



Präzisions-Digital-Thermometer -100°C bis +500°C

Genauere Temperaturmessungen im Bereich von -100°C bis +500°C ermöglicht dieses neue Präzisions-Thermometer. Ausgestattet mit einem hochwertigen Platinfühler (Pt 100) wird eine optimale Genauigkeit und Langzeitstabilität erreicht.

Allgemeines

Die technischen Daten dieses neuen, in der ELV-Entwicklungsabteilung konzipierten Präzisions-Thermometers können sich sehen lassen und sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die typ. Genauigkeit liegt im gesamten Meßbereich von -100°C bis +500°C im Bereich der Digitalisierungsgrenze. Bis 200°C beträgt die Auflösung und die Genauigkeit 0,1 K und bei höheren Temperaturen 1 K.

Neben einer ausgefeilten Schaltungstechnik trägt das Fühlerelement entscheidend zur Präzision und vor allem auch zur Langzeitstabilität bei.

Vor etwa 100 Jahren wurde das Edelmetall Platin in Deutschland zum ersten Mal für Temperaturmessungen verwendet.

Seitdem konnte durch systematische Verbesserungen des Aufbaus sowie der Herstellungsverfahren das Preis-/Leistungsverhältnis so weit optimiert werden, daß heutzutage auch für den Privat-Anwender diese hervorragenden Platinsensoren zu einem erschwinglichen Preis zur Verfügung stehen.

In unserem Fall ist der Platinsensor in der Spitze eines soliden Edelstahlröhrchens mit Keramik-Versiegelung eingebaut und mit einem gut geformten Handgriff versehen. Damit auch tatsächlich Temperaturen bis 500°C gemessen werden können, besitzt der Fühler eine Länge von 300 mm und gewährleistet so einen hinreichenden Abstand zur Wärmequelle. Die Elektronik des Gerätes ist in ein attraktives, völlig neues und modernes Handgehäuse eingebaut und ebenfalls sehr robust ausgeführt.

Bedienung und Funktion

Auf der Stirnseite des Präzisions-Digital-Thermometers T 500 ist die 3,5 mm-Klinkenbuchse zum Anschluß des Platin-

Tabelle 1: Technische Daten

Meßbereich 1:	-100°C bis +200°C
Auflösung:	0,1 K
Genauigkeit:	typ. 0,1 K max. 0,3 K
Meßbereich 2:	-100°C bis +500°C
Auflösung:	1 K
Genauigkeit:	typ. 1 K max. 2 K
Sensor: ...Pt 100	(-100°C bis +500°C)
Stromversorgung: ...	9 V-Blockbatterie
Stromaufnahme:	ca. 0,6 mA
Gehäusemaße:	142 x 71 x 25 mm
(H x B x T)	

sensors zugänglich. Die Bedienung des Gerätes erfolgt über die auf der Frontseite zugängliche Folientastatur. Die hochwertige wassergeschützte Tastatur besitzt Prägetasten mit taktiler Rückmeldung zur angenehmen Bedienung.

Mit der Taste **ON** wird das Gerät eingeschaltet. Ohne angeschlossenen Temperaturfühler erscheint auf dem Display eine Anzeige um 0°C (± 3°C). Dieser Wert wird von der internen Schaltung des T 500 vorgegeben und bleibt langfristig auf 0,1 K konstant. Die Anzeige, ohne angeschlossenen Fühler, besitzt somit eine Diagnosefunktion. Tritt hier später eine Abweichung auf, so ist eine Überprüfung der Elektronik erforderlich.

Unmittelbar nach dem Einschalten mit der Taste **ON** zeigt das Gerät die vom Platinfühler gemessene Temperatur an. Im Bereich von -100°C bis +200°C beträgt die maximale Auflösung 0,1 K. Ohne Meßbereichumschaltung geht die Anzeige bei höheren Temperaturen in den Überlauf.

Durch Betätigen der Taste **Range** erfolgt die Meßbereichumschaltung. Nun sind Temperaturmessungen bis 500°C bei einer Auflösung von 1 K möglich, andererseits auch hinunter bis zu -100°C.

Grundsätzlich sind mit Platinsensoren auch Temperaturmessungen über 500°C möglich, jedoch geht dies deutlich zu Lasten der Genauigkeit bei hardwaremäßiger Linearisierungstechnik. Darüber hinaus müssen entsprechende Sensoren mit einem extrem temperaturbeständigen Innenaufbau ausgerüstet sein, der entsprechend kostenintensiv ist. Da die Häufigkeit der Messungen bei sehr hohen Temperaturen jedoch eher selten ist, haben wir auf ein möglichst günstiges Preis-/Leistungsverhältnis Wert gelegt und den Meßbereich bis +500°C ausgelegt, d. h. der Temperaturfühler sollte auch nicht höher belastet werden.

Mit der Taste **Hold** kann zu jeder Zeit der gerade gemessene Temperaturwert gespeichert, d. h. auf der Anzeige „eingefroren“ werden.

