

Zulassungsarbeit  
im Fach Physik  
für die wissenschaftliche Prüfung  
für das Höhere Lehramt an Gymnasien

AUFBAU EINES RECHNERGESTEUERTEN MESSPLATZES  
FÜR MESSUNG SPEZIFISCHER WÄRMEN

Victor Fäßler  
Werastraße 36/2  
7990 Friedrichshafen 1  
  
Frühjahr 1981

Ich erkläre, daß ich die Arbeit selbstständig angefertigt habe und daß ich allen Stellen, die dem Wortlaut, oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, durch Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Victor Fäfler

An dieser Stelle möchte ich Herrn Privatdozent  
Dr. P. Rödhammer danken, der mir das Thema stellte;  
ich erhielt von ihm während der Planung, Durchführung  
und Auswertung meiner Arbeit wertvolle Anregungen.

Nicht zuletzt danke ich den Mitarbeitern des Labors  
Prof. Dr. H. E. Bömmel für ihre Unterstützung und  
Herrn Dipl. phys. U. Elrod vom Labor Prof. Dr. E. Bucher,  
dessen Ultraschallbohrmaschine ich benutzen durfte,  
sowie allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt  
haben.

## Inhalt

Kapitel		Seite
1.	Zusammenfassung	4
2.	Einleitung	6
3.	Meßverfahren	8
4.	Aufbau des Probenspießes	14
5.	Beschreibung des Meßplatzes (Hardware)	20
6.	Programmbeschreibung	23
6.1.	Beschreibung der Unterprogramme	24
6.2.	Beschreibung des Hauptprogrammes	64
6.3.	Anmerkungen	65
6.4.	Belegung der Speicher	67
6.5.	Vereinfachtes Flußdiagramm und Scannertabelle	71
7.	Bedienungsanleitung	75
7.1.	Handmessung	76
7.2.	Automatische Messung	78
8.	Test- und Meßergebnisse	80
8.1.	Test der Meßanlage	81
8.2.	Meßergebnisse	84
9.	Technischer Anhang zu den Interfaces und zum Probenspieß	94
10.	Literaturverzeichnis	100
11.	Vollständiger Programmausdruck	102

## 1. Zusammenfassung

Die Aufgabenstellung meiner Arbeit war es, einen Meßplatz zur Bestimmung der spezifischen Wärme von Festkörpern nach der Wärmepulsmethode von Nernst aufzubauen.

Es wurde ein Probenspieß angefertigt, in dem die Probe gut thermisch isoliert aufgehängt und von einem geregelten Wärmeschild umgeben ist, da die verwendete Meßmethode eine adiabatische Meßanordnung voraussetzt, und die Meßanlage dazu aufgebaut. Die Messung kann im Handbetrieb, oder von einem Hewlett-Packard-Tischcomputer gesteuert, durchgeführt werden. Im automatischen Betrieb wird zugleich die Auswertung der Messung durchgeführt und protokolliert. Die Daten können auf einer Magnetbandcassette gespeichert werden.

Die Genauigkeit der Meßanlage im autom. Betrieb ist nach meiner Abschätzung besser als 1 %.

Der Hauptvorteil dieser Meßanlage besteht darin, daß sie von einem Tischcomputer gesteuert wird. Hier kann der Anwender, falls erforderlich, sofort selbst in das Programm eingreifen, oder Änderungen durchführen und so den automatischen Meßablauf speziell auf sein Problem optimieren. Dies ist, wenn der steuernde Computer ein Großrechner ist, der eventuell noch mehrere Meßplätze im Time-Sharing-Verfahren betreut (Gmelin, Rödhammer), meist vom Anwender nicht durchführbar.

Mit den auf der Magnetbandcassette gespeicherten Daten könnte man ohne großen Zeitaufwand mit einem entsprechenden Zusatzprogramm die Meßwerte in übersichtlicher Form dokumentieren, sowie mit einem Zeichengerät graphisch darstellen.

Da die Eichung des Probenthermometers und die Güte des Temperaturpolynoms  $T(R)$  bei der Messung spezifischer Wärme von großer Bedeutung für die Genauigkeit der Meßanlage sind, könnte die Meßanlage durch Verwendung einer anderen Interpolationsmethode (Spline-Funktion) verbessert werden, was mit dem Nachteil eines größeren Datenaufwands erkauft werden muß und einen größeren Kernspeicher des Computers (jetzt 22 K Byte) erfordert.

Da die Probenthermometerspannungen im Millivoltbereich liegen, könnte eine bessere Auflösung der Temperaturunterschiede erzielt werden, wenn man die Spannungen, 100-fach verstärkt, auf das Voltmeter geben würde.

## 2. Einleitung

Die spezifische Wärme eines Festkörpers liefert Aussagen über das Spektrum seiner Gitterschwingung (Phononen), über die Zustandsdichte der Elektronen an der Fermikante und über magnetische Anregungen (Spinwellen, Magnonen). Messungen der spezifischen Wärme dienen darüber hinaus zur Untersuchung elektronischer, struktureller und magnetischer Phasenübergänge. Eine Einführung in die Theorie der spezifischen Wärme von Festkörpern und über den Anwendungsbereich kalorimetrischer Untersuchungen gibt Gopal (1966).

Experimente zur Bestimmung der spezifischen Wärme eines Festkörpers sind im allgemeinen langwierig und zeitraubend, wenn über einen großen Temperaturbereich gemessen werden soll. Der größte Zeitanteil entfällt dabei darauf, auf die Einstellung des thermischen Gleichgewichts innerhalb der Probe zu warten. Eine vollständige Messung über einen Temperaturbereich von 4 K bis 300 K erstreckt sich in der Regel über mehrere Tage. Nach Beendigung der Messung folgt die ebenfalls zeitintensive, mit subjektiven Fehlern behaftete Auswertung des x-t-Schreiberprotokolls.

Aus diesen Gründen ist es vorteilhaft, ein solches Meßverfahren durch einen Computer zu steuern. Unter den verschiedenen Meßmethoden zur Bestimmung der spezifischen Wärme - AC-Methode (Sullivan and Seidel, 1968), Ausgleichszeit-Methode (Bachmann et al., 1972) etc. -

eignet sich die Methode von Nernst (1864 - 1941) besonders gut zur Automatisierung (Westrum 1968). Ziel dieser Arbeit war es, einen automatischen Meßplatz zur Bestimmung der spezifischen Wärme nach der Nernst'schen Wärmepulsmethode aufzubauen.

### 3. Meßverfahren

Bei der Bestimmung der spezifischen Wärme nach Nernst wird eine thermisch isolierte Probe stufenweise aufgeheizt (vgl. Abb. 1) und aus der zugeführten Wärmemenge  $Q$  und dem Temperaturanstieg  $\Delta T$  die Wärmekapazität bei konstantem Druck

$$C_p = Q/\Delta T$$

bestimmt. Es liegt also eine adiabatische Meßanordnung zugrunde, d. h. dem thermodynamischen System, welches aus Probenhalter und Probe besteht, ist während der Messung kein Wärmeaustausch mit der Umgebung gestattet. Um diese Forderung in Strenge zu erfüllen, müßte die Umgebung der Probe immer exakt auf Proben-temperatur gehalten werden. Dieses Verfahren würde jedoch einen extrem hohen Steuer- und Regelaufwand erfordern.

In der Praxis genügt eine quasi-adiabatische Meßanordnung, in der die Temperaturerhöhung und der Temperaturengleich innerhalb des Systems Probe-Probenhalter in einem Zeitintervall erfolgt, das klein ist gegenüber der thermischen Relaxationszeit des Systems (Zeit, in der die Proben-temperatur gegen die Umgebung relaxiert).

Die rasche Temperaturänderung und kurze innere Relaxationszeit des Systems erreicht man durch guten thermischen Kontakt zwischen Probenheizung, Thermometer und der Probe selbst. Die physikalischen Mechanismen des Wärmeaustausches zwischen Probenträger und Umgebung sind Wärmeleitung über die Zuleitungsdrähte, Wärmeleitung über "Austausch"-Gas (Konvektion) und Strahlung.

Für den Wärmetransport durch Konvektion von Helium-Austauschgas gilt (White 1978):

$$\dot{Q} \approx 2/3 P (T_2 - T_1).$$

P ist der bei 295 K gemessene Druck im Meßsystem und  $(T_2 - T_1)$  die Temperaturdifferenz zwischen Probe und Umgebung.

Der Wärmetransport über Strahlung ist gegeben durch:

$$\dot{Q} [W] = \sigma [W/m^2/K^4] A [m^2] (T_2^4 - T_1^4) [K^4] \epsilon / 2.$$

$\sigma$  ist die Stefan-Boltzmannkonstante ( $5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$ ).

A ist die Oberfläche und  $\epsilon$  das Emissionsvermögen der Probe und ihrer Umgebung.

Für den Wärmetransport durch Wärmeleitung gilt:

$$\dot{Q} [W] = \alpha (T) [W/m/K] (A/l) [m] (T_2 - T_1) [K].$$

In dieser Formel ist  $\alpha$  die Wärmeleitfähigkeit, A der Querschnitt und l die Länge der mechanischen Verbindungen zur Umgebung.

Bei den mit Hochvakuumanlagen erzeugbaren Enddrücken von  $P < 10^{-4}$  Pa und bei  $T < 70$  K dominieren im allgemeinen die Verluste über Wärmeleitung durch mechanische Ankoppelung. Dies ist beim Aufbau besonders zu berücksichtigen.

Auch bei optimaler Auslegung des Experiments werden Probe und Probenhalter nach dem Aufheizen gegen die Temperatur der Umgebung relaxieren. Da diese Relaxationszeit groß gegenüber der Beobachtungszeit eines Meßpunktes ist, kann die exponentielle Drift hinreichend genau durch einen linearen Temperaturverlauf angenähert werden. Die durch Wärmeverluste der Probe während des Aufheizens entstehenden Fehler werden durch die im folgenden beschriebene Extrapolation korrigiert.

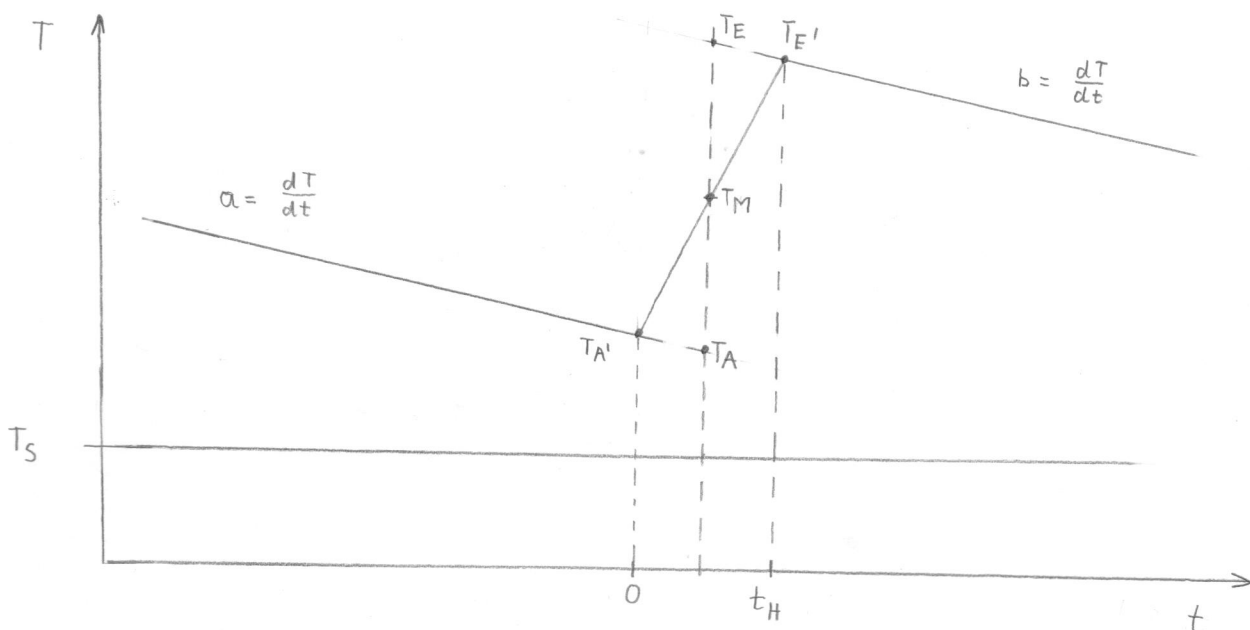


Abb. 1

Die Wärmeverluste der Probe während der Heizzeit berechnen sich nach den Gleichungen:

$$\dot{Q} = A (T - T_S)$$

$$Q = \int_0^{t_H} \dot{Q} dt = A \int_0^{t_H} (T - T_S) dt$$

Hier ist  $T$  die betrachtete Temperatur,  $T_S$  die Schildtemperatur,  $t_H$  die Heizzeit,  $Q$  die Wärmemenge und  $A = \kappa A' / l$ .  $\kappa$  ist die Wärmeleitfähigkeit,  $A'$  der Querschnitt und  $l$  die Länge der mechanischen Verbindungen der Probe zur Umgebung.

In Abb. 1 ist der zeitliche Verlauf der Probertemperatur vor, während und nach einer Aufheizstufe schematisch dargestellt. Die auftretenden Wärmeverluste ergeben sich zu:

$$T = T'_A + \frac{T'_E - T'_A}{t_H} t$$

$$Q = A t_H \left( \frac{T'_A + T'_E}{2} - T_S \right)$$

Die durch das Extrapolationsverfahren berücksichtigten Wärmeverluste ergeben sich mit analoger Herleitung zu:

$$\bar{Q} = A \frac{t_H}{2} \left( \left( \frac{T'_A + T'_E}{2} - T_S \right) + \left( \frac{T_A + T_E}{2} - T_S \right) \right)$$

$$Q = \bar{Q} \text{ falls } \frac{T'_A + T'_E}{2} = \frac{T_A + T_E}{2} = T_M \Rightarrow a = b$$

Diese Bedingung ist nur erfüllt, wenn gilt:

Drift vor der Heizung = Drift nach der Heizung.  
Dies ist in Strenge nur im adiabatischen Grenzfall erfüllt (Drift  $\equiv 0$ ).

Wegen der endlichen Ankoppelung driftet die Probe zur Temperatur des Wärmeschildes nach der Heizung stärker als vor der Heizung ( $b > a$ ). Dadurch wird die Bedingung (Drift  $\equiv 0$ ) verletzt, was zu einer Korrektur zweiter Ordnung führt. Sie kann vernachlässigt werden, solange die entsprechende Korrektur erster Ordnung nur einige Prozent beträgt (d.h. die während der Extrapolationszeit abfließende Wärmemenge darf nur einige Prozent der während der Heizung zugeführten betragen). Daraus ergibt sich die Forderung nach möglichst guter thermischer Isolation der Probe.

Im automatischen Ablauf des Experiments (Abb.2) werden in einer vorgegebenen Driftzeit  $t_{\text{Drift}} = t_n - t_1$  sovieler Meßwertepaare  $(t_i, T_i)$  aufgenommen, wie es auf Grund der Meßrate des DVM möglich ist. Die Driftzeit wird aus Heizzeit und Delayzeit berechnet. Danach wird die Schildtemperatur  $T_S$  gemessen. Nun wird die Probe aufgeheizt. Heizzeit und Heizstrom sind entweder durch die Anfangsbedingungen festgelegt oder wurden vom Programm errechnet. Während der Heizung werden Heizstrom und Heizspannung gemessen. Nach dem Heizen müssen Probe und Probenhalter ihr thermisches Gleichgewicht erlangen (innere Relaxationszeit). Diese Zeit wird durch eine Wartezeit (Delay) berücksichtigt. Bedingt durch die dc-Meßmethode der Thermometerspannung, die im allgemeinen im Bereich von mV liegt, müssen die in der Größenordnung von  $\mu\text{V}$  liegenden Thermospannungen im Meßkreis der Thermometerspannung gemessen und die gemessenen Thermometerspannungen korrigiert werden. Dazu wird nach der Wartezeit die Thermospannung gemessen. Anschließend wird der Thermometerstrom gemessen und die nächste Driftzeit beginnt. Nach der Drift wird wieder die Schildtemperatur gemessen und die letzte Heizstufe ausgewertet. Dazu werden die Punkte  $T_A$  und  $T_E$  durch Extrapolation der Driftgeraden zur Mitte der Heizzeit und daraus die Temperaturzunahme der Probe  $\Delta T = T_E - T_A$  berechnet. Die als Joulesche Wärme über einen Heizwiderstand zugeführte Wärmemenge wird aus Heizstrom, Heizspannung und Heizzeit nach der Gleichung  $Q = U_H I_H t_H$  bestimmt. Die Wärmekapazität berechnet sich nach der Gleichung  $C(T_M) = Q/\Delta T$ , wobei  $T_M$  die Durchschnittstemperatur  $T_M = (T_E + T_A) / 2$  ist. Die Werte für die Meßpunktnummer,  $\Delta T$ ,  $T_M$  und  $C_p$  werden vom Rechner ausgedruckt.

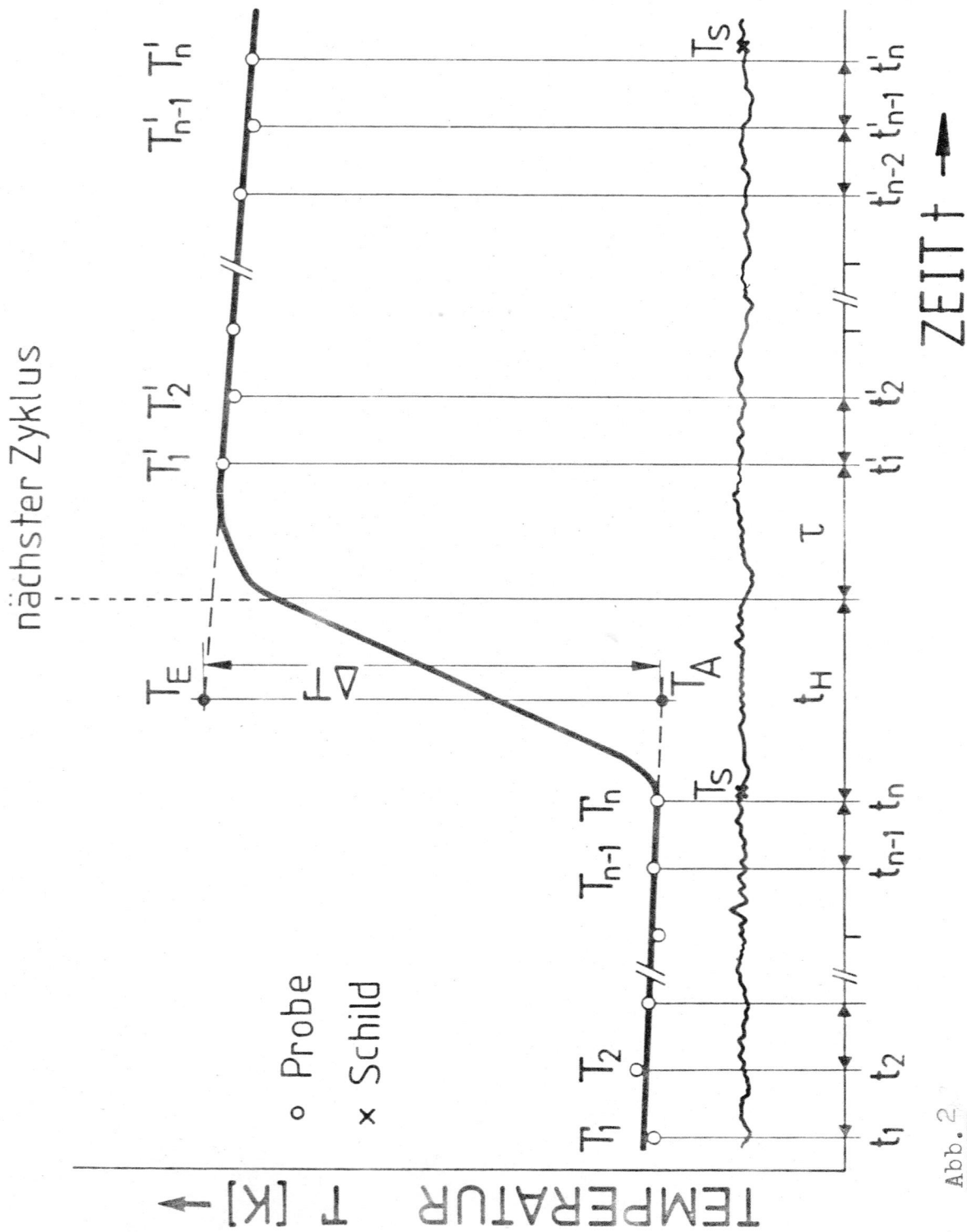


Abb. 2

Anschließend wird der Wärmeschild kontrolliert und evtl. nachgeregelt. Danach wird die neue Heizleistung bestimmt und die Probe weiter aufgeheizt.

#### 4. Aufbau des Probenspießes

Vgl. Abb. 3

Der Vakuumpopf (1) des Probenspießes besteht aus Kupfer. Eine Nut in den Dichtflächen (2,3) aus Edelstahl dient zur Aufnahme eines Dichtringes aus Indiumdraht (4) mit 1,5 mm Durchmesser. Die Zuleitungsdrähte (5) bestehen aus 0,1 mm  $\emptyset$  und 0,2 mm  $\emptyset$  Manganindraht. An den zwei Novalsockeln am Probenspießkopf sind insgesamt 18 Drähte angeschlossen. Im Probenspieß hängen allerdings noch vier Ersatzdrähte. Die von oben kommenden Drähte sind auf einem Cu-Zylinder (6), der an den Dichtflächen des Vakuumpopfes angeschraubt ist, mit Hilfe von Tieftemperaturlack (GE-varnish No. 7031) thermisch verankert, und werden durch zwei Strahlenschilde (7,8) geführt. Im Innern des Vakuumpopfes ist der temperaturgeregelte Schild (9) aus Kupfer angebracht. Die Heizung (10) besteht aus mehreren Windungen von 0,2 mm  $\emptyset$  Manganindraht, der bifilar gewickelt ist und über Stecker (Cambion) an die Zuleitung angeschlossen ist. In der Befestigungsplatte (11) des Schilds sind die Schildthermometer Kohle (100 Ohm Allen-Bradley-Widerstand, Fa. Leybold)(12) für  $T < 30$  K und Platin (100 Ohm, Modell S-201, Fa. Telemeter)(13) für  $T > 30$  K eingebaut. Sämtliche Zuleitungen mit Ausnahme der Schildheizung sind auf einem Cu-Zylinder (14), der auf den Deckel des Schilds geschraubt ist, thermisch verankert, und gelangen durch einen Strahlenschild (15) an den Steckerring (16) im Probenraum.

Der Probenhalter (vgl. Fig. 3+4) besteht aus zwei dünnen Saphirscheiben (17), die durch einen Film aus Vakuurfett (20) (Edwards) thermisch aneinander gekoppelt und mechanisch zusammengehalten werden. Auf eine der Saphirscheiben ist die Probenheizung (21) (NiCr,  $R = 2252 \text{ Ohm}$ ), deren Widerstand nahezu unabhängig von der Temperatur ist, aufgedampft. Auf dem Probenhalter ist mit einem dünnen Film Vakuurfett die Probe (18) thermisch und mechanisch angekoppelt. Das Ge-Proben-thermometer (Mod. GR - 200 A - 1000, Fa. Lakeshore) (19) ist in einen plangeschliffenen Saphirblock eingepaßt (23), der mit Vakuurfett an die Unterseite des Probenhalters thermisch angekoppelt und an zwei Punkten mit Tieftemperaturlack mechanisch befestigt ist. Das zylindrische Loch für das Thermometer wurde mit Ultraschall in den Saphirblock gebohrt.

