

# Digitaler, elektronischer Temperaturmesser für Batteriebetrieb



*Dieser digitale, elektronische Temperaturmesser, der für den Einbau in das abgebildete mattschwarze, formschöne und handliche Gehäuse vorgesehen ist, entstand durch eine Weiterentwicklung des in unserer Ausgabe 2/79 vorgestellten Thermometers.*

*Neben Maßnahmen, die dem besseren Abgleich sowie der Anzeigenstabilisierung dienen, beruht die dominierende Verbesserung auf dem Einsatz eines neuartigen Temperaturfühlerelementes mit vorgeschalteter Linearisierungsschaltung.*

## Allgemeines

Temperaturen mit guter Genauigkeit zu messen war bislang nicht ganz unproblematisch, sah man von der Verwendung von professionellen Fühler-elementen (z.B. Pt 100), deren Anschaffung sich für den Hobby-Elektroniker kaum lohnte, einmal ab.

Als Temperatursensor stand praktisch nur ein NTC- (oder PTC-) Widerstand oder ein PN-Übergang (Diode, BE-Strecke eines Transistors o.ä.) zur Verfügung.

Beim NTC-Widerstand ist die schlechte Linearität ein Hindernis, Temperaturen genau zu messen, während bei einem PN-Übergang die Änderung des Spannungsabfalls mit der Temperatur nur sehr gering ist, so daß schon durch kleine Änderungen des Betriebsstromes durch das Fühler-element der Fehler beträchtlich wird. Hinzu kommt,

daß durch die kleinen Spannungen das Messen von Temperaturen in einigen Metern Abstand praktisch unmöglich wird. Selbst Abstände von 0,1 m können sich schon nachteilig auf die Genauigkeit auswirken.

Von der Siemens AG ist nun ein neuer Temperatursensor entwickelt worden, der sich durch eine hervorragende Genauigkeit, d.h. Linearität und Reproduzierbarkeit sowie Langzeitkonstanz, auszeichnet.

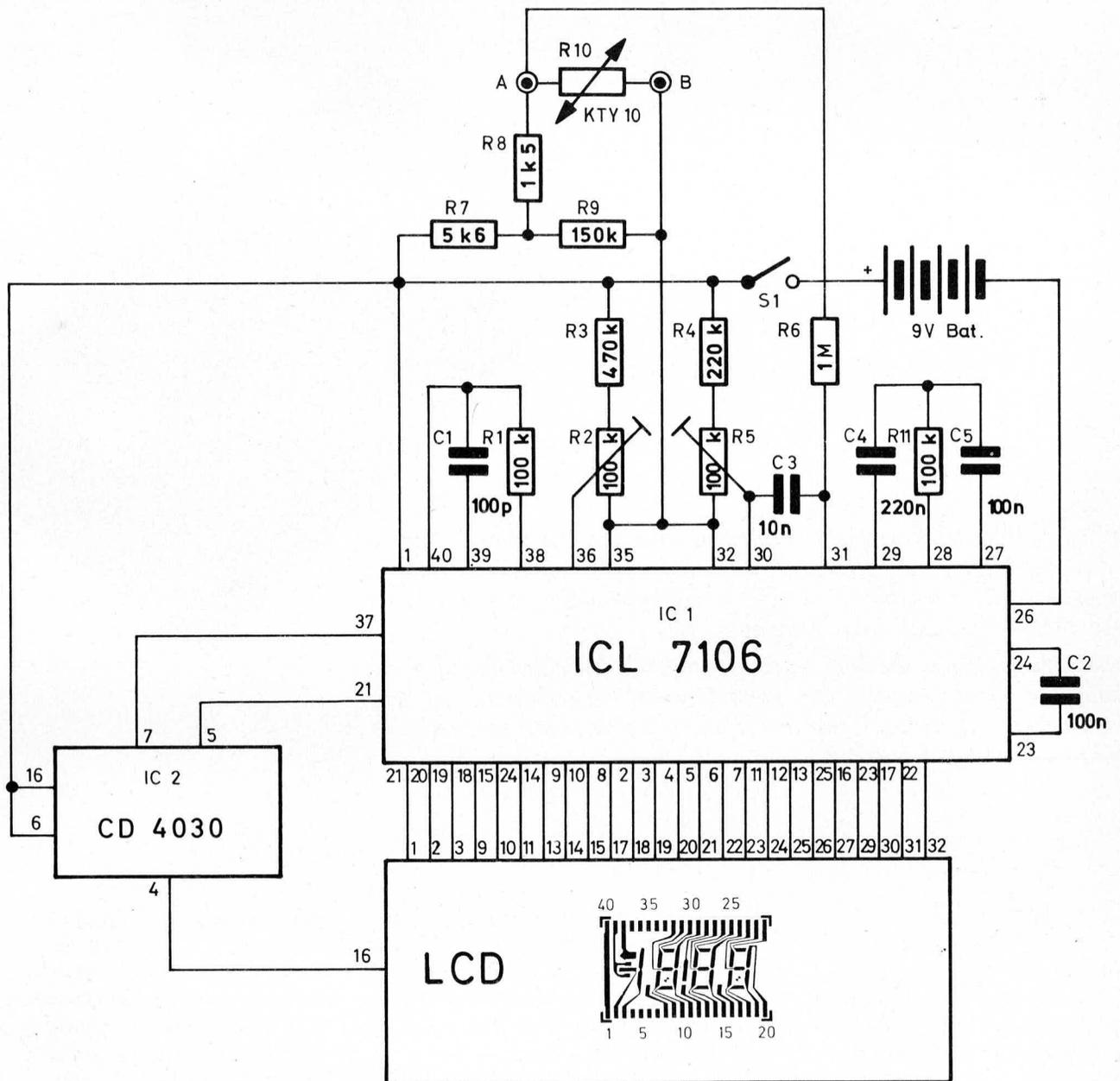
Der Preis dieses Fühler-elementes ist besonders günstig, daher haben wir uns entschlossen, eine überarbeitete Version des beliebten, in unserer 2. Ausgabe 1979 vorgestellten elektronischen Thermometers mit LCD-Anzeige, unter Einsatz des neuen Fühler-elementes, zu veröffentlichen.