Die beiden Tasten **Hold** und **Range** arbeiten in der Toggle-Funktion, d. h. eine zweite Betätigung derselben Taste schaltet

in den vorherigen Zustand zurück. Zum Ausschalten des Gerätes ist die Taste **Off** zu betätigen.

Die Spannungsversorgung nimmt eine 9 V-Blockbatterie vor. Aufgrund der äußerst geringen Stromaufnahme von nur ca. 0,6 mA ergibt sich eine Betriebszeit mit einer Alkali-Mangan-Batterie von nahezu 1000 Stunden. Ist die Batterie fast leer, erscheint auf dem Display die Anzeige **BAT**, zur Kennzeichnung eines erforderlichen Batteriewechsels. Einige Betriebsstunden sind jedoch auch jetzt noch möglich.

Nachdem wir uns mit den wesentlichen Eigenschaften des T 500 und seiner Bedienung befaßt haben, folgt nun die detaillierte technische Beschreibung.

Meßverfahren

Die Temperaturmessung mit Platinsensoren beruht auf einer Messung des elektrischen Widerstandes. Platin ändert seinen Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur auf eindeutige und exakt reproduzierbare Weise. Der genaue mathematische Zusammenhang wird im Temperaturbereich von -200°C bis +850°C durch zwei Polynome beschrieben.

Für den Bereich von -200°C bis 0°C gilt die Gleichung:

$$R(t) = R_0 (1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C (t - 100^\circ\text{C})^3)$$

Für positive Temperaturen von 0°C bis 850°C ist die Gleichung zweiten Grades wie folgt zuständig:

$$R(t) = R_0 (1 + A \cdot t + Bt^2)$$

Die Konstanten beider Gleichungen lauten:

$$A = +3,90802 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,27350 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

R_0 ist der Widerstandswert des Sensors bei 0°C, der in unserem Fall 100 Ω beträgt. Aus diesem Grunde werden entsprechende Platinsensoren auch mit Pt 100 bezeichnet.

Mit Hilfe vorstehender Gleichungen kann der Widerstandswert des Platinsensors für jede Temperatur zwischen -200°C und +850°C berechnet werden.

Abbildung 1 zeigt die grafische Darstellung des Widerstandsverlaufes in Abhän-

gigkeit von der Temperatur. Wie zu erkennen, ist der Widerstands/Temperaturverlauf des Pt 100 etwas nonlinear.

Bei Thermometeranwendungen, und hier insbesondere beim Einsatz mit großem Temperaturbereich, ist in Verbindung mit einer hohen Genauigkeitsanforderung eine entsprechende Linearisierung unabdingbar.

Bei mikroprozessorgesteuerten Geräten oder computerunterstützten Meßsystemen wird diese Linearitätskorrektur üblicherweise mit Hilfe der entsprechenden Software durchgeführt.

Eine preiswerte Alternative stellt die analoge Hardware-Linearisierung dar. Im Präzisions-Digital-Thermometer T 500 übernimmt diese Funktion ein mitgekoppelter Verstärker, an den sowohl in bezug auf Dimensionierung als auch Driftverhalten, Open-Loop-Verstärkung, Gleichaktunterdrückung und Langzeitstabilität besondere Anforderungen zu stellen sind. Der Platin-Meßfühler ist dabei als auszumessendes Widerstandselement in die Schaltung eingebunden. Die Ausgangsspannung ändert sich somit proportional zum Widerstandswert des Platinsensors, allerdings korrigiert um den Mitkoppeleffekt.

Nach diesen ausführlichen Vorbetrachtungen zum Meßverfahren wenden wir uns nun der Beschreibung der eigentlichen Schaltung zu.

Schaltung

Abbildung 2 zeigt die Schaltung des ELV-Präzisions-Digital-Thermometers T 500. Kernstück der Schaltung ist der mit IC 3 bezeichnete monolithische CMOS-A/D-Wandler des Typs MAX 136. Alle aktiven Komponenten, wie BCD-7-Segment-Decodierer, Treiberstufen für das LC-Display, Referenzspannung und Takterzeugung sind auf einem Chip realisiert. Über die externen, angeschalteten Bauelemente R 24 und C 7 für den Oszillator sowie C 9, 10 und R 25 für die Integrationsstufe werden die Taktfrequenz bzw. das Timing dieser Stufen vorgegeben.

