

KfK 3348

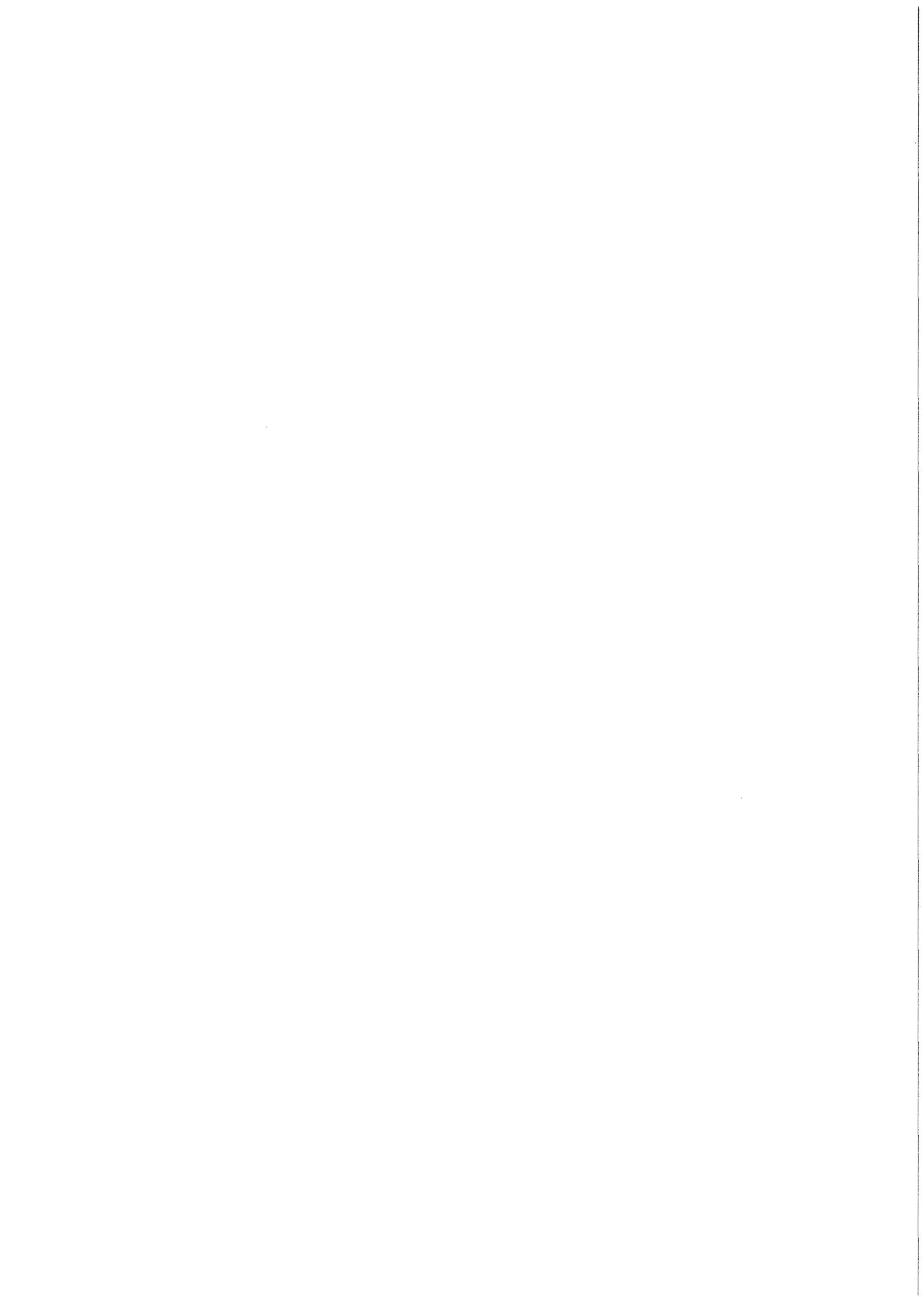
Mai 1984

STATI - 4
Ein eindimensionales
instationäres
Wärmetransport - Programm
(FORTRAN)
für Zylindergeometrie

K. Wagner

Hauptabteilung Ingenieurtechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

HAUPTABTEILUNG INGENIEURTECHNIK

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

KfK 3348

S T A T I - 4

Ein eindimensionales instationäres
Wärmetransport - Programm (FORTRAN)
für Zylindergeometrie

K. Wagner

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003**

Zusammenfassung:

Das vorliegende Wärmetransport-Programm bietet wegen des expliziten Lösungsverfahrens im Wärmeleitteil die Möglichkeit, den zeitlichen Temperaturverlauf in radial-symmetrischen Zylindergeometrien mit beliebig vielen Gasspalten, Spalten mit Konvektion oder Strahlenschirmen zu berechnen, ohne daß Ersatz- α -Zahlen benutzt werden müssen. Dies ist ein Vorteil gegenüber dem impliziten Lösungsverfahren, macht aber auch größere Rechenzeiten nötig.

Zur Zeit ist in STATI-4 keine Routine implementiert, die Festkörperkontakt berechnet. Sofern ein Spalt im Begriff ist, sich zu schließen, wird ein Abstand zwischen den benachbarten Maschen von 1 μm programmtechnisch erzwungen. Dies bedeutet in fast allen Fällen einen Fehler von nur wenigen K. Von dieser Tatsache abgesehen, ist das Programm sehr vielseitig und an extremen Beispielen ausgiebig getestet. Der Dateninput ist leicht vorzunehmen.

Da das Programm zunächst für die Nachrechnung zum Brennstabverhalten von nuklearen Brennstäben und deren elektrischen Simulatoren entwickelt wurde, umfaßt die zugehörige Stoffwerte-Bibliothek nur Stoffe, die für diesen Anwendungszweck notwendig waren. Diese Bibliothek ist aber bei Beachtung einfacher Regeln leicht zu erweitern.

STATI-4, a one-dimensional nonsteady heat transport program (FØRTRAN)
for cylindrical geometry

Summary

Due to the explicit solution method within the heat conduction part the present heat transport routine is capable of calculating temperature as a function of time in radially symmetric, cylindrical geometries with an arbitrary number of gas gaps, gaps with convection, or radiation shields, without requiring substitute heat transfer coefficients. This is an advantage over the implicit solution method, but requires longer computation times.

At present no routine has been implemented in STATI-4 which calculates contact between solids. If a gap is nearly closed, a space of 1 μm between adjacent meshes is imposed by the routine. In almost all cases this results in an error of only a few degrees K. Apart from this, the routine is very versatile and has been thoroughly tested against extreme examples. Data input is easy.

Since the routine was developed initially as part of a program for verifying the fuel rod behavior of nuclear fuel rods and their electrical simulators, the associated library of material properties includes only materials which were needed for that particular application. However, the library can be easily extended, to include other materials properties.

Inhaltsverzeichnis:

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Genereller Aufbau von STATI-4	2
2.1 Allgemeines	2
2.2 Maschenaufbau und Rechenablauf	2
2.3 Definition und geometrischer Ort der verschiedenen Größen in einer Masche	6
3. Theorie zu den Verfahrensschritten in den zu STATI-4 gehörenden SUBROUTINEN und FUNCTIONEN	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Zeitliche Änderung der Mittentemperatur in einer Feststoffmasche	10
3.2.1 Diskretisierung durch Integration über ein kleines, endliches Volumenelement ΔV	11
3.2.1.1 Diskretisierung der Speicherwärme	12
3.2.1.2 Diskretisierung der Leitungswärme	14
3.2.1.3 Diskretisierung der Wärmeproduktion	17
3.2.2 Diskretisierte Form der Bilanzgleichung	18
3.2.3 Berechnung der neuen mittleren Maschentemperatur FUNCTION TN1	18
3.2.3.1 Spezialfall der Masche $k = 1$ (Zentralmasche)	19
3.3 Bestimmung der Oberflächentemperaturen	19
3.3.1 An Masche k angrenzende linke Masche ist Feststoffmasche mit Wärmeproduktion - FUNCTION TØM	20
3.3.1.1 Spezialfall der Masche $k = 1$ (Zentralmasche), FUNCTION TZ1	22
3.3.2 Angrenzende linke Masche ist Gasspalt mit Strahlung und Leitung - SUBROUTINE TØGA	23
3.3.2.1 Spezialfall: die Masche $k = 1$ (Zentralmasche) ist gasgefüllt - FUNCTION TZGAS	26
3.3.3 Angrenzende linke Masche ist Spalt mit Konvektion und Strahlung - SUBROUTINE TØWUE	28
3.3.3.1 Spezialfall der Masche $k = 1$ (Zentralmasche) mit Konvektion - SUBROUTINE TØRØHR	35
3.3.4 Oberflächentemperatur vor, hinter und an einem masselosen Strahlenschirm - SUBROUTINE TØSTRA	37
3.3.5 Oberflächentemperatur der rechten Randmasche - FUNCTION TØNT	42

	<u>Seite</u>
4. Mittlere Stoffwerte in einer Masche	44
4.1 Dichte ρ	44
4.2 Spezifische Wärmekapazität c	44
4.3 Wärmeleitfähigkeit λ	45
5. Stabilitätskriterium (maximal mögliche und variable Zeitschrittweite)	46
6. Prüfung der Stabilität der Ergebnisse	48
7. Für STATI-4 nötige Hilfsroutinen	49
7.1 Das Stoffwertprogramm STØFFMKS	49
7.2 Nullstellenroutine NULLST41	51
7.3 SUBRØUTINE GEØMET	51
7.4 SUBRØUTINE PRINT	53
7.5 Anwenderrountinen	54
7.5.1 Allgemeines	54
7.5.2 SUBRØUTINE WPRØD	55
7.5.3 SUBRØUTINE WUE	56
7.5.4 FUNCTIØN TFL	56
7.5.5 SUBRØUTINE SCHALT	56
8. Erläuterung der Benutzung von STATI-4 anhand eines Beispiels	58
8.1 Vorbemerkung	58
8.2 Kreislaufschema zur Erläuterung der Versuchsbedingungen	58
8.3 Festlegung der geometrischen Daten	59
8.3.1 Der Prüfling	59
8.3.2 Der Reaktoreinsatz	59
8.3.3 Maschenteilung für die Wärmeleitrechnung	59
8.4 Maschencharakteristik	60
8.5 Stoffcharakterisierung	61
8.6 Eingabesatz mit Datenkarten	61
8.7 Eingaben durch FUNCTIØNS und SUBRØUTINEN	61
9. Vergleich von Messung und Rechnung am Beispiel des BSS 05	63
10. Literatur	64
11. Formelzeichen	65
12. Bilder	69

	<u>Seite</u>
Anhang 1 - Programm STATI-4 (MAIN), DATASET STATI41 mit Eingabebeschreibung	79
Anhang 2 - SUBRØUTINE STATI-4 (LØAD), DATASET STATI41	87
Anhang 3 - Datenkarteninput - Beispiel für einen Stationärlauf mit nachfolgender Transiente	117
Anhang 4 - Anwenderrountinen - Beispiel	119
Anhang 5 - SUBRØUTINE NULLW, Member NULLST41	125
Anhang 6 - SUBRØUTINE KØRR, Member KØRRNU41	131
Anhang 7 - Stoffwertefunctions, Member STØFFMKS	147
Anhang 8 - JCL für das Beispiel mit Stationärlauf und Transiente mit externer Ausgabe	165

1. Einleitung

Das vorliegende Wärmetransport-Programm STATI-4 wurde zur Nachrechnung von In-pile-Experimenten zum Brennstabverhalten beim LOCA eines DWR (/5/) entwickelt. Da diese Experimente sowohl mit gekürzten Original-Brennstäben eines DWR als auch mit elektrischen Brennstabsimulatoren durchgeführt wurden, waren bereits von dieser Forderung her eine Reihe von Optionen einzubauen. Zur Vielseitigkeit des Programms trugen der Versuchsaufbau (Reaktoreinsatz im FR2 des KfK) und der Versuchsablauf (Dampfströmung in verschiedenen Spalten, die im Verlauf der Transiente abgeschaltet wird und dann stagniert, also von Konvektion zu Strahlung und Leitung übergeht; "masseloser" Strahlenschirm) bei. Diese notwendigen Optionen wurden schließlich, um das Programm vielseitiger verwendbar zu machen, durch die Möglichkeit zur Erfassung von Konvektion bzw. Strahlung und Leitung in der Zentralmasche erweitert, so daß jetzt neben den Stabgeometrien auch beliebige Rohrgeometrien berechnet werden können.

Das Programm bedient sich der expliziten Lösungsmethode, d.h. es wird in geometrischer Abfolge von Masche zu Masche gerechnet, während bei der impliziten Lösungsmethode das gesamte System simultan in einer Matrix erfaßt wird.

Der Vorteil der gewählten Lösungsmethode liegt darin, daß die bei Gasspalten auftretenden impliziten Gleichungen nacheinander gelöst werden können, ohne daß, wie bei der impliziten Methode, in Nebenrechnungen Quasi- α -Zahlen berechnet werden müssen. Die Berechnung beliebig vieler Gasspalte ist deshalb in einfacher Weise möglich. Ebenso ist der Übergang von einem Spalt mit Konvektion zu einem Gasspalt mit Strahlung und Leitung (wie bei uns gefordert) leicht möglich. Diese Vorteile werden erkauft durch eine, gemessen am impliziten Verfahren, größere Rechenzeit. Programmsysteme, die als ein Untersystem der Gesamtrechnung ein Wärmeleitprogramm implementiert haben (wie z.B. SSYST-2), können nur in Ausnahmefällen mit STATI-4 rechnen. Bei den heute verfügbaren Computern (z.B. Siemens 7890 beim HDI der KfK) ist dieser Parameter jedoch nicht mehr so schwerwiegend. Es wurde deshalb für diese neue

Maschinengeneration eine erste Arbeitsversion eines zweidimensional arbeitenden Wärmetransport-Programmes aus STATI-4 entwickelt (STATI-ZD), das bei einem durchgerechneten Beispiel mit 5 axialen und 28 radialen Maschen bei einer Realzeit von 5200 s lediglich ca. 5 min Rechenzeit benötigt.

2. Genereller Aufbau von STATI-4

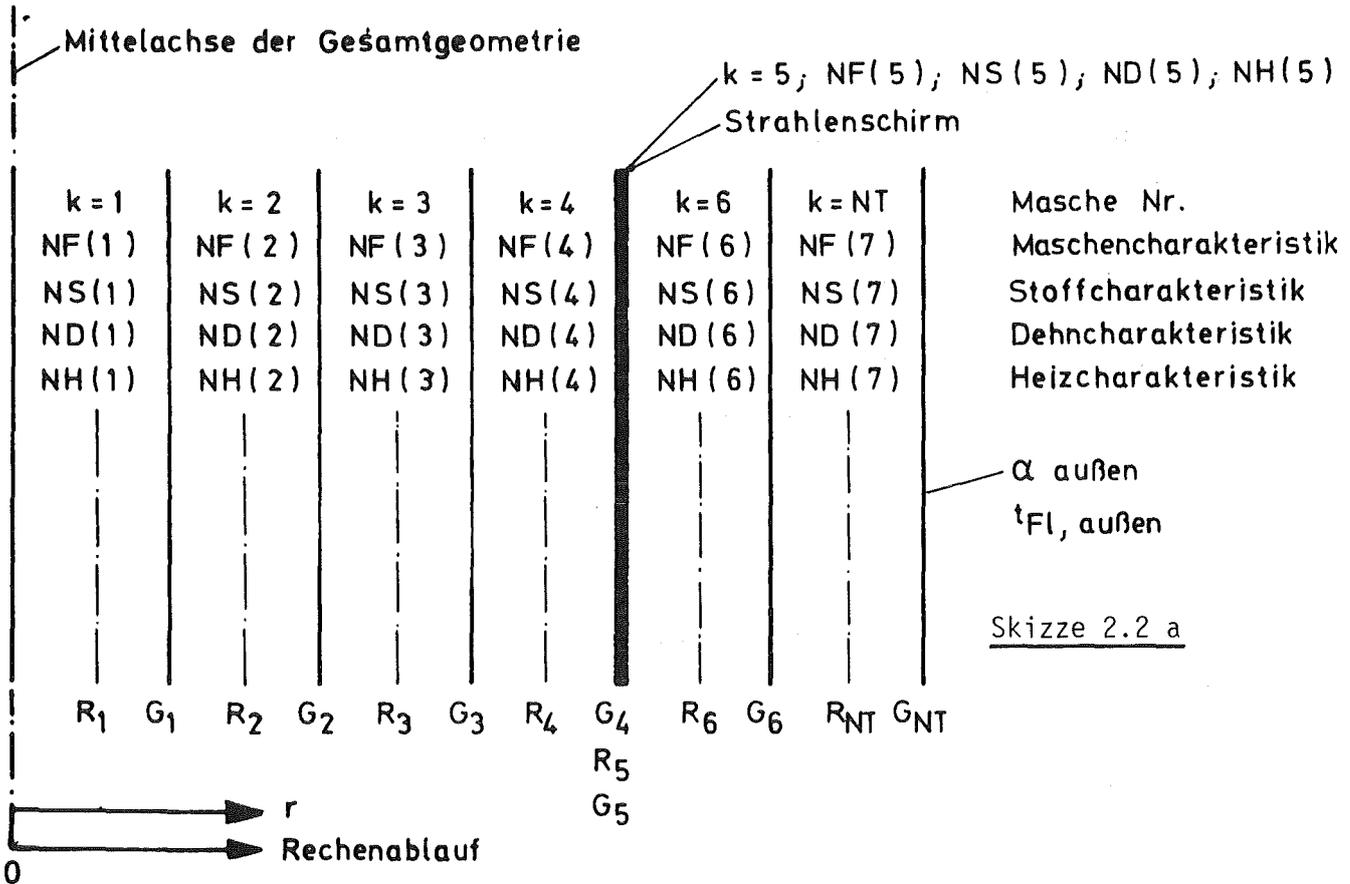
2.1 Allgemeines

Die Entwicklung von STATI-4 erfolgt in Anlehnung an die in /1/ gemachten Angaben. Es wurde hier für die Lösung des Wärmeleitproblems das explizite Lösungsverfahren gewählt, d.h. für einen kleinen Zeitschritt wurde der Wärmestrom in der geometrischen Abfolge der Masche berechnet. Für den betrachteten kleinen Zeitschritt wird der Wärmestrom zwischen den Maschen als stationär angenommen und mathematisch auch so behandelt. Das sich ergebende Ungleichgewicht von zu- und abgeführter Wärme in einer Feststoffmasche wird über die Speichergleichung in eine Temperaturänderung der Masche umgerechnet. Dieses Vorgehen ist um so genauer, je kleiner der gewählte Zeitschritt ist. Bei der hier angewendeten expliziten Methode besteht in den meisten Fällen die Notwendigkeit der Begrenzung des Zeitschrittes wegen der Rechenstabilität. Dazu siehe Kapitel 5.

2.2 Maschenaufbau und Rechenablauf

Für den gesamten Bericht wird folgende Bezeichnungsweise definiert: Das Zentrum der Zylindergeometrie liegt links, die Außenwand rechts. "Links von einer Masche" bedeutet also "näher am Zentrum". Der Rechenablauf erfolgt vom Zentrum nach außen, also von "links" nach "rechts".

Für das Programm sind die Begriffe "rechts" und "links" unerheblich, sie dienen hier lediglich als Erläuterungsübereinkunft. Skizze 2.2 a zeigt ein willkürliches Beispiel.



Betrachtet wird ein bestimmter Zeitpunkt $\tau = 0$. Das System befindet sich in einem Zustand, der durch Angabe der Abmessungen (Grenzradien $G(k)$), der Temperaturen ($t(k)$ siehe nächstes Kapitel), der Maschencharakteristik $NF(k)$, der Stoffcharakteristik $NS(k)$, der Dehncharakteristik $ND(k)$ und der Heizcharakteristik $NH(k)$ gekennzeichnet wird.

Der Laufindex k bleibt hier und im Programm der Indizierung der einzelnen Maschen vorbehalten.

Es gilt: $k = 1$ bis NT
 NT : Anzahl der Maschen

Im Beispiel gemäß Skizze 2.2.a hat das Problem sieben Maschen, davon ist eine ein masseloser Strahlenschirm (nämlich Masche $k = 5$), bei dem gilt $G_4 = R_5 = G_5$.

Die Maschencharakteristik NF kann vier Werte annehmen, nämlich

- NF = 1: Feststoff
- NF = 2: gasgefüllter Spalt
- NF = 3: masseloser Strahlenschirm
- NF = 4: konvektiver Wärmetransport aus der Masche heraus oder in die Masche hinein.

NF(NT) muß immer 1 sein, da das Problem immer mit einem Feststoff abgeschlossen werden muß.

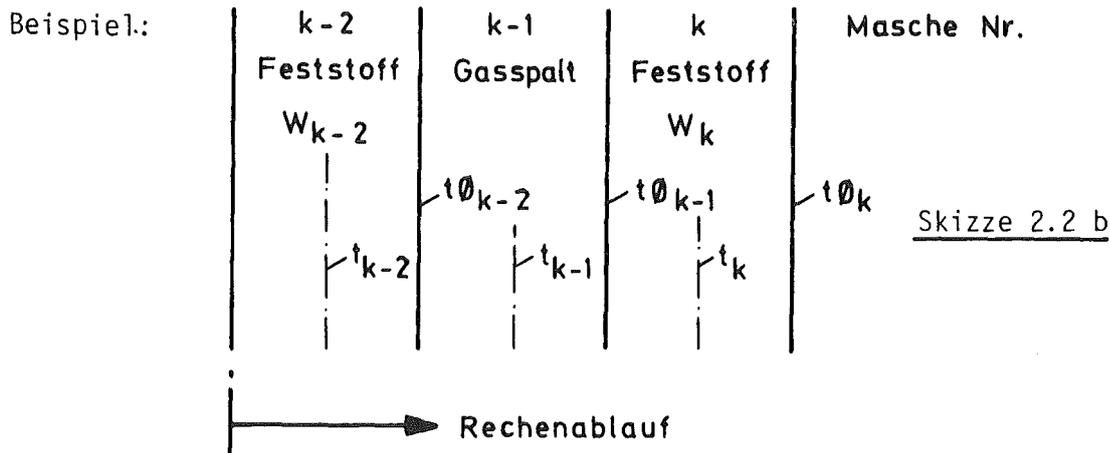
Ein Strahlenschirm muß immer von Gasspalten umgeben sein, dabei folgt mit $NF(5) = 3$ auch $NF(6) = NF(4) = 2$. Damit ist auch $NF(3) = 1$ festgelegt.*

Die Kombinationen für die Maschen 1 und 2 sind beliebig, nur ein Strahlenschirm ist ausgeschlossen. Die Materialzuweisung $NS(k)$ teilt dem Programm mit, aus welchem Stoff die Masche besteht (könnte als "Stoff" auch Vakuum beinhalten). Hierzu siehe Kap. 8.4 und 8.5.

Von der Zentralmasche ($k = 1$) beginnend, berechnet das Programm die neuen, zum Zeitpunkt $\tau + \Delta\tau$ gehörenden Temperaturen so oft, bis eine vorgegebene Endzeit erreicht ist. Dabei hat das vorliegende Programm eine Besonderheit:

* Zwei oder mehr Strahlensirme hintereinander können in dieser Weise nicht berechnet werden.

Die Wärmeströme werden nicht, wie häufig üblich, aus den Mittentemperaturen der angrenzenden Maschen, sondern aus den Temperaturen der die Masche begrenzenden Oberflächen berechnet. Der Vorteil besteht darin, daß damit auch materielle Oberflächen erfaßt werden können, so daß die Berechnung des Wärmeflusses in Gasspalten recht einfach wird.



Nachdem die Masche k-2 berechnet wurde, überspringt das Programm den Gasspalt^{**}) und berechnet in der Masche k die neue Maschenmittentemperatur $t_k^x = t_k (\tau + \Delta\tau)$. Dabei wird der zufließende Wärmestrom aus $t_{\emptyset k-1}$ und t_k , der abfließende Wärmestrom aus t_k und $t_{\emptyset k}$ berechnet. Die Differenz beider Wärmeströme und die in der Masche erzeugte Energie W bestimmen die Änderung der Maschenmittentemperatur (hierzu siehe auch Kap. 3.2). Mit den beiden neuen Maschenmittentemperaturen t_{k-2}^x und t_k^x werden dann in dem Programm mit den Stoffwerten und Wärmequellen der drei Maschen die neuen Oberflächentemperaturen $t_{\emptyset k-2}^x$ und $t_{\emptyset k-1}^x$ sowie die Maschenmittentemperatur t_{k-1}^x des Gasspaltes (als arithmetisches Mittel von beiden) berechnet^{*}.

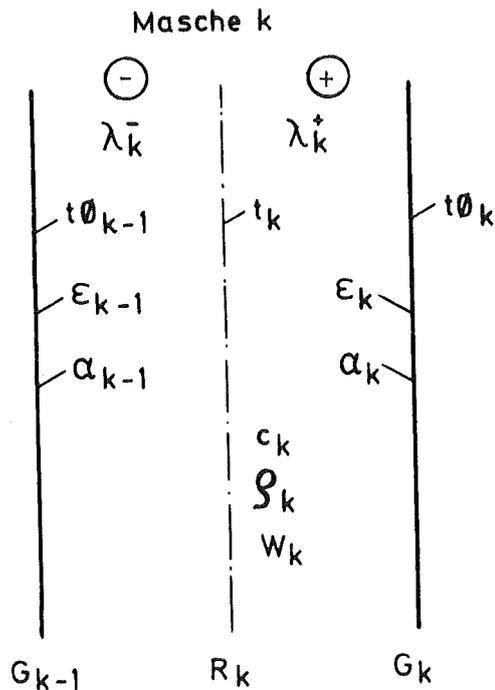
^{*}) Das Programm läßt Wärmeproduktion in Gasspalten oder Spalten mit Konvektion nicht zu.

^{**}) Die Teilung eines Gasspaltes in mehrere Maschen ist nicht zugelassen.

In gleicher Weise werden Maschen mit Konvektion oder ein Strahlenschirm berechnet, natürlich mit anderen Wärmeübergangsmechanismen (siehe Kap. 3.3).

Bei benachbarten Feststoffmaschen wird die linke Oberflächentemperatur ebenfalls erst dann bestimmt, wenn t_k^* berechnet worden ist. Das Hauptprogramm STATI-4 dient wesentlich der Verkettung dieses Verfahrens, während die Einzelschritte in Unterroutinen vorgenommen werden.

2.3 Definition und geometrischer Ort der verschiedenen Größen in einer Masche



Skizze 2.3

λ_k^- : Wärmeleitzahl linke Maschenseite in $\frac{W}{m \cdot K}$ *)

λ_k^+ : dto. für rechte Maschenseite

*) Die Wärmeleitzahl wird für jeweils eine Maschenhälfte berechnet. Dieses Verfahren ergibt sich aus der im vorigen geschilderten Berechnung der Wärmeströme. Rechenexperimente haben gezeigt, daß dieses Vorgehen insbesondere bei steilen Temperaturgradienten eine erhebliche Verbesserung der Rechengenauigkeit gegenüber der Verwendung eines einzigen mittleren λ_k für die Masche bringt.

c_k : spezifische Wärmekapazität (nur bei Feststoffen, Gase werden masselos behandelt) in $\frac{J}{kg \cdot K}$

ρ_k : Dichte in der Masche (ebenfalls nur bei Feststoffen) in $\frac{kg}{m^3}$

ϵ_k : Emissionszahl der rechten Oberfläche

ϵ_{k-1} : Emissionszahl der linken Oberfläche

α_k : Wärmeübergangszahl an der rechten Oberfläche

α_{k-1} : Wärmeübergangszahl an der linken Oberfläche, beide in $\frac{W}{m^2 \cdot K}$

G_k : Grenzradius am rechten Maschenrand in m

G_{k-1} : Grenzradius am linken Maschenrand in m

R_k : Maschenmittenradius in m

W_k : Wärmeproduktion in der Masche in $\frac{W}{m^3}$

t_k : Maschenmittentemperatur in K

$t\theta_k$: Oberflächentemperatur am rechten Maschenrand in K

$t\theta_{k-1}$: Oberflächentemperatur am linken Maschenrand in K

Die neuen Temperaturen (nach Durchlaufen eines Zeitschrittes) werden im Programm mit einer nachgestellten Null ($t\theta_{0k}$; $t\theta_k$) gekennzeichnet, im Manuskript mit einem hochgestellten *, (t_k^* , $t\theta_k^*$)

Zu diesen allgemein üblichen Größen kommt

DEHN(k): Wärmedehnzahl (siehe Kap. 7.1)

3. Theorie zu den Verfahrensschritten in den zu STATI-4 gehörenden SUBROUTINEN UND FUNCTIONEN

3.1 Allgemeines

Es wird hier davon ausgegangen, daß eine Wärmeproduktion nur in Feststoffmaschen stattfindet, Gasmaschen werden als masselos und wärmequellenfrei angesehen.

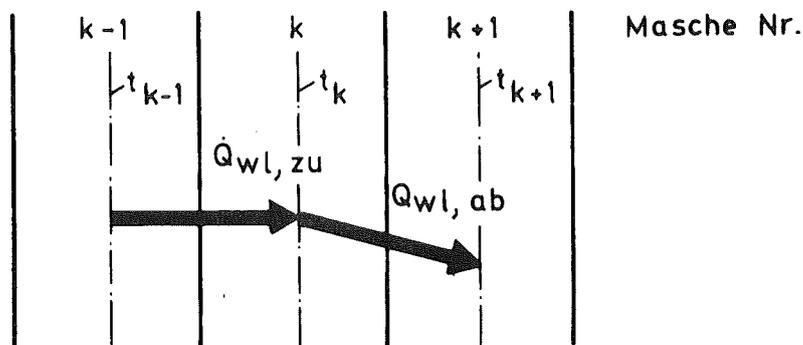
Es wird von der einfachen Gleichung

$$\dot{Q}_{\text{zugeführt}} - \dot{Q}_{\text{abgeführt}} - \dot{Q}_{\text{Speicherung}} = 0 \quad (1)$$

ausgegangen.

Diese Gleichung wird auf jede Feststoffmasche angewendet.

In vielen Rechenprogrammen wird zur Bestimmung der zu- und abgeführten Energie folgendes Schema angewendet:



Skizze 3.1

Betrachtet wird die Masche k. Es wird - ohne Berücksichtigung der Wärmeproduktion - der von der Mittelachse von k-1 nach k zuströmende und entsprechend von k nach k+1 der abströmende stationäre Wärmefluß mit den normalen Wärmedurchgangsgleichungen berechnet. Dabei bleibt die Krümmung des Temperaturprofils durch die Wärmeproduktion in den Maschen außer Betracht. Als zugeführte Wärme wird dann einfach die Wärmeproduktion in der Masche k zugeschlagen und dann die Differenz der Energieströme berechnet.

In STATI-4 wird ebenfalls mit stationärer Wärmeleitung gerechnet, es wird jedoch die exakte Wärmeleitgleichung unter Einschluß von Wärme-
produktion gelöst. Dies hat den Vorteil, daß das Temperaturprofil
genauer erfaßt wird, es sei denn, daß extrem steile Transienten vor-
liegen.

Da es nun prinzipiell gleichgültig ist, von welchem geometrischen Ort
außerhalb der Masche die durch Wärmeleitung zufließende Wärme berechnet
wird, wenn nur die Temperatur an diesem Ort bekannt ist (und natürlich
Geometrie und Stoffwerte), wird hier die Oberfläche der Masche als
Bezugsgeometrie gewählt. Dies hat zwei Vorteile:

- a) Es wird die Maschenoberflächentemperatur "richtig", d.h. unter Be-
rücksichtigung der Wärmeproduktion - berechnet.
- b) Bei der Behandlung von Gasspalten werden die wegen der Berücksich-
tigung der Strahlung notwendigen Oberflächentemperaturen prinzi-
piell mitgerechnet. Dies gilt auch für Spalte mit Konvektion und Strah-
lung. Bei dem vorliegenden Vorgehen ergibt sich dann die Anordnung
gemäß Skizze 3.2.1 (Seite 11). Da hier sowohl die Maschenrandtempera-
turen als auch die Maschenmittentemperaturen zur Verfügung stehen,
bietet es sich an, für beide Maschenhälften unterschiedliche Wärme-
leitahlen zu berechnen, was der Genauigkeit der Rechnung zugute
kommt.

Wie beim Vorgehen in Skizze 3.1 wird der Wärmefluß in der Mittel-
achse der Masche nicht mehr als stationär betrachtet, er wird hier
nach Gleichung (1) behandelt und es gilt:

$$\dot{Q}_{\text{Speicherung}} = M_{\text{Masche}} \cdot c_{\text{Masche}} \cdot \frac{dt_k}{d\tau} \quad (2)$$

3.2 Zeitliche Änderung der Mittentemperatur in einer Feststoffmasche

Die hier verwendeten grundlegenden Gleichungen sind:

a) Instationäre Wärmeleitgleichung nach /2/, S. 10

$$\frac{dt(r,\tau)}{d\tau} = \frac{\lambda(r,\tau)}{c(r,\tau) \cdot \rho(r,\tau)} \cdot \nabla^2 t(r,\tau) + \frac{1}{c(r,\tau) \cdot \rho(r,\tau)} \cdot W(\tau) \quad (3)$$

mit ∇^2 für eindimensionale Zylindergeometrie, also

$$\nabla^2 t(r,\tau) = \frac{\partial^2 t(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t(r,\tau)}{\partial r} \quad (4)$$

b) Stationäres Temperaturprofil für Zylindergeometrie nach /2/, Seite 122

$$t(r) = -\frac{W}{4\lambda} \cdot r^2 + C_1 \cdot \ln r + C_2 \quad (5)$$

c) Wärmefluß an einer Grenzfläche "R" nach /2/, Seite 6

$$\dot{q}|_R = -\lambda \cdot \text{grad}_N t|_R \quad (6)$$

also in unserem Fall

$$\dot{q}(R) = -\lambda_R \cdot \left. \frac{\partial t}{\partial r} \right|_R \quad (7)$$

Da unser Ziel eine Diskretisierung von Gleichung (3) ist, können wir schon jetzt davon ausgehen, daß sich pro Zeitschritt geeignete Mittelwerte für die Stoffwerte finden lassen werden, so daß wir setzen können:

$$\left. \begin{aligned} c(r,\tau) &\approx \bar{c} = \text{const.} && \text{für einen betrachteten Bereich in} \\ &&& \text{Raum und Zeit} \\ \rho(r,\tau) &\approx \bar{\rho} = \text{const.} && \text{"} \\ \lambda(r,\tau) &\approx \bar{\lambda} = \text{const.} && \text{"} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Wir betrachten ein homogenes Massenelement dM . Dann können wir Gleichung (3) mit $\bar{c} \cdot dM$ multiplizieren und erhalten die Speicher-
gleichung in der Form

$$\bar{c} \cdot dM \cdot \frac{dt}{d\tau} = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{\rho}} \nabla^2 t \cdot dM + \frac{1}{\bar{\rho}} \cdot W \cdot dM \quad (9)$$

Der linke Term gibt die in $d\tau$ erfolgte Änderung der in dM gespeicherten Energie an, Term 1 auf der rechten Seite die Differenz der durch Leitung aufgrund des Temperaturfeldes in dM zur Zeit τ zu- und abgeführte Wärme, Term 2 der rechten Seite stellt den Beitrag der in dM erzeugten Wärmeproduktion dar.

Nun gilt

$$dM = \bar{\rho} \cdot dV \quad (10)$$

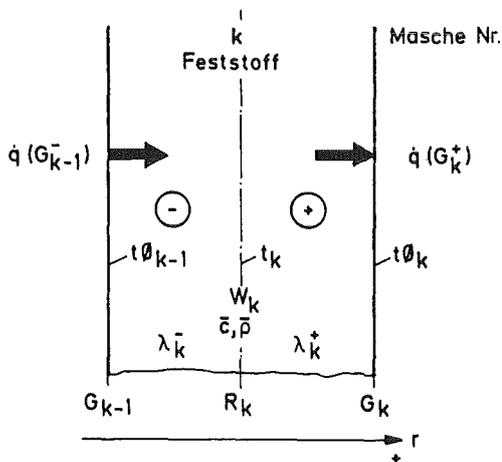
Gleichung (9) geht damit über in

$$\bar{c} \cdot \bar{\rho} \cdot dV \cdot \frac{dt}{d\tau} = \bar{\lambda} \cdot \nabla^2 t \cdot dV + W \cdot dV \quad (11)$$

Diese Gleichung ist zu diskretisieren.

3.2.1 Diskretisierung durch Integration über ein kleines, endliches Volumenelement ΔV

Um die verwendeten Bezeichnungen, insbesondere die Integrationsgrenzen, zu klären, sei hier als betrachtetes Volumenelement eine Masche mit homogenem Feststoff dargestellt.



Skizze 3.2.1

Um die Terme der Gleichung (11) einzeln behandeln zu können, führen wir folgende Bezeichnungen ein:

a) Differenz der Speicherwärme

$$d\dot{Q}_{sp} = \bar{c} \cdot \bar{\rho} \cdot dV \cdot \frac{dt}{d\tau} \quad (12)$$

b) Differenz der Leitungswärme $d\dot{Q}_L$

$$d\dot{Q}_L = \bar{\lambda} \cdot \nabla^2 t \cdot dV \quad (13)$$

c) Wärmeproduktion $d\dot{Q}_W$

$$d\dot{Q}_W = W \cdot dV \quad (14)$$

3.2.1.1 Diskretisierung der Speicherwärme

Mit Gleichung (12) ergibt sich

$$\Delta\dot{Q}_{sp} = \int_V d\dot{Q}_{sp} = \bar{c} \cdot \bar{\rho} \cdot \int_V \frac{dt}{d\tau} dV \quad (15)$$

Für die bei uns vorliegende eindimensionale Zylindergeometrie gilt

$$dV = 2 \pi l \cdot r \cdot dr \quad (16)$$

Wir erhalten also mit Skizze 3.2.1

$$\Delta\dot{Q}_{sp} = \bar{c} \cdot \bar{\rho} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \int_{G_{k-1}}^{G_k} \frac{dt}{d\tau} \cdot r \cdot dr \quad (17)$$

Um das Integral berechnen zu können, benötigen wir einen Ansatz für $\frac{dt}{d\tau}$.
Nach /4/ gilt exakt

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (18)$$

Üblicherweise wird bei der Diskretisierung davon ausgegangen, daß Δx so klein gewählt wird, daß näherungsweise gilt

$$\frac{dy}{dx} \approx \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x} \quad (19)$$

Mit diesem Ansatz folgt hier für die mittlere Maschentemperatur

$$\frac{dt_m}{d\tau} \approx \frac{t_m(\tau + \Delta\tau) - t_m(\tau)}{\Delta\tau} \quad (20)$$

Wir führen wie üblich ein:

$$t_m^x = t_m(\tau + \Delta\tau) \quad (20a)$$

$$t_m = t_m(\tau)$$

t_m und t_m^x sind als mittlere Maschentemperatur von r unabhängig, so daß wir mit Gleichung (17) und (20) erhalten:

$$\Delta\dot{Q}_{sp} = \bar{c} \cdot \bar{\rho} \cdot \pi \cdot l \cdot \frac{t_m^x - t_m}{\Delta\tau} (G_k^2 - G_{k-1}^2) \quad (21)$$

Bei bekanntem $\Delta\dot{Q}_{sp}$, das wir hier voraussetzen können, läßt sich also t_m^x um so genauer berechnen, je kleiner wir $\Delta\tau$ wählen. Um nun die weiteren Schritte der Rechnung vollziehen zu können, müssen wir eine wesentliche Annahme machen, nämlich:

Der Zuwachs der mittleren Maschentemperatur $t_m^x - t_m$ im Zeitschritt $\Delta\tau$ kann mit dem Zuwachs der Maschenmittentemperatur $t_k^x - t_k$ in $\Delta\tau$ gleichgesetzt werden und das in Gleichung (17) zu bildende Integral über das ortsabhängige $t(r)$ wird mit dieser Annahme ausreichend genau beschrieben.

Wir erhalten dann

$$t_k^x \approx t_k + \frac{\Delta\dot{Q}_{sp}}{\pi \cdot l \cdot \bar{c}_k \cdot \bar{\rho}_k \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2)} \cdot \Delta\tau \quad (22)$$

Es soll hier nicht unerwähnt bleiben, daß gerade diese Annahme der praktischen Bewährung bedarf (diese ist in vielen Rechenläufen bestätigt worden) und um so genauer zutreffen wird, je kleiner die Maschenabmessungen gewählt werden.

