



# Präzisionsthermometer T 600

**Das neue ELV Hand Held-Präzisionsthermometer T 600 ermöglicht sehr genaue Temperaturmessungen in einem weiten Temperaturbereich von -100 °C bis +500 °C. Als Temperaturfühler kommt ein hochwertiger und langzeitstabiler Pt100-Platinsensor zum Einsatz.**

## Allgemeines

Gerade im professionellen und semiprofessionellen Bereich sind genau anzeigende Thermometer mit einem weiten Messbereich vielfach erforderlich, man denke nur an die Wasser- und Landwirtschaft, die chemische Industrie, Labore, die Lebensmittelbranche, den Handel usw.

Aber auch im privaten Bereich erobern sich besonders vielseitig einsetzbare und immer genauere Messgeräte zunehmend das Terrain. Das Problem preiswerter Temperaturmessgeräte ist vor allem der eingeschränkte Messbereich, der sich meist nur

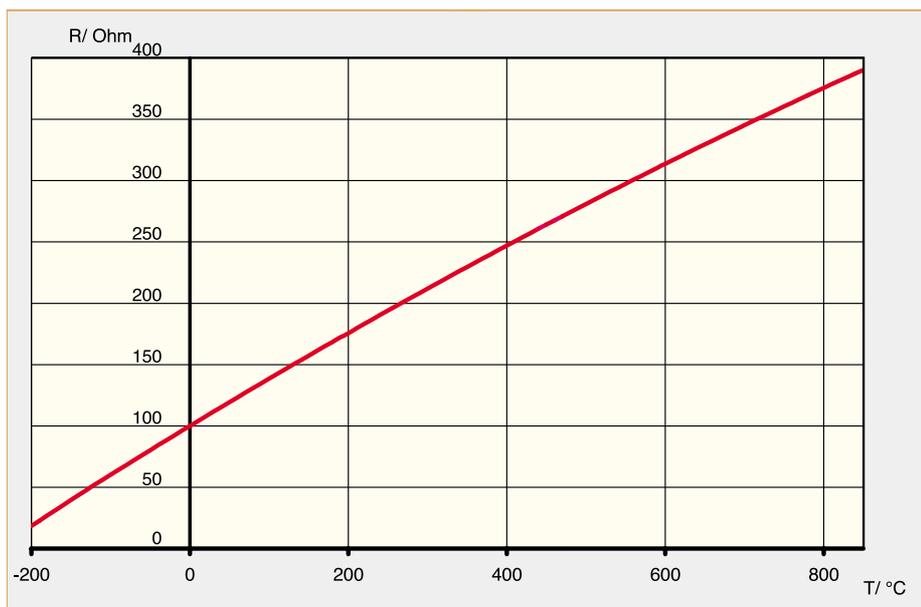
zwischen -5 °C und ca. 50 °C bewegt. Dazu kommt eine besonders billig ausgelegte Auswertelektronik.

Diese Nachteile werden vom hier vorgestellten Präzisionsthermometer aus dem Hause ELV vermieden, dessen beeindruckende technische Daten in Tabelle 1 aufgeführt sind. Die ausgefeilte Schaltungstechnik und das eingesetzte hochwertige Platin-Sensorelement sorgen für die große Präzision und Langzeitstabilität. Die gesamte prozessorgesteuerte Messelektronik

zwischen -5 °C und ca. 50 °C bewegt. Dazu kommt eine besonders billig ausgelegte Auswertelektronik.

**Tabelle 1: Technische Daten**

Messbereich: .....	-100 °C bis 500 °C
Auflösung: .....	0,1 K
Genauigkeit (-50 °C bis 100 °C): .....	typ. 0,4 K
Genauigkeit (alle anderen Bereiche): .....	typ. 1 K
Mögliche Temperatureinheiten: .....	°C / °F / K
Abmessungen (ohne Fühler) L x B x T: .....	171 x 71 x 27 mm
Länge des Fühlers (o. Griff/Ltg.): .....	300 mm



**Bild 1: Kennlinie des Pt100-Messfühlers**

ist im neuen, formschönen ELV-Handmessgerätegehäuse untergebracht. Das Platin-Sensorelement befindet sich in einem mit Keramik versiegelten, 300 mm langen Edelstahlröhrchen mit einem praktischen Griff. Die gesamte Fühlereinheit wird über ein Kabel mit dem Messgerät verbunden, damit eine gewisse Flexibilität bei den Messungen gegeben ist - man erreicht das Messobjekt bequemer und kann gleichzeitig einfach das Messgerät bedienen und ablesen.

Warum Platin? Das Edelmetall Platin wird schon seit vielen Jahren zur Temperaturmessung verwendet und hat sich im Laufe der Zeit für Anwendungen bei sehr hohen Temperaturen zum Industriestandard entwickelt. Durch die Weiterentwicklung des Aufbaus und der Produktion dieser Sensorelemente sind die Platinfühler heute auch für private Anwendungen erschwinglich geworden.

