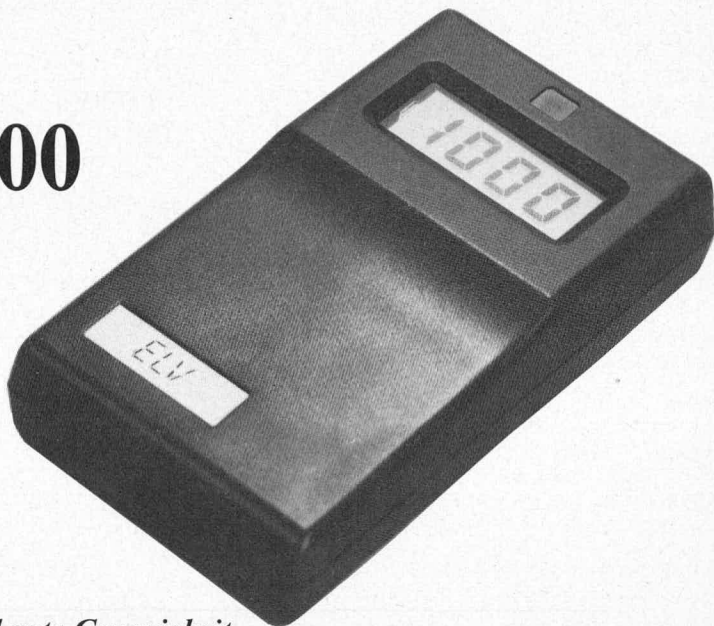


Hochtemperatur- Thermometer T 1000



Großer Temperaturbereich, optimale Auflösung und gute Genauigkeit zeichnen dieses elektronische Digital-Thermometer T 1000 aus. Der Meßbereich erstreckt sich von -200°C bis $+1000^{\circ}\text{C}$, wobei die Auflösung bis 200°C $0,1\text{ K}$ beträgt, während höhere Temperaturen immerhin noch mit einer Auflösung von 1°C angezeigt werden.

Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang das günstige Preis-/Leistungsverhältnis, das nicht zuletzt aufgrund einer neuen Fühlerentwicklung erreicht werden konnte.

Das Temperaturfühlerelement

Bei diesem neuen, exklusiv für ELV produzierten, hochwertigen elektronischen Fühlerelement handelt es sich um ein in der Industrie häufiger eingesetztes Thermoelement des Typs „K“. Das Element wird in ein ca. 400 mm langes Edelstahlrohr eingebaut und mit einer speziellen sogenannten Ausgleichsleitung an die Schaltung angeschlossen. Hierdurch kann die bei Thermoelementen zusätzlich erforderliche Messung der Absolut-Temperatur innerhalb des Gerätegehäuses vorgenommen werden. Der Vollständigkeit halber muß erwähnt werden, daß Thermoelemente lediglich dazu geeignet sind, Differenztemperaturen zu messen. Dies jedoch mit guter Qualität und Linearität, selbst bei hohen Temperaturen. Die Zeitkonstante, d. h. die Ansprechempfindlichkeit eines Thermoelements bei konstruktiv günstigem Aufbau ist darüber hinaus sehr niedrig. Es lassen sich schnelle Temperaturmessungen durchführen.

Um zu einer Meßmethode der absoluten Temperatur zu kommen, ist es erforderlich, einen Absolut-Temperatur-Fühler mit heranzuziehen, der die Temperatur der beiden freien Drahtenden des Thermoelements mißt.

Fragt man sich nun, warum überhaupt noch ein Thermoelement, so kann gesagt werden, daß an die Qualität des Absolut-Temperatur-Sensors nur geringe Anforderungen gestellt werden, da dieser lediglich in einem kleinen Bereich die Temperatur zu messen braucht. Dieser Bereich ist dadurch vorgegeben, daß sich die beiden freien Drahtenden des Thermoelements und somit auch des Absolut-Temperatursen-

sors im Fühlergriffel (bzw. durch die „Ausgleichsleitung“ im Gehäuse) befinden, der einen Temperatur-Bereich von vielleicht 0°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ überstreicht. Die über das Thermoelement zu messenden Temperaturen bewegen sich zwischen -200°C und $+1000^{\circ}\text{C}$.