3.2.1.2 Diskretisierung der Leitungswärme

Mit Gleichung (13) ergibt sich

$$\Delta \dot{Q}_L = \int_V \bar{\lambda} \cdot \nabla^2 t \cdot dV \quad (23)$$

Gemäß /2/, Seite 424 gilt

$$\nabla^2 t = \text{div grad } t \quad (24)$$

und ebenda wird der Gauß'sche Satz angegeben zu

$$\int_{\text{Volumen}} \text{div } U \, dV = \int_{\text{Oberfläche}} U \, df \quad (25)$$

Diese beiden Gleichungen eingeführt in Gleichung (23) führen zu

$$\Delta \dot{Q}_L = \bar{\lambda} \cdot \int_{\text{Volumen der Masche}} \text{div grad } t \, dV = \bar{\lambda} \cdot \int_{\text{Oberfläche der Masche}} \text{grad}_N t \, df \quad (26)$$

Nun gilt in unserem Fall

$$\text{grad}_N t = \frac{\partial t}{\partial r} \quad (27)$$

Es wird also

$$\Delta \dot{Q}_L = \int_{\text{Oberfläche der Masche}} \bar{\lambda} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \cdot df \quad (28)$$

Die Oberfläche der Masche wird dargestellt von der inneren Fläche (links in Skizze 3.2, also $F_{G_{k-1}}$) und der äußeren Fläche (F_{G_k}) der Masche.

Es ist also

$$\Delta \dot{Q}_L = \int_{F_1}^{F_2} \bar{\lambda} \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right)_{F_1, F_2} df \quad (29)$$

$$F_1 = F(G_{k-1})$$

$$F_2 = F(G_k)$$

Der Differenzialquotient ist hierbei jeweils an der betrachteten Oberfläche zu nehmen und ist für diese jeweils eine Konstante. Es ist nämlich

$$F_1 = F_1(\varphi, x) \text{ an einem festen Radius.}$$

φ gäbe die Abhängigkeit vom Umfangswinkel, x die von der axialen Position an. Da beide wegen der eindimensionalen Betrachtung nicht relevant sind, gilt obige Aussage.

Mit Gleichung (7) sehen wir, daß das Integral an der oberen Grenze den Wert

$$\bar{\lambda} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \Big|_{F(G_k)} \cdot F(G_k) = - \dot{q}(G_k) \cdot F(G_k) \quad (30)$$

und an der unteren Grenze den Wert

$$\bar{\lambda} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \Big|_{F(G_{k-1})} \cdot F(G_{k-1}) = - \dot{q}(G_{k-1}) \cdot F(G_{k-1}) \quad (31)$$

annimmt. Unter Beachtung der Integrationsgesetze folgt damit und mit

$$F(G_k) = 2 \cdot \pi \cdot G_k \cdot l \quad (32)$$

$$F(G_{k-1}) = 2 \cdot \pi \cdot G_{k-1} \cdot l$$

$$\Delta \dot{Q}_L = 2 \pi l \cdot (-\dot{q}(G_k) \cdot G_k + \dot{q}(G_{k-1}) \cdot G_{k-1}) \quad (33)$$

Es wurde diese Form der Darstellung gewählt, weil hier die Differenz zu- und abfließender Wärmeströme gerade für den Techniker sehr anschaulich wird.

Gleichung (7) mit der Ableitung der Gleichung (5) führt mit Skizze 3.2.1 zu folgenden Ausdrücken:

$$\dot{q} (G_{k-1}^-) = - \lambda_k^- \cdot \left[- \frac{W_k}{2 \lambda_k^-} \cdot G_{k-1} + C_{1,k}^- \cdot \frac{1}{G_{k-1}} \right] \quad (35)$$

$$\dot{q} (G_k^+) = - \lambda_k^+ \cdot \left[- \frac{W_k}{2 \lambda_k^+} \cdot G_k + C_{1,k}^+ \cdot \frac{1}{G_k} \right] \quad (36)$$

Dies eingeführt in Gleichung (33) ergibt

$$\Delta \dot{Q}_L = 2 \pi l \cdot \left[- \frac{W_k}{2} \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2) + \lambda_k^+ \cdot C_{1,k}^+ - \lambda_k^- \cdot C_{1,k}^- \right] \quad (37)$$

Die Konstanten $C_{1,k}^+$ und $C_{1,k}^-$ lassen sich aus den Randbedingungen (Temperaturen) des vorangegangenen Zeitschrittes und mit Gleichung (3) ermitteln.

Es gelten gemäß Skizze 3.2.1 auf der linken Seite der Masche

$$t_{\emptyset_{k-1}} = - \frac{W_k}{4 \lambda_k^-} \cdot G_{k-1}^2 + C_{1,k}^- \cdot \ln G_{k-1} + C_{2,k}^- \quad (38)$$

$$t_k = - \frac{W_k}{4 \lambda_k^+} \cdot R_k^2 + C_{1,k}^+ \cdot \ln R_k + C_{2,k}^+ \quad (39)$$

Es werde gesetzt

$$a_k = \ln R_k / G_{k-1} \quad (40)$$

Gleichungen (38) und (39) voneinander abgezogen geben mit Gleichung (40)

$$C_{1,k}^- = \frac{1}{a_k} \cdot \left[\frac{W_k}{4 \lambda_k^-} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) - (t_{\emptyset_{k-1}} - t_k) \right] \quad (41)$$

Ebenso gilt für die rechte Seite der Masche

$$t_k = - \frac{W_k}{4 \lambda_k^+} \cdot R_k^2 + C_{1,k}^+ \cdot \ln R_k + C_{2,k}^+ \quad (42)$$

$$t_{\emptyset_k} = - \frac{W_k}{4 \lambda_k^+} \cdot G_k^2 + C_{1,k}^+ \cdot \ln G_k + C_{2,k}^+ \quad (43)$$

Es werde gesetzt:

$$b_k = \ln G_k / R_k \quad (44)$$

Dann ergibt sich

$$C_{1,k}^+ = \frac{1}{b_k} \cdot \left[\frac{W_k}{4 \lambda_k^+} \cdot (G_k^2 - R_k^2) - (t_k - t_{\emptyset_k}) \right] \quad (45)$$

Diese Ausdrücke in Gleichung (37) eingeführt geben schließlich

$$\begin{aligned} \Delta \dot{Q}_L = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[- \frac{W_k}{2} \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2) - \frac{W_k}{4} \cdot \left(\frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{a_k} - \frac{G_k^2 - R_k^2}{b_k} \right) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot (t_{\emptyset_{k-1}} - t_k) - \frac{\lambda_k^+}{b_k} \cdot (t_k - t_{\emptyset_k}) \right] \quad (46) \end{aligned}$$

3.2.1.3 Diskretisierung der Wärmeproduktion

Mit Gleichung (14) gilt

$$\Delta \dot{Q}_W = \int_V W dV \quad (47)$$

Mit Gleichung (16) und Skizze 3.2 wird dann

$$\Delta \dot{Q}_W = 2 \pi l \int_{G_{k-1}}^{G_k} W_k \cdot r \cdot dr$$

$$\text{also } \Delta \dot{Q}_W = \pi \cdot l \cdot W_k \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2) \quad (48)$$

3.2.2 Diskretisierte Form der Bilanzgleichung

$$\dot{\Delta Q}_{sp} = \dot{\Delta Q}_L + \dot{\Delta Q}_w$$

Mit den Gleichungen (22), (46) und (48) folgt

$$\begin{aligned} & \pi \cdot l \cdot \bar{c}_k \cdot \bar{\rho}_k \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2) \cdot \frac{t_k^* - t_k}{\Delta \tau} \\ & = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\frac{W_k}{4} \cdot \left(\frac{G_k^2 - R_k^2}{b_k} - \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{a_k} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot (t_{\emptyset_{k-1}} - t_k) - \frac{\lambda_k^+}{b_k} \cdot (t_k - t_{\emptyset_k}) \right] \end{aligned} \quad (50)$$

3.2.3 Berechnung der neuen mittleren Maschentemperatur - FUNKTION TN1

Es werden gesetzt:

$$\begin{aligned} A Q 1 & = \frac{W_k}{4} \cdot \left(\frac{G_k^2 - R_k^2}{b_k} - \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{a_k} \right) \\ A Q 2 & = \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot (t_{\emptyset_{k-1}} - t_k) \\ A Q 3 & = \frac{\lambda_k^+}{b_k} \cdot (t_k - t_{\emptyset_k}) \\ Z 2 K & = \pi \cdot \bar{c}_k \cdot \bar{\rho}_k \cdot (G_k^2 - G_{k-1}^2) \end{aligned} \quad (51)$$

Wie Gleichung (5) zeigt, ließe sich der Faktor $\pi \cdot l$ auf beiden Seiten herauskürzen. Der Anschaulichkeit wegen kürzen wir nur die unbekannte Länge "l" und erhalten damit auf beiden Seiten die auf die Länge bezogenen Wärmeströme für die betrachtete Masche.

Gleichung (50) mit Gleichung (51) umgeformt gibt dann die neue Temperatur zu

$$t_k^* = t_k + \frac{2 \cdot \pi \cdot (A Q 1 + A Q 2 - A Q 3)}{Z 2 K} \cdot \Delta \tau \quad (52)$$

3.2.3.1 Spezialfall der Masche $k = 1$ (Zentralmasche)

Hier gilt

$$G_{k-1} = 0$$

$$\text{also } a_k = \ln (R_k/G_{k-1}) = \infty$$

Mit Gleichung (51) folgt dann

$$A Q 1_{k=1} = \frac{w_1}{4} \cdot \frac{G_k^2 - R_k^2}{b_k} \quad (53)$$

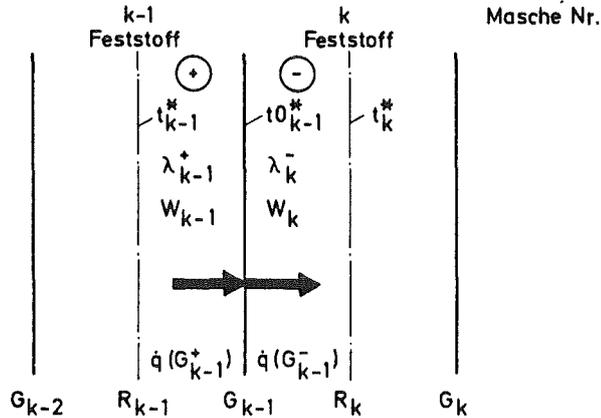
$$A Q 2_{k=1} = 0 \quad (54)$$

Sonst bleibt alles erhalten.

3.3 Bestimmung der Oberflächentemperaturen

Nachdem in den vorigen Kapiteln die zeitliche Änderung der Mittentemperatur in der Feststoffmasche ermittelt wurde, muß nun, um das neue Temperaturfeld zu vervollständigen, die neue linke Oberflächentemperatur bestimmt werden. Zu diesem Zweck wird wieder vereinfachend von der Wärmeleitgleichung für das stationäre Temperaturfeld ausgegangen.

3.3.1 An Masche k angrenzende linke Masche ist Feststoffmasche mit Wärmeproduktion - FUNCTION TØM



Skizze 3.3.1

Es ist offensichtlich, daß die Wärmestromdichten $\dot{q}(G_{k-1}^+)$ und $\dot{q}(G_{k-1}^-)$ gleich sein müssen. Wir nehmen wieder für den kleinen Zeitschritt und die kleine Masche an, daß die Wärmestromdichten stationär sein mögen. Bekannt sind vom vorigen Rechenschritt die Temperaturen t_{k-1}^* und t_k^* . Gesucht ist die neue Oberflächentemperatur t_{k-1}^{*x} .

Es gilt

$$\dot{q}(G_{k-1}^+) = \dot{q}(G_{k-1}^-) \quad (55)$$

Von den Gleichungen (35) und (36) können wir analog übertragen zu

$$\dot{q}(G_{k-1}^+) = -\lambda_{k-1}^+ \cdot \left[-\frac{W_{k-1}}{2\lambda_{k-1}^+} \cdot G_{k-1} + C_{1,k-1}^+ \cdot \frac{1}{G_{k-1}} \right] \quad (56)$$

$$\dot{q}(G_{k-1}^-) = -\lambda_k^- \cdot \left[-\frac{W_k}{2\lambda_k^-} \cdot G_{k-1} + C_{1,k}^- \cdot \frac{1}{G_{k-1}} \right] \quad (57)$$

Von Gleichung (41) läßt sich analog übertragen

$$C_{1,k}^- = \frac{1}{a_k} \cdot \left[\frac{W_k}{4 \lambda_k^-} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) - (t_{k-1}^* - t_k^*) \right] \quad (58)$$

Von Gleichung (45) läßt sich analog übertragen

$$C_{1,k-1}^+ = \frac{1}{b_{k-1}} \cdot \left[\frac{W_{k-1}}{4 \lambda_{k-1}^+} \cdot (G_{k-1}^2 - R_{k-1}^2) - (t_{k-1}^* - t_{k-1}^*) \right] \quad (59)$$

Mit diesen Gleichungen folgt als Zwischenergebnis

$$\begin{aligned} \frac{G_{k-1}^2}{2} \cdot (W_{k-1} - W_k) &= \frac{1}{b_{k-1}} \cdot \left[\frac{W_{k-1}}{4} \cdot (G_{k-1}^2 - R_{k-1}^2) - \lambda_{k-1}^+ \right. \\ &\cdot (t_{k-1}^* - t_{k-1}^*) \left. \right] - \frac{1}{a_k} \cdot \left[\frac{W_k}{4} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) - \lambda_k^- \cdot (t_{k-1}^* - t_k^*) \right] \quad (60) \end{aligned}$$

Es werden gesetzt:

$$\begin{aligned} A &= \frac{G_{k-1}^2}{2} \cdot (W_{k-1} - W_k) - \frac{W_{k-1}}{4 \cdot b_{k-1}} \cdot (G_{k-1}^2 - R_{k-1}^2) \\ &+ \frac{W_k}{4 \cdot a_k} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) \quad (61) \end{aligned}$$

$$B = \frac{\lambda_k^-}{a_k} + \frac{\lambda_{k-1}^+}{b_{k-1}} \quad (62)$$

$$D = \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot t_k^* + \frac{\lambda_{k-1}^+}{b_{k-1}} \cdot t_{k-1}^* \quad (63)$$

Dann ergibt sich schließlich

$$t_{k-1}^* = \frac{A + D}{B} \quad (64)$$

Dieser Zusammenhang ist in FUNCTION TØM programmiert.

3.3.1.1 Spezialfall der Masche $k = 1$ (Zentralmasche) FUNCTION TZ1

Es gilt hier

$$G_{k-1} = 0 \quad (65)$$

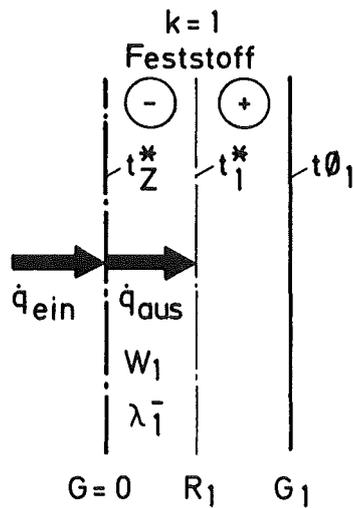
also $a_k = \ln (R_k/0) = + \infty \quad (66)$

$$b_{k-1} = \ln 0/R_{k-1} = - \infty \quad (67)$$

Damit wird

$$t_{\theta_0}^* = t_z^* = \frac{0}{0} \quad (68)$$

Die Situation wird von Skizze 3.3.1.1 verdeutlicht

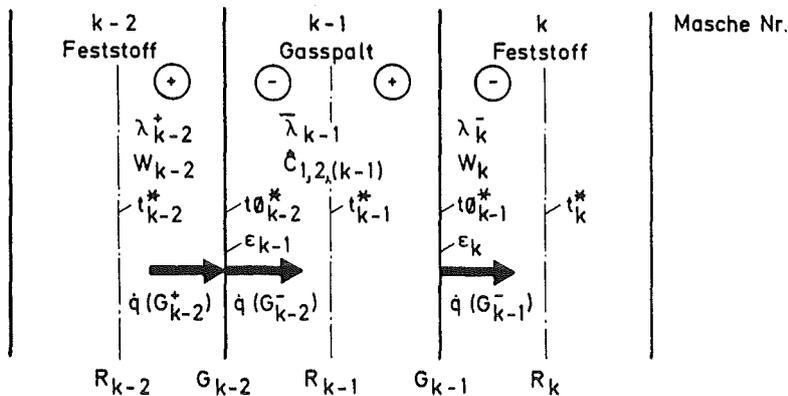


Skizze 3.3.1.1

Aus Symmetriegründen gilt $\dot{q}_{ein} = 0$. Für diesen Fall gilt nach /2/

$$t_z^* = \frac{W_1 \cdot R_1^2}{4 \lambda_1} + t_1^* \quad (69)$$

3.3.2 Angrenzende linke Masche ist Gasspalt mit Strahlung und Leitung - SUBROUTINE TØGA



Skizze 3.3.2

Offensichtlich muß wieder gelten:

$$\dot{q}(G_{k-2}^+) = \dot{q}(G_{k-2}^-) \quad (70)$$

Da im Gasspalt, dessen Medium als masselos und frei von Wärmeproduktion betrachtet wird, keine Energie gespeichert wird, muß auch gelten

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-) = \dot{Q}(G_{k-1}^-) \quad (71)$$

Um eine einheitliche Schreibweise zur Verfügung zu haben, setzen wir

$$\dot{Q}(G_{k-2}^+) = \dot{Q}(G_{k-2}^-) \quad (72)$$

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-) = \dot{Q}(G_{k-1}^-) \quad (73)$$

mit

$$\left. \begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-2}^-) &= 2 \cdot \pi \cdot G_{k-2} \cdot l \cdot \dot{q}(G_{k-2}^-) \\ \dot{Q}(G_{k-2}^+) &= 2 \cdot \pi \cdot G_{k-2} \cdot l \cdot \dot{q}(G_{k-2}^+) \\ \dot{Q}(G_{k-1}^-) &= 2 \cdot \pi \cdot G_{k-1} \cdot l \cdot \dot{q}(G_{k-1}^-) \end{aligned} \right\} \quad (74)$$

Wir können für die Feststoffmaschen von der Gleichung (35) und (36) wieder analog übertragen

$$\dot{q}(G_{k-2}^+) = - \lambda_{k-2}^+ \cdot \left[\frac{W_{k-2}}{2 \cdot \lambda_{k-2}^+} \cdot G_{k-2} + C_{1,k-2}^+ \cdot \frac{1}{G_{k-2}} \right] \quad (75)$$

$$\dot{q}(G_{k-1}^-) = - \lambda_k^- \cdot \left[- \frac{W_k}{2 \cdot \lambda_k^-} \cdot G_{k-1} + C_{1,k}^- \cdot \frac{1}{G_{k-1}} \right] \quad (76)$$

Weiter gilt nach /3/, Eb1 und Ka3 für die Leitung im Gasspalt

$$\dot{q}_L(G_{k-2}^+) = \frac{\bar{\lambda}_{k-1} \cdot (t\theta_{k-2}^* - t\theta_{k-1}^*)}{G_{k-2} \cdot d_{k-1}} \quad (77)$$

und für die Strahlung

$$\dot{q}_{\text{Strahlung}} = \hat{C}_{1,2(k-1)} \cdot (t\theta_{k-2}^{*4} - t\theta_{k-1}^{*4}) \quad (78)$$

mit

$$\hat{C}_{1,2(k-1)} = \frac{C_s^*}{\frac{1}{\epsilon_{k-2}} + \frac{G_{k-2}}{G_{k-1}} \cdot \left(\frac{1}{\epsilon_{k-1}} - 1 \right)} \quad (79)$$

$$C_s^* = 5,775 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \quad (80)$$

Von den Gleichungen (41) und (45) läßt sich wieder analog übertragen

$$C_{1,k-2}^+ = \frac{1}{b_{k-2}} \cdot \left[\frac{W_{k-2}}{4 \cdot \lambda_{k-2}^+} \cdot (G_{k-2}^2 - R_{k-2}^2) - (t_{k-2}^* - t\theta_{k-2}^*) \right] \quad (81)$$

$$C_{1,k}^- = \frac{1}{a_k} \cdot \left[\frac{W_k}{4 \cdot \lambda_k^-} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) - (t\theta_{k-1}^* - t_k^*) \right] \quad (82)$$

Dann folgt

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-2}^+) = 2 \pi l \cdot \left[\frac{W_{k-2}}{2} \cdot G_{k-2}^2 - \frac{W_{k-2}}{4 \cdot b_{k-2}} \cdot (G_{k-2}^2 - R_{k-2}^2) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_{k-2}^+}{b_{k-2}} \cdot (t_{k-2}^* - t\theta_{k-2}^*) \right] \quad (83) \end{aligned}$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^-) = 2 \pi \cdot 1 \cdot \left[\frac{W_k}{2} \cdot G_{k-1}^2 - \frac{W_k}{4 \cdot a_k} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) + \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot (t\vartheta_{k-1}^* - t_k^*) \right] \quad (84)$$

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-) = 2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot \left[\frac{\bar{\lambda}_{k-1}}{d_{k-1}} \cdot (t\vartheta_{k-2}^* - t\vartheta_{k-1}^*) + \hat{C}_{1,2,(k-1)} \cdot G_{k-2} \cdot (t\vartheta_{k-2}^{*4} - t\vartheta_{k-1}^{*4}) \right] \quad (85)$$

Zur besseren Lesbarkeit werden jetzt eingeführt:

$$\begin{aligned} X1 &= t\vartheta_{k-2}^* \\ X2 &= t\vartheta_{k-1}^* \end{aligned} \quad (86)$$

Im ersten Schritt werden nun die Gl. (83) und (84) gleichgesetzt.

Es werden folgende Abkürzungen eingeführt:

$$B1 = \frac{W_{k-2}}{2} \cdot G_{k-2}^2 - \frac{W_k}{2} \cdot G_{k-1}^2 \quad (87)$$

$$B2 = \frac{W_k}{4 \cdot a_k} \cdot (R_k^2 - G_{k-1}^2) - \frac{W_{k-2}}{4 \cdot b_{k-2}} \cdot (G_{k-2}^2 - R_{k-2}^2) \quad (88)$$

$$B3 = \frac{\lambda_{k-2}^+}{b_{k-2}} \quad (89)$$

$$B4 = \frac{\lambda_k^-}{a_k} \quad (90)$$

$$B5 = B1 + B2 + B3 \cdot t_{k-2}^* + B4 \cdot t_k^* \quad (91)$$

Dann folgt schließlich

$$X1 = (B5 - B4 \cdot X2)/B3 \quad (92)$$

Um X2 zu berechnen setzen wir nun die Gleichungen (84) und (85) gleich.

Als Abkürzungen werden eingeführt:

$$B6 = \frac{W_k}{2} \cdot \left[G_{k-1}^2 - \frac{(R_k^2 - G_{k-1}^2)}{2 \cdot a_k} \right] \quad (93)$$

$$B7 = \frac{\bar{\lambda}_{k-1}}{d_{k-1}}$$

$$B8 = \hat{C}_{1,2} \cdot G_{k-2}$$

$$B9 = B7/B4 \quad (94)$$

$$B10 = B8/B4$$

$$B11 = B6/B4$$

Dann ergibt sich schließlich

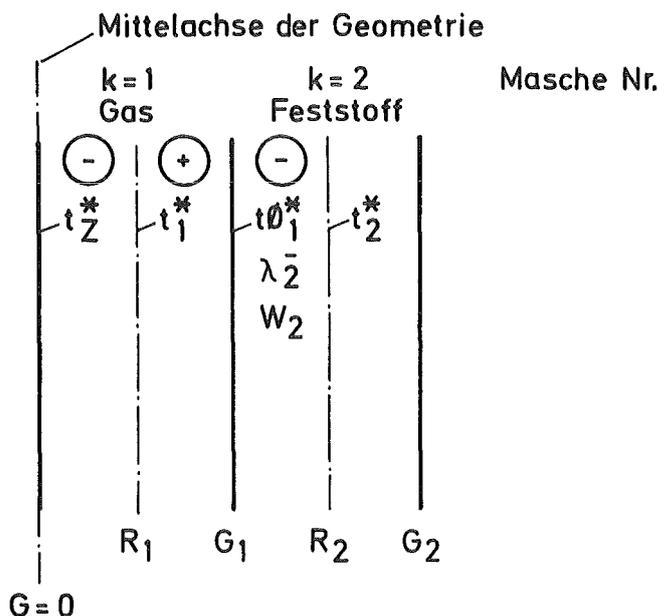
$$B9 \cdot (X1 - X2) + B10 \cdot (X1^4 - X2^4) - B11 - X2 + t_k^* = 0 \quad (95)$$

Da durch Gleichung (95) X1 als Funktion von X2 bestimmt ist, ist Gleichung (97) die implizite Lösungsgleichung für X2. Sie wird mit der Nullstellenroutine "NULLST41" gelöst.

Die hier dargestellten Zusammenhänge sind in den zusammengehörigen Routinen "SUBROUTINE TØGA" und "FUNCTION FUGA" programmiert.

3.3.2.1 Spezialfall: die Masche k=1 (Zentralmasche) ist gasgefüllt

FUNCTION TZGAS



Skizze 3.3.2.1

Wie üblich wird bei der Berechnung die gasgefüllte Masche übersprungen und t_2^* berechnet. Dieser Wert ist also bekannt.

Da im Gas keine Wärme erzeugt wird, und da Rotationssymmetrie vorausgesetzt wird (kein Strahlungsanteil), ist der der Masche 2 zufließende Wärmestrom Null. Das Problem stellt sich als Spezialfall des Kapitel 3.3.1 dar. Es kann von Gleichung (64) in Analogie ausgegangen werden.

Es gilt dann

$$t\theta_1^* = \frac{A + D}{B} \quad (96)$$

wobei A, D und B hier neue Bedeutungen erhalten.

Es gelten

$$t_z^* = t_1^* = t\theta_1^* \quad (97)$$

$$W_1 = 0$$

Dann werden die Glieder in Gleichung (61) zu

$$A = 4 \frac{W_2}{a_2} \cdot (R_2^2 - G_1^2) - \frac{G_1^2}{2} \cdot W_2 \quad (98)$$

$$B = \frac{\lambda_2^-}{a_2} + \frac{\lambda_1^+}{b_1} \quad (99)$$

$$D = \frac{\lambda_2^-}{a_2} \cdot t_2^* + \frac{\lambda_1^+}{b_1} \cdot t_1^* \quad (100)$$

Wenn man nun beachtet, daß $t_1^* = t\theta_1^*$ ist, ergibt sich sehr einfach

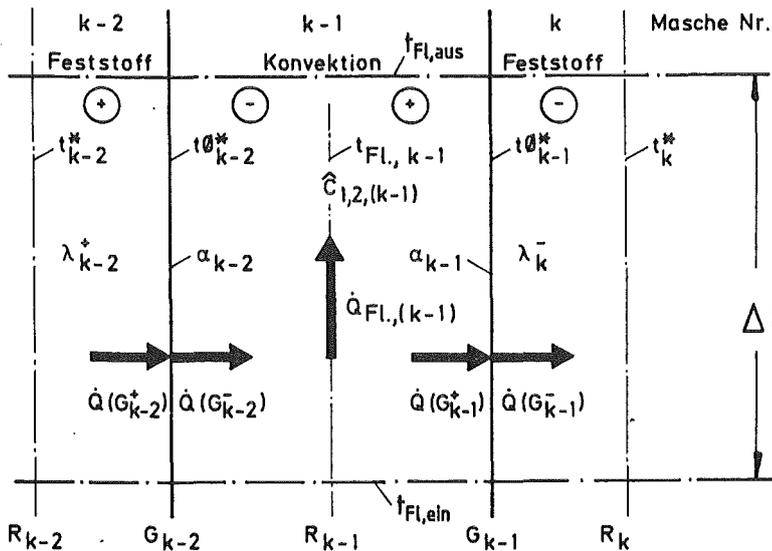
$$t_z^* = t_1^* = t\theta_1^* = \frac{A \cdot a_2}{\lambda_2^-} + t_2^* \quad (101)$$

Dieser Zusammenhang ist in der SUBROUTINE TZGAS programmiert.

3.3.3 Angrenzende linke Masche ist Spalt mit Konvektion und Strahlung

SUBROUTINE T0WUE

a) Skizze der Situation:



Skizze 3.3.3

b) Beschreibung der Situation

Wie in den vorangegangenen Fällen ist auch hier evident, daß an den Grenzflächen die Wärmeströme gleich sein müssen. Es gilt also

$$\dot{Q}(G_{k-2}^+) = \dot{Q}(G_{k-2}^-) \quad (102)$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^+) = \dot{Q}(G_{k-1}^-) \quad (103)$$

Die Wärmeströme in den Feststoffmaschen $\dot{Q}(G_{k-2}^+)$ und $\dot{Q}(G_{k-1}^-)$ werden wie in den vorigen Kapiteln unter Annahme des stationären Temperaturfeldes berechnet. Die Temperaturen t_{k-2}^* und t_k^* sind von den vorangegangenen Rechnungen bekannt, zu berechnen sind die neuen Oberflächentemperaturen t_{k-2}^* und t_{k-1}^* .

Der Beitrag der Strahlung von der einen zur anderen Fläche muß berücksichtigt werden. Ganz besonders ausgeprägt ist der Einfluß der Strahlung z.B. dann, wenn bei hohen Temperaturen bei der Konvektion nur kleine α -Zahlen auftreten. Man muß deshalb davon ausgehen, daß gilt

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-) = \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv. Anteil}} + \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlungsanteil}} \quad (104)$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^+) = \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{konv. Anteil}} + \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{Strahlungsanteil}} \quad (105)$$

Der Strahlungsanteil ist abhängig von den Temperaturen der beiden Oberflächen der Masche $k-1$, so daß hierdurch beide Seiten miteinander gekoppelt sind. Während der konvektive Anteil der beiden Wärmeströme $\dot{Q}(G_{k-2}^-)$ und $\dot{Q}(G_{k-1}^+)$ in das strömende Medium eingetragen wird, wird der Strahlungsanteil nur zwischen beiden Oberflächen ausgetauscht. Wir setzen also voraus, daß in dem strömenden Medium keine Absorption stattfindet.

c.) Berechnung der Oberflächentemperaturen t_{k-1}^* und t_k^*

Gleichungen (104) und (105) sind evident. Als Input sind gegeben: α , t_{F1} , Geometrie.

Es gelten nun

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv. Anteil}} = \alpha_{k-2} \cdot F_{k-2} \cdot (t_{k-2}^* - t_{F1, k-1}) \quad (106)$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{konv. Anteil}} = \alpha_{k-1} \cdot F_{k-1} \cdot (t_{F1, k-1} - t_{k-1}^*) \quad (107)$$

Diese Wärmeströme gehen von der Wand zum Fluid oder umgekehrt.

Wir wenden uns nun dem Strahlungsanteil zu. Zunächst ist unter der oben gemachten Voraussetzung (keine Absorption im Fluid) festzustellen, daß gelten muß

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlungsanteil}} = \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{Strahlungsanteil}} \quad (108)$$

Von Gleichung (78) können wir analog übertragen

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlung}} = \hat{C}_{1,2(k-1)} \cdot F_{k-2} \cdot (t_{\theta_{k-2}}^{\times 4} - t_{\theta_{k-1}}^{\times 4}) \quad (109)$$

Von den Gleichungen (104) und (105) ausgehend und mit Gleichung (108) können wir jetzt schreiben

$$\dot{Q}(G_{k-2}^+) = \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv.}} + \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlung}} \quad (110)$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^-) = \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{konv.}} + \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlung}} \quad (111)$$

Mit den Gleichungen (102) und (103), (106) und (107) sowie (109) erhalten wir

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-2}^+) &= \alpha_{k-2} \cdot F_{k-2} \cdot (t_{\theta_{k-2}}^{\times} - t_{F1,k-1}) + \hat{C}_{1,2,k-1} \cdot F_{k-2} \\ &\quad \cdot (t_{\theta_{k-2}}^{\times 4} - t_{\theta_{k-1}}^{\times 4}) \end{aligned} \quad (112)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-1}^-) &= \alpha_{k-1} \cdot F_{k-1} \cdot (t_{F1,k-1} - t_{\theta_{k-1}}^{\times}) + \hat{C}_{1,2,k-1} \cdot F_{k-2} \\ &\quad \cdot (t_{\theta_{k-2}}^{\times 4} - t_{\theta_{k-1}}^{\times 4}) \end{aligned} \quad (113)$$

Mit den Gleichungen (83) und (84) sind $\dot{Q}(G_{k-2}^+)$ und $\dot{Q}(G_{k-1}^-)$ gegeben, so daß wir zur Bestimmung der beiden Unbekannten $t_{\theta_{k-2}}^{\times}$ und $t_{\theta_{k-1}}^{\times}$ zwei Bestimmungsgleichungen zur Verfügung haben.

Wir ziehen nun Gleichung (113) von Gleichung (112) ab und erhalten als erste Bestimmungsgleichung

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-2}^+) - \dot{Q}(G_{k-1}^-) &= \alpha_{k-2} \cdot F_{k-2} \cdot (t_{\theta_{k-2}}^{\times} - t_{F1,k-1}) \\ &\quad - \alpha_{k-1} \cdot F_{k-1} \cdot (t_{F1,k-1} - t_{\theta_{k-1}}^{\times}) \end{aligned} \quad (114)$$

Mit Gleichung (83) ist $\dot{Q}(G_{k-2}^+)$, mit Gleichung (84) auch $\dot{Q}(G_{k-1}^-)$ gegeben.

Wir setzen darin:

$$WK1 = \frac{W_{k-2}}{2} \cdot \left[G_{k-2}^2 - \frac{G_{k-2}^2 - R_{k-2}^2}{2 \cdot b_{k-2}} \right] \quad (115)$$

$$WK2 = \frac{W_k}{2} \cdot \left[G_{k-1}^2 - \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{2 \cdot a_k} \right] \quad (115a)$$

$$WK3 = WK1 - WK2 \quad (116)$$

$$BK1 = \frac{\lambda_{k-2}^+}{b_{k-2}} \quad (117)$$

$$BK2 = \frac{\lambda_k^-}{a_k} \quad (118)$$

$$BK3 = BK1 \cdot t_{k-2}^* + BK2 \cdot t_k^* \quad (119)$$

$$X1 = t\theta_{k-2}^* \quad (120)$$

$$X2 = t\theta_{k-1}^* \quad (121)$$

Dann erhalten wir für den linken Term der Gleichung (114)

$$\begin{aligned} & \dot{Q}(G_{k-2}^+) - \dot{Q}(G_{k-1}^-) \\ &= 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[WK1 + BK3 - BK1 \cdot X1 - BK2 \cdot X2 \right] \end{aligned} \quad (122)$$

Den rechten Term der Gleichung (114) übernehmen wir leicht umgeformt und erhalten mit den Flächenbezeichnungen:

$$\begin{aligned} & \dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv.}} - \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{konv.}} \\ &= 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\alpha_{k-2} \cdot G_{k-2} \cdot (X1 - t_{F1,k-1}) - \alpha_{k-1} \cdot G_{k-1} \cdot (t_{F1,k-1} - X2) \right] \end{aligned} \quad (123)$$

Wir führen nun weiter ein

$$BK4 = \alpha_{k-2} \cdot G_{k-2} \quad (124)$$

$$BK5 = \alpha_{k-1} \cdot G_{k-1} \quad (125)$$

$$BK6 = (BK4 + BK5) \cdot t_{F1,k-1} \quad (126)$$

Dann folgt aus Gleichung (127)

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv.}} - \dot{Q}(G_{k-1}^+)_{\text{konv.}} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot [BK4 \cdot X1 + BK5 \cdot X2 - BK6] \quad (127)$$

Setzen wir nun gemäß Gleichung (119) die Gleichungen (126) und (131) gleich, dann erhalten wir

$$\begin{aligned} WK3 + BK3 - BK1 \cdot X1 - BK2 \cdot X2 \\ = BK4 \cdot X1 + BK5 \cdot X2 - BK6 \end{aligned} \quad (128)$$

Wir setzen nun

$$BK7 = WK3 + BK3 + BK6 \quad (129)$$

$$BK8 = BK4 + BK1 \quad (130)$$

$$BK9 = BK5 + BK2 \quad (131)$$

Damit erhalten wir schließlich

$$X1 = (BK7 - BK9 \cdot X2) / BK8 \quad (132)$$

Damit ist wieder X1 als Funktion von X2 bestimmt.

Zur Bestimmung von X2 ziehen wir Gleichung (112) heran.

Mit den Abkürzungen von Seite 31 erhalten wir

$$\dot{Q}(G_{k-2}^+) = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[WK1 + BK1 \cdot (t_{k-2}^* - X1) \right] \quad (133)$$

sowie

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{konv}} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot BK4 \cdot (X1 - t_{F1, k-1}) \quad (134)$$

und schließlich

$$\dot{Q}(G_{k-2}^-)_{\text{Strahlung}} = \hat{C}_{1,2(k-1)} \cdot 2 \pi l \cdot G_{k-2} \cdot (X1^4 - X2^4) \quad (135)$$

Wir setzen nun

$$BK10 = WK1 + BK1 \cdot t_{k-2}^* + BK4 \cdot t_{F1, k-1} \quad (136)$$

$$BK11 = \hat{C}_{1,2(k-1)} \cdot G_{k-2} \quad (137)$$

$$BK12 = BK1 + BK4 \quad (138)$$

Damit geht Gleichung (112) über in

$$BK10 - BK12 \cdot X1 - BK11 \cdot (X1^4 - X2^4) = 0 \quad (139)$$

oder besser

$$BK10/BK12 - X1 - BK11/BK12 \cdot (X1^4 - X2^4) = 0 \quad (140)$$

Diese implizite Bestimmungsgleichung für X2 wird in der SUBROUTINE TØWUE programmiert und mit dem Nullstellenprogramm NULLST41 und der FUNCTION FUTØ gelöst.

d.) _____ Energiebilanz zum Fluid

Es gilt für den endlich ausgedehnten axialen Bereich gemäß Skizze 3.3.3

$$\dot{Q}_{F1, (k-1)} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{F1, \text{aus}} - t_{F1, \text{ein}}) \quad (141)$$

Da das Programm eindimensional arbeiten soll, müssen wir $\Delta l \rightarrow 0$ gehen lassen

Betrachten wir die Bilanzgleichung (141) für den endlichen Bereich, so gilt mit

$$F = 2 \pi G \cdot \Delta l \quad (142)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{F1,(k-1)} &= \alpha_{k-2} \cdot 2 \pi G_{k-2} \cdot \Delta l \cdot (t\theta_{k-2}^* - t_{F1,k-1}) \\ &\quad - \alpha_{k-1} \cdot 2 \cdot \pi \cdot G_{k-1} \cdot \Delta l \cdot (t\theta_{k-2}^* - t_{F1,k-1}) \\ &= \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_{F1,aus} - t_{F1,ein}) \end{aligned} \quad (143)$$

Wir dividieren beide Seiten durch Δl und es folgt mit der Bedingung $\Delta l \rightarrow 0$

$$\begin{aligned} \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \dot{Q}_{F1,k-1} &= \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \left(\dot{m} \cdot c_p \cdot \frac{t_{F1}(l + \Delta l) - t_{F1}(l)}{\Delta l} \right) \\ &= \dot{m} \cdot c_p \cdot \frac{dt_{F1}}{dl} \end{aligned} \quad (144)$$

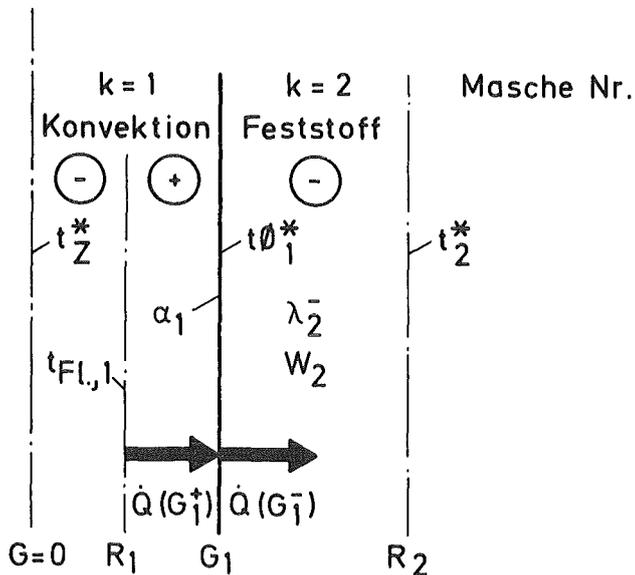
Die Oberflächentemperaturen $t\theta_{k-2}^*$ und $t\theta_k^*$ sind vom vorigen Kapitel her bekannt.

Nun sind die Größen α_{k-2} , α_{k-1} und $t_{F1,k-1}$ Randbedingungen, die dem Programm (auch zeitabhängig) mitgeteilt werden müssen, also bekannt sind. Wir wären also in der Lage, aus dieser Bilanz zu errechnen

$$\frac{dt_{F1,k-1}}{dl} = \frac{2 \cdot \pi \cdot [\alpha_{k-2} \cdot G_{k-2} \cdot (t\theta_{k-2}^* - t_{F1,k-1}) - \alpha_{k-1} \cdot G_{k-1} \cdot (t_{F1,k-1} - t\theta_{k-1}^*)]}{\dot{m}_{k-1} \cdot c_{p,k-1}} \quad (145)$$

Diese Bilanz wurde der Vollständigkeit halber angegeben, der Differentialquotient der Fluidtemperatur nach der Länge interessiert uns in einem eindimensionalen Programm nicht, kann aber bei einer Erweiterung auf die axiale Dimension nützlich sein.