Die beiden Schildthermometer liegen in Serie im Thermometerstromkreis. Die Spannungen werden nach der Vierleitermethode zur Messung von Widerständen mit drei Anschlüssen abgegriffen. Das Proben-thermometer ist ebenfalls nach der Vierleitermethode angeschlossen. Die Anschlußdrähte des Proben-thermometers sind mit  $0,1 \text{ mm } \varnothing$  Cu-Drähten verlängert, die zur thermischen Verankerung um den Saphirblock gewickelt und mit Tieftemperaturlack aufgeklebt sind. Die Proben-heizung ist nach der "Dreileitermethode" angeschlossen, um Fehler durch Joulesche Wärme in den Zuleitungen zu

verhindern (Logan et al. 1957). Bei dieser Methode wird ein Stromdraht der Heizung gleichzeitig zur Spannungsmessung benutzt. Man geht davon aus, daß die Joulesche Wärme, die in den Stromdrähten entsteht, zur einen Hälfte zum Probenhalter und zur anderen Hälfte auf den Steckerring gelangt. Diese zusätzliche Heizleistung wird bei der Dreileitermethode dadurch berücksichtigt, daß man den Spannungsabfall der Heizung über den Heizwiderstand plus einen Zuleitungswiderstand mißt.

Alle Zuleitungen vom Probenhalter zum Steckerring bestehen aus 30 cm langem, gewendeltem Manganindraht mit 0,07 mm  $\emptyset$  und 30 Ohm Widerstand.

Der Probenhalter selbst ist mit sechs Nylonfäden (22), die durch drei Bohrungen der Saphirscheibchen gefädelt sind, aufgehängt.

Die Verdrahtung des Probenhalters und die Belegung der Steckeranschlüsse sind in Abb.5 dargestellt.

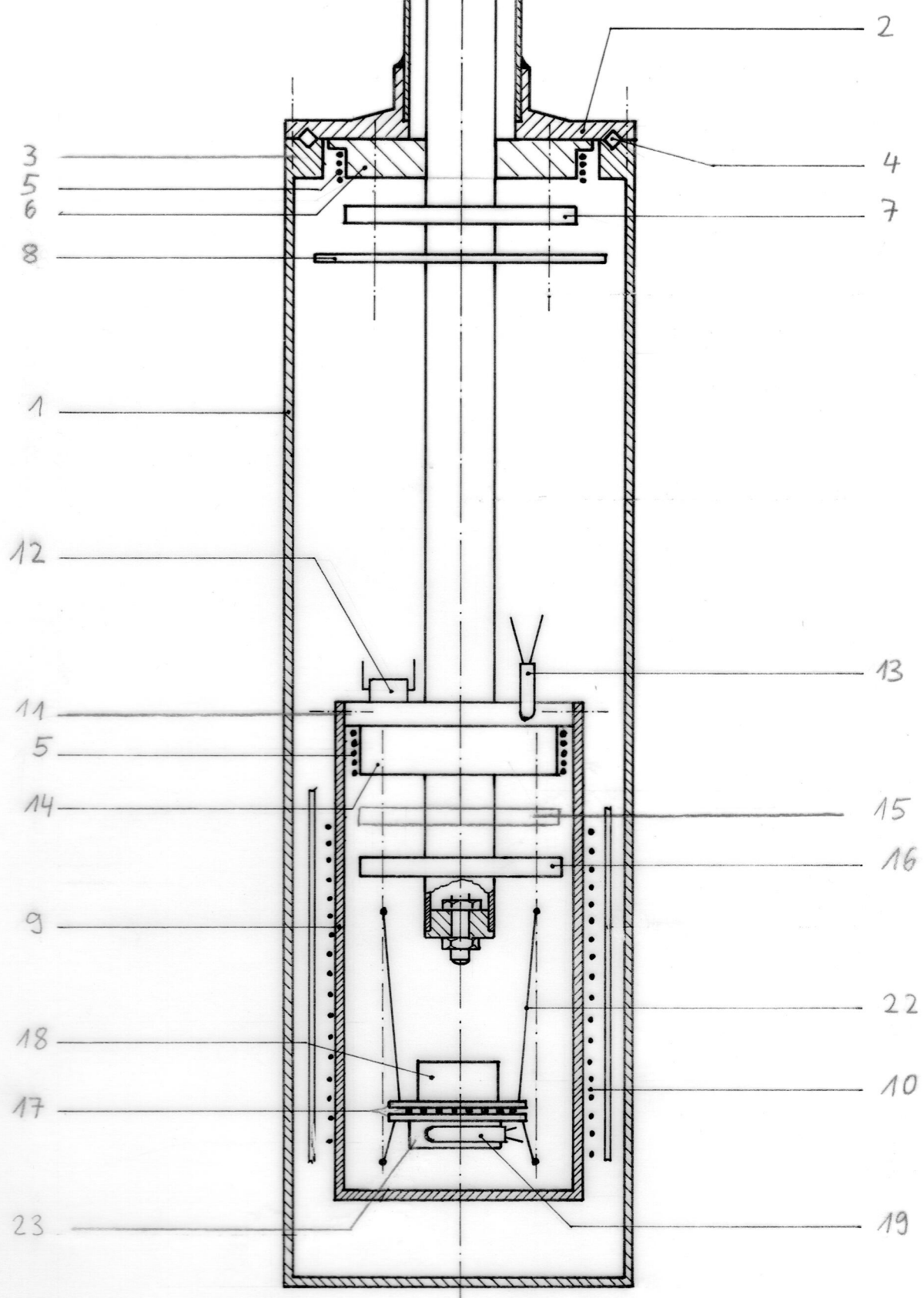


Abb. 3 Probenspieß

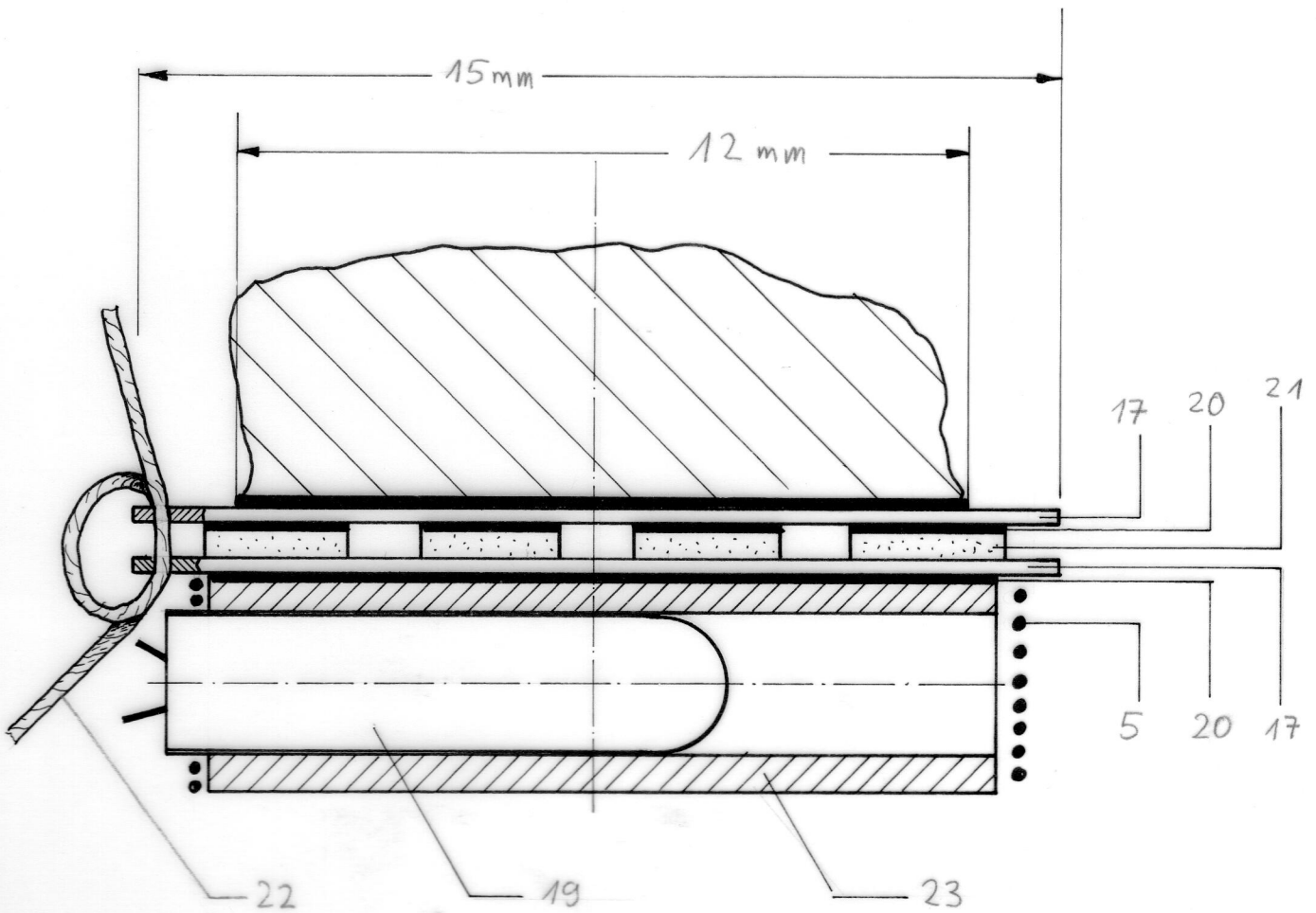
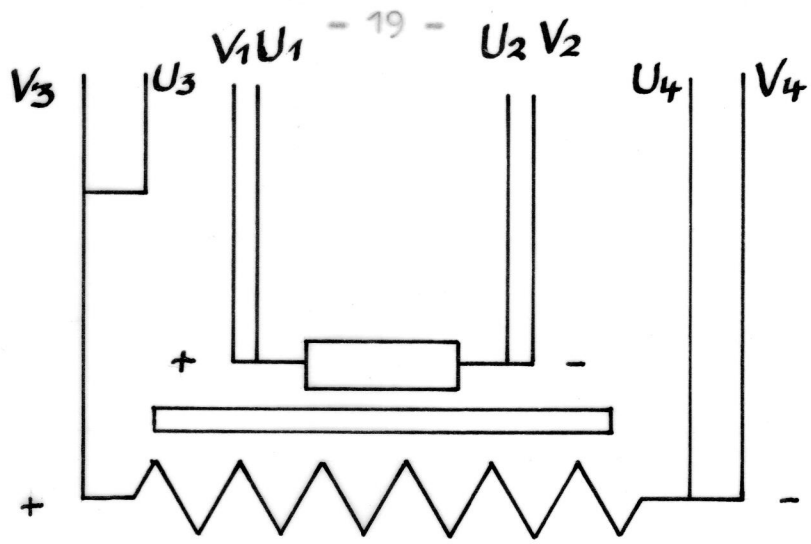
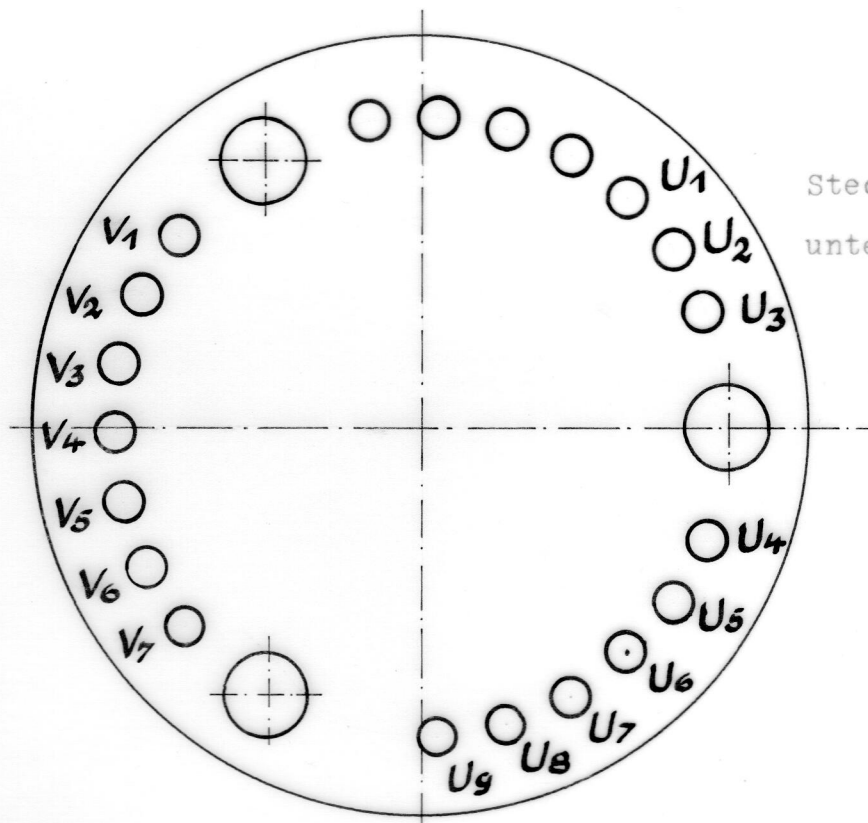


Abb: 4 Probenhalter



Verdrahtung des Probenhalters



Steckerleiste von unten gesehen.

Abb.5 Verdrahtung des Probenhalters und Belegung der Steckeranschlüsse

## 5. Beschreibung des Meßplatzes (Hardware)

Abb. 6 zeigt ein Blockschaltbild des Meßplatzes. Der Meßplatz wird von einem Tischrechner (HP 9825A) mit 22 K-Byte Speicherkapazität gesteuert. Der Rechner ist mit zwei Zusatzspeichern ausgestattet (Read Only Memorys): 9872A Plotter - Gen. I/O - Extended I/O ROM; 98210A String - Adv. Programming ROM. Zur Messung von Zeiten dient die HP 98035A Real Time Clock, die als Einschub direkt am Rechner hängt. Zur Ausgabe von Programmen und Daten dient das Serial I/O Interface HP-98036A, das über einen Wahlschalter (TS1) die Ausgabe von Programmteilen bzw. Daten auf das Sichtgerät (TEC 510) oder einen direkten Dialog mit dem Großrechner (TR 440) ermöglicht; der dritte (und letzte) rückwärtige Einschub ist durch das IEC-Bus Interface HP 98034A belegt, an dem sämtliche vom Rechner angesprochenen Peripheriegeräte (mit Ausnahme des Sichtgerätes) sowie die Steuer- und Meßelektronik liegen. Zur Ausgabe des Meßprotokolls steht neben dem Streifenprinter am Rechner selbst ein 80 Zeichen-Printer (Epson MX-80 FT) zur Verfügung. Die Meßergebnisse können auf einem XY-Schreiber (HP 9872B Plotter) in grafischer Form dargestellt werden.

Die zentrale Komponente des Meßsystems und zugleich das einzige Meßgerät des automatisch ablaufenden Experimentes ist das Digitalvoltmeter HP 3455A. Die verschiedenen Spannungsmeßstellen werden durch einen Meßstellenumschalter (Scanner HP 3495A) auf das Voltmeter durchgeschaltet. Der Scanner übernimmt auch das Ein- und Ausschalten des Proben-Thermometer- und Proben-Heizstromes.

Die Probenheizspannung wird über einen Digital/Analog-Wandler (HP 59501A) gesetzt. Auch der Sollwert der Thermometerspannung des Schildthermometers wird über einen D/A-Wandler gleichen Typs geliefert.

Sämtliche Meß- und Steuerleitungen laufen über ein selbstgebautes Interface (FT 1) zur Probe. Die Temperaturregelung erfolgt durch einen PDI-Regler (Artronix 5301-E).

Der vom D/A 2 vorgegebene Sollwert und der Istwert des Schildthermometers können über ein am Artronix - Interface angeschlossenes Digitalvoltmeter (Keithly 169) überprüft werden. Zur Kontrolle des automatisch gesteuerten Experimentes bzw. für Handmessungen kann die Proben-Thermometerspannung über einen Trennverstärker und einen Kompensationsspannungsgeber (Burster 6401) an einen Xt-Schreiber (Linseis L 2040) gelegt werden, dessen zweiter Kanal die Abweichung des Istwertes vom Sollwert des Schildthermometers anzeigt (Ausgang des Artronixregelgerätes). Für halbautomatischen bzw. Handbetrieb stehen zwei Konstantstromquellen (Burster 6425T) zur Verfügung.

Im Handbetrieb wird die Heizzeit über den Zähler Kontron 6011 gemessen, und die verschiedenen Spannungen über einen Wahlschalter im Interface auf das Digitalvoltmeter Keithley 177 gelegt. Die Meß- und Steuerleitungen werden über zwei je 9polige Kabel (für Ströme bzw. Spannungen) zum Probenspieß geführt.

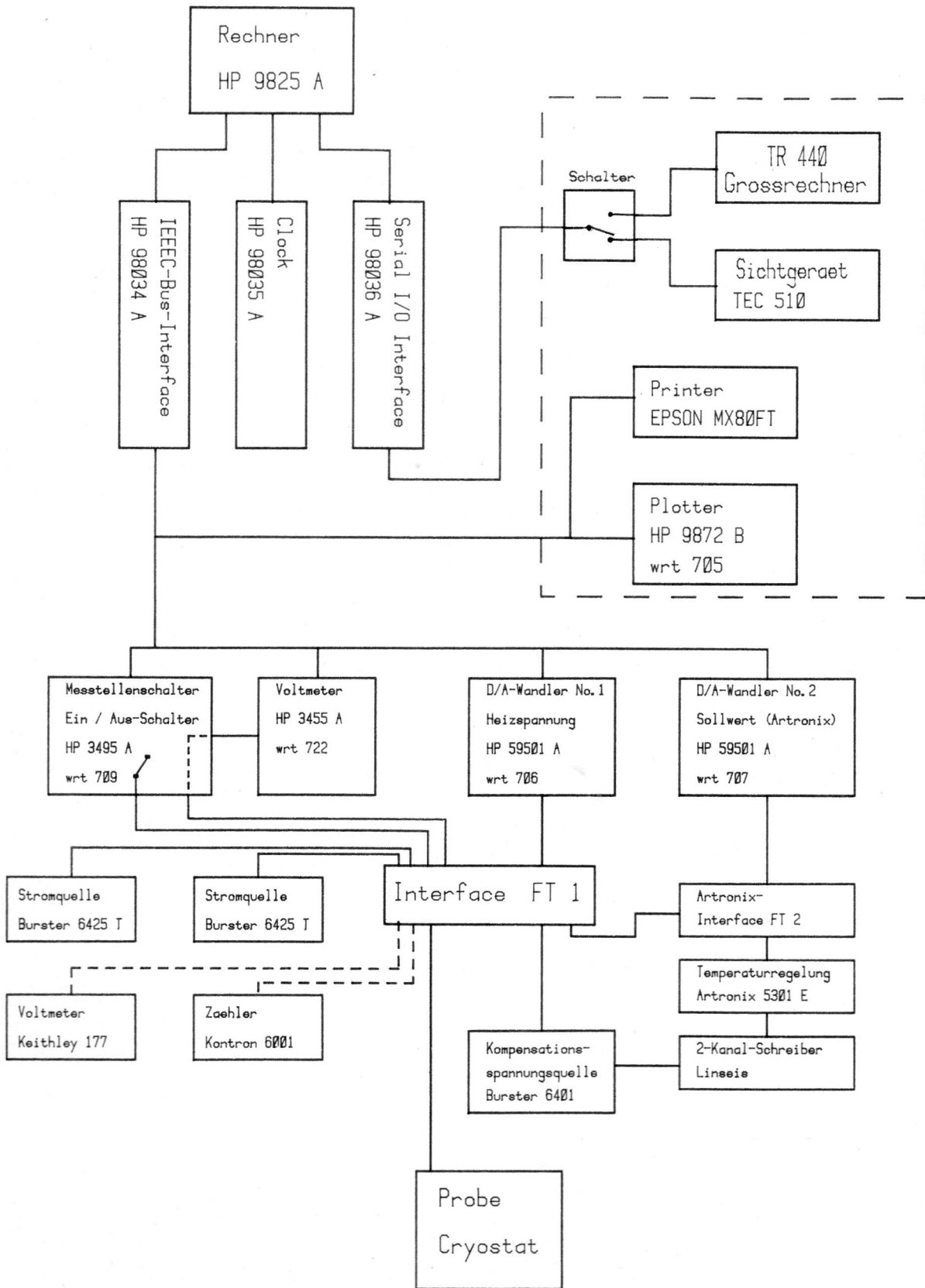


Abb. 6 Blockschaltbild des Meßplatzes

6. PROGRAMMBESCHREIBUNG

## 6.1. Beschreibung der Unterprogramme

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Unterprogramme anhand des Programmausdruckes (listings) detailliert beschrieben. Diese Beschreibung soll es den Benutzern des Meßplatzes ermöglichen, den Ablauf des Programms ohne lange Einarbeitung Zeile für Zeile nachzuvollziehen und - falls es geänderte experimentelle Bedingungen erfordern - in bestimmten Punkten zu ändern. Kenntnisse der Programmiersprache des Tischrechners HP 9825 A werden dabei vorausgesetzt. Die Beschreibung der Unterprogramme und Funktionen erfolgt - analog zur Abspeicherung des Programmes - in alphabetischer Reihenfolge ihrer Titel. Das Ineinandergreifen der einzelnen Unterprogramme während eines Meßlaufes wird in einem vereinfachten Flußdiagramm am Ende des Kapitels verdeutlicht.

"Ausw"

```
3: "Ausw";
4: fxd 2;prt "Shieldtemp[K]",r26
5: if flg1;gto +11
6: (r16+r17+r19+r14+r15+r13)/2;r23
7: r14+r15+r13-(r16+r17+r19);r24
8: r20+r28/r24;r25
9: fxd 0;prt "Punktno.",r59
10: fxd 6;prt "deltaT",r24
11: prt "T Mittel (Tm)=",r23
12: flt 6;prt "Cp(Tm)=",r25;spc
13: r23)r(60+r59);r25)r(60+r59+1);2+r59;r59
14: if r23>=r32;prt "Endtemp.erreicht","Messung beendet";stp
15: if Yor21;prt "Koeff.gewechselt";gto "B"
16: r14)r16;r15)r17
17: ret
```

Durch dieses Unterprogramm werden die zur Berechnung der Wärmekapazität erforderlichen Daten ab- bzw. umgespeichert und wird die Messung protokolliert. Als erstes wird in Zeile 4 die Temperatur des Schildthermometers ausgedruckt. Nun wird geprüft, ob der Aufruf des Unterprogrammes aus dem Teil "B" des Hauptprogramms erfolgte (flag1 gesetzt). Da dieser Teil nur beim Start der Messung und nach der Schildregelung bzw. nach dem Wechsel des Koeffizienten des Proben-thermometers läuft, wird bei flag1 die Auswertung übersprungen und 10 Zeilen vorwärts verzweigt. Es erfolgt dort lediglich das Umspeichern der Koeffizienten der letzten Driftgeraden (r14 → r16; r15 → r17).

Erfolgte der Aufruf aus "C", so wird die mittlere Proben-temperatur

$$T_M = (T_A + T_E)/2$$

in r23 gespeichert. ( $T_A$ : Proben-temperatur vor der Heizung, extrapoliert zur Mitte der Heizzeit;  $T_E$ : Proben-temperatur nach der Heizung, extrapoliert zur Mitte der Heizzeit;  $T_M$ : mittlere

Probentemperatur bei Mitte der Heizzeit).

$$(r16 + r17 \cdot r19 + r14 + r15 \cdot r13)/2 \rightarrow r23$$

r16, r17: Koeffizienten der Temperaturdriftgerade vor der Heizung.  
r14, r15: Koeffizienten der Temperaturdriftgerade nach der Heizung.  
r19, r13: Mitte der Heizzeit, gemessen jeweils vom Beginn der Anfangs- bzw. Enddriftgeraden.

Der Anstieg der Probentemperatur  $\Delta T = T_E - T_A$  während der Heizung wird in r24 gespeichert. Die Wärmekapazität

$$C_p(T_M) = P_H \cdot t_H / \Delta T$$

( $P_H$ : Heizleistung (r20);  $t_H$ : Heizzeit (r28) wird in r25 gespeichert.