Bei dem in der Wetterstation (siehe entsprechenden Artikel in dieser Aus-

gabe) integrierten elektronischen Thermometer sind wir noch einen Schritt weiter gegangen und haben die Möglichkeit bis zu acht Meßstellen automatisch nacheinander abzufragen und anzuzeigen, wobei die einzelnen Meßstellen 10 m und mehr von der anzeigenden Station entfernt sein können. Selbst bei 100 m Kabellänge ist noch eine brauchbare Anzeige bei entsprechenden Entstörmaßnahmen (z.B. abgeschirmtes Kabel) möglich.

## Das Temperaturfühler-element

Der von der Siemens AG entwickelte und unter der Bezeichnung KTY 10 vertriebene Temperatursensor hat bei 25° C einen Nennwiderstand von 2000 Ohm und wird in vier Genauigkeitsklassen mit den Bezeichnungszusätzen A, B, C oder D von Siemens vertrieben.



Schaltbild digitaler, elektronischer Temperaturmesser

Sehr wesentlich für die Beurteilung der verschiedenen Klassen ist es, daß sich die Angaben der Genauigkeit ausschließlich auf die Abweichung des tatsächlichen Widerstandes des Temperatursensors bei 25° C vom Nennwert (2000 Ohm) bezieht. In der A-Stufe beträgt die maximale Abweichung nur  $\pm 1\%$ , d.h. der

kleinste Widerstand bei 25° C wäre 1980 Ohm, während der größte 2020 Ohm betragen dürfte. Bei der preiswertesten D-Ausführung darf die Abweichung  $\pm 10\%$  betragen, das entspricht einer Widerstandstoleranz von  $\pm 200$  Ohm ( $R_{\min} = 1800$  Ohm,  $R_{\max} = 2200$  Ohm). Da bei dem hier beschriebenen digita-

len, elektronischen Temperaturmesser nur ein Fühlerelement des Typs KTY 10 eingesetzt wird, kann der Abgleich (Nullpunkt und Skalenfaktor) speziell auf das verwendete Fühlerelement zugeschnitten werden. Dies hat den Vorteil, daß man den preiswertesten D-Typ (KTY 10 D) ohne Verlust an Genauigkeit einsetzen kann.

Selbst bei der Wetterstation mit 8 Meßstellen, bei denen eine gute Übereinstimmung der einzelnen Fühlerelemente wichtig ist, empfehlen wir wegen des günstigen Preises den Einsatz des D-Typs.

