



1000°C-Datenlogger- Thermometer mit USB-Schnittstelle

Das T 1100 ist ein mobiles Gerät zur genauen Messung von Temperaturen sowie zur Speicherung dieser Messdaten. Es erfasst Temperaturen im Bereich von -40 °C bis +1000 °C mit der Auflösung von 0,1 K. Daneben verfügt das T 1100 über eine Min./-Max.-Wert-Anzeige und eine Hold-Funktion. Zusätzlich lässt sich das Gerät als Datenlogger mit einstellbarem Aufzeichnungsintervall (Kapazität ca. 2000 Messungen, Intervall 1 Sek. bis 10 Min.) einsetzen. Die gespeicherten Werte sind mit der zugehörigen Windows-Software über die USB-Schnittstelle des T 1100 auslesbar.

Multifunktional

Temperaturmessungen sind die wohl am häufigsten unternommenen Messungen überhaupt. Zu wichtig ist diese physikalische Größe in allen Bereichen des privaten und beruflichen Lebens, bei der Produktion, in Land- und Gartenbauwirtschaft, im Handel, in der Gastronomie, in der Elektronik usw.

Offt genügen dabei ganz einfache me-

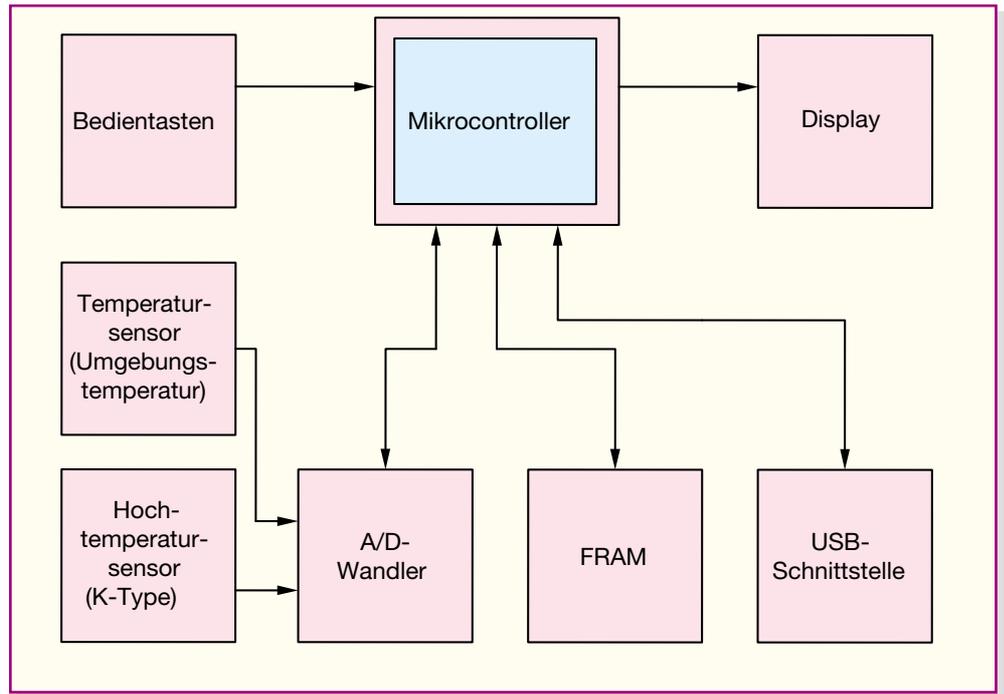
chanische oder elektronische Thermometer den Anforderungen. Zunehmend stellt man aber erweiterte Anforderungen, nicht nur bezüglich der Genauigkeit und Messkonstanz, sondern ebenso beim Messkomfort. Man möchte schon einmal bei einer Messung die Schwankungsbreite erfahren, ohne ständig die Anzeige beobachten zu müssen. Oder man möchte (oder muss) Messwerte über längere Zeiträume erfassen und später Verläufe auswerten.

Aber gerade letztere Features pipfeln

Technische Daten: T 1100

Temperaturbereich: . -40 bis +1000 °C
 Temperaturabweichung: 2 % ±1 °C
 Thermoelement: Typ K
 Datenspeicher: ca. 2000 Messungen
 Aufzeichnungsintervallzeit:
 1 Sek. bis 10 Min.
 Schnittstelle: USB
 Spannungsversorgung: 9-V-Block
 Gehäuseabm. 71 x 171 x 28 mm

Bild 1: Das Blockschaltbild des T 1100 zeigt alle Funktionsgruppen in der Übersicht.



dann in einer entsprechenden Preisgestaltung, schließlich handelt es sich ja um eine recht aufwändig zu entwickelnde Technik.

Dennoch ist gerade für den praktizierenden Elektroniker – vor allem in der Entwicklung, im Service oder im Hobbylabor – die Erfassung großer Temperaturunterschiede und schneller Temperatursprünge sowie die Langzeitaufzeichnung von Temperaturdaten ein sehr interessantes Thema, das jedoch vor allem aus Kostengründen immer wieder „vertagt“ wird. ELV ist es bereits vor einiger Zeit mit den Präzisionsthermometern T 600 und TFM 100 gelungen, sehr präzise arbeitende Geräte zu einem erschwinglichen Preis und zum Teil sogar als Selbstbausatz zu entwickeln. In diese Linie passt das T 1100 nahtlos hinein, es verfügt nicht nur über einen erweiterten Temperaturmessbereich, der nicht nur Elektronikern zupass kommen dürfte, sondern kann vor allem als mobiler Datenlogger arbeiten und die gesammelten Daten zur Aufbereitung und Auswertung über eine moderne USB-Schnittstelle an einen PC übergeben. Da-

mit ist man dann für die PC-gestützte Langzeit-Datensammlung nicht mehr auf den PC-Arbeitsplatz am Messort angewiesen, sondern kann absolut mobil arbeiten.