Es folgt der Ausdruck von Meßpunktnummer (r59),  $\Delta T$  (r24),  $T_M$  (r23), und  $C_p(T_M)$  (r25). Die Werte für  $T_M$  werden durch r23  $\rightarrow$  r(60 + r59) in die Register r60, r62, r64 etc., die Werte für  $C_p$  durch r25  $\rightarrow$  r(60 + r59 + 1) in die Register r61, r63, r65 etc. gespeichert. Der Zähler für die Meßpunktnummer (r59) wird um zwei heraufgesetzt. Die Angabe der Meßpunktnummern erfolgt deshalb in der Reihenfolge 0, 2, 4, etc.

Wenn die in "Enter" eingegebene Endtemperatur (r32) erreicht ist, hält das Programm mit dem Ausdruck "Endtemp. erreicht" an.

Falls in "Tem1" während der letzten Drift ein Wechsel der Koeffizienten des Temperaturpolynoms gefordert wurde ( $Y \neq r21$ ), kann diese Driftgerade nicht für den nächsten Meßpunkt verwen-

det werden. Nach dem Ausdruck "Koeff. gewechselt" wird daher zum Hauptprogrammteil "B" verzweigt, und die Temperaturdrift nochmals unter Verwendung des neuen Koeffizientensatzes gemessen.

In Zeile 16 werden die Koeffizienten der letzten Driftgeraden umgespeichert. Es folgt die Return-Anweisung.

"Clock"

```
19: "Clock":  
20: wrt 9,"U1V");red 9,p6  
21: ret 1p6  
22:
```

Die Funktion " Clock" liest die Uhr aus und speichert die ausgelesene Zeit in p6. Mit diesem Wert kehrt sie in den rufenden Programmteil zurück.

"Clock1"

```
22:
23: "Clock1":
24: wrt 9,"U1=I2"
25: wrt 9,"U1H","U1C","U1G"
26: wrt 9,"R";red 9,A#;prt A#
27: ret
--
```

Dieses Unterprogramm definiert zunächst die Uhr Nummer 1 als Zähler und startet sie von Neuem. Danach wird die Realzeituhr ausgelesen und aktuelle Uhrzeit ausgedruckt.

"Const"

```
28:
29: "Const":
30: -4.1832064767e-7)r52;2283.5127)r41;260)r43;1000)r51
31: 4.18320727316e-11)r40;4)r46;6)r47;22)r48;.05)r53
32: ret
```

Dieses Unterprogramm weist bestimmten Speichern Konstante zu, die zu einem Teil im Eingabedialog verändert werden können.

r40 Steigung der Heizleistungsgeraden in  $A^2/msec$

r41 Probenheizwiderstand in Ohm

r43 Zuleitungswiderstand der Probenheizung in Ohm

r46 }

r47 } Schalttemperaturen für den Thermometerstrom in K

r48 }

r51 Meßwiderstand für den Heizstrom in Ohm

r52  $I^2$ -Achsenabschnitt für Heizleistungsgerade in  $A^2$

r53 Standardabweichung für die Schildtemperatur bei der Schildregelung in K

"D/A1"      "D/A"2

```
34: "D/A1":
35: if p1<0;dsp "Negative Spannung an D/A 1";stp
36: if p1>9.99;dsp "Zu hohe Spannung fuer D/A 1";stp
37: if p1<=.999;1000+int(p1/.001+.5))p2;gto +2
38: 2000+int(p1/.01+.5))p2
39: fmt 1,f4.0,z;wrt 707.1,p2
40: ret
41:
42: "D/A2":
43: if p1<0;dsp "Negative Spannung fuer D/A 2";stp
44: if p1>9.99;dsp "Zu hohe Spannung fuer Artronix";stp
45: if p1<=.999;1000+int(p1/.001+.5))p2;gto +2
46: 2000+int(p1/.01+.5))p2
47: fmt 1,f4.0,z;wrt 706.1,p2
48: ret
```

Diese Unterprogramme werden mit einem Eingangsparameter aufgerufen und setzen den betroffenen D/A-Wandler. Der Parameterwert wird in der Einheit Volt angegeben. Mit `call'D/A1'(5)` z.B. gibt der D/A-Wandler Nr. 1 eine Spannung von 5 Volt ab.

Die verwendeten D/A-Wandler von Hewlett Packard können in zwei Bereichen arbeiten (Bereich 1: 0 - 0.999 V, Schrittweite 1mV; Bereich 2: 0 - 9.99 V, Schrittweite 10 mV). Die Bereichswahl erfolgt über das Programm. Zuerst wird geprüft, ob eine negative Spannung gefordert wird ( $p < 0$ ). Ist das der Fall, so erscheint in der Anzeige "negative Spannung an D/A" und das Programm wird angehalten. Es liegt dann ein Fehler in der Probenverdrahtung oder ein Meßfehler vor, bzw. ein Berechnungsfehler in "TemR". Ist  $p1 > 9.99$  V (= maximale Ausgangsspannung des D/A-Wandlers), hält das Programm mit "zu hohe Spannung für D/A1" bzw. "zu hohe Spannung für Artronix" in der Anzeige an.

In den folgenden zwei Programmzeilen wird p1 auf den einzustellenden Spannungsbereich des D/A-Wandlers geprüft, und je nach Bereich die Steuerzahl für den D/A-Wandler berechnet, die Spannungsbereiche und einzustellende Spannung beinhaltet. Die nächste Zeile setzt dann den betroffenen D/A-Wandler mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5$  mV bzw.  $\pm 5$  mV.

"Del"

```
50: "Del":  
51: dsp "Del"  
52: if X=0 and p1=4;dsp "Ith?contB";stp  
53: 0)r2)r3)r4  
54: for I=1 to N  
55: r2+(X[I]-X)^2)r2  
56: next I  
57: if r2=0;gto +11  
58: !(r2/(N-1))r2  
59: flt 3  
60: if p1=5 and r2>1e-6;prt "Uth:noise!",r2;gto +3  
61: if p1=5;gto +2  
62: if r2/X>.001;prt "Ith:noise",r2  
63: for I=1 to N  
64: if abs(X[I]-X)>3r2;gto +2  
  
65: r3+X[I])r3;r4+1)r4  
66: next I  
67: r3/r4)X  
68: ret
```

Im Unterprogramm "Del" (für Delete = Löschen) werden die Meßstatistik der in einer Schleife ausgewiesenen Spannungen jeweils untersucht und Ausreißer, die etwa durch eingestreute Störspannungen verursacht werden, eliminiert.

Zunächst wird in "Del" untersucht, ob  $X = 0$  ist und gerade der Thermometerstrom ( $p1 = 4$ ) gemessen wird. Ist dies der Fall, so wurde entweder vergessen, den Thermometerstrom einzuschalten, oder es liegt ein Fehler in der Meßanordnung (Hardware) vor. Im Display erscheint: "Ith? contB" und der Programmablauf wird angehalten. Nach Beseitigung der Fehlerbedingung startet man das Programm wieder mit  $f_3$  ("contB"). Bei regulärem Ablauf wird nun der Zähler des Radikanden der Standardabweichung  $\sigma = \sqrt{\sum (x_i - x)^2 / (N - 1)}$

gebildet und in r2 gespeichert. Für  $r2 = 0$  und damit  $\sigma = 0$  erfolgt der Rücksprung nach "Volt 1". Für  $r2 \neq 0$  wird  $\sigma$  berechnet und in r2 gespeichert.

Bei Analyse einer Thermospannung ( $p1 = 5$ ) wird für  $\sigma > 10^{-6}$  Volt "UTh<sub>0</sub> noise" und die errechnete Standardabweichung ausgedruckt. Bei Messung eines Thermometerstromes ( $p1 = 4$ ) wird für relative Standardabweichung  $\sigma / ITh > 0.001$  "ITh noise" und der errechnete Wert von  $\sigma$  ausgedruckt.

Im folgenden werden alle gemessenen Punkte danach untersucht, ob der Absolutwert ihrer Abweichung vom arithmetischen Mittelwert  $\leq 3\sigma$  ist. Meßwerte, die diese Bedingung erfüllen, werden zur Berechnung eines "geglätteten" arithmetischen Mittels herangezogen, und dieser neue Mittelwert X in den jeweils rufenden Programmteil übergeben.

"Delay"

```
69:  
70: "Delay":  
71: fxd 0;dsp "Delay",r12/1000,"sec"  
72: for I=1 to 7  
73: wait r12/7  
74: next I  
75: ret  
76:
```

In "Delay" wird der Temperatúrausgleich der Probe und das Abklingen von Thermospannungen abgewartet. Die im Eingabedialog festgelegte und in r12 in msec gespeicherte Delay-Zeit wird im Display im sec angezeigt. Die Delay-Zeit wird mit Wait-Befehlen gesteuert. Die maximale Wartezeit für einen Wait-Befehl liegt bei 33 sec. Um größere Wartezeiten zu ermöglichen, steht der Wait-Befehl mit einem Siebtel der in r12 gespeicherten Zeit in einer siebenmal durchlaufenen Schleife (daraus folgt eine maximale Wartezeit von ca. 229 sec ).

"Drift"

```
77: "Drift";
78: 0)A)B)C)D)E
79: 'Clock')r5
80: if 'Clock'-r5>=3(r12+r18/2);gto +11
81: 'Clock')r7;0)r8
82: for J=1 to 10
83: 'Volt'+r8)r8
84: next J
85: 1+A)A
86: ('Clock'-r7)/2+r7)Y[A];Y[A]+C)C;Y[A]^2+D)D
87: 'Teml'((r8/10-r10)/r11)Z[A];Z[A]+B)B;Z[A]Y[A]+E)E
88: 1)V
89: fxd 5;dsp "Drift Probertemp.=",Z[A],"K"
90: gto -10
91: (AE-BC)/(AD-CC)r15;(B-r15C)/A)r14
92: 0)r1
93: for I=1 to A
94: (Z[I]-r14-Y[I]r15)^2+r1)r1
95: next I
96: 1/(r1/(A-1))r1
97: for I=1 to A
98: if abs(Z[I]-r14-Y[I]r15)>=3r1;gto +3
99: next I
100: (AE-BC)/(AD-CC)r15;(B-r15C)/A)r14;ret
101: if I=A;gto +4
102: for J=I to A-1
103: Y[J+1]Y[J];Z[J+1]Z[J]
104: next J
105: A-1)A;B-Z[I])B;C-Y[I])C;D-Y[I]^2)D;E-Y[I]Z[I])E
106: gto -9
107:
```

Im Unterprogramm "Drift" wird der Temperaturverlauf der Probe zwischen den Heizstufen gemessen und mit der Methode kleinster Fehlerquadrate einer Driftgeraden angepaßt.

Die Startzeit der Driftmessung wird durch den Aufruf 'Clock' → r5 ausgelesen. Dann wird verglichen, ob die Dauer der laufenden Driftmessung ('Clock' - r5) größer als das durch  $3(r_{12} + r_{18}/2)$  vorgegebene Driftintervall ist. ( $r_{12}$  = thermische Relaxationszeit der Probe (Delay),  $r_{18}$  = Heizzeit). Wenn dies zutrifft, wird zum Statistikteil des Unterprogramms verzweigt.

Nun wird die Proben-temperatur  $T_i$  gemessen und der Zeitpunkt  $t_i$  der Messung registriert. Zunächst wird die Zeit ('Clock') in r7 gespeichert. Die am DVM anliegende Spannung des Proben-thermometers wird zehnmal hintereinander durch Aufruf von 'Volt' ausgelesen und in r8 aufsummiert. Die weitere Auswertung erfolgt mit dem arithmetischen Mittelwert  $r8/10$ . Die laufende Nummer des Meßpunktes wird in A gespeichert. Der Mittelpunkt der Meßdauer  $((\text{'clock'}-r7)/2 + r7)$  wird als Zeitpunkt der Messung nach  $Y[A]$  gespeichert. Für den Statistikteil wird der Zeitpunkt in C  $(= \sum t_i)$  und sein Quadrat in D  $(= \sum t_i^2)$  aufsummiert. Die Funktion 'Tem1' wird mit dem Thermometerwiderstand  $((r8/10 - r10)/r11)$  als Parameter aufgerufen. Die in "Tem1" berechnete Proben-temperatur  $T_i$  wird nach  $Z[A]$  gespeichert. Für den Statistikteil wird  $T_i$  in B  $(= \sum T_i)$  und  $\sum(t_i \cdot T_i)$  in E aufsummiert. Die Variable V wird mit 1 markiert, um einen möglichen Wechsel der Koeffizienten des Temperaturpolynoms in "Tem1" während der Driftmessung zu verhindern.

Nun erfolgt die Anweisung für den Display, die ermittelte Proben-temperatur in Grad Kelvin anzuzeigen. Das Programm springt nun zurück zum Zeitvergleich in Zeile 80. Es folgen weitere Messungen, bis die vorgegebene Driftzeit überschritten ist. Dann wird zum Statistikteil des Unterprogramms verzweigt.

Im Statistikteil (ab Zeile 91) wird eine Gerade  $T = a + bt$  durch die Wertepaare  $(t_i, T_i)$  nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate gelegt. Die Steigung b dieser Gerade berechnet man nach der Gleichung

$$b = (N\sum t_i \cdot T_i - \sum t_i T_i) / (N\sum t_i^2 - (\sum t_i)^2)$$

Sie wird in r15 gespeichert. Der T-Achsenabschnitt a wird nach der Gleichung  $a = (\sum T_i - b\sum t_i) / N$  berechnet und in r14 gespeichert.

Nun wird die Standardabweichung

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_i - (a + bt_i))^2}{N-1}}$$

berechnet und in r1 gespeichert. Temperaturwerte  $T_i$ , die mehr als  $3\sigma$  von der berechneten Driftgeraden abweichen ( $|T_i - (a + bt_i)| > 3\sigma$ ) werden eliminiert, indem in der Schleife for G = I to A-1 jeweils die folgenden Register von Z[\*] und Y[\*] einen Speicherplatz aufgerückt werden. Entsprechend werden die Längen der Vektoren um 1 verringert (A-1 → A). Die dem wegfallenden Wertepaar zugehörigen Summanden  $t_i$ ,  $t_i^2$ ,  $T_i$  und  $(t_i \cdot T_i)$  werden von den in C, D, B bzw. E gespeicherten Summen subtrahiert. Ist das letzte Wertepaar zu eliminieren, so wird lediglich A um 1 vermindert und anschließend werden die Summen korrigiert. Diese ganze Prozedur wird so oft durchlaufen, bis alle Wertepaare  $(t_i, T_i)$  innerhalb von  $\pm 3\sigma$  liegen. Im Programmverlauf wird das dadurch festgestellt, daß die Schleife "for I = 1 to A" ungestört durchlaufen wird, und nach "next I" das Programm weiterläuft.

Mit den den übrigbleibenden Datenpaaren entsprechenden Summen  $(\sum t_i, \sum t_i^2, \sum T_i, \sum t_i \cdot T_i)$  wird nun die endgültige Driftgerade  $T = a + bt$  nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate berechnet. Die erhaltene Steigung b wird in r15, der Temperaturachsenabschnitt a in r14 gespeichert. (t = 0 ist durch den Aufruf 'clock1' im Hauptprogramm festgelegt).

"DTem1"      "DTem2"      "DTemR"

```
108: "DTem1":
109: ent "Daten f. Probentherm. aus fileno.",F;fxd 0;prt "Fileno",F
110: ldf F,Z[*]
111: Z[1]Q;Z[2]L
112: dim S[L+1],C[(Q+1)L]
113: ldf F,Q,L,S[*],C[*]
114: ret

116: "DTem2":
117: ent "Daten f. Schildtherm. aus fileno.",F;fxd 0;prt "Fileno",F
118: ldf F,Z[*]
119: Z[1]R;Z[2]P
120: dim G[P+1],H[(R+1)P]
121: ldf F,R,P,G[*],H[*]
122: ret
123:
124: "DTemR":
125: ldf F+1,Z[*]
126: Z[1]H;Z[2]G
127: dim I[G+1],J[(H+1)G]
128: ldf F+1,H,G,I[*],J[*]
129: ret
130:
```

In diesen Unterprogrammen werden die Koeffizienten der Thermometerpolynome eingelesen und bestimmten Programmspeichern zugewiesen. In "DTem1" werden die Daten für das Probenthermometer, in "DTem2" die Daten für das Schildthermometer und in "DTemR" die Daten für das Umkehrpolynom  $R(T)$  des Schildthermometers eingelesen.

Zunächst erfolgen in "DTem1" und "DTem2" Eingabe und Ausdruck der Nummer des Magnetbandfiles, in dem die Koeffizienten gespeichert sind. In "DTemR" wird ohne Abfrage das auf das im "DTem2" eingelesene File folgende File eingelesen (dies ist beim Anlegen der Files zu berücksichtigen). Von hieran sind die drei Unterprogramme gleich aufgebaut. Sie unterscheiden sich nur in den angesprochenen Speichern.

Der einzuladende File wird zunächst in den Vektor Z eingelesen, in dem bis zu 500 Daten gespeichert werden können. Die Daten in den Thermometerfiles sind derart angeordnet, daß nun in  $Z[1]$  der Grad des Temperaturpolynoms steht. Ist der ganze Definitionsbereich der Eichfunktion in mehrere Teilpolynome unterteilt, so steht an dieser Stelle der höchste auftretende Grad aller Teilpolynome. In  $Z[2]$  steht die Intervallzahl des Polynoms. Sie gibt die Anzahl der Teilpolynome bzw. Koeffizientensätze an. Danach werden die Vektoren für die Intervallgrenzen und für die Koeffizienten dimensioniert. Ihre Länge wird bestimmt durch den maximal auftretenden Grad eines Teilpolynoms und die Anzahl der Intervalle. Zuerst wird der Vektor für die Intervallgrenzen definiert. Seine Länge ist gegeben durch: Anzahl der Intervalle + 1. Danach wird der Vektor für die Koeffizienten aller Teilpolynome definiert. Er ist so angelegt, daß auf den ersten n Stellen die Koeffizienten des zum ersten Intervall gehörenden Teilpolynoms stehen. Die Zahl n richtet sich nach dem maximalen Grad aller Teilpolynome. An (n + 1)-ter Stelle beginnt dann der Koeffizientensatz für das Teilpolynom des zweiten Intervalls etc. Die Koeffizienten sind in der Reihenfolge  $a_0, a_1, a_2, \dots$  gespeichert. Die Länge l des Koeffizientenvektors ergibt sich also zu  $l = (p + 1)n$  (p: maximaler Grad der auftretenden Teilpolynome, n: Intervallzahl). Gibt es ein Teilpolynom vom Grad  $q < p$ , so steht im entsprechenden Koeffizientensatz ab einschließlich der Stelle  $q + 2$  nur noch die Null. Nach der Definition der Vektoren wird der ganze Datenfile nochmals, und zwar direkt in die eben dimensionierten Vektoren, eingelesen.

"Enter"

```
131: "Enter":
132: dsp "Eingabeprogramm";wait 3000
133: ent "Delaytime[sec]",r12;if flg13 or r12>229;gto -0
134: fxd 1;prt "Delaytime[s]",r12;1000r12)r12
135: ent "Nom.Pr.Temp.[K]",0;if flg13;gto -0;if 0<10;cfg 2,3,4
136: if 0>=r46 and 0<r47;cfg 3,4;sfg 2
137: if 0>=r47 and 0<r48;cfg 2,4;sfg 3
138: if 0>=r48;cfg 2,3;sfg 4
139: prt "Nom.Pr.Temp.[K]",0
140: cll 'Scan'(3)
141: ent "Endtemperatur[K]",r32;if flg13;gto -0
142: prt "Endtemperatur",r32
143: ent "Ih[A]",r22
144: r22(r41+r43+r51)/r22;if r22<.001 or r22>9.99 or flg13;gto -1
145: fxd 5;prt "Ih[A]",r22/(r41+r51+r43)
146: fxd 3;prt "Uh[V]",r22
147: ent "th[sec]",r18;1000r18)r18
148: if r18<10000 or r18>200000 or flg13;gto -1
149: fxd 0;prt "th[sec]",r18/1000
150: ent "Delta T[%Tm]",r50;if r50<=0 or r50>50 or flg13;gto -0
151: fxd 2;prt "Delta T[%Tm]",r50
152: ent "max Driftsteigung[K/min]",r45;if flg13;gto -0
153: flt 7;prt "m Drift[K/min]",r45;r45/6e4)r45
154: ent "Prob.Th.Art 1=Ge;2=Pt",T;if T=1 and T=2 or flg13;gto -0
155: if T=1;prt "Ge Probench."
156: if T=2;prt "Pt Probench."
157: cll 'DTem1'
158: ent "Shld.Th.Art 1=Ko;2=Pt",U;if U=1 and U=2 or flg13;gto -0
159: if U=1;prt "Ko Shld.Therm."
160: if U=2;prt "Pt Shld.Therm."
161: cll 'DTem2';cll 'DTemR'
162: flt 7
163: ent "Weitere Eingabe?ja=1;nein=0",V;if V=1 and V=0 or flg13;gto -0
164: if V=0;prt "Eingabe beendet","*****";spc ;ret
165: ent "ITH manuell?0=nein,1=ja",V;if V=1
166: if V=0;gto +3
167: if V=1;sfg 5;ent "Thermospannung[V]",r10;flt 2
168: prt "ITH manuell","UTho [V]=",r10
169: ent "Stand.abw.i.Shld",r53;flt 3;prt "Stand.abw.in Shld",r53
170: ent "Geradenst.[A^2/msec]",r40
171: flt 4;prt "Ger.St[A^2/msec]",r40
172: ent "TITH1[K]",r46
173: fxd 1;prt "Schalttemp.fuer","Pr.ITh",r46
174: ent "TITH2[K]",r47
175: prt r47
176: ent "TITH3[K]",r48
177: prt r48
178: dsp "Start der Messung?;continue";stp
179: flt 7;prt "Eingabe beendet","*****";spc ;ret
180:
```

Das Unterprogramm "Enter" enthält den Eingabedialog. Er besteht aus zwei Teilen. Im ersten werden die Startparameter für die Messung festgelegt, im zweiten können im allgemeinen gleichbleibenden Standardwerte verändert werden. Die eingegebenen Werte werden daraufhin untersucht, ob sie in vernünftigen Grenzen liegen, und gegebenenfalls zurückgewiesen. Bei Eingabewerten, die für den Ablauf der Messung unbedingt erforderlich sind, fährt das Programm erst fort, wenn tatsächlich ein Wert eingegeben wurde. Durch diese Maßnahmen ist der Eingabedialog gegen grobe Fehlbedienungen abgesichert. Alle korrekt eingegebenen Werte werden durch den Drucker protokolliert.

Folgende Eingaben werden im ersten Teil des Eingabedialogs mit entsprechenden Anzeigen im Display vom Programm angefordert:

Relaxationszeit (Delay) (in sec): Wird kein Wert eingegeben, oder ist der eingegebene Wert größer als 229 sec, so wird die Abfrage wiederholt. Der Eingabewert wird in Millisekunden umgerechnet.

Momentane Proben-temperatur (K): es wird geprüft, in welchem Temperaturintervall der Eingabewert liegt (Zeile 136 - 138). Und die entsprechende flag gesetzt. Die eingegebene Proben-temperatur wird ausgedruckt und durch den Scanner der dem Temperatur-intervall entsprechende Thermometerstrom eingeschaltet. Die Thermometerspannung wird am DVM angezeigt.

Endtemperatur in (K): erreicht die mittlere Proben-temperatur

$T_M$  diesen Wert, so wird die Messung in ("Ausw") beendet.

