

KfK 4097  
Juni 1986

# **Meßwerterfassung und -verarbeitung für den Test supraleitender Spulen**

I. Donner, D. Fröhlich, W. Heep,  
U. Padligur, K. Rietzschel, G. Würz  
Hauptabteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Datenverarbeitung und Instrumentierung

KfK 4097

Meßwerterfassung und -verarbeitung für den Test  
supraleitender Spulen

I. Donner, D. Fröhlich, W. Heep,  
U. Padligur, K. Rietzschel, G. Würz

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Meßwerterfassung und -verarbeitung für den Test supraleitender Spulen

**Zusammenfassung:**

Der Bericht beschreibt Aufbau und Einsatzweise einer rechnergestützten Datenerfassungsanlage bei der Durchführung von Meßreihen an der Spulentestanlage TOSKA \*). Der Entwurf und die Funktionsweise spezieller CAMAC-Module zur Datenerfassung sowie Fragen der Meßtechnik werden erörtert. Außerdem erfolgt eine Funktionsbeschreibung speziell entwickelter Software wie des Programmsystems zur schritthaltenden Meßdatenbearbeitung sowie des Programmpakets zur graphischen Auswertung gespeicherter Meßdaten.

Data acquisition and processing for testing of superconducting coils

**Abstract:**

This document will describe the use of a computer controlled data acquisition system in performing measurements at the coil test facility TOSKA\*). The design and logic of special CAMAC data acquisition modules and questions of measuring techniques are discussed. Also the functional characteristics of special software developments like the program system for realtime processing of measuring data and the program package for graphics display of stored data are described.

\*) Toroidale Spulentesteinrichtung Karlsruhe

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung .....	1
2. Rechnerkomponenten .....	2
3. Meßwertauffassungssystem .....	3
3.1 Vielstellen-Meßanlage Hottinger .....	3
3.2 Einsatz von Transientenrecordern .....	5
3.3 Meßtechnik .....	6
4. Betriebssoftware .....	9
4.1 Betriebssystem .....	9
4.2 Anwendersoftware .....	10
4.2.1 Verwaltung der Steuerdaten .....	12
4.2.2 Durchführung einer Messung .....	15
4.3 Graphische Auswertung .....	17
5. Betriebserfahrungen .....	19
6. Ausblick .....	20
Literatur .....	21

## 1. Einleitung

Für die vom ITP im Gebäude 406 aufgebaute Spulentestanlage TOSKA (Toroidale Spulentesteinrichtung Karlsruhe) zur Erprobung großer supraleitender Toroidalfeldspulen (8T) wurde von HDI-2 im Rahmen des LCT-Projektes (Large Coil Task) in den Jahren 1981-1983 eine rechnergestützte Datenerfassungsanlage konzipiert, installiert und für den Versuchs-Betrieb übergeben, die den speziellen Problemen eines flexiblen Testbetriebes Rechnung trägt.

Ziel und Zweck des Einsatzes eines solchen Systems ist die Erfassung und Sicherung aller zur Beurteilung des Versuchsablaufes notwendigen Meßdaten am Testobjekt (LCT-Spule) und den kryotechnischen Versorgungseinrichtungen (Kälteanlagen usw.) während der Abkühl- und Aufwärmphase sowie während des Testbetriebs, wenn bei ca. 4,6 K, die Spule in einer Reihe von Versuchen mit einem Strom von ca. 10000A mehrfach auferregt und entladen wird.

Hinzu kommen klassische Aufgaben der Prozeßdatenverarbeitung, wie Datenkonvertierung in physikalische Einheiten, Echtzeitdarstellung von Meßwerten an Bildschirmen in der Meßwarte für den Experimentator und an den Kälteanlagen für die Operateure, Datensicherung und schritthaltende graphische Auswertung. Weiterhin ist ein rechnergesteuertes und -überwachtes Abkühlen und Aufwärmen durch Sollwertführung sowie eine Überwachung der Temperaturverteilung in Spule und Gehäuse erforderlich. Besondere Anforderungen an die Datenerfassung werden gestellt durch transiente Vorgänge, wie sie bei der Schnellauskopplung der im Testobjekt gespeicherten Energie auftreten. Dabei ist meßtechnisch zu berücksichtigen, daß die in den Spulenwicklungen induzierten Spannungen Werte zwischen einigen mV und bis 10KV annehmen können. Probleme der konventionellen Meßtechnik, der Steuer- und Regeltechnik sowie der Aufbau der gesamten Versuchsanlage werden hier nicht erläutert, sie sind in /1/ ausführlich behandelt worden. Das Projekt LCT selbst und die an ihm beteiligten Partner wurden bereits in /2/ vorgestellt.

## 2. Rechnerkomponenten

Aufgrund der beschränkten F+E-Mittel in den Jahren 1981/1982 zur Beschaffung der DV-spezifischen Komponenten für TOSKA wurde ein bei HDI-2 vorhandener Prozeß-Rechner vom Typ PDP-11/34 eingesetzt, der im Laufe des folgenden Jahres mit Plattenlaufwerken, druckenden Terminals und Bildschirmen aufgerüstet wurde. Als Schnittstelle zum Prozeß wurde das CAMAC-System mit einem Crate-Controller der Fa. DEC ausgewählt, das von der DEC Special Systems Group, München, nach Spezifikationen von HDI-2 gebaut wurde. Spezielle am Markt nicht erhältliche CAMAC-Module zur Ankopplung der Meßwert erfassungsanlage sowie einige Transientenrecorder-Module wurden in HDI-2 entwickelt. Um eine schritthalte Datenkonvertierung, Echtzeitdarstellungen sowie die Berechnung von kryotechnischen Größen, wie Massenströme, Heizleistungen, Enthalpien usw. zu gewährleisten, wurde das System durch ein Gleitkommarechenwerk ergänzt.

Da der Betriebszustand der gesamten Testeinrichtung auch außerhalb der normalen Dienstund Schichtzeit ständig überwacht werden mußte, wurde das Rechnersystem mit einem Modem ausgestattet, um die Daten den zur Rufbereitschaft eingeteilten Personen über Akustik-Koppler und Bildschirm auch zu Hause zur Kontrolle und Beurteilung zugänglich zu machen.

Zur sofortigen Beurteilung der registrierten Daten noch während der ablaufenden Versuchsphasen erhielt das System einen graphischen Anschluß in Form eines Tektronix 4014 Bildschirms mit Hard-Copy-Einrichtung 4631.

Nach Abschluß der sehr erfolgreichen Versuchsperioden, die sich über einen Zeitraum von 60 Tagen (15. März 1984 bis 15. Mai 1984) erstreckten, wurde das Rechnersystem über einen RJE-Anschluß mit den zentralen Rechenanlagen des Zentrums gekoppelt, um die dortigen Ressourcen, wie VERSATEC- und XYNETICS-Plotter, zur graphischen Aufbereitung der Ergebnisse sowie für Dokumentationszwecke zu nutzen.

Abb. 1 gibt einen Überblick über die Komponenten des bei TOSKA eingesetzten Rechnersystems, an das zur Zeit 8 Bildschirmterminals angeschlossen sind. Von zwei dieser Terminals wurde die Information über den Videoausgang wahlweise mit Koax-Umschalter direkt einem über dem Schaltpult angebrachten Industriemonitor zugeführt. Dieser war wie alle anderen Bildschirme wegen der zu erwartenden hohen Feldstärken in der Meßkabine von einer magnetischen Abschirmung umgeben.



### 3. Meßwerterfassungssystem

Abb. 2 zeigt die Konfiguration des Meßwerterfassungssystems. Der Datenaustausch zwischen den Modulen des CAMAC-Systems (Abb.3) und dem Rechner läuft über den CAMAC Single Crate Controller. Der Steuermodul für die Hottinger-Anlage sowie zwei Transientenrecorder vom Typ HDIMUX, das sind schnelle mikrorechner-gestützte ADC's, wurden von HDI entwickelt.

Die Erfassung von schnell veränderlichen Meßwerten, es handelt sich hier um Entladespannungen, erfolgt über die Transientenrecorder. Die in der Größenordnung von 2,5 KV auftretenden Spannungen werden über Logarithmische Verstärker und Lineare Abschwächer in den Meßbereich von 0 bis 10 V bzw.  $\pm 10$  V und  $\pm 5$  V gebracht.

Alle langsam veränderlichen Meßwerte wie Temperaturen, Wege, Kräfte, Dehnungen, Ströme, Magnetfelder und betriebsspezifische Daten wie Drücke, Durchflüsse u.ä., werden mittels der Hottinger-Vielstellen-Meßanlage erfaßt. Besondere Maßnahmen wie isolierte Stromversorgung und Einbau von Trennverstärkern erforderten diejenigen Fühler, die auf stromführenden Leitern aufgebracht sind (Spannung bis zu 2,5kV). Da in der Hottinger-Anlage keine Konstantstromquellen für die Versorgung von Widerstandsgebern vorhanden sind, war eine Entwicklung erforderlich, um die nahezu 200 Temperaturfühler (C220 und Pt100) kostengünstig mit Konstantstrom zu versorgen.

#### 3.1 Die Vielstellen-Meßanlage Hottinger

Hier handelt es sich um eine moderne Umschaltanlage für bis zu 1000 Meßstellen, die rechnergesteuert eingesetzt wird. In Form eines Steuerwortes wird für jede einzelne Meßstelle ein spezifisches Meßprogramm festgelegt, wobei von Meßstelle zu Meßstelle die Parameter Verstärkung, Brückenart, Meßverfahren und Meßdauer variieren können. Zu Prüfzwecken kann die automatisch ablaufende Datenübergabe bzw. Datenübernahme auf manuellen Betrieb umgeschaltet werden.

Gemessen wird in einer Brückenschaltung. Die Versorgung der Brücke kann sowohl mit Gleichspannung (DC) als auch mit Wechselspannung (Trägerfrequenzmeßtechnik TF), die für das Messen von Dehnungen (DMS) und Kräften von Bedeutung ist, erfolgen.

Mittels einer Reihe von Eingangsmodulen (Strom, Spannung, 10 mA, 10 V, 100 mV, etc.) ist auch die Erfassung von Meßwerten, die nicht aus der Hottinger-Anlage versorgt werden, möglich. Beim Messen im Handbetrieb können für jeden Meßwert (Kanal) Verstärkungsfaktoren eingegeben werden, die das Interpretieren der optisch angezeigten Meßwerte erleichtern.

Bei der Meßgeschwindigkeit kann zwischen 5 Messungen pro Sekunde (Normalbetrieb) und 250 Messungen pro Sekunde gewählt werden, wobei jedoch die kürzere Meßdauer einen Verlust an Genauigkeit um eine Zehnerpotenz mit sich bringt. Die Verstärkung ist in 2 Stufen einstellbar (Bereiche M1 und M2). Je nach Geberanordnung wird in Voll- oder Halbbrückenordnung gemessen, d. h. im Bedarfsfall wird eine interne Halbbrücke zugeschaltet, um die Brücke zu komplettieren.

Für den Anschluß der Hottinger-Anlage an den Rechner ist ein Interface, nachfolgend Steuermodul genannt, erforderlich. Dieser Steuermodul ist mit einem Steuerdatenspeicher und einem Meßdatenspeicher ausgestattet. Einmal zu Beginn einer Meßphase wird der Steuerdatenspeicher vom Rechner mit den Adressen und Meßparametern aller interessierenden Meßstellen geladen. Danach wird die zyklische Meßdatenerfassung eingeleitet, indem der Steuermodul die einzelnen Meßstellen abfragt und die Ergebnisse im Meßdatenspeicher ablegt. Die Reihenfolge von Abfrage und Speicherung richtet sich nach der Reihenfolge der zugehörigen Steuerdaten. Das Ende eines Hottinger-Meßzyklus wird dem Rechner per Interrupt mitgeteilt.