### Funktionen

Der aktuelle Messwert kann auf dem Display „eingefroren“ werden (Hold-Funktion), ferner besteht die Möglichkeit, die minimale und die maximale Temperatur aus dem Min-Max-Speicher abzurufen, um Temperaturschwankungen zu bewerten. Die Anzeige der Temperatur kann in drei verschiedenen Einheiten erfolgen: Grad Celsius, Grad Fahrenheit und in Kelvin.

### Bedienung

Der Pt100-Messfühler wird über einen 3,5-mm-Klinkenstecker, der sich an der Unterseite des Gerätes befindet, angeschlossen.

Die Bedienung erfolgt über die in das Gehäuse integrierte Folientastatur. Mit den

fünf Tasten lassen sich alle Funktionen des Thermometers abrufen bzw. steuern.

Das Einschalten des Gerätes erfolgt über die Taste ON/OFF, die bis nach dem Segmenttest, bei dem alle Zeichen auf dem LC-Display eingeschaltet sind, gedrückt werden muss. Danach werden zuerst vier Balken dargestellt und nachdem die Taste losgelassen wurde, die aktuelle Temperatur. Das Abschalten erfolgt entweder durch einen Druck der ON/OFF-Taste, bis „OFF“ im Display erscheint, oder automatisch wenn 15 Minuten keine Taste gedrückt worden ist. Diese AutoOff-Funktion ist deaktivierbar, indem beim Einschalten die HOLD-Taste gedrückt gehalten wird, bis der Segmenttest abgeschlossen ist.

Betätigt man während einer Messung die Taste HOLD, wird der aktuelle Messwert gespeichert („eingefroren“). Diese Anzeige bleibt so lange erhalten, bis man die Taste ein weiteres Mal betätigt. Auch bei aktivierter HOLD-Funktion erfolgt im Hintergrund die laufende Erfassung der jeweils aktuellen Daten. Dies ist für die korrekte Funktion des Min-Max-Speichers erforderlich.

Das Abrufen der Minimal- und Maximalwerte erfolgt durch die Taste MIN-MAX, die nach der ersten Betätigung den Modus zur Ausgabe der Minimaltemperatur aktiviert. Ein weiterer Druck auf die gleiche Taste, und der Maximalwert wird ausgegeben. Ein dritter Tastendruck führt wieder zurück zur Anzeige der aktuellen Temperatur.

Als weitere interessante Funktion ist die Umschaltung der Temperatureinheit möglich, die über die Taste DIM erfolgt. Es stehen drei Einheiten zur Verfügung: Grad Celsius (°C), Grad Fahrenheit (°F) und als Basisgröße Kelvin (K).

Eine manuelle Umschaltung des Messbe-

reichs ist nicht notwendig, da die gesamte Steuerung durch einen Mikrocontroller erfolgt, der auch die Messbereichsauswahl übernimmt.

Die Spannungsversorgung erfolgt mit einer 9-V-Blockbatterie, die im rückseitigen Batteriefach ihren Platz findet. Sinkt die Spannung der Batterie ab, wird dies auf dem LC-Display durch die BAT-Anzeige eindeutig dargestellt und der Batteriewechsel sollte möglichst bald erfolgen. Einige Stunden Betrieb sind jedoch auch jetzt noch möglich, wenn auch mit etwas eingeschränkter Messgenauigkeit.

### Messtechnik

Der Platinfühler gehört zur Gruppe der Widerstandstemperatursensoren, d. h. er ändert seinen Widerstand mit der Temperatur. Es sind verschiedene Platinsensoren auf dem Markt erhältlich, der hauptsächlichste Unterschied besteht aus dem Widerstand bei 0 °C. Üblich sind Werte von 100 Ω (Pt100), 200 Ω (Pt200), 500 Ω (Pt500) und 1000 Ω (Pt1000). Die Temperatur-Widerstand-Beziehung wird bei Platinsensoren im Temperaturbereich von -200 °C bis +850 °C durch zwei Polynome beschrieben. Der erste Bereich ist von -200 °C bis 0°C spezifiziert:

$$R(t) = R_0 \cdot \left[ 1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{t}{^\circ\text{C}} - 0,580195 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{t}{^\circ\text{C}} \right)^2 + 0,42735 \cdot 10^{-9} \cdot \left( \frac{t}{^\circ\text{C}} \right)^3 - 4,2735 \cdot 10^{-12} \cdot \left( \frac{t}{^\circ\text{C}} \right)^4 \right]$$