Läßt man aber den Preis außer acht, so muß natürlich gesagt werden, daß beim Betrieb mehrerer Meßstellen an einer Station die niedrige Toleranz des KTY 10 A doch Vorteile bringt, da die Anpassung der Linearisierungsschaltung zu berücksichtigen ist.

### Zur Schaltung

Einen wesentlichen Bestandteil der Schaltung des Temperaturmessers stellt der 3 1/2-stellige monolithische A/D Wandler des Typs ICL 7106 von Intersil dar. Alle notwendigen aktiven Elemente wie BCD-Sieben-Segment-Dekodierer, Treiberstufen für das Display, Referenzspannung und Takterzeugung sind auf dem Chip realisiert.

Der ICL 7106 ist wegen des niedrigen Stromverbrauchs für den Betrieb mit einer Flüssigkristallanzeige ausgelegt.

Der Schaltkreis ist eine gute Kombination von hoher Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit. Die hohe Genauigkeit wird erreicht durch die Verwendung eines automatischen Nullabgleichs bis auf weniger als 10  $\mu\text{V}$  (dies entbindet allerdings nicht, den Temperaturmesser auf Null abgleichen zu müssen), die Realisierung einer Nullpunktdrift von weniger als 1  $\mu\text{V}$  pro  $^{\circ}\text{C}$ , die Reduzierung des Eingangsstromes auf 1 pA (!) und die Begrenzung des „Roll-Over“-Fehlers (Änderung der Anzeige bei Vorzeichenwechsel der Eingangsspannung) auf weniger als eine Stelle.

Extern werden nur wenige passive Bauelemente, die Anzeige und eine Versorgungsspannung benötigt. Da auch der Punkt in der Anzeige getaktet angesteuert werden muß, ist hierfür noch ein CMOS-IC des Typs CD 4030 erforderlich.

Um den digitalen, elektronischen Temperaturmesser aufbauen zu können, fehlt lediglich noch der Temperaturfühler.

Mit dem Widerstand R1 und dem Kondensator C1 wird die Frequenz des internen Oszillators festgelegt.

Der Kondensator C2 ist der Referenzkondensator. Bei der angegebenen Dimensionierung bleibt der „Roll-Over“-Fehler kleiner als 1/2 Digit.

Der Kondensator C3 dient der Eingangsspannungsstabilisierung während C4 den „Auto-Zero“-Kondensator und C5 den Integrationskondensator darstellen.