Der Steuermodul ist eine HDI-Entwicklung im Rahmen der CAMAC-Norm. Entsprechend den Möglichkeiten der Hottinger-Anlage ist der Modul für 1000 Meßstellen ausgelegt. Die Länge von Steuerdatenblock und Meßdatenblock kann zwischen 1 und 999 betragen. Das 18-Bit Steuerwort ist wie folgt aufgeteilt:

- 12 Bit Adresse (3 Dezimalstellen)
- 1 Bit Verstärkung (M1, M2)
- 1 Bit Brückenart (Halb, Voll)
- 2 Bit Meßverfahren (DC, TF...)
- 1 Bit Meßdauer (40ms, 4ms)
- 1 Bit Reserve

Darüber hinaus ist an der Hottinger-Anlage direkt noch ein Verstärkungsfaktor (K-Faktor) für jeden Meßwert einstellbar. Die für die Durchführung der einzelnen Messungen erforderlichen Signale erzeugt der Steuermodul.

Nach Umschaltung des Moduls kann mit der Hottinger-Anlage auch per Hand gemessen werden. In diesem Fall erfolgt die Bedienung direkt über die von Hottinger vorgesehenen Schalter. Durch geeignete Einstellung des K-Faktors wird erreicht, daß der physikalische Meßwert an der optischen Anzeige entweder in der richtigen Größenordnung oder zwecks besserer Auflösung als rundes Vielfaches dargestellt wird.

Hierzu zwei Beispiele aus dem Bereich der Temperatur-Messung: Der Kohlefühler C220 hat bei Zimmertemperatur einen Widerstand von rund 220 Ohm. Gespeist mit 10  $\mu$ A liefert er eine Meßspannung von 2,2 mV. Im Meßbereich M2 erhält man eine Anzeige von 220. Die Anzeige entspricht dem Widerstandswert. Der Platinfühler Pt100 hat bei 0°C einen Widerstand von 100 Ohm. Gespeist mit 0,1 mA liefert er eine Meßspannung von 10 mV. Mit einem eingestellten K-Faktor von 2,5 erhält man im Meßbereich M1 eine Anzeige von 10000, i.e. das Hundertfache des Widerstandswerts.

### 3.2 Einsatz von Transientenrecordern

Zum Messen der nur sehr kurzzeitig auftretenden hohen Entladungsspannungen werden Abschwächer mit Potentialtrennung und Transientenrecorder eingesetzt. Die Zeitkonstanten der Spannungsverläufe liegen in den Größenordnungen von  $\mu$ s und ms.

Zum Aufzeichnen der schnellen Vorgänge wird der CAMAC-Multiplexer 8210 der Fa. LeCroy verwendet, ausgerüstet mit einem Speichermodul vom Typ 8200/10 mit einer Speicherkapazität von 32K Wörtern à 10 Bit. Die Messung kann an bis zu 4 Kanälen (in den Stufen 1,2,4) erfolgen, wobei der Speicherraum zu gleichen Teilen unter die aktiven Kanäle aufgeteilt wird. Die Abfrage erfolgt an allen Kanälen gleichzeitig, die höchstmögliche Abfragefrequenz beträgt 1MHz.

An der Frontplatte sind folgende Parameter einstellbar:

- Anzahl der belegten Kanäle
- Anzahl der Abfragen nach Stop-Trigger
- Abfragefrequenz des internen Taktgebers (Bereich 10KHz bis 1MHz oder Umschaltung auf externen Taktgeber)
- Abfragefrequenz des externen Taktgebers (Bereich 0 bis 1MHz)

Die Meßkurve eines wählbaren Kanals kann nach dem Ende der Messung auf einen Oszillographenschirm ausgegeben werden.

Zum Messen der Verläufe mit ms-Zeitkonstanten wurden von HDI mikrorechnergestützte Rekorder (HDI/MUX) entwickelt. Jeder Modul ist ausgestattet mit einem Speicher von 5,5K 16-Bit Worten, der zu gleichen Teilen von den aktiven Kanälen belegt wird. Pro Modul können bis zu 8 Meßstellen (Kanäle) erfaßt werden, die Meßbedingungen werden vor Beginn der Messung per Programm in Steuerregister geladen. Folgende Parameter sind einstellbar:

- Anzahl der Meßstellen
- Anzahl der Meßzyklen nach Stop-Trigger
- Meßzyklusdauer in Vielfachen von 100  $\mu$ sec
- Meßstellenadressen
- Meßbereich pro Meßstelle  
(-100 mV, -1 V, +100 mV, +1 V, +10 V)

### 3.3 Meßtechnik

In diesem Abschnitt sollen einige für die Anlage typische Techniken vorgestellt werden.

#### **Temperaturmessung**

Da die Einzelversorgung von 200 Temperaturfühlern mit dem benötigten Konstantstrom über 200 Konstantstromquellen zu aufwendig gewesen wäre und im Hottinger-Multiplexer keine Stromquellen vorhanden waren, wurde zur Versorgung der Temperaturfühler aus der  $\pm 2,5$  V-Multiplexerspannung ein quasi eingepprägter Strom erzeugt. Die Schaltung in Abb. 6 zeigt, daß dies durch relativ hohe Widerstände erreicht wird. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen den Verlauf der Fehlerkurven für Pt100 und C220 aufgrund der Stromabhängigkeit vom Meßwert. Im interessierenden Bereich wird

die geforderte Meßgenauigkeit von 0,1K eingehalten. Zu erkennen ist, daß der Fehler beim C220-Fühler im interessierenden Bereich (oberhalb 3,5K) unter 0,05K liegt. Der Fehler, der beim Pt100 entsteht, liegt immer unter 0,15K.

Die Temperaturmeßstellen sind doppelt bestückt mit jeweils einem C220-Fühler und einem Pt-Fühler. Wegen der hohen Auflösung wird bei niederen Temperaturen unter 20K der C220-Meßwert verwendet, bei höheren Temperaturen ist der Pt-Wert besser. Abb. 6 ist zu entnehmen, daß die Meßwerte symmetrisch zur Erde liegen. Dieser Umstand wirkt sich günstig auf die Unterdrückung von Störungen aus. Da wegen der Fühlererwärmung und der Kühlverluste (die Betriebstemperatur liegt bei 4K) die Konstantströme nicht größer als  $10\mu\text{ A}$  bzw. 0,1 mA sein dürfen, ergeben sich sehr niedrige Meßsignale.

### **Wegaufnehmer**

Zur Messung von Verschiebungen zwischen Spule und Gehäuse sind potentiometrische Wegaufnehmer eingebaut, die in der Schaltung nach Abb. 7 betrieben werden. Eine hochstabile Spannungsquelle versorgt eine Reihe von Abschwächern, die die Versorgungsspannung von 100 mV für die Potentiometer liefern. 100 mV entsprechen der maximalen Eingangsspannung der hier eingesetzten Hottinger-Module.

### **Messen der Dehnung**

Ein wichtiger Entscheidungsgrund für die Beschaffung der Hottinger-Anlage war ihre ausgefeilte Trägerfrequenzmeßtechnik, die sich wegen ihrer Störunanfälligkeit für das exakte Messen von Dehnungen besser eignet als DC-Meßverfahren. Schließlich handelt es sich bei der Dehnungsmessung immer nur um sehr kleine Signale.

Die Dehnung ist  $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$ , das ist das Verhältnis einer Längenänderung ( $\Delta L$ ) zur Bezugslänge ( $L_0$ ).  $\epsilon$  wird in  $\frac{\mu\text{m}}{\text{m}}$  gemessen. Der bei der Dehnungsmessung verwendete Dehnungsmeßstreifen liefert bei Beanspruchung eine Widerstandsänderung  $\Delta R$ .

$\frac{\Delta R}{R_0}$  ist proportional zu  $\frac{\Delta L}{L_0}$ , wobei  $R_0$  der Widerstandswert des DMS ist. Es gilt:

$$\epsilon \sim \frac{\Delta R}{R_0}; \quad \epsilon \cdot K = \frac{\Delta R}{R_0}; \quad K = \frac{\Delta R/R_0}{\epsilon}$$

$K$  ist die Kenngröße des DMS und liegt bei etwa 2. Die  $K$ -Faktoren sind vom Hersteller angegeben und bei der Meßtechnik zu berücksichtigen.

In der Meßbrücke erhält man

$$\frac{\Delta R}{R_0} \sim \frac{U_A}{U_E} \quad \begin{array}{l} U_A = \text{Brückenausgangsspannung} \\ U_E = \text{Brückenspeisespannung} \end{array}$$

Damit wird  $\epsilon$  meßbar.

Aus der Dehnung kann man die Materialspannungen berechnen. Solange das Hooke'sche Gesetz gilt, ist die mechanische Spannung

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$F$  = Kraft

$A$  = Querschnittsfläche

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

$E$  = Elastizitätsmodul

## 4. Betriebssoftware

### 4.1 Betriebssystem

Die oben genannten Anforderungen an ein DV-System verlangen nach einem Betriebssystem mit Eigenschaften wie prioritätsgesteuerte Bearbeitung mehrerer Prozesse in Echtzeit, Reaktion auf signifikante Ereignisse und Mehrbenutzerfähigkeit. Ausgewählt wurde das für PDP-11 Anlagen mit vorwiegendem Einsatz in der Prozeßdatenverarbeitung am weitesten verbreitete, plattenorientierte Mehrbenutzer-Betriebssystem RSX-11M in der Version 3.2. Mit diesem System können Programmentwicklungs- und Testarbeiten parallel zur Ausführung von Realtime-Operationen durchgeführt werden.

Die Möglichkeit der Systemgenerierung erlaubt die optimale Anpassung an die ausgewählte Rechner- und Prozeßperipherie. Für den in der PDP-11/34 vorhandenen Hauptspeicherausbau von 256 KB und die KT-11 Memory-Management-Einheit wurde ein 'Mapped System' für maximal 10 Terminalanschlüsse, je 2 Plattenlaufwerke vom Typ RL02 und RK05 sowie für ein Doppel-Floppy-Laufwerk generiert. Bei der Systemgenerierung kann der Benutzer unter drei verschiedenen File-Kontroll-Systemen auswählen, die sich durch Größe, Komfort und Geschwindigkeit unterscheiden. Das RSX-11M File System erlaubt den sequentiellen und direkten Zugriff auf Dateien, einen individuellen Datenschutz für Files sowie geräteunabhängige I/O-Instruktionen. Die Benutzung von Indirect Command Files läßt eine Art Batch-Betrieb zu. Der Indirect Command File Prozessor kann parallel zu der Bearbeitung von Realtime Tasks arbeiten.

Folgende drei wichtige Eigenschaften des System werden beim Einsatz in TOSKA ausgenutzt:

**Checkpointing** - erlaubt bei dem nicht weiter ausbaubaren Hauptspeicher von 256 KB in einer PDP-11/34 weniger wichtige Tasks temporär aus dem Speicher - ohne Informationsverlust - auszulagern, damit Tasks höherer Priorität gestartet werden können. Realtime-Tasks, die besonders schnell starten sollen, wird man zweckmäßigerweise resident in eine Partition des Hauptspeichers installieren.