Heizstrom für den ersten Meßpunkt (in A): der eingeebene Wert wird in die entsprechende Spannung des D/A-Wandlers umgerechnet und in r22 gespeichert. Liegt diese Spannung außerhalb des Bereichs des D/A-Wandlers (0.01 - 9.99 Volt), oder wurde nichts eingegeben, wird der Heizstrom nochmals erfragt. Heizstrom (in A) und errechnete Spannung des D/A-Wandlers (in Volt) werden ausgedruckt.

Heizzeit des ersten Meßpunktes (in sec): sie wird in Millisekunden umgerechnet und in r18 gespeichert. Ist der eingeebene Wert kleiner als 10 sec oder größer als 200 sec oder wurde nichts eingegeben, wird die Heizzeit nochmals abgefragt.

Temperaturzunahme der Probe pro Heizschritt: sie wird in Prozenten der mittleren Temperatur  $T_M$  angegeben und in r50 gespeichert. Falls der angegebene Wert nicht zwischen 0.1 und 5 liegt oder keine Eingabe erfolgt ist, wird nochmals ein Wert verlangt.

Maximale Driftsteigung (in K/min): sie wird in K/msec umgerechnet und in r45 gespeichert.

Art des Probenthermometers: wird "1" eingegeben, erfolgt der Ausdruck "Ge Probenthermometer" (Ge = Germanium), bei "2" der Ausdruck "Pt Probenthermometer" (Pt = Platin). Andere Eingabewerte sind nicht zulässig. Der eingeebene Wert wird in T gespeichert; er legt die Art der Eichfunktion fest. Zum Laden der Koeffizienten des Thermometerpolynomes wird das Unterprogramm "DTem1" aufgerufen.

Art des Schild-Thermometers: wird "1" eingegeben, erfolgt der Ausdruck "Ko Schild-Thermometer" (Ko = Kohle), bei "2" der Ausdruck "Pt Schild-Thermometer". Andere Eingabewerte sind nicht zulässig. Der eingegebene Wert wird in U gespeichert; er legt die Eichfunktion fest. Anschließend werden zum Laden der Koeffizienten der Schild-Thermometer-Polynome die Unterprogramme "DTem2" und "DTemR" aufgerufen.

Nun ist der Haupteingabedialog beendet und es folgt die Frage, ob weitere Eingaben erwünscht sind. Dabei steht "1" für Ja und "0" für Nein. Wird "0" eingegeben so ist die Eingabe beendet. Es folgt der Ausdruck "Eingabe beendet" und die return-Anweisung. Bei "1" beginnt der zweite Teil des Eingabedialogs, in dem zunächst gefragt wird, ob der Thermometerstrom manuell, also von Hand mit der Konstantstromquelle (Eingabe = 1) oder durch das Programm (Eingabe = 0) eingestellt wird. Im letzteren Fall wird um drei Zeilen vorwärts verzweigt. Bei Eingabe "1" folgt die Abfrage der Thermospannung über dem Proben-thermometer (bei Einstellung des Thermometerstroms von Hand kann der Thermometerstromkreis nicht über das Programm geöffnet werden). Durch Setzen von flag5 wird später die Messung der Thermospannung unterdrückt.

Nun wird die zulässige Standardabweichung der Schildtemperatur für die Schild-Regelroutine erfragt. Wird nichts eingegeben (Taste "Continue", so wird der in "Const" vorgegebene Wert übernommen. Das gleiche gilt für alle folgenden Eingabewerte des Dialogs. Danach wird die Geradensteigung b für die Heizleistungsgerade  $I^2 = a + bt$  in Einheiten von  $A^2/msec$  erfragt. Schließlich werden die Umschalttemperaturen für die Thermometerströme abgefragt. Mit

dem Ausdruck "Eingabe beendet" erfolgt der Start der Messung im Programmteil "B".

"Heiz"

```
181: "Heiz":  
182: 0)r7)r8  
183: cll 'D/A1'(r22)  
184: 'Clock')r9  
185: cll 'Scan'(1)  
186: dsp "Uh,Ih Mess."  
187: for I=1 to 10  
188: 'Volt'+r7)r7  
189: next I  
190: cll 'Scan'(2)  
191: for I=1 to 10  
192: 'Volt'+r8)r8  
193: next I  
194: cll 'Scan'(6)  
195: fxd 5;dsp "Heizung Probentemp", 'Tem1'((('Volt'-r10)/r11), "K"  
196: if 'Clock'-r9>=r18;gto +2  
  
197: gto -2  
198: 'Clock')r6  
199: cll 'Scan'(3)  
200: r7r8/100/r51)r20  
201: r6-r9)r28;r28/2+r9)r19  
202: -( 'Clock'-r19)r13  
203: 0)V;ret  
204:
```

Dieses Unterprogramm hat die Aufgabe, die Probenheizung einzuschalten, die Heizzeit und die Heizleistung zu messen und dann die Probenheizung wieder auszuschalten.

Der die Heizspannung liefernde D/A-Wandler No. 1 wird mit der in "Enter" (für die erste Heizstufe) bzw. im Unterprogramm "Heiz1" berechneten Heizspannung (r22) über "D/A1" gesetzt. Die Uhr wird nach r9 (= Beginn der Heizung) ausgelesen. Danach wird der Heizstrom mit dem Scanner durch cll'Scan'(1) eingeschaltet. Am DVM liegt die Probenheizspannung an, die in einer Schleife zehnmal durch "Volt" ausgelesen und in r7 aufsummiert wird, während im Display "Uh,Ih Messung" erscheint. Anschließend wird durch den Be-

fehl cll'Scan'(2) ohne Unterbrechung des Heizstromes der Spannungsabfall des Heizstroms am Meßwiderstand (r51) an das DVM gelegt, in einer Schleife zehnmal gemessen und in r8 aufsummiert. Durch den Befehl cll'Scan'(6) wird hierauf die Proben thermometerspannung ans DVM gelegt, die durch "Volt" ausgelesen, mit der Funktion "Tem1" in Kelvin umgerechnet und dann im Display angezeigt wird.

In der nächsten Zeile wird festgestellt, ob in "Enter" die für den ersten Heizschritt vorgegebene bzw. in "Heiz1" berechnete Heizzeit (r18) überschritten ist. Wenn nicht, wird zwei Zeilen zurückverzweigt und die Proben temperatur neuerlich gemessen, berechnet und angezeigt.

Wenn die geforderte Heizzeit (r18) erreicht oder bereits überschritten ist, wird zwei Zeilen vorwärts verzweigt, wo die Uhr nach r6 ausgelesen und durch cll'Scan'(3) der Heizstrom abgeschaltet wird. Die geforderte Heizzeit kann durch das Berechnen und Anzeigen der Proben temperatur um höchstens ca. 30 msec überschritten werden. Durch die gleichbleibende Reihenfolge des Uhr- und Scanneraufrufs wird die Schalt- und Wartezeit des Scanners und die Verzweigungszeit des Rechners zu diesen Unterprogrammen gerade kompensiert.

Im folgenden wird die Heizleistung  $P_H = U_H \cdot I_H$  aus r7, r8 und r51 berechnet und in r20 gespeichert, dann die tatsächliche Heizzeit  $t_H = r6 - r9$  berechnet und in r28 gespeichert. Die Mitte der Heizzeit (alle Zeiten bezogen auf den mit "Clock1" erfolgten Start der Uhr)  $r28/2 + r9$  wird in r19 gespeichert. Die Variable V, die in Drift mit 1 markiert wurde, um den Koeffizienten-

wechsel in "Tem1" zu verhindern.

Für die Extrapolation der nächsten Driftgeraden zurück zur Mitte der Heizzeit wird diese in bezug auf den folgenden Neustart der Uhr mit  $t = 0$  negative Zeit durch  $-(\text{'Clock'} - r19)$  berechnet und in r13 gespeichert. Das Zurücksetzen auf 0 und Starten der Uhr erfolgt ca. 2 msec später durch 'Clock1' im Hauptprogramm.

"Heizl"

```
205: "Heizl":  
206: (-r52+!(r52^2+4r40r25r23r50/100/r41))/2/r40)r18  
207: if r18<10000;10000)r18;!(r18r40+r52)(r41+r43+r51)r22;gto +2  
208: !(r18r40+r52)(r41+r43+r51)r22  
209: if r18>200000;dsp "Heizleistung nicht ausreichend";stp  
210: ret  
211:
```

Dieses Unterprogramm berechnet die Heizleistung und Heizzeit, die erforderlich ist, um die Probe beim nächsten Aufheizen um einen vorgegebenen Prozentsatz der Proben temperatur zu erwärmen. Dabei wird der letzte Meßwert der Wärmekapazität der Probe (r25) der Berechnung zugrunde gelegt. Es gilt:

$$Q = U_H \cdot I_H \cdot t_H = I_H^2 \cdot R_H \cdot t_H = C_p \cdot \Delta T$$

( $U_H$ : Heizspannung;  $I_H$ : Heizstrom;  $t_H$ : Heizzeit;  $R_H$ : Widerstand der Probenheizung;  $C_p$ : zuletzt gemessene Wärmekapazität(r25);  $\Delta T$ : vorgegebene Temperaturzunahme).

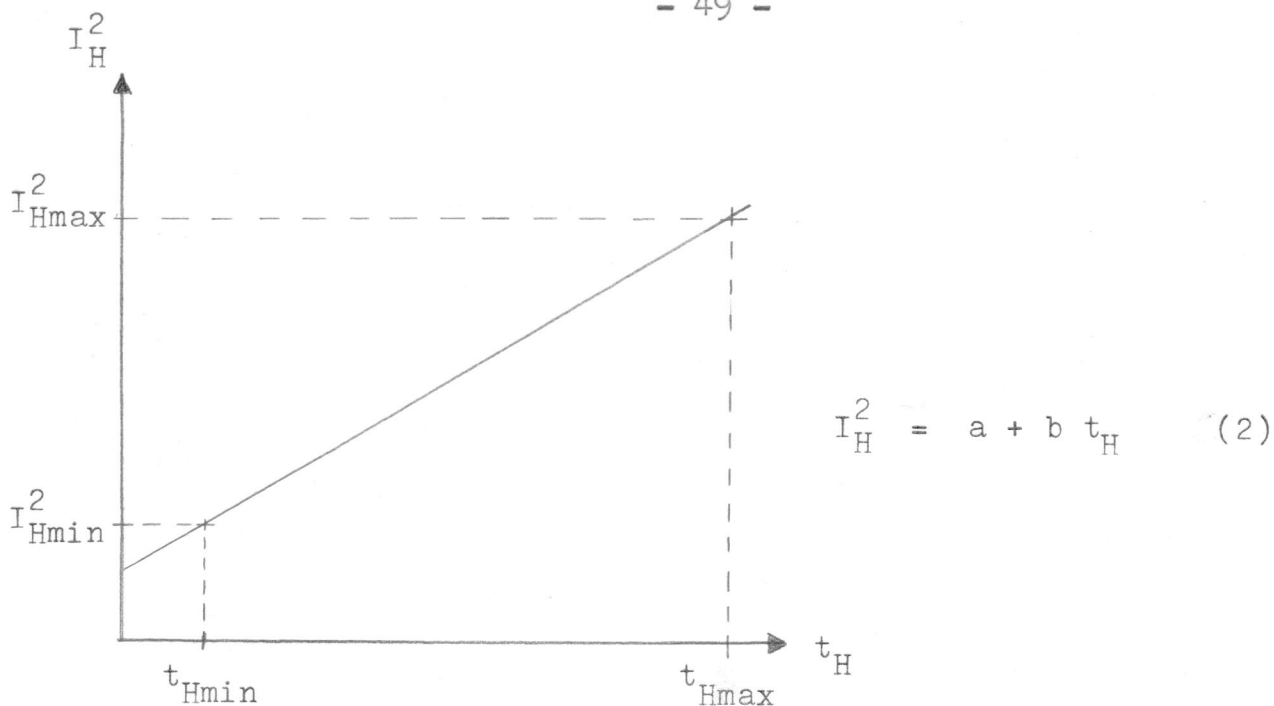
Die Temperaturzunahme  $\Delta T$  soll einen im Eingabedialog "Enter" festgelegten Prozentsatz X(r50) der Temperatur des letzten Meßpunktes  $T_M$ (r23) betragen:

$$\Delta T = X \cdot T_M / 100$$

Durch Einsetzen und Umordnen erhält man

$$I_H^2 \cdot t_H = C_p \cdot X \cdot T_M / (100 \cdot R_H) \quad (1)$$

Um daraus sinnvolle Kombinationen von  $I_H$  und  $t_H$  zu bestimmen, wird ein linearer Zusammenhang zwischen  $I_H^2$  und  $t_H$  gemäß folgender Skizze festgelegt.



Durch Auflösen von Gl.(1) und (2) erhält man

$$t_H = \left( -a + \sqrt{a^2 + 4bCX_p T_M / 100R_H} \right) / 2b \quad (3)$$

Da bei diesem Experiment eine Konstant-Spannungsquelle (D/A-Wandler) die Heizung speist, wird die dem so ermittelten Heizstrom  $I_H$  entsprechende Spannung  $U_H$  nach dem Ohm'schen Gesetz berechnet.

$$U_H = (R_H + R_M + R_Z) \sqrt{a + b t_H} \quad (4)$$

( $R_H$ : Probenheizwiderstand (r41);  $R_M$ : Meßwiderstand für die Heizstrommessung (r51);  $R_Z$ : Widerstand der Zuleitungen zur Heizung (r43)).

Bei der Bestimmung der Koeffizienten  $a$  und  $b$  für die Geradengleichung

$I_H^2 = a + bt$  geht man von zwei Wertepaaren ( $t_H, I_H^2$ ) aus: ( $t_{Hmin}, I_{Hmin}^2$ ) und ( $t_{Hmax}, I_{Hmax}^2$ ). Minimale bzw. maximale Heizzeit sind

mit 10 sec bzw. 200 sec festgelegt, die entsprechenden Ströme ergeben sich aus kleinster und größter Spannung des D/A-Wandlers:

$$I_{Hmin} = 0.001 \text{ V} / (R_H + R_M + R_Z)$$

$$I_{Hmax} = 9.99 \text{ V} / (R_H + R_M + R_Z)$$

Die daraus bestimmten Koeffizienten  $a = -4.183 \cdot 10^{-7}$  und  $b = 4.183 \cdot 10^{-11}$  sind r40 bzw. r52 gespeichert. Wird die Steigung  $b$  verdoppelt, so wird schon bei  $t = 100$  sec der maximale Heiz-

strom gesetzt.

Das Unterprogramm "Heiz1" rechnet zunächst nach Gl.3 die erforderliche Heizzeit  $t_H$  und speichert sie in r18 ab. Ist das Ergebnis  $t_H < t_{Hmin}$  (= 10 sec ), so wird  $t_{Hmin}$  in r18 gespeichert. Danach wird mit Gl. 4 die erforderliche Heizspannung berechnet und in r22 gespeichert. Falls die maximale Heizzeit (200 sec) überschritten wird, erscheint im Display "Heizleistung nicht ausreichend" und das Programm hält an. (Ist errechnete Heizspannung  $U_H > 9.99$  V, so erfolgt die Fehlermeldung in "D/A1". ) Es folgt die Returnanweisung.

"ITh"

```
212: "ITh";  
213: dsp "Thermometerstrom-Spannung"  
214: cll 'Volt1'(p1);X/1000)r11  
215: cll 'Scan'(3);ret  
216:
```

```
366: "Volt":  
367: rem 7;wrt 722,"B;F=>";red 722,p4  
368: ret ip4  
369:  
370: "Volt1":  
371: 0)r1)X;cll 'Scan'(p1)  
372: for N=1 to 10  
373: 'Volt')X[N];X[N]+X)X  
374: next N  
375: N-1)N;X/N)X;cll 'Del'(p1);ret  
376:
```

Durch "ITh" wird der Thermometerstrom des Proben-thermometers durch Messung des Spannungsabfalles an einem Eichwiderstand bestimmt. Dazu wird das Unterprogramm "Volt1" mit dem Parameter  $p1 = 4$  aufgerufen. "Volt1" schaltet durch den Befehl `cll 'Scan'(p1)` die entsprechende Meßstelle auf das DVM durchgeschaltet und mittels 'Volt' zehnmal die anliegende Spannung in den Vektor X aufsummiert. Der Mittelwert  $X = X/10$  wird in X gespeichert. Nun wird die Glättungsroutine "Del" aufgerufen und danach nach "ITh" zurück verzweigt.

Hier wird der geglättete Mittelwert X noch durch den Wert des Meßwiderstandes  $R_M = 1000$  Ohm dividiert. Der so erhaltene Thermometerstrom  $ITh = X/R_M$  wird in r11 gespeichert. Über den Scanner wird schließlich die Thermometerspannung auf das DVM durchgeschaltet.

"Recdat"

```
217: "Recdat";  
218: ent "Daten in Fileno",F  
219: (r59+2)/2)r59  
220: rcf F,r59,r(60+2r59-1)  
221: 2r59-2)r59  
222: fxd 0;prt "Daten in Fileno",F,"gespeichert"  
223: prt "*****"  
224: stp  
005.
```

Der Programmteil "Recdat" wird nicht vom Hauptprogramm aufgerufen, sondern nach Ende der Messung mit Funktionstaste f(5). Zuerst erfolgt die Eingabe der Nummer des Datenfiles, in dem die Meßdaten  $(T_M, C_p)_i$  aufgenommen werden sollen. Die Anzahl  $i$  der Meßpunkte ergibt sich aus  $i = (r59 + 2)/2$ . Die Meßpunkte  $T_M$  bzw.  $C_p$  ( $T_M$ ) befinden sich in  $r60, r62, r64 \dots$  bzw.  $r61, r63, r65 \dots$ . Es erfolgt nun die Bandaufzeichnung der Messpunkteanzahl ( $r59$ ) und der Werte  $T_M$  und  $C_p$ , wobei sich der letzte gemessene  $C_p$ -Wert im Speicher  $r(60 + 2 r56 - 1)$  befindet. Anschließend wird in  $r59$  wieder die momentane Punktnummer gespeichert, um bei allfälliger Fortsetzung der Messung über cont "B" (f3) ein einheitliches Datenfeld aller zu einer Messung gehörenden Datenpunkte zu erzeugen.

"Scan"

```
226: "Scan":
227: if p1=1 and flg2;wrt 709,"0,00","2,2124";gto +33
228: if p1=2 and flg2;wrt 709,"0,01","2,2124";gto +32
229: if p1=3 and flg2;wrt 709,"0,02","2,21";gto +31
230: if p1=4 and flg2;wrt 709,"0,03","2,21";gto +30
231: if p1=6 and flg2;wrt 709,"0,02","2,2124";gto +29
232: if p1=7 and flg2;wrt 709,"0,06","2,21";gto +28
233: if p1=8 and flg2 and U=1;wrt 709,"0,04","2,21";gto +27
234: if p1=8 and flg2 and U=2;wrt 709,"0,05","2,21";gto +26
235: if p1=1 and flg3;wrt 709,"0,00","2,2224";gto +25
236: if p1=2 and flg3;wrt 709,"0,01","2,2224";gto +24
237: if p1=3 and flg3;wrt 709,"0,02","2,22";gto +23
238: if p1=4 and flg3;wrt 709,"0,03","2,22";gto +22
239: if p1=6 and flg3;wrt 709,"0,02","2,2224";gto +21
240: if p1=7 and flg3;wrt 709,"0,06","2,22";gto +20
241: if p1=8 and flg3 and U=1;wrt 709,"0,04","2,22";gto +19
242: if p1=8 and flg3 and U=2;wrt 709,"0,05","2,22";gto +18
243: if p1=1 and flg4;wrt 709,"0,00","2,2324";gto +17
244: if p1=2 and flg4;wrt 709,"0,01","2,2324";gto +16
245: if p1=3 and flg4;wrt 709,"0,02","2,23";gto +15
246: if p1=4 and flg4;wrt 709,"0,03","2,23";gto +14
247: if p1=6 and flg4;wrt 709,"0,02","2,2324";gto +13
248: if p1=7 and flg4;wrt 709,"0,06","2,23";gto +12
249: if p1=8 and flg4 and U=1;wrt 709,"0,04","2,23";gto +11
250: if p1=8 and flg4 and U=2;wrt 709,"0,05","2,23";gto +10
251: if p1=1;wrt 709,"0,00","2,2024"
252: if p1=2;wrt 709,"0,01","2,2024"
253: if p1=3;wrt 709,"0,02","2,20"
254: if p1=4;wrt 709,"0,03","2,20"
255: if p1=5;wrt 709,"0,02","2,30"
256: if p1=6;wrt 709,"0,02","2,2024"
257: if p1=7;wrt 709,"0,06","2,20"
258: if p1=8 and U=1;wrt 709,"0,04","2,20"
259: if p1=8 and U=2;wrt 709,"0,05","2,20"
260: wait 250
261: ret
262:
```

Das Unterprogramm "Scan" hat die Aufgabe, bestimmte Meßstellen auf das DVM durchzuschalten, und Ströme ein- und auszuschalten. Der Scanner besitzt zwei Dekaden, "0" und "2". Die Dekade "0" dient als Meßstellenumschalter. Es können maximal 20 Meßstellen angewählt werden. Der Aufruf für die Dekade "0" lautet:

wrt 709, "0.XY"    XY = {00,01,..., 19}

wobei XY der gewünschte Scannerkanal ist. Mit der Dekade "2" werden Ströme ein- und ausgeschaltet. Es können höchstens 10 verschiedene Ströme geschaltet werden. Der Aufruf für die Dekade

"2" lautet:

wrt 709,"2,WZ"      WZ = {20, 21, ..., 29}

wobei WZ der gewünschte Scannerkanal ist. Die beiden Dekaden können auch in einem Befehl geschaltet werden durch

wrt 709,"0,XY","2,WZ"

Soll lediglich ein Kanal dazu benutzt oder umgeschaltet werden, so werden die gleichbleibenden Kanäle wiederholt, um ein kurzzeitiges Öffnen dieser Relais zu verhindern. Um die Dekade "2" ganz zu löschen, wird der Löschbefehl wrt 709 , "2,30" gegeben.

Das Unterprogramm "Scan" wird mit einem Parameter (p1) aufgerufen. Die jeweilige Kombination von Schalterstellungen in den Dekaden "0" und "2" des Scanners wird im allgemeinsten Fall durch p1, durch flags (2,3,4) und den Wert der Variablen U festgelegt. Nach dem Umschalten des Scanners folgt eine Pause (wait) von 250 msec, darauf die Return-Anweisung.

"Shield"

```
263: "Shield":
264: dsp "Shield"
265: if abs(r15)<r45;ret
266: 0)W
267: cll 'Scan'(7);0)r7
268: for I=1 to 10
269: 'Volt'+r7)r7
270: next I
271: r7/10/1000)r29
272: cll 'D/A2'(1000r29'TemR'(r14+'Clock'r15))
273: if Z[I]<r46;cfg 2,3,4
274: if Z[I]>=r46 and Z[I]<r47;sfg 2;cfg 3,4
275: if Z[I]>=r47 and Z[I]<r48;sfg 3;cfg 2,4
276: if Z[I]>=r48;sfg 4;cfg 2,3
277: cll 'Scan'(8);wait 30000
278: 0)r1)r2)r3
279: for I=1 to 5
280: 0)r8
281: for J=1 to 10
282: 'Volt'+r8)r8
283: next J
284: wait (r1+15000)/2;wait (r1+15000)/2;r1+4000)r1
285: 'Tem2'(r8/10/r29)Z[I];Z[I]+r2)r2;1)W
286: fxd 5;dsp "Shieldtemp.=",Z[I],"K"
287: next I
288: for I=1 to 5
289: (Z[I]-r2/5)^2+r3)r3
290: next I
291: if 1/(r3/4)<=r53;prt "Shld.gereg";spc ;gto "B"
292: gto -14
293:
```

Dieser Programmteil steuert und überwacht die Regelung des Wärmeschildes und ist verantwortlich für die Umschaltung des Proben-thermometerstromes. Die Nachregelung der Schildtemperatur erfolgt, wenn der Absolutwert der Driftsteigung (r15) einen in "Enter" eingegebenen maximalen Wert (r45) übersteigt. Ist  $|r15| < r45$ , erfolgt sofort die Return-Anweisung. Im Fall der Nachregelung wird zunächst die Wahl der Koeffizienten des Schildthermometer-Polynoms  $T(R)$  "Tem2" und des Umkehr-Polynoms  $R(T)$  "TemR" durch Nullsetzen der Variablen W freigegeben. Anschließend wird der Strom des Schildthermometers gemessen, indem durch cll'Scan'(7) der am Meßwiderstand  $R_M = 1k\Omega$

auftretende Spannungsabfall an das DVM gelegt, zehnmal hintereinander durch "Volt" ausgelesen und im r7 aufsummiert wird. Der daraus berechnete Thermometerstrom wird in r29 gespeichert.