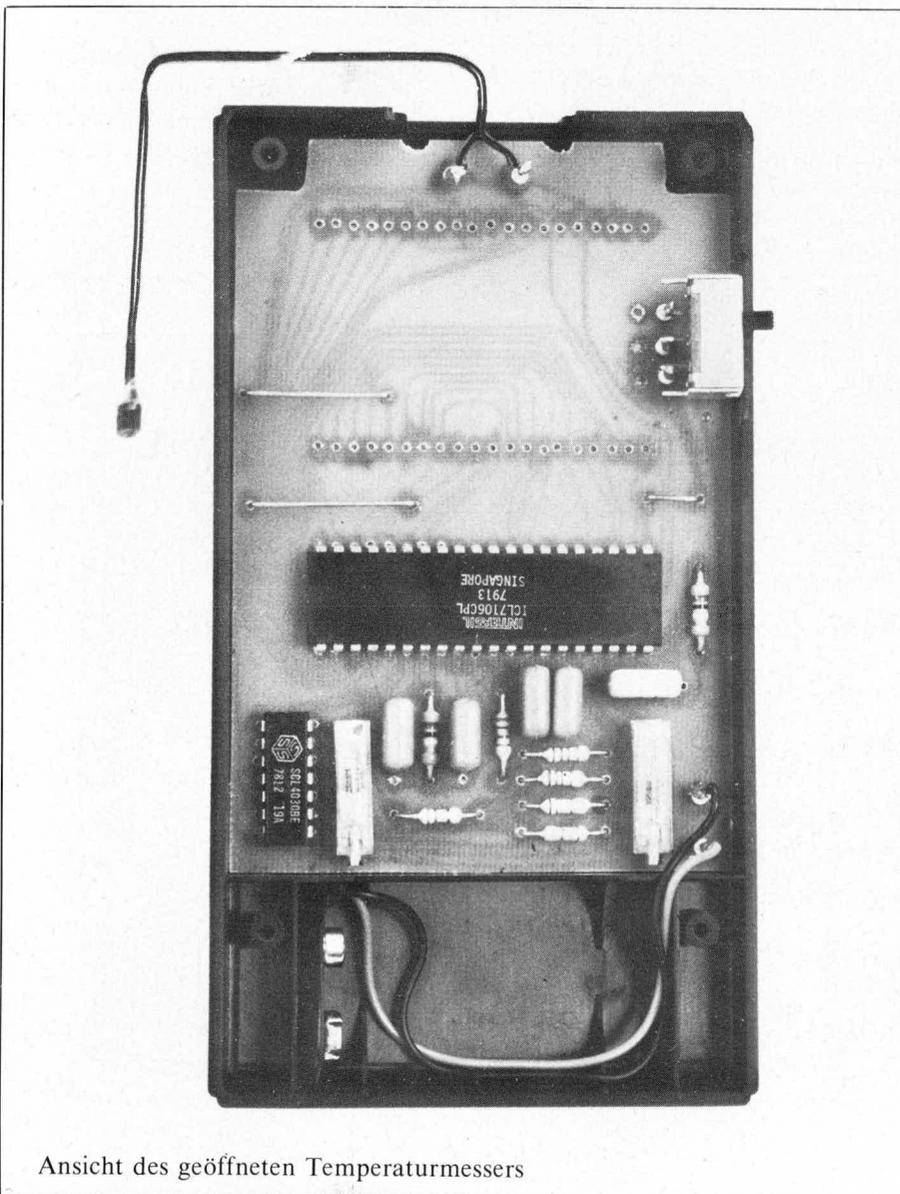
Mit Hilfe des Wendeltrimmers R2 in Zusammenhang mit dem Vorwiderstand R3 wird der Skalenfaktor eingestellt (Festlegung der Beziehung zwischen Temperatursensor und Eingangsspannung des A/D Wandlers).

Der Wendeltrimmer R5 ermöglicht in Verbindung mit dem Vorwiderstand R4 den Nullpunktgleich, der in diesem Anwendungsfall eine Verschiebung des Gleichspannungspotentials des Eingangs „IN LOW“ darstellt.

Über den Widerstand R6 wird das von dem Temperatursensor in Zusammenhang mit der Linearisierungsschaltung gewonnene Signal auf den Eingang „IN HIGH“ des A/D Wandlers geführt.

Die Linearisierungsschaltung besteht aus den Widerständen R7, R8 und R9, die die ohnehin nur sehr leicht gebogene Kennlinie des Temperatursensors im Bereich von  $-40$  bis  $+120$   $^{\circ}\text{C}$  nahezu in eine Gerade umwandelt. Auch außerhalb dieser Grenzen ist noch im Bereich von  $-50$  bis  $+150$   $^{\circ}\text{C}$  eine Temperaturmessung möglich, wobei dann aber die Abweichungen etwas zunehmen.

Die Linearitätsabweichungen bleiben in dem zuerst genannten Bereich im allgemeinen unter 1%. Die hierdurch zu erzielende Genauigkeit der Temperaturmessung läßt sich aber durch geschickten Abgleich des fertiggestellten Temperaturmessers für einen gewählten Bereich noch erheblich steigern, so daß sich die absolute Genauigkeit bis auf wenige zehntel Grad steigern läßt. Hierauf wird unter dem Punkt „Abgleich“ noch näher eingegangen.



Ansicht des geöffneten Temperaturmessers

## Aufbau

In den meisten Fällen soll die fertig bestückte Platine in ein Gehäuse eingebaut werden, zumal hierfür schon eine entsprechende Möglichkeit vorgesehen ist.

Zweckmäßigerweise geht man beim Aufbau deshalb wie folgt vor:

Zuerst wird die noch unbestückte Platine in das Gehäuse eingepaßt. Dies ist ratsam, da man immer mit gewissen Toleranzen seitens des Platinenmaterials oder der Gehäuseabmessungen rechnen muß. Ggf. muß die Platine an den Kanten etwas nachgearbeitet werden, wobei darauf zu achten ist, daß die Platine nachher nicht zu eng im Gehäuse sitzt, aber doch groß genug bleibt, um auf dem im Gehäuse befindlichen Absatz noch einwandfrei aufzuliegen.