**Prioritätssteuerung** - jeder Task kann eine Prioritätsziffer (von 1 bis 250) zugeordnet werden, welche die Reihenfolge, in der Tasks bearbeitet werden, festlegt. Die Vergabe von Prioritäten erfordert genaue Kenntnis nicht nur der Anwender-, sondern auch der Systemtasks.

**Signifikante Ereignisse** - unter RSX-11M wird jede Task vom Prozessor solange bearbeitet, bis ein signifikantes Ereignis eintritt. Daraufhin sucht die Executive des Betriebssystems die Task mit der höchsten Priorität in der Liste der Tasks, die auf den Prozessor warten.

Als höhere Sprache wurden für den größten Teil der Programme FORTRAN gewählt, das zeitkritische Steuer- und Kontrollprogramm TOS für die Durchführung von Messungen wurde in Macro-Assembler programmiert.

## 4.2 Anwendersoftware

Bei der Versuchsanordnung TOSKA/LCT sind die Daten von circa 400 Meßfühlern zu erfassen und auszuwerten. Die Umrechnung der Rohdaten in physikalische Meßwerte erfolgt mittels meßfühlerspezifischer Umrechnungsfunktionen unter Berücksichtigung typspezifischer Eichfaktoren und Kennlinien. Die aus Meßstellenkombinationen ermittelten Massenströme und Heizleistungen werden als zusätzliche 'virtuelle' Meßstellen behandelt.

Bei der Versuchsdurchführung gibt es verschiedene Betriebsarten mit teilweise unterschiedlichen Anforderungen bezüglich der Zahl der Meßstellen und der Erfassungszeiten:

- . Abkühlen / Aufwärmen
- . Stationärer Betrieb
- . Experimenteller Betrieb (Auferregung, Entladung)

Während des Abkühlens von Zimmertemperatur auf 4K werden u.a. Widerstandsmessungen und Dichtheitsprüfungen durchgeführt. Die Hottinger-Meßdaten werden im Modus 'Messung HOTN', d.h. normale Kanalbelegung mit maximal 400 Meßstellen, erfaßt. Die Rohdaten werden, blockweise nach Hottinger-Zyklen sortiert, in physikali-



sche Meßwerte umgerechnet und in Intervallen von mehreren Minuten auf Platte archiviert. Der Benutzer kann den Abkühlvorgang über Life Display und automatisches Datenprotokoll kontrollieren und bei Bedarf eine Temperatursollwertführung veranlassen.

Die Messungen während des Kühllhaltens der Spule im stationären Betrieb dienen u.a. der Ermittlung thermischer Verluste bei der Spule und der Stromzuführung sowie der Untersuchung des Kühlkreisverhaltens. Abgesehen vom Wegfall der Sollwertführung ist der Ablauf der Meßdatenverarbeitung identisch zur Abkühlphase.

Im experimentellen Betrieb, wenn die Spule unter Strom gesetzt ist, wird die Funktionfähigkeit von Schaltern, Stromzuführung und Quenchdetektionssystem geprüft. Während der Auferregungsphase werden die Hottingerdaten zunächst im Modus HOTN erfaßt, umgerechnet und archiviert. Parallel dazu läuft die Erfassung der Transientendaten. Bei Entladung erzeugt der Quenchindikator den Experiment-Interrupt, der bei den Transientenrecordern die Post-Trigger-Messung einleitet. Die Erfassung der Hottingerdaten wird umgestellt auf den schnellen Modus "Messung HOTR", d.h. Messung mit reduzierter Kanalzahl (maximal 30 Meßstellen). Um Zeitverluste durch Umrechnung zu vermeiden, werden die HOTR-Daten als Rohdaten auf Platte archiviert. Nach Ablauf der zeitlich befristeten Messung HOTR, die Laufzeit bestimmt der Benutzer zu Beginn der Versuchsphase, werden die Datenspeicher der Transientenrecorder ausgelesen und auf Platte archiviert.

Um die Möglichkeiten des Multitasking zu nutzen, wurde die Anwendersoftware in Form eines Programmsystems konzipiert, das sich in die Anwendungsbereiche Steuerdatenverwaltung, Durchführung von Messungen und graphische Auswertung untergliedert. Nach dem Prinzip der Aufgabenteilung werden alle anfallenden Arbeiten von eigenständigen Tasks, die unabhängig voneinander und parallel zueinander ablaufen können, ausgeführt. Das bedeutet in der Praxis, daß ein Benutzer während der laufenden Messung die Meßfühlerauswahl für die nächste Versuchsphase vorbereiten oder die Meßdaten einer vorhergehenden Messung auswerten kann. Die modulare Struktur der Anwendersoftware hat den weiteren Vorzug, daß ohne Beeinträchtigung des Meßbetriebs einzelne Programmkomponenten geändert, angefügt oder getestet werden können. Eine ausführliche Beschreibung der Anwendersoftware ist in /3/ gegeben.

#### 4.2.1 Verwaltung der Steuerdaten

Aufgrund der zahlreichen Meßfühlertypen mit unterschiedlichen Meßbedingungen und Umrechnungsfunktionen ist der Verwaltungsaufwand für Steuerdaten erheblich. Bei der Zusammenstellung der verschiedenen Steuerdatenlisten wird der Benutzer durch spezielle Tasks unterstützt, die durch den Einsatz von Menütechnik und Bildschirmmasken ein hohes Maß an Bedienungskomfort bieten. Durch Formatkontrollen und Plausibilitätsprüfungen werden Eingabefehler weitgehend unterbunden.

Die zentrale Datenbasis für Erfassung und Auswertung bildet die Meßstellenspezifikationsliste (MSL) für die Hottinger-Anlage, sie enthält für jeden angeschlossenen Fühler sämtliche für ihn relevanten Daten, die für die Messung, Umrechnung und Prozeßüberwachung benötigt werden. Tabelle 1 zeigt auszugsweise den Aufbau der MSL. Eine weitere Liste ist angelegt für die an die Transientenrecorder angeschlossenen Fühler. Die Einträge in den Meßstellenspezifikationslisten sind für die gesamte Versuchsdauer gültig, daher gibt es nur eine aktuelle Version dieser Listen. Der Benutzer kann, programmgeführt per Bildschirm, die aktuellen Listen einsehen, eine Ausgabe auf Drucker veranlassen, Meßfühler anfügen oder streichen sowie die Spezifikationen einzelner Meßfühler modifizieren.

In den Kanalbelegungslisten (KBL) stellt der Anwender aus der Gesamtheit der vorhandenen die für eine bestimmte Versuchsphase geeigneten Meßsonden in der Reihenfolge zusammen, in der sie zu messen sind. Es gibt drei Arten von Kanalbelegungslisten:

- für Hottinger-Messungen mit normaler Kanalzahl
- für Hottinger-Messungen mit reduzierter Kanalzahl
- für die Transientendatenerfassung

Von den Hottinger-Kanalbelegungen können jeweils mehrere Versionen angelegt werden, beim Start der Messung wird die Nummer der aktuellen Version festgelegt. Bei der Neuerstellung einer KBL hat der Benutzer zwei Möglichkeiten; er kann sequentiell die MSL durchgehen und durch Ja-/Nein-Entscheidung die gewünschten Meßfühler selektieren oder er kann eine bereits vorhandene KBL als Vorlage nehmen.

Die Massenstromdatei enthält die Vorgaben für die Massenstromberechnung. Für jeden Massenstrom ist die Angabe einer Meßstellenkombination (Temperatur, Druck, Differenzdruck) und einer zugehörigen Blende (Rohrdurchmesser, Blendendurchmesser erforderlich). Die Heizleistungsdatei nennt für jede zu berechnende Heizleistung eine Meßstellenkombination (2 Temperaturen, 2 Drücke) und den zugehörigen Massenstrom.

MESSSTELLENSPEZIFIKATIONSLISTE

ERSTER EINTRAG: 05-NOV-81 15:08

=====  
(FORTSETZUNG)

LETZTER EINTRAG /

LETZTE ÄNDERUNG: 02-APR-84 18:23

ANZAHL DER SÄTZE: 308

MESSST. BEZEICHN.	KA- NAL	IN- DEX	MESS BER.	BRÜ CKE	VER- ST.	MESS ZEIT	HSP. MESS	UMR. FKT.	PARAM.A /FAKTOR	PARAM. B	KOEFF. DATEI	EIN- HEIT	IN SPULE	DOPP.	ALARMGRENZE UNTEN / OBEN		FEHLER 1 2	
PR100	200	0	2	V	DC	40	N	4	2.451	5.000		Bar	N	N	0.00	20.00	11	12
FR100	201	0	2	V	DC	40	N	4	24.510	-50.000		mBar	N	N	0.00	200.00	21	22
PR140	202	0	2	V	DC	40	N	4	2.451	-5.000		Bar	N	N	0.00	20.00	11	12
FR140	203	0	2	V	DC	40	N	4	24.510	-50.000		mBar	N	N	0.00	200.00	21	22
LRC2500	204	0	2	V	DC	40	N	4	6.127	-12.500		cm	N	N	0.00	50.00	41	42
LRC250M	205	0	2	V	DC	40	N	4	6.127	-12.500		cm	N	N	0.00	50.00	41	42
LRC250U	206	0	2	V	DC	40	N	4	6.127	-12.500		cm	N	N	0.00	50.00	41	42
FR250	207	0	2	V	DC	40	N	4	61.275	-125.000		mBar	N	N	0.00	500.00	21	22
PRCS260	208	0	2	V	DC	40	N	4	2.451	-5.000		Bar	N	N	0.00	20.00	11	12
PRMK002	209	0	2	V	DC	40	N	4	1.000	0.000		V	N	N	0.00	12.00	11	12
FRC211	210	0	2	V	DC	40	N	4	61.275	-125.000		mBar	N	N	0.00	500.00	21	22
FR201	211	0	2	V	DC	40	N	4	36.765	-75.000		mBar	N	N	0.00	300.00	21	22
PRCS251	212	0	2	V	DC	40	N	4	1.225	-2.500		Bar	N	N	0.00	11.00	11	15
TRC320PT	213	0	2	V	DC	40	N	4	24.510	23.000		K	J	N	0.00	320.00	31	32
SRC260	214	0	2	V	DC	40	N	4	30.000	0.000		U/mi	N	N	0.00	300.00	70	80
SRC261	215	0	2	V	DC	40	N	4	30.000	0.000		U/mi	N	N	0.00	300.00	70	80
LRC801	216	0	2	V	DC	40	N	4	6.127	-12.500		cm	N	N	0.00	45.00	1	2
LRC811	217	0	2	V	DC	40	N	4	6.127	-12.500		cm	N	N	0.00	45.00	1	2
TRC801PT	218	0	2	V	DC	40	N	4	14.706	20.000		K	N	N	0.00	400.00	31	32
TRC811PT	219	0	2	V	DC	40	N	4	14.706	20.000		K	N	N	0.00	400.00	31	32

14

Tab.1 : Auszug aus der Meßstellenspezifikationsliste MSL

#### 4.2.2 Durchführung einer Messung

Die Abwicklung des Meßbetriebs wird von dem Steuerprogramm TOS geregelt, zu dessen wesentlichen Aufgaben die Steuerung der Meßwerterfassung, die Koordination der Verarbeitungstasks, die Fehler- und Alarmüberwachung sowie die Verwaltung des Betriebsstatus zählen. Als Steuerungskriterien dienen zum einen die vom Anwender einstellbaren Betriebsparameter und Programmschalter (siehe Tab.2) und zum anderen programmintern definierte Grenzwerte wie beispielsweise Timeout-Fristen. Durch geeignete Festlegung der Programmschalter kann der Benutzer den Steuerungsalgorithmus von TOS den speziellen Erfordernissen einer Versuchsphase anpassen. Mittels einer Dialog-Task kann er auch während der Messung steuernd eingreifen, indem er beispielsweise auf eine andere Kanalbelegung umschaltet oder die Grenzwerte der Sollwertführung modifiziert.