Das Thermometer T 1100 ist ein recht universell einsetzbares Handmessgerät, das zur Messung von Oberflächentemperaturen dient. Das batteriebetriebene Gerät befindet sich in einem formschönen Handgehäuse mit Folientastatur, großem LCD-Display und abgesetztem Temperatursensor. Als Temperatursensor kommt ein Hochtemperatursensor, ein so genannter „K-Type Thermoelement-Sensor“, zum Einsatz. Mit ihm lassen sich Temperaturen im Bereich von -40 °C bis +1000 °C mit einer Auflösung von 0,1 K messen.

Als weitere Funktionen verfügt das T 1100 über eine Min./Max.-Anzeige zur Erfassung von Extremwerten während einer Messung, eine Hold-Funktion zur temporären Messwertspeicherung im Display und eine (schaltbare) Auto-Power-off-Funktion zur Batterieschonung.

Der Clou ist jedoch die Einsatzmöglichkeit als Temperatur-Datenlogger. In diesem Modus lässt sich eine Intervallzeit im

Bereich von einer Sekunde bis zu 10 Minuten einstellen. Somit sind sowohl Kurzzeitmessungen zur Erfassung und Auswertung von schnellen Messwertschwankungen als auch Langzeitmessungen bis zu mehreren Tagen durchführbar. Das T 1100 verfügt dazu über einen FRAM-Speicher, der das Aufzeichnen von bis zu 2000 Messungen möglich macht.

Die gespeicherten Daten können über die integrierte USB-Schnittstelle und mit der zugehörigen T-1100-Windows-Software auf einen USB-fähigen Windows-PC übertragen werden. Dort lassen sich die Daten mit den üblichen Tabellenkalkulationsprogrammen weiterverarbeiten.

Für das Thermometer T 1100 lassen sich damit unzählige Anwendungsfälle finden. Beispielsweise lässt sich schnell und einfach die aktuelle Oberflächentemperatur eines belasteten Spannungsreglers oder Triacs messen. Aus diesem Grunde sollte das T 1100 eigentlich an keinem Labor-Arbeitsplatz fehlen.

Mit der Datenlogger-Funktion lässt sich zusätzlich, zeitlich ausgelöst durch die vorher eingestellte Intervallzeit, der Verlauf der Oberflächentemperatur im Betrieb eines Bauelementes oder Gerätes aufzeichnen und später auf einem PC auswerten. Hiermit kann man beispielsweise die maximalen Temperaturen an Bauteilen und die Funktion von angewendeten Kühlkörpern sehr komfortabel kontrollieren.

Ein vereinfachtes Blockschaltbild des Gerätes (Abbildung 1) veranschaulicht das Zusammenwirken der einzelnen Baugruppen des T 1100. Zentrales Bauelement, bei dem alle Informationen zusammenlaufen, ist der Single-Chip-Mikrocontroller des Typs ELV 04384, um den die im Folgen-

Tabelle 1: Tastenfunktionen

On	Einschalten
Off	Ausschalten
Hold	„Einfrieren“ der aktuellen Anzeige im Display
T_A/T_{Sensor}	Umschaltung Umgebungstemperatur/Sensortemperatur
Max/(Run) ⊕	Anzeige des gespeicherten Max.-Wertes / Datenlogger starten Menü „plus“
Min/(Stop) ⊖	Anzeige des gespeicherten Min.-Wertes / Datenlogger stoppen Menü „minus“
Reset	Zurücksetzen
Mode	Einstellungen für die Datenlogger-Funktion

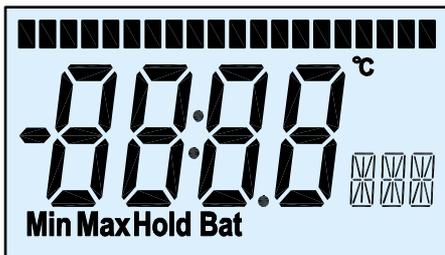


Bild 2: So erscheint das LC-Display des T 1100 während des Displaytests.

den näher betrachteten Baugruppen angeordnet sind.

Arbeitsweise und Funktionen

Bedientasten

Das T 1100 befindet sich in einem form-schönen Handgehäuse, in dessen Frontseite eine exakt passende Folientastatur mit 8 Tasten integriert ist.

Zur Bedienung des Handmessgerätes sind die in Tabelle 1 aufgeführten Tasten bzw. Funktionen verfügbar.

LC-Display

Das zum Gehäuse passende LC-Display ist für einen universellen Einsatz des Handgehäuses für die verschiedensten Aufgaben ausgelegt.

Es weist deshalb eine Vielzahl verschiedener Symbole und Anzeigemöglichkeiten auf. Beim T 1100 werden neben der Ziffern- und Vorzeichenanzeige selbst nur die in Abbildung 2 gezeigten Elemente verwendet:

- °C dient als Einheiten-Anzeige der Temperatur
- **Min** und **Max** kennzeichnen die Anzeige der gespeicherten Min./Max.-Werte
- **Hold** signalisiert ein Einfrieren der Anzeige
- **Bat** kennzeichnet eine erschöpfte Batterie (Low-Bat-Erkennung)
- der **Bargraph** dient zur Restspeicher-Information im Log-Mode

Thermoelement

Ein Thermoelement ist ein Temperatur-Sensortyp, mit dem sich Temperaturen bis zu 1500 °C messen lassen. In Abbildung 3 sind zwei unterschiedliche Bauarten von Thermoelementen dargestellt, zum einen ein Eintauchfühler und zum anderen ein Oberflächenfühler, wobei die Funktion beider Fühler gleich ist.