Der Meßeingang des IC 3 ist als Differenzeingang (IN+, IN-) ausgeführt. Die Beziehung zwischen Eingangsspannung und Referenzspannung zum angezeigten Wert lautet:

$$\text{Anzeige} = 1000 \cdot \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{ref}}}$$

Die Meßbereichumschaltung beim T 500 erfolgt nicht, wie im allgemeinen üblich, durch Umschalten des Meßverstärkers, sondern durch Umschaltung der Referenzspannung an Pin 36 des IC 3. Über den Trimmer R 14 in Verbindung mit den Festwiderständen R 15 bis R 18 werden die erforderlichen zwei Referenzspannungen

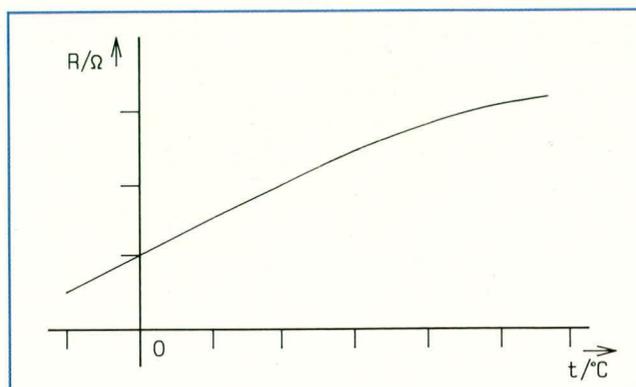


Bild 1: Widerstands-/Temperaturverlauf eines Platinfühlers

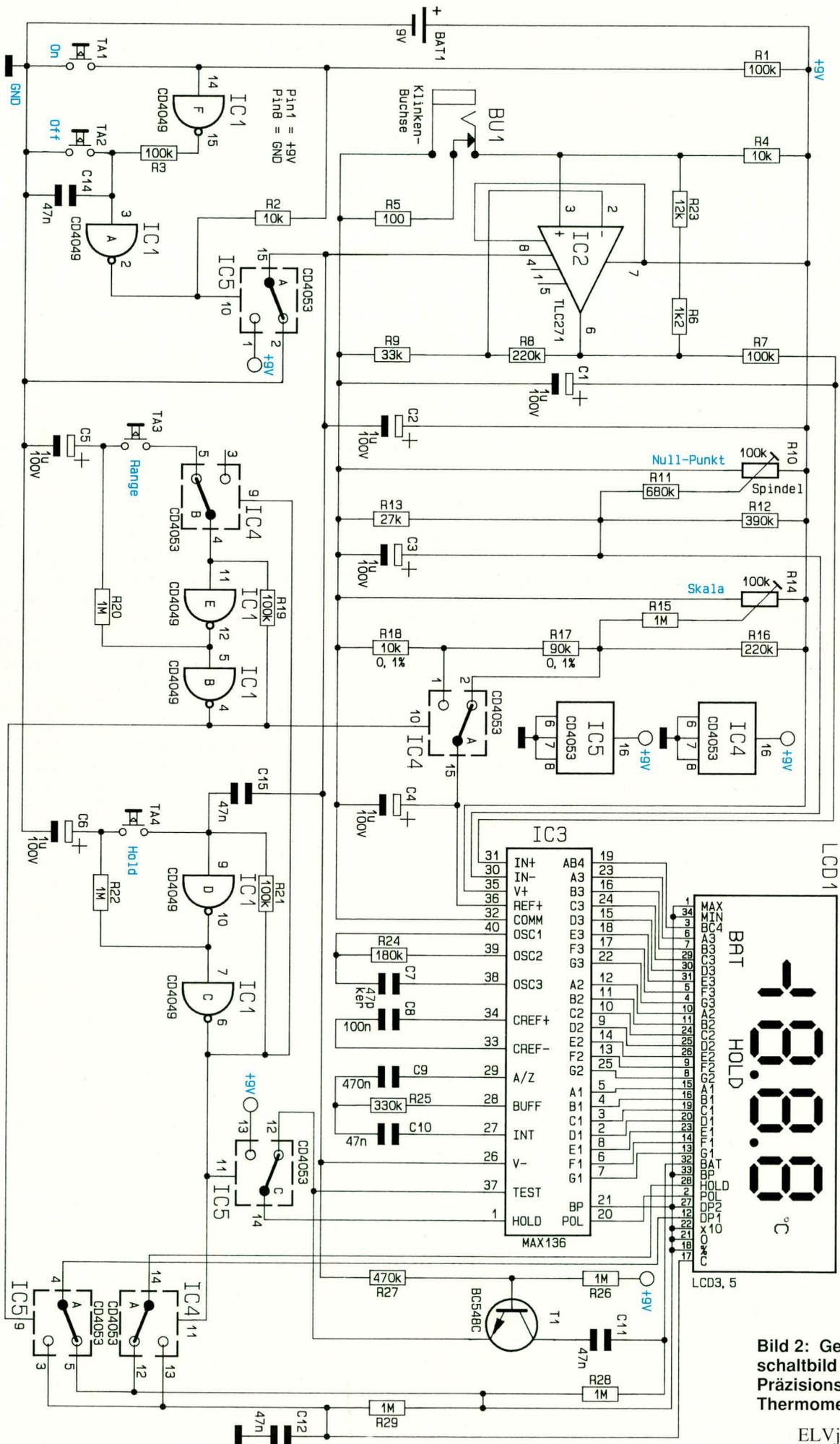


Bild 2: Gesamtschaltbild des ELV-Präzisions-Digital-Thermometers T 500

generiert. Die Umschaltung selbst erfolgt durch den CMOS-Schalter IC 4 A. Auf die Ansteuerung dieses Schalters gehen wir im weiteren Verlauf der Schaltungsbeschreibung noch detailliert ein.