Zeitkritische, interruptgesteuerte Arbeiten wie die Erfassung der Meßdaten HOTN und HOTR, die Archivierung der HOTR-Rohdaten und die Erfassung der Transientendaten werden von TOS direkt ausgeführt. Für die schritthaltende Verarbeitung und Archivierung der Meßdaten im Modus HOTN stehen Offspring-Tasks zur Verfügung, die teils nach jedem Hottinger-Zyklus (Umrechnung, Massenstromberechnung und Life Display) und teils in regelmäßigen Zeitintervallen (Archivierung, Datenprotokoll) die in einer Shared Region zwischengespeicherten Meßdaten bearbeiten.

Die Grundlage für die Umrechnung der HOTN-Rohdaten in physikalische Meßdaten bildet ein binärer Steuerdatenextrakt aus der MSL, der nach Maßgabe durch die aktuelle KBL beim Start der Messung automatisch erzeugt wird. Die umgerechneten Daten werden einer Grenzwert- und Fehlerkontrolle unterzogen. Durch Vergleich aller Temperaturmeßwerte untereinander werden der jeweils kälteste und wärmste Ort der Versuchsanordnung ermittelt. Die größte Temperaturdifferenz dient als Entscheidungskriterium bei der Alarmüberwachung und der Temperatursollwertführung. Nach der Umrechnung wird, falls vom Benutzer gewünscht, die Berechnung der Massenströme und Heizleistungen, logisch ein abgetrennter Teil der Umrechnung, durchgeführt.

Die Zahl der auf Platte archivierten Datensätze wird bestimmt durch die vom Benutzer im Minutenbereich festgelegte Archivierungsrate. Es wird jeweils der neueste umgerechnete Datensatz einschließlich der Massenströme und Heizleistungen abgelegt.

Über die Druckrate wird festgelegt, in welchen Zeitabständen ein Meßdatenprotokoll ausgedruckt wird. Bei Bedarf kann der Benutzer durch direkten Aufruf der Drucktask weitere Datenprotokolle des jeweils aktuellen physikalischen Meßdatensatzes anfordern.

Nach jedem Hottinger-Zyklus werden die aktuellen physikalischen Daten per Life Display ausgegeben, solange mindestens ein Bild angemeldet ist. Als Bild wird hier die Anordnung der für Life Display ausgewählten Meßstellen in Reihen und Spalten bezeichnet, die der Benutzer zuvor mit dem Editor zusammengestellt hat. Bis zu vier Bildschirme können gleichzeitig mit verschiedenen Bildern beschickt werden.

Das Steuerprogramm führt am Systemterminal ein Betriebsprotokoll zum Verlauf der einzelnen Meßphasen. Eine als Betriebsstatus bezeichnete Sicherheitskopie der aktuellen Betriebsparameter auf Platte ermöglicht den reibungslosen Restart der Meßdatenerfassung nach Unterbrechungen.

Tab.2 : Betriebsstatus der Messung mit TOS		
Betriebsparameter	Programmschalter	
I Versuchsnummer	I Transientenmessung Ein/Aus	I
I Betriebsart	I Umrechnung Ein/Aus	I
I KBL-Nummer HOTN	I Massenstromberechnung Ein/Aus	I
I KBL-Nummer HOTR	I Temperatursollwertführung Ein/Aus	I
I Laufzeit HOTR	I Grenzwertüberwachung Ein/Aus	I
I Archivierungsrate HOTN	I Alarmüberwachung Ein/Aus	I
I Druckrate Datenprotokoll	I Archivierung Daten HOTN Ein/Aus	I
I Alarmdifferenz	I Archivierung Daten HOTR Ein/Aus	I
I Sollwertdifferenz	I Archivierung Daten Trans. Ein/Aus	I

### 4.3 Graphische Auswertung

Sobald die gemessenen Daten als Rohdaten oder umgewandelt in physikalische Einheiten auf der Platte archiviert sind, kann der Benutzer sie sich in Form von Diagrammen und Listen ansehen. In der Meßkabine befinden sich dafür druckende Terminals, Bildschirm-Terminals und ein graphikfähiges Terminal. An das Graphik-Terminal, einem TEKTRONIX 4014, ist eine Hardcopy-Einheit angeschlossen; somit erhält der Benutzer die Möglichkeit, seine graphischen Darstellungen sofort auf Papier zu bringen. Die Qualität dieser Darstellung genügt jedoch in keiner Weise den Anforderungen, die in Berichten oder sonstigen Veröffentlichungen an Graphiken gestellt werden. Deshalb sind als weitere Ausgabegeräte die Plotter der Großrechenanlage im HDI vorgesehen. Hier kann der Benutzer sich seine graphischen Darstellungen in verschiedenen Größen, in 5 unterschiedlichen Strichstärken oder mit 4 farbigen Stiften zeichnen lassen.

Der Benutzer kann also unter verschiedenen Ausgabegeräten wählen, zur Eingabe ist er jedoch auf einen Terminaltyp angewiesen: ein Bildschirm-Terminal, das den VT100-Mode emulieren kann. Hier ruft er das Anwendungsprogramm auf, das ihn über Menüsteuerung zum gewünschten Programm führt.

Die notwendigen Parametereingaben erfolgen über Bildschirm-Masken. Alle Masken enthalten bei ihrem Aufruf die Werte der letzten Sitzung; sie können übernommen oder geändert werden. Der Benutzer muß z.B. in eine Maske die Versuchsnummer eintragen, das gewünschte Zeitintervall und die Namen der darzustellenden Meßfühler. Er kann maximal 4 Namen angeben, mehr als 4 Kurvendarstellungen gleichzeitig würden der Übersichtlichkeit schaden. Da jedoch nicht mehr als zwei Ordinaten vorgesehen sind, müssen die Fühler so gewählt werden, daß höchstens zwei verschiedene Fühlertypen vorkommen. Der Darstellungszeitraum ist nicht begrenzt. Es ist möglich, eine Kurvendarstellung über die gesamte Versuchsdauer, also über mehrere Monate, zu erhalten. Übersteigt die Anzahl der Meßwerte die Zahl der vorgesehenen Darstellungspunkte, so wird nur jeder 2., 3. oder n-te Wert dargestellt. Die Skalierung der Ordinaten wird entweder automatisch dem Zahlenbereich der darzustellenden Daten angepaßt oder vom Benutzer beliebig eingegeben.

Hat sich der Benutzer für eine Darstellung als Funktion der Zeit entschieden, kann er die Beschriftung der Zeitachse als Uhrzeit, in Stundenangabe oder in Tagen haben. Bei der Darstellung einer oder zweier Größen als Funktion einer anderen Fühlergröße kann neben der Ordinate auch der Zahlenbereich der Abszisse beliebig gewählt werden.

Neben der graphischen Darstellung einer oder mehrerer Größen in Kurven, die immer physikalische Werte zeigen, kann der Benutzer den gleichen Datenbereich numerisch in Tabellen auf einem druckenden Terminal ausgeben. Liegen die Daten als Rohwerte auf der Platte vor, kann er sowohl die Rohwerte als auch die physikalischen Werte listen lassen.

Einer ausgewählten Darstellung kann als Ausgabegerät "Plotter" zugewiesen werden. Diese Daten werden nicht sofort zu einem Plotter der Großrechenanlage übertragen, sondern erst auf einem separaten Datenträger gesammelt. Ein Programm des Hauptmenüs stellt die Steuerkarten mit den gewünschten Parametern zusammen und überträgt sie zusammen mit den gesammelten Daten zur Großrechenanlage und veranlaßt dort den Start der Plotprogramme. Die Abbildungen 8 - 10 zeigen Beispiele von Plot-Ausgaben.

Zwei Programme des Hauptmenüs sind dafür vorgesehen, noch während der Meßwerterfassung gestartet zu werden: beide geben die zuletzt erfaßten Temperaturen und Durchflüsse im Gehäuse und an der Wicklung auf einer schematischen Abbildung der Spule (siehe Abbildungen 11 und 12) an.



## 5. Betriebserfahrungen

Noch während des Aufbaus des Systems konnte der betriebsfähige Datenerfassungsteil mit der Hottinger-Anlage zur Abnahme der nach und nach angelieferten und installierten kryotechnischen Komponenten (Vakuum-Behälter, Kälteschild, Kryostat usw.) eingesetzt werden. Obwohl Ende 1983 die LCT-Spule noch nicht voll in die Testanlage integriert war, wurde das Rechnersystem zur Erfassung der von den Versorgungseinrichtungen gelieferten Daten erstmals einer längeren Betriebsphase ausgesetzt. In diesem Zeitraum wurde die Sollwertführung für die Spulen-Eintrittstemperatur (TRC320) simuliert und der Algorithmus verbessert. Außerdem wurden die CAMAC-Module zur Registrierung der transienten Vorgänge intensiv getestet.

Mit dem Abschluß der Arbeiten an Instrumentierung und Verkabelung der spulenspezifischen Sensoren begann am 15.3.1984 die Testperiode, die in einem Zeitraum von nur 60 Tagen erfolgreich durchgezogen werden konnte.

Der Temperaturverlauf in Wicklung und Gehäuse der Spule während der Abkühlung, des Testbetriebes und der Aufwärmung ist in den Abbildungen 11 und 12 dargestellt.

Der Einsatz des bewährten Betriebssystems RSX-11M, eine stabile Hardware, an der in den letzten 12 Monaten vor dem Test keine Veränderungen vorgenommen wurden, eine schrittweise Integration der Anwendersoftware in das System sowie eine den Aufbau des Systems von Anfang an begleitende Mannschaft haben letztlich zu dem erfolgreichen Abschluß der Arbeiten geführt.

Während der Entwicklungsarbeiten in den Jahren 1982/1983 insbesondere bei der Erstellung, Erweiterung und Änderung der Kabel- und Verdrahtungspläne sowie der Belegungslisten wäre der Einsatz eines CAD/CAM-Systems von großer Hilfe gewesen.

## 6. Ausblick

Das EURATOM-Fusionsprogramm der nächsten Jahre bis 1990 sieht vor, die gegenwärtige Testanlage TOSKA auszubauen und als eine europäische Testeinrichtung für die Tests von NET-Toruspulen zu nutzen, wobei die beiden europäischen LCT-Spulen (D und CH) das Hintergrundfeld einer Clusteranordnung liefern sollen. Bereits Ende 1986 soll TOSKA für den Test einer zur Zeit in der Entwicklung befindlichen Poloidalfeldspule wieder im größeren Maßstab eingesetzt werden. Der hierfür konzipierte Leiter (ca. 200m davon) sowie eine andere Art der Kühlung werden in dem im August 1985 beginnenden Zwei-Phasen-Experiment in TOSKA untersucht.

Für die Ende der 80iger Jahre geplanten Groß-Experimente sind die jetzt installierte Datenerfassungsanlage sowie das Rechnersystem sicherlich überfordert. In dem von HDI-2 ausgearbeiteten Konzept für ein erweitertes DV-System auf der Basis eines verteilten Systems ist als zentraler Rechner eine VAX-11/750 mit 8 MB Hauptspeicher vorgesehen, an den die oben beschriebene Anlage mit einer auf 1000 Kanäle ausgebauten Datenerfassung über DECnet gekoppelt ist. Das alte Prozeß-Rechnersystem bleibt der EURATOM-Spule zugeordnet, während für die CH-Spule sowie für die Poloidalfeldspule andere rechnergestützte Erfassungssysteme vorgesehen sind. Im Konzept für dieses erweiterte System wurde dessen Einbeziehung in das zur Zeit bei HDI-2 im Aufbau befindliche LAN berücksichtigt.