Der messbare Temperaturbereich mit einem Thermoelement hängt vom inneren Aufbau des Fühlers ab. Das in dieser Schaltung verwendete Thermoelement stammt aus der Gruppe der „Nickel-Chrom-Nickel“-Thermoelemente, womit sich Temperaturen bis zu 1000 °C messen lassen.

Funktionsprinzip des Thermoelementes

Ein Thermoelement entsteht, wenn zwei verschiedene Metalle eine Kontaktstelle bilden (z. B.: NiCrNi). Bei einer Temperaturdifferenz zwischen einer Messstelle und einer Referenzstelle entsteht an den beiden Enden dann eine Thermospannung U_{Th} . Diese Thermospannung U_{Th} liegt im Bereich von einigen Mikrovolt pro Kelvin Temperaturdifferenz, bei einem Nickel-Chrom-Nickel-Thermoelement beträgt sie etwa $k = 40,6 \mu V/K$. Je heißer die Messstelle im Vergleich zu einer definierten Referenzstelle wird, umso höher ist die gemessene Spannung (siehe Infobox „Seebeck-Effekt“).

In der Abbildung 4 ist die Prinzipschaltung eines Thermoelementes dargestellt. In der Zeichnung ist zu erkennen, dass ein einzelnes Thermoelement im Prinzip aus

Infobox Seebeck-Effekt

Bringt man zwei verschiedene Metalle in Berührung, treten Elektronen über, weil im anderen Material potentiell günstigere energetische Bedingung herrscht. Der Elektronenfluss lässt elektrische Energie (eine Spannungsdifferenz) entstehen. Wird diese Kontaktstelle noch erwärmt, werden die Elektronen von einem Metall in das andere regelrecht getrieben. Dieser Elektronenfluss – sog. thermoelektrischer Effekt oder Seebeck-Effekt – bildet den Thermostrom (Strom aus Temperaturdifferenzen). Die dafür benötigte Energie wird der Wärmequelle entzogen.

aber nicht sehr praktikabel und daher unüblich. Aus diesem Grunde wird als Referenztemperatur die Umgebungstempera-

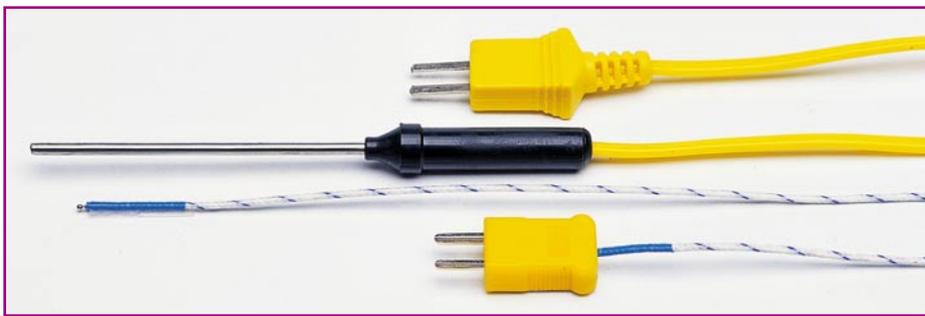


Bild 3: Die beiden gängigen Bauarten von Thermoelementen (Typ K)

2 Thermoübergängen besteht, was ja auch bereits aus der Bezeichnung NiCrNi hervorgeht. Jeder Nickel-Chrom-Übergang bildet solch einen Thermoübergang. Die Messstelle befindet sich am Punkt T2, an der „Perle“ des Thermoelementes. Der Punkt T1, der am Übergang zur K-Type-Buchse zu finden ist, bildet die Referenzstelle.

Die Temperatur T2 ist aus der Temperaturdifferenz und der Referenztemperatur T1 ermittelbar. Zur genauen Bestimmung der Messstellen-Temperatur befindet sich die Referenzstelle oft in einem Eis-Wasser-Gemisch (Eisbad), dessen Temperatur ziemlich genau bei 0 °C liegt.

Mit folgender Formel lässt sich nun die Spannung dieser Temperaturdifferenz berechnen:

$$U_{Th} = k \cdot (T2 - T1)$$

Da die Thermoelement-Spannung bekannt ist und die Referenztemperatur $T1 = 0 \text{ °C}$ beträgt, kann die Formel zur Ermittlung der Messstellen-Temperatur T2 wie folgt umgestellt werden:

$$T2 = \frac{U_{Th}}{k}$$

In der praktischen Ausführung ist die Methode mit dem Eis-Wasser-Gemisch

tur TA herangezogen. Im Allgemeinen ist die Referenzstelle bei einem handelsüblichen Thermoelement an der Buchse zu finden, wo auch die Umgebungstemperatur vorherrscht. In diesem Fall stellt sich eine Spannung ein, die sich aus der Temperaturdifferenz zwischen Messstellen-Temperatur T2 und Umgebungstemperatur TA ergibt. Um nun die reale Temperatur am Messobjekt zu ermitteln, wird mit einem weiteren Temperatursensor die Umgebungstemperatur ermittelt und bei der Berechnung berücksichtigt:

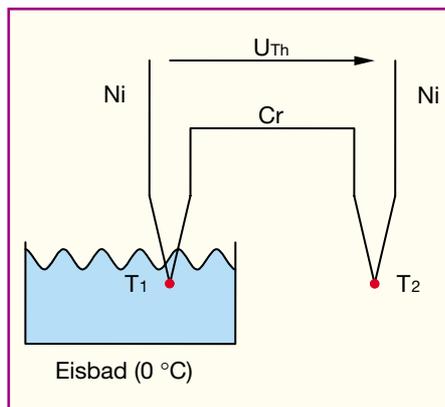


Bild 4: Die Prinzipschaltung eines Thermoelementes



Bild 5: Die Temperaturanzeige des T 1100

$$T_2 = \frac{U_{Th}}{k} + T_A$$

Dies ist übrigens auch (meist) der Grund, warum Multimeter, die einen Temperaturmessbereich haben und mit einem „K-Type-Sensor“ messen, bei nicht angeschlossenem Thermofühler in der Regel die Umgebungstemperatur anzeigen.

FRAM

Das FRAM (IC3) vom Typ „FM24C64“ bietet 8192 Byte Speicherplatz. Es dient zum Abspeichern der Temperatur-Messwerte im Log-Mode und der Abgleichdaten. Die Beschaltung des FRAMs ist die Gleiche wie die Beschaltung eines EEPROMs. Der große Vorteil eines FRAMs ist der, dass es gegenüber dem EEPROM, dessen Schreibzyklen begrenzt sind, unbegrenzt oft gelesen und beschrieben werden kann.

USB-Schnittstelle

Die USB-Schnittstelle bildet die Verbindung zwischen der T-1100-Hardware und einem mit USB ausgestatteten PC. Über diese Schnittstelle können die im Log-Mode aufgezeichneten Temperaturdaten zu einem PC übertragen werden. Die dem Gerät bzw. Bausatz beiliegende T-1100-Windows-Software speichert die Daten in einem gängigen Format ab, so dass diese mit einer Tabellenkalkulation problemlos weiter verarbeitbar sind.

Bedienung

Allgemeine Bedienung

Das T 1100 wird mit den Tasten „On“ bzw. „Off“ der Folientastatur ein- bzw. ausgeschaltet. Zum Einschalten ist die „On“-Taste so lange gedrückt zu halten, bis ein Messwert auf dem Display erscheint. Nach dem Einschalten startet das Gerät nach einem kurzen Displaytest mit den Messungen und zeigt den aktuellen Temperaturwert auf dem Display an (siehe Abbildung 5). Die Taste „On“ ist bis zur Anzeige des ersten Messwertes gedrückt zu halten.

Mit der Taste „Hold“ wird der aktuelle Messwert eingefroren, um beispielsweise die Messung zu unterbrechen und den

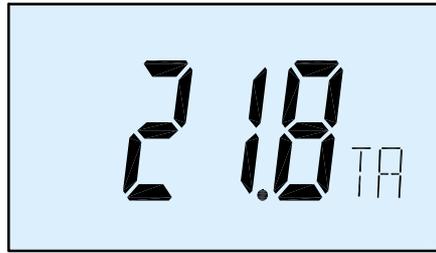


Bild 6: So wird die Anzeige der Umgebungstemperatur signalisiert.

Messwert in Ruhe notieren zu können, etwa, wenn man sich auf die Anzeige nicht konzentrieren konnte, weil man mit dem Temperaturfühler an einem schwer zugänglichen Ort gemessen hat.

Weiterhin lässt sich im „Hold-Mode“ durch Betätigung der Taste „Reset“ die Auto-Power-off-Funktion ausschalten. Eine kurze Display-Meldung bestätigt diesen Vorgang.

Mit der Taste „T_A/T_{Sensor}“ schaltet man die Anzeige zwischen Sensortemperatur und Umgebungstemperaturanzeige um. Die Umgebungstemperatur wird wie in Abbildung 6 zu sehen angezeigt.

Die Betätigung der Tasten „Max“ und „Min“ führt zur Anzeige der seit dem letz-



Bild 7: Die Intervallzeiteinstellung ist zwischen einer Sekunde und 10 Minuten möglich.

ten Start gemessenen Min.- und Max.-Werte. Mit der Taste „Reset“ lässt sich der angezeigte Extremwert zurücksetzen. Eine kurze Display-Meldung bestätigt diesen Vorgang.

Temperatur-Logger

Drückt man die Taste „Mode“, startet das Einstellungs Menü des Temperatur-Loggers.

Nach dem Starten des Loggers ist die gewünschte Intervallzeit zur Aufnahme der Messwerte zu wählen.

Diese lässt sich mit den Tasten ⊕ (Taste „Max“) und ⊖ (Taste „Min“) im Bereich von einer Sekunde bis zu 10 Minuten einstellen. In der Abbildung 7 ist die Intervallzeit auf 30 Sekunden eingestellt, d. h., dass der Logger nach dem Starten alle 30 Sekunden einen neuen Temperatur-Messwert aufnimmt.

Durch nochmaliges Betätigen der Taste

„Mode“ gelangt man in einen weiteren Menüpunkt (LOG OK). Hier lässt sich nun die Aufzeichnung mit der Taste ⊕ starten oder man kann mit der Taste „Mode“ den Log-Mode verlassen.