Aus Steigung (r15) und Temperaturachsenabschnitt (r14) der letzten Driftgeraden  $T = a + bt$  wird durch Aufruf von "Clock" die momentane Proben temperatur berechnet. In der Umkehrfunktion "TemR" wird der dieser Temperatur entsprechende Widerstand des Schildthermometers berechnet. Dieser Widerstand wird mit dem Thermometerstrom (r29) und dem Faktor 1000 (um diesen wird die Bezugsspannung im Interface des Regelgerätes durch einen Spannungsteiler heruntergesetzt) multipliziert. Durch den Befehl `cll'D/A2'` mit diesem Parameterwert wird die neue Bezugsspannung an das Regelgerät angelegt, welches nun anfängt, den Schild auf die neue Soll-Temperatur zu regeln. Die Variable W wird mit 1 markiert um jetzt den Wechsel der Koeffizienten der Temperatur-Polynome zu sperren. (Aufgrund der Anpassungsfehler der einzelnen Polynome könnte ein durch Regelschwankungen bedingter Wechsel einen Temperatursprung vortäuschen. (In den folgenden vier Zeilen wird die Stromstärke für das Proben thermometer überprüft und gegebenenfalls umgeschaltet. Hierfür wird untersucht, in welchem Intervall der Temperaturwert  $Z [1]$  der letzten Driftgeraden liegt. Die Intervallgrenzen sind in r46, r47 und r48 gespeichert; sie können im Eingabedialog verändert werden. Wenn das passende Intervall gefunden ist, wird flag2, flag3, flag4 oder keine flag gesetzt und die jeweils nicht gesetzten werden gelöscht. Mit Hilfe der flags wird im Unterprogramm "Scan" der Thermometerstrom umgeschaltet. Wenn weder flag2 noch flag3 noch flag4 gesetzt ist wird der kleinste Thermometerstrom ( $10^{-7}$  A) eingeschaltet, für flag2 beträgt der Thermometerstrom  $10^{-6}$  A, für flag3  $10^{-5}$  A und flag4  $10^{-4}$  A.

Mit dem Befehl `cll'Scan'(8)` wird der Thermometerstrom geschaltet und die Thermometerspannung an das DVM gelegt. Es folgt durch den `wait`-Befehl eine Pause von 30 sec, während der Wärmeschild auf die neue Temperatur eingeregelt wird, dann wird die Konstanz der Schildtemperatur überprüft. In einer Zeitschleife (`for I = 1 to 5`) wird in fünf immer länger werdenden Zeitintervallen die Schildtemperatur gemessen. Diese Intervalle werden durch `wait`-Befehle erzeugt. Die Länge des ersten Intervalls ist durch die Grundzeit von 15 sec gegeben, die folgenden werden um jeweils 4sec verlängert. Diese verschiedenen Pausen Intervall-Längen schließen bei der Schildtemperaturmessung die Möglichkeit, daß eine periodisch schwankende Temperatur deren Konstanz vortäuscht, mit hoher Wahrscheinlichkeit aus. In diese Schleife ist die jeweils zehnmalige Thermometerspannungsmessung und die Umrechnung des aus Thermometerspannung, Thermometerstrom (`r29`) und Meßpunktzahl ermittelten Thermometerwiderstandes mit Hilfe von "Tem2" eingebaut. Die Temperaturen werden in den Vektor `Z[I]` gespeichert und ihre Quadrate in `r2` aufsummiert. Die jeweils errechnete Schildtemperatur wird im Display angezeigt. Wenn die fünf Meßpunkte aufgenommen worden sind, wird in einer Schleife die Summe der quadratischen Abweichungen vom Mittelwert  $\sum (T_i - T)^2$  gebildet und in `r3` gespeichert. Nun wird die Standardabweichung  $\sigma$  berechnet und geprüft, ob der Wert kleiner als ein vorgegebener zulässiger Grenzwert (`r53`) ist. Wenn ja, wird "Shld. gereg"(Schild geregelt) auf dem Protokollstreifen ausgedruckt und das Hauptprogramm wird mit `gto"B"` gestartet. Ist die errechnete Standardabweichung größer als `r53`, wird das Programm zurückverzweigt und der beschriebene Vorgang wiederholt, bis die Abbruchbedingung  $\sigma < r53$  erfüllt ist.

"ShTem"

```
294: "ShTem";
295: cll 'Scan'(7);0)r7)r8
296: for I=i to 5
297: 'Volt'+r7)r7
298: next I
299: cll 'Scan'(8)
300: for I=i to 5
301: 'Volt'+r8)r8
302: next I
303: 'Tem2'(r8/5/(r7/5/1e3))r26
304: ret
```

In "ShTem" wird die Temperatur des die Probe umgebenden Wärmeschildes gemessen und gespeichert. Zunächst wird mit cll'Scan'(7) der Spannungsabfall am Meßwiderstand ( $1k\Omega$ ) des Thermometerstromes auf das DVM geschaltet, fünfmal hintereinander gemessen und in r7 aufsummiert. Danach wird durch cll'Scan'(8) die Thermometer-Spannung an das DVM angelegt, in gleicher Weise gemessen und in r8 aufsummiert. Anschließend wird die Funktion "Tem2", die das Eich-Polynom  $T(R)$  für das Schildthermometer enthält, mit dem Thermometerwiderstand als Argument aufgerufen. Die Schildtemperatur wird in r26 gespeichert.

"Tem1"

```
305:
306: "Tem1":
307: for Y=1 to L
308: if p1<=S[Y] and p1>=S[Y+1];gto +3
309: next Y
310: dsp "Datenpunkt nicht in Tem1";stp
311: if V=0;Y)r21
312: 0)p9
313: if T=1;gto +2
314: if T=2;gto +5
315: for J=1 to Q+1
316: C[(Q+1)(r21-1)+J]log(p1)^(J-1)+p9)p9
317: next J
318: ret 10^p9
319: for J=1 to Q+1
320: C[(Q+1)(r21-1)+J]p1^(J-1)+p9)p9
321: next J
322: ret 1p9
```

"Tem1" ist eine Funktion. Sie wird mit einem Widerstandswert (p1) des Proben-thermometers als Argument aufgerufen und kehrt mit der Proben-temperatur (p9) zurück. Zunächst wird in einer Schleife (for Y = 1 to L ) die Nummer Y des zum Widerstandswert gehörenden Koeffizientensatzes (vgl. Beschreibung von "DTem1") gesucht. Liegt p1 in keinem der angegebenen Intervalle, so wird nach Durchlaufen der Schleife "Datenpunkt nicht in Tem1" im Display angezeigt und das Programm hält an. Andernfalls wird die Intervallnummer Y - sofern die Koeffizientenwahl im Augenblick freigegeben ist (V = 0) in r21 gespeichert.

Es folgt die Abfrage, ob es sich um ein Thermometer handelt, dessen Temperatur durch das Polynom

$$\log T = a_0 + a_1 \log R + a_2 \log R^2 + \dots$$

dargestellt wird (T = 1), oder ob das Polynom die Form

$$T = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + \dots$$

besitzt (T = 2). Das Polynom wird nun in der entsprechenden Schleife

for J = 1 to Q + 1 berechnet (Q ist der maximal auftretende Grad aller Teilpolynome). Die zum Intervall mit Nr. r21 gehörenden Koeffizienten  $a_0, a_1, \text{etc.}$  stehen im Vektor C mit den Indizes  $[(Q + 1) \cdot (r21 - 1) + J] = 1 \dots (Q + 1)$ . Durch Summation in p9 wird der Wert  $(\log T)$  des Polynoms an der Stelle p1 (= R) gebildet und die Funktion "Tem1" kehrt mit dem Temperaturwert  $10^{p9}$  zurück. Für T = 2 erfolgt die Berechnung der Temperatur analog.

"Tem2"

```
323:
324: "Tem2":
325: if W=1;gto +5
326: for M=1 to P
327: if p1<=G[M] and p1>=G[M+1];M)r31;gto +3
328: next M

329: dsp "Datenpunkt nicht in Tem2";stp
330: 0)p9
331: if U=1;gto +2
332: if U=2;gto +5
333: for N=1 to R+1
334: H[(R+1)(r31-1)+N]ln(p1)^(N-1)+p9)p9
335: next N
336: ret 1/p9
337: for B=1 to R+1
338: H[(R+1)(r31-1)+B]p1^(B-1)+p9)p9
339: next B
340: ret ip9
741:
```

In der Funktion "Tem2" wird die Temperatur des Strahlungsschildes berechnet. "Tem2" unterscheidet sich von "Tem1" nur in folgenden Punkten: In Zeile 325 wird geprüft, ob ein Koeffizientenwechsel des Temperaturpolynoms des Schildthermometers gestattet ist. Falls nicht ( $W = 1$ ), wird die folgende Schleife für die Intervallsuche (for M = 1 to P) übersprungen und der Koeffizientensatz des früher festgelegten Widerstandsintervalls (r31) benutzt. Ansonsten wird die Intervallnummer von neuem festgelegt und in r31 gespeichert.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Art der Polynome. Für  $U = 1$  wird ein Polynom der Form

$$1/T = a_0 + a_1 \ln R + a_2 \ln R^2 + \dots$$

verwendet, für  $U = 2$  hat das Polynom die Form

$$T = a_0 + a_1 R + a_2 + R^2 + \dots$$

"TemR"

```
342: "TemR":  
343: if W=1;gto +5  
344: for I=1 to G  
345: if p1>=I[I] and p1<=I[I+1];I)r30;gto +3  
346: next I  
347: dsp "Datenpkt nicht in TemR";stp  
348: 0)p9  
349: if U=1;gto +2  
350: if U=2;gto +5  
351: for J=1 to H+1  
352: J[(H+1)(r30-1)+J](1/p1)^(J-1)+p9)p9  
353: next J  
354: ret exp(p9)  
355: for J=1 to H+1  
356: J[(H+1)(r30-1)+J]p1^(J-1)+p9)p9  
357: next J  
358: ret 1p9  
750:
```

"TemR" ist die Umkehrfunktion zu "Tem2", die ausgehend von einer Soll-Temperatur als Parameter (p1) den Widerstand des Schildthermometers (p9) berechnet. "TemR" ähnelt "Tem2" bis auf folgende Unterschiede: In der Intervallsuchschleife sind die Ungleichheitszeichen vertauscht, was mit der Anordnung der Daten (steigende Temperaturen in I[\*]) zusammenhängt. Das gefundene Intervall wird in r30 gespeichert.

Für U = 1 hat das Polynom die Form

$$R = \exp(a_0 + a_1 (1/T) + a_2 (1/T)^2 + \dots)$$

für U = 2 lautet das Polynom

$$R = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + \dots$$

"UTh"

```
360: "UTh":  
361: dsp "Thermospannung"  
362: cil 'Volti'(<p1>X)r10  
363: cil 'Scan'(3)  
364: ret  
365:
```

In "UTh" wird die im Meßkreis des Proben-thermometers liegende Thermospannung gemessen. Bis auf den unterschiedlichen Parameterwert ( $p1 = 5$ ) erfolgt die Messung völlig analog zu dem in "ITh" beschriebenen Ablauf. Die als Ergebnis erhaltene Thermospannung X wird in r10 gespeichert. Zuletzt wird über den Scanner der Proben-thermometerstrom wieder eingeschaltet und die Thermometerspannung auf das DVM durchgeschaltet.

### 6.3. Hauptprogramm

Nach Drücken der "Run"-Taste startet das Programm in Zeile 0. Hier werden die Vektoren X, Y und Z und der String (alphanumerisches Feld) A \$ dimensioniert. Anschließend wird zur Programmzeile 376 ("A") verzweigt. Nun werden die Unterprogramme "Const" und "Enter" aufgerufen. In "Const" werden im allgemeinen gleichbleibende konstante Speicherplätze zugewiesen und in "Enter" wird der Eingabedialog geführt.

Mit der Programmzeile "B" beginnt der erste Teil des Meßzyklus. Dieser Teil folgt immer nach dem Eingabedialog, der Schildregelung und der Umschaltung des Proben-thermometerstroms. Hier wird der Variablen V zunächst der Wert null zugewiesen, um einen Koeffizientenwechsel des Proben-thermometerpolynoms zu ermöglichen. Danach wird flag 1 gesetzt, wodurch in diesem Teil die noch nicht fällige Auswertung gesperrt wird. (Das Unterprogramm "Ausw" wird in "B" dennoch aufgerufen, da hier unabhängig von flag 1 die Koeffizienten der ersten Driftgeraden umgespeichert werden und die Schildtemperatur ausgedruckt wird.) Es folgt der Aufruf des Unterprogrammes "Clock 1", in dem die Uhr auf null gesetzt und gestartet wird. Dann wird in "Uth" die Thermospannung gemessen, falls sie nicht eingegeben wurde (flag 5 = 0). Nun wird der Proben-thermometerstrom (c11'Ith') und die Drift (c11'Drift') der Proben-temperatur gemessen. Anschließend wird das Schildtemperatur-Unterprogramm (c11'ShTem'), das Auswertungs-Unterprogramm (c11'Ausw') und das Heiz-Unterprogramm (c11'Heiz') aufgerufen. Danach wird flag 1 gelöscht, um beim nächsten

Aufruf von "Ausw" die Auswertung zu ermöglichen.

Es folgt der zweite Teil des Hauptprogramms beginnend mit Zeile "C".

Hier wird zuerst die Uhr auf null gesetzt und gestartet (c11'Clock 1') und der Temperaturnausgleich von Probe und Probenhalter (c11'Delay'). Falls keine Thermospannung eingegeben wurde (flag 5 = 0), wird die Thermospannung (c11'Uth') gemessen. Anschließend folgen die Messungen des Proben-thermometerstroms (c11'Ith'), der Drift (c11'Drift') und der Schildtemperatur (c11'ShTem'). Nun folgt die Auswertung (c11'Ausw'), die Schildregelroutine (c11'Shield') wird aufgerufen, die neue Heizleistung (c11'Heizl') bestimmt und die Probe eine Temperaturstufe aufgeheizt (c11'Heiz'). Durch den darauffolgenden Befehl goto "C" kehrt das Programm immer wieder an den Anfang des zweiten Teils des Hauptprogramms zurück, bis entweder aus "Shield" oder aus "Drift" zum ersten Teil des Hauptprogramms ("B") verzweigt wird, oder die Messung in "Ausw" beendet wird.

### 6.3. Anmerkungen

Hier werden zusätzliche Hinweise zur Programmbedienung gegeben.

- i) Durch die Betriebsart "live Keyboard" des Rechners ist es möglich, Variablen bei laufendem Programm neue Werte zuzuweisen. Während der Heizzeit kann die Wartezeit (Delay) dadurch geändert werden, daß die gewünschte Zeit in Sekunden eingetippt und anschließend die Funktionstaste f4 gedrückt wird. Sowie der neue Wert angenommen ist, erfolgt ein Ausdruck mit der neuen Wartezeit in Sekunden.

- ii) Das Zusatzprogramm "Q" ermöglicht es, den D/A -Wandler für das Artronixregelgerät zu setzen. Dieses Zusatzprogramm wird durch f6 aufgerufen und fragt zunächst nach der Artronixspannung in mVolt, die in r1 gespeichert wird und den D/A -Wandler setzt.
- iii) Das Zusatzprogramm "S", aufgerufen durch f8, stoppt den Programmablauf und schaltet die Probenheizung aus. Der Wert des letzten Heizstroms bleibt jedoch gespeichert und die Messung kann mit f3 wieder gestartet werden.
- iiii) Die Funktionstasten f0 bis f6 sind folgendermaßen belegt (jeweils unmittelbarer Aufruf durch Drücken der Funktionstaste):
  - f0: Auflisten von 18 Programmzeilen von der zuvor eingegebenen Zeilennummer an.
  - f1: Die folgenden 18 Programmzeilen auslisten.
  - f2: Die vorausgehenden 18 Programmzeilen auslisten.
  - f3: Erster Hauptprogrammteil ("B").
  - f4: Änderung der Wartezeit.
  - f5: Meßdatenaufnahme auf Bandcassette.
  - f6: Programmteil "Q".
  - f8: Programmteil "S".

#### 6.4. Belegung der Speicher

##### r-Variable

r0	belegt für Terminal
r1 ... r9	Rechenregister, die vor Gebrauch nullgesetzt werden
r10	Thermospannung $U_{Th}$ (V)
r11	Probenthermometerstrom $I_{Th}$ (A)
r12	Delayzeit (ms)
r13	$t_M$ negativer Wert für 2.Driftgerade
r14	Achsenabschnitt der Driftgeraden neu
r15	Steigung der Driftgeraden neu
r16	Achsenabschnitt der Driftgeraden alt
r17	Steigung der Driftgeraden alt
r18	in Heizl berechnete oder eingegebene Heizzeit(ms)
r19	$t_h/2$ bezogen auf Uhrstart für 1.Driftgerade
r20	Heizleistung $U_h I_h$ (W)
r21	Koeffizientenspeicher in Tem1
r22	Heizspannung $U_h$ (V)
r23	$T_M = (T_A + T_E)/2$ (K)
r24	delta T $\Delta T = T_E - T_A$ (K)
r25	$C_p(T_M)$ (mJ/K)
r26	Schildtemperatur (K)
r27	---
r28	tatsächliche Heizzeit $t_h$ (ms)
r29	Schildthermometerstrom (A)
r30	Koeffizientenspeicher in TemR
r31	Koeffizientenspeicher in Tem2
r32	Endtemperatur (K)
r33 ... r39	---

r40 Geradensteigung bei Heiz1 ( $A^2/ms$ )  
r41 Probenheizwiderstand ( $\Omega$ )  
r42 ---  
r43 Zuleitungswiderstand der Probenheizung ( $\Omega$ )  
r44 ---  
r45 Max.Steigung der Driftgeraden für Schild (K/ms)  
r46 Schalttemp.für ITh =  $10^{-6}$  A  
r47 Schalttemp.für ITh =  $10^{-5}$  A  
r48 Schalttemp.für ITh =  $10^{-4}$  A  
r49 ---  
r50 Temp.Zunahme in % von  $T_M$  pro Heizschritt  
r51 Meßwiderstand für Heizstromspannungsabfall ( $\Omega$ )  
r52 Achsenabschnitt für Geradensteigung bei Heiz1 ( $A^2$ )  
r53 Standardabw.zum Abbruch der Schildregelroutine  
r54 ... r58 ---  
r59 Punktnummer bei Auswertung (0,2,4,6,...)  
r60,r62,r64,r66 ...  $T_M$  (K) Messpunkte  
r61,r63,r65,r67 ...  $C_p(T_M)$  (mJ/K)-Messpunkte

Felder und Strings

AH(14) Realtime clock  
C Koeffizienten in Tem1  
G Intervallgrenzen in Tem2  
H Koeffizienten in Tem2  
I Intervallgrenzen in TemR  
J Koeffizienten in TemR  
S Intervallgrenzen in Tem1  
X Vektor in Volt1 dim10  
Y Vektor  $t_i$  in Drift dim500  
Z Vektor  $T_i$  in Drift dim500;Einlesevektor für Thermom.