Literaturhinweis

- /1/ P. Komarek, H. Krauth ITP  
Das Fusionsmagnetprojekt "Large Coil Task" (LCT)  
KfK-Nachrichten, S. 75 - 82 (2/82)
  
- /2/ A. Ulbricht ITP  
Unveröffentlichter Bericht Juli 1984
  
- /3/ K. Rietzschel, G. Würz HDI-2  
Unveröffentlichter Bericht Dezember 1984
  
- /4/ W. Hertz, H. Katheder, H. Kraut, G. Nöther u. a. ITP  
Unveröffentlichter Bericht Februar 1985
  
- /5/ W. Hertz, H. Katheder, H. Kraut u. a. ITP  
Unveröffentlichter Bericht September 1984
  
- /6/ K. Rietzschel, I. Donner Februar 1985  
Benutzer-Handbuch Nr. 44 der Display-Programme des  
TOSKA-Rechnersystems  
Kernforschungszentrum Karlsruhe

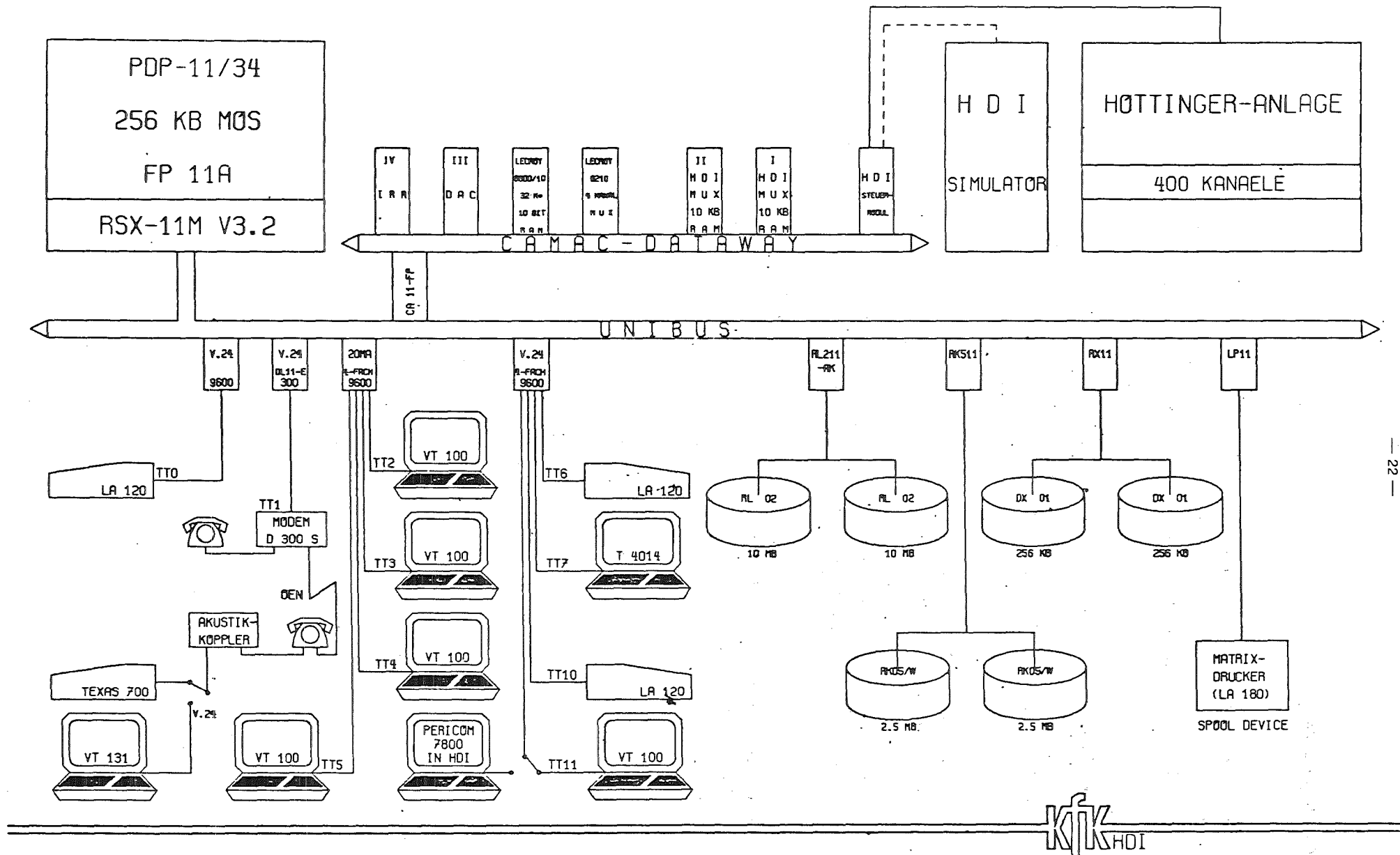


ABB.: 1 KONFIGURATION DV SYSTEM TOSKA

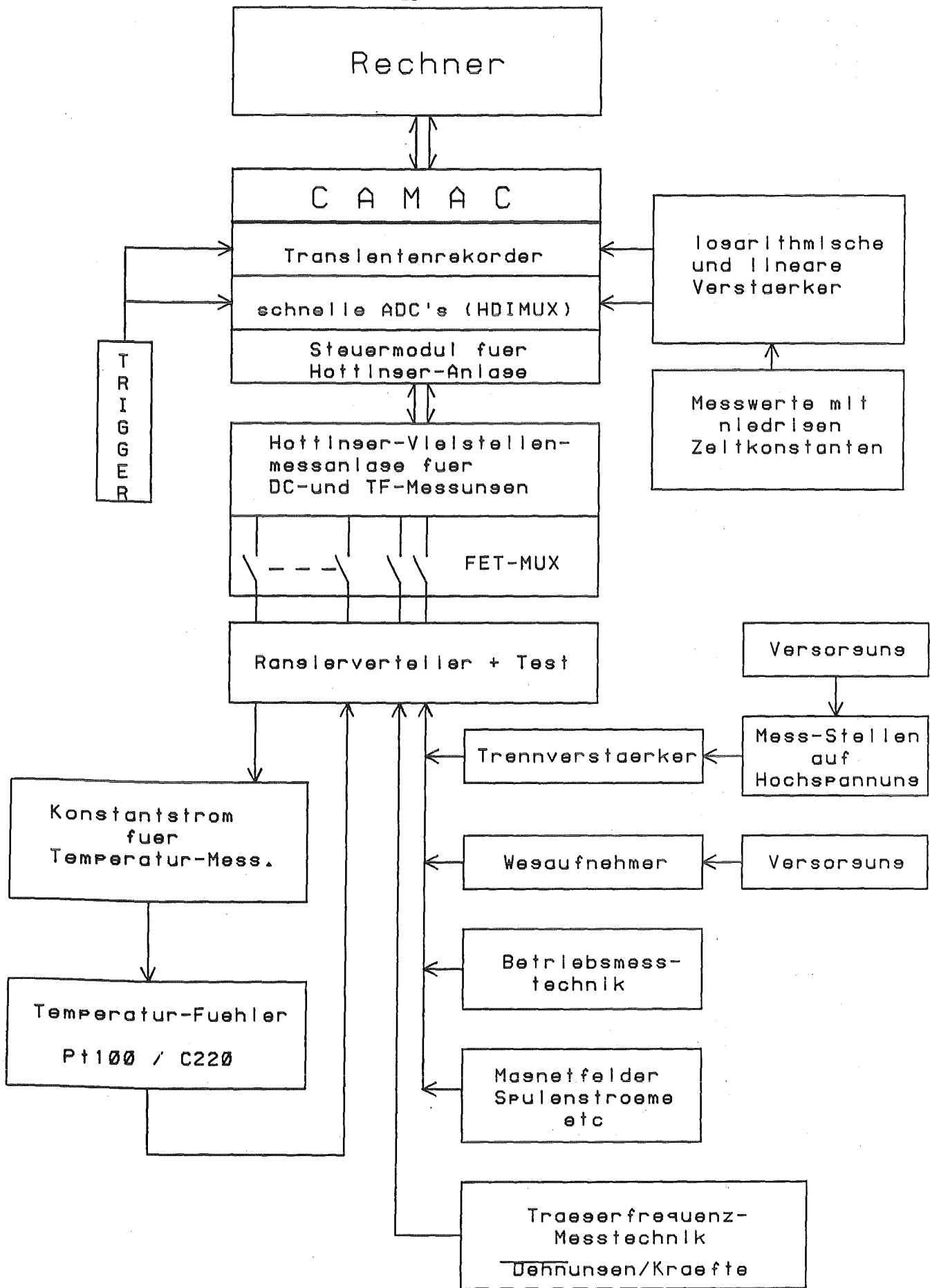


Abb. 2 : Die Messwertfassungsanlage

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
				IRR	DAC	Trenn- ver- stär- ker für DAC		HDIMUX ADC	52.37,3	HDIMUX ADC	52.37,3	V E R S T A R K E R	V E R S T A R K E R	S P E I C H E R 8 8 0 0 /10	Transienten- recorder 8210			Hottinger- Interface					CA11 F-P Crate- Control ler	
Reserve + Prüfmodule				NE	2 F D A C							reser- viert										für CA11 F-N reser- viert		
				N=5	N=6			N = 9		N = 11				N=15	N = 16			N = 21						
								N		N					N				N					

Abb.3 : LCT / CAMAC-Crate-Belegung

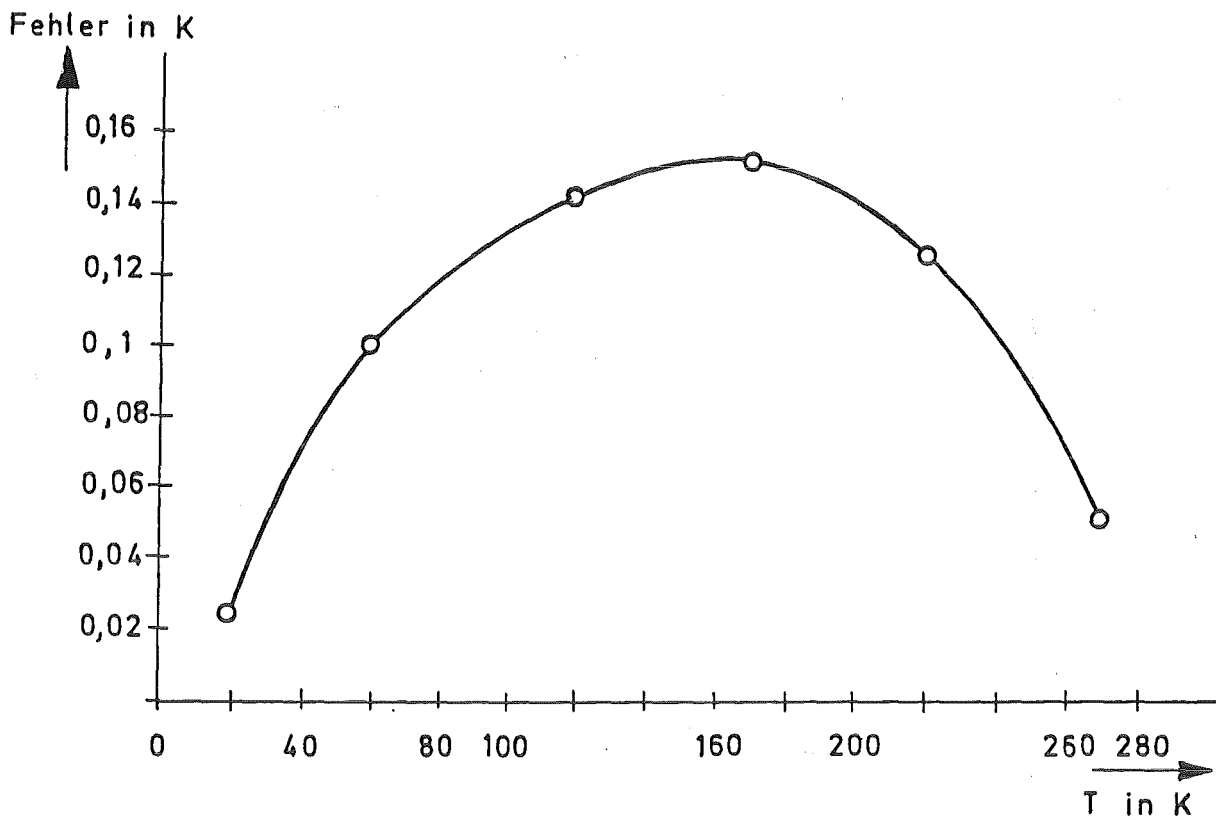


Abb. 4 Fehlerkurve für Pt100 infolge Strominkonstanz.