Während der Aufzeichnung (siehe Abbildung 8) wird der zuletzt aufgezeichnete Messwert im Display angezeigt. Die Bargraphanzeige gibt an, wie weit der interne Log-Speicher gefüllt ist. Das letzte Segment der Bargraphanzeige blinkt bei jeder Messung kurz auf. Durch Betätigung der Taste ⊖ kann man die Aufzeichnung stoppen und durch eine weitere Betätigung der Taste „Mode“ die Betriebsart „Datenlogger“ verlassen.

Beim Ausschalten des T 1100 bleiben die im FRAM gespeicherten Daten erhalten. Diese werden erst bei erneutem Start des Datenloggers überschrieben.

Die aufgezeichneten Daten lassen sich anschließend mit der T-1100-Windows-Software auslesen. Durch Verbinden der T-1100-Hardware mit einem PC über ein USB-Kabel wechselt diese automatisch in den USB-Mode, wobei das Gerät die Messungen unterbricht und die USB-Schnittstelle freischaltet. Die Beschreibung der T-1100-Windows-Software erfolgt im zweiten Teil des Artikels.

Schaltung

Die gesamte Schaltung des T 1100 ist zur besseren Übersicht in zwei Schaltbilder (siehe Abbildung 9: „Digitalteil“; Abbildung 10: „Analogteil“) aufgeteilt.

Beginnen wir mit der Beschreibung des Digitalteils.

Digitalteil

Hier bildet der Mikrocontroller IC 5 das zentrale Element. Dieser berechnet aus den Sensorspannungen die jeweiligen Temperaturen und übernimmt die Ansteuerung des Displays. Weiterhin organisiert er die Auswertung der Bedientaster, die Abspeicherung der aufgezeichneten Daten und die Ansteuerung der USB-Umsetzung.

Der interne Haupt-Oszillator des Mikrocontrollers wird durch den Quarz Q 3 und



Bild 8: Anzeigebeispiel beim Log-Betrieb; oben links stellt die Bargraphanzeige dar, wie weit der Speicher gefüllt ist, die Digitalanzeige meldet den letzten geloggeten Wert.

die Kondensatoren C 30 und C 31 auf 4,194 MHz stabilisiert. Zusätzlich besitzt die Schaltung einen Sub-Oszillator, der durch den Quarz Q 2 und die Kondensatoren C 28 und C 29 auf 32,768 kHz stabilisiert wird. Zwischen den Messungen wird der Mikrocontroller softwaremäßig auf den Sub-Oszillator-Takt geschaltet, weil die Schaltung mit einem geringeren Takt weniger Strom verbraucht und so die Batterielebensdauer steigt.

Der Kondensator C 27 sorgt für einen definierten Reset-Impuls beim Zuschalten der Betriebsspannung und damit für definierte Verhältnisse beim Einschalten oder nach einem Spannungsausfall. Der Programmierstecker PRG 1 und der Widerstand R 16 dienen zur Programmierung des Mikrocontrollers in der Serienfertigung.

Das Display verfügt über 32 Segmentleitungen (SEG 0 – SEG 31) und vier Ebenen (COM 0 – COM 4), die direkt mit den entsprechenden Ports des Controllers verbunden sind. Die Anpassung des Display-Kontrastes erfolgt mit Hilfe der Widerstände R 17 bis R 20 und der Kondensatoren C 32 bis C 34.

Die Folientastatur zur Bedienung des T 1100 ist direkt an die Ports 6 und 7 des Mikrocontrollers angeschlossen. Dieser fragt die Zustände der Tasten sequentiell ab.

Die Versorgungsspannung (U_{BAT}) des T 1100 wird mit dem Spannungsregler IC 4 (HT 7150) stabilisiert. Dieser Spannungsregler hat einen Eingangsspannungsbereich von 5 bis 24 V/DC. Die Kondensatoren C 20 und C 22 dienen zur Stör- und Schwingneigungsunterdrückung. Nach der Pufferung der Batterie-Spannung durch den Elko C 23 gelangt die Spannung direkt auf den Emitter des Transistors T 3. Dieser Transistor kann über den Taster „On“ oder den Transistor T 2 in den leitenden Zustand versetzt werden. Sobald diese Taste betätigt wird, erhalten der Spannungsregler und somit auch der Mikrocontroller ihre Betriebsspannung. Letzterer wiederum gibt sofort nach der Initialisierungsphase an Port 2.0 ein „High-Signal“ aus und steuert über R 12 den Transistor T 3 durch, der wiederum den „Ein-Zustand“ des Gerätes hält. Zum Ausschalten des T 1100 setzt der Prozessorport den Transistor T 3 wieder in den Sperrzustand. Dadurch ist auf einfache Weise eine Auto-Power-off-Funktion realisiert, die das Gerät nach 8 Minuten ausschaltet, wenn in dieser Zeit keine Tastaturbetätigung erfolgt. Im Daten-Logger-Modus ist die Auto-Power-off-Funktion jedoch deaktiviert. Weiterhin lässt sich die Auto-Power-off-Funktion auch komplett deaktivieren, indem man erst die „Hold“-Taste und anschließend die „Reset“-Taste betätigt.

Die I²C-Leitungen des FRAMs (IC 3)

sind mit dem Port 3.0 und 3.1 verbunden. Im FRAM werden neben den Abgleichdaten die geloggten Messwerte gespeichert.

Der Transistor T 1 und die Widerstände R 7 bis R 9 realisieren eine „Low-Bat-Erkennung“. Eine niedrige Batteriespannung wird dann im Display mit dem „Bat“-Symbol dargestellt.