3.3.3.1 Spezialfall der Masche k=1 (Zentralmasche) mit Konvektion
SUBROUTINE TØRØHR



Skizze 3.3.3.1

Wie üblich wird bei der Rechnung im ersten Schritt die Masche mit Konvektion übersprungen und t_2^* errechnet. Im zweiten Schritt wird die neue Oberflächentemperatur $t_{Ø1}^*$ ausgerechnet.

Es gilt:

$$\dot{Q}(G_1^+) = \dot{Q}(G_1^-) \quad (146)$$

Da kein Strahlungsterm zu berücksichtigen ist, kann geschrieben werden

$$\dot{Q}(G_1^+) = \alpha_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot G_1 \cdot (t_{F1,1}^* - t_{Ø1}^*) \quad (147)$$

$\dot{Q}(G_1^-)$ kann wieder von Gleichung (84) analog übertragen werden zu

$$\dot{Q}(G_1^-) = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\frac{W_2}{2} \cdot (G_1^2 - \frac{1}{2 \cdot a_2} \cdot (R_2^2 - G_1^2)) + \frac{\lambda_2 \cdot (t_{Ø1}^* - t_2^*)}{a_2} \right] \quad (148)$$

Es werde gesetzt:

$$WZ1 = \frac{W_2}{2} \cdot (G_1^2 - \frac{1}{2 \cdot a_2} \cdot (R_2^2 - G_1^2)) \quad (149)$$

$$BZ1 = \frac{\lambda_2}{a_2} \quad (150)$$

$$BZ2 = \alpha_1 \cdot G_1 \quad (151)$$

$$BZ3 = BZ2 \cdot t_{F1,1} + BZ1 \cdot t_2^* - WZ1 \quad (152)$$

$$BZ4 = BZ1 + BZ2 \quad (153)$$

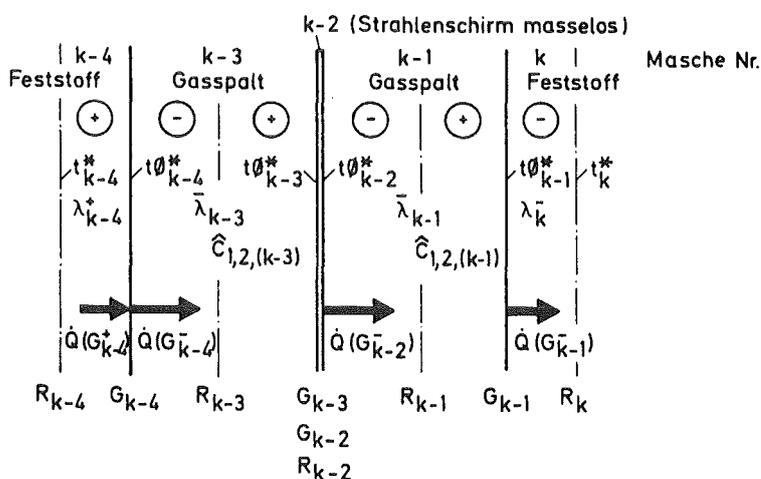
Damit ergibt sich durch Gleichsetzen und Umformung

$$t\phi_1^* = \frac{BZ3}{BZ4} \quad (154)$$

Dieser Zusammenhang ist in SUBROUTINE TØRØHR programmiert.

3.3.4 Oberflächentemperaturen vor, hinter und an einem masselosen Strahlenschild - SUBROUTINE TØSTRA

Zwischen der linken Feststoffmasche und dem Strahlenschild sowie dem Strahlenschild und der rechten Feststoffmasche herrscht Strahlung und Leitung. Da wir wieder Stationarität annehmen, sind wir im Programm bis zur rechten Feststoffmasche gelangt (in der eine zeitliche Änderung stattfindet). Es gilt deshalb folgende Skizze:



Skizze 3.3.4

Da der Strahlenschild als masselos betrachtet werden soll, können gesetzt werden:

$$G_{k-3} = G_{k-2} = R_{k-2} \quad (155)$$

und

$$t_{0,k-3}^x = t_{0,k-2}^x \quad (156)$$

Der besseren Lesbarkeit wegen wollen wir analog zu den vorigen Kapiteln setzen

$$t\theta_{k-4}^* = X1 \quad (157)$$

$$t\theta_{k-3}^* = X2 \quad (158)$$

$$t\theta_{k-1}^* = X3 \quad (159)$$

Dies sind die drei Unbekannten, die wir zu berechnen haben.

Da wir Stationarität voraussetzen, ist es evident, daß gelten muß

$$\dot{Q}(G_{k-4}^+) = \dot{Q}(G_{k-4}^-) = \dot{Q}(G_{k-2}^-) = \dot{Q}(G_{k-1}^-) \quad (160)$$

Nun brauchen wir wieder nur analog zu übertragen, nämlich

$$\dot{Q}(G_{k-4}^+) \text{ von Gleichung (83)}$$

$$\dot{Q}(G_{k-1}^-) \text{ von Gleichung (84)}$$

$$\dot{Q}(G_{k-4}^-) \text{ und } \dot{Q}(G_{k-2}^-) \text{ von Gleichung (85)}$$

Also

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-4}^+) = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\frac{W_{k-4}}{2} \cdot \left(G_{k-4}^2 - \frac{G_{k-4}^2 - R_{k-4}^2}{2 \cdot b_{k-4}} \right) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_{k-4}^+}{b_{k-4}} \cdot (t_{k-4}^* - X1) \right] \end{aligned} \quad (161)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-1}^-) = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\frac{W_k}{2} \cdot \left(G_{k-1}^2 - \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{2 \cdot a_k} \right) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_k^-}{a_k} \cdot (X3 - t_k^*) \right] \end{aligned} \quad (162)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-4}^-) = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot \left[\frac{\bar{\lambda}_{k-3}}{d_{k-3}} \cdot (X1 - X2) \right. \\ \left. + \hat{C}_{1,2,(k-3)} \cdot G_{k-4} \cdot (X1^4 - X2^4) \right] \end{aligned} \quad (163)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}(G_{k-2}^-) &= 2 \cdot \pi \cdot l \left[\frac{\bar{\lambda}_{k-1}}{d_{k-1}} \cdot (X_2 - X_3) \right. \\ &\quad \left. + \hat{C}_{1,2,(k-1)} \cdot G_{k-2} \cdot (X_2^4 - X_3^4) \right] \end{aligned} \quad (164)$$

Der besseren Überschaubarkeit wegen setzen wir

$$A1 = \frac{W_{k-4}}{2} \cdot \left[G_{k-4}^2 - \frac{G_{k-4}^2 - R_{k-4}^2}{2 \cdot b_{k-4}} \right] \quad (165)$$

$$A2 = \frac{\lambda_{k-4}^+}{b_{k-4}} \quad (166)$$

$$B1 = \frac{W_k}{2} \cdot \left[G_{k-1}^2 - \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{2 \cdot a_k} \right] \quad (167)$$

$$B2 = \frac{\lambda_k^-}{a_k} \quad (168)$$

$$C1 = \hat{C}_{1,2,k-3} \cdot G_{k-4} \quad (169)$$

$$C2 = \frac{\bar{\lambda}_{k-3}}{d_{k-3}} \quad (170)$$

$$D1 = \hat{C}_{1,2,k-1} \cdot G_{k-2} \quad (171)$$

$$D2 = \frac{\bar{\lambda}_{k-1}}{d_{k-1}} \quad (172)$$

Mit diesen Abkürzungen folgt mit Gleichung (161) = Gleichung (162)

$$A1 + A2 \cdot (t_{k-4}^* - X_1) = B1 + B2 \cdot (X_3 - t_k^*) \quad (173)$$

Wir wählen $X_3 = X$ als die schließlich im iterativen Prozeß zu bestimmende Größe.

Aus Gleichung (173) folgt schließlich

$$X_1 = \frac{A_1 - B_1 + B_2 \cdot (t_k^* - X)}{A_2} + t_{k-4}^* \quad (174)$$

Wir setzen nun noch aus programmtechnischen Gründen

$$Z_1 = \frac{1}{A_2} \cdot (A_1 - B_1 + B_2 \cdot t_k^*) + t_{k-4}^* \quad (175)$$

$$Z_2 = B_2/A_2 \quad (175a)$$

Dann ergibt sich endlich

$$X_1 = Z_1 - Z_2 \cdot X \quad (176)$$

Wir wollen nun X_2^4 eliminieren, um auch für X_2 eine einfache Abhängigkeit von X und X_1 zu erhalten.

Im ersten Schritt setzen wir dazu

$$\text{Gleichung (162)} = \text{Gleichung (163)}$$

Wir erhalten damit

$$X_2^4 = X_1^4 - \frac{1}{C_1} \cdot \left[B_1 + B_2 \cdot (X - t_k^*) - C_2 \cdot (X_1 - X_2) \right] \quad (177)$$

Nun setzen wir

$$\text{Gleichung (162)} = \text{Gleichung (164)}$$

Damit ergibt sich

$$X_2^4 = X^4 + \frac{1}{D_1} \cdot \left[B_1 + B_2 \cdot (X - t_k^*) - D_2 \cdot (X_2 - X) \right] \quad (178)$$

Wir ziehen beide Gleichungen voneinander ab und mit folgenden Vereinbarungen

$$E1 = \frac{B1 - B2 \cdot t_k^x}{C1} \quad (179)$$

$$E2 = B2/C1 \quad (180)$$

$$E3 = C2/C1 \quad (181)$$

$$F1 = (B1 - B2 \cdot t_k^x)/D1 \quad (182)$$

$$F2 = B2/D1 \quad (183)$$

$$F3 = D2/D1 \quad (184)$$

erhalten wir

$$\begin{aligned} X1^4 - E1 - E2 \cdot X + E3 \cdot (X1 - X2) \\ -X^4 - F1 - F2 \cdot X + F3 \cdot (X2 - X) = 0 \end{aligned} \quad (185)$$

Wir vereinbaren weiter

$$FA1 = F3 - E3 \quad (186)$$

$$FA2 = (F1 + E1)/FA1 \quad (187)$$

$$FA3 = (F2 + F3 + E2)/FA1 \quad (188)$$

$$FA4 = E3/FA1$$

Damit erhalten wir schließlich

$$X2 = (X^4 - X1^4)/FA1 + FA2 + FA3 \cdot X - FA4 \cdot X1 \quad (189)$$

Wir haben damit X2 als Funktion des schon bekannten X1 und der endgültig zu bestimmenden Variablen X dargestellt.

Als implizite Funktion für X ziehen wir Gleichung (177) heran.

Wir treffen folgende Vereinbarungen:

$$FB1 = E1/E3 \quad (190)$$

$$FB2 = E2/E3 \quad (191)$$

Damit folgt schließlich

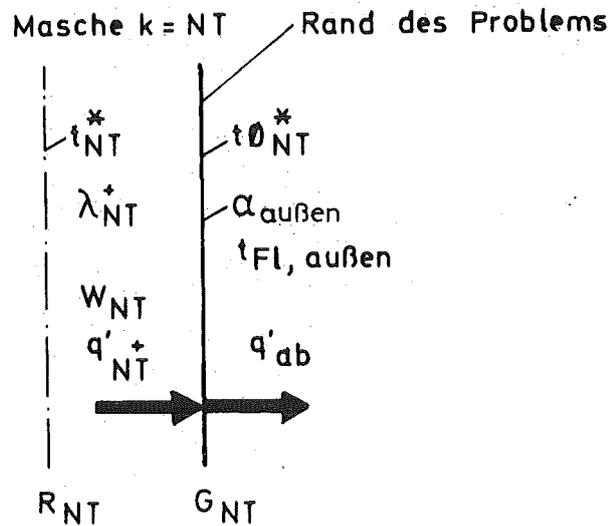
$$(X1^4 - X2^4)/E3 - FB1 - FB2 \cdot X + X1 - X2 = 0 \quad (192)$$

Diese implizite Gleichung für X hat wieder die Dimension einer Temperatur.

Sie ist in der SUBROUTINE TØSTRA mit der FUNCTION FUSTRA programmiert und wird mit Hilfe der Nullstellenroutine NULLST41 gelöst.

3.3.5 Oberflächentemperatur der rechten Randmasche - FUNCTION TØNT

Es wird angenommen, daß der Wärmeübergang am rechten Rand durch Konvektion bestimmt wird. Der Strahlungsanteil ist in diesem Fall in die in SUBROUTINE WUE anzugebende α -Zahl mit einzubeziehen. Die äußere Fluidtemperatur ist in FUNCTION TFL zu programmieren.



Skizze 3.3.5

Mit dem in den vorigen Kapiteln geschilderten Vorgehen ergibt sich

$$q'_{NT} = 2 \pi \cdot G_{NT} \cdot \left[\frac{W_{NT}}{2} \cdot G_{NT} - \frac{W_{NT}}{4b_{NT}G_{NT}} (G_{NT}^2 - R_{NT}^2) + \frac{(t_{NT}^* - t_{\emptyset_{NT}}^*) \cdot \lambda_{NT}^+}{b_{NT} \cdot G_{NT}} \right] \quad (193)$$

Außerdem gilt

$$q'_{ab} = 2 \pi G_{NT} \cdot \alpha_{au\beta en} \cdot (t_{\emptyset_{NT}}^* - t_{Fl, au\beta en}) \quad (194)$$

Es seien:

$$A = \frac{W_{NT}}{2} G_{NT} - \frac{W_{NT}}{4b_{NT}G_{NT}} \cdot (G_{NT}^2 - R_{NT}^2) \quad (195)$$

$$B = \frac{\lambda_{NT}^+}{b_{NT} \cdot G_{NT}}$$

Dann ergibt sich als Oberflächentemperatur am rechten Rand der Ausdruck

$$t_{\emptyset_{NT}}^* = \frac{A + B \cdot t_{NT}^* + \alpha_{au\beta en} \cdot t_{Fl, au\beta en}}{\alpha_{au\beta en} + B} \quad (196)$$

Dieser Zusammenhang ist in der FUNCTION TØNT programmiert.

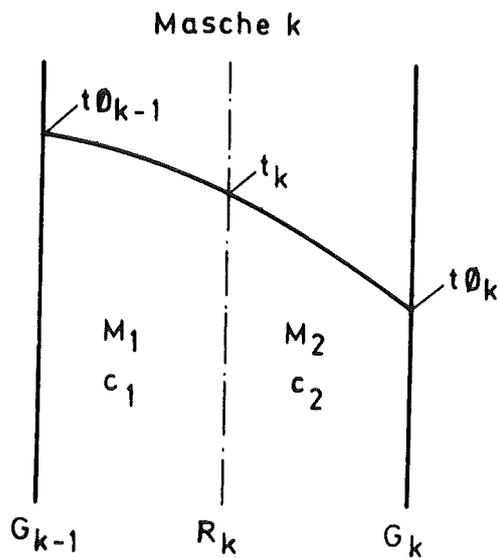
4. Mittlere Stoffwerte in einer Masche

In Betracht kommen ρ , c , λ

4.1 Dichte ρ

Die Dichte ρ ist so wenig von der Temperatur abhängig, daß es genügt, sie in Abhängigkeit von der Maschenmittentemperatur zu bestimmen.

4.2 Spezifische Wärmekapazität c



Skizze 4.2

M: Masse

$$\dot{Q} = M_k \cdot c_m \cdot \frac{dt}{d\tau} = (M_1 \cdot c_1 + M_2 \cdot c_2) \cdot \frac{dt}{d\tau} \quad (197)$$

$$c_m = \frac{M_1 \cdot c_1 + M_2 \cdot c_2}{M_k} \quad (198)$$

$$M_2 = M_k - M_1 \quad (199)$$

Damit folgt:

$$c_m = \frac{M_1}{M_k} \cdot (c_1 - c_2) + c_2 \quad (200)$$

$$M_1 = \pi (R_k^2 - G_{k-1}^2) \cdot l \cdot \rho_k \quad (201)$$

$$M_k = \pi (G_k^2 - G_{k-1}^2) \cdot l \cdot \rho_k$$

Dann wird

$$c_m = \frac{R_k^2 - G_{k-1}^2}{G_k^2 - G_{k-1}^2} \cdot (c_1 - c_2) + c_2 \quad (202)$$

Für die Temperaturabhängigkeit kann das Vorgehen von Kapitel 4.3 ganz analog mit dem gleichen Ergebnis angewendet werden, so daß gilt:

$$c_1 = c \left(\frac{t_{\theta_{k-1}} + t_k}{2} \right) \quad (203)$$

$$c_2 = c \left(\frac{t_k + t_{\theta_k}}{2} \right) \quad (204)$$

4.3 Wärmeleitfähigkeit λ

Nach /2/, Seite 130 gilt für Zylindergeometrie bei Annahme einer linearen Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Temperatur exakt:

$$\lambda_m = \lambda \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right) \quad (205)$$

Es ist deshalb bei der Aufbereitung des Problems nötig, die Maschen insbesondere bei Isolierstoffen klein zu halten, damit die Differenz von t_1 und t_2 nicht so groß wird, daß der lineare Ansatz zu größeren Fehlern führt.

5. Stabilitätskriterium (maximal mögliche und variable Zeitschrittweite)

In /1/, Seite 165 ist das Stabilitätskriterium für den vorliegenden Fall angegeben zu

$$\Delta\tau \geq 0,5 \cdot \Delta r^2 \cdot \frac{\rho \cdot c}{\lambda} \quad (206)$$

Darin sind $\Delta\tau$ die maximal mögliche Zeitschrittweite, Δr die Maschenstärke, hier also $G_k - G_{k-1}$, ρ , c und λ die Stoffwerte der betrachteten Masche. Da sich die Abmessungen (Δr), aber insbesondere auch die Stoffwerte mit der Temperatur ändern, wurde bei der Programmoption "SCHR = --V" variable Schrittweite vereinbart. Es wird dann die Routine zur Schrittweitenbestimmung nach je 50 Zeitschritten wiederholt und die mögliche Zeitschrittweite neu bestimmt. Ergibt sich eine Änderung gegenüber der vorherigen Zeitschrittweite $\geq 10\%$, so wird das Programm mit der neuen Zeitschrittweite weitergeführt. Diese Maßnahme hat in einem Fall dazu geführt, daß die Zeitschrittweite im Verlauf der Rechnung um den Faktor 3,5 vergrößert werden konnte.

Nun haben Proberechnungen gezeigt, daß bei bestimmten geometrischen Anordnungen die Zeitschrittweite ohne Schaden für die Rechnung vergrößert werden konnte. Das legte den Schluß nahe, daß Gleichung (206) einschränkende Voraussetzungen zugrunde liegen. Es wurde deshalb die der Gleichung (206) zugrundeliegende, in /1/ zitierte Literaturstelle näher betrachtet.

In /10/, Seite 94 ist das zugrundegelegte Stabilitätskriterium angegeben. Es wird dort die für den ebenen Fall geltende parabolische partielle Differentialgleichung

$$\frac{du}{d\tau} = a \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \cdot u \quad (207)$$

betrachtet.

Bei der analogen Übertragung auf unseren Fall gelten dann

$$u = t \quad (208)$$

$$x = r \quad (209)$$

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad (210)$$

$$b \cdot u = \frac{1}{c \cdot \rho} \cdot W(t, \tau) \quad (211)$$

Die der Stabilitätsbetrachtung in /10/ zugrundegelegte diskretisierende Differenzgleichung ist

$$\frac{t(r_k, \tau + \Delta\tau) - t(r_k, \tau)}{\Delta\tau} = a \cdot \left[t(r_{k-1}, \tau) - 2 \cdot t(r_k, \tau) + t(r_{k+1}, \tau) \right] / \Delta r^2 + \frac{1}{c \cdot \rho} \cdot W(t, \tau) \quad (212)$$

Die aus diesen Angaben ableitbaren Voraussetzungen wollen wir hier aufzeigen:

- a) Gleichung (212) zeigt, daß für die durchgeführte Betrachtung drei benachbarte Maschen (r_{k-1} , r_k , r_{k+1}) mit den gleichen "a" vorausgesetzt werden. Wenn diese Voraussetzung nicht erfüllt ist, muß die Gültigkeit des Kriteriums geprüft werden. Nun zeigen Proberechnungen, daß das angegebene Stabilitätskriterium in folgenden Fällen nicht anwendbar ist:
 - a.a) Wenn zwei völlig andersgeartete Stoffe mit unterschiedlichem "a" (z.B. Isolierstoff angrenzend an ein Metall), die beide in je einer Masche dargestellt werden, vorliegen.
 - a.b) Aus a.a) ableitbar, wenn eine Feststoffmasche von Gasspalten umgeben ist. (Das trifft auch zu, wenn in einem der Spalte Konvektion gegeben ist.)

In diesen Fällen wird die maximal mögliche Zeitschrittweite durch die Konvergenz der Iterationsroutine NULLST41 bestimmt und muß "experimentell" (durch Proberechnungen) ermittelt werden.

Wenn allerdings in der Gesamtgeometrie ein Fall zweier zusammengehöriger Maschen auftritt, wird die maximale Zeitschrittweite durch die Anordnung bestimmt.

- b) Gleichung (207) setzt eine ebene Geometrie voraus. Alle Rechnungen zeigen aber, daß das Stabilitätskriterium gemäß Gleichung (206) nie zu Instabilitäten führt, so daß die allgemeine Anwendbarkeit auf Zylindergeometrie gegeben zu sein scheint.
- c) In der vorliegenden Arbeit wird die Diskretisierung nicht in der durch Gleichung (212) gegebenen Weise durchgeführt. Auch hier kann man in dieser Arbeit nur davon ausgehen, daß der Erfolg die Methode rechtfertigt. Wie schon gesagt, sind bislang keine Mißerfolge aufgetreten.

Eine Einschränkung muß immer beachtet werden, nämlich daß das Iterationsverfahren für Gasspalte oder Spalte mit Konvektion kleinere Zeitschrittweiten nötig machen kann, als sie durch das Stabilitätskriterium gegeben sind. Aus diesem Grunde wurde die im folgenden Kapitel beschriebene Prüfroutine ausgearbeitet.

6. Prüfung der Stabilität der Ergebnisse

Sobald im Rechenablauf jeweils die vom Benutzer vorgegebene Schrittzahl "PRUEF" erreicht wird, wird der zuletzt gerechnete Zeitschritt mit halbiertes Zeitschrittweite nachgerechnet.

Aus den Ergebnissen beider Rechnungen wird gebildet:

$$A_k = \frac{t_k (DTAU) - t_k (2 \times \frac{DTAU}{2})}{t_k (2 \times \frac{DTAU}{2})} \quad (213)$$

$$B_k = \frac{t\phi_k (DTAU) - t\phi_k (2 \times \frac{DTAU}{2})}{t\phi_k (2 \times \frac{DTAU}{2})} \quad (214)$$

Ist irgend einer dieser Werte größer 10^{-3} , erfolgt im Programmausdruck eine Warnung. Die Zeitschrittweite ist dann solange zu verringern, bis keine solche Warnung mehr auftritt. Erst dann ist man sicher, daß das Programm ausreichend genau rechnet. Die Ungenauigkeit der Rechnung kann in der Numerik, aber auch in der Annahme stationären Wärmeflusses während des Zeitschrittes begründet liegen.

7. Für STATI-4 notwendige Hilfsroutinen

7.1 Das Stoffwertprogramm STØFFMKS

Die in /6/ vorgenommene Approximationen sind in dieser SUBROUTINE programmiert. Nach der Veröffentlichung von /6/ sind einige Stoffe hinzugenommen worden.

Das Programm ist in Anhang 7 wiedergegeben.

Es sind folgende Eigenschaften programmiert:

- a) Dichte ρ in kg/m^3 (nur für Feststoffe)
- b) Wärmeleitfähigkeit λ in W/m/k
- c) Spezifische Wärmekapazität c in J/kg/K (nur für Feststoffe)
- d) Wärmedehnung (nur für Feststoffe)

Es ist definiert

$$\text{DEHN}(t) = \frac{L(t) - L_0(300 \text{ K})}{L_0(300 \text{ K})} ; t \text{ in K}$$

e) Emissionskoeffizient ϵ (nur für Feststoffe)

Wird der durch experimentelle Daten belegte Approximationsbereich überschritten, erfolgt eine Meldung.

Zur Zeit sind im Stoffwertprogramm folgende Stoffe einprogrammiert:

NS = 1 : UO₂
NS = 2 : ZRY₄
NS = 3 : Helium, 1 bar
NS = 4 : Stahl, Werkstoff Nr. 4550
NS = 5 : Wasserstoff, 1 bar gesättigt
NS = 6 : MgO
NS = 7 : Al₂O₃ 99 %
NS = 8 : ThO₂
NS = 9 : Bornitrid
NS = 10: NiCr 8020
NS = 11: Elektrografit
NS = 12: Kupfer
NS = 13: Inconel 600
NS = 14: Nickel
NS = 15: Platin
NS = 16: Al₂O₃ 96 % (Isolierkeramik)
NS = 17: Quarzglas
NS = 18: Argon, 1 bar
NS = 19: Zirkonoxid
NS = 20: Faserstoff aus Zirkonoxid

7.2 Nullstellenroutine NULLW

Einige Programmteile von STATI-4 verlangen die Lösung impliziter Gleichungen. Um die Rechenzeit des Programms möglichst klein zu halten, wurde eine gründliche Recherche der verfügbaren Nullstellenroutinen auf Sicherheit und Schnelligkeit durch eigene Rechnungen angestellt. Dabei erwies sich die gewählte Kombination einer Routine mit quadratischer Approximation und dem auf der Evolutionsstrategie basierenden Programm KØRR /8/ als besonders geeignet.

Die Programme NULLW und das zugehörige Programm KØRRNU sind in den Anlagen 5 und 6 dargestellt. In beiden Programmen ist zu beachten, daß die bei der hiesigen IBM 370 implementierte Routine ZEIT entsprechend der vom Benutzer verwendeten Maschine umdefiniert wird. Diese Routine gibt die beim jeweiligen Aufruf verbrauchte CPU-Zeit (reine Rechenzeit) an.

Bei der SUBROUTINE KØRR muß zusätzlich die Unterroutine RANDU neu definiert werden. Diese Routine erzeugt gleichverteilte Zufallszahlen im Bereich 0 bis 1.

7.3 SUBROUTINE GEØMET

Diese Routine ist Teil von STATI-4.LØAD im Anhang 2.

In der SUBROUTINE GEØMET wird die aufgrund der thermischen Dehnung erfolgende Geometrieänderung der Bauteile errechnet. Für die einzelnen Maschen des Problems muß im Eingabe-Datensatz eine Kennzahl gesetzt werden, die darüber entscheidet, ob diese Berechnung durchgeführt wird oder nicht. Es bedeutet:

NDEHN = 1: die Berechnung wird durchgeführt

NDEHN = 0: die ursprünglich eingegebene Geometrie wird beibehalten.

Bei einem homogenen Bauteil, das in mehrere Maschen zerlegt ist, wird die Mitteltemperatur aller Maschen bestimmt und die Dehnung mit dieser Mitteltemperatur gebildet. Es ist deshalb unzulässig, bei einem homogenen Bauteil nur für bestimmte Maschen $NDEHN = 1$ zu setzen.

Da ein Gasspalt oder ein Spalt mit Konvektion sich nicht dehnen kann, ist es sinnlos aber auch unwirksam, dort $NDEHN = 1$ zu setzen. Die Spaltgeometrie wird dann geändert, wenn in den Feststoffen davor und danach $NDEHN = 1$ gesetzt wird.

Schließt sich aufgrund einer solchen Angabe der Spalt, wird rechnerisch eine Restspaltweite von $1 \mu\text{m}$ gesetzt, da STATI-4 keine Flächenpressung kennt, und weil in einem solchen Fall eine Masche verschwinden müßte. Der dadurch verursachte Temperaturfehler lag in den durchgerechneten Fällen bei einigen K, bei einer Absoluttemperatur über 1000 K. Sind bei der Ausgangsgeometrie zwei Feststoffe in Kontakt, kann zwischen beiden ein imaginärer Spalt von $1 \mu\text{m}$ vorgegeben werden. Je nach Temperatur und Materialien kann sich dieser schließen ($1 \mu\text{m}$ wird in der Rechnung beibehalten) oder öffnen, dann werden die realen Werte gerechnet.

Bei sich schließendem Spalt wird im Output der theoretische Wert des Spalts angegeben (als negativer Wert), den das Bauteil bei freier Dehnung haben würde. Zwei Feststoffe in Kontakt miteinander ohne imaginären Spalt (dieser Spalt muß natürlich als eine Masche programmiert werden) darf nur gerechnet werden, wenn für beide Bauteile $NDEHN = 0$ angegeben wird.

Neben diesem Schönheitsfehler ist weiter zu beachten, daß in GEOMET in der vorliegenden Programmierung nur intakte Bauelemente gerechnet werden können. Relocation (Verlagerung zerbrochener Bauteilstücke, z.B. bei Uranpellets) können nicht berücksichtigt werden. Die dabei auftretenden Probleme sind für eine allgemeine Behandlung nicht geeignet, sie müssen in einer speziellen Routine vom Anwender selbst programmiert werden.

7.4 SUBROUTINE PRINT

Diese Routine ist Teil von STATI-4.LOAD in Anhang 2. Sie dient der Ausgabe der errechneten Werte. Es wird hier davon ausgegangen, daß auch Eingabewerte in AnwenderROUTINEN zeitabhängig errechnet werden und deshalb zur Ausgabe gehören.

Um den Output im Umfang zu beschränken, sind Optionen vorgesehen, die es erlauben, nur bestimmte Datengruppen auszugeben. Näheres siehe Kommentar zur Eingabe von MAIN (Anhang 1).

Die möglichen Ausgabegrößen sind:

a) Temperatur $T(k)$, $T\theta(k)$:

Maschenmitten- und Maschenoberflächentemperaturen (kann unterdrückt werden, z.B. wenn man die Werte nur auf externem Ausgabefile benötigt).

b) Grenzradian $G(k)$: (wie a))

c) Spaltweiten $DG(k)$: (wie a))

Wird nur ausgegeben für $NF(k) = 2$ oder 4 .

d) Wärmeproduktion $W(k)$, wird nur angegeben, wenn im Dateninput für die Masche $NH = 1$ gesetzt wird. (Siehe Kommentar in MAIN (Anhang 1)).
Sonst wie a).

e) Wärmeübergangszahlen in Spalten.

Wird nur angegeben, wenn $NF(k) = 4$. Sonst wie a), die äußere Wärmeübergangszahl wird immer ausgegeben, da diese in allen Fällen angegeben werden muß.

f) Fluidtemperaturen

Wie in e), die äußere Fluidtemperatur wird immer ausgegeben.

Die Optionen müssen sowohl für einen Stationärlauf ($LAUF = _ _ S$) als auch für den Transientenlauf ($LAUF = _ _ T$) getrennt angegeben werden.

Für Plots oder ähnliche Verarbeitung ist eine Ausgabe auf externen Dataset vorgesehen. Es gelten die Punkte a) bis f) ebenso mit dem Unterschied, daß alle Werte $k = 1$, NT ausgegeben werden, also $NF(k)$ und $NH(k)$ keinen Einfluß haben.

Für die externe Ausgabe muß in der JCL ein Datensatz bereitgestellt werden, und zwar für den Stationärlauf auf FT 50 F001, für den Transientenlauf auf FT 51 F001. Die Ausgabe erfolgt unformatiert. Weiteres siehe Kommentar in MAIN (Anhang 1).

Empfehlung: Für die ersten Rechenläufe sollte WRITEP = ALL angegeben werden. Es erfolgt dann der vollständige Datenoutput, was zur Fehlersuche sehr nützlich ist.

7.5 Anwenderroutinen

7.5.1 Allgemeines

Diese Routinen dienen als Input wichtiger Größen wie Wärmeproduktion, Wärmeübergangszahlen etc.

Für das hier vorliegende Stand-Alone-Programm wurde bewußt diese Form der Datenbereitstellung gewählt im Gegensatz zum Einlesen fixer Datenmengen, weil eine weit höhere Flexibilität erreicht wird. Es ist nämlich kein seltener Fall, daß diese Eingabewerte mit dem jeweils errechneten Ergebnis, insbesondere der Temperatur, aber auch der Geometrie, gekoppelt sind. Diese Kopplung wird hier durch die zu programmierenden Anwender-routinen erreicht.

Die Anwenderroutinen werden einmal pro Zeitschritt aufgerufen.

Es hat sich gezeigt, daß es gelegentlich nützlich ist, in den Anwender-routinen die Zahl der abgelaufenen Zeitschritte "L" und die Zeitschritt-größe $\Delta\tau$ (die bei SCHR = __ V variieren kann) zu kennen. Um nicht alle Parameterlisten umschreiben zu müssen, wurde im aufgerufenen Programm eingeführt.

CØMMØN/BLL/L
CØMMØN/BLDTAU/DTAU

Beide CØMMØNS können nützlich sein, So wird z.B. DTAU durchaus bei der Berechnung von Wärmeübergangszahlen in SUBRØUTINE WUE benötigt werden können.

Ein Beispiel für die Anwender-routinen ist im Anhang 4 dargestellt.

7.5.2 SUBRØUTINE WPRØD (TAU₂, T₂, G₂, NT₂, NH₂, W₂, LAUF₂, X)

Wärmeproduktion in den Maschen.

Es müssen alle $W(k)$, $K = 1$, NT in W/m^3 gesetzt werden.

NH(k) = 1 gibt an, in welcher Masche Wärmeproduktion stattfinden soll.
NT: Maximalzahl der Maschen
T: Feld der Maschenmittentemperatur in K
G: Feld der Grenzradien in m
TAU: Zeit in s
W: Feld der Wärmeproduktionen in W/m^3
LAUF = --S/--T: Angabe, ob stationär oder transient

Im Beispiel wird im Transientenablauf von 35,5 s die Wärmeproduktion auf Null gesetzt.

7.5.3 SUBROUTINE WUE (TAU, G, T0, NF, NS, NT, WUEK, TEFL, LAUF)

Hier werden alle Wärmeübergangszahlen $WUEK(k)$ in $W/m^2/K$ und Fluidtemperaturen $TEFL(k)$ in K in Spalten mit Konvektion bereitgestellt. Es ist zu beachten, daß $WUEK(NT)$ als äußere Wärmeübergangszahl immer programmiert werden muß, während die äußere Fluidtemperatur als $TEFL(NT + 1)$ hier nicht programmiert werden kann, dafür ist die Funktion TFL zu programmieren. Es bedeuten:

TAU: Zeit in s
G: Feld der Grenzradien in m
T0: Feld der Oberflächentemperaturen in K
NF: Feld der Zustandskennzahlen
NS: Feld der Materialien
NT: Maximalzahl der Maschen
WUEK: Feld der Wärmeübergangszahlen in $W/m^2/K$

An jedem Spalt mit Konvektion sind zwei Wärmeübergangszahlen $WUEK(k-1)$ = linke Seite vom Spalt und $WUEK(k)$ = rechte Seite vom Spalt zu programmieren.

TEFL: Feld der Fluidtemperaturen in K (eine Angabe pro Masche)
LAUF = --S/--T : Angabe, ob stationär oder transient

Bezüglich des Aufrufes gelten die Bemerkungen in 7.5.1.

7.5.4 FUNCTION TFL (TAU, LAUF)

Vorgabe der äußeren Fluidtemperatur in K. Es wird davon ausgegangen, daß keine Kopplung zu problemimmanenten Größen vorliegt.

7.5.5 SUBROUTINE SCHALT (NF, NS, TAU, NT, LAUF)

Diese Routine wird ebenfalls pro Zeitabschnitt einmal aufgerufen. Sie bietet die Möglichkeit, die Kennzahlen NF und NS im zeitlichen Ablauf zu ändern.

Im vorliegenden Beispiel wird nach 7 s Transientenlaufzeit in den Maschen 17 und 21 von Konvektion auf Strahlung und Leitung umgeschaltet.

Es ist auch möglich, bei fortschreitender Oxidation einer Metallschicht von Metall ($NS(k) = N1$) auf das Oxid ($NS(k) = N2$) umzuschalten.

8. Erläuterung der Benutzung von STATI-4 anhand eines Beispiels

8.1 Vorbemerkung

Im Rahmen des Projektes Nukleare Sicherheit (PNS) des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) wurden am Forschungsreaktor FR2 In-pile-Experimente zum Verhalten von Druckwasserreaktor-Brennstäben beim Kühlmittelverlust-Störfall durchgeführt und mit Experimenten mit elektrisch beheizten Simulationsstäben (BSS) verglichen. Das Ziel der Versuche ist in /5/ beschrieben.

Diese Versuche wurden für den nicht deformierenden Stab von Wärmeleitrechnungen begleitet, für die das vorliegende Programm entwickelt wurde. Der Versuchsaufbau und die Versuchsführung sind so vielseitig, daß im Programm zahlreiche Optionen implementiert werden mußten, die entsprechend dem Bedarf noch erweitert wurden. Im folgenden wird die Dateneingabe für eine Wärmeleitrechnung mit STATI-4 am Beispiel eines BSS gezeigt.

8.2 Kreislaufschema zur Erläuterung der Versuchsbedingungen

In Bild 1 ist das Kreislaufschema dargestellt.

Während des Stationärbetriebes wird der Prüfling von überhitztem Dampf von ca. 300 °C, 60 bar gekühlt. Der Prüfling (Test Rod), in unserem Falle ein BSS, ist das zu untersuchende Bauelement. Der Prüfling wird mit ca. 50 W/cm elektrisch beheizt. Der Reaktoreinsatz wird außen von D₂O gekühlt. Zu bestimmen ist zunächst die Stationärtemperatur. Einen Vergleich mit der gerechneten Temperatur gestatten die an der Hüllenoberfläche des Prüflings angebrachten Thermoelemente T 131 bis T 136.

Zur Einleitung der Transiente wird Ventil Ve 108 geschlossen, Ve 128 geöffnet. Dadurch wird kurzzeitig der Dampfmengenstrom (stationär ca. 120 kg/h) am Prüfling vorbei erhöht (ca. 1 s), fällt dann immer weiter ab, bis nach ca. 7 s kein Dampfstrom mehr existiert, also am

Prüfling nicht mehr konvektive Kühlung, sondern Kühlung durch Strahlung und Leitung stattfindet. Bei Erreichen einer festgelegten Hüllentemperatur (950 °C) wird die Leistung am Prüfling abgeschaltet.

All diese Vorgänge sind im Wärmeleitprogramm zu simulieren. Berechnet wird der zeitliche Temperaturverlauf in der gesamten Geometrie sowohl während des Stationärbetriebes als auch während der Transiente. Diese errechneten Temperaturen werden an ausgewählten Stellen mit den gemessenen verglichen.

8.3 Festlegung der geometrischen Daten

8.3.1 Der Prüfling

Der Aufbau des Prüflings ist in den Bildern 2 und 3 dargestellt. Bei unseren Rechnungen wird nur die mittlere Zone von 500 mm Länge (Bild 3) in Betracht gezogen. Die Abmessungen des Innenaufbaus sind Bild 3 zu entnehmen. Wärmeproduktion findet statt in "Heizleiter Inconel 600" und "Heizleitermantel Inconel 600".

8.3.2 Der Reaktoreinsatz

Einen Querschnitt durch den Reaktoreinsatz zeigt Bild 4. Im inneren und äußeren Dampfführungskanal befindet sich Wasserdampf, der gemäß Kapitel 8.2 strömt oder stagniert. Zwischen innerem und äußerem Dampfführungsrohr befindet sich immer stagnierender Wasserdampf. In allen anderen Gasspalten befindet sich Helium von ca. 1 bar. Die Werkstoffe sind Bild 5 zu entnehmen.

8.3.3 Maschenteilung für die Wärmeleitrechnung

Selbstverständlich muß jedem Bauteil mindestens eine Masche zugeordnet werden. Je genauer die örtliche Temperaturverteilung gerechnet werden soll, um so enger muß die Maschenteilung gewählt werden.

Dabei ist jedoch zu bedenken, daß sich die mögliche Zeitschrittweite mit dem Quadrat der Maschenweite verringert, also entsprechend die Rechenzeit anwächst. Es muß deshalb ein tragbarer Kompromiß gefunden werden. Die im vorliegenden Fall getroffene Wahl ist in Bild 5 dargestellt. Im Bereich des BSS soll die Berechnung der örtlichen Temperaturen recht genau erfolgen, für die weiteren Bauteile sind die Bedingungen weniger scharf.

Es ist zu beachten, daß das Schema in Bild 5 völlig unmaßstäblich ist! Die angegebenen Grenzwerte G beziehen sich jeweils auf den rechten Rand der Masche.

8.4 Maschencharakteristik

Die Kennzahl $NF(k)$ charakterisiert die Masche in der Weise, daß das Programm erfährt, welche Rechenschritte abzulaufen haben.

Es bedeuten:

- NF = 1 Feststoffmasche
- NF = 2 Masche mit Strahlung und Leitung
- NF = 3 Strahlenschirm (zwei oder mehr Strahlenschirme hintereinander können nicht gerechnet werden)
- NF = 4 Masche mit Konvektion (α -Zahlen und Fluidtemperaturen sind in WUE anzugeben).