Genauigkeitsbetrachtungen

Eine gute Genauigkeit von ca. $1^{\circ}\text{C} \pm 1\%$ des hier vorgestellten elektronischen Digital-Thermometers T 1000 wird im Bereich von -50°C bis $+1000^{\circ}\text{C}$ erreicht. Für den Bereich unterhalb -50°C ist eine Korrekturtabelle erforderlich. Jedoch auch in dem übrigen Bereich kann durch Hinzuziehen der Korrekturtabelle die Genauigkeit er-

höht werden, da die Kontinuität des hier verwendeten Thermoelements und die Übereinstimmung mit der Tabelle I im allgemeinen besser als 1°C in dem gesamten Bereich ist.

Zur Schaltung

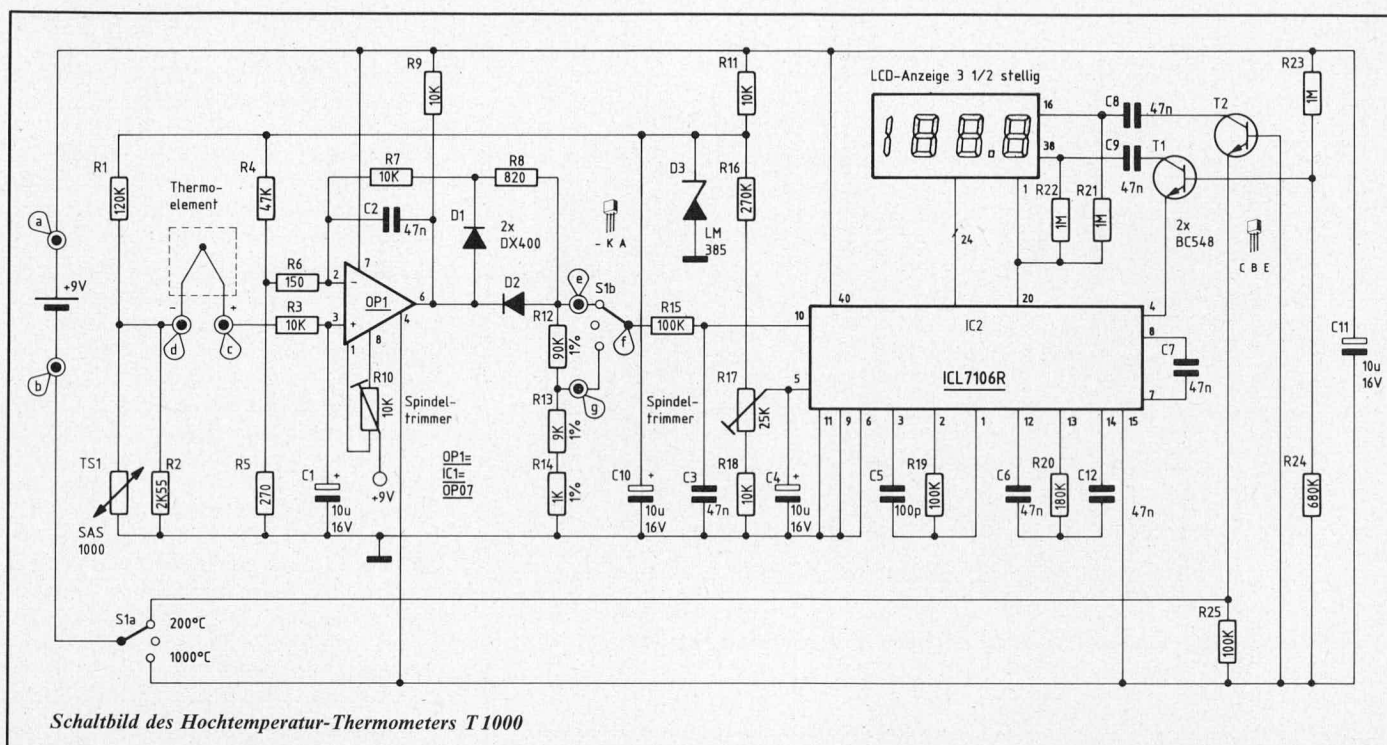
Mittelpunkt der Schaltung ist der bekannte Schaltkreis des Typs ICL 7106R, der auf einem Chip AD-Wandler, Segmentdecoder, Treiberstufen, Takterzeugung und Referenzspannung enthält.

Eine zwischen den Eingangsanschlüssen Pin 10 und Pin 11 anliegende Meßspannung wird in eine digitale, auf dem LC-Display erscheinende Anzeige umgesetzt.