Weiterhin ist an dem Mikrocontroller ein USB-Controller vom Typ „FT245BM“ angeschlossen. Dieser fungiert als Schnittstelle zwischen der T-1100-Hardware und einem USB-fähigen PC. Die Ports P 4 und P 5 des Mikrocontrollers (IC 5) bilden den Datenbus zum USB-Controller (IC 2). Die Ansteuerung ist über zwei Statusleitungen (TXE, RXF) und über zwei Steuerleitungen (RD, WR) realisiert.

Das zentrale Element der USB-Umsetzung bildet der USB-Controller, der speziell für die Konvertierung zwischen USB und einem parallelen FIFO (First in, First out)-Speicher entwickelt wurde. Der USB-Controller signalisiert empfangene Daten über den „Low“-Pegel der RXF-Leitung. Der Mikrocontroller erkennt dies und liest diese Daten durch „toggeln“ der RD-Leitung über den Datenbus aus dem FIFO-Speicher aus. Das Schreiben von Daten erfolgt ähnlich. Die zu sendenden Daten werden vom Mikrocontroller auf den Datenbus gelegt und durch die Steuerung der WR-Leitung in den FIFO-Speicher geschrieben. Die Übertragung der Daten übernimmt der USB-Controller eigenständig und signalisiert dies über einen „High“-Pegel an der TXE-Leitung.

Der USB-Controller beinhaltet selbst eine Art Mikrocontroller, so dass eine Taktversorgung gewährleistet sein muss. Dafür wird der interne Oszillator mit dem Quarz Q 1 und den Kondensatoren C 3 und C 4 auf eine Frequenz von 6 MHz stabilisiert. Ein definiertes Starten des USB-Controllers wird durch Beschalten des Reset-Pins mit „USB_VCC“ sichergestellt.

Zur Speicherung der Erkennungsdaten (Vendor-ID, Product-ID, Seriennummer etc.) des T 1100 ist an die „Microwire“-Schnittstelle des USB-Controllers ein EEPROM vom Typ ELV 04385 (IC 1) angeschlossen.

Die Spannungsversorgung der gesamten USB-Umsetzung erfolgt über den USB, der eine Spannung von 5 V zur Verfügung stellt. Diese USB-Betriebsspannung gelangt über die USB-Buchse (im Schaltbild des Analogteils in Abbildung 10 zu finden) auf die Schaltung. Beim Anschluss des T 1100 an eine USB-Schnittstelle und somit auch beim Auslesen der geloggten Messwerte, wird die gesamte Schaltung über den USB-Anschluss versorgt.

Neben den beiden Leitungen für die Betriebsspannung besteht der USB aus zwei Datenleitungen (D+, D-). Diese, die eben-

falls über die Stiftleiste ST 1 auf den Digitalteil des T 1100 gelangen, sind jeweils über einen Widerstand zum Leitungsabschluss (R 2, R 3) mit dem USB-Controller (IC 2) verbunden. Der Widerstand R 1 dient als Pull-up-Widerstand für die D+ - Datenleitung. Über den definierten „High“-Pegel erkennt der PC die angeschlossene T-1100-Hardware.

Analogteil

Über die Stiftleiste ST1 ist der Digitalteil mit BU 3 des Analogteils des T 1100 (Abbildung 10) verbunden.

Im unteren Teil des Schaltbildes ist die USB-Buchse zu sehen. Über deren Pins 1 und 4 gelangt die Spannungsversorgung für die USB-Umsetzung auf die Schaltung. Die Kondensatoren C 50 bis C 60 sowie die Induktivität L 1 dienen zur Stabilisierung dieser Spannung bzw. zur Unterdrückung hochfrequenter Störungen. Weiterhin werden die USB-Datenleitungen (D+ und D-) über die Buchsenleiste BU 3 an den Digitalteil durchgeführt. Die Versorgungsspannung sowie drei Steuer- und eine Statusleitung vom Mikrocontroller werden ebenfalls über BU 3 geführt.

Mit dem Operationsverstärker IC 9 B, der als Impedanzwandler geschaltet ist ($v = 1$), in Verbindung mit der Referenzdiode D 6, die in Reihe mit dem Widerstand R 46 geschaltet ist, wird eine Referenzspannung von 2,5 V erzeugt. Die Kondensatoren C 49 und C 50 bewirken eine Störungsunterdrückung der Diodenspannung. Da der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers $v = 1$ ist, stellt sich am Ausgang ebenfalls 2,5 V ein. Diese Spannung wird für die jeweilige A/D-Umsetzung der Temperaturspannungen benötigt. Der Widerstand R 48 und der Kondensator C 51 bewirken eine Schwingneigungsunterdrückung von IC 9 B.

Diese Referenzspannung gelangt auch auf den Widerstandsteiler, bestehend aus dem temperaturabhängigen Widerstand SAX 1 und R 40. Hiermit wird die Umgebungstemperatur erfasst. Zu Abgleichzwecken ist parallel zu SAX 1 der Widerstand R 39 vorgesehen (dazu später im Kapitel „Abgleich“ im zweiten Teil mehr). Die Spannung am Teiler R 41, SAX 1 liegt am Operationsverstärker IC 8 D an. Dieser ist als nicht-invertierender Verstärker mit der Verstärkung $v = 2$ beschaltet. Die so verstärkte Spannung wird auf einen Eingang des AD-Wandlers, der mit IC 7, IC 8 und Beschaltung aufgebaut ist, weitergegeben.