Mit R 14 wird der Skalenfaktor der Anzeige eingestellt. Der Kondensator C 4 am (Ref+)-Eingang des IC 3 dient zur Störunterdrückung. Der zweite mit R 10 bezeichnete Trimmer dient zur Einstellung des Null-Punktes. Gleichzeitig wird hierdurch die Offset-Spannung des Meßverstärkers IC 2 ausgeglichen.

Die mit R 10 sowie den Widerständen R 11 bis R 13 erzeugte Null-Punkt-Spannung wird über C 3 gestützt und gelangt an den (IN-)-Eingang (Pin 30) des A/D-Wandlers.

IC 2 mit Zusatzbeschaltung bildet den bereits angesprochenen Präzisions-Meßverstärker. Mit dem TLC271 (IC 2) wird hier ein besonders driftarmer Operationsverstärker verwendet, der als nicht-invertierender Verstärker beschaltet ist. Die Verstärkung wird in erster Linie durch die Widerstände R 8, R 9 vorgegeben, während R 6 und R 23 im Mitkoppelzweig zur Linearisierung dieses Temperatur/Spannungswandlers dienen.

Die Ausgangsspannung des Meßver-

stärker wird über den in der Anschlußbuchse befindlichen Umschalter der 100 Ω -Widerstand R 5 angeschaltet. Bedingt durch die Widerstandstoleranz von 1 % in Verbindung mit der Widerstandstoleranz des Platinsensors bei 0°C, kann hier der Anzeigewert zwischen +3°C und -3°C liegen. Dazu ist anzumerken, daß Platinsensoren in verschiedene Genauigkeitsklassen eingeteilt werden, wobei ein wesentliches Kriterium die Abweichung des Widerstandswertes bei 0°C darstellt. Selbst wenn hier Sensoren einer besonders hohen Genauigkeitsklasse (mit entsprechendem Preis) gewählt werden, ergeben sich immer noch Abweichungen von einigen Zehntel Kelvin.

Für das vorliegende Konzept haben wir uns für einen preiswerten und damit auch für den Endgebraucher erschwinglichen Platinsensor entschieden, der hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Steilheit des Kennlinienverlaufes keinerlei Einschränkungen unterliegt, wohl aber in bezug auf die Abweichung im Nullpunkt.

Wird nun dieser Nullpunkt (vorzugsweise mit Eiswasser) exakt ausgemessen und auch die Steilheit genau kalibriert, so sind reproduzierbare Genauigkeiten wie in Tabelle 1 angegeben erreichbar, die selbst

standsmessung (über R 4) aus derselben Referenzspannung wie sie auch für den A/D-Wandler IC 3 genutzt wird. Gleiches gilt für die Generierung der Null-Punkt- bzw. Offset-Spannung. Durch diese schaltungstechnischen Maßnahmen werden in Verbindung mit dem gewählten Meßprinzip Schwankungen der Referenzspannung kompensiert.

Der A/D-Wandler IC 3 ist so beschaltet, daß die interne Referenzspannung genutzt wird. Hierdurch ergibt sich im eingeschalteten Zustand zwischen den Anschlußpins V+ (Pin 23) und dem COMM-Anschluß (Pin 32) eine Spannung von typ. 2,8 V (2,6 V bis 3,2 V), d. h. der gesamte Analogzweig arbeitet mit dieser von IC 3 generierten Spannung.

Damit ist der eigentliche Meßzweig sowie die Anzeige mit dem A/D-Wandler beschrieben, und wir können uns der Bedienlogik zuwenden.

Über die mit IC 1 A und F aufgebaute Kippstufe in Verbindung mit dem elektronischen Schalter IC 5 A wird das Gerät ein- bzw. ausgeschaltet. Eine Betätigung des Tasters TA 1 (On) gibt dem IC 1 an Pin 14 einen Low-Pegel vor, worauf Pin 2 des IC 1 ebenfalls Low-Pegel führt, d. h. IC 5 A befindet sich in der eingezeichneten Stellung. Über den Widerstand R 2 wird der Low-Pegel nun dem Eingang Pin 14 des IC 1 A zugeführt, worauf der Schaltzustand (Gerät ein) auch beim Öffnen des Tasters TA 1 gehalten wird.