Tabelle I

angezeigte Temperatur (°C)	tatsächliche Temperatur (°C)	Abweichung	angezeigte Temperatur (°C)	tatsächliche Temperatur (°C)	Abweichung	angezeigte Temperatur (°C)	tatsächliche Temperatur (°C)	Abweichung	angezeigte Temperatur (°C)	tatsächliche Temperatur (°C)	Abweichung
1000	1000,0	0	700	694,3	+5,7	400	402,7	-2,7	100	100,8	-0,8
990	989,4	+0,6	690	684,5	+5,5	390	392,9	-2,9	90	90,8	-0,8
980	978,9	+1,1	680	674,7	+5,3	380	383,2	-3,2	80	80,9	-0,9
970	968,3	+1,7	670	664,9	+5,1	370	373,3	-3,3	70	71,0	-1,0
960	957,8	+2,2	660	655,1	+4,9	360	363,5	-3,5	60	61,0	-1,0
950	947,4	+2,6	650	645,3	+4,7	350	353,7	-3,7	50	51,0	-1,0
940	936,9	+3,1	640	635,6	+4,4	340	343,8	-3,8	40	41,0	-1,0
930	926,5	+3,5	630	625,8	+4,2	330	333,9	-3,9	30	30,9	-0,9
920	916,1	+3,9	620	616,1	+3,9	320	324,0	-4,0	20	20,7	-0,7
910	905,8	+4,2	610	606,4	+3,6	310	314,1	-4,1	10	10,4	-0,4
900	895,4	+4,6	600	596,7	+3,3	300	304,2	-4,2	0	0	0
890	885,1	+4,9	590	587,0	+3,0	290	294,2	-4,2	-10	-9,7	+0,3
880	874,9	+5,1	580	577,3	+2,7	280	284,2	-4,2	-20	-19,7	+0,3
870	864,6	+5,4	570	567,6	+2,4	270	274,2	-4,2	-30	-29,7	+0,3
860	854,4	+5,6	560	558,0	+2,0	260	264,1	-4,1	-40	-40,0	± 0
850	844,2	+5,8	550	548,3	+1,7	250	254,0	-4,0	-50	-50,5	-0,5
840	834,0	+6,0	540	538,6	+1,4	240	243,9	-3,9	-60	-61,3	-1,3
830	823,9	+6,1	530	528,9	+1,1	230	233,7	-3,7	-70	-72,5	-2,5
820	813,8	+6,2	520	519,2	+0,8	220	223,4	-3,4	-80	-84,0	-4,0
810	803,7	+6,3	510	509,5	+0,5	210	213,1	-3,1	-90	-96,1	-6,1
800	793,6	+6,4	500	499,9	+0,1	200	202,8	-2,8	-100	-108,7	-8,7
790	783,6	+6,4	490	490,2	-0,2	190	192,5	-2,5	-110	-122,1	-12,1
780	773,6	+6,4	480	480,5	-0,5	180	182,2	-2,2	-120	-136,4	-16,4
770	763,6	+6,4	470	470,8	-0,8	170	171,9	-1,9	-130	-152,0	-22,0
760	753,6	+6,4	460	461,1	-1,1	160	161,6	-1,6	-140	-169,3	-29,3
750	743,7	+6,3	450	451,4	-1,4	150	151,3	-1,3	-150	-189,5	-39,5
740	733,8	+6,2	440	441,7	-1,7	140	141,1	-1,1	-155	-201,2	-46,2
730	723,9	+6,1	430	432,0	-2,0	130	130,9	-0,9			
720	714,0	+6,0	420	422,2	-2,2	120	120,8	-0,8			
710	704,1	+5,9	410	412,5	-2,5	110	110,8	-0,8			

Korrekturtabelle des elektronischen Hochtemperatur-Thermometers T 1000



Schaltbild des Hochtemperatur-Thermometers T 1000

Wie bereits an anderer Stelle dieses Artikels erwähnt, besteht das Herz des hier eingesetzten Temperaturfühlers aus einem Thermoelement, das eine temperaturproportionale Spannung abgibt, wobei zusätzlich noch ein Absolut-Tempersensor eingebaut wurde.