Die stabilisierte Referenzspannung von 2,5 V steht ebenfalls am Operationsverstärker IC 9 A an. Dieser ist als nicht-invertierender Verstärker mit einer geringen Verstärkung $v = 1,07$ beschaltet. Am Ausgang stellt sich somit eine Spannung von etwa 2,7 V ein. Diese wird der Ther-

Bild 9:
Das Schaltbild
des Digitalteils

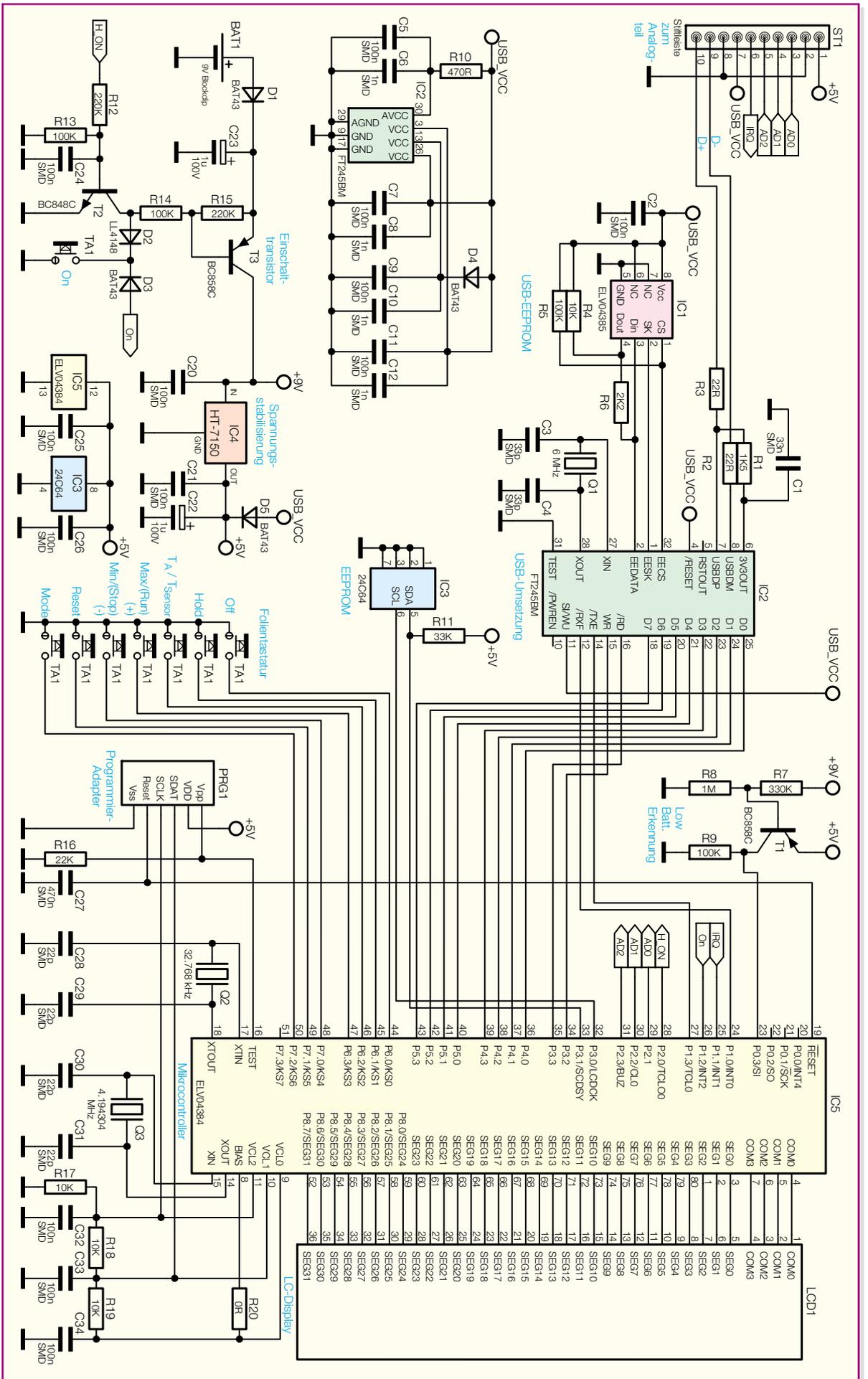
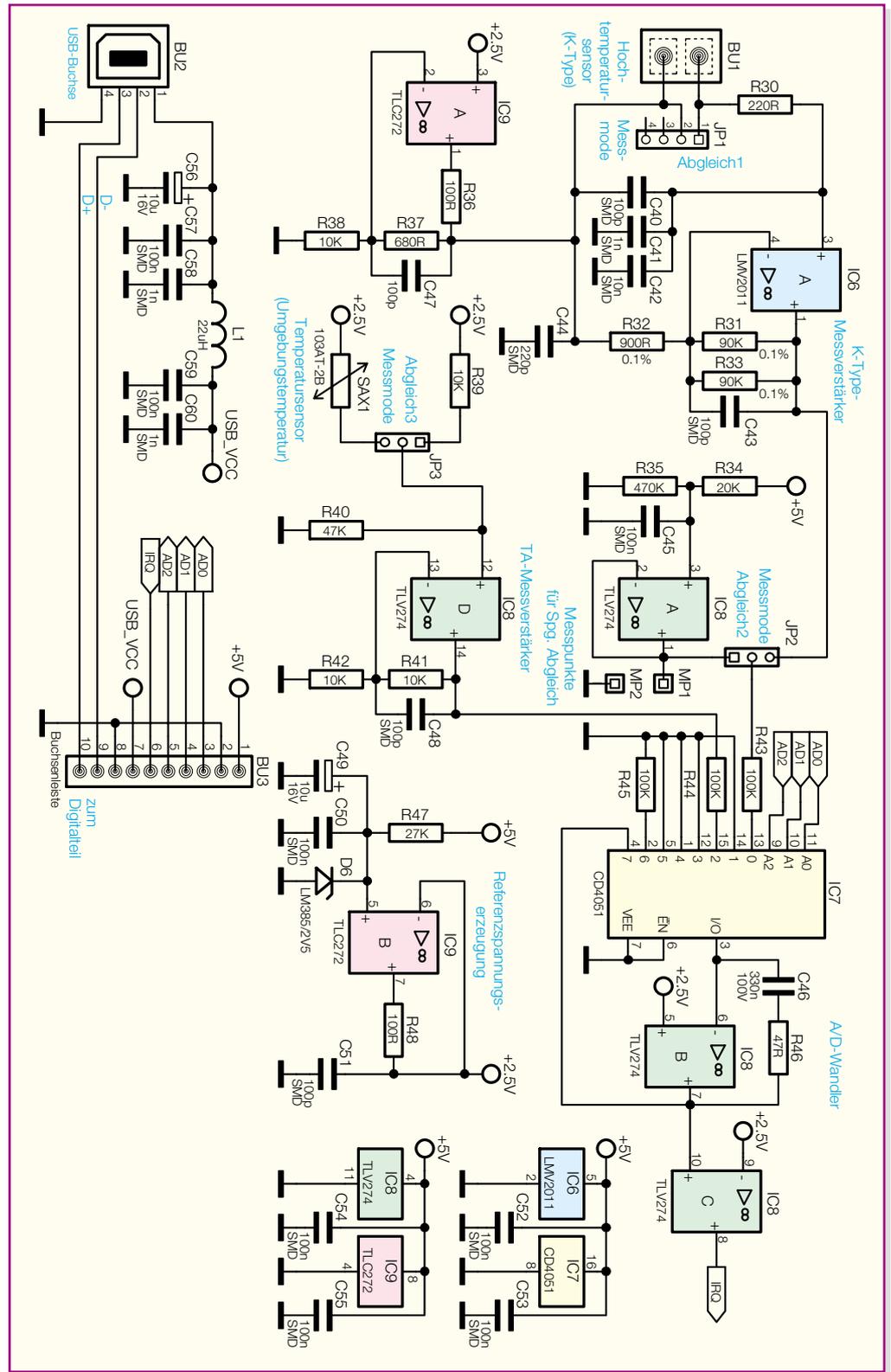