Sobald dies erledigt ist, kann mit dem eigentlichen Aufbau in gewohnter Weise begonnen werden.

Als erstes werden die Brücken, danach die Widerstände, Trimmer und Kondensatoren eingelötet.

Bevor wir nun zum Einpassen der LCD-Anzeigeeinheit kommen, wer-

den noch das IC 2 sowie anschließend das IC 1 eingelötet.

Damit die LCD-Anzeigeeinheit einwandfrei in das Gehäuse eingepaßt werden kann, wird diese zunächst in die 40 Bohrungen gesetzt ohne sie jedoch festzulöten.

Wichtig dabei ist, daß sich die Anzeige dabei auf der Leiterbahnseite und nicht wie sonst üblich auf der Bestückungsseite befindet.

Nun wird die Platine provisorisch in das Gehäuse gesetzt. Man sieht sich die Position der Anzeige an, ob diese einwandfrei in der dafür vorgesehenen Aussparung sitzt. Nach Entfernen des Gehäuses sind ggf. entsprechende Korrekturen in der Höhe der Anzeige vorzunehmen.

Bevor die Anzeige festgelötet wird, ist zu kontrollieren, ob diese auch „richtig herum“ und nicht etwa versehentlich auf dem Kopf stehend eingesetzt wurde. Feststellen läßt sich dies, indem man die Anzeige schräg gegen das Licht hält. Die Segmente der einzelnen Zahlen sind dann etwas sichtbar, auch ohne Anlegen einer Spannung.

Mit einem möglichst feinen LötKolben werden nun die vier Eckpunkte der

Anzeige kurz angelötet. Nach erneutem Anpassen im Gehäuse können noch einmal Korrekturen des Sitzes der Anzeige vorgenommen werden.

Ist die Position der Anzeige einwandfrei, können alle Anschlußpunkte der Anzeige auf der Leiterbahnseite festgelötet werden.

Nachdem dies geschehen ist, wird die fertig bestückte Platine, vor Einbau in das Gehäuse, abgeglichen. Hierzu sind lediglich noch der Temperatursensor sowie die Batterie anzuschließen.