Das verwendete Thermoelement wird über seine Zuleitung, eine sogenannte Ausgleichsleitung an die Schaltungspunkte „c“ und „d“ angeschlossen. Die Ausgleichsleitung besteht aus einem speziellen Material, dessen thermoelektrische Eigenschaften so bemessen sind, daß hierdurch die Referenzstelle des Thermoelementes ans Ende dieser Ausgleichsleitung verlegt wird. Hierdurch kann der Absolut-Temperatur-Sensor des Typs SAS 1000 ebenfalls mit auf die Leiterplatte gesetzt werden. Die räumliche Anordnung muß so erfolgen, daß der Sensorkopf in gutem thermischen Kontakt zu den Anschlußpunkten „c“ und „d“ steht. Etwas Wärmeleitpaste ist hier günstig.

Der Sensor SAS 1000 gibt im Gegensatz zum Thermoelement keine Spannung ab, sondern er besitzt eine der Absolut-Temperatur proportionale Widerstandskennlinie. Aus diesem Grunde wird der SAS 1000 über den Widerstand R 1 mit einem annähernden Konstantstrom gespeist. R 2 dient hierbei zur Linearisierung der Kennlinie. Die Dimensionierung von R 1 und R 2 wurde so bemessen, daß die am SAS 1000 abfallende temperaturabhängige Spannung dem Kennlinienverlauf des verwendeten Thermoelementes entspricht.

Wie aus der Schaltung ersichtlich ist, erfolgt eine Addition der am Temperatursensor TS 1 abfallenden Spannung mit der vom Thermoelement abgegebenen Spannung. Über R 3 wird diese Gesamtspannung auf den nicht invertierenden (+) Eingang (Pin 3) des OP 1 gegeben.

Hier erfolgt eine Gleichspannungsverstärkung, deren Größe durch die Zusatzbeschaltung R 4 bis R 8 festgelegt wird.

Die Kennlinie des verwendeten Thermoelementes weist eine gute Linearität auf, besitzt jedoch bei positiven Temperaturen eine etwas andere Charakteristik als bei negativen. Aus diesem Grunde wird mit OP 1 eine zusätzliche elektronische Umschaltung der Verstärkung vorgenommen. Hierzu sind als weitere Bauelemente D 1 und D 2 erforderlich. Die Funktionsweise dieser automatischen Verstärkungsumschaltung ist wie folgt:

Wird mit dem Thermoelement eine positive Spannung gemessen, steigt auch die Ausgangsspannung des OP 1 auf positive Werte. Die Diode D 1 leitet und die Verstärkung des OP 1 wird im Rückkopplungszweig allein durch den Widerstand R 7 beeinflusst. R 8 bleibt somit unberücksichtigt.

Bei negativen Temperaturen polt sich auch die Spannung am Thermoelement um, wodurch die Ausgangsspannung des OP 1 ebenfalls negative Werte annimmt (immer bezogen auf den Fußpunkt der Referenzspannung — Pin 9 des IC 2). Hierdurch sperrt die Diode D 1 und D 2 wird leitend. Die Verstärkung des OP 1 wird im Rückkopplungszweig nun durch die Reihenschaltung der beiden Widerstände R 7 und R 8 festgelegt. Sie ist somit um 8,2% größer.

Für positive Eingangsspannungen besitzt OP 1 mit Zusatzbeschaltung eine Verstärkung von ca. 24 und für negative Eingangsspannungen eine Verstärkung von ca. 26. Die etwas flacher verlaufende Kennlinie des Thermoelementes bei negativen Temperaturen wird dadurch ausgeglichen.

Mit dem Spindeltrimmer R 10 wird die Offset-Spannung des OP 1 kompensiert und eine Nullpunktverschiebung vorgenommen, die im Zusammenhang mit dem Einsatz des TS 1 erforderlich ist (bei 0°C beträgt der Widerstand des SAS 1000 nicht 0 Ω).