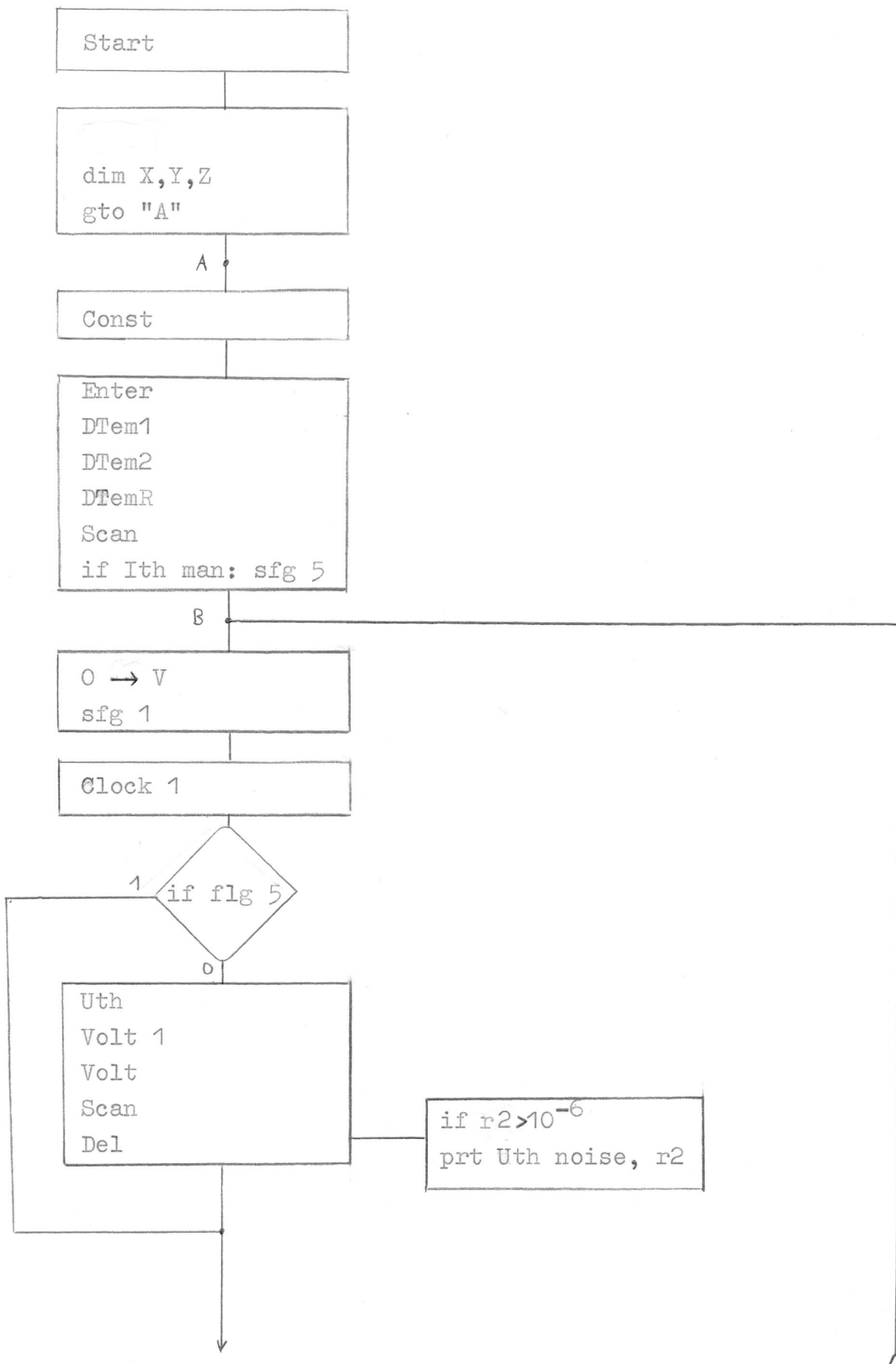
Alphabetische Variable

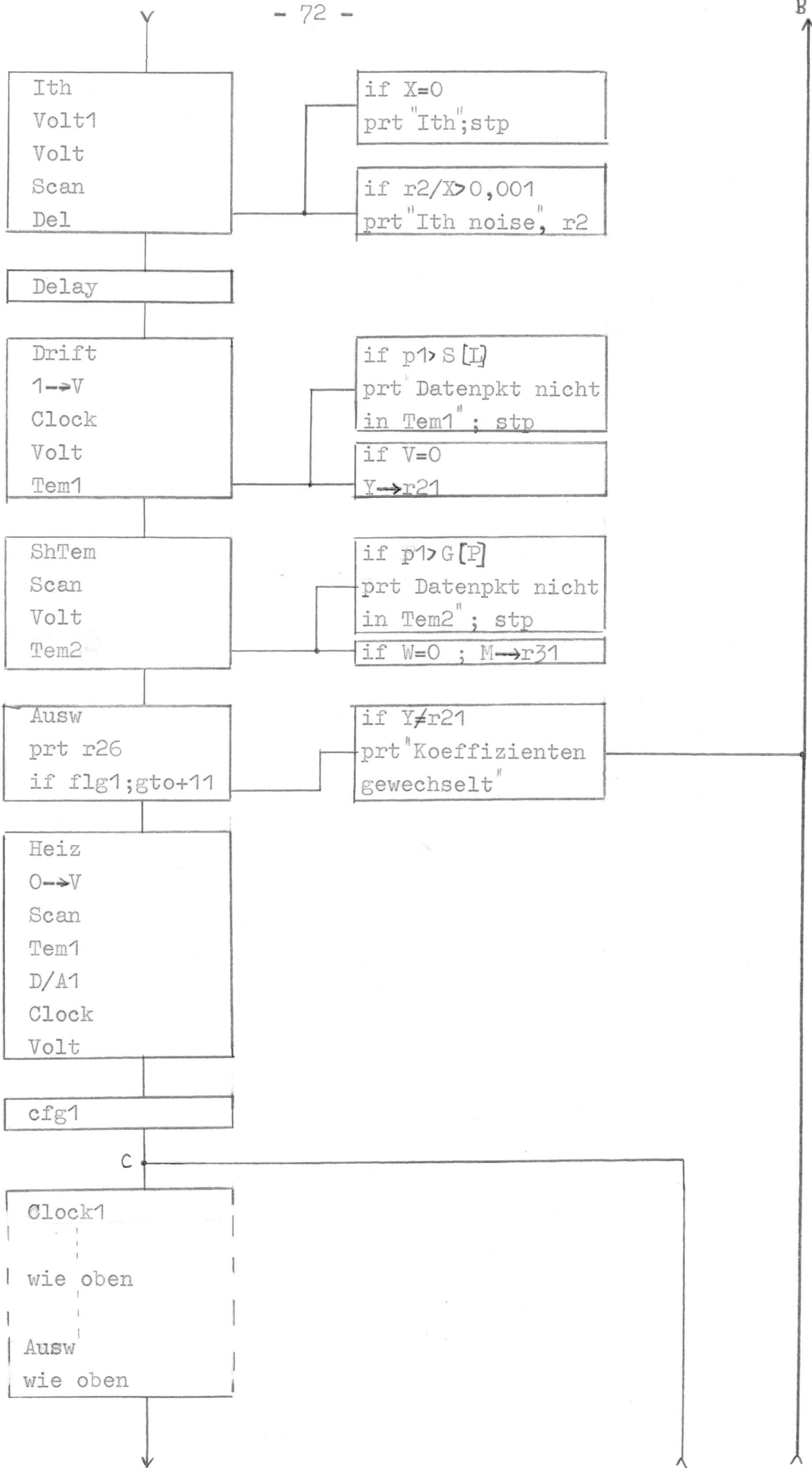
A	n
B	$T_i$
C	$t_i$ für lin Regression in Drift
D	$t_i^2$
E	$t_i T_i$
F	Filenummern der Thermometer in DTem1 usw.
G	Intervallzahl in TemR
H	Max.Grad in TemR
I	Zähler
J	Zähler
K	---
L	Intervallzahl in Tem1
M	Zähler in Tem2
N	Zähler in Tem2
O	Anfangstemperatur in Enter (K)
P	Intervallzahl in Tem2
Q	Max.Grad in Tem1
R	Max.Grad in Tem2
S	---
T	Probenthermometerart
U	Schildthermometerart
V	Koeffizientensperre in Tem1
W	Koeffizientensperre in Tem2
X	Mittelwert in Del
Y	Koeffizient der letzten Tem.Mess.aus Tem1
Z	---

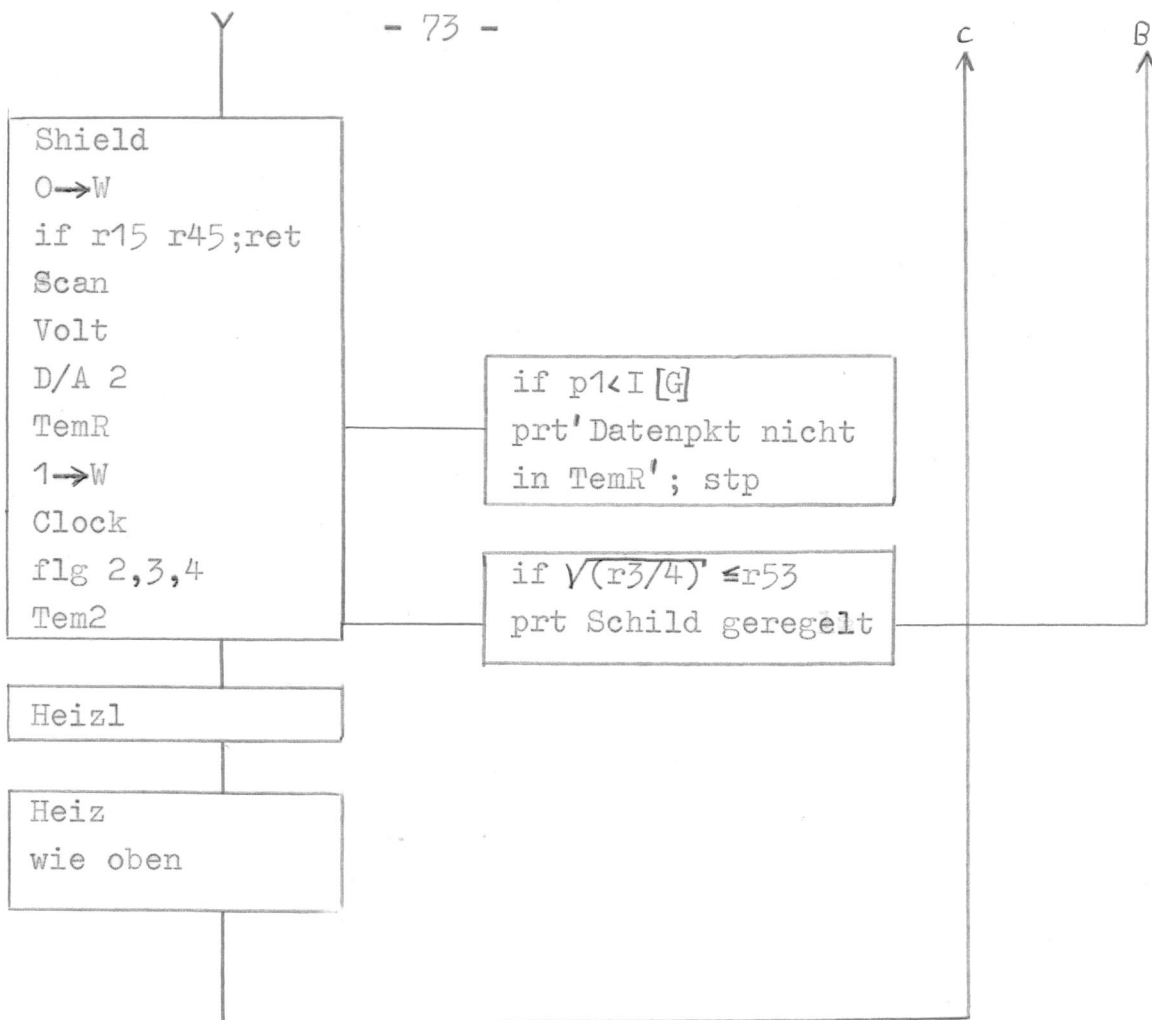
Verwendete Flags

- 1            sperrt Auswertung
- 2            Thermometerstrom  $10^{-6}$  A
- 3            Thermometerstrom  $10^{-5}$  A
- 4            Thermometerstrom  $10^{-4}$  A
- 5            sperrt Thermospannungsmessung

6.5. Vereinfachtes Flußdiagramm







		Dekade "0" ( DVM )				Dekade "2" ( Schalter )								
p1	flg	U	ITh	UTh	UTh1S	UTh2S	IThS	Uh	Ih	ITh1	ITh2	ITh3	ITh4	Ih
1	2							X	X		X			X
2	2								X		X			X
3	2			X							X			
4	2		X								X			
6	2			X							X			X
7	2						X				X			
8	2	1			X						X			
8	2	2				X					X			
1	3							X				X		X
2	3								X			X		X
3	3											X		
3	3		X									X		
4	3			X								X		X
6	3						X					X		
7	3											X		
8	3	1			X							X		X
8	3	2				X						X		X
1	4							X					X	
2	4								X				X	
3	4			X								X		
4	4		X									X		
4	4			X								X		X
6	4						X					X		
7	4											X		
8	4	1			X							X		
8	4	2				X						X		
1								X		X				X
2									X	X				X
3				X						X				
4			X							X				
5				X						X				
6				X						X				X
7							X			X				
8		1			X					X				
8		2				X				X				

Scanner-Tabelle

7. BEDIENUNGSANLEITUNG

## 7.1. Bedienungsanleitung für Handmessung

Schalterstellungen am Hauptinterface FT-1:

Power: ON (Rote Kontrolleuchte)

Thermometer: MANUAL - ON - BURSTER

Eingang "BURSTER" mit Burster-Konstantstromquelle verbinden und gewünschten Thermometerstrom einstellen. (Schalterstellungen: ON, NORMAL; bei Aufleuchten von "Bürde zu groß" ist der Thermometerstromkreis unterbrochen.)

Sampleheater: Angegebene Reihenfolge einhalten, um unbeabsichtigte Probenheizung zu vermeiden!

OFF - BURSTER - MANUAL

Eingang "BURSTER" mit Burster-Konstantstromquelle verbinden und gewünschten Heizstrom einstellen. (Schalterstellungen: ON, NORMAL; bei Aufleuchten von "Bürde zu groß" ist der Heizstromkreis unterbrochen.) Ausgang CLOCK mit einem Zähler verbinden. Triggerlevel einstellen (0 - 3 Volt).

Keithley: INPUT mit Keithley 177 DMM verbinden. Der Wahlschalter dient zum Anwählen verschiedener Meßpunkte:

$I_{tH}$ : Spannungsabfall des Probenthermometerstroms am Meßwiderstand (1 kOhm).

$U_{tH}$ : Probenthermometerspannung.

$I_H$ : Spannungsabfall des Probenheizstroms am Meßwiderstand (1 kOhm).

$U_H$ : Probenheizspannung.

Schalterstellungen der Peripheriegeräte:

Konstantspannungsquelle einschalten und auf die erforderliche Kompensationsspannung für die Probenthermometerspannung einstellen.

Schreiber einschalten und Kanäle für Proben- und Schildtemperatur auf geeignete Empfindlichkeit und Papiervorschub einstellen. Die Empfindlichkeit für die Probenthermometer-Spannung kann durch Änderung der Kompensationsspannung geeicht werden.

Zähler einschalten und bei Einstellung "0" der Burster-Heizstromquelle korrektes Ein- und Ausschalten des Zählers durch kurzes Ein- und Ausschalten des Heizstroms (Sampleheater ON-OFF) testen.

Artronix Temperatur-Regelgerät: Wahlschalter auf "INT" drehen (in dieser Stellung wird die Referenzspannung durch das Potentiometer "Set Point" vorgegeben) und die anderen Schalter am Artronix gemäß Bedienungsanleitung einstellen und einschalten.

Schalterstellungen am Artonixinterface:

Gewünschtes Thermometer Th1 (Kohle) oder Th2 (Platin) einstellen. Die Thermospannung im Spannungsmeßkreis des Schild-Thermometers kann bei Meßstellenwahlschalter auf "IST" durch Drücken des "Ith<sub>0</sub>" Knopfes am Ausgang "Keithley" gemessen werden.

Mit der Messung kann man beginnen, sobald die Schildtemperatur (blauer Schreiber) eingeregelt und die Proben-temperatur (roter Schreiber) annähernd konstant sind. Der zeitliche Ablauf der Handmessung und deren Auswertung entsprechen völlig denjenigen bei automatischer Messung.

## 7.2. Bedienungsanleitung zur automatischen Steuerung des Meßplatzes

Zuerst sind durch ein Aufheizen der Probe von Hand geeignete Anfangswerte für Heizstrom und Heizzeit zu bestimmen (vgl. Bedienungsanleitung für Handmessung). Dann erfolgt die Umschaltung auf automatischen Betrieb.

Schalterstellungen am Hauptinterface FT-1:

Thermometer: SCANNER - ON -  $10^{-7}$  A

Test der Batterie für den Proben-thermometerstrom durch Drücken des "BAT TEST" Knopfes (die grüne Kontrolllampe muß aufleuchten). Gegebenenfalls ist die Batterie (9 V) auszuwechseln.

Sampleheater: OFF - AUTO - D/A

Schalterstellungen der Peripheriegeräte:

HP-DVM: LINE ON. Die Kontrollleuchte "REAR TERMINAL" muß brennen. Falls nicht, ist der "TERMINAL" Schalter an der Rückseite des DVM in Stellung "REAR" zu drehen. Die Einstellung der Meßbereiche des DVM erfolgt vom Programm aus.

Wichtig: Die "GUARD" Taste darf nicht gedrückt sein.

Scanner: LINE ON (grüne Kontrollleuchte)

D/A-Wandler: Die grünen Kontrollleuchten müssen brennen, sonst sind die Geräte einzustecken.

Ventilator: Schalter rechts oben am Meßrack ON.

Nun wird das Programm von der Bandcassette in den Rechner eingelesen (trk 0;ldf 3). Anschließend werden die

Funktionstasten geladen (ldk 0).

Das Artronix Schildregelgerät wird beim automatischen Ablauf des Experiments vom Rechner durch den D/A-Wandler No. 2 gesteuert. Um sicher zu stellen, daß durch Fehlbedienung beim Anschließen des Regelgeräts an den D/A-Wandler der Schild nicht überheizt wird, sollte der Schild zunächst von Hand eingeregelt werden. Um den D/A-Wandler setzen zu können, wird die Funktionstaste f6 gedrückt. Es erscheint die Anzeige "Artronixspannung (mV)". Hier ist die am Set-Point-Potentiometer abgelesene Spannung einzugeben und die Taste "CONTINUE" zu drücken. Bei Schalterstellung "SOLL" am Artronixinterface kann die vom D/A-Wandler gesetzte Spannung am Ausgang "KEITHLEY" gemessen werden. Dann wird der "EXT/INT" Schalter am Artronix auf "EXT" gedreht. Der Zeiger des Anzeigeinstruments am Artronix sollte nun bei "0" stehen bleiben. Andernfalls kann eine korrigierte Soll-Spannung eingegeben und durch Drücken von "CONTINUE" der D/A-Wandler neu gesetzt werden.

Mit "STOP" und "RUN" kann nun mit dem Eingabedialog begonnen werden (vgl. Programmbeschreibung "Enter"), nach dessen Beendigung das Experiment sofort gestartet wird.

8. TEST UND MESSERGEBNISSE

## 8.1. Test der Meßanlage

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse verschiedener Tests des Meßsystems zusammengefaßt. Im nächsten Kapitel folgt eine Betrachtung der Fehler des Meßsystems.

### Vakuumsystem

Das Vakuumsystem wurde mit einem He-Lecksucher bei Zimmertemperatur auf Dichtigkeit untersucht. Die integrale Leckrate des gesamten Systems beträgt  $2,1 \times 10^{-6}$  Pa ltr/sec. Dieses (vergleichsweise kleine) Leck wird hauptsächlich durch einen defekten O-Ring am Kopf des Probenspießes verursacht, dessen Auswechslung einen größeren Eingriff erfordert. Diesem Umstand trugen wir dadurch Rechnung, daß während der Messung der Probenspieß ständig mit einer Diffusionspumpe abgepumpt wurde. Der mit einer Penning-Röhre am Kopf des Probenspießes gemessene Druck betrug während der Messung  $2,7 \times 10^{-3}$  Pa.

### Verdrahtung

Die Verdrahtung des Meßsystems wurde auf elektrischen Durchgang, Masseschluß, korrekte Belegung der Steckeranschlüsse und Funktion der Schalter geprüft. Ebenso wurde die Rechneransteuerung sämtlicher Peripheriegeräte getestet. Da die Meßanlage in Doppelschirmtechnik ausgeführt ist, wurde das Erdungsschema (Abb. 7 ) überprüft.

### Thermometer- und Heizwiderstände

Für die eingebauten Thermometer und die Probenheizung wurden die in der Tabelle aufgeführten Widerstandswerte gemessen.

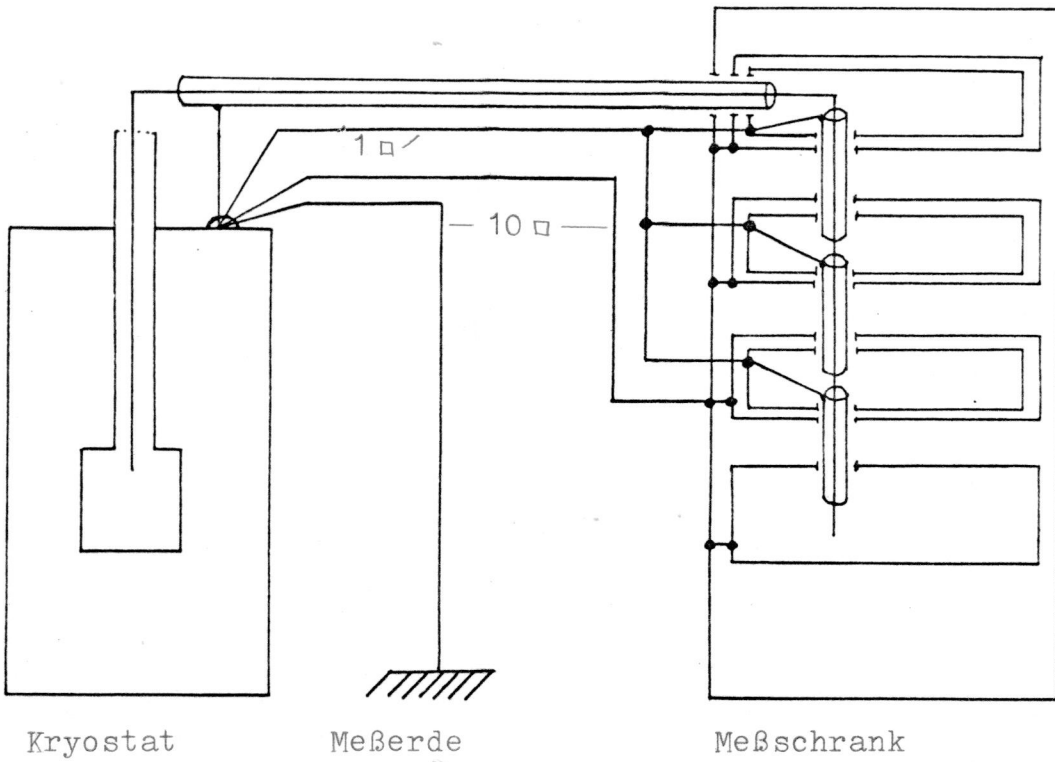


Abb. 7 Erdschema der Doppelschirmtechnik

Temp. (K) / Wid. (Ω)	Ge-Thermom. Nr. 15454	Pt.- Schildth.	Kohle- Schildth.	R <sub>H</sub> Probe	R <sub>H</sub> Schild
294 K	21.90	109	111	2273	52
LN <sub>2</sub> 77,35 K 76.93 K	12.308 12.347			2284	
LHe <sup>4</sup> 4,38 K	1095,5	1,2	1355	2295	

### Temperaturregelung

Die Temperaturregelung mit dem Artronix PDI-Regler wurde von Hand (INT), und über den D/A-Wandler gesteuert (EXT), getestet. Der Schild ist relativ stark über einen Kupferdraht mit 1,5 mm<sup>2</sup> Ø thermisch an das He-Bad angekoppelt. Bereits ab T > 17 K muß daher auf den Heizleistungsbereich "MED" (P<sub>Hmax</sub> = 1,9 W) umgeschaltet werden. Die Stellung "MAX" sollte nie verwendet werden! Es empfiehlt sich, die Empfindlichkeit (GAIN) des PDI-Reglers wegen der abnehmenden Empfindlichkeit des Kohlethermometers mit steigender Temperatur soweit zu erhöhen (im automatischen Meßablauf am besten während einer Nachregelphase), daß durch Störungen hervorgerufene Regelschwingungen noch rasch abklingen. Eine solche Störung liegt z.B. bei der Messung der Spannung des Schildthermometers durch den Rechner vor; sie könnte durch Einbau eines hochohmigen Trennverstärkers behoben werden.

## 8.2. Meßergebnisse

Um das Programm der automatischen Steuerung der Meßanlage zu prüfen, wurde ein Eichlauf mit einer Kupfer-Standardprobe (TC6.4 von National Bureau of Standards) durchgeführt. Da die Messung der Wärmekapazität des Probenhalters noch aussteht, können hier nur die Meßergebnisse für die Wärmekapazität des Systems (Probe + Probenhalter) und die relative Genauigkeit der Rechnermessung durch einen Vergleich mit den Ergebnissen der Handmessung diskutiert werden.

In Abb. 8 ist ein Meßpunkt dargestellt, der vom Rechner gesteuert und mit Hilfe des Schreiberprotokolls auch von Hand ausgewertet wurde. Die Unterschiede der Werte für  $T$  und  $C$  wurden hauptsächlich durch die jeweils verschiedene Temperaturauflösung von X-t-Schreiber und DVM verursacht. Bei der eingestellten Schreiberempfindlichkeit von  $1\mu\text{V}/\text{cm}$  ergibt sich bei einer Ablesegenauigkeit von  $\pm 1$  mm der Schreiberkurve eine Auflösung der Thermometerspannung von  $\pm 0,1\mu\text{V}$ . Bei einem aus Gründen der Selbsterwärmung (maximal zulässigen) Thermometerstrom  $I_{\text{th}} = 10^{-4}$  A und einer Empfindlichkeit des Thermometers von ca.  $0,138\Omega/\text{K}$  (bei  $T \sim 80$  K), beträgt die Temperaturauflösung also hier ca.  $\pm 7,3$  mK. Da sich  $\Delta T$  aus zwei Temperaturmessungen errechnet, gilt für den größtmöglichen Fehler in  $T$  ( $= 0,86$  K)  $\delta(\Delta T) \sim \pm 15$  mK, was einem relativen Fehler von  $\pm 1,7$  % entspricht. Da  $\Delta T$  und  $C_p$  linear miteinander verknüpft sind, ist auch der relative Fehler für  $C_p$  gerade  $\delta(C_p) \leq \pm 1,7$  %.