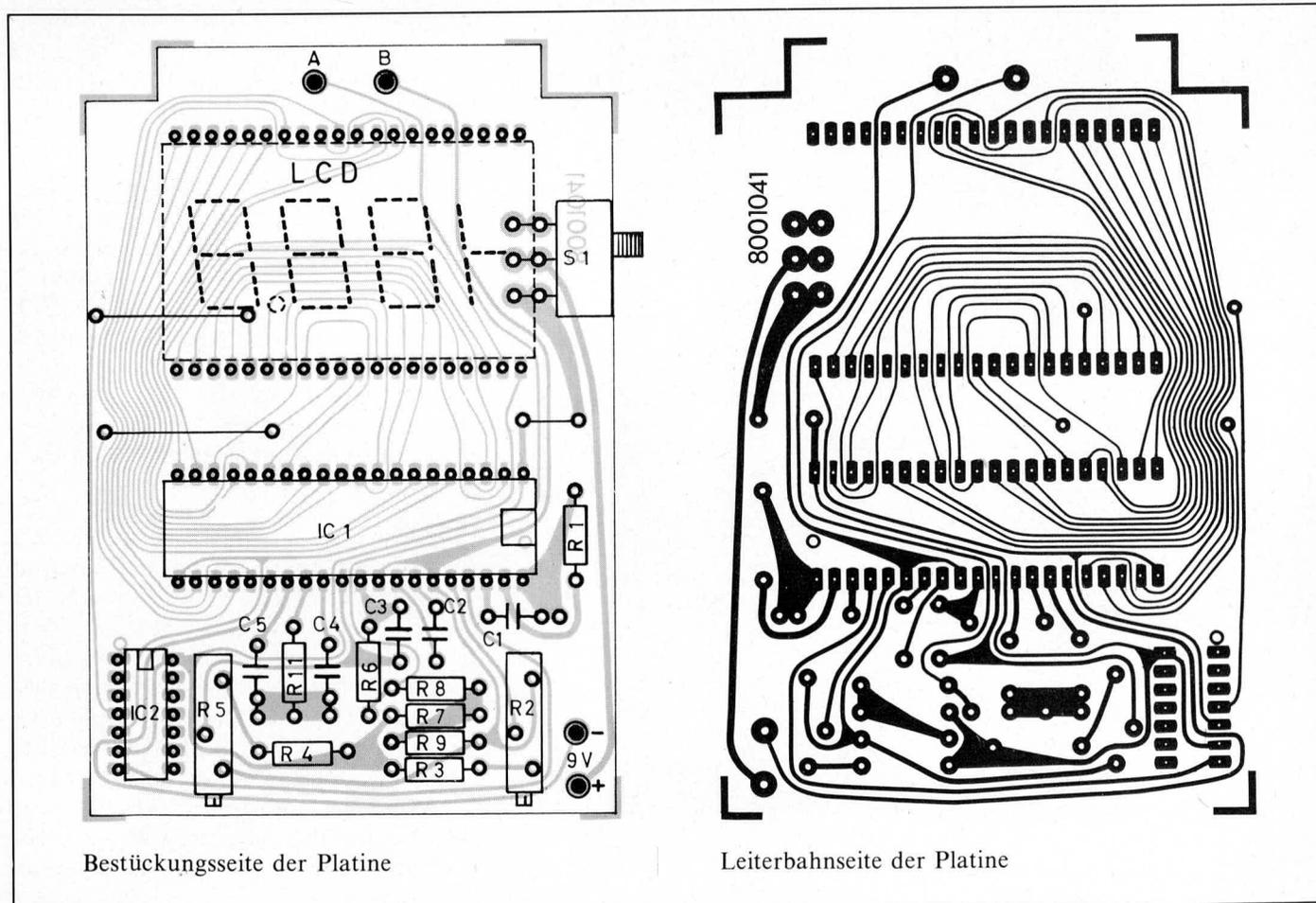
## Der Abgleich

Bevor das Gerät eingeschaltet wird, sollte man noch einmal die Bestückung kontrollieren.

Zum Abgleich stehen zwei getrennte, beides sehr genaue Methoden zur Verfügung.

Der Nullabgleich, der zuerst durchzuführen ist, ist bei beiden Methoden gleich.

Nachdem das Gerät eingeschaltet wurde, wird der Temperaturfühler in ein Glas, das mit einem Gemisch aus kleinstoßenen Eiswürfeln und Wasser besteht, eingetaucht.



Mit dem Wendeltrimmer R5 wird nun die Anzeige auf 00.0 abgeglichen, da das Eis-Wasser-Gemisch exakt eine Temperatur von 0,0 °C aufweist.

Es ist darauf zu achten, daß die Eiswürfel möglichst klein (wenige mm Durchmesser) gehackt wurden und nur verhältnismäßig wenig Wasser (möglichst weniger als 50%) in dem Glas ist, wobei natürlich alle Eisstückchen mit Wasser bedeckt sein müssen.

Das Fühlerelement muß möglichst weit in das Eiswasser getaucht werden, damit der Temperatureinfluß über die beiden Versorgungsleitungen ausgeschaltet wird.

Hält man sich vor Augen, daß mit diesem Gerät Temperaturen mit einer Auflösung von 0,1 °C gemessen werden, die man unter Einsatz des neuartigen Fühlerelementes dem Gerät auch weitgehend glauben kann, so ist der Temperatureinfluß über die Versorgungsleitungen des Fühlerelementes durchaus zu beachten und auszuschalten.

Sehr wesentlich ist es, noch anzumerken, daß die Anschlußdrähte des Temperatursensors einwandfrei isoliert werden müssen, damit nicht durch das Eintauchen in Wasser Kriechströme das Ergebnis verfälschen können.

Eine Isolierung erreicht man z.B. durch sauberes Anlöten der Anschlußlitze an die Sensorbeinchen bei anschließendem Rüberschieben der Isolierung bis zum Sensorkopf. Danach werden mit einem wasserfesten Klebstoff die Anschlußstellen abgedichtet.

Durch den Einsatz eines Schrumpfschlauches ist auch eine Isolierung möglich, die jedoch den Einsatz des Fühlerelementes bei hohen Temperaturen einschränkt.

Bei der Einstellung des Skalenfaktors können zwei verschiedene, in jedem Haushalt befindliche Vergleichsmöglichkeiten gewählt werden.

Erste Möglichkeit:

Man erinnert sich des hoffentlich wenig gebrauchten Fieberthermometers, das normalerweise nur eine Abweichung von höchstens  $\pm 0,1$  °C hat.