Am Verbindungspunkt von R 8 und D 2 steht die verstärkte auf 0°C bezogene Meß-

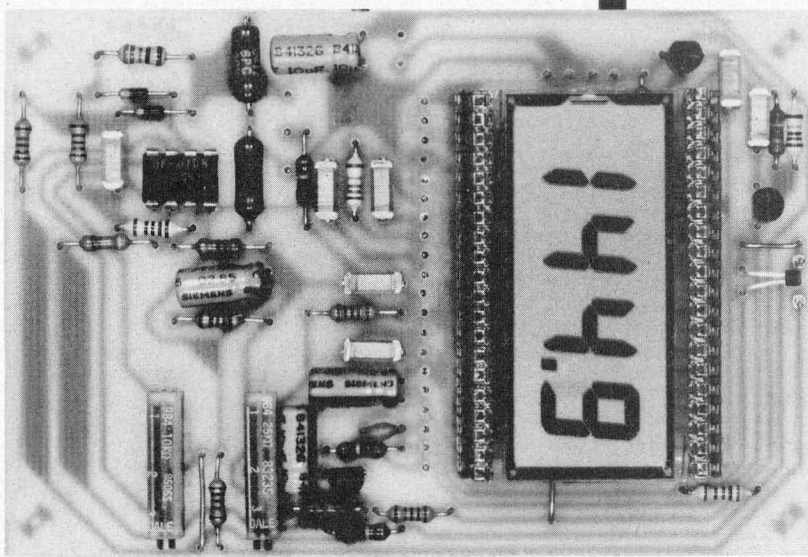
spannung an. Die Größe dieser Meßspannung beträgt ungefähr 1 mV/°C, d. h. bei +200°C liegt eine Spannung von ca. 200 mV und bei +1000°C eine Spannung von ca. 1,0 V an diesem Punkt an.

Eine genaue Zuordnung zwischen Temperatur und Digital-Anzeige erfolgt durch die Einstellung des Skalenfaktors mit dem Spindeltrimmer R 17. Auf die Kalibrierung der beiden Spindeltrimmer gehen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher ein.

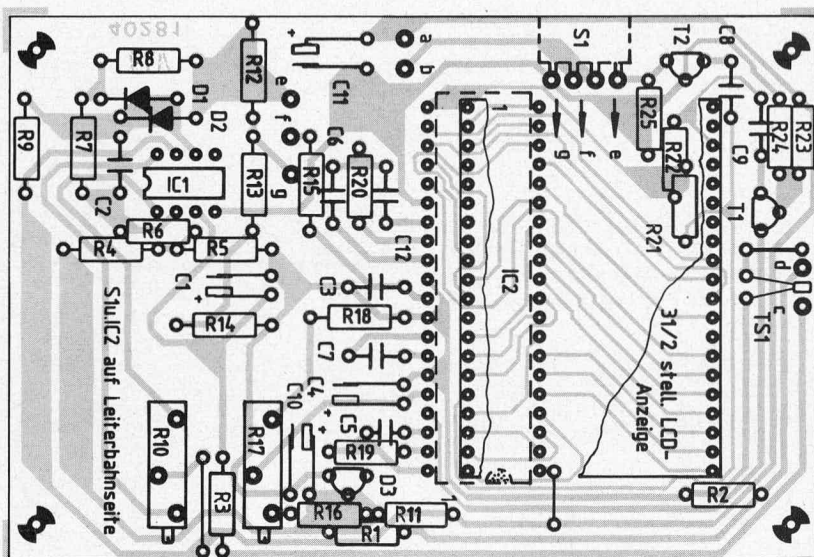
Damit das Gerät eine möglichst hohe Auflösung besitzt, wurde eine Umschaltmöglichkeit vorgesehen. Befindet sich der Schalter S 1 b in der eingezeichneten Position, wird die über OP 1 mit Zusatzbeschaltung verstärkte Meßspannung ohne Abschwächung durch den Spannungsteiler R 12 bis R 14 über R 15 auf den positiven Eingang des IC 2 gegeben. Der negative Eingang (Pin 11) ist mit dem Fußpunkt der Referenzspannung (Pin 9) verbunden. Es können jetzt Temperaturen im Bereich von 0 bis +199,9°C sowie von 0 bis -199,9°C gemessen werden. Die Auflösung beträgt hierbei 0,1°C.

Ab 200°C geht die Anzeige in „Überlauf“. Jetzt ist die Umschaltung von S 1 erforderlich. Über den Spannungsteiler R 12 bis R 14 wird eine exakte Teilung durch 10 vorgenommen, sobald sich der Schalter S 1 b in der entgegengesetzten Position befindet. Über R 15 gelangt dieses reduzierte Signal, wie auch im zuerst beschriebenen Fall, auf den positiven Eingang (Pin 10) des IC 2. Die Anzeige ist ebenfalls um den Faktor 10 kleiner, d. h. anstelle von z. B. 199,9°C würden nun 19,99°C bzw. 20,0°C angezeigt. Die Auflösung liegt nun bei 1°C. Der Meßbereich hingegen reicht bis +1000°C.