Bei der Auswertung durch den Rechner ist die Auflösung des DVM maßgebend, die bei  $5 \frac{1}{2}$  Stellen gerade  $\pm 0,5\mu\text{V}$  beträgt. Dem entspricht hier eine Temperaturauflösung von  $T = \pm 0,036\text{K}$

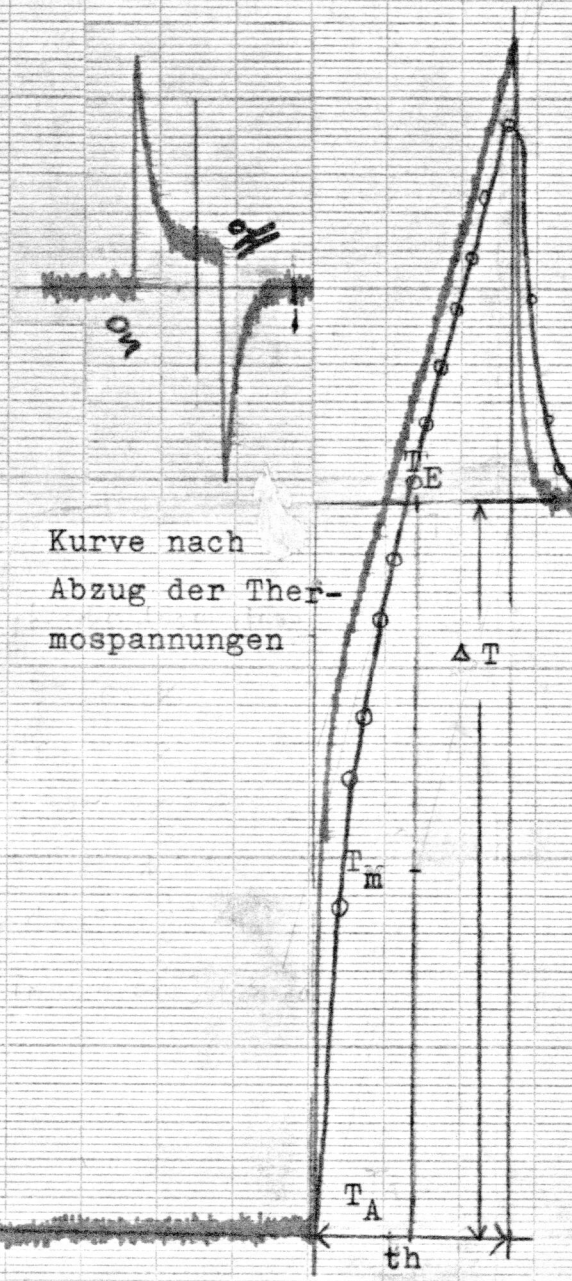
Thermospannungen beim  
Ein- und Ausschalten  
der Probenheizung

Probe: Cu  
m = 8.35370 gr

Sens: 1  $\mu$ V/cm  
Speed: 1cm/min  
Uk = 0.10785 V  
I<sub>Th</sub> = 9.068  $10^{-5}$  A  
I<sub>h</sub> = 2.004  $10^{-3}$  A  
t<sub>h</sub> = 157 sec  
R<sub>h</sub> = 2283.5  $\Omega$   
 $\Delta Q$  = 1.43978 J

Graphische Auswertung

T<sub>m</sub> = 80.036 K  
 $\Delta T$  = 0.859 K  
C<sub>p</sub>(T<sub>m</sub>) = 1.676 J/K



← Thermospannungs-  
messung (I<sub>Th</sub> = 0)

○ Kurve nach  
Abzug der Ther-  
mospannungen

```

Delaytime[s]      60.0
Mom.Pr.Temp.[K]  80.0
Ih[A]             0.00200
Uh[V]            7.087
th[sec]          157
Delta T[%Tm]     1
m Drift[K/min]   5.0000000e 00
Ge Probenh.      1
Fileno           1
Ge Shld.Therm.  1
Fileno           1
Eingabe beendet
*****

Punktno.         0
deltaT            0.921605
T Mittel (Tm)=   79.923135
Cp(Tm)=          1.556391e 03
    
```

Abb. 8 Schreiberwertung

für eine einzelne Temperaturmessung. Da die Thermometerspannungen grundsätzlich zehnmal gemessen werden, reduziert sich der Fehler für einen Temperaturpunkt auf

$(T) = \sqrt{((0,036)^2/(10-1))} = \pm 0,012 \text{ K}$ , was einem relativen Fehler in  $\Delta T$  und  $C_p$  von  $\pm 2,6 \%$  entspricht. Da das Rauschen im Meßkreis bei  $\sim 100 \text{ nV}$  liegt, wäre es sinnvoll, diesen Fehler durch den Einbau eines Vorverstärkers mit  $V = 10$  bzw.  $V = 100$  weitgehend zu unterdrücken.

Die Thermospannungen, die beim Ein- bzw. Ausschalten der Heizung entstehen, sind als Insert in Abb. 8 zu sehen. Die strichpunktierte Kurve zeigt den zeitlichen Verlauf der Thermometerspannung nach Abzug der Thermospannungen. Man erkennt, daß das Überschießen der Thermometerspannung nicht auf Thermospannungen, sondern auf ein Überheizen des Proben-trägers samt Thermometer zurrückzuführen ist. Der anschließende Temperatúrausgleich zwischen Probe und Probenhalter (innere Relaxationszeit  $\tau$ ) dauert hier 55 sec.  $\tau$  ist bestimmt durch den thermischen Übergangswiderstand Probenhalter-Probe (beim zweiten Testlauf ergab sich z.B. eine Vergrößerung von  $\tau$  auf das Sechsfache). Der Fehler, der durch das Überschießen der Proben-trägertemperatur bei dem linearen Extrapolationsverfahren (Abb. 1) entsteht, beträgt im vorliegenden Beispiel (Abb. 8) etwa 0,44 %. Er wird weder bei der Hand- noch bei der Rechnerauswertung korrigiert.

Das zu diesem Meßpunkt gehörende Ausgabeprotokoll des Rechners ist in Abb. 8 links unten zu sehen. Darauf sind auch die Anfangswerte ausgedruckt, die im Eingabedialog gesetzt wurden.

In Abb. 9 sind in halblogarithmischer Auftragung die Datenpunkte aufgezeichnet, die in zwei automatischen Meßläufen und verschiedenen Handmessungen erhalten wurden. Darüber hinaus ist in diese Zeichnung die theoretische Wärmekapazität der Probe ( $m = 8,3537 \text{ gr}$ ), berechnet gemäß der Formel

$$C = \sum_{i=1}^6 A_i T^{2i-1} \quad (\text{Gmelin 1967})$$

für  $2 < T < 30$  in  $\text{mJ/grd Mol}$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,69691 \\ A_2 &= 0,47524 \cdot 10^{-1} \\ A_3 &= 0,01775 \cdot 10^{-4} \\ A_4 &= 0,96185 \cdot 10^{-7} \\ A_5 &= -1,4372 \cdot 10^{-10} \\ A_6 &= 0,61357 \cdot 10^{-13} \end{aligned}$$

und gemäß Literaturwerten (D.L. Martin 1960), eingetragen.

Die Differenz zwischen Meßwerten und der durchgezogenen Kurve in Abb. 9 sollte gerade durch die noch zu bestimmende Wärmekapazität des Probenhalters gegeben sein.

Eine genaue Angabe des absoluten Fehlers in den mit Rechnerauswertung erhaltenen Meßergebnissen für die Wärmekapazität ist derzeit nicht möglich. Zu den oben diskutierten Fehlerquellen kommen noch Eich- und Interpolationsfehler für das Probenthermometer hinzu, die beide bei 1 % liegen. Über den gesamten Meßbereich ( $1,5 = T = 100 \text{ K}$ ) läßt sich daher eine Meßgenauigkeit von 3 % für den Einzelmeßpunkt erwarten. Die beobachtete Streuung der Meßwerte liegt im Bereich 2 % (vgl. Abb. 9+10). Wegen des i.a. monotonen Temperaturverlaufs der spezifischen Wärme kann der durch diese Streuung bedingte Fehler im Endergebnis durch

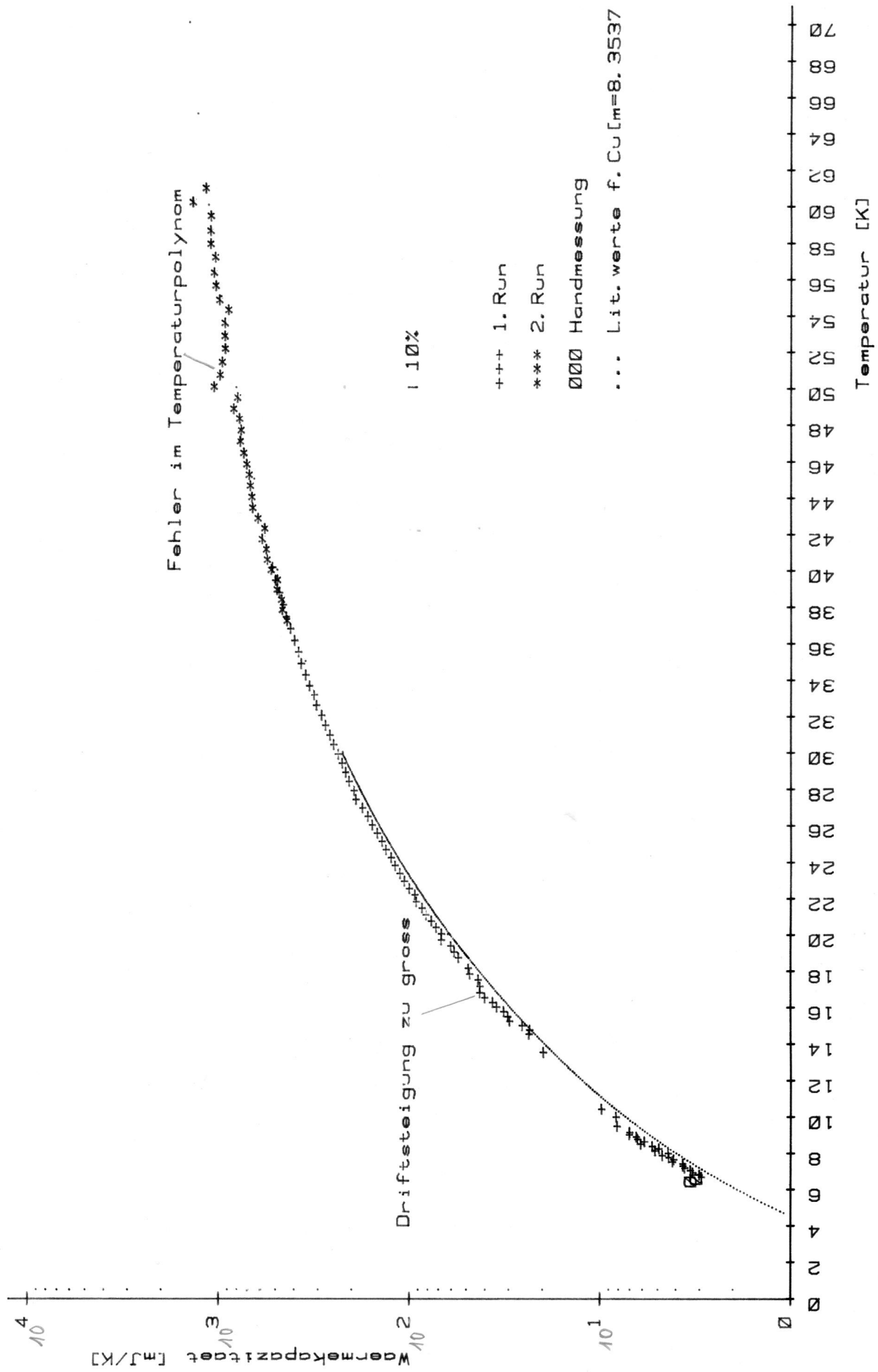


Abb. 9 Halblogarithmische Auftragung der Meßpunkte und der Literaturwerte

```

Delaytime[ls]          20.0
Mom.Pr.Temp.[K]       6.5
Endtemperatur         40.0
Ih[A]                 0.00010
Uh[V]                 0.354
th[sec]               15
Delta T[%Tm]         2.00
Drift [K/min]        2.50000000e-02
Ge Probenh.          1
Fileno                5
Ko Shld.Therm.       5
Stand.abw.in Shld   5.000e-02
Ger.St [A^2/msec]    4.1832e-11
Schalttemp.fuer     2.0
Pr.ITh               6.0
                    20.0
Eingabe beendet
*****

```

Abb.10 Rechnerprotokoll

```

19:06:19:05:59
Shieldtemp[K]        5.06
19:06:19:08:09
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.            0
deltaT              0.120620
T Mittel (Tm)=      6.671537
Cp(Tm)=             2.924570e 00
19:06:19:10:15
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.            2
deltaT              0.132854
T Mittel (Tm)=      6.795749
Cp(Tm)=             3.004252e 00
19:06:19:12:14
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.            4
deltaT              0.125821
T Mittel (Tm)=      6.917039
Cp(Tm)=             3.255011e 00
19:06:19:14:13
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.            6
deltaT              0.139325
T Mittel (Tm)=      7.037257
Cp(Tm)=             3.354341e 00

```

```

19:06:19:16:14
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.            8
deltaT              0.136217
T Mittel (Tm)=      7.167333
Cp(Tm)=             3.586018e 00
19:06:19:18:13
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.           10
deltaT              0.142518
T Mittel (Tm)=      7.290153
Cp(Tm)=             3.663734e 00
19:06:19:20:13
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.           12
deltaT              0.152234
T Mittel (Tm)=      7.407295
Cp(Tm)=             3.674775e 00
19:06:19:22:13
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.           14
deltaT              0.134742
T Mittel (Tm)=      7.524329
Cp(Tm)=             4.158584e 00
19:06:19:24:12
Shieldtemp[K]        5.06
Punktno.           16
deltaT              0.158167
T Mittel (Tm)=      7.640927
Cp(Tm)=             4.098169e 00

```

19:06:19:26:12  
Shieldtemp[K] 5.06  
Punktno. 18  
deltaT 0.147154  
T Mittel (Tm)= 7.761498  
Cp(Tm)= 4.347234e 00

19:06:19:28:11  
Shieldtemp[K] 5.06  
Punktno. 20  
deltaT 0.145285  
T Mittel (Tm)= 7.876199  
Cp(Tm)= 4.714553e 00

19:06:19:30:11  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 22  
deltaT 0.174121  
T Mittel (Tm)= 7.998169  
Cp(Tm)= 4.385485e 00

19:06:19:32:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 24  
deltaT 0.142991  
T Mittel (Tm)= 8.134434  
Cp(Tm)= 5.140744e 00

19:06:19:34:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 26  
deltaT 0.176529  
T Mittel (Tm)= 8.251095  
Cp(Tm)= 4.909806e 00

19:06:19:36:10  
Shieldtemp[K] 5.07

Punktno. 28  
deltaT 0.158767  
T Mittel (Tm)= 8.377173  
Cp(Tm)= 5.315473e 00

19:06:19:38:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 30  
deltaT 0.150842  
T Mittel (Tm)= 8.515937  
Cp(Tm)= 6.106859e 00

19:06:19:40:09  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 32  
deltaT 0.178936  
T Mittel (Tm)= 8.632576  
Cp(Tm)= 5.831349e 00

19:06:19:42:09  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 34  
deltaT 0.162975  
T Mittel (Tm)= 8.773367  
Cp(Tm)= 6.330460e 00

19:06:19:44:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 36  
deltaT 0.175552  
T Mittel (Tm)= 8.896053  
Cp(Tm)= 6.430335e 00

19:06:19:46:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 38  
deltaT 0.164886  
T Mittel (Tm)= 9.018448  
Cp(Tm)= 7.009568e 00

19:06:19:48:10  
Shieldtemp[K] 5.07  
Punktno. 40  
deltaT 0.181489  
T Mittel (Tm)= 9.150167  
Cp(Tm)= 6.975669e 00

Shld.areas

19:06:19:52:30  
Shieldtemp[K] 8.93

19:06:19:54:29  
Shieldtemp[K] 8.93  
Punktno. 42  
deltaT 0.162350  
T Mittel (Tm)= 9.485341  
Cp(Tm)= 8.109230e 00

Shld.areas ←

19:06:19:58:50  
Shieldtemp[K] 9.44

19:06:20:00:48  
Shieldtemp[K] 9.44  
Punktno. 44  
deltaT 0.158032  
T Mittel (Tm)= 9.989368  
Cp(Tm)= 8.208650e 00

Shld.areas ←

19:06:20:05:09  
Shieldtemp[K] 9.93

19:06:20:07:07  
Shieldtemp[K] 9.93  
Punktno. 46  
deltaT 0.134690  
T Mittel (Tm)= 10.420466  
Cp(Tm)= 9.782998e 00

Abb. 10a

rechnerische bzw. graphische Interpolation benachbarter Punkte weitgehend unterdrückt werden.

In Abb.11 ist das Schreiberprotokoll einer automatischen Messung zu sehen, bei der zwei mal die Schildtemperatur erhöht wurde.

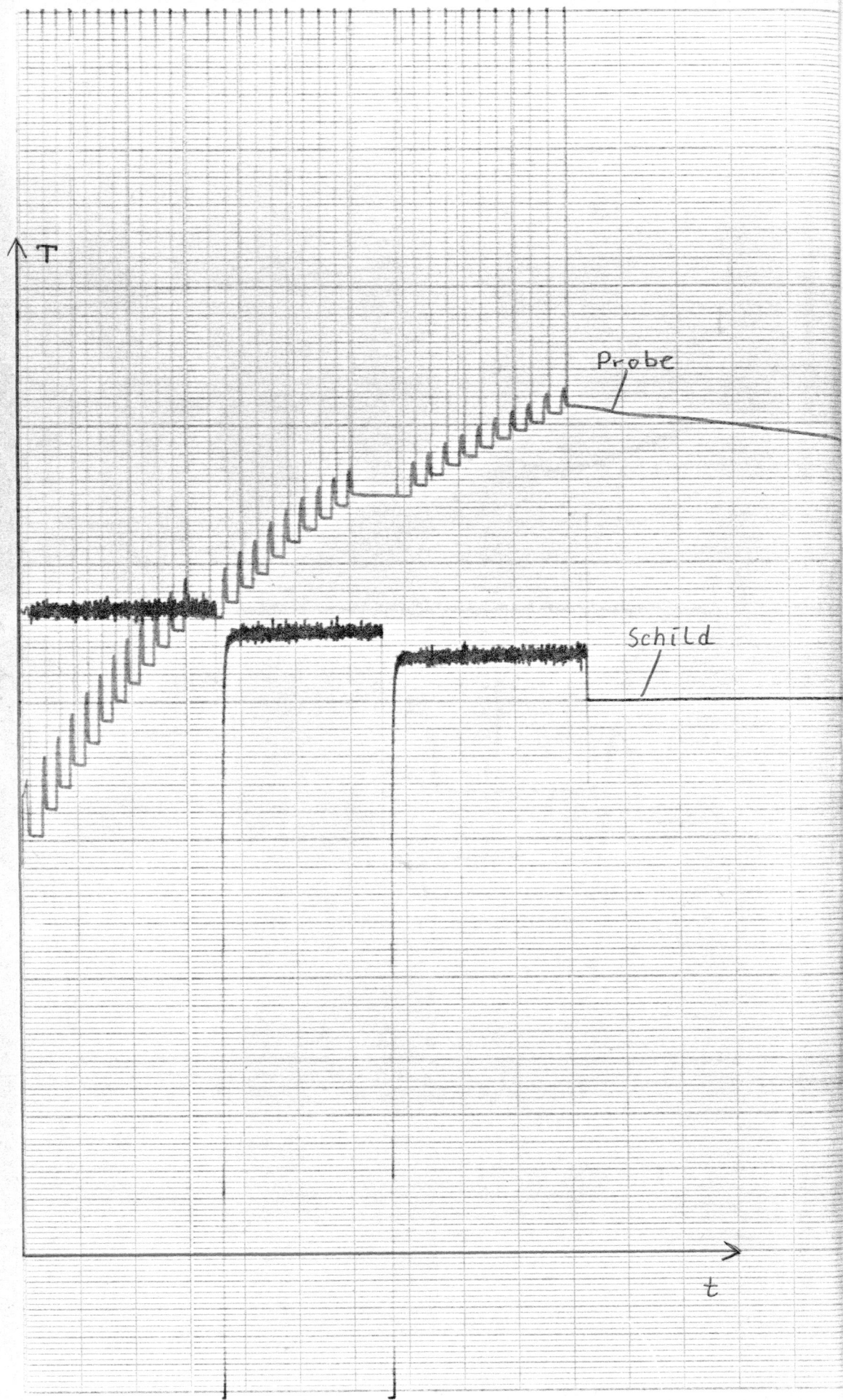


Abb. 1.1 Schreiberkurve einer automatischen Messung

Koeffizienten der Schildthermometer-Polynome

Platin-Thermometer (70-273K)

	T(R)	R(T)
R	1	1
P	1	1
G1	99.940201	70
G2	15.649543	273
H1	2.408333	-13.416201139
H2	23.310684	0.41522491626

Kohle-Thermometer (2.2-40K)

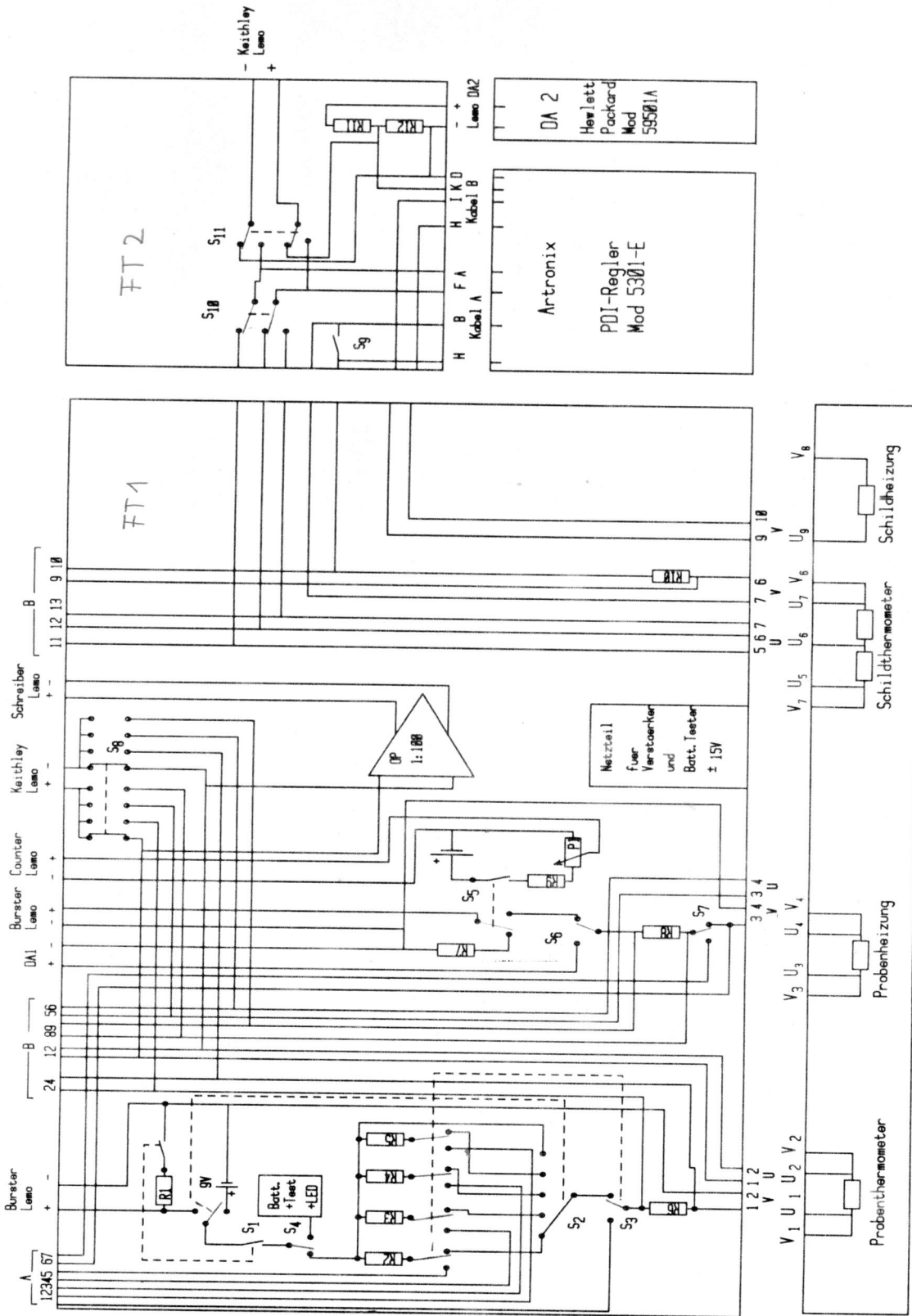
	1/T(lnR)	expR(1/T)
R	2	2
P	2	2
G1	6000	2.2
G2	1000	5
G3	180	40
H1	-0.02850139	5.215421
H2	-0.05640671	9.462565
H3	0.012866514	-3.954635
H4	0.36841422	4.823165
H5	-0.19196885	15.556882
H6	0.024260905	-25.669653

9. TECHNISCHER ANHANG ZU  
DEN INTERFACES UND  
ZUM PROBENSPIESS

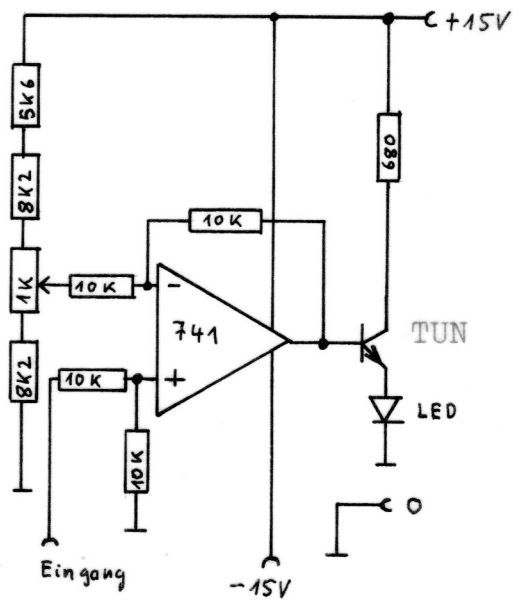
Liste der elektronischen Bauelemente im Interface

R1	2K/1W Kohle
R2	100M Metallfilm 1%
R3	10M Metallfilm 1%
R4	1M Metallfilm 1%
R5	100K Metallfilm 1%
R6	1K Burster Präzisionswiderstand 0.01% 1PPM/K
R7	2K/1W Kohle
R8	1K Burster Präzisionswiderstand 0.01% 1PPM/K
R9	20K
R10	1K Burster Präzisionswiderstand 0.01% 1PPM/K
R11	10K Metallfilm 1%
R12	10R Metallfilm 1%
P1	Potentiometer 10K- 270°
S1	Ein- Ausschalter für Probenthermometerstrom
S2	Burster und $10^{-7}$ bis $10^{-4}$ A Thermometerstrom
S3	Scanner/manual Probenthermometerstrom
S4	Batterietest
S5	Ein- Ausschalter für Heizstrom
S6	D/A / Burster Heizstrom
S7	Auto / manual Heizstrom
S8	Keithley-Wahlschalter
S9	UTh <sub>0</sub> - Taster am Artomixinterface
S10	Th1 / Th2 Artronixthermometer
S11	Soll / ist Artronixthermometerspannung
OP	Präzisionsoperationsverstärker MP 227 (Analogic) Verstärkung: 100-fach

# Schaltbild der Interfaces



Batterietester im Hauptinterface



Farbcode der Kabel mit Cannonsteckern und Scanneranschlüsse

Sämtliche Kabel mit Cannonsteckern haben, soweit die Kontakte verwendet sind, den folgenden Farbcode.