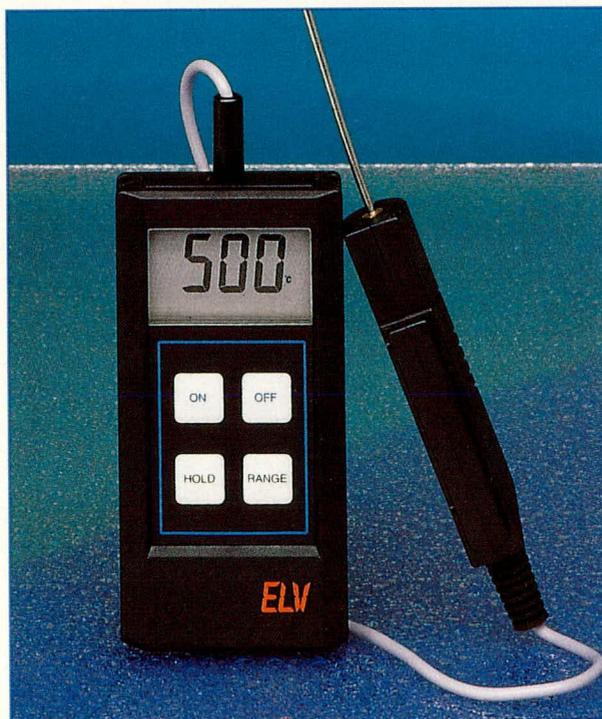
Durch einen Druck auf die Taste TA 2 (Off) wechseln alle Pegelzustände der Kippstufe, und das Gerät ist ausgeschaltet.

Die Bereichsumschaltung wird durch die Gatter IC 1 B und E realisiert, gesteuert durch den Taster TA 3 (Range). Eine Umschaltung ist allerdings nur dann möglich, wenn der zum Taster TA 3 in Reihe liegende CMOS-Schalter IC 4 B sich in der eingezeichneten Stellung befindet. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Hold-Funktion nicht aktiv ist. Sobald ein Meßwert „eingefroren“ wird (Hold), öffnet IC 4 B, und eine Meßbereichsumschaltung ist aus Sicherheitsgründen ausgeschlossen.

Der Ausgang der zur Meßbereichsumschaltung dienenden Kippstufe (Pin 4 des IC 1) steuert den Umschalter IC 4 A, der für die Referenzspannungsumschaltung zuständig ist. Gleichzeitig wird der Umschalter IC 5 B geschaltet, zur Selektierung des Dezimalpunktes im LC-Display.

Eine weitere Kippstufe, aufgebaut mit IC 1 C, D, dient zur Steuerung der Hold-Funktion. Über den Kondensator C 15 wird diese Stufe im Einschaltmoment des T 500 in einen definierten Zustand gebracht. Die Taste TA 4 (Hold) aktiviert diese Funktion. Der Ausgang der Kippstufe steuert gleichzeitig drei CMOS-Umschalter an.

Ansicht des Präzisions-Digital-Thermometers T 500. Der Platin-Meßfühler befindet sich in der Spitze eines 300 mm langen Edeltstahlröhrchens, das in einem handlichen Griff endet. Über eine 1,5 m lange flexible Zuleitung erfolgt die Verbindung zum attraktiven Handgehäuse mittels eines 3,5 mm-Klinkensteckers.



stärkers (Pin 6) gelangt über den mit R 7 und C 1 aufgebauten Tiefpaß auf den (IN+) des A/D-Wandlers (Pin 31). Die Schaltung ist so dimensioniert, daß bei 0°C (entsprechend 100 Ω des Pt 100) die Spannungsdifferenz zwischen den Eingängen IN+ und IN- des A/D-Wandlers zu Null wird, vorausgesetzt, der Abgleich des Offset (R 10) ist korrekt durchgeführt worden.

Ohne angeschlossenen Temperatursen-

vielen, sehr teuren Präzisionsgeräten in nichts nachstehen.

Erkauft wird diese hohe Genauigkeit aber mit einem individuellen Abgleich des Gerätes auf den jeweiligen Platinsensor, d. h. beim Austausch des Sensors ist ein Neuabgleich des Gerätes vorzunehmen.

Ein weiteres Kriterium für das Erreichen einer hohen Genauigkeit und Langzeitstabilität ist die Speisung der Wider-

Ist die Funktion „Hold“ aktiv, wird, wie vorstehend bereits erwähnt, die Umschaltung des Meßbereichs (über IC 4 B) gesperrt. IC 4 C schaltet die „Hold“-Anzeige des Displays ein, während IC 5 C die Hold-Funktion des IC 3 aktiviert.

An dieser Stelle noch ein paar Worte zu dem eigens für diese Anwendung hergestellten LC-Display. Neben den von IC 3 direkt angesteuerten Segmenten sind noch 4 weitere Anzeigen zusätzlich zu steuern. Hierzu gehören die Hold-Anzeige, der Dezimalpunkt, die Low-Bat- und die °C-Anzeige des Displays.

Damit das betreffende Segment bzw. Symbol auf dem LC-Display erscheint, muß die Ansteuerung mit einem zum Backplane-Signal phasenverschobenen Signal vorgenommen werden. Hierzu wird das Backplane-Signal über R 29 auf den Kondensator C 12 gegeben, wodurch eine Phasenverschiebung entsteht. Das °C-Symbol, das permanent im Display erscheint, ist nun direkt mit diesem Signal verbunden.

