen.

Nachdem die bestückte und gelötete Platine nochmals sorgfältig kontrolliert wurde, kann die LCD-Anzeige in die dafür vorgesehene Aussparung ins Gehäuseoberteil lose eingelegt werden. Das Gehäuseoberteil liegt hierbei zweckmäßigerweise mit der Frontseite nach unten weisend auf der Arbeitsplatte. Die einsei-

tige Kontaktierungsleiste des LC-Displays weist zur Gehäusestirnseite (entgegengesetzte Seite zum Batteriefach).

Nun legt man vorsichtig den Leitgummistreifen der Länge nach auf die Kontaktierungsleiste des LC-Displays, und zwar so, daß eine der beiden schmalen Längsseiten auf dem LC-Display aufliegt. Im unteren Drittel des Displays wird zusätzlich ein Stückchen Schaumstoff aufgebracht, wodurch später über die Leiterplatte ein leichter Druck auf die Displayrückseite ausgeübt wird, damit es gut am Gehäuseoberteil anliegt.

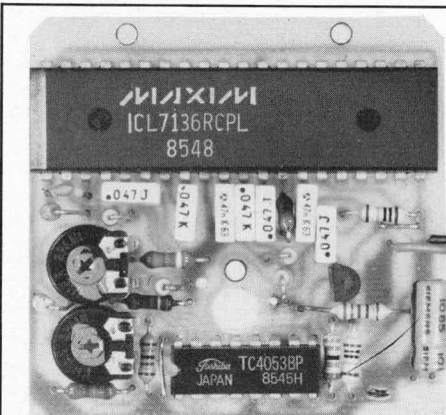
Jetzt kann die Leiterplatte in das Gehäuseoberteil eingelegt und mit den 3 entsprechenden kleinen Knipping-Schrauben festgezogen werden. Zu beachten ist hierbei, daß sich der Leitgummistreifen nicht verschiebt. Die zweite der beiden schmalen Längsseiten dieses Leitgummistreifens drückt auf die Leiterbahnseite der Platine, und zwar genau an den Stellen, an denen sich die entsprechenden Ansteuerkontakte für das LC-Display befinden.

Zum besseren Verständnis muß hierzu noch gesagt werden, daß es sich bei dem Leitgummistreifen um ein verhältnismäßig kompliziertes, in Sandwich-Bauweise gefertigtes Gebilde handelt, das aus hauchdünnen Schichten sich abwechselnder, leitender und nicht leitender Schichten besteht, wodurch sich die Übertragung der Steuersignale von der Leiterplatte zum LC-Display ergibt (aus diesem Grunde sind entsprechende Leitgummistreifen verhältnismäßig teuer).

Sollte sich beim späteren Betrieb des Gerätes ein Ausfall einiger Segmente zeigen, so ist die Leiterplatte nochmals zu lösen und die LCD-Anzeige nachjustieren (etwas verschieben). Es schadet dem Leitgummistreifen nicht, wenn er mehrfach ein- und wieder ausgebaut bzw. neu positioniert wird.

Das Herausführen der Zuleitung zum Meßfühlergriffel erfolgt durch die auf der Gehäuserückseite eingebrachte Aussparung.

Abschließend wird das Gehäuseunterteil mit einer Knipping-Schraube an das Gehäuseoberteil geschraubt. Nach Einsetzen der Batterie und durchgeführter Kalibrierung ist das Gerät betriebsbereit.



Ansicht der fertig bestückten Platine des Low-Cost 250°C-Digital-Thermometers

Auf der Gehäuserückseite ist ein ca. 30 mm langer Aufstellbügel im Gehäuse integriert, der in den schmalen Schlitz über dem Batteriefach gesteckt eine schräge Aufstellung ermöglicht.

Außerdem befindet sich auf der Gehäuserückseite eine integrierte Aussparung, die über ein Kunststoffplättchen abgedeckt werden kann. Hier ist Platz zum Aufwickeln der Sensorzuleitung, sofern diese nicht in voller Länge benötigt wird.

### Kalibrierung

Für den Abgleich wird das Gerät mit S1 eingeschaltet und S2 in die obere Stellung (0,1 K Auflösung) gebracht.

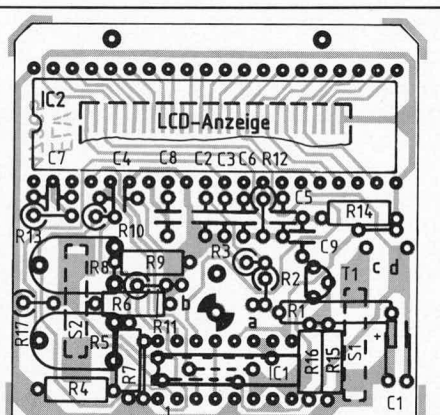
Zuerst wird der Nullpunkt mit dem Trimmer R5 eingestellt.