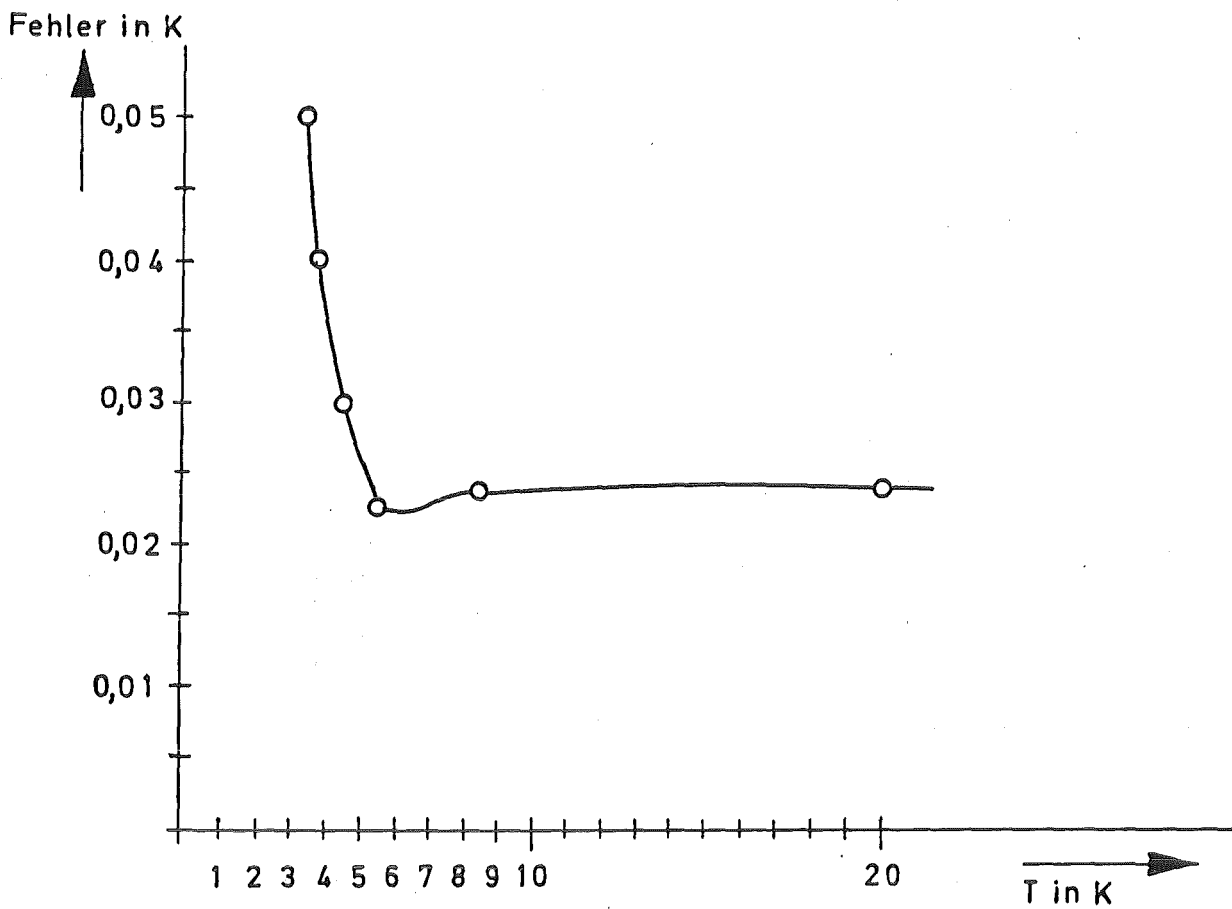
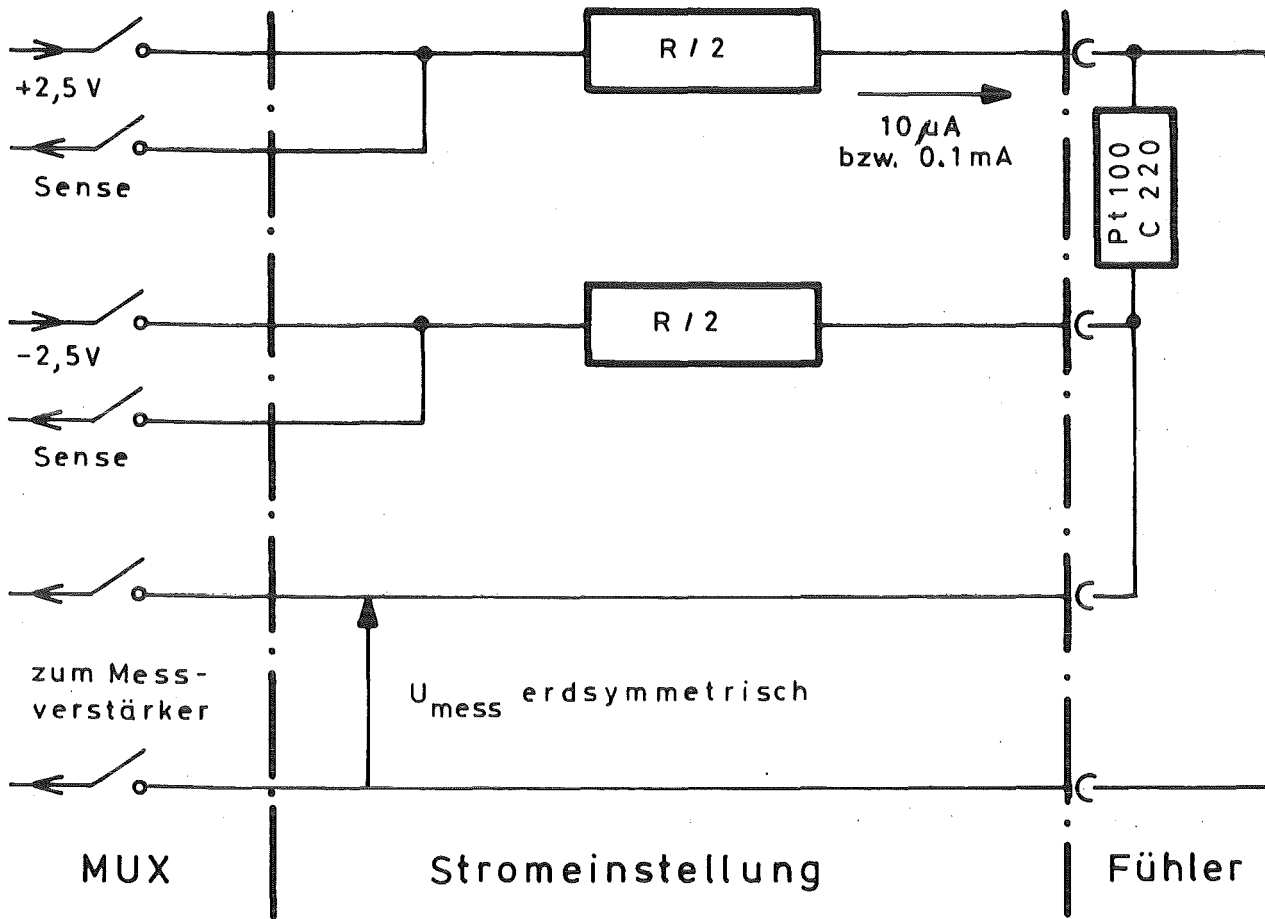


Abb. 5 Fehlerkurve für C220 infolge Strominkonstanz.



C 220 :  $2R = 5V / 10 \mu\text{A} = 500 \text{ K}\Omega \gg 1 \text{ K}\Omega$   
 Pt 100 :  $2R = 5V / 0,1 \text{ mA} = 50 \text{ K}\Omega \gg 100 \Omega$

Widerstände hochstabil  
 Schaltung abgeglichen

Abb. 6 Temperaturmessung

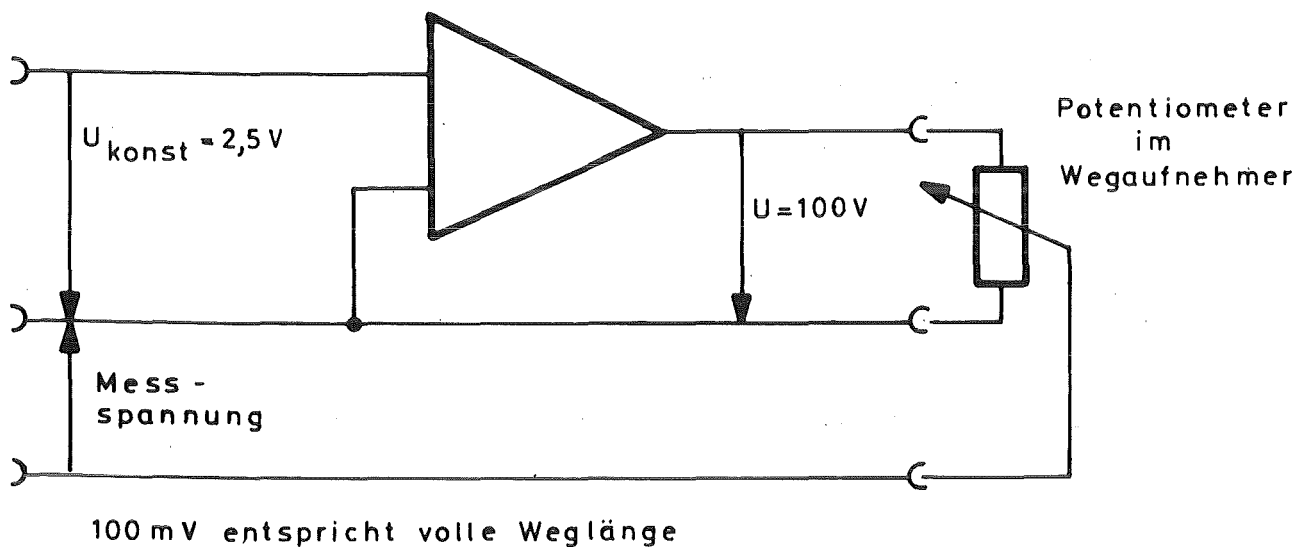


Abb. 7 Versorgung der Wegaufnehmer (Prinzip)