Wo in Bild 5 $NF = 2(4)$ angegeben ist, bedeutet dies, daß im Verlauf der Rechnung von Konvektion ($NF = 4$) auf Strahlung und Leitung ($NF = 2$) umgeschaltet wird. Die Subroutine SCHALT ist entsprechend zu programmieren.

8.5 Stoffcharakterisierung

Die Kennzahl NS(k) teilt dem Programm mit, welches Material sich in der Masche befindet. Da diese Kennzahl auf eine bestimmte Datenbank zugeschnitten sein muß, bilden das Wärmeleitprogramm STATI-4 und das Stoffwerteprogramm STØFFMKS eine Einheit. In Bild 5 sind die in diesem Beispiel benötigten Stoffe und ihre Kennzahl angegeben. Eine Zusammenstellung der bislang einprogrammierten Stoffe befindet sich in Kapitel 7.1 und in Anhang 1.

8.6 Eingabesatz mit Datenkarten

Hierzu siehe Anhang 1 und 3

8.7 Eingaben durch FUNCTIØNS und SUBRØUTINEN

Hierzu siehe Anhang 4

8.7.1 Äußere Wärmeübergangszahl

Am äußeren rechten Rand des Problems verlangt das Programm eine Wärmeübergangszahl. Sie ist in SUBRØUTINE WUE mit $WUEK(NT) = 500 \text{ W/m}^2/\text{K}$ zeitunabhängig angegeben (Kühlung durch D_2O).

8.7.2 Äußere Fluidtemperatur

Um den Wärmeübergang berechnen zu können, ist zur α -Zahl von Kapitel 8.7.1 eine Fluidtemperatur in K anzugeben. Sie wurde im vorliegenden Fall zu 317 K gemessen und in FUNCTIØN TFL (TAU, LAUF) programmiert.

8.7.3 Zeitabhängige Wärmeübergangszahl in Maschen mit Konvektion

In Maschen mit Konvektion sind die α -Zahlen am linken Rand (α_{k-1}) und am rechten Rand (α_k) der Masche k anzugeben.

Im vorliegenden Beispiel wird in allen Maschen mit Konvektion ($k = 17$ und $k = 21$) in der ersten Sekunde wegen einer Verzögerung beim Öffnen und Schließen der Ventile die stationäre Wärmeübergangszahl beibehalten. Nach sieben Sekunden ist der Dampfmengestrom so weit abgeklungen, daß mit Strahlung und Leitung gerechnet werden kann (siehe SUBROUTINE SCHALT, Kapitel 8.7.6).

In der zwischenliegenden Zeit verlaufen die Wärmeübergangszahlen nach Bild 6. Die Berechnung dieses Verlaufes wurde mit dem Programm RELAP vorgenommen (/7/). Der Verlauf wurde abschnittsweise approximiert.

8.7.4 Fluidtemperatur in Maschen mit Konvektion

Um den Wärmeübergang in Maschen mit Konvektion berechnen zu können, muß die Fluidtemperatur vorgegeben werden. Dies geschieht in SUBROUTINE WUE.

Im vorliegenden Beispiel wurden die Fluidtemperaturen gemessen, approximiert und entsprechend eingegeben.

8.7.5 Leistungsvorgabe

Die elektrische Gesamtleistung des BSS wurde während des Versuchs gemessen und über die Versuchsdauer konstant gehalten. Aus den elektrischen Daten des Heizleiters ($k = 5$) und der Rückführung ($k = 10$) wurde mit den Geometriedaten die Leistungsdichte ermittelt und in der SUBROUTINE WPRØD angegeben. Der Zeitpunkt der Stromabschaltung wurde ebenfalls einprogrammiert ($\text{TAU} = 35,5 \text{ s}$).

8.7.6 Umschalten der Kühlbedingungen

Wie bereits geschildert wird der Dampfmassenstrom in den Maschen $k = 17$ und $k = 21$ nach 7 s Transientenlaufzeit so klein, daß von nun an mit Strahlung und Leitung gerechnet werden muß. Für beide Maschen muß deshalb der Parameter NF neu gesetzt werden. Das geschieht in der SUBROUTINE SCHALT wie dort programmiert (Anhang 4).

9. Vergleich von Messung und Rechnung am Beispiel des BSS 05

Das in den vorigen Kapiteln geschilderte Beispiel wurde gewählt, weil die Instrumentierung dieses BSS für einen Vergleich mit der Rechnung geeignet erscheint.

Ein Bestückungsplan ist in Bild 7 dargestellt. Zum Vergleich mit der Rechnung wurden die Thermoelemente TX2, TX4 und TX6 auf der Stabhülle herangezogen. Sie befinden sich alle in der mittleren axialen Zone des Heizleiters. Diese Thermoelemente (NiCr/Ni; 0,5 mm \emptyset) waren in einer Nut in der Stabhülle eingelassen. Aus werkstofftechnischen Gründen konnten die Thermoelemente in der Nut nicht verlötet werden, für die Verifizierung des Rechenprogrammes war diese Instrumentierung - im Rahmen des Gesamtprojektes - jedoch noch am besten geeignet.

Bild 8 zeigt den Vergleich der gerechneten und gemessenen Temperaturverläufe. Die maximale Abweichung zwischen den gemessenen Temperaturen TX2 und TX6 (TX4 liegt zwischen diesen beiden) von der berechneten Temperatur beträgt ca. 30 K. In Anbetracht möglicher Unsymmetrien der Geometrie stellt das eine sehr gute Näherung dar.

Die weniger gute Übereinstimmung beim Vergleich der Temperatur $T_{\emptyset(16)}$ mit TX9 ist darauf zurückzuführen, daß die Anfangsbedingungen (Dampf-temperatur) geschätzt werden mußte. Der Einfluß der Anfangsbedingung klingt, wie man sieht, im Laufe der Zeit ab, so daß es auch hier zu einer guten Näherung kommt.

10. Literatur

- /1/ D.Smidt:
Reaktortechnik, Band 2, S. 159
Karlsruhe, G. Braun (1971)

- /2/ Gröber / Erk / Grigull:
Grundgesetze der Wärmeübertragung
Berlin/Göttingen/ Heidelberg, Springer (1963)

- /3/ VDI-Wärmeatlas
Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH (1974)

- /4/ Bartsch:
Taschenbuch mathematischer Formeln
Thun und Frankfurt, Verlag Harri Deutsch (1977)

- /5/ Karb, E.; Sepold, L.:
In-pile-Experimente zur Untersuchung des Brennstabversagens,
KfK 2101 (1974), S. 94 - 112

- /6/ K. Wagner, T. Vollmer:
Zusammenstellung von Stoffwerten für Wärmeleitrechnungen an
LWR-Brennstäben und deren Simulatoren
KfK-Ext. 15/77-2 (1977)

- /7/ D. Steiner:
Unveröffentlichter Bericht des KfK (1979)

- /8/ H.P. Schwefel:
Unterprogramme EVOL, GRUP, KORR
Programme und Benutzeranleitung KFA-STE-18-3/80 (1980)

- /9/ W.Leiling:
Hülltemperaturmessung mit Thermoelementen an vorbestrahlten
LWR-Brennstabprüflingen
KfK 3100 (1981)

- /10/ G.D. Smith:
Numerical Solution of Partial Differential Equations
London, Oxford University Press (1965)

11. Formelzeichen

11.1 Allgemeines

Zu Beginn der Arbeiten zu diesem Programm vor einigen Jahren war es dem Verfasser nicht so deutlich wie heute, daß die Einschränkungen der Programmiermöglichkeiten insbesondere bezüglich der Groß- und Kleinschreibung (im Programm können nur Großbuchstaben verwendet werden) zu unüberwindbaren Inkonsistenzen bei der Übertragung vom Manuskript zum Programm führen können. Soweit möglich, wurden die Inkonsistenzen beseitigt, gelegentlich ist das nicht gelungen, die verschiedenen Ausdrücke sind jedoch leicht zu identifizieren.

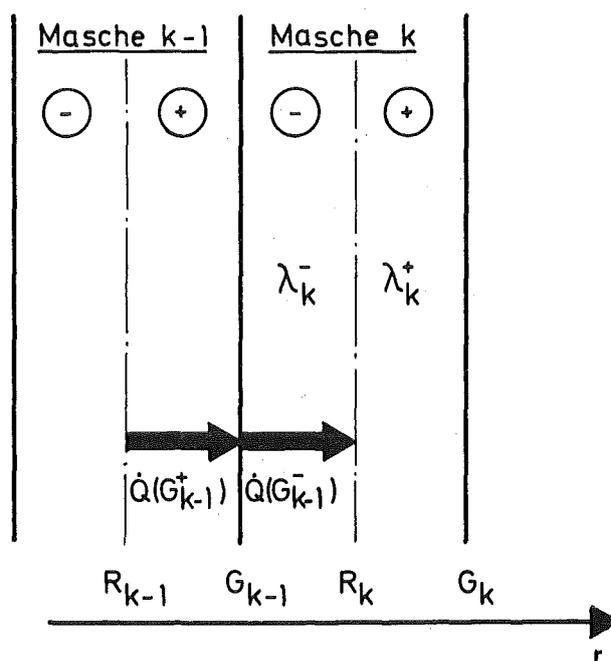
11.2 Formelzeichen im Manuskript

und einige Hinweise für den Gebrauch im Programm.

11.2.1 Allgemeine Vereinbarung

Wird an einer Masche die Größe links von der Maschenmitte (auf der negativen Seite) betrachtet, so wird sie mit einem hochgestellten "-" bezeichnet und umgekehrt auf der anderen Seite mit "+".

Beispiel:



11.2.2 Griechische Formelzeichen

$\lambda_k \hat{=} \text{ELAMD}(k,T)$:	Wärmeleitfähigkeit	W/m/K
$\rho_k \hat{=} \text{RH}\emptyset (k,T)$:	Dichte	kg/m ³
$\epsilon_k \hat{=} \text{EMISS} (k,T)$:	Emissionskoeffizient der Oberfläche an der rechten Maschenseite	-
$\alpha_k \hat{=} \text{WUEK} (k)$:	Wärmeübergangszahl am rechten Maschenrand	W/m ² /K
$\tau \hat{=} \text{TAU}$:	Realzeit	s
$\Delta\tau \hat{=} \text{DTAU}$:	Zeitschritt	s

11.2.3 Deutsche Formelzeichen

a) Kleine Buchstaben im Manuskript, groß ($\hat{=}$) im Programm

$a_k = \ln (R_k/G_{k-1})$		-
$b_k = \ln (G_k/R_k)$		-
$c_k \hat{=} \text{CP} (k,T)$:	spezifische Wärmekapazität	J/kg/K
$d_k = \ln (G_k/G_{k-1})$		-
l :	Längenkoordinate	m
\dot{q} :	Wärmestromdichte = \dot{Q}/F	W/m ²
q' :	linearer Wärmestrom (bezogen auf Zylinderlänge) = $\dot{q} \cdot F/l$	W/m
r :	Radius als Zylinderkoordinate	m
s :	Wandstärke	m
$t(k) \hat{=} T(k)$:	Maschenmittentemperatur zur Zeit τ	K
$t^*(k) \hat{=} T_0(k)$:	dto zur Zeit $\tau + \Delta\tau$	K
$t_m^*(k) = t_m(\tau + \Delta\tau)$	Mittlere Maschentemperatur zur Zeit $\tau + \Delta\tau$	K
$t_m(k) = t_m(\tau)$:	dto. zur Zeit τ	K

$t\theta(k) \hat{=} T\theta(k)$:	Temperatur am rechten Maschenrand zur Zeit τ	K
$t\theta^*(k) \hat{=} T\theta^*(k)$:	dto zur Zeit $\tau + \Delta\tau$	K
$t_Z \hat{=} TZ$:	Zentraltemperatur zur Zeit τ	K
$t_Z^* \hat{=} TZ^*$:	dto zur Zeit $\tau + \Delta\tau$	K
$t_{Fl,k} \hat{=} TEFL(k,TAU)$:	Fluidtemperatur bei konvektivem Wärmeübergang	K
$t_{Fl,a} \hat{=} TEFLA(TAU)$:	äußere Fluidtemperatur (am äußeren Rand des Problems)	K

b) große Buchstaben im Manuskript

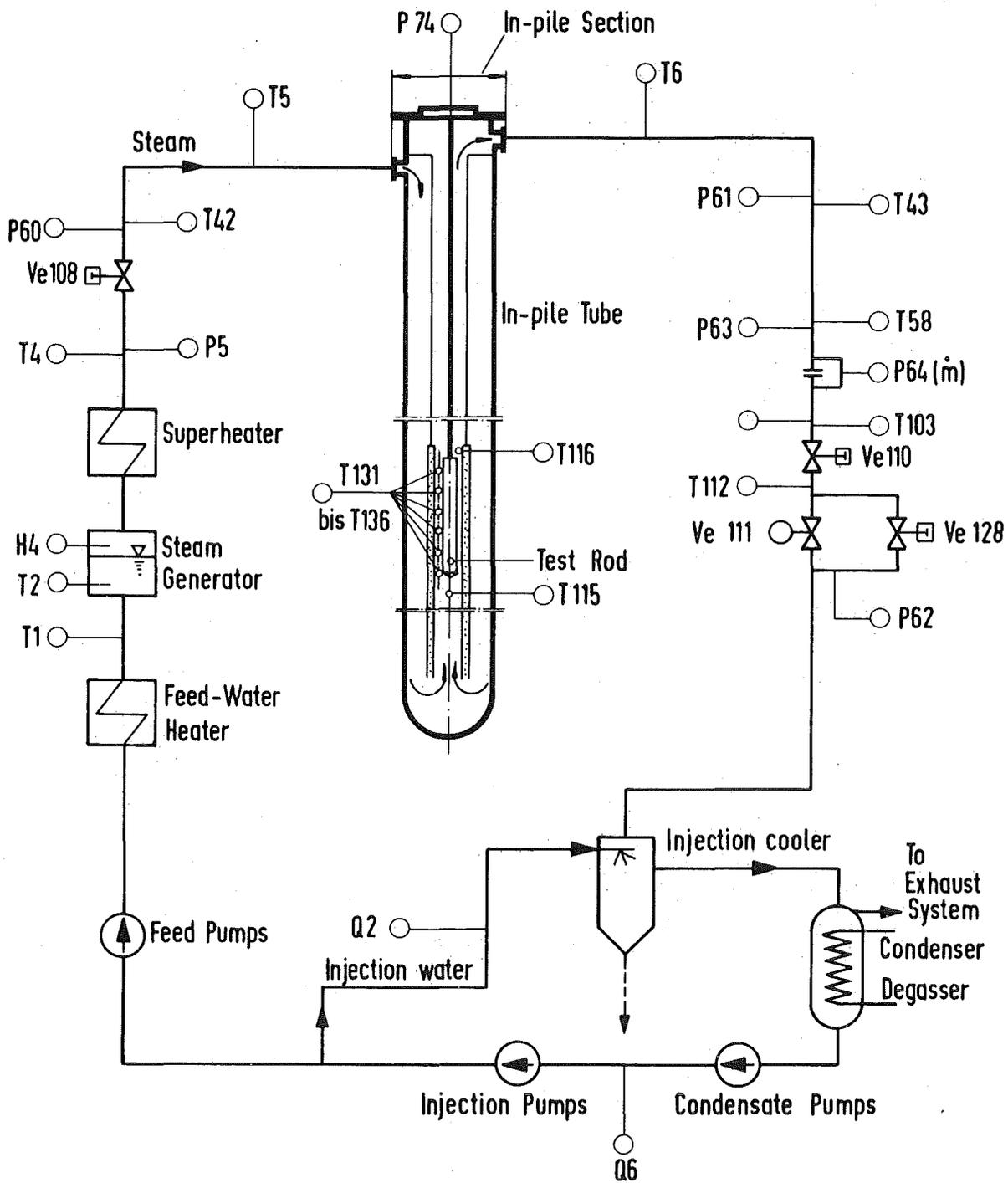
C_k^- :	Integrationskonstante für das stationäre Temperaturfeld für die linke Seite der Masche k	K
C_s^* :	Strahlungskonstante für den schwarzen Körper = $5,775 \cdot 10^{-8}$	$W/m^2/K^4$
$\hat{C}_{1,2,k}$:	Strahlungsübergangszahl (siehe Gleichung (79)) für die Masche k	$W/m^2/K^4$
DEHN(k):	thermische Dehnzahl (siehe Kap. 7.1, 7.3 und Anhang 7)	-
DG _k :	Spalte zwischen zwei Feststoffmaschen	m
F:	Fläche	m ²
G _k $\hat{=} G(k)$:	Radius am rechten Rand der Masche	m
GO _k $\hat{=} GO(k)$:	Radius bei 300 K	m
L:	im Manuskript = absolute Länge	m
L̂:	im Programm = Laufparameter für die Zeit TAU = L · DTAU	s
M:	Masse	kg
NF(k):	Maschencharakteristik, s.S. 3 ff	-
NS(k):	Stoffcharakteristik, s.S. 3, 50 und Anhang	-
ND(k) $\hat{=} N\hat{D}EHN(k)$:	Dehncharakteristik s.S. 3, 51	-

NH(k):	Heizcharakteristik	
	NH = 0: keine Wärmeproduktion	
	NH > 0: Wärmeproduktion	
NT:	Gesamtzahl der radialen Maschen	
Q̇:	Wärmestrom	W
R(k):	Maschenmittenradius	m
RO(k):	Maschenmittenradius bei 300 K	m
W(k):	Wärmeproduktion in der Masche	W/m ³

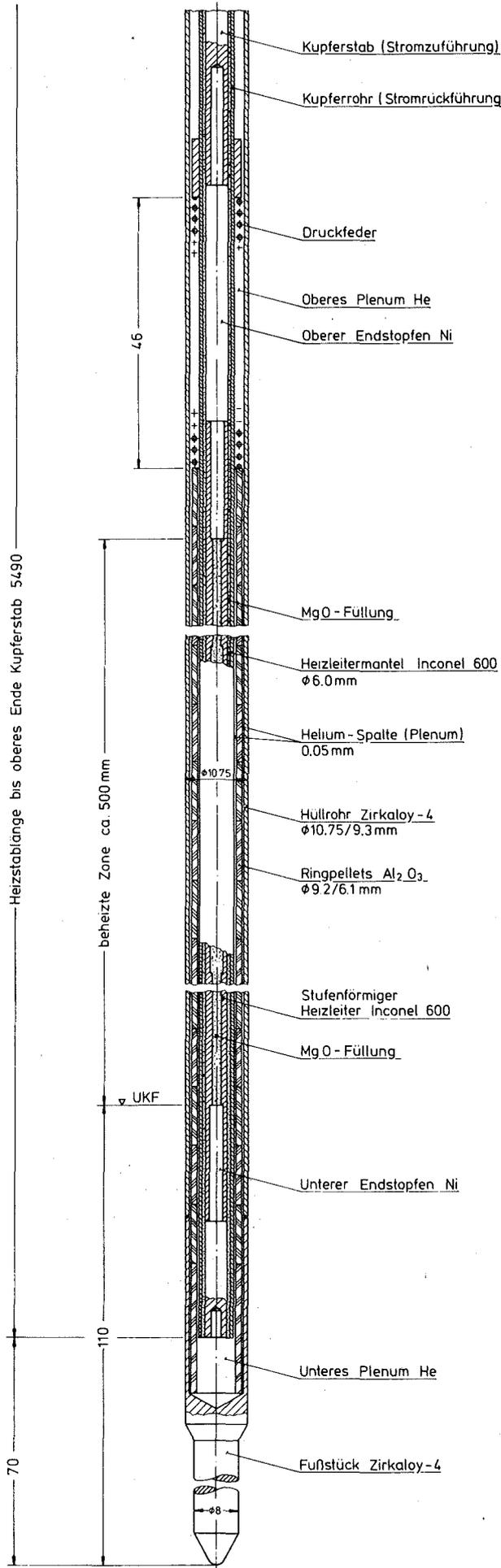
11.2.4 Indices

k:	Die betrachtete Masche ist die k-te Masche. Der Programmablauf im Loop der Maschenabfrage (k = 1,NT) ist bis zur Masche k gekommen
L:	Leitung
m:	mittel
WL:	Wärmeleitung
FL:	Fluid
Str:	Strahlung
1,2:	zwischen Flächen 1 und 2

12. Bilder



FR2 DK Loop. High Pressure Section, Simplified

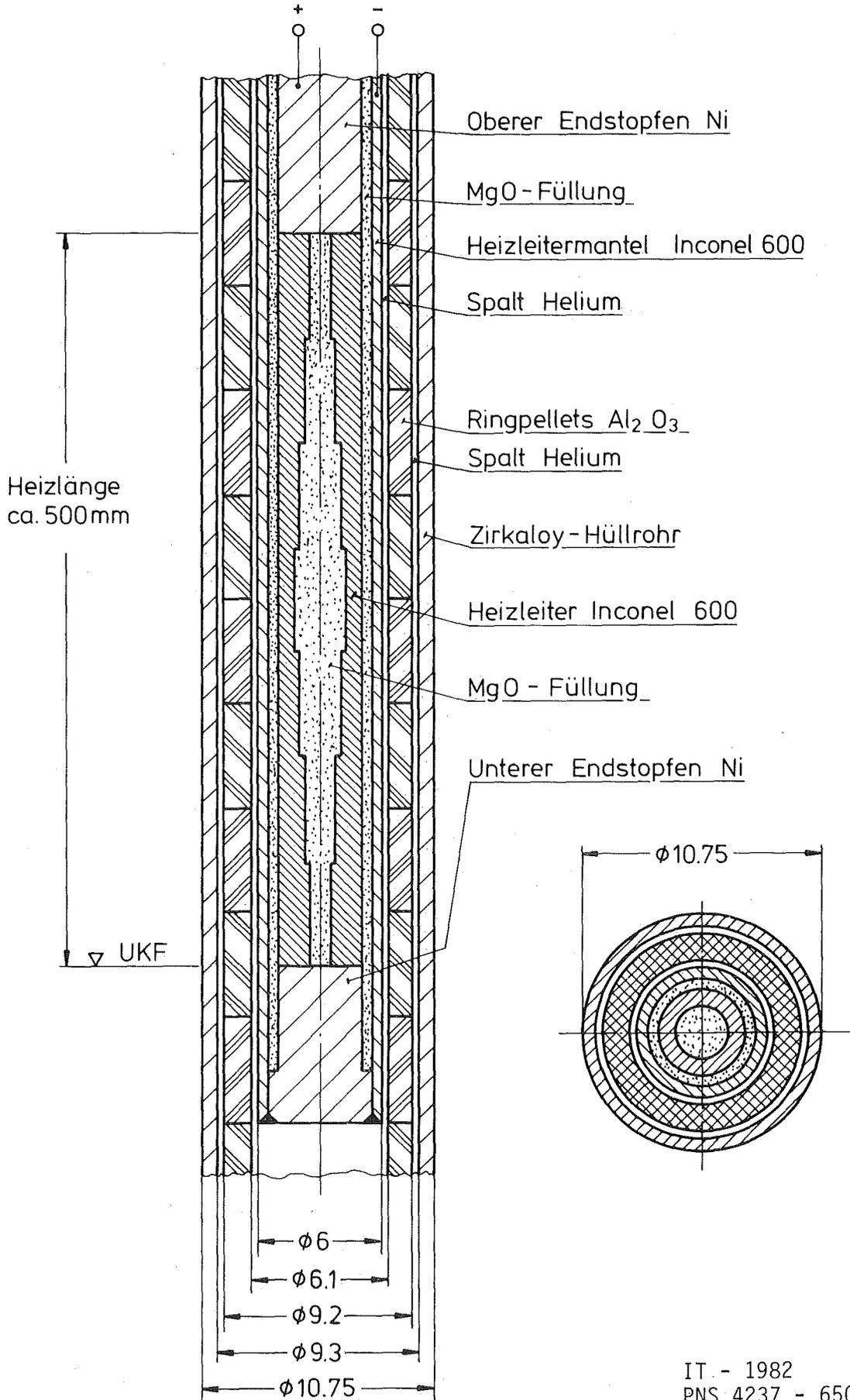


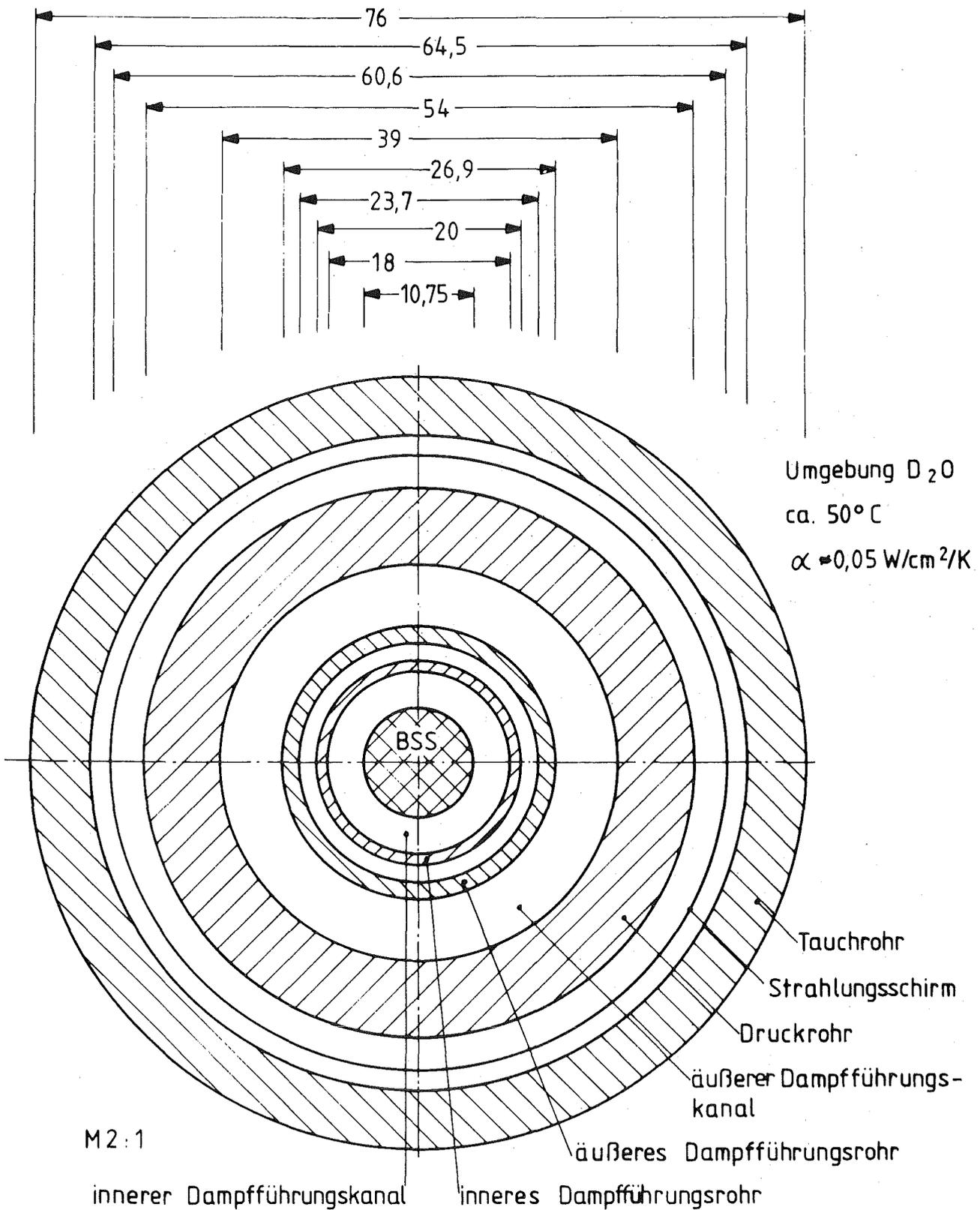
Aufbau des Brennstabsimulators (BSS)

(Auszug aus Zeichng.-Nr. T02D-1-263)

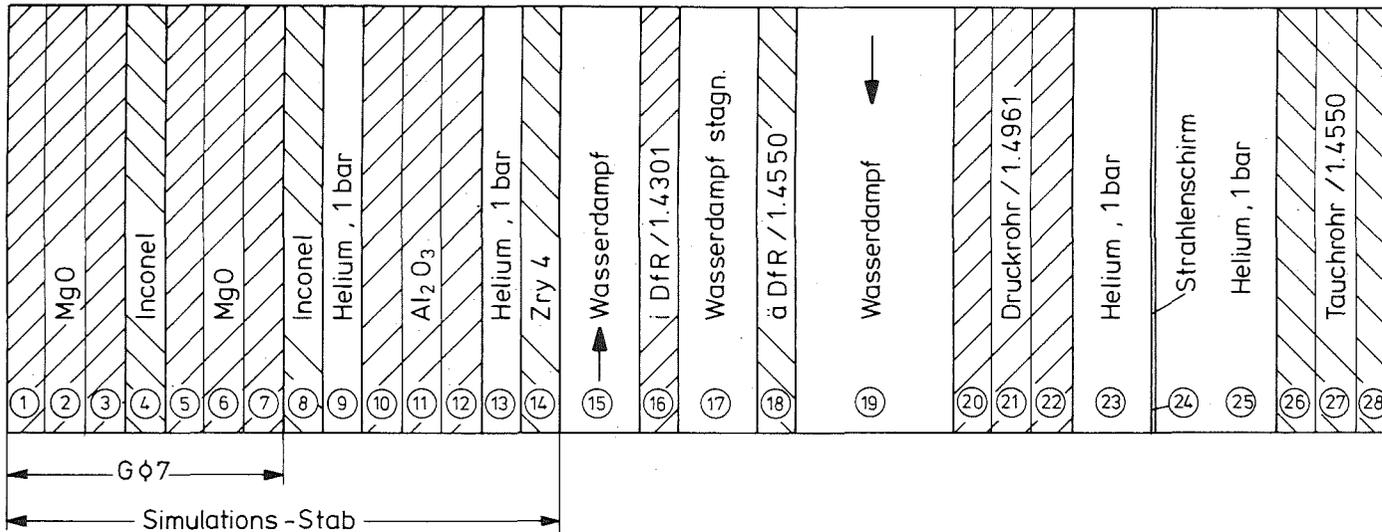
FR2 In-Pile-Tests

Schematischer Aufbau des Brennstabsimulators (BSS)





Querschnitt durch den Reaktoreinsatz mit BSS in Höhe der Heizzone



Reaktorkühlung

$$\alpha_{\text{außen}} = 0,05 \text{ W/cm}^2/\text{K}$$

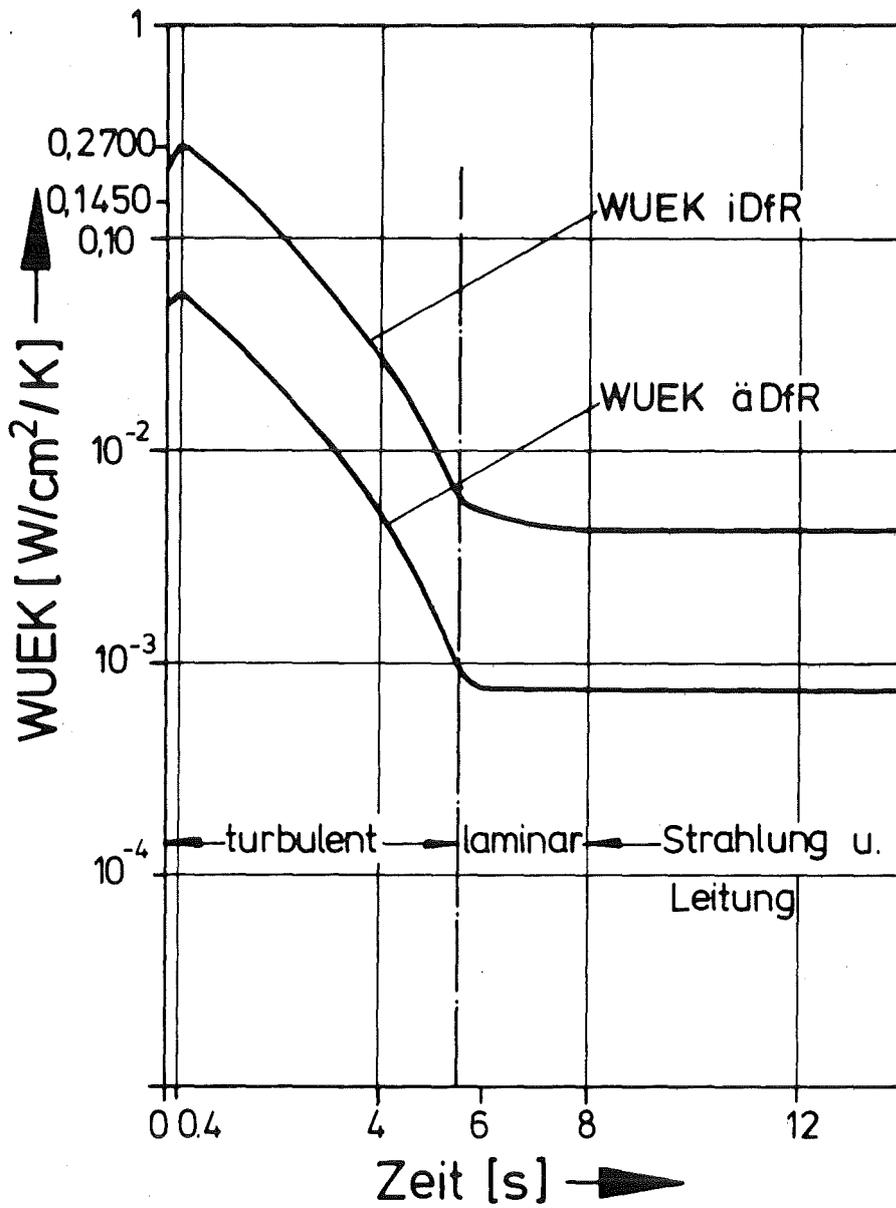
$$t_{\text{FL}} = \text{°C}$$

Masche Nr.	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	26	27	28
NF	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2(4)	1	2	1	2(4)	1	1	1	2	3	2	1	1	1
NS	6	6	6	13	6	6	6	13	3	7	7	7	3	2	5	4	5	4	5	4	4	4	3	4	3	4	4	4
G ϕ [cm]	0,04 993	0,09 986	0,14 98	0,175 67	0,19 67	0,21 84	0,24	0,30	0,305	0,35 67	0,40 84	0,46	0,46 50	0,53 75	0,9	1,0	1,185	1,345	1,95	2,20	2,45	2,70	3,03	3,03	3,22 50	3,41 67	3,60 84	3,8
T ϕ [°C]																												
T0 ϕ [°C]																												
W [W/cm ³]																												

- 74 -

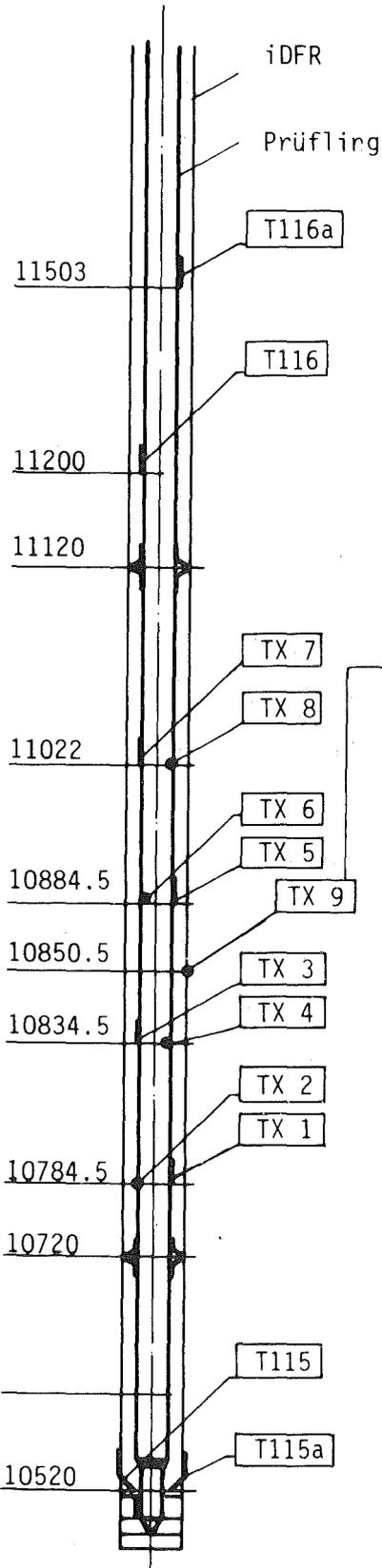


IT 1981
PNS 4237- 570

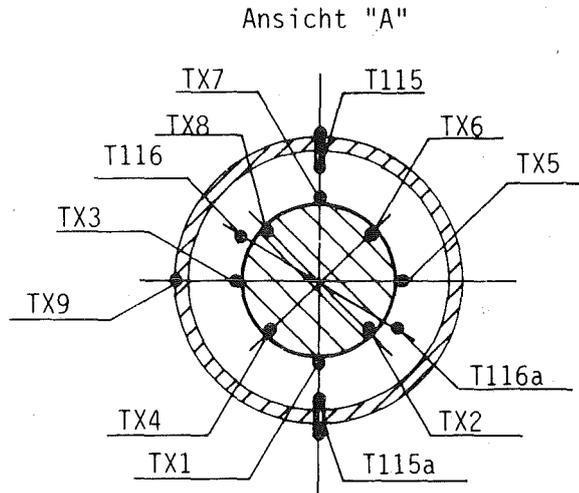


Wärmeübergangskoeffizient während der Transiente für $K=14$ und $K=18$

Meßebenen Meßstellen



TX 6 und TX 2: mittlere Heizleiterzone



Temp.Meßstelle
am iDFR

Meßstelle	Bezeichnung.	Meßebe	Meßgröße/ Meßort	Fühler-Nr.
P74	P74	16000 *	I-Druck	nicht bel.
T116a	T116a	11503	Dampf	226
T116	T116	11200	"	232
TX8	T138	11022	Hülle	306
TX7	T137	"	"	117
TX6	T136	10884.5	"	304
TX5	T135	"	"	116
TX9	T143	10850.5	iDFR	33
TX4	T134	10834.5	Hülle	303
TX3	T133	"	"	115
TX2	T132	10784.5	"	302
TX1	T131	"	"	113
T115	T115	10520	Dampf	225
T115a	T115a	"	"	231

* außerhalb der Isolation



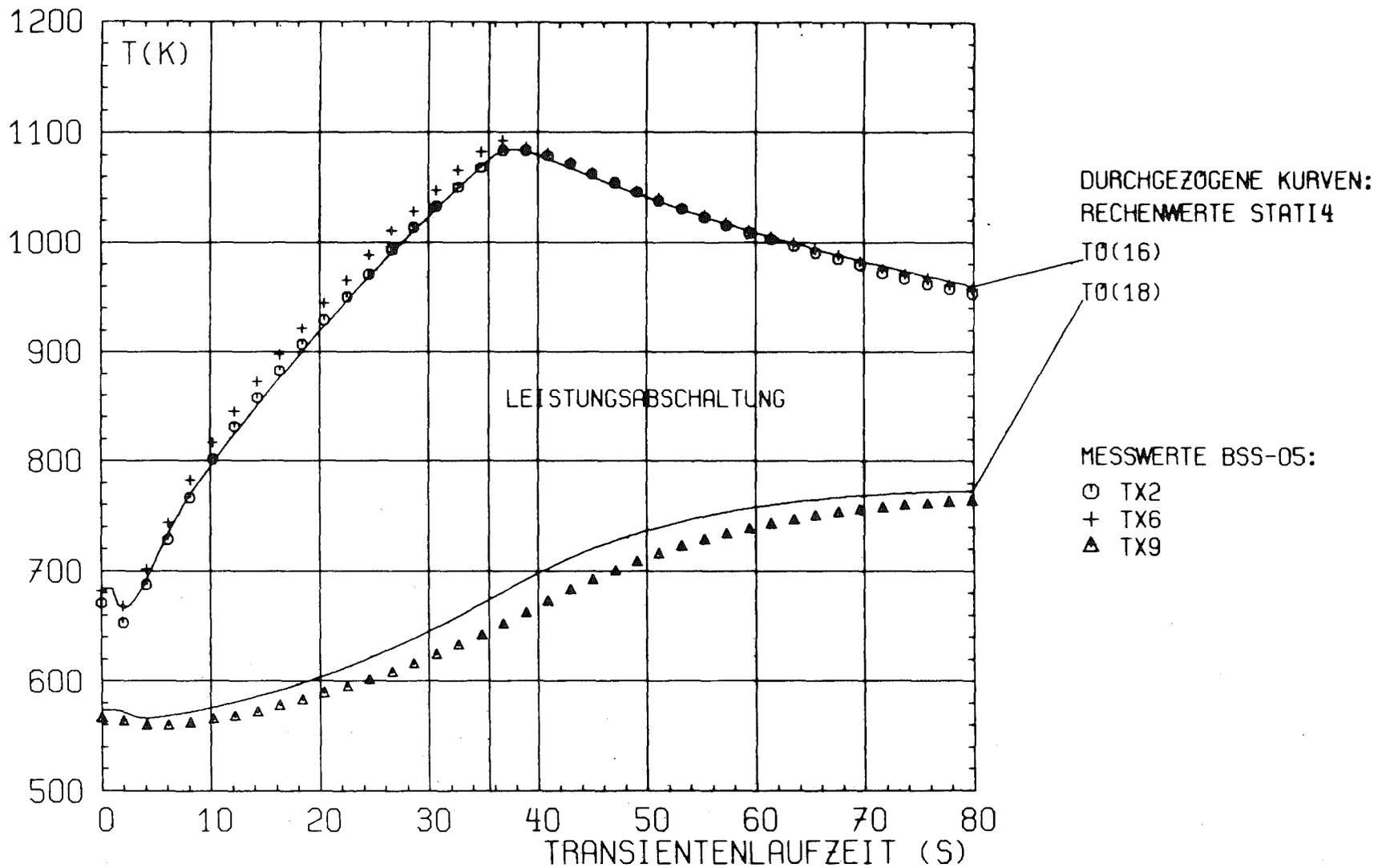
IT 1981
PNS 4237-609

BESTOCKUNGSPLAN FÜR PRÜFLINGSEINSATZ (PE)-NR.