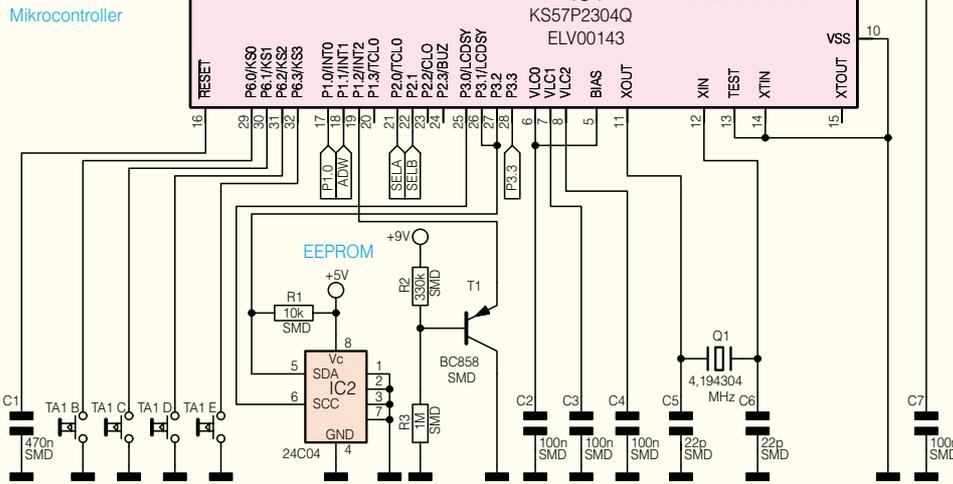
Das zweite Polynom beschreibt den Bereich von 0 °C bis +850 °C:

$$R(t) = R_0 \cdot \left[ 1 + 3,90802 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{t}{^\circ\text{C}} - 0,580195 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{t}{^\circ\text{C}} \right)^2 \right]$$

Der Faktor  $R_0$  bezeichnet den Widerstandswert des Fühlers bei 0 °C, der beim hier verwendeten Element (wie oben beschrieben) 100 Ω beträgt. Die graphische Darstellung dieser Werte ist in Abbildung 1 zu sehen. Aus dieser Kennlinie kann man den nichtlinearen Verlauf erkennen. Zur Linearisierung von Widerstandstemperaturfühlern wird üblicherweise ein Linearisierungswiderstand vorgeschaltet, Platintemperatursensoren benötigen aber wegen des negativen quadratischen Terms in der Kennlinie einen negativen Vorwiderstand. Dieser wird in der Schaltung durch eine Stromquelle mit negativem Innenwiderstand realisiert.

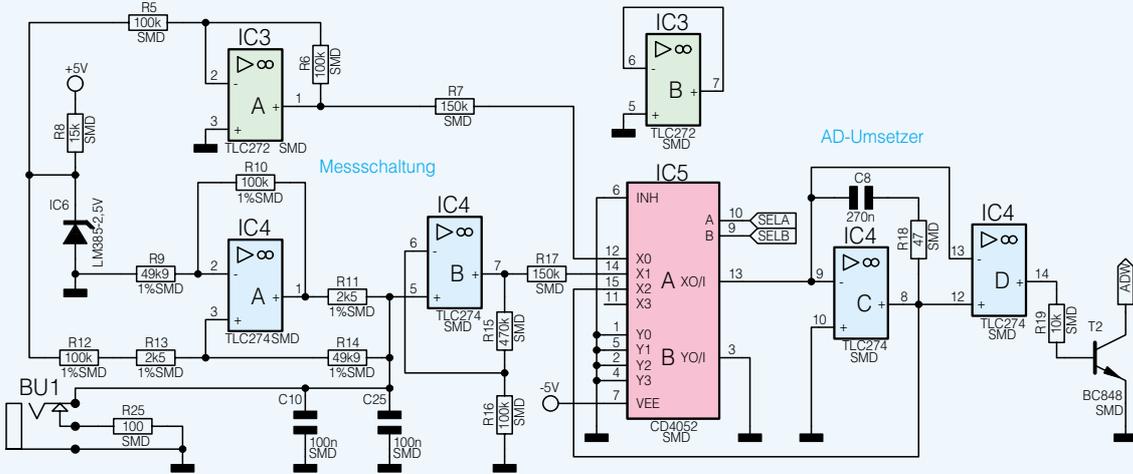
Bild 2: Schaltbild des Präzisionsthermometers T 600