Der Dezimalpunkt und die Hold-Anzeige werden nur bei Bedarf angesteuert. Hierzu dienen die elektronischen Umschalter IC 4 A sowie IC 5 A. Im deaktivierten Zustand liegen die betreffenden LCD-Steuereingänge direkt am Backplane-Signal und werden bei Aktivierung auf C 12 geschaltet.

Die Ansteuerung der Batterie-Unterspannungsanzeige „BAT“ nimmt der Transistor T 1 in Verbindung mit einer weiteren RC-Kombination vor (R 28, C 11). Bei ausreichender Batteriespannung ist T 1 gesperrt, und der Fußpunkt von C 11 ist freigeschaltet. Hierdurch erhält das „BAT“-Symbol über R 28 das unverfälschte Backplane-Signal zugeführt und ist somit ausgeschaltet. Sinkt die Batteriespannung ab, wird T 1 über den Spannungsteiler R 26, 27 durchgesteuert, da der Emitter-Anschluß am stabilisierten Test-Anschluß (Pin 37) des IC 3 liegt. Über C 11 entsteht so eine Phasenverschiebung, und das „BAT“-Symbol erscheint im Display.

Nachbau

Die komplette Schaltung einschließlich LC-Display findet auf einer 99 mm x 63 mm messenden, doppelseitig, durchkontaktierten Leiterplatte Platz. Der Aufbau gestaltet sich problemlos und ist innerhalb kurzer Zeit fertiggestellt.

Zuerst werden anhand des Bestückungsplanes und der Stückliste die passiven Bauelemente wie Kondensatoren, Widerstände und Trimmer eingelötet, gefolgt von den aktiven Komponenten einschließlich des A/D-Wandlers. Nachdem auch die 3,5 mm-Klinkenbuchse, der Batterieclip sowie der Sockel für die Folientastatur eingelötet sind, wenden wir uns der Montage des LC-Displays zu.

Das Display wird auf der Leiterbahnseite der Platine montiert. Hierzu setzen wir das eigentliche Display in den Kunststoffträgerahmen ein, der mit der Stirnfläche auf der Arbeitsunterlage liegt (die vier Befestigungszapfen weisen nach oben).

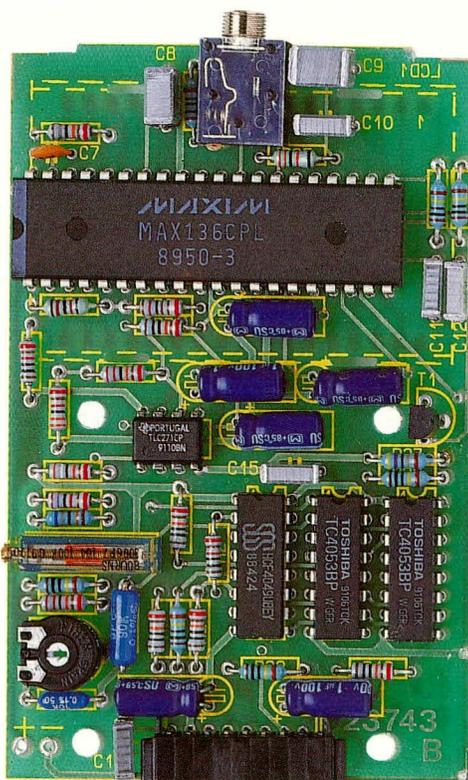
Auf der Rückseite des Displays folgt nun der zweite Kunststoffrahmen mit den Aussparungen für die Leitgummis. Anschließend werden die Leitgummis selbst eingesetzt.

Auf die so vorbereitete LC-Display-Einheit ist nun die vormontierte Leiterplatte mit der Leiterbahnseite voran aufzulegen. Dabei ist sicherzustellen, daß die Kontaktflächen des Leitgummis und der Leiterplatte sauber und fettfrei sind. Gegebenenfalls nimmt man eine Reinigung mit einem fusselfreien Tuch und Alkohol vor.

Bevor das LC-Display seine endgültige Position einnimmt, ist noch die Folientastatur

ersten Funktionstest eingeschaltet. Wird die Displayeinheit leicht gegen die Leiterplatte gedrückt, müssen die entsprechenden Segmente erscheinen. Es sollten auch die Anzeigenfunktionen „Hold“ und der Dezimalpunkt überprüft werden, indem das Thermometer in die entsprechende Funktion geschaltet wird.