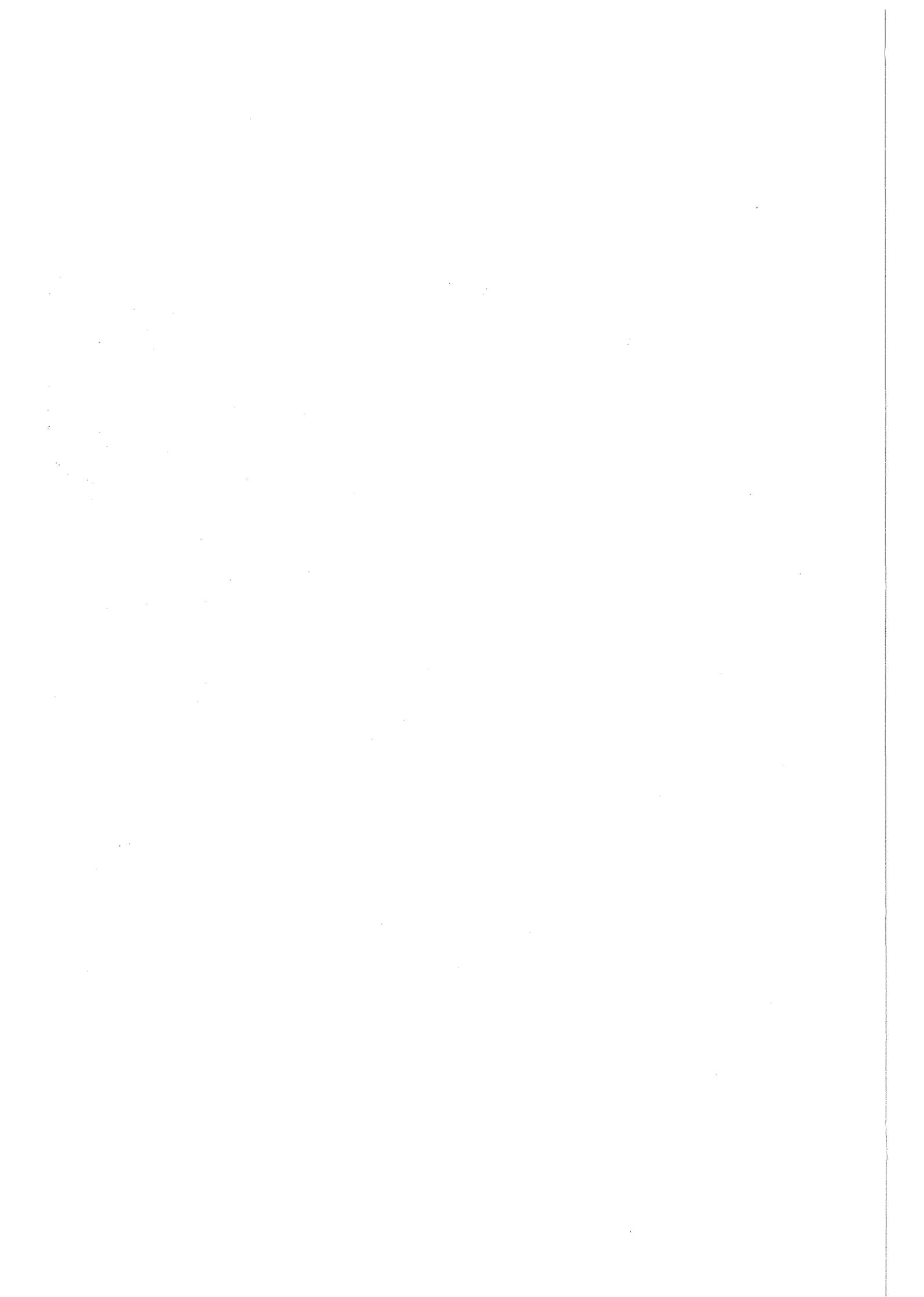
BSS 05

Eingeb. Heizstab Nr. 10 (Kopfteil II.)

Pelletwerkstoff: Al_2O_3



VERGLEICH GEMESSENER UND MIT STATI4 BERECHNETER TEMPERATUREN
 FUER BSS 05-221.2, NT=30 MASCHEN, MIT STATIONAERLAUF.



Anhang 1

Programm STATI-4 (MAIN), DATASET STATI41
mit Eingabebeschreibung

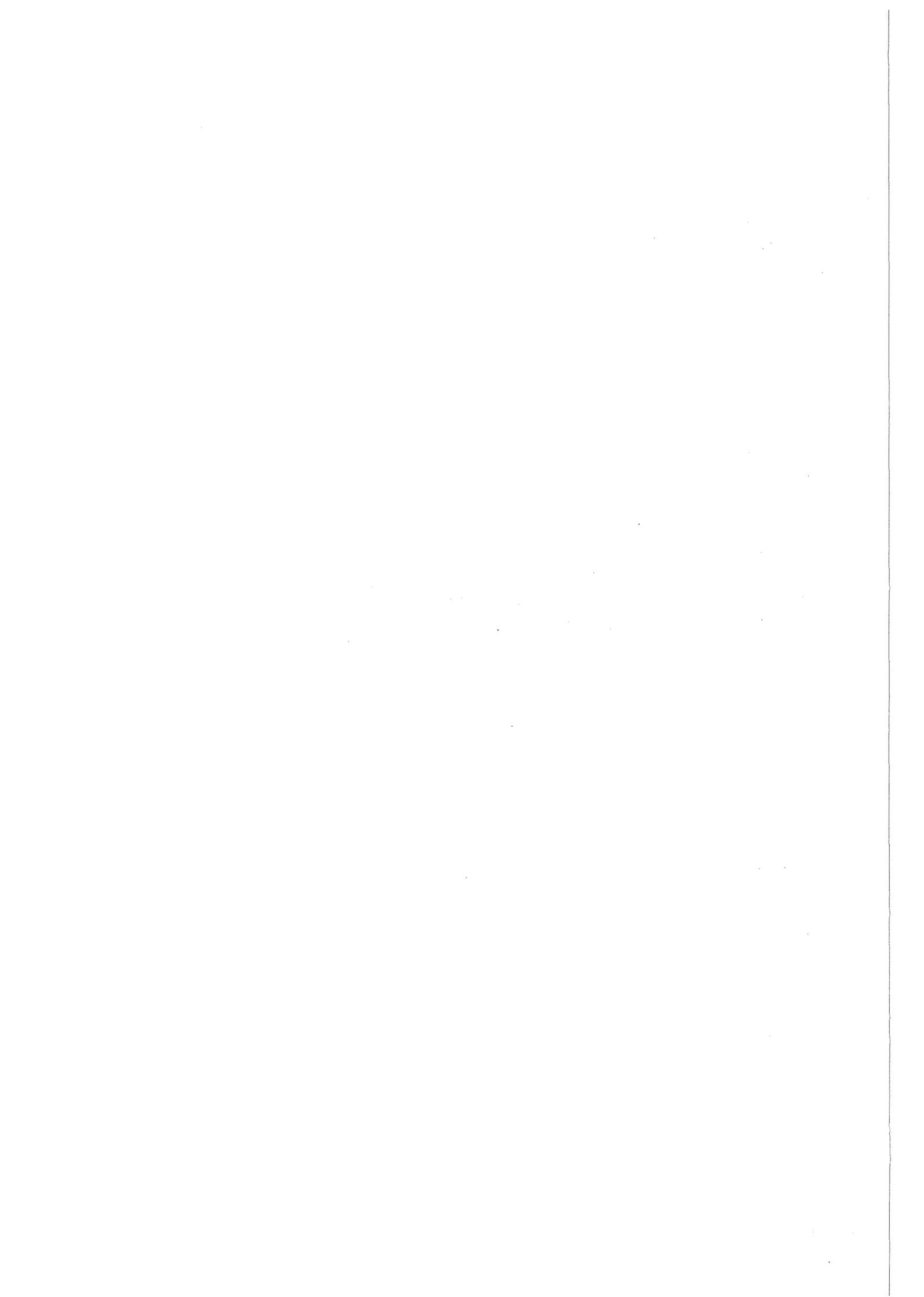
C SOWIE DER VOLLE DATENINPUT. DER PARAMETER "LAUF" IN
C DEN ZU PROGRAMMIERENDEN ROUTINEN KANN UNBEACHTET BLEIBEN.
C BEI DER EINGABE LAUF= _S NIMMT DAS PROGRAMM AN, DASS
C EIN TRANSIENTENLAUF FOLGT. FUER DEN STATIONAERLAUF IST
C DER VOLLE DATENINPUT ZU GEBEN, FUER DEN FOLGENDEN
C TRANSIENTENLAUF NUR DIE KARTEN 1 BIS 5 .
C IN DEN ZU PROGRAMMIERENDEN ROUTINEN MUSS NACH STATIONAER-
C UND TRANSIENTENLAUF UNTERSCHIEDEN WERDEN.
C DER UEBERTRAG DER STATIONAERDATEN ERFOLGT AUTOMATISCH.
C 2D ANGABE, NACH WIEVIEL ZEITSCHRITTEN STABILITAETSPRUEFUNG
C STATTFINDEN SOLL.
C PRUEF= _0: STABILITAETSPRUEFUNG FINDET NICHT STATT.
C PRUEF= _20: STABILITAETSPRUEFUNG NACH 20 ZEITSCHRITTEN.
C IM NORMALFALL SOLLTE PRUEF= _50 ANGEGEBEN WERDEN.
C 3. DRITTE KARTE; LIST ORIENTED
C 3A DTAU=ZEITSCHRITT IN S.
C 3B TAUE=ZEIT BEI ABRUCH DES PROGRAMMES IN S.
C 3C TAUPR=ZEITSCHRITT, NACH DEM AUSGEDRUCKT WERDEN SOLL
C IN S.
C
C 4. VIERTE KARTE; FORMAT A3
C ANGABEN ZUR DRUCKERAUSGABE.
C _NO: KEINE AUSGABE (WRITEP=_NO)
C ALL: VOLLE AUSGABE (" =ALL)
C SPE: SPEZIELLE AUSGABEN WERDEN GEWUENSCHT (WRITEP=SPE).
C NUR IN DIESEM FALLE IST EINE FOLGEKARTE ERFORDERLICH
C MIT FOLGENDEN ANGABEN:
C KARTE MIT FORMAT 6A3 MIT FOLGENDEN BEDEUTUNGEN:
C DRUCKEN ERFOLGT DANN, WENN EIN __Y ANGEGEBEN WIRD, UND
C ZWAR
C 1.STELLE: ALLE TEMPERATUREN (KTP= __Y)
C 2.STELLE: ALLE GRENZRADIEN (KGP= __Y)
C 3.STELLE: ALLE SPALTE (KDGP= __Y)
C 4.STELLE: DIE WAERMEPRODUKTION (KWP= __Y)
C 5.STELLE: DIE WAERMEUEBERGANGSZAHLEN (AUCH DIE AEUSSERE
C WAERMEUEBERGANGSZAHL). (KWUP= __Y)
C 6.STELLE: DIE FLUIDTEMPERATUREN (AUCH DIE AEUSSERE
C FLUIDTEMPERATUR). (KTFP= __Y)
C 5. AUF 4. FOLGEND KARTE; FORMAT A3
C ANGABEN ZUR EXTERNEN AUSGABE
C _NO: KEINE AUSGABE (WRITEW=_NO)
C ALL: VOLLE AUSGABE (" =ALL)
C SPE: SPEZIELLE AUSGABEN WERDEN GEWUENSCHT (WRITEW=SPE).
C NUR DIESEM FALLE IST EINE FOLGEKARTE ERFORDERLICH
C MIT FOLGENDEN ANGABEN:
C KARTE MIT FORMAT 6A3 MIT FOLGENDEN BEDEUTUNGEN:
C AUSGABE ERFOLGT DANN, WENN EIN __Y ANGEGEBEN WIRD, UND
C ZWAR
C 1.STELLE: ALLE TEMPERATUREN (KTW= __Y)
C 2.STELLE: ALLE GRENZRADIEN (KGW= __Y)
C 3.STELLE: ALLE SPALTE (KDGW= __Y)
C 4.STELLE: DIE WAERMEPRODUKTION (KWW= __Y)
C 5.STELLE: DIE WAERMEUEBERGANGSZAHLEN (AUCH DIE AEUSSERE
C WAERMEUEBERGANGSZAHL) (KWUW= __Y)
C 6.STELLE: DIE FLUIDTEMPERATUREN (AUCH DIE AEUSSERE
C FLUIDTEMPERATUR) (KTFW= __Y)
C 6. AUF 5. FOLGENDE KARTEN; FORMAT NT*I3

C NF(K), K=1, NT. K=NUMMER DER MASCHE;
C NF=MASCHENCHARAKTERISTIK. ES BEDEUTEN:
C NF=1: FESTSTOFF
C NF=2: GASSPALT
C NF=3: STRAHLENSCHIRM
C NF=4: KONVEKTIVER WAERMETRANSPORT AUS DER MASCHE HERAUS.
C 7. AUF 6.) FOLGENDE KARTEN; FORMAT NT*I3
C NDEHN(K), K=1, NT. DEHNUNGSCHARAKTERISTIK.
C ES BEDEUTEN:
C NDEHN(K)=0: DER GRENZRADIUS GO DER MASCHE BLEIBT WAEHREND
C DER GESAMTEN RECHNUNG ERHALTEN.
C NDEHN=1: DER GRENZRADIUS G DER MASCHE WIRD IN DER SUB-
C ROUTINE GEOMET ABHAENGIG VOM STOFF UND DER MASCHENMITTEN-
C TEMPERATUR NEU BERECHNET.
C ACHTUNG: BEI GASSPALTEN UND SPALTEN MIT KONVEKTION IMMER
C NDEHN=0 ANGEBEN.
C 8. AUF 7.) FOLGENDE KARTEN; FORMAT NT*I3
C NH(K), K=1, NT. ENTSCHEIDUNG UEBER WAERMEPRODUKTION
C ES BEDEUTEN:
C NH>0: WAERMEPRODUKTION
C NH=0: KEINE WAERMEPRODUKTION
C DIESE ANGABE DIENST DER PRINTAUSGABE. SIE KANN FUER
C SPEZIELLE ZWECHE IN DER SUBROUTINE WPROD VERWENDET WERDEN.
C 9. AUF 8.) FOLGENDE KARTEN; FORMAT NT*I3
C NS(K), K=1, NT. STOFFCHARAKTERISTIK DER MASCHE;
C DIESE GROESSE IST AUCH DANN ANZUGEBEN, WENN NF(K)=3 ODER 4.
C BISHIER SIND EINPROGRAMMIERT:
C NS=1: UO2
C NS=2: ZRY4
C NS=3: HELIUM, 1 BAR
C NS=4: STAHL, WST.NR. 4550
C NS=5: WASSERDAMPF, 1 BAR
C NS=6: MGO
C NS=7: AL2O3 99%
C NS=8: THO2
C NS=9: BORNITRID
C NS=10: NICR 8020
C NS=11: ELEKTROGRAFIT
C NS=12: KUPFER
C NS=13: INCONEL 600
C NS=14: NICKEL
C NS=15: PLATIN
C NS=16: AL2O3 96% (ISOLIERKERAMIK)
C NS=17: QUARZGLAS
C NS=18: ARGON, 1 BAR
C NS=19: ZIRKONOXID
C NS=20: FASERSTOFF AUS ZRO2
C NS=21: WOLFRAM POLIERT
C NS=22: FASERSTOFF AUS AL2O3
C NS=23: MOLYBDAEN
C 10. AUF 9.) FOLGENDE KARTEN; LIST ORIENTED
C GO(K), K=1, NT. GRENZRADIUS DER MASCHE K IN M BEI 298 K.
C DIE ZUEGHOERIGEN RO(K)= ORT DER MITTLEREN
C MASCHENTEMPERATUR, WERDEN IN GEOMET BERECHNET;
C 11. AUF 10.) FOLGENDE KARTE: LIST ORIENTED
C ZENTRALTEMPERATUR TZO
C 12. AUF 11.) FOLGEND KARTEN; LIST ORIENTED

C TOO(K), $K=1, NT$. MASCHENTEMPERATUR AM RECHTEN
C MASCHENRAND ZUM ZEITPUNKT NULL IN K;
C DIE AKTUELLE TEMPERATUR WIRD IM PROGRAMM
C ZU $TO(K)$ GESETZT. DER VEKTOR $TOO(K)$ WIRD MIT DEN WERTEN
C $TO(TAU+DTAU)$ BELEGT.
C DIE MASCHENMITTENTEMPERATUREN $T(K)$ UND $TO(K)=T(K,TAU+DTAU)$
C WERDEN IM PROGRAMM BERECHNET.
C B) DURCH FUNCTIONS UND SUBROUTINEN
C 1. SUBROUTINE $WPROD(TAU, T, G, NT, NH, W, LAUF, *)$. PRO ZEITSCHRITT
C WIRD DIESE ROUTINE EINMAL AUFGERUFEN. ES MUSS DER GESAMTE
C VEKTOR $W(K), K=1, NT$ GESETZT WERDEN. IN W MUSS DIE
C WAERMEPRODUKTION DER MASCHE K IN W/M^{**3} STEHEN, AUCH
C DANN, WENN $NH=0$ (DANN $W(K)=0$.)
C 2. FUNCTION $TFL(TAU, LAUF)$. TEMPERATUR DES AUSSENMEDIUMS IN K.
C 3. SUBROUTINE $WUE(TAU, G, TOO, NF, NS, NT, WUEK, TEFL, LAUF, *)$.
C IN DIESER SUBROUTINE MUESSEN DIE WAERMEUEBERGANGSZAHLEN
C $WUEK(K), K=1, NT$ UND DIE FLUIDTEMPERATURE $TEFL(K), K=1, NT$
C IN MASCHEN MIT KONVEKTION GESETZT WERDEN. FALLS KEINE
C MASCHEN MIT KONVEKTION VORHANDEN SIND, SETZE MAN DIE
C VARIABLEN AUF NULL, FUER $WUEK(NT)$ IST DIE WAERMEUEBER-
C GANGSZAHL DES AUSSEN KUEHLENDEN FLUIDS IMMER ANZU-
C GEBEN. MAN BEACHTET, DASS PRO SPALT EINE FLUIDTEMPERATUR
C ABER ZWEI WAERMEUEBERGANGSZAHLEN (RECHTS UND LINKS)
C ANZUGEBEN SIND.
C 4. SUBROUTINE $SCHALT(NF, NS, TAU, NT, LAUF)$ BIETET DIE MOEGLICHKEIT,
C WAEHREND DES RECHENLAUFES DIE MASCHENCHARAKTERISTIK
C ZU AENDERN (Z.B. VON KONVEKTION AUF STRAHLUNG UND LEITUNG
C ODER VON STOFF1 AUF STOFF2).
C 5. MOEGLICHERWEISE ERWEITERUNG DER STOFFWERTFUNCTIONS FUER
C BENOETIGTE STOFFE.
C 6. ANMERKUNG
C IN DER SUBROUTINE $STATI4$ SIND IMPLEMENTIERT:
C "COMMON/BLL/L". MIT "L" WIRD DIE NUMMER DES JEWEILIGEN
C RECHENSCHRITTES UEBERTRAGEN.
C "COMMON/BLDTAU/DTAU". MIT DIESEM COMMON KANN BEI BEDARF
C DAS JEWEILIGE $DTAU$ IN DIE ZU PROGRAMMIERENDEN ROUTINEN
C UEBERTRAGEN WERDEN.
C
C
C AUSGABEN BEI $WRITEP=ALL$ (DATENKARTEN PUNKT 4).
C ES WERDEN AUSGEGEBEN:
C TEXT FUER DEN RECHENLAUF,
C ZEIT TAU IN S,
C ZENTRALTEMPERATUR $TZENTR$ IN K,
C ALLE MASCHENMITTENTEMPERATUREN $T(K,TAU)$ IN K,
C ALLE TEMPERATUREN DER RECHTEN MASCHENOBERFLAECHE $TO(K,TAU)$ IN K,
C DIE RECHTEN GRENZRADIEN $G(K,TAU)$ IN M,
C DIE ABMESSUNGEN ALLER SPALTE MIT GASFUELLUNG ODER KONVEKTION
C $SPALT(K,TAU)=G(K)-G(K-1)$ IN M.
C DIE WAERMEPRODUKTION $W(K,TAU)$, SOFERN VORHANDEN IN W/M^{**3}
C DIE WAERMEUEBERGANGSZAHLEN, SOFERN VORHANDEN IN $W/M^{**2}/K$
C DIE FLUIDTEMPERATUREN, SOFERN VORHANDEN, IN K.
C
C BEI $WRITEP=SPE$ WERDEN DIE GEWUENSCHTEN GROESSEN AUSGEGEBEN.
C
C
C AUSGABE AUF EXTERNEN DATASET

```
C
C   IN DER JCL IST EIN EXTERNER DATASET ZU EROEFFNEN, UND ZWAR
C   FUER LAUF=__S: FILE FT50F001 DD ....
C   FUER LAUF=--T: FILE FT51F001 DD ....
C
C   DIE DATEN WERDEN JEWEILS ZUM ZEITPUNKT TAUPR GESAMMELT.
C   DIE AUSGEBEBENE DATENMENGE KANN DAMIT GESTEUERT WERDEN.
C   ES WERDEN AUSGEBEBEN BEI WRITEW=ALL (DATENKARTEN PUNKT 5.)
C   ANZAHL DER ZEILEN IW
C   ANZAHL DER MASCHEN NT
C   ZEIT TAU IN S
C   ZENTRALTEMPERATUR TZ IN K
C   MASCHENMITTENTEMPERATUREN T(K),K=1,NT IN K
C   MASCHENOBERFLAECHENTEMPERATUREN TO(K),K=1,NT IN K
C   MASCHENGRENZRADIEN G(K),K=1,NT IN M
C   SPALTE DG(K),K=1,NT IN M
C   WAERMEPRODUKTION WW(K), K=1,NT IN W/M**3
C   WAERMEUEBERGANGSZAHLEN WUEKW(K),K=1,NT IN W/M**2/K
C   FLUIDTEMPERATUREN TEFLW(K),K=1,NT IN K
C   AEUSSERE FLUIDTEMPERATUR IN K
C
C
C   LESEN DER DATASETS FUER WEITERE VERARBEITUNG:
C   READ(NFILE) IW,NT
C   READ(NFILE) (TAU(L),L=1,IW)
C   BEI KTW=__Y (ERSTE STELLE):
C       READ(NFILE) (TZ(L),(T(K,L),TO(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C   BEI KGW=__Y (ZWEITE STELLE):
C       READ(NFILE) ((G(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C   BEI KDGW=__Y (DRITTE STELLE):
C       READ(NFILE) ((DG(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C   BEI KWW=__Y (VIERTE STELLE):
C       READ(NFILE) ((W(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C   BEI KWUW=__Y (FUENFTE STELLE):
C       READ(NFILE) ((WUEK(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C   BEI KTFW=__Y (SECHSTE STELLE):
C       READ(NFILE) (TFLA(L),(TEFL(K,L),K=1,NT),L=1,IW)
C           (TFLA=AEUSSERE FLUIDTEMPERATUR)
C   BEI WRITEW=ALL WERDEN ALLE PARAMETER AUF __Y GESETZT.
C   BEI WRITEW=_NO GIBT ES KEINEN OUTPUT (SIEHE DATENKARTEN
C       PUNKT 5.)
C
C
C   *****
C   UEBERTRAGUNG VON REAL*8-VARIABLEN
C   *****
C   REAL*8 T,TO,TO,TOO,TPR,TOPR,TOPR,TOOPR,DTAUS
C
C   *****
C   ALLGEMEINE DIMENSIONIERUNG
C   AENDERUNGEN HIER DURCHFUEHREN
C   *****
C   NM: MAXIMALZAHL DER MASCHEN
C   IM: MAXIMALZAHL DER ZEITLICHEN AUSGABEN AUF EXT. DATASET.
C
C   PARAMETER (NM=35)
```

```
PARAMETER (IM=500)
C
C *****
C DIMENSIONIERUNG DER RECHENWERTE
C *****
  DIMENSION GO(NM),G(NM),RO(NM),R(NM),TO(NM),T(NM),TOO(NM),
*TO(NM),NF(NM),NS(NM),NDEHN(NM),NH(NM),DG(NM),W(NM),
*WUEK(NM),TEFL(NM)
C
C *****
C DIMENSIONIERUNG DER PRUEFVARIABLEN
C *****
  DIMENSION TOPR(NM),TPR(NM),TOOPR(NM),TOPR(NM),
*M(NM),M1(NM)
C
C *****
C DIMENSIONIERUNG DER VARIABLEN FUER SUBROUTINE SCHRW
C *****
  DIMENSION DTAUS(NM)
C
C
C DIMENSIONIERUNG DER VARIABLEN FUER SUBROUTINE PRINT
C *****
  DIMENSION TP(NM,10),TOP(NM,10),DGP(NM,10),GP(NM,10),
*WP(NM,10),WUEKP(NM,10),TEFLP(NM,10)
C
C *****
C DIMENSIONIERUNG DER AUSGABE AUF EXTERNEN DATASET
C *****
  DIMENSION TAUW(IM),TZW(IM),TW(NM,IM),TOW(NM,IM),
*GW(NM,IM),DGW(NM,IM),WW(NM,IM),WUEKW(NM,IM),
*TEFLW(NM,IM),TFLAW(IM)
C
C
C
  CALL STATI4
*(GO,G,DG,RO,R,TO,T,TOO,TO,NF,NS,NDEHN,NH,W,WUEK,TEFL,
*TOPR,TPR,TOOPR,TOPR,M,M1,
*DTAUS,
*TP,TOP,DGP,GP,WP,WUEKP,TEFLP,
*TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,NM,IM)
C
  STOP
  END
```



Anhang 2

SUBROUTINE STATI-4 (LØAD), DATASET STATI41

```
C      ++++++
C      + SUBROUTINE STATI4                      +
C      + VERSION '41' VOM 26.10.1983          +
C      + REAL*8-VERSION                        +
C      ++++++
C
C      SUBROUTINE STATI4
C      *(GO,G,DG,RO,R,TO,T,TOO,TO,NF,NS,NDEHN,NH,W,WUEK,TEFL,
C      *TOPR,TPR,TOOPR,TOPR,M,M1,
C      *DTAUS,
C      *TP,TOP,DGP,GP,WP,WUEKP,TEFLP,
C      *TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,NM,IM)
C
C      REAL*8-VEREINBARUNGEN
C      =====
C      REAL*8 TZ,TZO,T,TO,TO,TOO,
C      *TZPR,TZOPR,TPR,TOPR,TOPR,TOOPR,
C      *DTAU,DELTAU,DTAUS,DTAUMX,DTAUM,DTAUZ,DTAU1,
C      *TAU,TAU1,TAUE,TAUPR,TAUV
C
C      DIMENSIONIERUNG DER RECHENWERTE
C      DIMENSION GO(NM),G(NM),RO(NM),R(NM),TO(NM),T(NM),TOO(NM),
C      *TO(NM),NF(NM),NS(NM),NDEHN(NM),NH(NM),DG(NM),W(NM),
C      *WUEK(NM),TEFL(NM)
C
C      DIMENSIONIERUNG DER PRUEFVARIABLEN
C      DIMENSION TOPR(NM),TPR(NM),TOOPR(NM),TOPR(NM),
C      *WPR(2,200),WUEKPR(2,200),TEFLPR(2,200),TFLAPR(2),
C      *M(NM),M1(NM)
C      INTEGER PRUEF
C
C      DIMENSIONIERUNG VON VARIABLEN FUER DIE ANFANGSAUSGABE
C      CHARACTER A*120,SCHR*3,SCHR1*8,LAUF*3,LAUF1*3
C      CHARACTER*80 TEXT(10)
C
C      DIMENSIONIERUNG DER VARIABLEN FUER SUBROUTINE SCHRW
C      DIMENSION DTAUS(NM)
C
C      DIMENSIONIERUNG DER VARIABLEN FUER SUBROUTINE PRINT
C      DIMENSION TP(NM,10),TOP(NM,10),DGP(NM,10),GP(NM,10),
C      *WP(NM,10),WUEKP(NM,10),TEFLP(NM,10)
C      CHARACTER*3 WRITEP,KTP,KGP,KDGP,KWP,KWUP,KTFP
C
C      DIMENSIONIERUNG DER AUSGABE AUF EXTERNEN DATASET
C      DIMENSION TAUW(IM),TZW(IM),TW(NM,IM),TOW(NM,IM),
C      *GW(NM,IM),DGW(NM,IM),WW(NM,IM),WUEKW(NM,IM),
C      *TEFLW(NM,IM),TFLAW(IM)
C      CHARACTER*3 WRITEW,KTW,KGW,KDGW,KWW,KWUW,KTFW
C
C      *****
C      KOPPLUNG ZUM STOFFWERTEPROGRAMM
C      *****
C      COMMON/BLL/L
C
```



```
4' VERSAGT BEI DIESER GEOMETRIE. ',
5/20X, ' ERMITTELE DTAUZ DURCH VERSUCHE. ',
6' BEGINNE MIT DTAU=TAUE/2000. ',
7/20X, 'ENDZEIT TAUE =', E13.6, ' S',
8/20X, 'DRUCKSCHRITTWEITE TAUPR=', E13.6, ' S',
9/20X, 'ANFANGS-MITTENTEMPERATUR TZO =', E13.6, ' K'////)
114 FORMAT(///20X, 'NEUE SCHRITTWEITE GEWAELHLT:DTAUNEU=', E13.6/,
*20X, 'FALLS FEHLERMELDUNGEN AUFTRETEN, PRUEFE EINGABE. '/,
*20X, 'FALLS DIESE O.K., AENDERE SCHRITTWEITE UND SETZE SCHR=-F',
*' (FIX). '////)
115 FORMAT (///30X, 'P R O B L E M A N G A B E N' /,
1 30X, '=====')////)
116 FORMAT(/20X, 'NEUE SCHRITTWEITE ANGEPA SST.TAU=', E13.6,
15X, 'DTAUNEU=', E13.6/)
117 FORMAT(/5X, 'INSTABILITA ET BEI ', 10(' T(', I2, '), '))
118 FORMAT (///20X, 'MAXIMALE ZEITSCHRITZAH L UEBERSCHRITTEN. '////)
120 FORMAT (3X, 'K', 4X, 'NF', 4X, 'NS', 3X, 'NDEHN', 4X, 'NH', 6X, 'RO',
A16X, 'GO', 13X, 'W', 12X, 'WUEK', 11X, 'TO', 7X, 'TOO')
121 FORMAT (3X, '-', 4X, '-', 5X, '-', 6X, '-', 6X, '-', 8X, 'M', 17X, 'M', 11X,
A'W/M**3', 8X, 'W/M**2/K', 9X, 'K', 9X, 'K' /)
122 FORMAT (1X, I3, 4I6, 4E16.6, 2F9.1)
123 FORMAT (/20X, 'TFLUID-AUSSEN=', F7.1, ' K'////)
124 FORMAT (20X, 'SPALT(', I3, ')=', E13.6, ' M')
125 FORMAT (1H1, ///20X, 'A U S G A B E D E R R E C H E N W E R T E
A', /20X,
B'////)
126 FORMAT (1H1///20X, 'IN DATENKARTE 2 " V" ODER " _F" ANGEBEN. '////)
127 FORMAT (1H1///20X, 'IN DATENKARTE 2 "--S" ODER "--T" ANGEBEN. '////)
128 FORMAT (1H1///20X, 'IN DATENKARTE 2 MUSS "--T" FUER TRANSIENTE'
*' ANGEGBEN WERDEN. ')
129 FORMAT (1H1///20X, 'DIE MASCHENZAHL MUSS BEI STATIONAER- UND ',
*' TRANSIENTENLAUF UEBEREINSTIMMEN. '/20X, 'NT-TRANSIENT=', I4, /20X,
*' NT-STATIONAER=', I4)
130 FORMAT (////20X, 'AUF KARTE 4 IST _NO, ALL ODER SPE'
*' ANZUGEBEN. ')
131 FORMAT (////20X, 'FUER EXTERNEN DATENSATZ IST ANZUGEBEN:'
*' _NO, ALL ODER SPE')
132 FORMAT (///20X, 'E R L A E U T E R U N G E N' //
*20X, 'NF=1: FESTSTOFFMASCHE', /20X, 'NF=2: GASMASCHE (STRAHLUNG ',
*' UND LEITUNG)', /20X, 'NF=3: STRAHLENSCHIRM', /20X, 'NF=4:',
*' MASCHE MIT KONVEKTION UND STRAHLUNG', ///20X, 'NS= 1:',
*' UO2', /20X, ' 2: ZRY4', /20X, ' 3: HELIUM', /20X, ' 4:',
*' STAHL, WST. NR. 4550', /20X, ' 5: WASSERDAMPF, 1BAR', /20X,
*' 6: MGO (PULVERIG)', /20X, ' 7: AL2O3 99-%', /20X, ' 8:',
*' THO2', /20X, ' 9: BORNITRID', /20X, ' 10: NICR 8020', /20X,
*' 11: ELEKTROGRAFIT', /20X, ' 12: KUPFER', /20X, ' 13:',
*' INCONEL 600', /20X, ' 14: NICKEL', /20X, ' 15: PLATIN', /20X,
*' 16: AL2O3 96-% (ISOLIERKERAMIK)', /20X, ' 17: QUARZGLAS', /
*20X, ' 18: ARGON, 1 BAR', /20X, ' 19: ZRO2', /20X, ' 20:',
*' FASERSTOFF AUS ZRO2', /20X, ' 21: WOLFRAM POLIERT', /20X,
*' 22: FASERSTOFF AUS AL2O3', /20X, ' 23: MOLYBDAEN', ///20X,
*' NDEHN=1: THERMISCHE DEHNUNG WIRD GERECHNET. ', /20X, 'NDEHN=0:',
*' DIE EINGEGEBENE GEOMETRIE WIRD BEIBEHALTEN. ', ///20X,
*' NH=0: KEINE WAERMEPRODUKTION', /20X, 'NH>0: WAERMEPRODUKTION',
*' IN DER MASCHE. ')
133 FORMAT (////,
```



```

KWUP=' Y'
KTFP=' Y'
ELSEIF (WRITEP.EQ.'SPE') THEN
READ(*,'(6A3)') KTP, KGP, KDGP, KWP, KWUP, KTFP
WRITE (*,'(1X,6A3)') KTP, KGP, KDGP, KWP, KWUP, KTFP
ELSE
WRITE (*,130)
STOP
ENDIF
C
C   ANGABE DER GROESSEN FUER EXTERNEN DATASET
700 READ (*,'(A3)') WRITEW
WRITE (*,'(1X,A3)') WRITEW
IF (WRITEW.EQ.'NO') GOTO 800
IF (WRITEW.EQ.'ALL') THEN
KTW=' Y'
KGW=' Y'
KDGW=' Y'
KWW=' Y'
KWUW=' Y'
KTFW=' Y'
ELSEIF (WRITEW.EQ.'SPE') THEN
READ(*,'(6A3)') KTW, KGW, KDGW, KWW, KWUW, KTFW
WRITE (*,'(1X,6A3)') KTW, KGW, KDGW, KWW, KWUW, KTFW
ELSE
WRITE (*,131)
STOP
ENDIF
C
C   ENTSCHEIDUNG UEBER STATIONAERLAUF ODER TRANSIENTENLAUF
C   ++++++
C
800 IF (LAUF.EQ.' S'.AND.LAUF1.EQ.' S') THEN
WRITE (*,128)
STOP
ELSEIF (LAUF.EQ.' S') THEN
LAUF1=' S'
NFILE=50
NTV=NT
GOTO 200
ELSEIF (LAUF.NE.' T') THEN
WRITE (*,127)
STOP
ELSEIF (LAUF1.EQ.LAUF) THEN
NFILE=51
GOTO 200
ELSE
NFILE=51
GOTO 300
ENDIF
C
C   MASCHENCHARAKTERISTIK
200 READ (*,101) (NF(I),I=1,NT)
WRITE (*,'(1X,24I3)') (NF(I),I=1,NT)
C
C   DEHNUNGSCHARAKTERISTIK
```

```
      READ (*,101) (NDEHN(I),I=1,NT)
      WRITE (*,'(1X,24I3)') (NDEHN(I),I=1,NT)
C
C   MATERIALZUWEISUNG
      READ (*,101) (NS(I),I=1,NT)
      WRITE (*,'(1X,24I3)') (NS(I),I=1,NT)
C
C   ENTSCHEIDUNG UEBER WAERMEPRODUKTION
      READ(*,101) (NH(I),I=1,NT)
      WRITE (*,'(1X,24I3)') (NH(I),I=1,NT)
C
C   GRENZRADIEN BEI T=20 GRD-C
      READ (*,*) (GO(I),I=1,NT)
      WRITE (*,*) (GO(I),I=1,NT)
C
C   ZENTRALTEMPERATUR
      READ(*,*) TZ0
      WRITE (*,*) TZ0
C
C   OBERFLAECHEMTEMPERATUREN
      READ (*,*) (TOO(I),I=1,NT)
      WRITE (*,*) (TOO(I),I=1,NT)
C
C
C   SETZEN DER KONSTANTEN
300  NSTR=0
      NP=0
      I1=0
      IW=0
      TAU=0.
      L=0
      KFEST=0
      NZ1=0
      NZ2=0
      NZ3=0
      DO 600 K=1,NT
600  NZ4(K)=0
C
C   BERECHNUNG DER ANFANGS-MITTENTEMPERATUREN, DER ANFANGSLEISTUNGEN,
C   DER ANFANGSWAERMEUEBERGANGSZAHLEN, DER MITTENRADIENBEI 300. K,
C   DER ANFANGSSPALTWEITEN UND DER ANFANGSFLUIDTEMPERATUREN.
C   +++++
      IF (LAUF.EQ.' S'.OR.LAUF.EQ.LAUF1) THEN
      DO 400 K=1,NT
400  G(K)=GO(K)
      ENDIF
      IF (LAUF1.EQ.' S'.AND.NT.NE.NTV) THEN
      WRITE (*,129) NT,NTV
      NT=NTV
      ENDIF
C
C   AUFRUF DES WAERMEUEBERGANGES
      CALL WUE(TAU,GO,TOO,NF,NS,NT,WUEK,TEFL,LAUF,&7)
C   AEUSSERE FLUIDTEMPERATUR
      TFLA=TFL(TAU,LAUF)
C   SETZEN DER TEMPERATUREN UND RADIEN
```

```
TO(1)=(TZ0+TOO(1))/2.
IF (NF(1).EQ.4) TO(1)=TEFL(1)
RO(1)=GO(1)/2.
DG(1)=0.
IF (NF(1).EQ.2.OR.NF(1).EQ.4) DG(1)=G(1)
DO 1 K=2,NT
DG(K)=0.
IF (NF(K).EQ.2.OR.NF(K).EQ.4) DG(K)=G(K)-G(K-1)
TO(K)=(TOO(K-1)+TOO(K))/2.
RO(K)=(GO(K-1)+GO(K))/2.
IF (NF(K).EQ.4) TO(K)=TEFL(K)
1 CONTINUE
C AUFRUF DER WAERMEPRODUKTION
CALL WPROD(TAU,TO,GO,NT,NH,W,LAUF,&7)
C
C
C AUSGABE DER ANFANGSWERTE
WRITE (*,106)
WRITE (*,107) TEXT(4)
WRITE (*,115)
WRITE (*,120)
WRITE (*,121)
WRITE (*,*) A
DO 2 K=1,NT
WRITE (*,122) K,NF(K),NS(K),NDEHN(K),NH(K),RO(K),GO(K),W(K),
1WUEK(K),TO(K),TOO(K)
WRITE (*,*) A
2 CONTINUE
WRITE (*,123) TFLA
DO 22 K=1,NT
22 IF (NF(K).EQ.2.OR.NF(K).EQ.4) WRITE (*,124) K,DG(K)
IF (NT.GT.NM) THEN
WRITE (*,109) NM
STOP
ENDIF
C
C
C BESTIMMUNG DER AKTUELLEN GEOMETRIE
CALL GEOMET(GO,G,DG,RO,R,TO,NS,NF,NDEHN,NT,&7)
C
C BESTIMMUNG DER ZULAESSIGEN ZEITSCHRITTIWEITE UND
C AKTIVIERUNG DES STOFFWERTEPROGRAMMES.
IF (SCHR.NE.' V'.AND.SCHR.NE.' F') WRITE (*,126)
IF (SCHR.EQ.' V') GOTO 23
SCHR1='FIX'
GOTO 24
23 SCHR1='VARIABEL'
24 CALL SCHRW(NF,NS,NT,G,TO,DTAUM,K1,DTAUS)
DTAUZ=0.9*DTAUM
IF (DTAUM.GT.9.9E09) KFEST=1
IF (DTAU.GT.DTAUZ.AND.SCHR.EQ.' F') THEN
WRITE (*,105)
GOTO 10
ENDIF
IF (SCHR.EQ.' V'.AND.DTAUZ.LT.DTAUMX) THEN
DTAU=DTAUZ
```

```
WRITE (*,114) DTAUZ
ENDIF
C
C   AUSGABE DER PROBLEMDATEN
10  IF (KFEST.NE.1) THEN
    IF (SCHR.EQ.' F') THEN
      WRITE (*,104) NT,SCHR1,DTAU,DTAUM,K1,DTAUZ,TAUE,TAUPR,TZO
    ELSE
      WRITE (*,133) NT,SCHR1,DTAUMX,DTAUM,K1,DTAUZ,TAUE,TAUPR,TZO
    ENDIF
  ELSE
    WRITE (*,113) NT,DTAU,TAUE,TAUPR,TZO
  ENDIF
  WRITE (*,132)
  WRITE (*,125)
C
C   UEBERTRAGUNG DER ANFANGSWERTE NACH PRINT
    CALL
    *PRINT(TAU,TZO,TO,TOO,G,NP,I1,IW,NT,L,NTAU,DG,NF,NH,
    *W,WUEK,TEFL,TFLA,
    *TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,
    *TP,TP,DGP,GP,WP,WUEKP,TEFLP,NFILE,IM)
C
C
C   BESTIMMUNG DER ANZAHL DER ZEITSCHRITTE
    NTAU=IDINT(TAUE/DTAU)+1
C
C
C   BEGINN DER ZEITVARIATION LABEL=50
C   *****
C
    DO 50 L=1,100000
      TZ=TZO
      DO 4 K=1,NT
        T(K)=TO(K)
        TO(K)=TOO(K)
      4  CONTINUE
      TAU=TAU+DTAU
C
C   BESTIMMUNG DER AKTUELLEN GEOMETRIE
C   ++++++
C
    CALL GEOMET(GO,G,DG,RO,R,T,NS,NF,NDEHN,NT,&7)
C
C
C   UMSCHALTEN DER KUEHLBEDINGUNGEN
C   ++++++
C
    CALL SCHALT(NF,NS,TAU,NT,LAUF)
C
C   BESTIMMUNG DER WAERMEPRODUKTION
C   ++++++
C
    CALL WPROD(TAU,T,G,NT,NH,W,LAUF,&7)
C
C   BESTIMMUNG DES WAERMEUEBERGANGES
C   ++++++
```

```
CALL WUE(TAU,G,TO,NF,NS,NT,WUEK,TEFL,LAUF,&7)
C
C BESTIMMUNG DER AEUSSEREN FLUIDTEMPERATUR
C ++++++
TFLA=TFL(TAU,LAUF)
C
C SETZEN DER HILFSVARIABLEN FUER DIE PRUEFROUTINE
C ++++++
DO 14 K=1,NT
WPR(1,K)=WPR(2,K)
WPR(2,K)=W(K)
WUEKPR(1,K)=WUEKPR(2,K)
WUEKPR(2,K)=WUEK(K)
TEFLPR(1,K)=TEFLPR(2,K)
14 TEFLPR(2,K)=TEFL(K)
TFLAPR(1)=TFLAPR(2)
TFLAPR(2)=TFLA
C
C BEGINN DER MASCHENVARIATION
C ++++++
C
CALL MASCHV(NF,NS,NT,G,R,TZO,TZ,TO,T,TOO,TO,DTAU,W,
*WUEK,TEFL,TFLA,&7)
C
C ENDE DER MASCHENVARIATION
C ++++++
C
C PRUEFROUTINEN
C ++++++
C
C PRUEFUNG DER SCHRITTWEITE
C *****
C
IF (KFEST.EQ.1) GOTO 16
YPRUEF=MOD(L,50)
IF (YPRUEF.EQ.0) THEN
CALL SCHRW(NF,NS,NT,G,T,DTAUM,K1,DTAUS)
DTAUZ=0.9*DTAUM
IF (SCHR.EQ.' F') THEN
IF (DTAU.GT.DTAUZ) THEN
WRITE (*,110)TAU,DTAUZ,K1
GOTO 16
ELSE
GOTO 16
ENDIF
ENDIF
IF (DTAUZ.LT.DTAUMX) THEN
DXS=(DTAU-DTAUZ)/DTAUZ
IF (ABS(DXS).GE.0.1) THEN
LS=L
TAUV=TAU
DTAU=DTAUZ
DELTAU=TAUE-TAUV
NDTAU=IDINT(DELTAU/DTAU)+1
NTAU=NDTAU+LS
WRITE (*,116) TAU,DTAU
```

```
        ENDIF
        ENDIF
        ENDIF
C
C  PRUEFUNG DER RECHENSTABILITAET
C  ****
16  IF (PRUEF.EQ.0) GOTO 15
    YPRUEF=MOD(L,PRUEF)
    IF (YPRUEF.EQ.0) THEN
        DTAU1=DTAU/2.
        TAU1=TAU-DTAU
        TZPR=TZ
        DO 5 I=1,NT
            TPR(I)=T(I)
        5  TOPR(I)=TO(I)
        DO 6 I=1,2
            TAU1=TAU1+DTAU1
            IF (I.EQ.1) THEN
                DO 12 K=1,NT
                    W(K)=(WPR(1,K)+WPR(2,K))/2.
                    WUEK(K)=(WUEKPR(1,K)+WUEKPR(2,K))/2.
                12  TEFL(K)=(TEFLPR(1,K)+TEFLPR(2,K))/2.
                    TFLA=(TFLAPR(1)+TFLAPR(2))/2.
                ELSE
                    DO 13 K=1,NT
                        W(K)=WPR(2,K)
                        WUEK(K)=WUEKPR(2,K)
                    13  TEFL(K)=TEFLPR(2,K)
                        TFLA=TFLAPR(2)
                    ENDIF
                CALL MASCHV(NF,NS,NT,G,R,TZOPR,TZPR,
                    *TOPR,TPR,TOOPR,TOPR,DTAU1,W,WUEK,TEFL,TFLA,&7)
                TZPR=TZOPR
                DO 8 IK=1,NT
                    TPR(IK)=TOPR(IK)
                8  TOPR(IK)=TOOPR(IK)
                6  CONTINUE
                DO 9 I=1,NT
                    M(I)=0
                9  IF (ABS((TOPR(I)-TO(I))/TOPR(I)).GT.1.E-3) M(I)=1
                    DO 17 I=1,NT
                17  IF (M(I).EQ.1) GOTO 18
                    GOTO 15
                18  WRITE (*,112) TAU
                    IK=0
                    DO 19 I=1,NT
                        IF (M(I).EQ.1) GOTO 20
                    GOTO 19
                20  IK=IK+1
                    M1(IK)=I
                19  CONTINUE
                    WRITE (*,117) (M1(I),I=1,IK)
                ENDIF
C
C
C
C  ABSPEICHERN DER ZU DRUCKENDEN WERTE
```

```
15  IF (L.EQ.NTAU) GOTO 21
    IF (TAU.LT.NP*TAUPR) GOTO 50
    CALL
    *PRINT(TAU,TZO,TO,TOO,G,NP,I1,IW,NT,L,NTAU,DG,NF,NH,
    *W,WUEK,TEFL,TFLA,
    *TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,
    *TP, TOP, DGP, GP, WP, WUEKP, TEFLP, NFILE, IM)
C   FALLS IN PRINT IW=IM, WIRD L=NTAU GESETZT.
    IF (L.EQ.NTAU) GOTO 3
50  CONTINUE
    WRITE (*,118)
    GOTO 7

C
C   ENDE DER ZEITSCHLEIFE
C
C   ENDAUSGABE
C

21  CALL
    *PRINT(TAU,TZO,TO,TOO,G,NP,I1,IW,NT,L,NTAU,DG,NF,NH,
    *W,WUEK,TEFL,TFLA,
    *TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,
    *TP, TOP, DGP, GP, WP, WUEKP, TEFLP, NFILE, IM)

C
C   RUECKSPRUNG, FALLS STATIONAERLAUF
C

3   IF (LAUF.EQ.' S') GOTO 500
    RETURN

C
C   IRREGULAERER AUSSTIEG
C

7   CALL
    *PRINT(TAU,TZO,TO,TOO,G,NP,I1,IW,NT,NTAU,NTAU,DG,NF,NH,
    *W,WUEK,TEFL,TFLA,
    *TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,
    *TP, TOP, DGP, GP, WP, WUEKP, TEFLP, NFILE, IM)
    RETURN
    END

C
C
C   SUBROUTINE MASCHV(NF,NS,NT,G,R,TZO,TZ,TO,T,TOO,TO,DTAU,
C   *W,WUEK,TEFL,TFLA,*)
C   *****
C   IN DIESER ROUTINE WERDEN ALLE MASCHEN DURCHLAUFEN UND DIE
C   NEUEN TEMPERATUREN GESETZT.
C
C   REAL*8 TZO,TZ,TO,T,TOO,TO,DTAU,TN1,TZ1,TONT

C
C   DIMENSION NF(NT),NS(NT),G(NT),R(NT),TO(NT),T(NT),
C   1TOO(NT),TO(NT),W(NT),WUEK(NT),TEFL(NT)

C
C   DO 5 K=1,NT
    IF (NF(K).EQ.2.OR.NF(K).EQ.4) GOTO 5
    IF (NF(K).EQ.3) THEN
        NSTR=1
```

```
GOTO 5
ENDIF
TO(K)=TN1(G,R,TZ,T,TO,DTAU,W,NS,K,NT)
IF (K.EQ.1) GOTO 23
IF (NSTR.EQ.1) GOTO 20
IF (NF(K-1).EQ.2) GOTO 21
IF (NF(K-1).EQ.4) GOTO 24
CALL TOM(G,R,W,TO,TO,TOO,NS,K,NT,&7)
IF (K.EQ.NT) GOTO 22
GOTO 5
20 CALL TOSTRA(K,G,R,W,TO,TO,TOO,NS,NT,&7)
NSTR=0
IF (K.EQ.NT) GOTO 22
GOTO 5
21 IF (K.EQ.2) GOTO 25
CALL TOGA(G,R,W,TO,TO,TOO,NS,K,NT,&7)
IF (K.EQ.NT)GOTO 22
GOTO 5
25 CALL TZGAS(G,R,W,TO,TO,TOO,TZO,NS,NT)
GOTO 5
22 TOO(NT)=TONT(G,R,W,TO,TO,NS,NT,TFLA,WUEK)
GOTO 5
23 TZO=TZ1(R,W,TZ,TO,NS,1,NT)
GOTO 5
24 IF (K.EQ.2) GOTO 26
CALL TOWUE(K,G,R,W,WUEK,TEFL,TO,TO,TOO,NS,NT,&7)
IF (K.EQ.NT) GOTO 22
GOTO 5
26 CALL TOROHR(K,NS,TO,TOO,TO,TZO,R,G,W,WUEK,TEFL,NT)
IF (K.EQ.NT) GOTO 22
5 CONTINUE
RETURN
7 RETURN1
END
```