Die Steuer- und Anzeigeeinheit des T 600



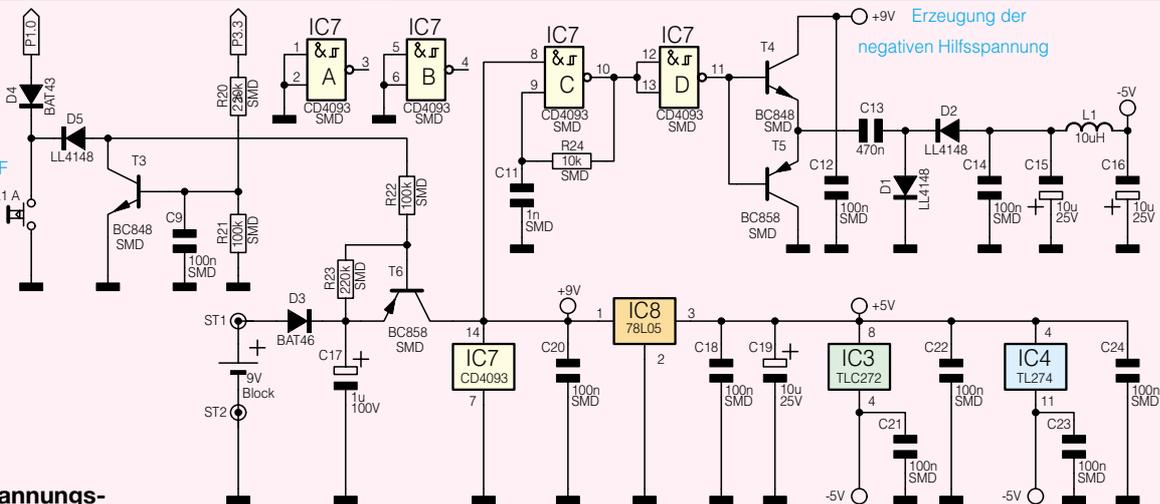
Die Messschaltung des T 600

Klinkenbuchse zum Anschluss des PT100-Messfühlers

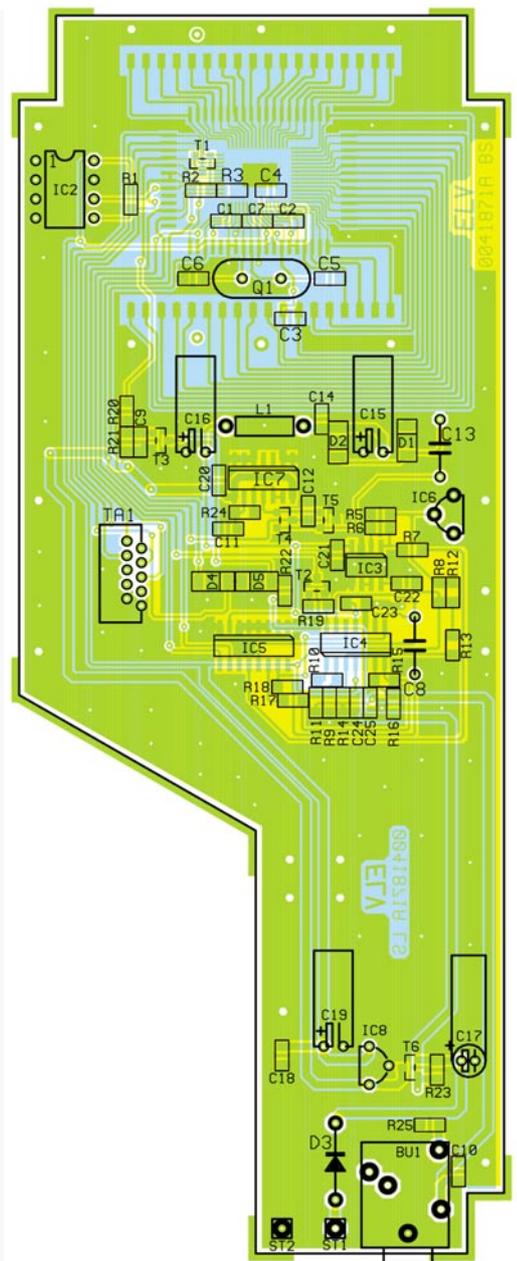
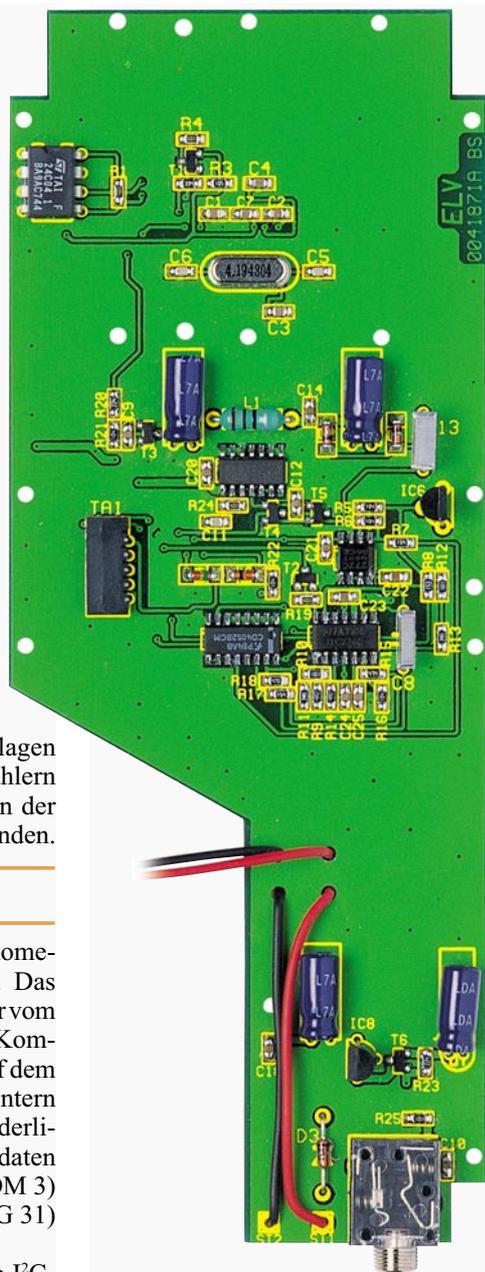


Die Spannungsversorgung des T 600

Spannungsversorgung



Ansicht der fertig bestückten Platine des T 600 mit zugehörigem Bestückungsplan von der Bestückungsseite



Nachdem wir uns jetzt die Grundlagen zur Temperaturmessung mit Platinfühlern erarbeitet haben, wollen wir uns nun der eigentlichen Schaltungstechnik zuwenden.