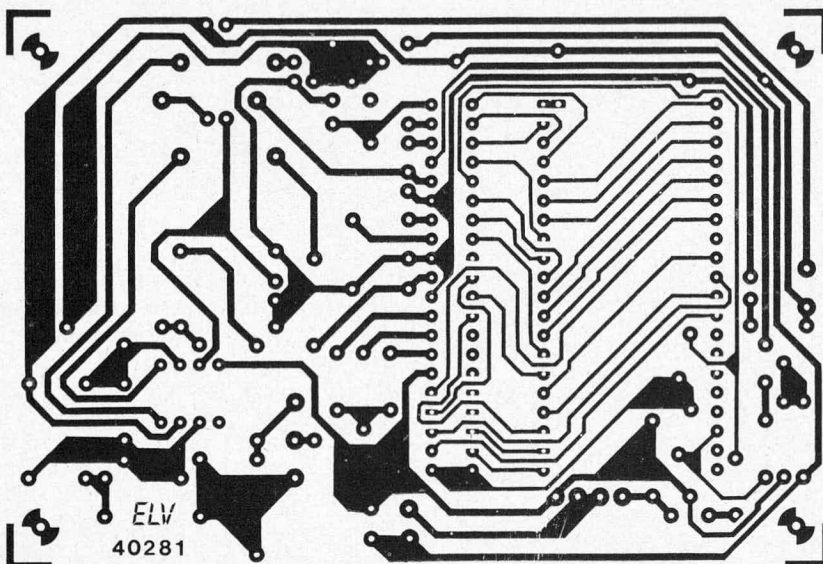
Selbstverständlich können in dieser Meßart auch kleinere Temperaturen als 200°C gemessen werden, sofern für Sonderfälle die hohe Auflösung von 0,1°C nicht erwünscht ist.



Ansicht der fertig bestückten Platine des Hochtemperatur-Thermometers T 1000



Bestückungsseite der Platine des Hochtemperatur-Thermometers T 1000



Leiterbahnseite der Platine des Hochtemperatur-Thermometers T 1000

Gleichzeitig mit der Umschaltung von S 1 b wird auch S 1 a geschaltet, da es sich um ein und denselben Schalter mit 2 Kontakten handelt. In der hochauflösenden Schaltstellung wird zusätzlich der Transistor T 1 durchgesteuert (über S 1 a), so daß in Verbindung mit R 21 und C 8 ein Punkt vor der letzten Stelle erscheint, wodurch die höhere Auflösung signalisiert wird (z. B. 155,7° C).

Mit den Bauelementen T 1, R 22 bis R 24 und C 9 wurde eine Versorgungsspannungsüberwachung aufgebaut. Sobald das entsprechende Zeichen erscheint (Pfeil, Lowbat o. ä., je nach verwendetem LC-Display), sollte die Batterie gewechselt werden. Einige Stunden Betriebsreserve sind jedoch noch vorhanden. In der höher auflösenden Schaltstellung von S 1 wird die Spannung durch die Basis-Emitter-Strecke von T 2 um zusätzlich ca. 0,6 bis 0,7 V reduziert, so daß die Unterspannungsanzeige in diesem Meßbereich früher erscheint, als in dem 1000° C-Bereich. In letzterem können daher ohne weiteres noch Messungen durchgeführt werden.

Stückliste Hochtemperatur- Thermometer T 1000

Halbleiter

IC 1	.....	OP 07
IC 2	.....	ICL 7106 R
T 1, T 2	.....	BC 548
D 1, D 2	.....	DX 400
D 3	.....	LM 385
TS 1	.....	SAS 1000

Kondensatoren

C 1, C 4	.....	10 µF/16 V
C 2, C 3	.....	47 nF
C 5	.....	100 pF
C 6-C 9	.....	47 nF
C 10, C 11	.....	10 µF/16 V
C 12	.....	47 nF

Widerstände

R 1	.....	120 KΩ
R 2	.....	2,55 KΩ
R 3, R 7, R 9	.....	10 KΩ
R 4	.....	47 KΩ
R 5	.....	270 Ω
R 6	.....	150 Ω
R 8	.....	820 Ω
R 10	.....	10 KΩ, Spindeltrimmer
R 11, R 18	.....	10 KΩ
R 12	.....	90 KΩ/1 %
R 13	.....	9 KΩ/1 %
R 14	.....	1 KΩ/1 %
R 15	.....	100 KΩ
R 16	.....	270 KΩ
R 17	.....	25 KΩ, Spindeltrimmer
R 19, R 25	.....	100 KΩ
R 20	.....	180 KΩ
R 21-R 23	.....	1 MΩ
R 24	.....	680 KΩ