Hierzu wird der Temperaturfühler ca. 5 cm tief in ein Glas eingetaucht, das mit einem Gemisch aus kleinstoßen Eiswürfeln und Wasser gefüllt ist.

Es ist darauf zu achten, daß die Eiswürfel klein (wenige Millimeter Durchmesser) gehackt sind und nur verhältnismäßig wenig Wasser (weniger als 50 %) in dem Glas ist. Alle Eiswürfel müssen mit Wasser bedeckt sein. Mit Hilfe des Fühlers wird das Eis/Wasser-Gemisch mehrere Minuten kontinuierlich umgerührt, damit sich auch wirklich eine Temperatur von 0° C einstellt. Die Anzeige ist dann mit R5 auf „000“ einzustellen.

Nachdem der Nullpunkt korrekt abgeglichen wurde, kann als nächstes der Skalenfaktor mit dem Trimmer R8 eingestellt werden. Dazu taucht man den Sensor ca. 5 cm tief in kochendes Wasser (muß richtig sprudelnd kochen – Vorsicht! Verbrennungsgefahr). Wichtig ist, daß der Sensor nicht den Topfboden berührt, da dieser u. U. auch heiß sein kann und das Ergebnis dadurch verfälschen könnte.

Bei einem Luftdruck von 1013,25 mbar (entspricht ungefähr dem mittleren Luftdruck) ist die Temperatur des kochenden Wassers (Siedepunkt) genau 100,0° C. Aus der Tabelle 2 (Siedepunkt des Wassers in Abhängigkeit des Luftdruckes) kann die Temperatur des kochenden Wassers bei unterschiedlichen atmosphärischen Luftdrücken abgelesen werden. Auf den so ermittelten Wert wird anschließend die Digitalanzeige mit dem



Bestückungsplan der Platine des Low-Cost 250°C-Digital-Thermometers

Luftdruck in mbar	Siedetemperatur in °C
950	98,2
960	98,5
970	98,8
980	99,1
990	99,3
1000	99,6
1010	99,9
1013,25	100,0
1020	100,2
1030	100,5
1040	100,7
1050	101,0

Trimmer R8 eingestellt. Den genauen Luftdruck erfährt man zum Beispiel bei einem in der Nähe ansässigen Wetteramt oder Flugplatz. Da der Luftdruckeinfluß auf die Siedetemperatur nur einen geringen Einfluß hat, kann die Abgleichtemperatur immerhin noch in einem Bereich von ca. 1 % liegen, auch ohne Berücksichtigung des aktuellen Luftdruckes während des Abgleichs.

Der Abgleich ist damit beendet und das Gerät ist über den gesamten Bereich kalibriert.

Zu beachten ist noch, daß bei abgenommener Gehäuserückseite die Funktion der Schiebeschalter nicht mehr einwandfrei gewährleistet ist, da der Gegendruck des rückseitigen Gehäusesteges fehlt. Gegebenenfalls muß dann S1 für die Zeit des Abgleichs extern überbrückt werden.

### Stückliste:

#### Low-Cost 250°C-Digital-Thermometer Halbleiter

IC 1	.....	CD 4053
IC 2	.....	ICL 7126 R/7136 R
T 1	.....	BC 548

#### Kondensatoren

C 1	.....	10 µF/16 V
C 2-C 6, C 8, C 9	.....	47 nF, RM 5
C 7	.....	33 pF

#### Widerstände

R 1	.....	2,55 kΩ
R 2, R 3, R 17	.....	100 kΩ
R 4, R 12	.....	330 kΩ
R 5, R 8	.....	10 kΩ, Trimmer, liegend
R 6	.....	24 kΩ
R 7	.....	18 kΩ
R 9	.....	39 kΩ
R 10	.....	90 kΩ
R 11	.....	10 kΩ
R 13	.....	150 kΩ
R 14, R 15	.....	1 MΩ
R 16	.....	680 kΩ

#### Sonstiges

- 1 9 V-Batterieclip
- 1 Spezial 3 1/2-stellige LCD-Anzeige, einseitig kontaktiert
- 1 Temperaturfühler SAY 250, komplett mit Fühlergriff
- 1 Leitgummi
- 2 Federmetallstreifen
- 1 Gehäuse
- 3 Knippingschrauben 2,5 x 3