### Schaltung

Die Schaltung des Präzisionsthermometers ist in Abbildung 2 dargestellt. Das zentrale Bauteil ist ein Mikrocontroller vom Typ ELV00143, der alle peripheren Komponenten steuert und die Ausgabe auf dem LC-Display vornimmt. Er erzeugt intern alle zum Betrieb des Displays erforderlichen Signale und gibt die Anzeigedaten über die Backplane- (COM 0 bis COM 3) und Segmentleitungen (SEG 0 – SEG 31) an das Display aus.

IC 2, ein EEPROM, das über eine I<sup>2</sup>C-Schnittstelle mit dem Mikrocontroller verbunden ist, speichert alle Abgleichdaten, die zum Betrieb des Thermometers notwendig sind sowie die Min-Max-Daten.

Die Tasten TA 1 B bis TA 1 E sind direkt an den Port 6 (der bereits intern über PullUp-Widerstände verfügt) des Prozessors geschaltet, die Auswertung der Tastenbetätigung erfolgt also ausschließlich über den Mikrocontroller.

Ein Betätigen der Taste TA 1 A schaltet den Transistor T 6 durch, der die Betriebsspannung des Thermometers zuschaltet. Damit aber der Taster nicht während der gesamten Betriebszeit festgehalten werden muss, erhält der Controller den durchgeschalteten Zustand von T 6 über den Transistor T 3, das Gerät bleibt damit eingeschaltet. Die Dioden D 4 und D 5 verhindern eine gegenseitige Beeinflussung von Controllerpin P1.0 und der Schaltung zum Halten der Betriebsspannung. Die Versorgungsspan-

nung (9-V-Blockbatterie) wird vom Spannungregler IC 8 auf 5 V stabilisiert.

Die Schaltungsanordnung aus Rechteckgenerator IC 7 C, Pufferstufe IC 7 D, Endstufe T 4, T 5 und der nachfolgenden Gleichrichter- und Sieb-Beschaltung generiert aus der 9-V-Versorgungsspannung die benötigte negative Hilfsspannung von -5 V.

Die Speisung der Stromquelle mit negativem Innenwiderstand, die mit IC 4 A und R 9 bis R 14 realisiert ist, erfolgt mit einer Spannung von 2,5 V. Diese wird über die Z-Diode IC 6 vom Typ LM385-2,5V mit Vorwiderstand erzeugt und stabilisiert. Am Ausgang der Stromquelle wird der Temperaturfühler über die Klinkenbuchse BU 1 angeschlossen. Der nachgeschaltete Messverstärker (IC 4 B, R 15, R 16) verstärkt die über den Temperatursensor abfallende Spannung so weit, dass sie mit hoher Auflösung auswertbar ist.

Die Digitalisierung der analogen Messspannung erfolgt mit einem Zwei-Rampen-AD-Wandler (Dual-Slope), der aus einem Integrator (IC 4 C, C 8, R 18) und einem Komparator (IC 4 D) besteht. Bei diesem AD-Umsetzungsverfahren wird zuerst die Messspannung eine definierte Zeit lang aufintegriert, danach erfolgt so lange eine Integration der Referenzspannung, die das entgegengesetzte Vorzeichen haben muss, bis der Komparator umschaltet. Diese ermittelte Zeit wird zu der Zeit, in der die Messspannung integriert wurde, ins Verhältnis gesetzt und daraus der entsprechende digitale Wert errechnet. Die für den Analog-Multiplexer IC 5 zusätzlich erforderliche negative Hilfsspannung wird von der Z-Diode IC 6 bestimmt. IC 3 A invertiert diese Spannung und gibt sie als negative Hilfsspannung an IC 5 ab.

**Ansicht der fertig bestückten Platine des T 600 mit zugehörigem Bestückungsplan von der Lötseite**

Das Ende der A/D-Umsetzung wird dem Controller über den Transistor T 2 mitgeteilt.