\*\*\*\*\* TESTPERIODE DER LCT-SPULE/TEMPERATUR-AUFZEICHNUNG \*\*\*\*\*

PROJEKT: LCT

VERSUCH: 7

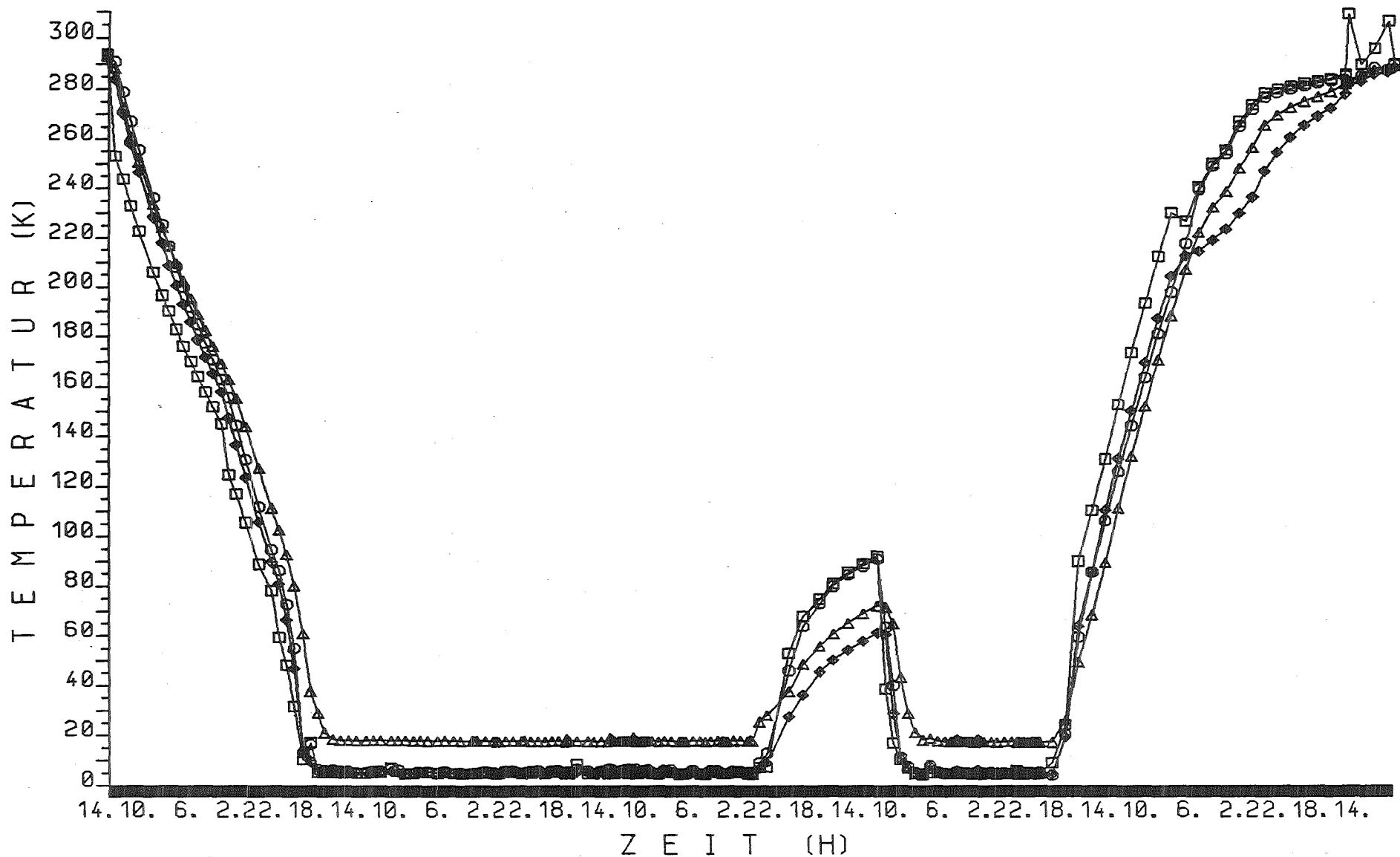
KBL-NR.: 96

□ TR400-1

○ TR401

◆ TR486

△ TR615



DARSTELLUNGS-ZEITRAUM: 15-MAR-84 12:03 BIS 21-MAY-84 8:29

Abb.8 :  $y = f(t)$

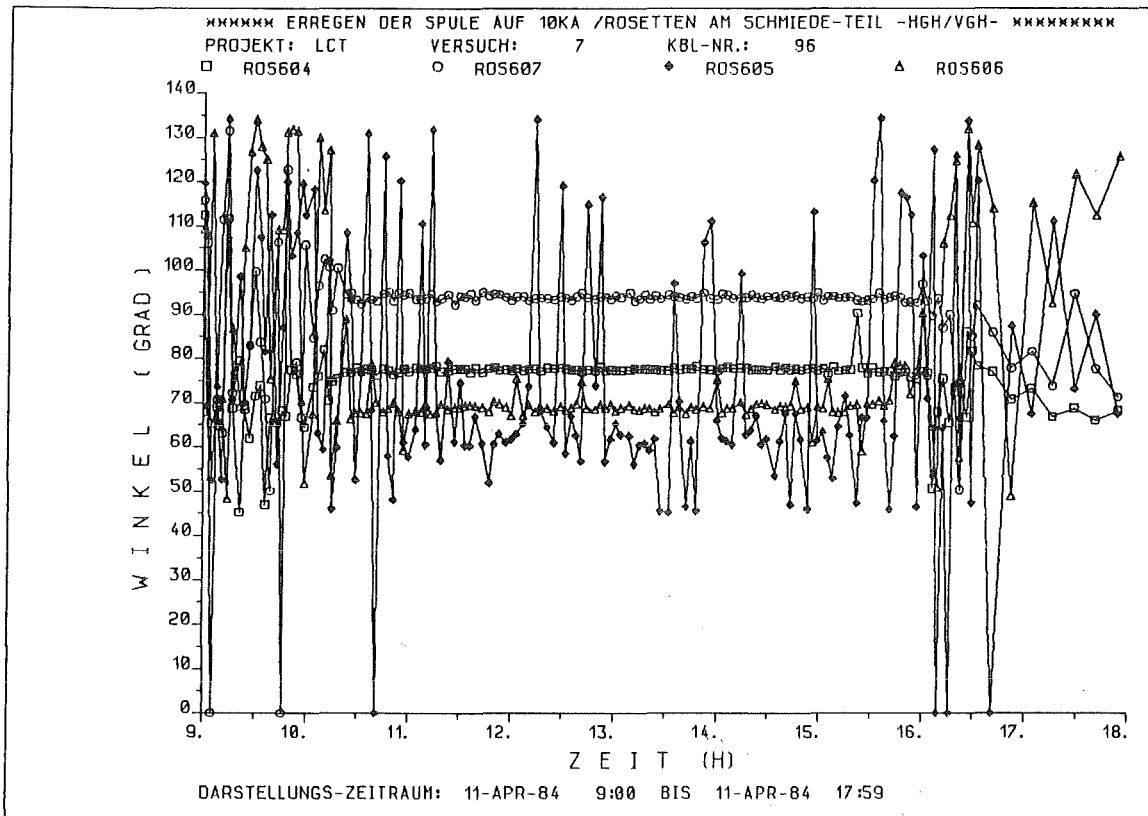
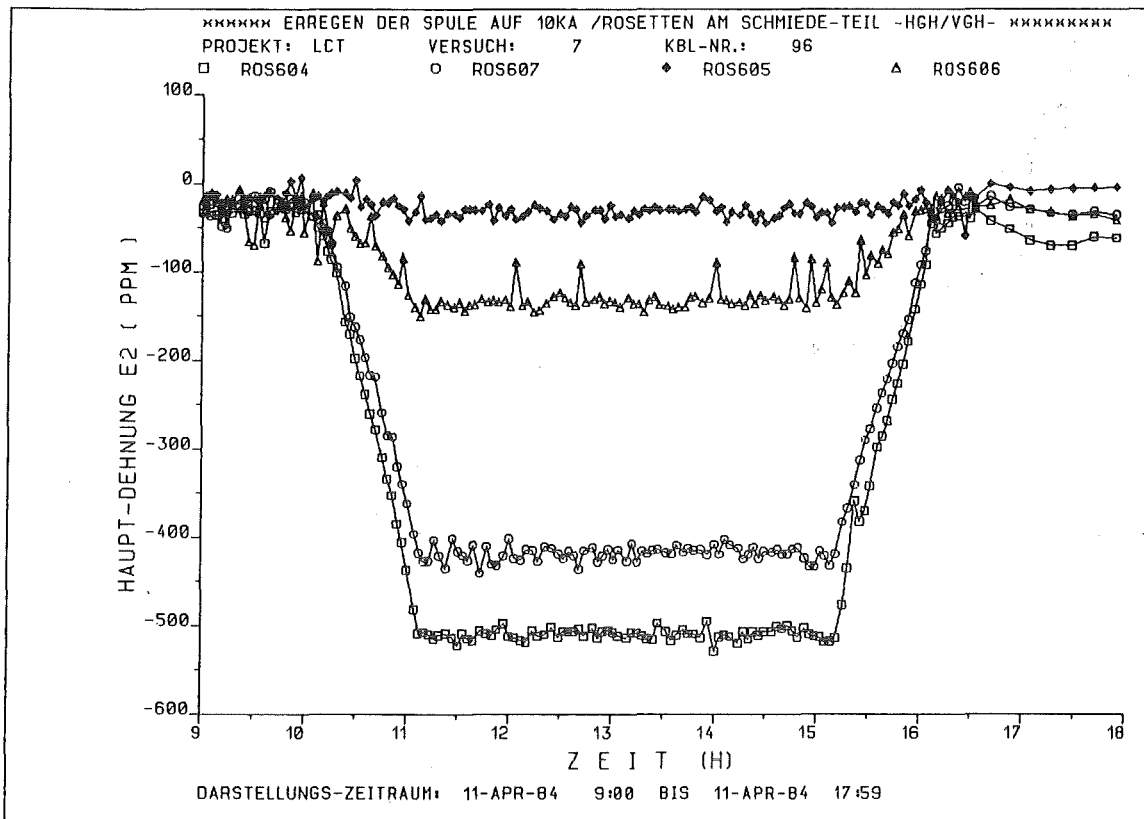
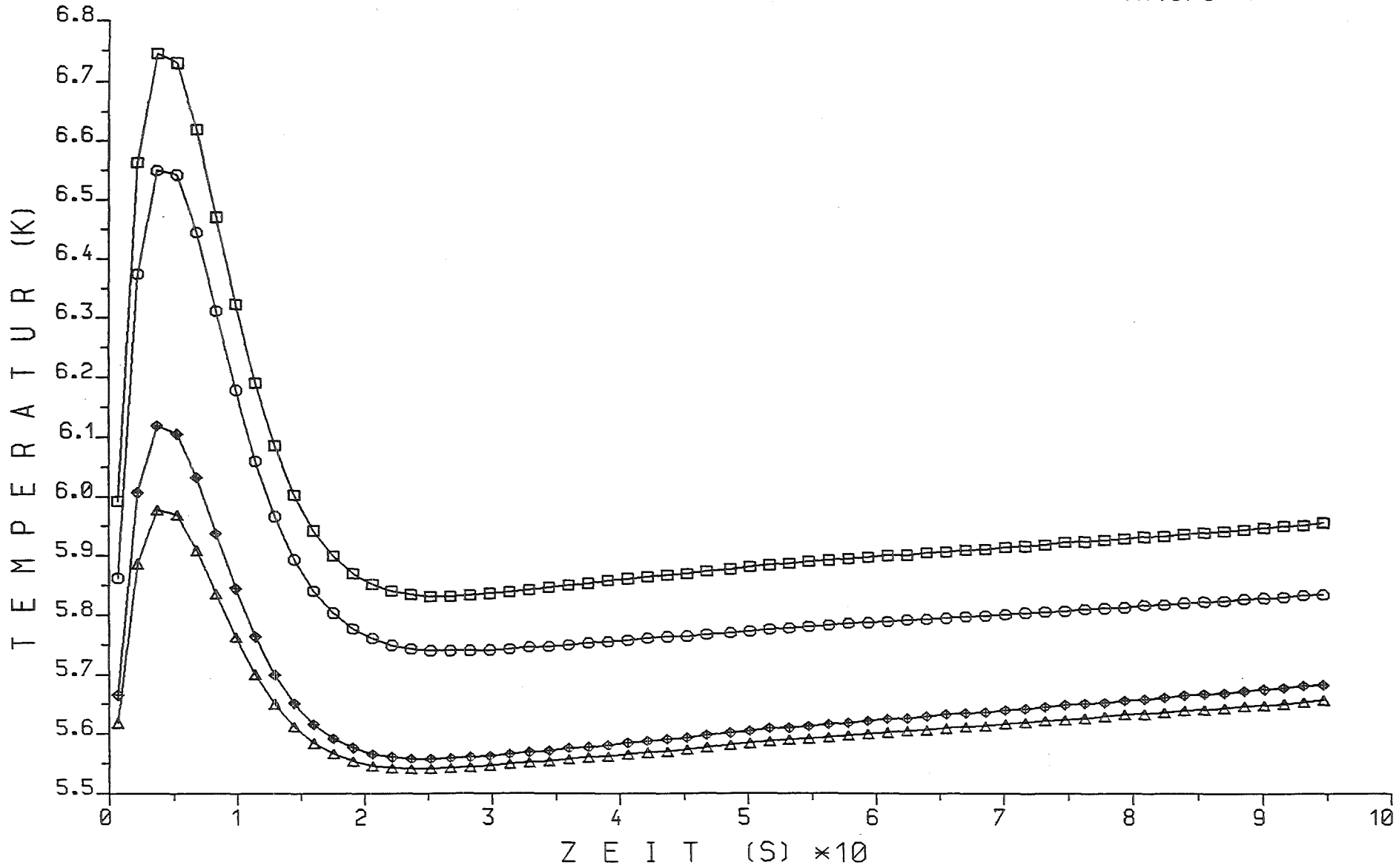