C
C

```
SUBROUTINE SCHRW(NF,NS,NT,G,TO,DTAUM,K1,DTAU1)
```

C
C
C
C
C
C

```
=====
BERECHNET DIE MAXIMAL ZULAESSIGE SCHRITTWEITE
UND AKTIVIERT DAS STOFFWERTEPROGRAMM
```

C
C
C

```
REAL*8 TO,DTAUM,DTAU1
```

C
C

```
DIMENSION NS(NT),NF(NT),DTAU1(NT),G(NT),TO(NT)
COMMON/BLL/L
```

C
C

```
ERSTER AUFRUF DER STOFFWERTFUNCTIONS
IF (L.EQ.0) THEN
RHOA=RHO(2,300.)
ELA=ELAMD(2,300.)
CPA=CP(2,300.)
DNA=DEHN(2,1100.)
EMA=EMISS(2,300.)
ENDIF
```

C

C BERECHNUNG DER SCHRITTWEITE
C

```
KK=1
DO 1 K=1,NT
IF (NF(K).NE.1) GOTO 2
IF (K.EQ.NT) GOTO 2
IF (NS(K).NE.NS(K+1))GOTO 2
KK=KK+1
GOTO 1
2 IF (KK.GT.1) THEN
NS1=NS(K)
DO 3 KL=(K-KK+1),K
IF (KL.EQ.1) THEN
S=G(1)
ELSE
S=G(KL)-G(KL-1)
ENDIF
T1=TO(KL)
EL1=ELAMD(NS1,T1)
RHO1=RHO(NS1,T1)
CP1=CP(NS1,T1)
DTAU1(KL)=0.5*S**2*RHO1*CP1/EL1
3 CONTINUE
KK=1
ELSE
DTAU1(K)=1.E10
ENDIF
1 CONTINUE
DTAUM=DTAU1(1)
K1=1
DO 4 K=2,NT
IF (DTAU1(K).LT.DTAUM) THEN
DTAUM=DTAU1(K)
K1=K
ENDIF
4 CONTINUE
RETURN
END
```

C
C
C

```
SUBROUTINE
*PRINT(TAU,TZO,TO,TOO,G,NP,I1,IW,NT,L,NTAU,DG,NF,NH,
*W,WUEK,TEFL,TFLA,
*TAUW,TZW,TW,TOW,GW,DGW,WW,WUEKW,TEFLW,TFLAW,
*TP,TOP,DGP,GP,WP,WUEKP,TEFLP,NFILE,IM)
```

C
C
C
C
C
C
C
C
C

```
*****
AUSGABE DER ERRECHNETEN WERTE. WIRD ANGESPROCHEN NACH
JEDEM TAUPR, NACH REGULAEREM ENDE UND NACH IRREGULAEREM ENDE.
ZEIT IN S, TEMPERATUREN IN K, SPALTE DG IN M, RECHTER MASCHEN-
RADIUS G IN M, WAERMEUEBERGANGSZAHLEN WUEK IN W/M**2/K,
FLUIDTEMPERATUREN IN K, FLUIDAUSSSENTEMPERATUR IN K.
```

C
C

```
REAL*8 TAU,TZO,TO,TOO
```

```
C
C   DIMENSIONIERUNG DER RECHENGROESSEN
    DIMENSION TO(NT),TOO(NT),G(NT),DG(NT),NF(NT),NH(NT),
    *W(NT),WUEK(NT),TEFL(NT)
C
C   DIMENSIONIERUNG DER PRINTGROESSEN
    DIMENSION TAUP(10),TP(NT,10),TOP(NT,10),TZP(10),DGP(NT,10),
    *GP(NT,10),WP(NT,10),WUEKP(NT,10),TEFLP(NT,10),TFLAP(10)
    DIMENSION NF1(200)
    CHARACTER*80 TEXT(10)
C
C   DIMENSIONIERUNG DER GROESSEN FUER EXTERNEN DATASET
    DIMENSION TW(NT,IM),TOW(NT,IM),GW(NT,IM),WW(NT,IM),
    *DGW(NT,IM),TAUW(IM),TZW(IM),TFLAW(IM),WUEKW(NT,IM),TEFLW(NT,IM)
C
C   KOPPLUNG ZU STATI4
    CHARACTER*3 WRITEP,KTP,KGP,KDGP,KWP,KWUP,KTFP,
    *WRITEW,KTW,KGW,KDGW,KWW,KWUW,KTFW
    COMMON/BPRINT/WRITEP,KTP,KGP,KDGP,KWP,KWUP,KTFP,
    *WRITEW,KTW,KGW,KDGW,KWW,KWUW,KTFW
C
100  FORMAT(5X,'T(',I2,') ',10F10.1)
101  FORMAT(5X,'TO(',I2,') ',10F10.1)
102  FORMAT(5X,'G(',I2,') ',10E12.5)
104  FORMAT(/5X,'ZEIT ',10F10.2/)
105  FORMAT (5X,'TZENTR ',10F10.1)
106  FORMAT(5X,'SPALT(',I2,') ',10E11.4)
107  FORMAT(/20X,' GRENZRADIEN IN M'/)
108  FORMAT(/20X,' SPALTWEITEN IN M'/)
109  FORMAT (///20X,'ANZAHL DER DRUCKSCHRITTE GROESSER',I6,/
    *20X,'AENDERE DIMENSIONIERUNG IN PROGRAM S T A T I ODER',
    *' AENDERE TAUPR IN DEN DATENKARTEN'///)
110  FORMAT (///20X,'ANZAHL DER ZEILEN IW=',I5)
111  FORMAT (/20X,'WAERMEPROD. IN W/M**3'/)
112  FORMAT (5X,'WPROD(',I2,') ',10E11.4)
113  FORMAT(/20X,'WAERMEUEBERGANGSZAHLEN IN SPALTEN'/)
114  FORMAT(5X,'WUEK(',I2,') ',10E11.4)
115  FORMAT(/20X,'AEUSSERE WAERMEUEBERGANGSZAHL'/)
116  FORMAT(5X,'WUEK(NT) ',10E11.4)
117  FORMAT(/20X,'FLUIDTEMPERATUREN IN SPALTEN'/)
118  FORMAT(5X,'TEFL(',I2,') ',10F10.1)
119  FORMAT(/20X,'AEUSSERE FLUIDTEMPERATUR'/)
120  FORMAT(5X,'TFLA ',10F10.1)
C
C
C   SETZEN DER VARIABLEN FUER PRINT
    IF (WRITEP.EQ.' NO') GOTO 210
    I1=I1+1
    DO 2 K=1,NT
    IF (I1.EQ.1) THEN
    IF (NF(K).EQ.4) THEN
    NF1(K)=4
    ELSE
    NF1(K)=2
    ENDIF
    ENDIF
```

```
2 CONTINUE
  TAUP(I1)=TAU
  TZP(I1)=TZO
  TFLAP(I1)=TFLA
  DO 10 K=1,NT
    TP(K,I1)=TO(K)
    TOP(K,I1)=TOO(K)
    DGP(K,I1)=DG(K)
    GP(K,I1)=G(K)
    WP(K,I1)=W(K)
    WUEKP(K,I1)=WUEK(K)
    TEFLP(K,I1)=TEFL(K)
    IF (K.NE.NT) THEN
      IF (NF(K).NE.4.AND.NF(K+1).NE.4) THEN
        WUEKP(K,I1)=0.
        TEFLP(K,I1)=0.
      ENDIF
    ENDIF
10 CONTINUE
210 NP=NP+1
C
C
C  SETZEN DER VARIABLEN FUER EXTERNEN DATENSATZ
  IF (WRITEW.EQ.' NO') GOTO 60
  IW=IW+1
  TAUW(IW)=TAU
  TZW(IW)=TZO
  TFLAW(IW)=TFLA
  DO 5 K=1,NT
    TW(K,IW)=TO(K)
    TOW(K,IW)=TOO(K)
    GW(K,IW)=G(K)
    DGW(K,IW)=DG(K)
    WW(K,IW)=W(K)
    WUEKW(K,IW)=WUEK(K)
    TEFLW(K,IW)=TEFL(K)
5 CONTINUE
C
C
  IF (IW.EQ.IM) THEN
    WRITE (*,109) IM
    L=NTAU
    GOTO 20
  ENDIF
60 IF (L.EQ.0) RETURN
  IF (L.EQ.NTAU) GOTO 20
  IF (I1.EQ.10) GOTO 20
  RETURN
C
C  DRUCKEN
20 IF(WRITEP.EQ.' NO') GOTO 230
  WRITE (*,104) (TAUP(I),I=1,I1)
  IF (KTP.EQ.' Y') THEN
    WRITE (*,105) (TZP(I),I=1,I1)
    DO 30 IP=1,NT
      WRITE (*,100) IP,(TP(IP,IZ),IZ=1,I1)
```

```
WRITE (*,101) IP,(TOP(IP,IZ),IZ=1,I1)
30 CONTINUE
ENDIF
IF (KGP.EQ.' Y') THEN
WRITE (*,107)
DO 40 IP=1,NT
WRITE (*,102) IP,(GP(IP,IZ),IZ=1,I1)
40 CONTINUE
ENDIF
IF (KDGP.EQ.' Y') THEN
WRITE (*,108)
DO 50 IP=1,NT
IF (NF(IP).EQ.2.OR.NF(IP).EQ.4) WRITE (*,106) IP,
1(DGP(IP,IZ),IZ=1,I1)
50 CONTINUE
ENDIF
IF (KWP.EQ.' Y') THEN
WRITE (*,111)
DO 80 IP=1,NT
80 IF (NH(IP).NE.0) WRITE (*,112) IP,(WP(IP,IZ),IZ=1,I1)
ENDIF
IF (KWUP.EQ.' Y') THEN
WRITE (*,113)
DO 90 IP=1,NT-1
IF(NF1(IP).EQ.4) THEN
IF (IP.EQ.1) THEN
WRITE (*,114) IP,(WUEKP(IP,IZ),IZ=1,I1)
ELSE
WRITE (*,114) IP-1,(WUEKP(IP-1,IZ),IZ=1,I1)
WRITE (*,114) IP,(WUEKP(IP,IZ),IZ=1,I1)
ENDIF
ENDIF
90 CONTINUE
ENDIF
WRITE (*,115)
WRITE (*,116) (WUEKP(NT,IZ),IZ=1,I1)
IF (KTFP.EQ.' Y')THEN
WRITE (*,117)
DO 200 IP=1,NT-1
200 IF (NF1(IP).EQ.4) WRITE (*,118) IP,(TEFLP(IP,IZ),IZ=1,I1)
ENDIF
WRITE (*,119)
WRITE (*,120) (TFLAP(IZ),IZ=1,I1)
TEXT(1)='===== '
WRITE (*,'(A80,///)') TEXT(1)
C
I1=0
230 IF (L.EQ.NTAU) GOTO 70
RETURN
C
70 IF (WRITEW.EQ.' NO') RETURN
WRITE (*,110) IW
C
C
AUSGABE AUF EXTERNEN DATASET UEBER FILE NR. NFILE
WRITE (NFILE) IW,NT
WRITE (NFILE) (TAUW(LW),LW=1,IW)
```

```
IF (KTW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) (TZW(LW), (TW(K, LW), TOW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
IF (KGW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) ((GW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
IF (KDGW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) ((DGW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
IF (KWW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) ((WW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
IF (KWUW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) ((WUEKW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
IF (KTFW.EQ.' Y')
*WRITE (NFILE) (TFLAW(LW), (TEFLW(K, LW), K=1, NT), LW=1, IW)
RETURN
END
```

C
C

```
DOUBLE PRECISION FUNCTION TN1(G,R,TZ,T,TO,DTAU,W,NS,K,NT)
*****
```

C
C
C
C
C
C

```
BESTIMMUNG DER AENDERUNG DER MASCHENMITTENTEMPERATUR
FUER TAU + DTAU.
```

C
C

```
REAL*8 TZ,T,TO,DTAU,T1,T2,T3,DQS,Z2K
```

C
C

```
COMMON/BLL/L
```

C

```
DIMENSION G(NT),R(NT),T(NT),TO(NT),NS(NT),W(NT)
```

C
C

```
DATA PI/3.14159/
```

C

```
NS1=NS(K)
T2=T(K)
T3=TO(K)
RHOM=RHO(NS1,T2)
W1=W(K)
```

C

```
IF (K.EQ.1) THEN
T1=TZ
TM1=(T1+T2)/2.
TM2=(T2+T3)/2.
ELAMD2=ELAMD(NS1, TM2)
G1=0.
G2=R(1)
G3=G(1)
BK=ALOG(G3/G2)
DQS=2.*PI*(W1/4.*(G3**2-G2**2)-ELAMD2*(T2-T3))/BK
```

C

```
ELSE
T1=TO(K-1)
G1=G(K-1)
G2=R(K)
G3=G(K)
TM1=(T1+T2)/2.
```

```

      TM2=(T2+T3)/2.
      ELAMD1=ELAMD(NS1, TM1)
      ELAMD2=ELAMD(NS1, TM2)
      AK=ALOG(G2/G1)
      BK=ALOG(G3/G2)
      AQ1=W1/4. * ((G3**2 - G2**2)/BK - (G2**2 - G1**2)/AK)
      AQ2=ELAMD1/AK * (T1 - T2)
      AQ3=ELAMD2/BK * (T2 - T3)
      DQS=2. * PI * (AQ1 + AQ2 - AQ3)
      ENDIF
C
      C1=CP(NS1, TM1)
      C2=CP(NS1, TM2)
      CG=(G2**2 - G1**2)/(G3**2 - G1**2)
      CM=CG * (C1 - C2) + C2
C
      Z2K=PI * CM * RHOM * (G3**2 - G1**2)
C
      TN1=T2 + DQS / Z2K * DTAU
      RETURN
      END
C
C
      DOUBLE PRECISION FUNCTION TZ1(R, W, TZ, TO, NS, K, NT)
      *****
C
C
      BESTIMMUNG DER ZENTRALTEMPERATUR BEI
      MASCHE 1 GLEICH FESTSTOFFMASCHE
C
C
      REAL*8 TZ, TO
C
C
      DIMENSION R(NT), TO(NT), NS(NT), W(NT)
C
      NS1=NS(K)
      W1=W(K)
      T1=(TZ+TO(1))/2.
      ELAMD1=ELAMD(NS1, T1)
      TZ1=W1 * R(1)**2 / (4. * ELAMD1) + TO(1)
      RETURN
      END
C
C
      SUBROUTINE TZGAS(G, R, W, TO, TO, TO0, TZ0, NS, NT)
      *****
C
C
      BERECHNET DIE TEMPERATUREN AN EINER GASGEFUELLTEN
      ZENTRALMASCHE
C
C
      REAL*8 TO, TO0, TO, TZ0
C
C
      DIMENSION G(NT), R(NT), TO(NT), TO(NT), TO0(NT), NS(NT), W(NT)
C
```

```
NS1=NS(2)
W1=W(2)
T1=(TO(1)+TO(2))/2.
ELAMD1=ELAMD(NS1,T1)
A1=ALOG(R(2)/G(1))
A2=W1/4.*((R(2)**2-G(1)**2)/A1-2.*G(1)**2)
TOO(1)=TO(2)+A2*A1/ELAMD1
TO(1)=TOO(1)
TZ0=TOO(1)
RETURN
END
```

C
C

```
DOUBLE PRECISION FUNCTION TONT(G,R,W,TO,TO,NS,NT,TFLA,WUEK)
*****
```

C
C
C
C
C
C

```
BESTIMMUNG DER OBERFLAECHEMTEMPERATUR DER RECHTEN
RANDMASCHE (K=NT).
```

C
C
C

```
REAL*8 TO,TO
```

C
C
C
C

```
DIMENSION G(NT),R(NT),TO(NT),NS(NT),TO(NT),W(NT),WUEK(NT)
```

```
NS1=NS(NT)
T1=(TO(NT)+TO(NT))/2.
A1=ALOG(G(NT)/R(NT))
ELAMD1=ELAMD(NS1,T1)
ALPHA=WUEK(NT)
A2=ELAMD1/(A1*G(NT))
W1=W(NT)
A3=W1*G(NT)/2.-W1*(G(NT)**2-R(NT)**2)/(4.*A1*G(NT))
TONT=(A3+A2*TO(NT)+ALPHA*TFLA)/(ALPHA+A2)
RETURN
END
```

C
C
C
C

```
SUBROUTINE TOGA(G,R,W,TO,TO,TOO,NS,K,NT,*)
*****
```

C
C
C
C

```
BERECHNET DIE OBERFLAECHEMTEMPERATUREN AN EINEM GASSPALT
```

```
100 FORMAT (//,20X,'KEINE NULLSTELLE ERREICHT IN TOGA.',
1/20X,'GASSPALT, K=',I3,/,
220X,'UEBERPRUEFE EINGABE; FALLS DIESE O.K.',/,
320X,'AENDERE PARAMETER VON NULLW (PRUEFE INSBES. EPS).')
101 FORMAT (//,20X,'KORR AKTIV IN TOGA. GASSPALT K=',I3,/,
120X,'ANZAHL DER ITERATIONEN KN=',I3,/,
220X,'PRUEFE EPSA; EVENTUELL DTAU ZU GROSS.')
102 FORMAT (/5X,'B3=',E13.6,2X,'B4=',E13.6,2X,'B5=',E13.6,/,
*5X,'B9=',E13.6,2X,'B10=',E13.6,2X,'B11=',E13.6,
*2X,'TBO=',E13.6,2X,'ARGA=',E13.6)
103 FORMAT (///,20X,'DIE MASCHE K=',I3,' IST ZU GROSS. ENGERE',
```



```
IF (ABS((TO(K-2)-TO(K-1))/TO(K-1)).LT.5.E-3) EPSA=1.E-4*ARGA
EPSB=1.E-3
IN=0
DXA=1.E-2
CALL NULLW(TM,IN,ARGA,ARGE,EPSA,EPSB,DXA,ZBEST,KX,KN,FUGA)
KC=K-1
IF (NZ1.LE.9) THEN
IF (KN.GT.0) THEN
WRITE (*,101) KC,KN
NZ1=NZ1+1
IF (NZ1.EQ.10) WRITE (*,104)
ENDIF
ENDIF
IF (KX.EQ.1) GOTO 20
TOO(K-1)=ARGE
TOO(K-2)=X1
TO(K-1)=(ARGE+X1)/2.
DT1=TOO(K-1)-TO(K)
IF (W2.NE.0.AND.DT1.GT.1.AND.TO(K-1).LT.TOO(K-1)) GOTO 30
RETURN
20 WRITE (*,100) KC
WRITE (*,102) B3,B4,B5,B9,B10,B11,TB0,TO(K-1)
RETURN1
30 WRITE (*,103) K,DT1
RETURN1
END
```

C

C

DOUBLE PRECISION FUNCTION FUGA(X)

C

C

C

C

IMPLIZITES GLEICHUNGSSYSTEM ZU TOGA. LOESUNG MIT

C

SUBROUTINE NULLW.

C

REAL*8 X1,X,B3,B4,B5,B9,B10,B11,TB0

COMMON/BLNUF/B3,B4,B5,B9,B10,B11,TB0,X1

C

X1=(B5-B4*X)/B3

FUGA=B9*(X1-X)+B10*(X1**4-X**4)-B11+TB0-X

RETURN

END

C

C

SUBROUTINE TOSTRA(K,G,R,W,TO,TO,TOO,NS,NT,*)

C

C

C

C

BERECHNET DIE OBERFLAECHENTEMPERATUREN BEI EINEM

STRAHLENSCHIRM.

C

```
100 FORMAT (//,20X,'KEINE NULLSTELLE ERREICHT IN TOSTRA',/,
120X,'STRAHLENSCHIRM, K=',I3,/,
220X,'UEBERPRUEFE EINGABE. FALLS DIESE O.K.,'/,
320X,'AENDERE PARAMETER FUER NULLW (PRUEFE INSBES. EPSA).')
101 FORMAT (///20X,'KORR AKTIV IN TOSTRA, STRAHLENSCHIRM K=',I3,/,
120X,'PRUEFE EINGABE UND EPSA; EVTL. DTAU ZU GROSS.',/,
220X,'ANZAHL DER ITERATIONEN KN=',I3)
```

102 FORMAT (////20X,'10 AUFRUFE VON KORR IN TOSTRA ERFOLGT. PRUEFE',
*' INPUT.',/20X,'FALLS O.K., PRUEFE ERGEBNISSE SORGFALTIG.'/,
*20X,'FALLS ERGEBNISSE SCHLECHT, AENDERE DTAU, SETZE "SCHR=FIX".'/,
*20X,'VON NUN AN ERFOLGT DIESE WARNUNG NICHT MEHR.')

C

REAL*8 TO,TO,TOO

C

REAL*8 T1,T2,A1,A2,B1,B2,C1,C2,D1,D2,Z1,Z2,FA1,FA2,FA3,FA4,
*E1,E2,E3,FB1,FB2,F1,F2,F3,
*X1,X2,ARGA,ARGE,ZBEST,FUSTRA

C

DIMENSION G(NT),R(NT),TO(NT),TO(NT),TOO(NT),NS(NT),W(NT)
DIMENSION TS(200)

C

C

COMMON/BLNUZ/X1,X2,Z1,Z2,E3,FA1,FA2,FA3,FA4,FB1,FB2
COMMON/FEHLER/NZ1,NZ2,NZ3

C

C

EXTERNAL FUSTRA

C

DATA CS/5.775E-8/

T1=TO(K-4)

T2=TO(K)

NS1=NS(K-4)

NS2=NS(K-3)

NS3=NS(K-1)

NS4=NS(K)

TS(K-4)=(TO(K-4)+TO(K-4))/2.

TS(K-3)=(TO(K-4)+TO(K-3))/2.

TS(K-1)=(TO(K-2)+TO(K-1))/2.

TS(K)=(TO(K-1)+TO(K))/2.

ELAMD1=ELAMD(NS1,TS(K-4))

ELAMD2=ELAMD(NS2,TS(K-3))

ELAMD3=ELAMD(NS3,TS(K-1))

ELAMD4=ELAMD(NS4,TS(K))

W1=W(K-4)

W2=W(K)

EPS1=EMISS(NS1,TO(K-4))

EPS2=EMISS(NS(K-2),TO(K-3))

EPS3=EPS2

EPS4=EMISS(NS4,TO(K-1))

EPS121=1./(1./EPS1+G(K-4)/G(K-3)*(1./EPS2-1.))

EPS122=1./(1./EPS3+G(K-2)/G(K-1)*(1./EPS4-1.))

AL1=ALOG(G(K-4)/R(K-4))

AL2=ALOG(G(K-3)/G(K-4))

AL3=ALOG(G(K-1)/G(K-2))

AL4=ALOG(R(K)/G(K-1))

A1=W1/2.*(G(K-4)**2-(G(K-4)**2-R(K-4)**2)/(2.*AL1))

A2=ELAMD1/AL1

B1=W2/2.*(G(K-1)**2-(R(K)**2-G(K-1)**2)/(2.*AL4))

B2=ELAMD4/AL4

C1=G(K-4)*CS*EPS121

C2=ELAMD2/AL2

D1=G(K-2)*CS*EPS122

D2=ELAMD3/AL3

```
Z1=1./A2*(A1-B1+B2*T2)+T1
Z2=B2/A2
E1=(B1-B2*T2)/C1
E2=B2/C1
E3=C2/C1
F1=(B1-B2*T2)/D1
F2=B2/D1
F3=D2/D1
FA1=F3-E3
FA2=(F1+E1)/FA1
FA3=(F2+F3+E2)/FA1
FA4=E3/FA1
FB1=E1/E3
FB2=E2/E3
ARGA=TO(K-1)
EPSA=1.E-6*ARGA
EPSB=1.E-3
TM=0.01
DXA=1.E-2
IN=0
CALL NULLW(TM,IN,ARGA,ARGE,EPSA,EPSB,DXA,ZBEST,KX,KN,FUSTRA)
KC=K-2
IF (NZ2.LE.9) THEN
IF (KN.GT.0) THEN
WRITE (*,101) KC,KN
NZ2=NZ2+1
IF (NZ2.EQ.10) WRITE(*,102)
ENDIF
ENDIF
IF (KX.EQ.1) GOTO 20
TOO(K-1)=ARGE
TOO(K-4)=X1
TOO(K-3)=X2
TOO(K-2)=X2
TO(K-2)=X2
TO(K-3)=(X1+X2)/2.
TO(K-1)=(ARGE+X2)/2.
RETURN
20 WRITE (*,100) KC
RETURN1
END
```

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C

```
DOUBLE PRECISION FUNCTION FUSTRA(X)
*****
IMPLIZITES GLEICHUNGSSYSTEM FUER TOSTRA. LOESUNG MIT
SUBROUTINE NULLW.
REAL*8 X1,X2,X,Z1,Z2,E3,FA1,FA2,FA3,FA4,FB1,FB2
COMMON/BLNUZ/X1,X2,Z1,Z2,E3,FA1,FA2,FA3,FA4,FB1,FB2
X1=Z1-Z2*X
X2=(X**4-X1**4)/FA1+FA2+FA3*X-FA4*X1
FUSTRA=(X1**4-X2**4)/E3-FB1-FB2*X+X1-X2
```

```
RETURN
END
C
C
SUBROUTINE TOWUE(K,G,R,W,WUEK,TEFL,TO,TO,TOO,NS,NT,*)
*****
C
C
C   BERECHNET DIE OBERFLAECHENTEMPERATUREN AN EINER MASCHE
C   MIT KONVEKTIVEM WAERMEAUSTRAG. HIERZU FUNCTION
C   WUEK(K,TAU,G,TOO,NT,LAUF) UND FUNCTION TEFL(K,TAU,G,TOO,NT,LAUF).
C
100  FORMAT (//,20X,'KEINE NULLSTELLE ERREICHT IN TOWUE',
1/20X,'SPALT MIT KONVEKTION, K=',I3,/,
220X,'UEBERPRUEFE EINGABE. FALLS DIESE O.K.',/,
320X,'AENDERE PARAMETER VON NULLW (PRUEFE INSBES. EPSA).')
101  FORMAT (//20X,'KORR AKTIV IN TOWUE. SPALT K=',I3,/,
120X,'ANZAHL DER ITERATIONEN KN=',I3,/,
220X,'PRUEFE EPSA; EVENTUELL DTAU ZU GROSS.')
```

```
102  FORMAT(5X,'TA0=',E13.6,5X,'BK7=',E13.6,5X,'BK8=',E13.6,5X,'BK9=',
1E13.6,/5X,'BK13=',E13.6,5X,'BK14=',E13.6,5X,
2/5X,'X1=',E13.6,5X,'ARGA=',E13.6)
103  FORMAT (///20X,'DIE MASCHE K=',I3,' IST ZU GROSS. ENGERE',
1' MASCHENTEILUNG WAEHLLEN.'/,20X,'DT1=TOO(K-1)-TO(K)=' ,E13.6,
2' DT1-ZUGELASSEN=1.0 K. IRREGULAERER ABBRUCH.')
```

```
104  FORMAT (///20X,'10 AUFRUFE VON KORR IN TOWUE ERFOLGT. PRUEFE',
*' INPUT.'/,20X,'FALLS O.K., PRUEFE ERGEBNISSE SORGFAELTIG.'/,
*20X,'FALLS ERGEBNISSE SCHLECHT,AENDERE DTAU, SETZE "SCHR=FIX".'/,
*20X,'VON NUN AN ERFOLGT DIESE WARNUNG NICHT MEHR.')
```

```
C
C
REAL*8 TO,TO,TOO, FUTO
REAL*8 TA0,TB0,TEFL1,BK1,BK2,BK3,BK4,BK5,BK6,BK7,BK8,BK9,
*BK10,BK11,BK12,BK13,BK14,WK1,WK2,WK3,ARGA,ARGE,ZBEST,X1
C
C
DIMENSION G(NT),R(NT),TO(NT),TO(NT),TOO(NT),NS(NT),W(NT)
DIMENSION TS(200),WUEK(NT),TEFL(NT)
C
COMMON/BLTOW/X1,BK7,BK8,BK9,BK13,BK14
COMMON/FEHLER/NZ1,NZ2,NZ3
C
C
DATA CS/5.775E-8/
C
EXTERNAL FUTO
C
TAO=TO(K-2)
TB0=TO(K)
E=ALOG(G(K-2)/R(K-2))
A=ALOG(R(K)/G(K-1))
NS1=NS(K-2)
NS2=NS(K)
EPS1=EMISS(NS1,TO(K-2))
EPS2=EMISS(NS2,TO(K-1))
EPS12=1./(1./EPS1+G(K-2)/G(K-1))*(1./EPS2-1.)
W1=W(K-2)
```

```
W2=W(K)
TS(K-2)=(TO(K-2)+TO(K-2))/2.
TS(K)=(TO(K-1)+TO(K))/2.
ELAMD1=ELAMD(NS1,TS(K-2))
ELAMD2=ELAMD(NS2,TS(K))
WUEK1=WUEK(K-2)
WUEK2=WUEK(K-1)
TEFL1=TEFL(K-1)
TO(K-1)=TEFL1
WK1=W1/2.*(G(K-2)**2-(G(K-2)**2-R(K-2)**2)/2./E)
WK2=W2/2.*(G(K-1)**2-(R(K)**2-G(K-1)**2)/2./A)
WK3=WK1-WK2
BK1=ELAMD1/E
BK2=ELAMD2/A
BK3=BK1*TAO+BK2*TBO
BK4=WUEK1*G(K-2)
BK5=WUEK2*G(K-1)
BK6=(BK4+BK5)*TEFL1
BK7=WK3+BK3+BK6
BK8=BK4+BK1
BK9=BK5+BK2
BK10=WK1+BK1*TAO+BK4*TEFL1
BK11=CS*EPS12*G(K-2)
BK12=BK1+BK4
BK13=BK10/BK12
BK14=BK11/BK12
ARGA=TO(K-1)
EPSA=1.E-6*ARGA
IF (ARGA.GT.1300.) EPSA=1.E-7*ARGA
EPSB=1.E-3
TM=0.05
DXA=1.E-2
IN=0
CALL NULLW(TM,IN,ARGA,ARGE,EPSA,EPSB,DXA,ZBEST,KX,KN,FUTO)
KC=K-1
IF (NZ3.LE.9) THEN
IF (KN.GT.0) THEN
WRITE (*,101) KC,KN
NZ3=NZ3+1
IF (NZ3.EQ.10) WRITE(*,104)
ENDIF
ENDIF
IF (KX.EQ.1) GOTO 20
TOO(K-1)=ARGE
TOO(K-2)=X1
DT1=TOO(K-1)-TO(K)
IF (W2.NE.0.AND.DT1.GT.1.AND.TO(K-1).LT.TOO(K-1)) GOTO 30
RETURN
20 WRITE (*,100)KC
WRITE (*,102) TAO,BK7,BK8,BK9,BK13,BK14,X1,ARGA
RETURN1
30 WRITE (*,103) K,DT1
RETURN1
END
```