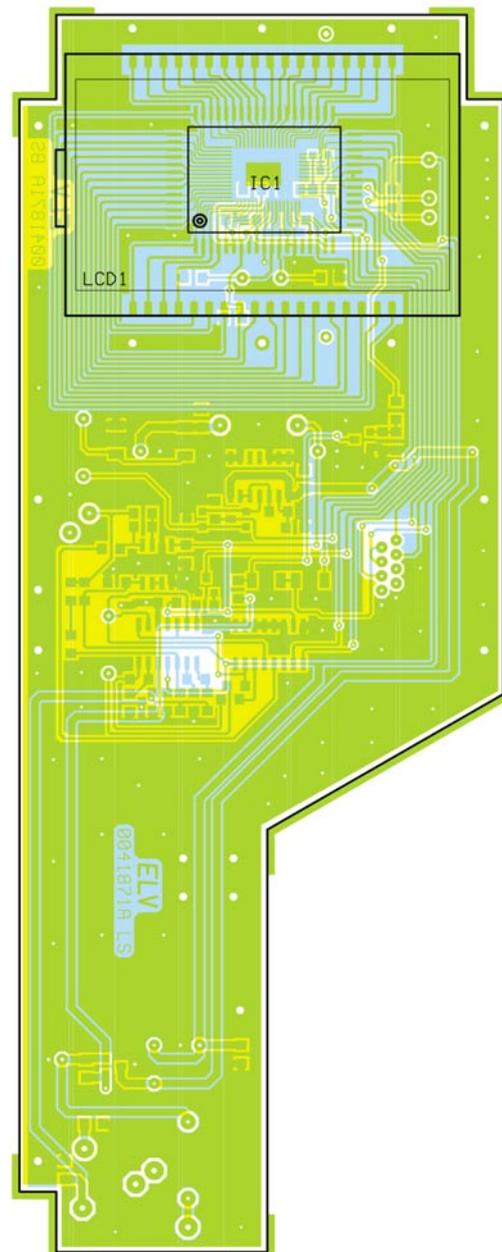
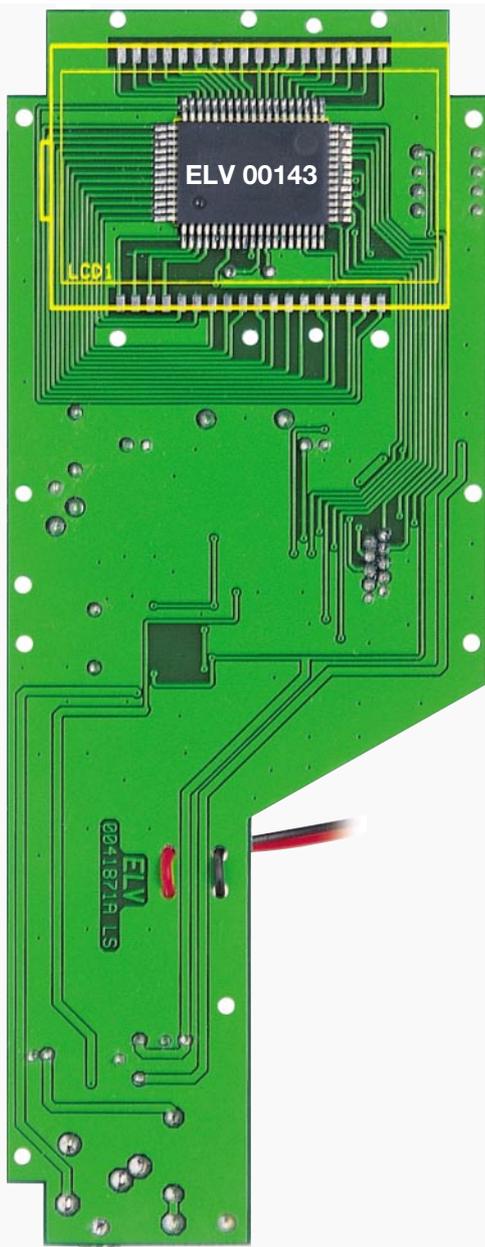
Die Erkennung des Batteriezustandes erfolgt über T 1 und R 2 bis R 3. Sobald die Batteriespannung zu weit abgefallen ist, schaltet der Transistor T 1 durch, der Controller erkennt an P1.2 einen Low-Pegel und aktiviert sofort das BAT-Symbol im Display.

**Nachbau**

Das Präzisionsthermometer ist weitgehend in SMD-Technik ausgeführt, der Aufbau erfordert etwas Geschick und vor allem geeignetes Werkzeug.

Deshalb ist es erforderlich, für die Bestückungs- und Lötarbeiten über einen temperaturgeregelten LötKolben mit sehr schlanker Spitze bzw. über einen SMD-LötKolben zu verfügen. Die Leistung des LötKolbens sollte bei 8 - 10 W liegen. Als Lötzinn kommt 0,5-mm-SMD-Lötzinn zum Einsatz. Ergänzt wird die Ausstattung durch eine spitze Pinzette (ideal ist eine spezielle SMD-Pinzette), die auch das sichere Positionieren von SMD-Widerständen erlaubt. Für das Absaugen versehentlich zuviel aufgetragenen Lötzinns ist Entlötlitze hilfreich. Schließlich ermöglichen ein ausreichend hell beleuchteter Arbeitsplatz und eine Lupe die exakte Kontrolle der Arbeiten.