Bild 10: Das Schaltbild des Analogteils



mosspannung des an BU 1 angeschlossenem K-Type-Sensors überlagert, um mit dem Thermoelement auch geringere Temperaturen als die der Umgebungstemperatur messen zu können.

An die Buchse BU 1 wird polrichtig das Thermoelement angeschlossen. Der Widerstand R 30 und die Kondensatoren C 40 bis C 42 bewirken eine Unterdrückung von äußeren Störeinflüssen. Der Operationsverstärker IC 6 A in Verbindung mit den Widerständen R 31 bis R 33 ist als nicht-invertierender Verstärker geschaltet. Dieser hat, bedingt durch seine Beschaltung, einen Verstärkungsfaktor von $v = 51$. Die so verstärkte Spannung des Thermoelementes wird über den Jumper JP 2 auf einen Eingang des Multiplexers IC 7 geschaltet. Die Jumper sind für einen Abgleich vorgesehen. Mit dem Operationsverstärker IC 8 A in Verbindung mit R 34 und R 35 wird dafür noch eine Abgleichspannung erzeugt. Die genaue Vorgehensweise des Abgleichens wird im Kapitel „Abgleich“ im zweiten Teil erläutert.

Die aufbereiteten Spannungen des Thermoelementes (K-Type-Sensor) und des integrierten Temperatursensors (Umgebungstemperaturfassung) gelangen auf den AD-Wandler. Dieser ist als Dual-Slope-Wandler ausgeführt und besteht im Wesentlichen aus dem Multiplexer IC 7 und den beiden OPs IC 8 B und C. Dabei wird die angelegte Messspannung über eine zeitliche Proportionalität zu einer Referenzspannung berechnet.

Der Multiplexer lässt sich über die Steuerleitungen AD 0 bis AD 2 des Mikrocontrollers IC 5 (Digitalteil) steuern, wodurch je nach Messaufgabe das Durchschalten verschiedener Spannungen auf die Integrations-Stufe IC 8 B möglich ist. Der Operationsverstärker IC 8 C wird dabei als Komparator betrieben. Dieser löst beim „Nulldurchgang“ der Integrationsspannung einen Interrupt am Mikrocontroller aus. Der Nulldurchgang wurde bei dieser AD-

Wandlung auf die halbe Betriebsspannung (2,5 V) gelegt. Dies hat den Vorteil, dass die ansonsten benötigte negative Referenzspannung zum „Abintegrieren“ entfällt.

So weit zur Funktions- und Schaltungsbeschreibung, die ausführliche Beschreibung des Nachbaus, des Abgleichs, der Inbetriebnahme und der Bedienung der T-1100-Windows-Software erfolgen im zweiten Teil des Artikels im „ELVjournal“ 3/2004.