C
C

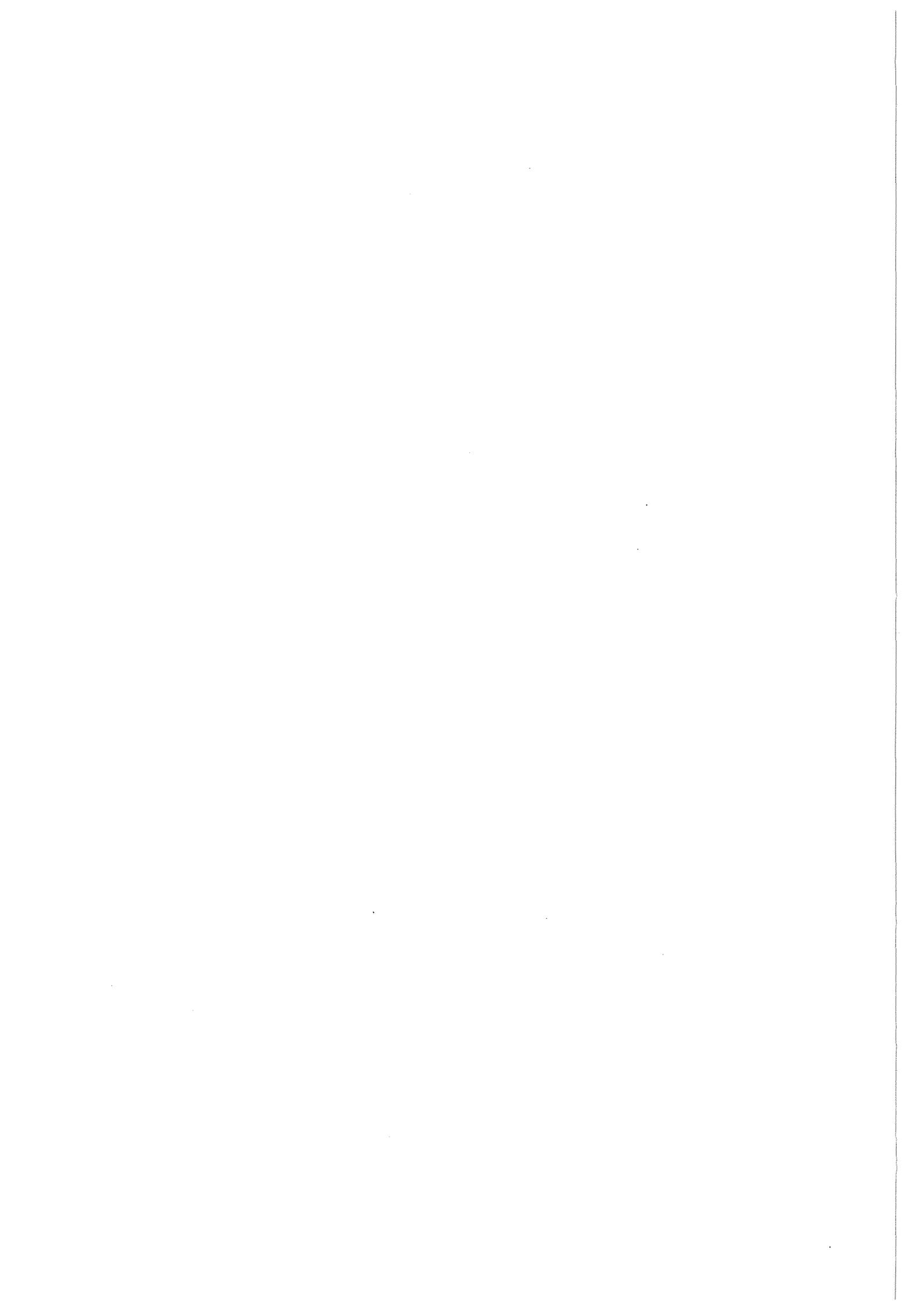
```
DOUBLE PRECISION FUNCTION FUTO(X)
*****
C
C
C   IMPLIZITES GLEICHUNGSSYSTEM FUER TOWUE. LOESUNG MIT
C   SUBROUTINE NULLW.
C
REAL*8 X1,X,BK7,BK8,BK9,BK13,BK14
COMMON/BLTOW/X1,BK7,BK8,BK9,BK13,BK14
C
X1=(BK7-BK9*X)/BK8
FUTO=BK13-BK14*(X1**4-X**4)-X1
RETURN
END
C
C
C   SUBROUTINE TOM(G,R,W,TO,TO,TOO,NS,K,NT,*)
*****
C
C   BERECHNET DIE LINKE OBERFLAECHENTEMPERATUR ZWISCHEN
C   ZWEI FESTSTOFFMASCHEN ZUM ZEITPUNKT TAU + DTAU.
C
103  FORMAT (///20X,'DIE MASCHE K=',I3,' IST ZU GROSS. ENGERE',
1' MASCHENTEILUNG WAEHLEN. '/,20X,'DT1=TOO(K-1)-TO(K)=' ,E13.6,
2' DT1-ZUGELASSEN=1.0 K. IRREGULAERER ABBRUCH.'//)
C
C
REAL*8 TO,TO,TOO
C
DIMENSION G(NT),R(NT),TO(NT),TO(NT),NS(NT),TOO(NT),W(NT)
DIMENSION T1(200)
C
NS1=NS(K-1)
NS2=NS(K)
W1=W(K-1)
W2=W(K)
T1(K-1)=(TO(K-1)+TO(K-1))/2.
T1(K)=(TO(K-1)+TO(K))/2.
ELAMD1=ELAMD(NS1,T1(K-1))
ELAMD2=ELAMD(NS2,T1(K))
A1=ALOG(G(K-1)/R(K-1))
A2=ALOG(R(K)/G(K-1))
A3=G(K-1)**2/2.*(W2-W1)+W1*(G(K-1)**2-R(K-1)**2)/(4.*A1)
1-W2*(R(K)**2-G(K-1)**2)/(4.*A2)
A4=ELAMD1*TO(K-1)/A1+ELAMD2*TO(K)/A2-A3
TOO(K-1)=A4/(ELAMD1/A1+ELAMD2/A2)
DT1=TOO(K-1)-TO(K)
IF (W2.NE.0.AND.DT1.GT.1.AND.TO(K-1).LT.TOO(K-1)) GOTO 30
RETURN
30  WRITE (*,103) K,DT1
RETURN1
END
C
C
C   SUBROUTINE TOROHR(K,NS,TO,TOO,TO,TZO,R,G,
*W,WUEK,TEFL,NT)
*****
C
C
```

```
C      BERECHNET DIE INNERE OBERFLAECHEMTEMPERATUR BEI EINEM
C      ROHR MIT KONVEKTION (ZENTRALMASCHE KONVEKTION).
C
C      REAL*8 TO,TOO,TO,TZO
C
C      DIMENSION NS(NT),TO(NT),TOO(NT),TO(NT),R(NT),G(NT),W(NT),
C      *WUEK(NT),TEFL(NT)
C
C      NS1=NS(K)
C      T1=(TO(K-1)+TO(K))/2.
C      ELAMD1=ELAMD(NS1,T1)
C      W1=W(K)
C      A1=ALOG(R(K)/G(K-1))
C      A2=W1/2.*(G(K-1)**2-0.5/A1*(R(K)**2-G(K-1)**2))
C      WUEK1=WUEK(K-1)
C      TFL=TEFL(K-1)
C      TOO(K-1)=(WUEK1*TFL*G(K-1)+ELAMD1/A1*TO(K)-A2)/(ELAMD1/A1
C      1+WUEK1*G(K-1))
C      TO(K-1)=TFL
C      TZO=TFL
C      RETURN
C      END
C
C
C      SUBROUTINE GEOMET(GO,G,DG,RO,R,T,NS,NF,NDEHN,NT,*)
C
C      BERECHNET DIE AKTUELLE GEOMETRIE IN ABHAENIGKEIT
C      VON DER ERREICHTEN TEMPERATUR UND DEM STOFF.
C
C
C      REAL*8 T
C
C      DIMENSION GO(NT),G(NT),RO(NT),R(NT),T(NT),
C      1NS(NT),NF(NT),NDEHN(NT),DG(NT)
C
C      COMMON/FEHLER/NZ1,NZ2,NZ3,NZ4(100)
C
C      100  FORMAT(///20X,'NDEHN IN MASCHE K=',I3,' MUSS 1 GESETZT WERDEN.')
```

```
101  FORMAT(///20X,'GASSPALT ODER SPALT MIT KONVEKTION GESCHLOSSEN. '//,
120X,'ABSTAND KLEINER 1.MYM. MASCHE K=',I3,/20X,
* 'DER SPALT WIRD VON NUN AN FUER DIE RECHNUNG AUF 1.MYM GESETZT.')
```

```
C
C      TK=0.
C      KK=1
C      DO 1 K=1,NT
C      G(K)=GO(K)
C      R(K)=RO(K)
C      DG(K)=0.
C      IF (NDEHN(K).NE.1) GOTO 1
C      IF (NF(K).EQ.2.OR.NF(K).EQ.4) GOTO 1
C      IF (K.EQ.NT) GOTO 3
C      IF (NS(K).NE.NS(K+1)) GOTO 3
C      KK=KK+1
C      IF (NDEHN(K+1).NE.1) GOTO 4
C      GOTO 1
```

```
3  NS1=NS(K)
   DO 5  KL=1, KK
5  TK=TK+T(K+1-KL)
   TK=TK/KK
   D1=DEHN(NS1, TK)
   DO 6  KL=1, KK
   G(K+1-KL)=G0(K+1-KL)*(1.+D1)
6  R(K+1-KL)=R0(K+1-KL)*(1.+D1)
   IF ((K-KK).EQ.0) GOTO 8
   NF1=NF(K-KK)
   IF (NF1.NE.2.AND.NF1.NE.4) GOTO 8
   G(K-KK)=G0(K-KK)*(1.+D1)
   IF ((K-KK).EQ.1) GOTO 7
   R(K-KK)=(G(K-KK)+G(K-KK-1))/2.
   GOTO 8
7  R(1)=G(1)/2.
8  KK=1
   TK=0.
   GOTO 1
4  WRITE (*,100) K+1
   RETURN1
1  CONTINUE
   DO 10 K=1, NT
   IF (NF(K).NE.2.AND.NF(K).NE.4) GOTO 10
   IF (K.EQ.1) GOTO 11
   DG(K)=G(K)-G(K-1)
   GOTO 12
11 DG(1)=G(1)
12 IF (DG(K).GE.1.E-6) GOTO 10
   IF (NZ4(K).EQ.0) WRITE (*,101) K
   G(K-1)=G(K)-1.E-6
   NZ4(K)=1
10 CONTINUE
   RETURN
   END
```



Anhang 3

Datenkarteninput -

Beispiel für einen Stationärlauf mit nachfolgender
Transiente.

STATIONAERRECHNUNG FUER BSS05-221.2, 30 MASCHEN

30 V S 50

0.2 200. 20. 200. 20.

SPE

Y NO Y Y Y Y

NO

1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 4 1 2 1 4 1 1 1

2 3 2 1 1 1 NF

0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 0 1

0

NDEHN

6 6 6 3 13 6 6 6 3 13 3 7 7 7 3 2 5 4 5 4 5 4 4 4

3 4 3 4 4 4 NS

0 0 0 0 1 0 0 0 0 1

0

NH

.4993E-3 .9986E-3 2*0.1498E-2 .175E-2 0.1967E-2 0.2184E-2

2*0.24E-2 .3E-2 0.305E-2 0.3567E-2 0.4084E-2 0.46E-2

0.465E-2 0.5375E-2 0.9E-2 1.0E-2 1.185E-2 1.345E-2

1.95E-2 2.2E-2 2.45E-2 2.7E-2 3.03E-2 3.03E-2

3.225E-2 3.4167E-2 3.6084E-2 3.8E-2 GO(K)

817. TZO

4*817. 815.4 799.6 785.5

772.6 2*766.7 732.4 721.6 712.4 704.5

676. 669.5 573.8 573.8 588.6 588.6

557.5 555.9 554.4 553. 427.7 427.7

336. 335. 334. 333. TOO(K)

TRANSIENTENRECHNUNG FUER BSS05-221.2, 30 MASCHEN

30 V T 50

0.2 80. 0.5 80. 05

SPE

Y NO Y Y Y Y

SPE

Y NO NO NO NO NO

Anhang 4

Anwenderroutinen Beispiel

```

SUBROUTINE WUE(TAU,G,TO,NF,NS,NT,WUEK,TEFL,LAUF,*)
*****
C
C
C   DIESE SUBROUTINE WIRD PRO ZEITSCHRITT EINMAL AUFGERUFEN.
C   VORGABE DER WAERMEUEBERGANGSZAHLEN WUEK IN W/M**2/K
C   UND DER FLUIDTEMPERATUREN TEFL IN K FUER SPALTE MIT
C   KONVEKTION. WUEK(NT) IST DIE AEUSSERE WAERMEUEBERGANGS-
C   ZAHL UND MUSS IN JEDEM FALL GESETZT WERDEN. DIE AEUSSERE
C   FLUIDTEMPERATUR TFLA WIRD IN FUNCTION TFL GESETZT. ES IST
C   ZU BEACHTEN, DASS JEDER SPALT K ZWEI WAERMEUEBERGANGSZAHLEN
C   (WUEK(K) UND WUEK(K-1) ) BENOETIGT.
C   MIT DEM FELD TO WERDEN DIE OBERFLAECHENTEMPERATUREN AN DEN
C   SPALTEN UEBERTRAGEN.
C
C
C
C
C   REAL*8 TAU,TO
C   DIMENSION G(NT),TO(NT),WUEK(NT),TEFL(NT),NF(NT),NS(NT)
C   CHARACTER*3 LAUF
C
C
C   DO 10 K=1,NT
C   WUEK(K)=0.
10  TEFL(K)=0.
C
C
C   BEGINN ANWENDERPROGRAMM
C   *****
C
C   AEUSSERE WAERMEUEBERGANGSZAHL
C   WUEK(NT)=500.
C
C   GROESSEN FUER STATIONAERLAUF
C   IF (LAUF.EQ.' S') THEN
C   WUEK(16)=1300.
C   WUEK(17)=1200.
C   WUEK(20)=370.
C   WUEK(21)=350.
C   TEFL(17)=571.
C   TEFL(21)=593.
C   RETURN
C   ENDIF
C
C   FORTSETZUNG DER STATIONAEREN RANDBEDINGUNGEN FUER 1 S
C   TRANSIENTENLAUF.
C   IF (TAU.LE.1.) THEN
C   TEFL(17)=571.
C   TEFL(21)=593.
C   WUEK(16)=1300.
C   WUEK(17)=1200.
C   WUEK(20)=370.
C   WUEK(21)=350.
C   RETURN
C   ENDIF
C
C   PROGRAMMIERUNG DER FLUIDTEMPERATUREN TRANSIENT
```

```
TEFL(21)=593.
TAU1=TAU-1.
  IF (TAU1.LT.2.) THEN
    TEFL(17)=571.-10.*TAU1
  ELSE
    TAU2=TAU-3.
    TEFL(17)=551.+10.*TAU2
  ENDIF
C
C PROGRAMMIERUNG DER WUE-ZAHLEN
C PROGRAMMIERUNG FUER TAU<6 S.
  IF (TAU.LT.6.) THEN
    TAU1=TAU-1.
C
C PROGRAMMIERUNG FUER MASCHEN 16 UND 17
  IF (TAU1.LT.0.25) THEN
    A1=-2.04+2.44*TAU1
    WUEK(16)=1.E4*EXP(A1)
    WUEK(17)=WUEK(16)
  ELSE
    A1=1.439+0.2096*TAU1+7.648E-2*TAU1**2
    WUEK(16)=1.E4*EXP(-A1)
    WUEK(17)=WUEK(16)
  ENDIF
C
C PROGRAMMIERUNG FUER MASCHEN 20 UND 21
  IF (TAU1.LT.0.5) THEN
    A1=-3.219+0.322*TAU1
    WUEK(20)=1.E4*EXP(A1)
    WUEK(21)=WUEK(20)
  ELSE
    A1=3.078+0.1788*TAU1+8.7E-2*TAU1**2
    WUEK(20)=1.E4*EXP(-A1)
    WUEK(21)=WUEK(20)
  ENDIF
C
C PROGRAMMIERUNG FUER TAU>6 S.
  ELSE
    WUEK(16)=75.
    WUEK(17)=75.
    WUEK(20)=30.
    WUEK(21)=30.
  ENDIF
RETURN
END
```

```
C
C
FUNCTION TFL(TAU,LAUF)
*****
C
C   AEUSSERE FLUIDTEMPERATUR IN K.
C
CHARACTER*3 LAUF
REAL*8 TAU
C
TFL=317.
RETURN
END
C
C
C
SUBROUTINE SCHALT(NF,NS,TAU,NT,LAUF)
*****
C
C   UMSCHALTEN DER KUEHLBEDINGUNGEN VON KONVEKTION AUF STRAHLUNG
C   UND LEITUNG
C
REAL*8 TAU
DIMENSION NF(NT),NS(NT)
CHARACTER*3 LAUF
C
C   WAEHREND STATIONAERLAUF KEINE UMSCHALTUNG
C   IF (LAUF.EQ.' S') RETURN
C
C   UMSCHALTEN BEI TRANSIENTE NACH 7. S
C   IF (TAU.LT.7.) RETURN
NF(17)=2
NF(21)=2
RETURN
END
```

```

SUBROUTINE WPROD(TAU,T,G,NT,NH,W,LAUF,*)
*****
C
C
C   ENERGIEERZEUGUNG IN DER MASCHE K IN W/M**3.
C   DER TEMPERATURVEKTOR T GIBT DIE MASCHENMITTENTEMPERATUR AN.
C   DIE SUBROUTINE WIRD EINMAL PRO ZEITSCHRITT AUFGERUFEN.
C   ES MUSS DER GESAMTE VEKTOR W(K),K=1,NT GESETZT WERDEN.
C
REAL*8 TAU,T
DIMENSION T(NT),G(NT),W(NT),NH(NT)
CHARACTER*3 LAUF
C
C
DO 10 K=1,NT
10 W(K)=0.
C
C
C   BEGINN DER ANWENDERROUTINE
C   *****
C
IF (LAUF.EQ.' T'.AND.TAU.GE.35.5) RETURN
C
WM=50.6
W(5)=0.798*38.75E6*WM
W(10)=0.202*9.86E6*WM
RETURN
END
```



Anhang 5

SUBROUTINE NULLW, Member NULLST41

```
C =====
C SUBROUTINE NULLW(TMA, IN, ARG, ARGE, EPS, EPS1, DX, ZBEST, KX, KN, FKT)
C =====
C
C IN TSO ALS NULLST41.FORT
C
C K. WAGNER KFK-IT/PC
C
C LETZTER AENDERUNGSTERMIN: 24.6.1983
C
C BERECHNUNG DER NULLSTELLEN FUER STATI MIT REAL*8-VARIABLEN
C
C BERECHNUNG EINER DER REELLEN NULLSTELLEN DER REELLEN
C FUNKTION FKT(ARG).
C TMA=ANFANGSRECHENZEIT IN KORR. WIRD IN JEDEM SCHRITT VERDOPPELT.
C ERSTER LAUF MIT KLEINER ZEIT TM, BEI MISSEFOLG VERGROESSERN.
C ES SEI TA DIE ZEIT FUER EINEN AUFRUF VON FKT. DANN WAEHLE MAN
C ZUNAECHST TM=100.*TA.
C IN=STEUERPARAMETER FUER NEBENBEDINGUNG. IN=0: KEINE NEBENBEDINGUNG
C IN=1: EINE NEBENBEDINGUNG NR1 USF.
C RESTRI=NEBENBEDINGUNGSFUNKTIONEN. X (ARG) WIRD DANN ALS ZULAESSIG
C GEWERTET, WENN ALLE WERTE RESTRI > ODER = 0 SIND. SIEHE
C BEISPIEL.
C ARG=GESCHAETZTER WERT BEIM AUFRUF.
C ARGE=ERREICHTER WERT BEI ABRUCH DER RECHNUNG.
C ZBEST=ZU ARGE GEHOERENDER FUNKTIONSWERT.
C EPS=SCRANKE FUER GENAUGKEIT, ABSOLUTE ABWEICHUNG VOM NULLPUNKT.
C MAN BEACHT, DASS MIT REAL*4-VARIABLEN GERECHNET WIRD. DIE
C MINDESTABWEICHUNG VON ARG IST + ODER - EIN DIGIT IN DER
C SIEBENTEN DEZIMALSTELLE. ENTSPRECHEND ERRECHNET SICH DER
C MINIMALWERT VON EPS.
C EPS1=SCRANKE FUER ITERATION IN EVOL, RELATIVE VERBESSERUNG
C DER ERGEBNISSE NACH VORGEGEBENER ANZAHL VON ITERATIONEN.
C DX=ANFANGSSCHRITTWEITE (VARIATION DER VARIABLEN) IN KORR.
C FKT=FUNKTION, DEREN WERT NULL WERDEN SOLL.
C KX=1: KEINE NULLSTELLE ERREICHT, SONST KX=0.
C ES IST JEWEILS IM AUFRUFENDENPROGRAMM ZU PRUEFEN, WELCHEN
C WERT KX ANNIMMT. BEI KX=1 KANN DIE ROUTINE MIT DEM BEREITS
C ERRECHNETEN ARGE NEU GESTARTET WERDEN.
C KN=0: KEIN AUFRUF VON KORR. KN=1 BIS 10: ENTSPRECHEND VIELE
C AUFRUFE VON KORR SIND ERFOLGT.
C
100 FORMAT (/20X, 'RESTRIKTIONEN KOENNEN NICHT ERFUELLT WERDEN.'/,
120X, 'MOEGLICHERWEISE IST GEBIET LEER. PRUEFE RESTRIKTIONEN.',
2/20X, 'FALLS O.K., AENDERE DX.',
3/20X, 'ERREICHTE WERTE: ARGE=', E13.6, 5X, 'DX=', E13.6, 5X, 'FALL=', I3)
101 FORMAT (20X, 'SUCHE NACH ZULAESSIGEM ANFANGSWERT WURDE WEGEN ZEITUE
1BERSCHREITUNG ABGEBROCHEN. VERGROESSERE TM.', /20X, 'ERREICHTE WERTE
2: ARGE=', E13.6, 5X, 'ZBEST=', E13.6, 5X, 'DX=', E13.6, 5X, 'FALL=', I3)
102 FORMAT(20X, 'ZULAESSIGEN ZUSTAND GEFUNDEN. STARTE NEU MIT ENDWERTEN
1.', /20X, 'ERREICHTE WERTE: ARGE=', E13.6, 5X, 'ZBEST=', E13.6, 5X,
2'DX=', E13.6, 5X, 'FALL=', I3)
103 FORMAT(20X, 'NULLSTELLENSUCHE WEGEN ZEITUEBERSCHREITUNG ABGEBROCHEN
1. VERGROESSERE TM.', /20X, 'ERREICHTE WERTE: ARGE=', E13.6, 5X, 'ZBEST=
2', E13.6, 5X, 'DX=', E13.6, 5X, 'FALL=', I3)
104 FORMAT(/20X, 'KORR HAT EIN "RELATIVES" MINIMUM ABER KEINE NULLSTELL
```

```
1E ERREICHT.',/20X,'PRUEFE EPS. FALLS O.K., NEUE RECHNUNG MIT ANDER
2EN PARAMETERN.',/20X,'ERREICHTE WERTE: ARGE=',
3E13.6,5X,'ZBEST=',E13.6,5X,'DX=',E13.6,5X,'FALL=',I3)
C
C
REAL*8 ARG,ARGA,ARGE,K1,K2,K3,X,Y,F,F1,DARG,X1,A1,A2,ZBEST,
*XSTERN,ZSTERN,XE,FKT
C
EXTERNAL FKT,RESTRI
C
INTEGER FALL
C
DIMENSION XSTERN(1),S(1),EPSILO(4)
COMMON/BLNU/Y,F(4),X(4),N,NS/BLNU1/LS
C
AKTIVIERUNG DER NORMALVERTEILUNGSFUNKTION GLEICH
COMMON/BLN/NZ
C
EPSILO(1)=1.E-40
EPSILO(2)=1.E-6
EPSILO(3)=10.*EPS
EPSILO(4)=EPS1
S(1)=DXA
FALL=-2
XSTERN(1)=ARGA
XE=ARGA
TM=TMA
NZ=333
KX=0
KN=0
220 NS=0
N1=0
N2=3
ARG=XSTERN(1)
C PUNKT 1
CALL ETEST(IN,ARG,EPS,RESTRI,FKT,&700,&720)
F1=Y
F(1)=Y
X(1)=ARG
N=1
C PUNKT 2
DARG=1.D-8*ARGA
250 ARG=ARG+DARG
CALL ETEST(IN,ARG,EPS,RESTRI,FKT,&700,&720)
IF (DABS(Y-F1).GT.EPS) GOTO 290
DARG=DARG*10.
GOTO 250
290 CALL SORT(ARG)
N=2
C PUNKT 3
X1=X(1)
F1=F(1)
ARG=X1-F1*(X(2)-X1)/(F(2)-F1)
CALL ETEST(IN,ARG,EPS,RESTRI,FKT,&700,&720)
CALL SORT(ARG)
N=3
C PARABEL
```

```
400 X1=X(1)
    K2=X(2)-X1
    IF (K2.EQ.0.) GOTO 700
    K3=X(3)-X1
    IF (K3.EQ.0.) GOTO 700
    A2=K3-K2
    IF (A2.EQ.0.) GOTO 700
    F1=F(1)
    K1=(F(2)-F(1))/K2
    K3=(F(3)-F(1))/K3
    A2=(K3/K1-1.)/A2
    A1=(1.-A2*K2)*K1*0.5
    K2=1.-(A2/A1)*(K1/A1)*F(1)
    IF (K2.GT.0.) GOTO 420
    K1=0.
    GOTO 430
420 K1=DSQRT(K2)
430 ARG=X1-F1/(A1*(1.+K1))
C PUNKT 4
500 DO 510 I=1,N2
    IF (ARG.EQ.X(I).AND.I.EQ.1) GOTO 515
    IF (ARG.EQ.X(I)) GOTO 517
510 CONTINUE
    GOTO 520
515 ARG=(ARG+X(2))/2.
    GOTO 520
517 ARG=(ARG+X(1))/2.
520 N2=4
    CALL ETEST(IN,ARG,EPS,RESTRI,FKT,&700,&720)
    K1=X(1)
    CALL SORT(ARG)
    IF(K1.EQ.X(1)) GOTO 540
    N1=0
    GOTO 550
540 N1=N1+1
550 IF (N1.GT.2.OR.LS.EQ.4) GOTO 560
    GOTO 400
560 IF (LS.EQ.4) GOTO 600
570 N1=0
    A1=X(1)+X(2)+X(3)
    A2=F(1)+F(2)+F(3)
    K1=X(1)/A1
    K2=X(2)/A1
    K3=X(3)/A1
    A1=A1*(1.-3.*(K1**2+K2**2+K3**2))
    A2=A2-3.*(K1*F(1)+K2*F(2)+K3*F(3))
    IF (A2.EQ.0.) GOTO 700
    ARG=X(1)-F(1)*A1/A2
    GOTO 500
600 DO 610 L=1,3
    X(L)=X(L+1)
    F(L)=F(L+1)
610 CONTINUE
    GOTO 570
C *****
C UEBERGANG EVOL-NULL
C
```

```
700 XSTERN(1)=XE
    IF (FALL.EQ.2) GOTO 710
    KN=KN+1
    CALL KORR(FALL, TM, EPSILO, IN, ZSTERN, XSTERN, S, FKT)
    XE=XSTERN(1)
    IF (KN.EQ.10) GOTO 710
    IF (FALL.EQ.-2) GOTO 750
    IF (FALL.EQ.-1) GOTO 730
    IF (FALL.EQ.0) GOTO 740
    GOTO 220
750 ARGE=XSTERN(1)
    ZBEST=FKT(ARGE)
    WRITE (6,100) ARGE, S(1), FALL
    KX=1
    RETURN
710 ARGE=XSTERN(1)
    ZBEST=ZSTERN
    KX=1
    IF (FALL.EQ.-1) WRITE (6,101) ARGE, ZBEST, S(1), FALL
    IF (FALL.EQ.0) WRITE (6,102) ARGE, ZBEST, S(1), FALL
    IF (FALL.EQ.1) WRITE (6,103) ARGE, ZBEST, S(1), FALL
    IF (FALL.EQ.2) WRITE (6,104) ARGE, ZBEST, S(1), FALL
    IF (FALL.EQ.3) WRITE (6,103) ARGE, ZBEST, S(1), FALL
    RETURN
730 TM=2.*TM
    GOTO 700
740 S(1)=DXA
    TM=TMA
    GOTO 700
C
C   NORMALER AUSSTIEG
720 ARGE=ARG
    ZBEST=Y
    RETURN
    END
C
C
C   SUBROUTINE SORT(ARG)
C
C   REAL*8 ARG, Y, F, X
C
C   COMMON/BLNU/Y, F(4), X(4), N, NS
C   COMMON/BLNU1/LS
C
C   DO 10 LS=1, N
C   IF (DABS(Y).GE.DABS(F(LS))) GOTO 10
C   DO 20 L1=LS, N
C   L2=N+LS-L1
C   F(L2+1)=F(L2)
C   X(L2+1)=X(L2)
20 CONTINUE
    GOTO 30
10 CONTINUE
    LS=N+1
30 F(LS)=Y
    X(LS)=ARG
```

```
      RETURN
      END
C
C
      SUBROUTINE ETEST(IN,ARG,EPS,RESTRI,FKT,*,*)
C
      REAL*8 ARG,Y,F,X,FKT
C
      COMMON/BLNU/Y,F(4),X(4),N,NS
C
      IF (IN.EQ.0) GOTO 20
      DO 10 I=1,IN
      ARG1=ARG
      Y=RESTRI(I,IN,ARG1)
      IF (Y.LT.0.) RETURN1
10  CONTINUE
20  Y=FKT(ARG)
      IF (DABS(Y).LT.EPS) RETURN 2
      NS=NS+1
      IF (NS.GT.19) RETURN 1
      RETURN
      END
C
      FUNCTION RESTRI(I,N,X)
      DIMENSION X(1)
      RESTRI=0.
      RETURN
      END
```