Alle Bauteile, einschließlich des LC-Displays, finden auf einer doppelseitigen, durchkontaktierten Leiterplatte mit den Abmessungen 164 x 64 mm ihren Platz. Die Bestückung beginnt in üblicher Weise mit den niedrigsten Bauelementen, den SMD-Widerständen und -Kondensatoren. Für jedes Bauteil ist ein LötPad vorverzinnen, dann wird das Bauteil mit der SMD-Pinzette auf der Platine platziert und am vorverzinnten Pad verlötet. Solange der zweite Anschluss noch nicht angelötet ist, kann man, falls erforderlich, noch Korrekturen vornehmen. Nachdem so alle SMD-Widerstände und -Kondensatoren bestückt



sind, beginnt die Bestückung der SMD-Transistoren, der -Dioden und schließlich der -ICs. Die Dioden sind an der Kathode mit einem Ring gekennzeichnet, dessen Lage mit der Markierung im Bestückungsdruck der Platine übereinstimmen muss. Die Lage der Transistoren ergibt sich ebenfalls aus dem Bestückungsdruck auf der Platine. Auch diese Bauelemente werden zunächst an einem Anschluss verlötet und die exakte Lage kontrolliert, bevor man die restlichen Anschlüsse verlötet.

Vor dem Bestücken der ICs wird wieder zuerst nur je ein LötPad vorverzinnt, das IC mit der Pinzette exakt positioniert und an einem Pin verlötet. Zum sicheren Erkennen sind die Bauteile an der Pin 1 zugeordneten Seite etwas angeschrägt oder Pin 1 ist mit einem Punkt gekennzeichnet (siehe auch Platinenfoto). Nach der Kontrolle über die exakte Einbaulage und evtl. einer letzten Ausrichtung wird nun der gegenüber-

liegende Pin verlötet. Damit hat das IC einen sicheren Halt auf der Platine und man kann nun alle restlichen IC-Pins mit wenig Zinn verlöten. Sollte dabei versehentlich Lötzinn zwischen die IC-Anschlüsse laufen, so entfernt man dieses durch Absaugen mit Entlötlitze. Bei der Bestückung des Mikrocontrollers IC 1 ist dabei mit besonderer Sorgfalt vorzugehen, da hier die Anschlussdichte besonders hoch ist.

Bevor nun die Bestückung der bedrahteten Bauelemente beginnt, sind die SMD-Bauteile noch einmal auf Kurzschlüsse und Lötfehler zu kontrollieren. Die bedrahteten Komponenten werden, falls erforderlich, auf Rastermaß abgewinkelt, durch die entsprechenden Bohrungen geführt und auf der Rückseite verlötet. Die polrichtig in liegender Position zu bestückenden Elektrolytkondensatoren (C 15, C 16, C 17 und C 19) sind üblicherweise am Minuspol gekennzeichnet.

## Stückliste: Präzisions-Thermometer T 600

### Widerstände:

47Ω/SMD .....	R18
100Ω/SMD .....	R25
2,5kΩ/SMD/1% .....	R11, R13
10kΩ/SMD .....	R1, R19, R24
15kΩ/SMD .....	R8
49,9kΩ/SMD/1% .....	R9, R14
100kΩ/SMD .....	R5, R6, R16, R21, R22
100kΩ/SMD/1% .....	R10, R12
150kΩ/SMD .....	R7, R17
220kΩ/SMD .....	R20, R23
330kΩ/SMD .....	R2
470kΩ/SMD .....	R15
1MΩ/SMD .....	R3

### Kondensatoren:

22pF/SMD .....	C5, C6
1nF/SMD .....	C11
100nF/SMD .....	C2-C4, C7, C9, C10, C12, C14, C18, C20-C25
270nF .....	C8
470nF .....	C13
470nF/SMD .....	C1
1μF/100V .....	C17
10μF/25V .....	C15, C16, C19

### Halbleiter:

ELV00143/Flat-Pack .....	IC1
24C04/SMD .....	IC2
TLC272/SMD .....	IC3
TLC274/SMD .....	IC4
CD4052/SMD .....	IC5
LM385/2,5V .....	IC6
CD4093/SMD .....	IC7
78L05 .....	IC8
BC858 .....	T1, T5, T6
BC848 .....	T2-T4
LL4148 .....	D1, D2, D5
BAT46/SMD .....	D3
BAT43/SMD .....	D4
Universal-LC-Display .....	LCD1

### Sonstiges:

Quarz, 4,194304MHz .....	Q1
Festinduktivität, 10μH .....	L1
Klinkenbuchse, 3,5mm, stereo, print .....	BU1
Buchse für Folientastatur .....	TA1
1 Folientastatur	
1 Folientastatur-Inlay, T 600	
2 Leitgummis	
1 9-V-Batterieclip	
1 Universal-Messgerätgehäuse, komplett, bearbeitet und bedruckt	
1 Typenschild T 600	
1 Temperaturfühler Pt100 (optional), komplett	

Bei der Bestückung und dem Verlöten der Klinkenbuchse BU 1 ist darauf zu achten, dass der Buchsenkörper allseitig plan

auf der Platine aufliegt, bevor die Anschlüsse verlötet werden. Die plane Lage vermeidet zum einen eine mechanische Belastung der Lötstellen beim Steckvorgang an der Buchse und sichert zum anderen die exakte Lage der Buchse gegenüber der zugehörigen Gehäuseöffnung.