Sonstiges

- 1 Spezial-Meßfühler
- S 1 Schiebeschalter, 2 x um
..... mit Mittelstellung
- 1 Batterieclip 9 V
- 4 Lötstifte
- 1 LCD-Anzeige 3,5-stellig
- 1 40poliger-IC-Sockel
- 20 cm Schaltdraht

Zum Nachbau

Das Layout der Schaltung ist so ausgeführt, daß die Platine für den Einbau in ein passendes Handgehäuse geeignet ist.

Zweckmäßigerweise geht man beim Aufbau 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, die Trimmer und Kondensatoren eingelötet.

Die LCD-Anzeige wird in einen Sockel gesetzt, der zuvor auf die Platine zu löten ist. Hierzu kann z. B. ein 40poliger IC-Sockel dienen, bei dem man die Mittelstege abtrennt, um auf die erforderliche Distanz der beiden Kontaktstreifen zu kommen.

Sowohl der Schalter S 1 als auch das IC des Typs ICL 7106 R werden auf die Rückseite, d. h. auf die Leiterbahnseite der Platine gesetzt und dort verlötet. Die Verbindung des Schalters S 1 erfolgt über 4 senkrecht auf die Leiterbahnseite gesetzte Lötstifte.

In Mittelstellung von S 1 ist das Gerät ausgeschaltet, während die obere Stellung den Bereich von $\pm 200^{\circ}\text{C}$ und die untere Stellung den Bereich bis 1000°C aktiviert.

Für die obere Kontaktreihe des Schalters (S 1 b) werden die Verbindungen zu den entsprechenden Punkten mittels flexibler isolierter Leitungen durchgeführt. Jeweils die beiden mittleren der 2×4 Schaltkontakte werden miteinander direkt verbunden und bilden den Mittelabgriff.

Der Abgleich

Bevor das Gerät eingeschaltet wird, ist die Bestückung nochmals sorgfältig zu kontrollieren.

Nach Anschluß des Fühlers und einer 9 V-Batterie kann das T 1000 abgeglichen werden.

Sollte beim ersten Einschalten die LCD-Anzeige gar keine oder undefinierbare Zeichen anzeigen, ist zu vermuten, daß diese um 180°C gedreht eingesetzt wurde. Sie ist dann zu drehen. Durch kurzzeitiges falsches Einsetzen wird weder beim IC noch bei der Anzeige ein Schaden verursacht.

Zuerst wird der Nullpunkt mit dem Spindeltrimmer R 10 eingestellt.

Hierzu wird der Temperaturfühler 4 bis 5 cm tief in ein Glas eingetaucht, das mit einem Gemisch aus kleingestoßenen Eiswürfeln und Wasser gefüllt ist.

Es ist darauf zu achten, daß die Eiswürfel klein (wenige mm 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/Wassergemisch mehrere Minuten kräftig umgerührt, damit sich auch wirklich eine Temperatur von 0°C einstellt. Die Anzeige ist mit R 10 auf „000“ zu bringen. Das Gerät sollte während des Abgleiches im hochauflösenden Bereich ($0,1^{\circ}\text{C}$) arbeiten.

Der Skalenfaktor wird mit dem Trimmer R 17 eingestellt. Dazu hält man den Sensor in kochendes Wasser, wobei man sich die Tatsache zunutze macht, daß kochendes Wasser eine Temperatur von 100°C aufweist, die lediglich geringfügig mit dem Luftdruck schwankt. Dieser Einfluß ist jedoch vernachlässigbar, sofern man sich nicht gerade auf der Zugspitze, also in sehr großer Höhe, aufhält.

Der Temperatursensor wird in das kochende Wasser (muß richtig sprudelnd kochen — Vorsicht! Verbrennungsgefahr) mindestens 4 bis 5 cm eingetaucht.

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

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

Zum Schluß ist die fertig bestückte und abgeglichene Platine in das Gehäuse einzusetzen und mit einem Tupfer Klebstoff an jeder Ecke festzuheften.