Ist die Überprüfung zufriedenstellend verlaufen, folgt die Endmontage des Displays. Das wieder ausgeschaltete Gerät wird vorsichtig zusammen mit dem aufgelegten Display umgedreht, so daß die Leiterplatte wieder nach oben weist. Mit einem nicht zu heißen LötKolben sind die vier auf der Bestückungsseite der Leiterplatte hervorstehenden Kunststoffzapfen des Displayrahmens so zu verformen, daß sich zwischen Display und Leiterplatte eine einwandfreie mechanische Verbindung ergibt. Bei diesem Vorgang wird die Leiterplatte fest auf die Displayeinheit gedrückt, bis die Kunststoffzapfen wieder abgekühlt sind

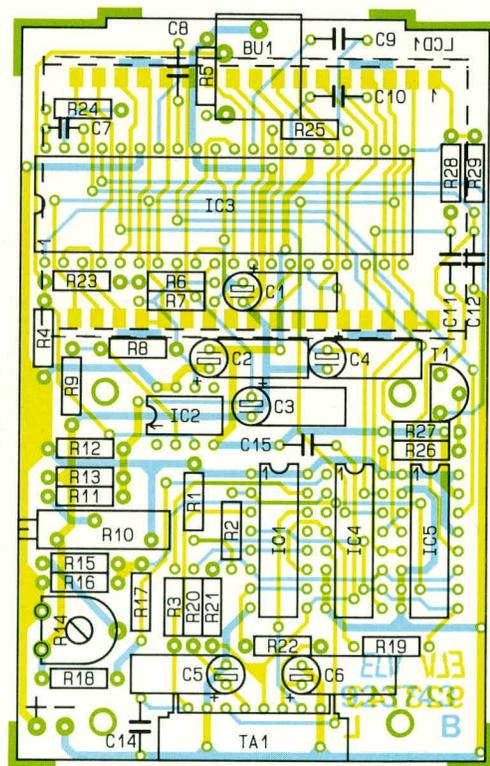


Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte des T 500

statur mit der Leiterplatte zu verbinden. Sollte die Kontaktfläche der Tastatur etwas zu breit sein, kann mit einer Schere auf beiden Seiten gleichmäßig eine Anpassung auf das erforderliche Maß vorgenommen werden.

Als dann wird die vormontierte Leiterplatte mit dem Display zusammen umgedreht, wobei das Display sichtbar ist.

Nun wird die 9 V-Blockbatterie angeschlossen und das Thermometer für einen



Bestückungsplan der Platine des Präzisions-Digital-Thermometers

und eine feste Verbindung gewährleisten. Vor der Endmontage und dem Gehäuseeinbau folgt nun der Abgleich.

Abgleich

Im ersten Schritt wird mit dem Trimmer R 10 der Null-Punkt eingestellt.

Hierzu ist der Temperaturfühler an das Thermometer anzuschließen und das Gerät einzuschalten. Für den Null-Punkt-

Stückliste: Präzisions-Digital-Thermometer

Widerstände

100Ω	.....	R 5
1,2kΩ	.....	R 6
10kΩ	.....	R 2, R 4
10kΩ/0,1%	.....	R 18
12kΩ	.....	R 23
27kΩ	.....	R 13
33kΩ	.....	R 9
90kΩ/0,1%	.....	R 17
100kΩ	.....	R 1, R 3, R 7, R 19, R 21
180kΩ	.....	R 24
220kΩ	.....	R 8, R 16
330kΩ	.....	R 25
390kΩ	.....	R 12
470kΩ	.....	R 27
680kΩ	.....	R 11
1MΩ	.....	R 15, R 20, R 22, R 26, R 28, R 29
Spindeltrimmer, 100kΩ	.....	R 10
Trimmer, PT10, liegend, 100kΩ	.....	R 14

Kondensatoren

47pF/ker	.....	C 7
47nF	.....	C 10-C 12, C 14, C 15
100nF	.....	C 8
470nF	.....	C 9
1µF/100V	.....	C 1-C 6

Halbleiter

MAX136	.....	IC 3
TLC271	.....	IC 2
CD4049	.....	IC 1
CD4053	.....	IC 4, IC 5
BC548C	.....	T 1

Sonstiges

LCD3,5	.....	LCD 1
1 Montagmaterial für das Display		
Klinkenbuchse, 3,5mm, mono, mit Schaltkontakt	.....	BU 1
Folientastatur	.....	TA 1-TA 4
1 Batterie-Clip für 9V-Blockbatterie		
1 8-fach-Steckkontakt		
1 Gehäuse kompl.		

Abgleich wie auch für den daran anschließenden Abgleich des Skalenfaktors ist das Thermometer in den hochauflösenden Meßbereich (-100°C bis +200°C) zu schalten. Nun wird der Temperaturfühler ca. 10 cm tief in ein Glas eingetaucht, das mit einem Gemisch aus kleinstoßenen Eiswürfeln und Wasser gefüllt ist.

Es ist darauf zu achten, daß die Eiswürfel möglichst klein (wenige Millimeter Durchmesser) sind und das Verhältnis zwischen Wasser und Eiswürfel rund 50 % beträgt. Mit dem Fühler wird das Eis/Wasser-Gemisch mehrere Minuten kontinuierlich langsam umgerührt, damit sich eine exakte Temperatur von 0°C einstellt.

Die Anzeige des Präzisions-Digital-Thermometers T 500 ist mit dem Trimmer

R 10 auf genau 00,0°C einzustellen.

Nach der Null-Punkt-Einstellung folgt der Abgleich des Skalenfaktors. Dazu tauchen wir den Sensor ebenfalls rund 10 cm tief in kochendes Wasser ein.