Im Anschluss daran werden die Anschlüsse des Batterieclips zur Zugentlastung durch die Bohrungen geführt und an den dafür vorgesehenen Pads verlötet.

### Displaymontage

Machen Sie sich vor der Montage des Displays mit der späteren Lage des Abdeck- und Montagerahmens auf der Platine vertraut. Legen Sie dann das Display lage-richtig in die durchsichtige Displayabdeckung hinein. Dabei muss sich die seitliche Verdickung des Displays in der entsprechenden Öffnung der Abdeckung befinden.

Anschließend wird der schwarze Halterahmen von der zuvor beschriebenen gegenüberliegenden Seite auf die Displayabdeckung aufgeschoben. Hierbei muss die korrekte Montagerichtung des Halterahmens beachtet werden, da sich dieser ansonsten nicht ganz bis in die Endposition einrasten lässt. Danach sind die Leitgummis an den entsprechenden Stellen einzusetzen.

Schließlich wird auf die so vormontierte Displayeinheit die Platine aufgelegt und beides mit 6 Knippingschrauben verschraubt. Die genaue Einbaulage ergibt sich dabei aus den zwei Zapfen, die genau in die zugehörigen Bohrungen der Platine passen müssen. Zu beachten ist dabei, dass sich bei der lagerichtigen Betrachtung des Displays die Verdickung am Displayrand auf der linken Seite befinden muss.

### Tastaturmontage

Die Folientastatur besteht aus einer mehrschichtigen, universell einsetzbaren Folienanordnung. In die Deckfolie ist dabei eine Tasche eingearbeitet, die wiederum die Aufnahme einer Beschriftungsfolie.

Die Montage ist wie folgt vorzunehmen: Einlegen der Beschriftungsfolie in die Tasche der Tastatur, dann Durchführen des Flachkabels durch den Gehäuseausschnitt und Einkleben der Tastatur in die Mulde des Gehäuseoberteils. Dazu ist die Deckfolie auf der Rückseite Stück für Stück abzuziehen und die Tastatur schrittweise und gerade laufend einzukleben.

### Gehäuseeinbau

Zum Einbau in das Gehäuse wird zunächst das Kabel der Folientastatur seitlich in den Steckverbinder TA 1 eingesteckt und dann die Leiterplatte, mit dem Display voran, in die obere Gehäusehalbschale eingelegt. Danach folgt das Einsetzen der

Tabelle 2: Siedetemperatur in Abhängigkeit vom Luftdruck

Luftdruck in hPa	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

Platten für die Stirnseiten des Gehäuses und das Befestigen der Leiterplatte mit sechs Knippingschrauben. Abschließend werden der Batterieclip in das Batteriefach der Gehäuseunterschale eingeführt und beide Gehäuseteile mit 4 Schrauben verschraubt.

### Inbetriebnahme und Abgleich

Bevor das Präzisionsthermometer eine Temperaturanzeige liefern kann, muss ein Abgleich erfolgen, bei dem man das Sensorelement individuell einmisst. Der Abgleichmodus startet nach dem ersten Einschalten automatisch. Um später einen erneuten Abgleich durchführen zu können, sind die Tasten HOLD und MIN-MAX während des Einschaltens festzuhalten.

Der Abgleich erfolgt an zwei reproduzierbaren Punkten, bei 0 °C und am Siedepunkt des Wassers. Als erstes wird eine Mischung aus Wasser und zerstoßenem Eis mit dem Messfühler für einige Zeit umgerührt. Dabei zeigt das Messgerät 0 °C an. Eine Betätigung der Taste HOLD speichert den aktuellen Wert ab. Der zweite Abgleichpunkt liegt bei der Siedetemperatur des Wassers. Diese Temperatur ändert sich in einem gewissen Maße mit dem Luftdruck (Tabelle 2). Um eine genaue Kalibrierung durchführen zu können, wird die Kenntnis des aktuellen Luftdrucks vorausgesetzt. Mit den Tasten MIN-MAX (+) bzw. DIM (-) ist die Siedetemperatur für den aktuellen Luftdruck einstellbar. Dabei ist der Fühler in siedendes Wasser zu tauchen. Eine Betätigung der HOLD-Taste speichert auch diesen Abgleichwert im internen EEPROM ab.

Damit ist der Abgleich abgeschlossen und das preisgünstige, aber präzise Thermometer kann als vielseitiges und genau anzeigendes Messgerät eingesetzt werden. Für den Erhalt der Genauigkeit ist von Zeit zu Zeit, je nach Einsatzhäufigkeit, 1 - 2 mal jährlich eine Neukalibrierung vorzunehmen.