Pin No.	Farbe	Scanneranschlüsse	
		Dekade 0	Dekade 2
1	schwarz	o2H	20,21,22,23
2	weiß	o2L	23
3	gelb	o3H	22
4	grün	o3L	21
5	braun	ooH	20
6	violett	ooL	24
7	blau	o1H	24
8	rot	o1L	
9	grau	o6L	
10	rosa	o6H	
11	weiß/grün	o5L	
12	braun/grün	o5H+o4L	
13	blau/rot	o4H	
14	grau/rosa		
15	extra Kabel		

Scannerbelegung

Dekade 0 und 1 : Kanäle 00 ... 19 (Voltmeter)

Dekade 2 : Kanäle 20 ... 29 (Schalter)

Kanal	Funktion
00	Probenheizspannung
01	Probenheizstrom-Spannungsabfall
02	Probenthermometerspannung
03	Probenthermometerstrom-Spannungsabfall
04	Schildthermometer 1 Spannung
05	Schildthermometer 2 Spannung
06	Schildthermometerstrom-Spannungsabfall
20	Probenthermometerstrom $10^{-7}$ A
21	Probenthermometerstrom $10^{-6}$ A
22	Probenthermometerstrom $10^{-5}$ A
23	Probenthermometerstrom $10^{-4}$ A
24	Probenheizung

10. Literaturverzeichnis

Bachmann, R., di Salvo, F.J., Goballe, T.M., Greene, R.L.,  
Howard, R.E., King, C.N., Kirsch, H.C., Lee, K.N., Schwall,  
R.E., Thomas, H.U. and Zubeck, R.B.

Rev.Sci.Instrum. 43, 205 (1972)

Gmelin, E.

Zeitschrift f. angewandte Physik

Bd. 24, Heft 1, 1967, S. 21 - 24

Gmelin, E., Rödhammer, P.

Journal of Physics E 80,30

Gopal, E.S.R.

Specific heat at low temperatures

Plenum press 1966

Logan, J.K., Clement, J.R., and Jeffer, H.R.

Phys.Rev. 105, 1435-37 (1957)

Martin, D.L.

Can.-J.Phys. 38, 17 (1960)

Sullivan, P.F. and Seidel, G.

Phys. Rev. 173, 679 (1968)

Westrum, E.F., Furukawa, G.T. and Cullough, J.P.

Experimental Thermodynamics, Vol. 1, p. 133-213,

J.P. Cullough and D.W. Scott, Butterworth, London (1968)

White G.K., Experimental Techniques in Low-  
Temperature Physics, Clarendon  
Press Oxford 1979

11. VOLLSTÄNDIGER PROGRAMMAUSDRUCK

0: "Victor Faessler": - 103 -

1: dim X[10],Y[500],Z[500],As[14]

2: goto "A"

3:

4: "Ausw":

5: fxd 2;prt "Shieldtemp[K]",r26

6: if flol;goto +11

7: (r16+r17r19+r14+r15r13)/2)r23

8: r14+r15r13-(r16+r17r19)r24

9: r20r28/r24)r25

10: fxd 0;prt "Punktno.",r59

11: fxd 0;prt "deltaT",r24

12: prt "T Mittel (Tm)=",r23

13: flt 0;prt "Cp(Tm)=",r25;spc

14: r23)r(00+r59);r25)r(00+r59+1);2+r59)r59

15: if r23>=r32;prt "Endtemp.erreicht","Messung beendet";stp

16: if Y&r21;prt "Koeff.gewechselt";goto "B"

17: r14)r16;r15)r17

18: ret

19:

20: "Clock":

21: wrt 9,"U1V";red 9,po

22: ret lpo

23:

24: "Clock1":

25: wrt 9,"U1=I2"

26: wrt 9,"U1I","U1C","U1G"

27: wrt 9,"R";red 9,As;prt As

28: ret

29:

30: "Const":

31: -4.1832004/07e-7)r52;2283.5127)r41;200)r43;1000)r51

32: 4.18320727310e-11)r40;4)r40;0)r47;22)r48;.05)r53

\*22847

33: ret

34:

35: "D/A1":

36: if p1<0;dsp "Negative Spannung an D/A 1";stp

37: if p1>9.99;dsp "Zu hohe Spannung fuer D/A 1";stp

38: if p1<=.999;1000+int(p1/.001+.5)}p2;goto +2

39: 2000+int(p1/.01+.5)}p2

40: fmt 1,f4.0,z;wrt 707.1,p2

41: ret

42:

43: "D/A2":

44: if p1<0;dsp "Negative Spannung fuer D/A 2";stp

45: if p1>9.99;dsp "Zu hohe Spannung fuer Artronix";stp

46: if p1<=.999;1000+int(p1/.001+.5)}p2;goto +2

47: 2000+int(p1/.01+.5)}p2

48: fmt 1,f4.0,z;wrt 706.1,p2

49: ret

50:

51: "Del":

52: dsp "Del"

53: if X=0 and p1=4;dsp "ITn?contB";stp

54: 0)r2)r3)r4

55: for I=1 to N

56: r2+(X[I]-X)^2)r2

57: next I

58: if r2=0;goto +11

59: \((r2/(N-1))r2

60: flt 3

61: if p1=5 and r2>1e-6;prt "UTh:noise!",r2;goto +3

62: if p1=5;goto +2

63: if r2/X>.001;prt "ITh:noise",r2

64: for I=1 to N

65: if abs(X[I]-X)>3r2;goto +2

\*2700

60: r3+X(I1)r3;r4+1)r4

67: next I

68: r3/r4)X

69: ret

70:

71: "Delay":

72: fixd 0;dsp "Delay",r12/1000,"sec"

73: for I=1 to 7

74: wait r12/7

75: next I

76: ret

77:

78: "Drift":

79: 0)A)B)C)D)E

80: 'Clock')r5

81: if 'Clock'-r5>=3(r12+r18/2);gto +11

82: 'Clock')r7;0)r8

83: for J=1 to 10

84: 'Volt'+r8)r8

85: next J

86: 1+A)A

87: ('Clock'-r7)/2+r7)Y(A),Y(A+C)C;Y(A)^2+D)D

88: 'Temp'((r8/10-r10)/r11)Z(A);Z(A+B)B;Z(A)Y(A)+E)E

89: 1)V

90: fixd 5;dsp "Drift Probentemp.=" ,Z(A), "K"

91: gto -10

92: (AE-BC)/(AD-CC)r15;(B-r15C)/A)r14

93: 0)r1

94: for I=1 to A

95: (Z(I)-r14-Y(I)r15)^2+r1)r1

96: next I

97: \((r1/(A-1))r1

98: for I=1 to A

\*11041

```
99: if abs(Z[I]-r14-Y[I]r15)>=3r1;goto +3
100: next I
101: (AE-BC)/(AD-CC)}r15;(B-r15C)/A)r14;ret
102: if I=A;goto +4
103: for J=I to A-1
104: Y{J+1}Y{J};Z{J+1}Z{J}
105: next J
106: A-1}A;B-Z{I}B;C-Y{I}C;D-Y{I}^2}D;E-Y{I}Z{I}E
107: goto -9
108:
109: "DTem1":
110: ent "Daten f. Probenoerm. aus fileno.",F;fxd 0;prt "Fileno",F
111: ldf F,Z[*]
112: Z{1}Q;Z{2}L
113: dim S{L+1},C{(Q+1)L}
114: ldf F,Q,L,S[*],C[*]
115: ret
116:
117: "DTem2":
118: ent "Daten f. Saeldtherm. aus fileno.",F;fxd 0;prt "Fileno",F
119: ldf F,Z[*]
120: Z{1}R;Z{2}P
121: dim G{P+1},H{(R+1)P}
122: ldf F,R,P,G[*],H[*]
123: ret
124:
125: "DTem3":
126: ldf F+1,Z[*]
127: Z{1}H;Z{2}G
128: dim H{G+1},J{(H+1)G}
129: ldf F+1,H,G,H[*],J[*]
130: ret
131:
```

```
132: "Enter":
133: dsp "Eingabeprogramm";wait 3000
134: ent "Delaytime[sec]",r12;if flq13 or r12>229;gto -0
135: fxd 1;prt "Delaytime[s]",r12;1000r12)r12
136: ent "Mom.Pr.Temp.[K]",0;if flq13;gto -0
137: if 0<r40;cfg 2,3,4
138: if 0>=r46 and 0<r47;cfg 3,4;sfq 2
139: if 0>=r47 and 0<r48;cfg 2,4;sfq 3
140: if 0>=r48;cfg 2,3;sfq 4
141: prt "Mom.Pr.Temp.[K]",0
142: cll "Scan"(3)
143: ent "Endtemperatur[K]",r32;if flq13;gto -0
144: prt "Endtemperatur",r32
145: ent "ln[A]",r22
146: r22(r41+r43+r51)}r22;if r22<.001 or r22>9.99 or flq13;gto -1
147: fxd 5;prt "ln[A]",r22/(r41+r51+r43)
148: fxd 3;prt "Un[V]",r22
149: ent "tn[sec]",r18;1000r18)r18
150: if r18<10000 or r18>200000 or flq13;gto -1
151: fxd 0;prt "tn[sec]",r18/1000
152: ent "Delta T[%Tm]",r50;if r50<=0 or r50>50 or flq13;gto -0
153: fxd 2;prt "Delta T[%Tm]",r50
154: ent "max Driftsteigung[K/min]",r45;if flq13;gto -0
155: flt 7;prt "m Drift[K/min]",r45;r45/oe4)r45
156: ent "Prob.Th.Art 1=Ge;2=Pt",I;if I&1 and I&2 or flq13;gto -0
157: if I=1;prt "Ge Probenth."
158: if I=2;prt "Pt Probenth."
159: cll "DTem1"
160: ent "Sald.Th.Art 1=Ko;2=Pt",U;if U&1 and U&2 or flq13;gto -0
161: if U=1;prt "Ko Sald.Therm."
162: if U=2;prt "Pt Sald.Therm."
163: cll "DTem2";c11 "DTemR"
164: flt 7
```

```
165: ent "weitere Eingabe?ja=1;nein=0",V;if V&1 and V&0 or flg13;gto -0
166: if V=0;prt "Eingabe beendet","*****";spc ;ret
167: ent "ITu manuell?0=nein,1=ja",V;if V&1 and V&0 or flg13;gto -0
168: if V=0;gto +3
169: if V=1;sfg 5;ent "Taermospannung[V1]",r10;flt 2
170: prt "ITu manuell","UTho [V1=",r10
171: ent "Stand.abw.i.Shld",r53;flt 3;prt "Stand.abw.in Sald",r53
172: ent "Geradenst.[A^2/msec1",r40
173: flt 4;prt "Ger.St[A^2/msec1",r40
174: ent "TITa1[K1]",r46
175: fxd 1;prt "Schalttemp.fuer","Pr.ITn",r46
176: ent "TITh2[K1]",r47
177: prt r47
178: ent "TITh3[K1]",r48
179: prt r48
180: dsp "Start der Messung?:continue";stp
181: flt 7;prt "Eingabe beendet","*****";spc ;ret
182:
183: "Heiz":
184: 0)r7)r8
185: cll /D/A1/(r22)
186: /Clock/r9
187: cll /Scan/(1)
188: dsp "Un,In Mess."
189: for I=1 to 10
190: /Volt/+r7)r7
191: next I
192: cll /Scan/(2)
193: for I=1 to 10
194: /Volt/+r3)r8
195: next I
196: cll /Scan/(0)
197: fxd 5,dsp "Heizung Probertemp",/Tem1/((/Volt/-r10)/r11),"K"
```

```
198: if 'Clock'-r9>=r18;qto +2
199: qto -2
200: 'Clock'}r6
201: cll 'Scan'(3)
202: r7r8/100/r51)r20
203: ro-r9)r28;r28/2+r9)r19
204: -( 'Clock'-r19)}r13
205: 0)V;ret
206:
207: "Heizl":
208: (-r52+\(r52^2+4r40r25r23r50/100/r41))/2/r40)r18
209: if r18<10000;10000)r18;\(r18r40+r52)(r41+r43+r51)}r22;qto +2
210: \ (r18r40+r52)(r41+r43+r51)}r22
211: if r18>200000;dsp "Heizleistung nicht ausreichend";stp
212: ret
213:
214: "Ifa":
215: dsp "Thermometerstrom-Spannung"
216: cll 'Volt1'(p1);X/1000)r11
217: cll 'Scan'(3);ret
218:
219: "Recdat":
220: ent "Daten in Fileno",F
221: (r59+2)/2)r59
222: rcf F,r59,r(00+2r59-1)
223: 2r59-2)r59
224: fxd 0;prt "Daten in Fileno",F,"gespeichert"
225: prt "*****"
226: stp
227:
228: "Scan":
229: if p1=1 and flq2;wrt 709,"0,00","2,2124";qto +33
230: if p1=2 and flq2;wrt 709,"0,01","2,2124";qto +32
```

231: if pl=3 and flq2;wrt 709,"0,02","2,21";qto +31  
232: if pl=4 and flq2;wrt 709,"0,03","2,21";qto +30  
233: if pl=6 and flq2;wrt 709,"0,02","2,2124";qto +29  
234: if pl=7 and flq2;wrt 709,"0,06","2,21";qto +28  
235: if pl=8 and flq2 and U=1;wrt 709,"0,04","2,21";qto +27  
236: if pl=8 and flq2 and U=2;wrt 709,"0,05","2,21";qto +26  
237: if pl=1 and flq3;wrt 709,"0,00","2,2224";qto +25  
238: if pl=2 and flq3;wrt 709,"0,01","2,2224";qto +24  
239: if pl=3 and flq3;wrt 709,"0,02","2,22";qto +23  
240: if pl=4 and flq3;wrt 709,"0,03","2,22";qto +22  
241: if pl=6 and flq3;wrt 709,"0,02","2,2224";qto +21  
242: if pl=7 and flq3;wrt 709,"0,06","2,22";qto +20  
243: if pl=8 and flq3 and U=1;wrt 709,"0,04","2,22";qto +19  
244: if pl=8 and flq3 and U=2;wrt 709,"0,05","2,22";qto +18  
245: if pl=1 and flq4;wrt 709,"0,00","2,2324";qto +17  
246: if pl=2 and flq4;wrt 709,"0,01","2,2324";qto +16  
247: if pl=3 and flq4;wrt 709,"0,02","2,23";qto +15  
248: if pl=4 and flq4;wrt 709,"0,03","2,23";qto +14  
249: if pl=6 and flq4;wrt 709,"0,02","2,2324";qto +13  
250: if pl=7 and flq4;wrt 709,"0,06","2,23";qto +12  
251: if pl=8 and flq4 and U=1;wrt 709,"0,04","2,23";qto +11  
252: if pl=8 and flq4 and U=2;wrt 709,"0,05","2,23";qto +10  
253: if pl=1;wrt 709,"0,00","2,2024"  
254: if pl=2;wrt 709,"0,01","2,2024"  
255: if pl=3;wrt 709,"0,02","2,20"  
256: if pl=4;wrt 709,"0,03","2,20"  
257: if pl=5;wrt 709,"0,02","2,30"  
258: if pl=6;wrt 709,"0,02","2,2024"  
259: if pl=7;wrt 709,"0,06","2,20"  
260: if pl=3 and U=1;wrt 709,"0,04","2,20"  
261: if pl=8 and U=2;wrt 709,"0,05","2,20"  
262: wait 250  
263: ret

```
264:
265: "Shield":
266: dsp "Shield"
267: if abs(r15)<r45;ret
268: 0}W
269: cll 'Scan'(7);0}r7
270: for I=1 to 10
271: 'Volt'+r7)r7
272: next I
273: r7/10/1000}r29
274: cll 'D/A2'(1000r29'TemR'(r14+'Clock'r15))
275: if Z[I]<r46;cfg 2,3,4
276: if Z[I]>=r46 and Z[I]<r47;sfq 2;cfg 3,4
277: if Z[I]>=r47 and Z[I]<r48;sfq 3;cfg 2,4
278: if Z[I]>=r48;sfq 4;cfg 2,3
279: cll 'Scan'(8);wait 30000
280: 0}r1}r2}r3
281: for I=1 to 5
282: 0}r8
283: for J=1 to 10
284: 'Volt'+r8)r8
285: next J
286: wait (r1+15000)/2;wait (r1+15000)/2;r1+4000}r1
287: 'Tem2'(r8/10/r29)}Z[I];Z[I+r2}r2;1}W
288: fxd 5;dsp "Shieldtemp.=" ,Z[I],"K"
289: next I
290: for I=1 to 5
291: (Z[I]-r2/5)^2+r3)r3
292: next I
293: if \ (r3/4)<=r53;prt "Snld.gerec";spc ;qto "B"
294: qto -14
295:
296: "SnTem":
```

297: cll 'Scan'(7);0)r7)r8

298: for I=1 to 5

299: 'Volt'+r7)r7

300: next I

301: cll 'Scan'(8)

302: for I=1 to 5

303: 'Volt'+r8)r8

304: next I

305: 'Tem2'(r8/5/(r7/5/1e3))r26

306: ret

307:

308: "Tem1":

309: for Y=1 to L

310: if p1<=S[Y] and p1>=S[Y+1];goto +3

311: next Y

312: dsp "Datenpunkt nicht in Tem1";stp

313: if V=0;Y)r21

314: 0)p9

315: if T=1;goto +2

316: if T=2;goto +5

317: for J=1 to Q+1

318: C1(Q+1)(r21-1)+J1log(p1)^(J-1)+p9)p9

319: next J

320: ret 10^p9

321: for J=1 to Q+1

322: C1(Q+1)(r21-1)+J1p1^(J-1)+p9)p9

323: next J

324: ret 1p9

325:

326: "Tem2":

327: if W=1;goto +5

328: for M=1 to P

329: if p1<=G[M] and p1>=G[M+1];M)r31;goto +3

\*27407

```
330: next M
331: dsp "Datenpunkt nicht in Tem2";stp
332: 0}p9
333: if U=1;gto +2
334: if U=2;gto +5
335: for N=1 to R+1
336: H1(R+1)(r31-1)+N1ln(p1)^(N-1)+p9}p9
337: next N
338: ret 1/p9
339: for B=1 to R+1
340: H1(R+1)(r31-1)+B1p1^(B-1)+p9}p9
341: next B
342: ret 1p9
343:
344: "TemR":
345: if W=1;gto +5
346: for I=1 to G
347: if p1>=1[I] and p1<=1[I+1];I}r30;gto +3
348: next I
349: dsp "Datenpkt nicht in TemR";stp
350: 0}p9
351: if U=1;gto +2
352: if U=2;gto +5
353: for J=1 to H+1
354: J1(H+1)(r30-1)+J1(1/p1)^(J-1)+p9}p9
355: next J
356: ret exp(p9)
357: for J=1 to H+1
358: J1(H+1)(r30-1)+J1p1^(J-1)+p9}p9
359: next J
360: ret 1p9
361:
362: "UTh":
*10976
```

363: dsp "Thermospannung"

364: cli 'Volt1'(p1);X)r10

365: cli 'Scan'(3)

366: ret

367:

368: "Volt":

369: rem 7;wrt 722,"B;F=>>";red 722,p4

370: ret lp4

371:

372: "Volt1":

373: 0)r1)X;cli 'Scan'(p1)

374: for N=1 to 10

375: 'Volt')X[N];X[N]+X)X

376: next N

377: N-1)N;X/N)X;cli 'Del'(p1);ret

378:

379: "A":

380: cli 'Const';qsb "Enter"

381:

382: "B":

383: 0)V;sfq 1;cli 'Clock1'

384: if flq5=0;cli 'UTh'(5)

385: cli 'lTh'(4)

386: cli 'Delay';cli 'Drift';cli 'ShTem';cli 'Ausw';cli 'Heiz';cfq 1

387:

388: "C":

389: cli 'Clock1';cli 'Delay'

390: if flq5=0;cli 'UTh'(5)

391: cli 'lTh'(4);cli 'Drift';cli 'ShTem';cli 'Ausw';cli 'Shield'

392: cli 'Heiz1';cli 'Heiz'

393: goto "C"

394:

395: "Q":

\*9519

396: ent "Artronixspannung",r1;c11 'D/A2'(r1);qto -0

397:

398: "N":

399: ent "Probentherm.Widerst.",r1;fxd 3;dsp 'Tem1'(r1);qto -0

400:

401: "S":

402: dsp "Experimentstop";prt "Experimentstop";spc ;c11 'D/A1'(1000);stp

\*12850