Wichtig ist, daß der Sensor nicht den Boden des Gefäßes berührt und das Wasser richtig sprudelnd kocht. Daß bei diesem Vorgang, aufgrund der Verbrennungsgefahr, entsprechend vorsichtig gearbeitet werden muß, ist selbstverständlich.

Der Siedepunkt von Wasser unterliegt verschiedenen Einflüssen. Neben möglichen Verunreinigungen (sauberes Leitungswasser ist ausreichend) besitzt in erster Linie der Luftdruck einen wesentlichen Einfluß. In Tabelle 2 ist der Zusammenhang zwischen Luftdruck und Siedepunkt dargestellt.

Bei einem Luftdruck von 1.013,25 hPa beträgt die Temperatur des kochenden Wassers (Siedepunkt) genau 100,0°C. Der betreffende Druck entspricht ungefähr dem mittleren Luftdruck.

Tabelle 2

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

Für einen präzisen Abgleich ist die Kenntnis des genauen Luftdruckes erforderlich. Der genaue Wert des aktuellen Luftdruckes kann z. B. bei einem in der Nähe liegenden Flugplatz oder dem Wetteramt erfragt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der angegebene Luftdruck meistens auf Meereshöhe (NN = Normal Null) bezogen ist. Je höher der Standort liegt, desto geringer ist der Luftdruck. Pro 8 m Höhendifferenz des Abgleichortes zur Meereshöhe ist daher 1 hPa vom Wert des Luftdruckes in Meereshöhe abzuziehen. Liegt der Abgleichort z. B. in 400 m Höhe verringert sich der Luftdruck um 50 hPa.

Die Siedetemperatur des Wassers für unterschiedliche Luftdrücke kann nach folgender Nahrungsformel (Zahlenwertgleichung) errechnet werden

$$\text{Siedepunkt} = 100 + 0,0277 (P - 1013,25)$$

Die Siedetemperatur ergibt sich in °C, wenn der bekannte Luftdruck in hPa eingesetzt wird. Auf diese Weise lassen sich die Sie-

depunkte von Wasser für nicht in Tabelle 2 angegebene Werte auf einfache Weise errechnen.

Die so bestimmte Temperatur des Wassers wird mit dem Trimmer R 14 auf dem Display des T 500 eingestellt, womit der Abgleich bereits abgeschlossen ist.

Da der Luftdruckeinfluß auf den Siedepunkt des Wassers nur einen relativ geringen Einfluß hat, kann die Abgleichtemperatur immerhin noch in einem Bereich von rund 1 % liegen, wenn der aktuelle Luftdruck keine Berücksichtigung findet. In diesem Fall wird jedoch die hohe, mögliche Genauigkeit des T 500 nicht voll genutzt.

Eine gute Möglichkeit zur Überprüfung der Genauigkeit des Gerätes besteht durch den Vergleich mit einem Fieberthermometer, dessen Anzeige üblicherweise in einem Bereich von ±0,1°C glaubwürdig ist. Dazu empfiehlt es sich, den Meßfühler des T 500 sowie das Fieberthermometer zu desinfizieren und über die Messung der Mundtemperatur mit beiden Geräten gleichzeitig die Übereinstimmung der angezeigten Werte zu prüfen.

Endmontage

Die Folientastatur ist wieder aus dem Stecksockel der Leiterplatte herauszuziehen und auf der Oberseite der Fronthalbschale des Gehäuses aufzukleben. Hierzu wird als erstes der Klebeschutz auf der Rückseite der Tastatur abgezogen, die Anschlußfahne durch die betreffende Gehäuseaussparung geführt und die Folientastatur an korrekter Position fest auf die Gehäusehalbschale aufgedrückt. Diese sollte sauber und fettfrei sein.

In die so vorbereitete Gehäusehalbschale ist nun die Leiterplatte zusammen mit der kleinen Gehäusestirnplatte (17 mm x 54 mm großer Kunststoffeinsteck) einzusetzen und mittels vier 2,2 mm x 6,5 mm Knipping-Senkkopfschrauben an den vorgegebenen Gehäusezapfen anzuschrauben.

Nachdem die Folientastatur wieder in den vorgesehenen Stecksockel eingesteckt ist und die Batterieanschlußleitung in der entsprechenden Gehäuseaussparung der Fronthalbschale liegt, wird das Gehäuse durch Aufsetzen der hinteren Halbschale verschlossen. Zunächst ist dazu die Gehäusestirnplatte einzurasten und dann durch zwei 2,2 mm x 12,5 mm Knippingschrauben unter dem Batteriefachdeckel mit der Fronthalbschale zu verschrauben.

Die 9 V-Blockbatterie wird eingesetzt und der Batteriefachdeckel aufgeschoben. Damit ist der Nachbau des ELV-Präzisions-Digital-Thermometers T 500 abgeschlossen und das Gerät steht für genaue Temperaturmessungen zur Verfügung. 