Nachdem sowohl Fieberthermometer als auch Temperatursensor desinfiziert und gereinigt wurden, mißt man zunächst seine eigene Körpertemperatur am besten im Mund mit dem Fieberthermometer. Sollte sich eine Anzeige

### **Stückliste digitales, elektronisches Thermometer**

#### **Halbleiter**

IC1 ..... ICL 7106  
IC2 ..... CD 4030

#### **Kondensatoren**

C1 ..... 100 pF  
C2 ..... 100 nF  
C3 ..... 10 nF  
C4 ..... 220 nF  
C5 ..... 100 nF

#### **Widerstände**

R1 ..... 100 KOhm  
R2 100 KOhm, Wendeltrimmer  
R3 ..... 470 KOhm  
R4 ..... 220 KOhm  
R5 100 KOhm, Wendeltrimmer  
R6 ..... 1 MOhm  
R7 ..... 5,6 KOhm  
R8 ..... 1,5 KOhm  
R9 ..... 150 KOhm

#### **Temperaturfühlerelement**

R10 ..... Temperatursensor

#### **Anzeigeneinheit**

3 1/2-stelliges LCD-Display

#### **Schalter**

S1 Schiebeschalter ITT Typ 50MP

von über 42 °C ergeben, ist entweder das Thermometer kaputt, oder Sie sind bereits tot. In beiden Fällen kann dann der Abgleich nicht ohne weiteres durchgeführt werden.

Nehmen wir aber einmal den günstigen Fall an, daß sich eine Anzeige von z. B. 36,9 °C einstellt. Der Temperatursensor wird dann in den Mund genommen. Nach 1 bis 2 Minuten kann die Anzeige mit dem Wendeltrimmer R 2 auf diesen Wert eingestellt werden. Zu Kontrollzwecken kann gleichzeitig oder auch hinterher die Temperatur noch einmal mit dem Fieberthermometer überprüft werden.

Zweite Möglichkeit:

Man macht sich die Tatsache zunutze, daß kochendes Wasser eine Tempe-

ratur von 100 °C aufweist, die lediglich geringfügig mit dem Luftdruck schwankt. Dieser Einfluß ist jedoch vernachlässigbar.

Der Temperatursensor wird in das kochende Wasser (muß richtig sprudelnd kochen; Vorsicht Verbrennungsgefahr) mindestens 1 bis 2 cm tief (eher etwas tiefer) eingetaucht.

Wichtig ist hierbei, daß der Sensor nicht den Topfboden berührt, da dieser unter Umständen auch heißer sein kann und das Ergebnis dadurch verfälschen könnte.

Die Anzeige ist nun mit dem Wendeltrimmer R2 auf 100,0 abzugleichen.

Das digitale, elektronische Thermometer ist jetzt in °C kalibriert.

Welche Methode des Abgleichs man wählt, hängt im wesentlichen von dem späteren Einsatz ab.

Sollen überwiegend Temperaturen im Wohnbereich (unter +50 °C) gemessen werden, so ist die Fieberthermometer-Methode günstiger, da hierdurch diese Temperaturen besser abgedeckt werden.

Im Bereich um Null Grad C und im Bereich bis 40 °C sind Genauigkeiten von  $\pm 0,1$  °C erreichbar.

Dies ist eine Genauigkeit, die selbst von sehr teuren, professionellen Temperaturmessern teilweise nur mit Mühe erreicht wird.

Werden häufig Temperaturen von über 50 °C gemessen (z. B. Gehäus Temperaturen von Leistungshalbleitern), so ist die 100-°C-Methode vorzuziehen.

Hier sind nahezu über den gesamten Bereich Genauigkeiten von besser als 1% (teilweise erheblich besser) vom Endwert zu erzielen.

Die Methoden des Abgleichs sind deshalb so genau beschrieben, da diese eine ganz wesentliche Voraussetzung für ein genaues und erfolgreiches Arbeiten darstellen.

Zum Schluß ist die fertig bestückte und abgegliche Platine in das Gehäuse einzusetzen und mit einem Tupfen Klebstoff in jeder Ecke festzuheften.

Wir wünschen unseren Lesern viel Freude beim Nachbau und beim späteren Einsatz dieses vielseitigen digitalen, elektronischen Temperaturmessers.