Abb. 9 : Hauptdehnung und Winkel

\*\*\*\*\* TEMPERATUREN IN DER WICKLUNG NACH 1000A SCHNELLABSCHALTUNG \*\*\*\*\*

PROJEKT: LCT    VERSUCH: 7    KBL-NR.: 3    INTERRUPT: 27-APR-84 18:12:08.6

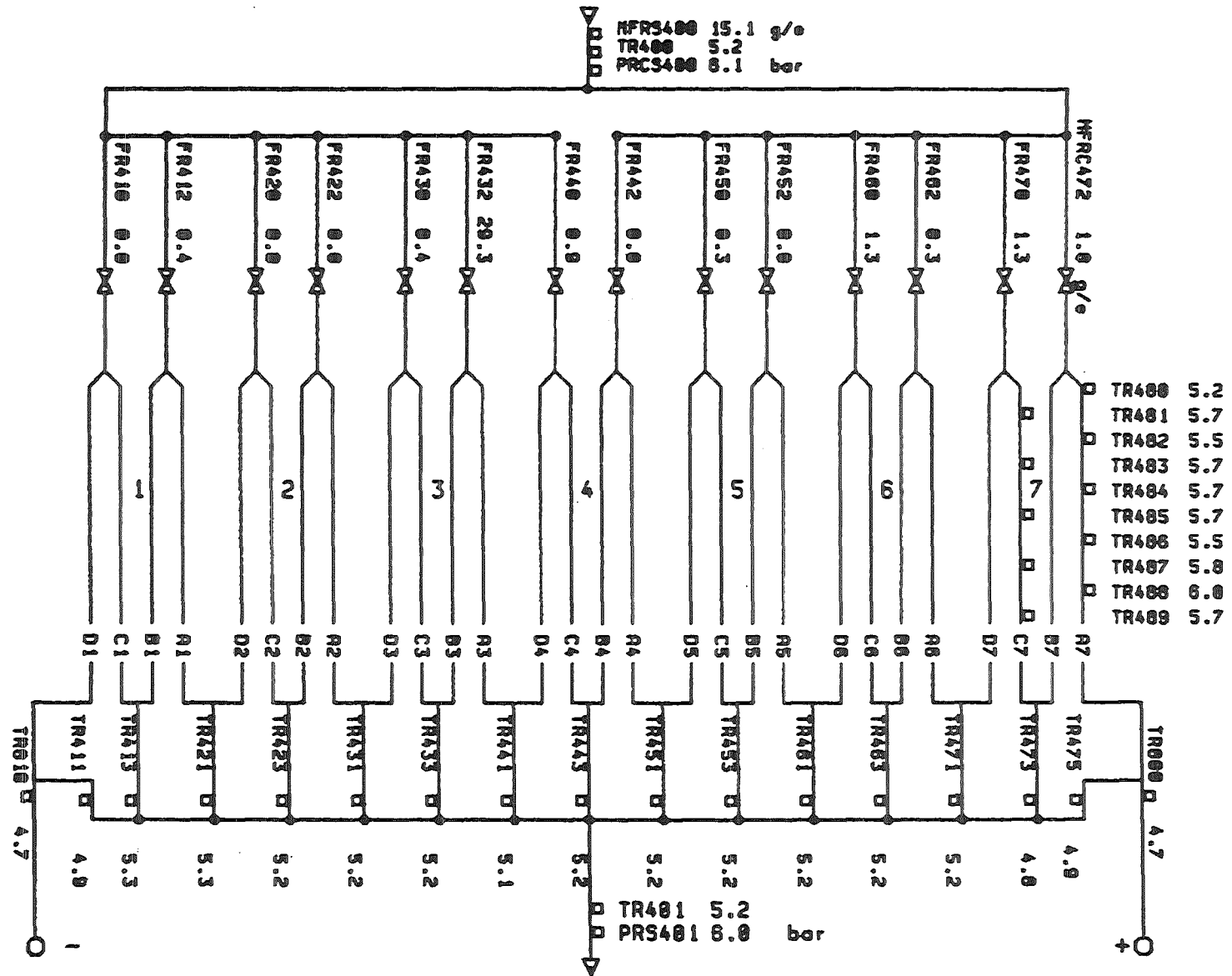
□ TR480C            ○ TR481C            ◆ TR485C            ▲ TR487C



ZEITRAUM: 27-APR-84 18:12: 8    BIS    27-APR-84 18:12:56

Abb.10 : Transienten

PROJEKT: LCT VERSUCH: 7 KBL-NR.: 96 DATUM: 2-APR-84 17:15:18



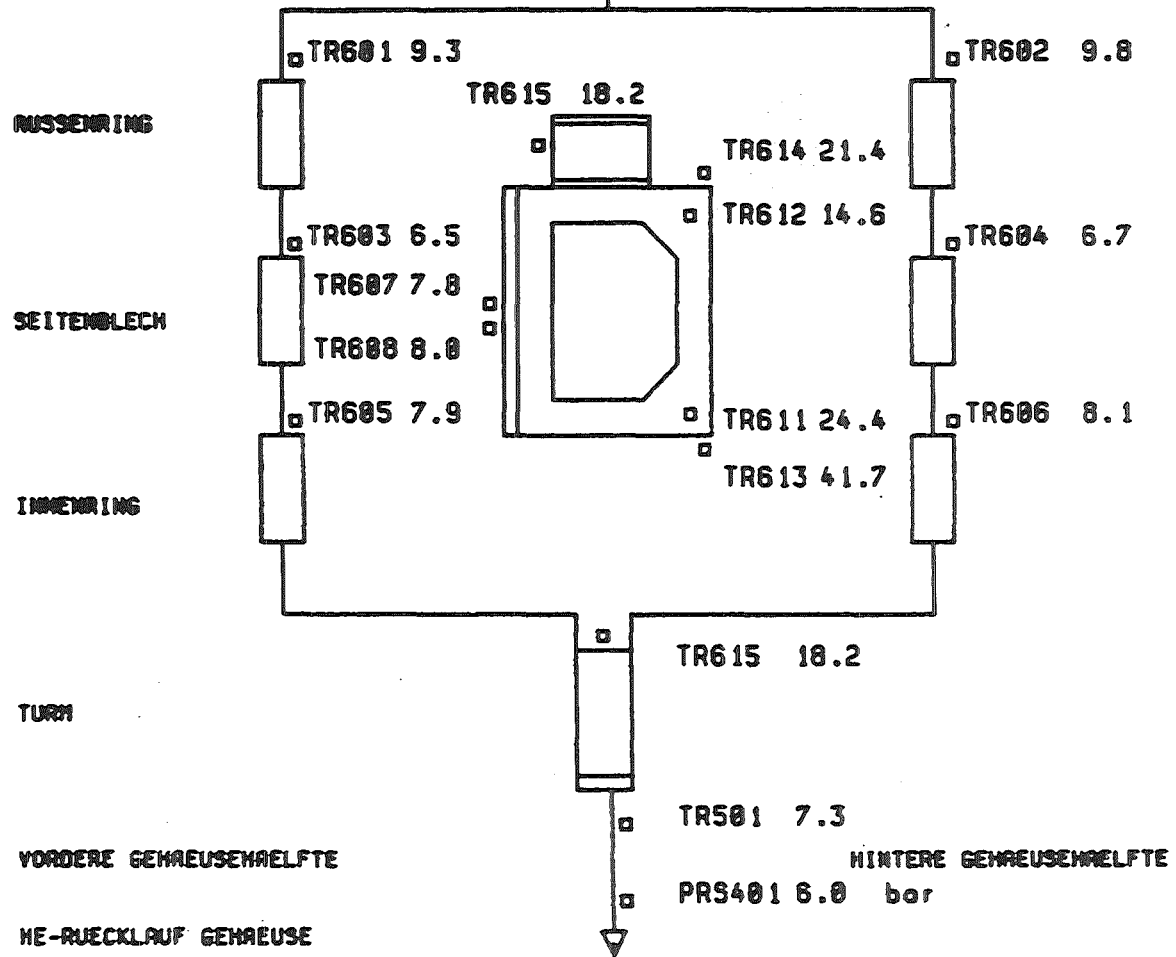
TEMPERATUR-/DURCHFLUSS - M E S S - S T E L L E N A N D E R W I C K L U N G TOSKA

Abb.11 : Temperatur an der Wicklung

PROJEKT: LCT VERSUCH: 7 KBL-NR.: 96 DATUM: 2-APR-84 17:15:18

HE-VORLAUF GEHAEUSE

- PR500 6.1 bar
- MFRC500 9.9 g/e
- TR500 5.1



TEMPERATUR - MESS-STELLEN AM GEHAEUSE TOSKA

Abb.12 : Temperatur im Gehäuse