Anhang 6

SUBROUTINE KØRR, Member KØRRNU41

```
C
C SUBROUTINE KORR      -      BESCHREIBUNG
C MIT WEITEREN SUBROUTINES  PRUEFG,SPEICH,MUTATI,DREHNG,
C                               UMSPEI,MINMAX,GNPOOL,ABSCHA
C UND FUNCTIONS          ZULASS,GAUSSN,BLETAL
C
C
C   DATUM: 15.3.1976/SCHWEFEL KFA-JUELICH
C *****
C
C   14.7.1983 WAGNER KFK-IT/PC
C   UMGEARBEITET AUF KORRNU41 FUER ANWENDUNG IN STATI41.
C   BEACHTEN DIE REAL*8-KONVENTIONEN!
C   FUER DIE REAL-8 VERSION VON NULL (NULLST41.FORT)
C *****
C
C   SUBROUTINE KORR(IFALLK,TGRENZ,EPSILO,M,ZSTERN,XSTERN,S,FKT)
C   ++++++
C
C   REAL*8 XSTERN,ZSTERN,ZBEST,X,Z,ZSCHL,FKT,ZULASS,ZIELFU
C
C   LOGICAL BKOMMA,BKORRL,BFATAL,BKONVG,BLETAL
C
C   DIMENSION XSTERN(1),X(1),Y(30)
C   DIMENSION EPSILO(4),P(1),S(1)
C   DIMENSION XGNP(1)
C
C   COMMON/PIDATA/PIHALB,PIEINS,PI3HLB,PIZWEI
C
C   EXTERNAL RESTRI,GAUSSN,GLEICH,FKT
C
C *****
C   D=ZEIT(0.)
C   IREKOM=4
C   IELTER=5
C   BKOMMA=.TRUE.
C   NACHKO=40
C   BKORRL=.FALSE.
C   KONVCR=1
C   DELTAS=1.
C   DELTAI=0.
C   DELTAP=0.
C   N=1
C   NS=1
C   NP=1
C   NY=30
C   P(1)=0.
C *****
C   BEREITSTELLUNG VON HILFSGROESSEN. VON JETZT AN LAEUFT
C   DIE RECHENZEITKONTROLLE GEMAESS FUNCTION TKONTR.
C   TMAXIM=TGRENZ+TKONTR(D)
C   IF(.NOT.BKORRL) GOTO 1
C   PIHALB=2.*ATAN(1.)
C   PIEINS=PIHALB+PIHALB
C   PI3HLB=PIEINS+PIHALB
C   PIZWEI=PIEINS+PIEINS
```

```
NL=1+N-NS
NM=N-1
1  NZ=NY/(IELTER+IELTER)
   IF(M.EQ.0) GOTO 2
C  UEBERPRUEFUNG DER ZULAESSIGKEIT DES STARTVEKTORS XSTERN.
   IFALLK=-1
   ZSTERN=ZULASS(N,M,XSTERN,RESTRI)
   IF(ZSTERN.GT.0.) GOTO 3
2  IFALLK=1
   ZSTERN=ZIELFU(N,XSTERN,FKT)
3  CALL SPEICH
   1(0,BKORRL,EPSILO,N,NS,NP,NY,ZSTERN,XSTERN,S,P,Y)
C  DIE VOM BENUTZER VORGEgebenEN ANFANGSWERTE WERDEN ALS
C  DATEN DES ERSTEN ELTERS IN DAS FELD Y EINGESPEICHERT.
   IF(KONVKR.GT.1) Z1=ZSTERN
   ZBEST=ZSTERN
   LBEST=0
   IF(IELTER.EQ.1) GOTO 16
   DSMAXI=DELTAS
   DPMAXI=AMIN1(DELTAP*10.,PIHALB)
   DO 14 L=2,IELTER
C  WENN IELTER >1 IST, WERDEN DIE RESTLICHEN IELTER-1 START-
C  VEKTOREN AUS DENEN DES ERSTEN ELTERS DURCH MUTATION
C  (OHNE SELEKTION) GEWONNEN. DABEI WERDEN DIE STRATEGIE-
C  VARIABLEN MOEGLICHST BREIT GESTREUT.
   DO 4 I=1,NS
4  S(I)=Y(N+I)
5  IF(.NOT.BKORRL) GOTO 7
   DO 6 I=1,NP
6  P(I)=Y(N+NS+I)
7  CALL MUTATI
   1(NL,NM,BKORRL,DSMAXI,DELTAI,DPMAXI,N,NS,NP,X,S,P,
   2GAUSSN,GLEICH)
C  MUTATION ALLER OBJEKT- UND STRATEGIE-VARIABLEN.
   DO 8 I=1,N
8  X(I)=X(I)+DBLE(Y(I))
   IF(IFALLK.GT.0) GOTO 9
C  BEI NICHT ZULAESSIGEM STARTPUNKT WIRD JEDE MUTATION SO-
C  FORT DARAUFHIN UEBERPRUEFT, OB EIN ZULAESSIGER VEKTOR
C  GEFUNDEN WURDE. WENN JA, ENDET DIE SUCHE MIT IFALLK=0.
   Z=ZULASS(N,M,X,RESTRI)
   IF(Z)40,40,12
9  IF(M.EQ.0) GOTO 11
   IF(.NOT.BLETAL(N,M,X,RESTRI)) GOTO 11
C  FUEHRT DIE MUTATION BEI ZULAESSIGEM STARTPUNKT ZU EINEM
C  NICHT ZULAESSIGEN VEKTOR X, SO WERDEN DIE SCHRITTWEITEN
C  - IN DER ANNAHME, DIE ANFANGSWERTE WAREN ZU GROSS - REDU-
C  ZIERT, UM NICHT UNNOETIG VIEL ZEIT MIT DER ERZEUGUNG DER
C  ERSTEN ELTERN-GENERATION ZU VERGEUDEN.
   DO 10 I=1,NS
10 S(I)=S(I)*.5
   GOTO 5
11 Z=ZIELFU(N,X,FKT)
12 IF(Z.GT.ZBEST) GOTO 13
   ZBEST=Z
   LBEST=L-1
```

```
DSMAXI=DSMAXI*ALOG(2.)
13 CALL SPEICH
1((L-1)*NZ,BKORRL,EPSILO,N,NS,NP,NY,Z,X,S,P,Y)
C   SPEICHERN DER ELTERLICHEN DATEN IM FELD Y.
   IF(KONVKR.GT.1) Z1=Z1+Z
14 CONTINUE
C   NUN IST DIE AUSGANGS- ELTERN- GENERATION KOMPLETT. WENN
C   EINE VERBESSERUNG GENENUEBER DEM VORGEgebenEN START-
C   PUNKT ERZIELT WURDE, WERDEN DIE BESTWERTSPEICHER ZSTERN
C   UND XSTERN UEBERSCHRIEBEN.
   IF(LBEST.EQ.0) GOTO 16
   ZSTERN=ZBEST
   K=LBEST*NZ
   DO 15 I=1,N
15  XSTERN(I)=DBLE(Y(K+I))
16  L1=IELTER
   L2=0
   IF(KONVKR.GT.1) KONVZ=0
C   HIER SIND ALLE VORBEREITUNGEN ABGESCHLOSSEN.
C   MIT LABEL 17 BEGINNT NUN JEDE NEUE GENERATION.
17  L3=L2
   L2=L1
   L1=L3
   IF(M.GT.0) L3=0
   LMUTAT=0
C   LMUTAT IST DER MUTATIONSZAEHLER INNERHALB JEDER GENERA-
C   TION, L3 DER ZAEHLER FUER LETALMUTATIONEN BEI PROBLEMEN
C   MIT RESTRIKTIONEN.
   IF(BKOMMA) GOTO 18
C   WURDE BKOMMA=.FALSE. GEWAELT, DANN WERDEN DIE
C   ELTERN JEWEILS MIT IN DIE SELEKTION ENIBEZOGEN. DAZU
C   MUESSEN IHRE DATEN VOM ERSTEN (BZW. ZWEITEN) TEIL DES
C   GEMEINSAMEN SPEICHERS Y IN DEN ZWEITEN (BZW. ERSTEN)
C   TEIL UMGESPEICHERT WERDEN. AUSSERDEM MUSS GLEICH VON
C   VORNHEREIN DAS SCHLECHTESTE INDIVIDUUM BEKANNT SEIN.
C   DIESES WIRD DURCH DEN ERSTEN BESSEREN NACHKOMMEN ERSETZT.
   CALL UMSPEI
1(L1*NZ,L2*NZ,IELTER*NZ,NY,Y)
   CALL MINMAX
1(-1.,L2,NZ,ZSCHL,LSCHL,IELTER,NY,Y)
C   MIT LABEL 18 BEGINNT DIE ERZEUGUNG EINES JEDEN NACHKOM-
C   MEN.
18  IF(IREKOM.GT.3) GOTO 19
C   ZUFAELLIGE AUSWAHL EINES ELTERS ODER ZWEIER ELTERN, JE
C   NACH WAHL VON IREKOM. NUR, WENN IREKOM=3 ODER IREKOM=5,
C   DANN ERFOLGT DIE ZUFALLSWAHL INNERHALB VON GNPOOL.
   K1=L1+IELTER*GLEICH(D)
   IF(IREKOM.GT.1) K2=L1+IELTER*GLEICH(D)
19  CALL GNPOOL
1(1,L1,K1,K2,NZ,N,IELTER,IREKOM,NS,NY,S,Y,GLEICH)
C   BESCHAFFUNG DER AUSGANGS-SCHRITTWEITEN FUER DEN NACHKOM-
C   MEN AUS DEM GENPOOL.
   IF(BKORRL) CALL GNPOOL
1(2,L1,K1,K2,NZ,N+NS,IELTER,IREKOM,NP,NY,P,Y,GLEICH)
C   BESCHAFFUNG DER AUSGANGS-LAGEWINKEL DES STREUUNGSSELLIP-
C   SOIDS FUER DEN NACHKOMMEN AUS DEM GENPOOL, WENN KORRELA-
C   TION GEWUENSCHT WURDE.
```

```
CALL MUTATI
1(NL,NM,BKORRL,DELTAS,DELTAI,DELTAP,N,NS,NP,X,S,P,
2GAUSSN,GLEICH)
C AUFRUF DER MUTATIONSPROZEDUR FUER ALLE VARIABLEN, EVTL.
C EINSCHLIESSLICH DER KOORDINATENTRANSFORMATION. S (UND P)
C SIND BEREITS DIE NEUEN MERKMALE DES NACHKOMMEN, X ERST
C DIE AN DEN OBJEKTVARIABLEN VORZUNEHMENDEN AENDERUNGEN.
XGNP(1)=X(1)
CALL GNPOOL
1(3,L1,K1,K2,NZ,0,IELTER,IREKOM,N,NY,XGNP,Y,GLEICH)
X(1)=DBLE(XGNP(1))
C BESCHAFFUNG DER AUSGANGS-OBJEKTVARIABLEN FUER DEN NACH-
C KOMMEN AUS DEM GENPOOL UND ADDITION DES AENDERUNGSVEK-
C TORS. ERST JETZT STELLT X DEN NEUEN ZUSTAND DES NACHKOM-
C MEN DAR.
LMUTAT=LMUTAT+1
IF(IFALLK.GT.0) GOTO 20
C ERMITTLUNG DER ERSATZ-ZIELFUNKTION FUER DIE SUCHE NACH
C EINEM ZULAESSIGEN STARTVEKTOR.
Z=ZULASS(N,M,X,RESTRI)
IF(Z)40,40,22
20 IF(M.EQ.0) GOTO 21
C PRUEFUNG DER ZULAESSIGKEIT DES NACHKOMMEN. FAELLT SIE
C NEGATIV AUS (LETALMUTATION), SO ZAEHLT DIE MUTATION
C NICHT IM SINNE DES PARAMETERS NACHKO.
IF(.NOT.BLETAL(N,M,X,RESTRI)) GOTO 21
IF(.NOT.BKOMMA) GOTO 25
LMUTAT=LMUTAT-1
L3=L3+1
IF(L3.LT.NACHKO) GOTO 18
L3=0
C AUS SICHERHEITSGRUENDEN ERFOLGT DIE ZEITKONTROLLE NICHT
C NUR NACH JEDER GENERATION, SONDERN AUCH NACH JEWEILS
C NACHKO LETALMUTATIONEN.
IF(TKONTR(D).LT.TMAXIM) GOTO 18
IFALLK=3
GOTO 26
21 Z=ZIELFU(N,X,FKT)
C ERMITTLUNG DES ZIELFUNKTIONSWERTES DES NACHKOMMEN.
22 IF(BKOMMA.AND.LMUTAT.LE.IELTER) GOTO 23
IF(Z-ZSCHL)24,24,25
23 LSCHL=L2+LMUTAT-1
24 CALL SPEICH
1(LSCHL*NZ,BKORRL,EPSILO,N,NS,NP,NY,Z,X,S,P,Y)
C UEBERNAHME DER DATEN DES NACHKOMMEN IN DEN TEIL DES SPEI-
C CHERS Y, IN DEM DIE ELTERN DER NAECHSTEN GENERATION GE-
C SAMMELT WERDEN.
IF(.NOT.BKOMMA.OR.LMUTAT.GE.IELTER) CALL MINMAX
1(-1.,L2,NZ,ZSCHL,LSCHL,IELTER,NY,Y)
C BESTIMMUNG DES NUMMEHR SCHLECHTESTEN INDIVIDUUMS IM SPEI-
C CHER Y, OHNE BERUECKSICHTIGUNG DER ELTERN, WELCHE IN DIE-
C SER GENERATION NOCH NACHKOMMEN ERZEUGEN KOENNEN.
25 IF(LMUTAT.LT.NACHKO) GOTO 18
C ENDE DER GENERATION.
26 CALL MINMAX
1(1.,L2,NZ,ZBEST,LBEST,IELTER,NY,Y)
C BESTIMMUNG DES BESTEN DER ALS ELTERN FUER DIE NAECHSTE
```

```
C      GENERATION GESPEICHERTEN INDIVIDUEN. IST ES BESSER ALS
C      ALLE JE ZUVOR ERZEUGTEN NACHKOMMEN, DANN WERDEN SEINE
C      DATEN AUCH IN DIE SPEICHER ZSTERN UND XSTERN UEBERTRAGEN.
      IF(ZBEST.GT.ZSTERN) GOTO 28
      ZSTERN=ZBEST
      K=LBEST*NZ
      DO 27 I=1,N
27     XSTERN(I)=DBLE(Y(K+I))
28     IF(IFALLK.EQ.3) GOTO 30
      Z2=0.
      K=L2*NZ
      DO 29 L=1,IELTER
      K=K+NZ
29     Z2=Z2+Y(K)
      CALL ABSCHA
      1(IELTER,KONVKR,IFALLK,EPSILO,ZBEST,ZSCHL,Z1,Z2,KONVZ,
      2BKONVG)
C      UEBERPRUEFUNG DES KONVERGENZKRITERIUMS.
      IF(BKONVG) GOTO 30
C      KONTROLLE DER VERBRAUCHTEN RECHENZEIT.
      IF(TKONTR(D).LT.TMAXIM) GOTO 17
C      AUFBEREITUNG DER ENDDATEN FUER DEN AUSSTIEG AUS KORR,
C      WENN DER STARTPUNKT ZULAESSIG WAR.
30     K=LBEST*NZ
      DO 31 I=1,N
      K=K+1
31     X(I)=DBLE(Y(K))
      DO 32 I=1,NS
      K=K+1
32     S(I)=Y(K)
      IF(.NOT.BKORRL) RETURN
      DO 33 I=1,NP
      K=K+1
33     P(I)=Y(K)
      RETURN
C      AUFBEREITUNG DER ENDDATEN FUER DEN AUSSTIEG AUS KORR,
C      WENN DER STARTPUNKT NICHT ZULAESSIG WAR.
40     DO 41 I=1,N
41     XSTERN(I)=X(I)
      ZSTERN=ZIELFU(N,XSTERN,FKT)
      ZBEST=ZSTERN
      IFALLK=0
      RETURN
      END

C
C
C      FUNCTION ZULASS
C
C      ZULASS WIRD NUR IM FALLE VON RESTRIKTIONEN BENOETIGT.
C      LIEGT DER STARTPUNKT DER SUCHE NICHT IM ZULAESSIGEN BE-
C      REICH, DANN BILDET ZULASS DIE ERSATZ-ZIELFUNKTION, MIT
C      DER NACH EINEM ZULAESSIGEN STARTVEKTOR GESUCHT WIRD. IST
C      ZULASS, DIE NEGATIVE SUMME DER FUNKTIONSWERTE DER NOCH
C      NICHT ERFUELLTEN NEBENBEDINGUNGEN, ZU NULL GEWORDEN,
C      DANN STELLT X EINEN ZULAESSIGEN VEKTOR DAR, MIT DEM DIE
C      MINIMUMSUCHE DURCH ERNEUTEN AUFRUF VON KORR BEGONNEN
C      WERDEN KANN.
```

```
C      XX STEHT ANSTELLE VON XSTERN BZW. X.
C
C      DOUBLE PRECISION FUNCTION ZULASS
1(N,M,XX,RESTRI)
C
C      REAL*8 XX
C
C      DIMENSION XX(N)
C
C      ZULASS=0.
C      DO 1 J=1,M
C      ARG=XX(1)
C      R=RESTRI(J,N,ARG)
C      IF(R.LT.0.) ZULASS=ZULASS-R
1 CONTINUE
C      RETURN
C      END
C
C      SUBROUTINE SPEICH
C
C      SPEICH UEBERTRAEGT DIE DATEN EINES ERFOLGVERSPRECHENDEN
C      NACHKOMMEN - DIE OBJEKTVARIABLEN X UND DIE STRATEGIEPA-
C      RAMETER S UND GGF. P SOWIE DEN ZUGEHÖRIGEN WERT DER
C      ZIELFUNKTION - IN DEN DATENPOOL Y DER ELTERN DER FOLGEN-
C      DEN GENERATION. DABEI WIRD SICHERGESTELLT, DASS DIE VA-
C      RIABLEN S (UND P) INNERHALB DER FESTGELEGTEN GRENZEN
C      BLEIBEN.
C      J IST DIE VON KORR ERRECHNETE ADRESSE IM FELD Y, HINTER
C      DER DIE DATEN GESPEICHERT WERDEN.
C      ZZ STEHT ANSTELLE VON ZSTERN BZW. Z.
C      XX STEHT ANSTELLE VON XSTERN BZW. X.
C
C      SUBROUTINE SPEICH
1(J,BKORRL,EPSILO,N,NS,NP,NY,ZZ,XX,S,P,Y)
C
C      REAL*8 ZZ,XX
C
C      LOGICAL BKORRL
C
C      DIMENSION XX(N),Y(NY)
C      DIMENSION EPSILO(4),P(NP),S(NS)
C
C      COMMON/PIDATA/PIHALB,PIEINS,PI3HLB,PIZWEI
C
C      K=J
C      DO 1 I=1,N
C      K=K+1
1 Y(K)=XX(I)
C      DO 2 I=1,NS
C      K=K+1
2 Y(K)=AMAX1(S(I),EPSILO(1))
C      IF(.NOT.BKORRL) GOTO 4
C      DO 3 I=1,NP
C      K=K+1
C      PI=P(I)
C      IF(ABS(PI).GT.PIEINS) PI=PI-SIGN(PIZWEI,PI)
3 Y(K)=PI
4 K=K+1
```

```
Y(K)=ZZ  
RETURN  
END
```

```
C  
C SUBROUTINE MUTATI  
C  
C MUTATI BESORGT DIE ZUFAELIGE AENDERUNG SOWOHL DER STRA-  
C TEGIE- ALS AUCH DER OBJEKTVARIABLEN. ZUNAECHST WERDEN  
C DIE BETEILIGTEN SCHRITTWEITEN NACH MASSGABE DER PARAME-  
C TER DELTAS UND DELTAI MUTIERT DURCH MULTIPLIKATION MIT  
C EINEM LOGARITHMISCH NORMALVERTEILTEN ZUFALLSFAKTOR. DANN  
C WIRD AUS DER SO FESTGELEGTEN NORMALVERTEILUNG EIN ZU-  
C FALLSVEKTOR X GEZOGEN, DER DIE AENDERUNG DER OBJEKTVARI-  
C ABLEN DARSTELLT. WURDE BEIM AUFRUF VON KORR BKORRL=.TRUE.  
C GESETZT, ALSO (LINEARE) KORRELATION GEWUENSCHT, DANN  
C WERDEN NOCH DIE LAGEWINKEL P EINEM MUTATIONSPROZESS UN-  
C TERWORFEN, INDEM ZU DEN URSPRUENGLICHEN WERTEN JEWELNS  
C (0,DELTAP)-NORMALVERTEILTE ZUFALLSZAHLEN ADDIERT WERDEN.  
C AUSSERDEM ERFOLGT IN DIESEM FALL DER AUFRUF VON DREHNG  
C ZUR TRANSFORMATION DES OBJEKTVARIABLEN-AENDERUNGSVEKTORS.  
C NL UND NM SIND ZWEI HILFSGROESSEN, DIE VON KORR UEBER  
C MUTATI AN DREHNG WEITERGEREICHT WERDEN.
```

```
C  
C SUBROUTINE MUTATI  
C 1(NL,NM,BKORRL,DELTAS,DELTAI,DELTAP,N,NS,NP,X,S,P,  
C 2GAUSSN,GLEICH)
```

```
C REAL*8 X  
C LOGICAL BKORRL  
C DIMENSION X(N)  
C DIMENSION P(NP),S(NS)  
C EXTERNAL GLEICH  
C DS=GAUSSN(DELTAS,GLEICH)  
C DO 1 I=1,NS  
1 S(I)=S(I)*EXP(DS+GAUSSN(DELTAI,GLEICH))  
C DO 2 I=1,N  
2 X(I)=DBLE(GAUSSN(S(MINO(I,NS)),GLEICH))  
C IF(.NOT.BKORRL) RETURN  
C DO 3 I=1,NP  
3 P(I)=P(I)+GAUSSN(DELTAP,GLEICH)  
C CALL DREHNG  
C 1(NL,NM,N,NP,X,P)  
C RETURN  
C END
```

```
C  
C FUNCTION GAUSSN  
C  
C GAUSSN BEWIRKT DIE TRANSFORMATION GLEICHVERTEILTEN IN  
C NORMALVERTEILTE (PSEUDO)ZUFALLSZAHLEN. DIE VORLIEGENDE  
C FUNCTION WURDE NACH DEM SOGENANNNTEN TRAPEZ-ALGORITHMUS  
C (J.H. AHRENS UND U. DIETER, COMPUTER METHODS FOR SAMPL-  
C ING FROM THE EXPONENTIAL AND NORMAL DISTRIBUTIONS, COM-  
C MUNICATIONS OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY,
```

C VOL. 15(1972), PP. 873-882 UND 1047) PROGRAMMIERT. DIE
C VON BOX UND MULLER BEKANNTEN REGELN ERFORDERN MEHR RE-
C CHENZEIT, SELBST DANN, WENN MAN BEIDE DER JEWEILS PAAR-
C WEISE ENTSTEHENDEN ZAHLENWERTE VERWENDET.
C SIGMA IST DIE STANDARDABWEICHUNG, MIT DER DIE ZUNAECHEST
C EINER (0,1)-NORMALVERTEILUNG ANGEOEERENDE ZUFALLSZAHL
C MULTIPLIZIERT WIRD.

C
C FUNCTION GAUSSN
C 1(SIGMA,GLEICH)

C *****

C INTEGER D
C COMMON/BLN/D

C *****

1 U=GLEICH(D)
U0=GLEICH(D)
IF(U.GE..919544406) GOTO 2
X=2.40375766*(U0+U*.825339283)-2.11402808
GOTO 10

2 IF(U.LT..965487131) GOTO 4

3 U1=GLEICH(D)
Y=SQRT(4.46911474-2.*ALOG(U1))
U2=GLEICH(D)
IF(Y*U2.GT.2.11402808) GOTO 3
GOTO 9

4 IF(U.LT..949990709) GOTO 6

5 U1=GLEICH(D)
Y=1.84039875+U1*.273629336
U2=GLEICH(D)
IF(.398942280*EXP(-.5*Y*Y)-.443299126+Y*.209694057
1.LT.U2*.0427025816) GOTO 5
GOTO 9

6 IF(U.LT..925852334) GOTO 8

7 U1=GLEICH(D)
Y=.289729574+U1*1.55066917
U2=GLEICH(D)
IF(.398942280*EXP(-.5*Y*Y)-.443299126+Y*.209694057
1.LT.U2*.0159745227) GOTO 7
GOTO 9

8 U1=GLEICH(D)

Y=U1*.289729574
U2=GLEICH(D)
IF(.398942280*EXP(-.5*Y*Y)-.382544556
1.LT.U2*.0163977244) GOTO 8

9 X=Y
IF(U0.GE..5) X=-Y

10 GAUSSN=SIGMA*X
RETURN
END

C
C SUBROUTINE DREHNG

C
C DREHNG WIRD - VON DER SUBROUTINE MUTATI - NUR DANN AUF-
C GERUFEN, WENN BKORRL=.TRUE. GEWAEHLT WURDE UND N >1 IST.
C DREHNG NIMMT DIE KOORDINATENTRANSFORMATION DES AENDE-
C RUNGSVEKTORS FUER DIE OBJEKTVARIABLEN VOR. WAEHREND DIE
C KOMPONENTEN DIESES VEKTORS ZUNAECHEST VONEINANDER UNAB-

C HAENGIG SIND, WERDEN SIE DURCH DIE MIT DEN LAGEWINKELN P
C FESTGELEGTE DREHUNG IM RAUM LINEAR ABHAENGIG. SIE SIND
C DANN MITEINANDER KORRELIERT. DIE TRANSFORMATIONSPROZEDUR
C BESTEHT AUS NP TEILDREHUNGEN, AN DENEN JEWEILS NUR
C ZWEI DER KOMPONENTEN DES AENDERUNGSVEKTORS BETEILIGT
C SIND.

C
C SUBROUTINE DREHNG
1(NL,NM,N,NP,X,P)

C REAL*8 X

C DIMENSION X(N)
C DIMENSION P(NP)

C
C NQ=NP
C DO 1 II=NL,NM
C N1=N-II
C N2=N
C DO 1 I=1,II
C X1=X(N1)
C X2=X(N2)
C SI=SIN(P(NQ))
C CO=COS(P(NQ))
C X(N2)=DBLE(X1)*DBLE(SI)+DBLE(X2)*DBLE(CO)
C X(N1)=DBLE(X1)*DBLE(CO)-DBLE(X2)*DBLE(SI)
C N2=N2-1
1 NQ=NQ-1
C RETURN
C END

C
C LOGICAL FUNCTION BLETAL

C BLETAL PRUEFT DIE ZULAESSIGKEIT EINES NEU GENERIERTEN
C OBJEKTVARIABLENVEKTORS, WENN NEBENBEDINGUNGEN VORHANDEN
C SIND. DIE ERSTE NICHT ERFUELLTE RESTRIKTION VERANLASST
C BLETAL, UEBER DEN ALS BOOLESCHE VARIABLE DEKLARIERTEN
C FUNKTIONSNAMEN KORR MITZUTEILEN, DASS DIE BETREFFENDE
C MUTATION LETAL WAR.

C
C LOGICAL FUNCTION BLETAL
1(N,M,X,RESTRI)

C REAL*8 X

C DIMENSION X(N)

C DO 1 J=1,M
C ARG=X(1)
C IF(RESTRI(J,N,ARG).LT.0.) GOTO 2
1 CONTINUE
C BLETAL=.FALSE.
C RETURN
2 BLETAL=.TRUE.
C RETURN
C END

C

```
C      SUBROUTINE UMSPEI
C
C      UMSPEI WIRD NUR DANN BENOETIGT, WENN BKOMMA=.FALSE. IST.
C      DANN SOLLEN DIE ELTERN DER ERZEUGENDEN GENERATION MIT IN
C      DIE SELEKTION EINBEZOGEN WERDEN. UMSPEI SPEICHERT DIE
C      DATEN DER ELTERN INNERHALB DES FELDES Y UM.
C      K1, K2 UND KK SIND VON KORR ERRECHNETE HILFSGROESSEN,
C      MIT DENEN DIE ANZAHL UND DIE ADRESSEN DER UMZUSPEICHERN-
C      DEN DATEN FESTGELEGT SIND.
C
C      SUBROUTINE UMSPEI
1(K1,K2,KK,NY,Y)
  DIMENSION Y(NY)
  DO 1 K=1,KK
1  Y(K2+K)=Y(K1+K)
  RETURN
  END
C
C      SUBROUTINE MINMAX
C
C      MINMAX SUCHT NACH DEM KLEINSTEN ODER GROESSTEN EINER
C      REIHE VON ZIELFUNKTIONSWERTEN, DIE INNERHALB DES ARRAYS
C      GESPEICHERT SIND. MIT DIESER SUBROUTINE BESTIMMT KORR
C      DEN BESTEN ODER SCHLECHTESTEN ELTER, IM ERSTEN FALL, UM
C      SEINE DATEN IN DIE SPEICHER ZBEST (UND EVTL. ZSTERN UND
C      XSTERN) ZU UEBERTRAGEN, IM ANDEREN FALL, UM DEN FUER EI-
C      NEN BESSEREN NACHKOMMEN FREIWERDENDEN PLATZ ZU ERMITTELN.
C      C=1. LAESST NACH DEM BESTEN (KLEINSTEN), C=-1. NACH DEM
C      SCHLECHTESTEN (GROESSTEN) FUNKTIONSWERT SUCHEN.
C      LL UND NZ SIND HILFSGROESSEN ZUR VERMITTLUNG DER ANGA-
C      BEN UEBER DIE LAGE DER BENOETIGTEN WERTE INNERHALB DES
C      FELDES Y.
C      ZM UND LM ENTHALTEN DEN BESTEN (SCHLECHTESTEN)
C      ZIELFUNKTIONSWERT UND DIE UM EINS VERMINDETE NUMMER
C      DES BETREFFENDEN ELTERS.
C
C      SUBROUTINE MINMAX
1(C,LL,NZ,ZM,LM,IELTER,NY,Y)
C
C      REAL*8 ZM,ZZ
C
C      DIMENSION Y(NY)
C
C      LM=LL
C      K1=LL*NZ+NZ
C      ZM=DBLE(Y(K1))
C      IF(IELTER.EQ.1) RETURN
C      K1=K1+NZ
C      K2=(LL+IELTER)*NZ
C      KM=LL
C      DO 1 K=K1,K2,NZ
C      KM=KM+1
C      ZZ=DBLE(Y(K))
C      IF((ZZ-ZM)*C.GT.0.) GOTO 1
C      ZM=ZZ
C      LM=KM
1  CONTINUE
```

```
RETURN
END

C
C SUBROUTINE GNPOOL
C
C GNPOOL STELLT - ENTSPRECHEND DEM GEWAEHLTEN REKOMBINA-
C TIONSTYP - EINEN VARIABLENSATZ FUER EINEN NACHKOMMEN AUS
C DEM GENPOOL DER ELTERN ZUSAMMEN. DIESE SUBROUTINE WIRD
C JE EINMAL AUFGERUFEN FUER DIE OBJEKTVARIABLEN X UND DIE
C STRATEGIEVARIABLEN S UND EVTL. P. BEI DEN OBJEKTVARIA-
C BLEN WIRD AUS GRUENDEN DER SPEICHERPLATZ-MINIMIERUNG DIE
C AENDERUNG DURCH MUTATION GLEICH HINZUADDIERT (J=3).
C BEI INTERMEDIAERER REKOMBINATION VON LAGEWINKELN (J=2)
C MUSS DARAUF GEACHTET WERDEN, WIE GROSS DIE DIFFERENZ
C DER URSPRUNGSWINKEL IST, UM SINNVOLLE MITTELWERTE BIL-
C DEN ZU KOENNEN.
C J=1 SCHLIESSLICH KENNZEICHNET DEN FALL, DASS ES SICH
C UM SCHRITTWEITEN HANDELT.
C L1 KENNZEICHNET DEN TEIL DES GENPOOLS, AUS WELCHEM DIE
C ELTERLICHEN DATEN ZU ENTNEHMEN SIND, WENN IREKOM=3 ODER
C IREKOM=5 IST.
C K1 KENNZEICHNET DEN VON KORR ERWAEHLTEN ELTER, DESSEN
C DATEN VERWENDET WERDEN, WENN IREKOM=1 IST (KEINE REKOM-
C BINATION).
C K1 UND K2 KENNZEICHNEN DIE BEIDEN ELTERN, DEREN DATEN
C REKOMBINIERT WERDEN SOLLEN, WENN IREKOM=2 ODER IREKOM=4
C GEWAEHLT WURDE.
C NZ UND NN SIND HILFSGROESSEN ZUR ERRECHNUNG DER NOTWEN-
C DIGEN ADRESSEN INNERHALB DES FELDES Y.
C NX STEHT FUER N BZW. NS BZW. NP.
C XX STEHT FUER X BZW. S BZW. P.
C
C SUBROUTINE GNPOOL
C 1(J,L1,K1,K2,NZ,NN,IELTER,IREKOM,NX,NY,XX,Y,GLEICH)
C
C DIMENSION XX(NX),Y(NY)
C
C INTEGER D
C
C COMMON/PIDATA/PIHALB,PIEINS,PI3HLB,PIZWEI
C COMMON/BLN/D
C
C EXTERNAL GLEICH
C
C IF(J.EQ.3) GOTO 11
C GOTO(1,1,1,7,9),IREKOM
1 KI1=K1*NZ+NN
C IF(IREKOM.GT.1) GOTO 3
C DO 2 I=1,NX
2 XX(I)=Y(KI1+I)
C RETURN
3 KI2=K2*NZ+NN
C IF(IREKOM.EQ.3) GOTO 5
C DO 4 I=1,NX
C KI=KI1
C IF(GLEICH(D).GE..5) KI=KI2
4 XX(I)=Y(KI+I)
```

```
RETURN
5 DO 6 I=1,NX
  XX1=Y(KI1+I)
  XX2=Y(KI2+I)
  XXI=(XX1+XX2)*.5
  IF(J.EQ.1) GOTO 6
  DXX=XX1-XX2
  IF(ABS(DXX).LT.PIHALB) GOTO 6
  ADD=SIGN(PIHALB,DXX)
  XXI=XXI+ADD
  IF(ABS(DXX).GE.PI3HLB) XXI=XXI+ADD
6 XX(I)=XXI
  RETURN
7 DO 8 I=1,NX
8 XX(I)=Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I)
  RETURN
9 DO 10 I=1,NX
  XX1=Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I)
  XX2=Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I)
  XXI=(XX1+XX2)*.5
  IF(J.EQ.1) GOTO 10
  DXX=XX1-XX2
  IF(ABS(DXX).LT.PIHALB) GOTO 10
  ADD=SIGN(PIHALB,DXX)
  XXI=XXI+ADD
  IF(ABS(DXX).GE.PI3HLB) XXI=XXI+ADD
10 XX(I)=XXI
  RETURN
11 GOTO(12,12,12,18,20),IREKOM
12 KI1=K1*NZ+NN
  IF(IREKOM.GT.1) GOTO 14
  DO 13 I=1,NX
13 XX(I)=XX(I)+Y(KI1+I)
  RETURN
14 KI2=K2*NZ+NN
  IF(IREKOM.EQ.3) GOTO 16
  DO 15 I=1,NX
  KI=KI1
  IF(GLEICH(D).GE..5) KI=KI2
15 XX(I)=XX(I)+Y(KI+I)
  RETURN
16 DO 17 I=1,NX
17 XX(I)=XX(I)+(Y(KI1+I)+Y(KI2+I))* .5
  RETURN
18 DO 19 I=1,NX
19 XX(I)=XX(I)+Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I)
  RETURN
20 DO 21 I=1,NX
21 XX(I)=XX(I)+(Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I)
1+Y((L1+IFIX(IELTER*GLEICH(D)))*NZ+NN+I))* .5
  RETURN
  END
C
C
C SUBROUTINE ABSCHA
C
C ABSCHA UEBERPRUEFT DAS KONVERGENZKRITERIUM. WENN KONVKR
```

C =1 GEWAHLT WURDE, MUSS DIE ZIELFUNKTIONSWERT-DIFFERENZ
C ZWISCHEN BESTEM UND SCHLECHTESTEM ELTER (ZBEST UND ZSCHL)
C ABSOLUT UND RELATIV UNTERHALB DER DURCH EPSILO(3) BZW.
C EPSILO(4) FESTGELEGTEN GRENZEN BLEIBEN, DAMIT BKONVG
C =.TRUE. GESETZT WIRD.
C ANDERENFALLS TRITT AN DIE STELLE DER MOMENTANEN DIFFE-
C RENZ ZSCHL-ZBEST DIE AENDERUNG Z1-Z2 DER SUMME ALLER
C ELTERLICHEN ZIELFUNKTIONSWERTE, DIVIDIERT DURCH IELTER,
C INNERHALB VON JEWEILS KONVKR GENERATIONEN.
C DIE BOOLESCHE VARIABLE BKONVG TEILT KORR DAS ERGEBNIS
C DER KONVERGENZPRUEFUNG MIT.
C KONVZ DIENST ALS GENERATIONENZAehler, WENN KONVKR >1 IST.
C

SUBROUTINE ABSCHA

1(IELTER,KONVKR,IFALLK,EPSILO,ZBEST,ZSCHL,Z1,Z2,KONVZ,
2BKONVG)

C REAL*8 ZBEST,ZSCHL
C LOGICAL BKONVG

C DIMENSION EPSILO(4)

C IF(KONVKR.EQ.1) GOTO 1
KONVZ=KONVZ+1
IF(KONVZ.LT.KONVKR) GOTO 3
KONVZ=0
DELTAf=Z1-Z2
Z1=Z2
GOTO 2

1 DELTAf=(ZSCHL-ZBEST)*IELTER
2 IF(DELTAf.GT.EPSILO(3)*IELTER) GOTO 3
IF(DELTAf.GT.EPSILO(4)*ABS(Z2)) GOTO 3
IFALLK=ISIGN(2,IFALLK)
BKONVG=.TRUE.
RETURN
3 BKONVG=.FALSE.
RETURN
END

C *****

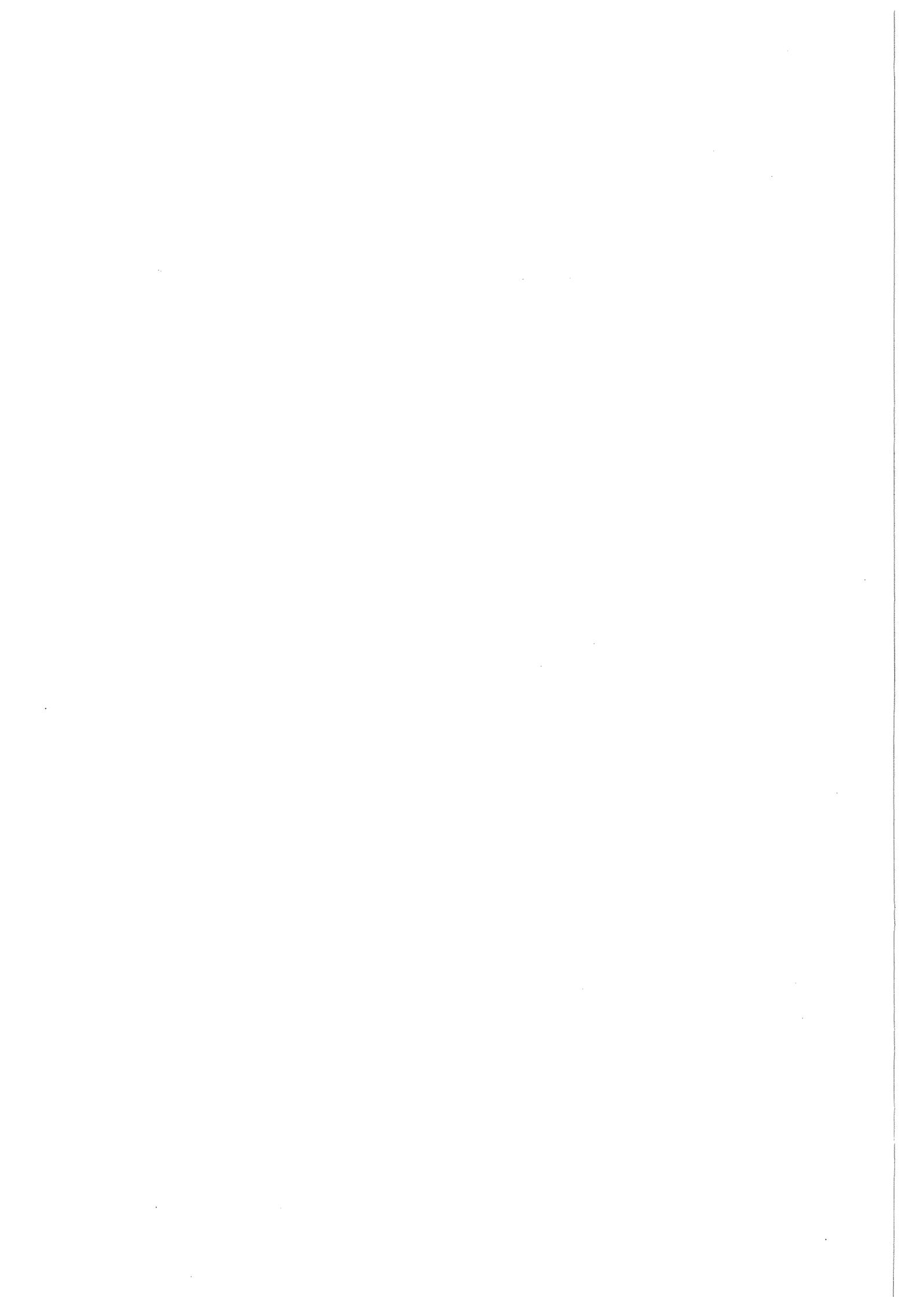
FUNCTION GLEICH(N)
IX=N
CALL RANDU(IX,IY,YFL)
GLEICH=YFL
N=IY
RETURN
END

FUNCTION TKONTR(D)
TKONTR=ZEIT(D)
RETURN
END

C
C DOUBLE PRECISION FUNCTION ZIELFU(N,X,FUNK)

C REAL*8 X,FUNK
C

```
C      DIMENSION X(N)  
      ZIELFU=FUNK(X(1))  
      ZIELFU=DABS(ZIELFU)  
      RETURN  
      END
```



Anhang 7

Stoffwertefunctions, Member STØFFMKS

C STOFFWERTESAMMLUNG "S T O F F M K S" FUER HOCHTEMPERATUR-
C WERKSTOFFE
C
C
C VOLLMER/WAGNER KFK ABT. IT/PC
C STAND: 1.10.1982
C
C ES BEDEUTEN: NS=KENNUNG DES STOFFES
C TK=TEMPERATUR IN K
C TC=TEMPERATUR IN GRD-C
C
C BEIM ERSTEN AUFRUF MUSS IM AUFRUFENDEN PROGRAMM
C "COMMON/BLL/L" MIT L=0 GESETZT SEIN.
C BEI ALLEN FOLGENDEN AUFRUFEN MUSS L UNGLEICH 0 SEIN.
C
C FOLGENDE EIGENSCHAFTEN SIND EINPROGRAMMIERT:
C 1) DICHTHE RHO(NS,TK) IN KG/M**3
C 2) WAERMELEITFAEHIGKEIT ELAMD(NS,TK) IN W/M/K
C 3) SPEZ. WAERMEKAPAZITAET CP(NS,TK) IN J/KG/K
C 4) THERMISCHE DEHNUNG DEHN(NS,TK)
C DEHN=(L(T)-L(T0))/L(T0)
C 5) EMISSIONSKOEFFIZIENT EMISS(NS,TK)
C
C ES SIND FOLGENDE STOFFE EINPROGRAMMIERT:
C NS= 1: UO2
C NS= 2: ZRY4
C NS= 3: HELIUM
C NS= 4: STAHL, WERKSTOFF NR. 4550
C NS= 5: WASSERDAMPF
C NS= 6: MGO
C NS= 7: AL2O3, 99%
C NS= 8: THO2
C NS= 9: BORNITRID
C NS=10: NICR 80 20
C NS=11: ELEKTROGRAFIT
C NS=12: KUPFER
C NS=13: INCONEL 600
C NS=14: NICKEL
C NS=15: PLATIN
C NS=16: AL2O3, 96% (ISOLIERKERAMIK)
C NS=17: QUARZGLAS
C NS=18: ARGON
C NS=19: ZRO2
C NS=20: FASERSTOFF AUS ZRO2 (ZYFB-3)
C NS=21: WOLFRAM POLIERT
C NS=22: FASERSTOFF AUS AL2O3
C NS=23: MOLYBDAEN
C
C
C FUNCTION RHO(NS,TK)
C
C ES WIRD DIE DICHTHE IN KG/M**3 IN ABHAENGIGKEIT
C VOM STOFF UND DER TEMPERATUR BERECHNET.
C
C 100 FORMAT (//,20X,'DICHTHE NICHT PROGRAMMIERT, STOFF NS=',I3//)
C 101 FORMAT (//20X,'STOFF NICHT IM PROGRAMM. NS=',I4)
C

```
TC=TK-273.16
C
GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,
A21,22,23),NS
C
WRITE (*,101) NS
STOP
C
C
UO2
1 RHO=10.45*(1.-2.091E-5*TC-7.437E-9*TC**2)*1.E3
RETURN
C
C
ZRY4
2 RHO=6.57E3
RETURN
C
C
HELIUM: DUMMY
3 RHO=1.
WRITE (*,100) NS
STOP
C
C
WST. NR. 4550
4 RHO=7.8E3
RETURN
C
C
WASSERDAMPF: DUMMY
5 RHO=1.
WRITE (*,100) NS
STOP
C
C
MGO
6 RHO=3.22E3
RETURN
C
C
AL2O3
7 RHO=3.8E3
RETURN
C
C
THO2
8 RHO=9.34E3
RETURN
C
C
BORNITRID
9 RHO=1.9E3
RETURN
C
C
NICR 8020
10 RHO=8.3E3
RETURN
C
C
ELEKTROGRAFIT
11 RHO=1.68E3
RETURN
C
C
KUPFER
12 RHO=8.93E3
```

```
RETURN
C
C   INCONEL 600
13  RHO=8.43E3
    RETURN
C
C   NICKEL
14  RHO=8.9E3
    RETURN
C
C   PLATIN
15  RHO=14.E3
    RETURN
C
C   AL2O3, 96%
16  RHO=3.7E3
    RETURN
C
C   QUARZGLAS
17  RHO=2.18E3
    RETURN
C
C   ARGON:DUMMY
18  RHO=1.
    WRITE (*,100) NS
    STOP
C
C   ZRO2
19  RHO=5820.
    RETURN
C
C   ZYC 30 FASERSTOFF AUS ZRO2 VON KANTAL
20  RHO=.48E3
    RETURN
C
C   WOLFRAM
21  RHO=19.6E3
    RETURN
C
C   FASERSTOFF AUS AL2O3
22  RHO=0.24E3
    RETURN
C
C   MOLYBDAEN
23  RHO=10.2E3
    RETURN
C
C   END
C
C
C   FUNCTION ELAMD(NS,TK)
C
C   ES WIRD DIE WAERMELEITFAEHIGKEIT IN W/(M*K) BESTIMMT.
C
101  FORMAT (//,20X,'BEREICHSUEBERSCHREITUNG BEI ELAMD,NS=',I3,5X,
1    'TK=',F7.1/,
```

```
220X, 'BEI DEN FOLGENDEN RECHNUNGEN WIRD EXTRAPOLIERT!',//)
100 FORMAT (//20X, 'STOFF NICHT IM PROGRAMM. NS=', I4)
    CHARACTER*80 TEXT(10)
C
    DIMENSION NA(100)
    COMMON /BLL/L
    TC=TK-273.16
    IF (L.NE.0) GOTO 8000
    DO 8001 I=1,100
    NA(I)=0
8001 CONTINUE
C
8000 GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,
    A21,22,23),NS
C
    WRITE (*,100) NS
    STOP
C
C
C    U02
    1 IF (TC.GT.1650.) GOTO 120
    ELAMD=40.4/(464.+TC)+5.86E-5*EXP(2.14E-3*TC)
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    RETURN
    120 ELAMD=0.02+5.86E-5*EXP(2.14E-3*TC)
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    130 IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
    RETURN
C
C    ZRY4
    2 ELAMD=7.848E-2+2.2E-4*TK-1.676E-7*TK**2+8.712E-11
    1*TK**3
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1750.) GOTO 9100
    RETURN
C
C    HELIUM, 1 BARA
    3 ELAMD=2.97E-3*TK**0.69+9.23E9*TC/(TC**5+4.29E14)
    IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
    RETURN
C
C    STAHL WST. NR. 4550
    4 ELAMD=0.149+145.9E-6*TC-18.13E-9*TC**2
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN
C
C    WASSERDAMPF, 1 BARA
    5 ELAMD=(1.69+7.372E-3*TC+4.952E-6*TC**2)*1.E-2
    IF (TC.GT.600.) GOTO 9100
    RETURN
C
C    MGO
    6 ELAMD=2.85E-2+8.33E-5*TC-1.139E-7*TC**2+4.392E-11*TC**3
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
```

```
RETURN
C
C AL2O3
7 IF (TC.GT.400.) GOTO 72
  ELAMD=0.3371-8.0365E-4*TC+7.0259E-7*TC**2
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  RETURN
72 ELAMD=0.0582-3.741E1/TC+4.874E4/TC**2-9.056E6/TC**3
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
  RETURN
C
C THO2
8 IF (TC.GT.400.) GOTO 82
  ELAMD=0.1336-3.423E-4*TC+3.73E-7*TC**2
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  RETURN
82 ELAMD=2.146-9.38E2/TC+2.043E6/TC**2-4.47E8/TC**3
  IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
  RETURN
C
C BORNITRID
9 ELAMD=0.186E2
  RETURN
C
C NICR 8020
10 ELAMD=0.1191+1.7057E-4*TC
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
  RETURN
C
C ELEKTROGRAFIT
11 ELAMD=1.0498-7.55E-4*TC+2.542E-7*TC**2-3.204E-11*TC**3
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C KUPFER
12 ELAMD=3.991-4.484E-4*TC-1.779E-7*TC**2
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  IF (TC.GT.1100.) GOTO 9100
  RETURN
C
C INCONEL 600
13 ELAMD=0.175+1.4876E-4*TC+6.1227E-8*TC**2
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  IF (TC.GT.1100.) GOTO 9100
  RETURN
C
C NICKEL
14 IF (TC.GT.358.) GOTO 1401
  ELAMD=0.938-1.192E-3*TC+9.948E-7*TC**2
  ELAMD=1.E2*ELAMD
  RETURN
1401 ELAMD=0.561+2.15E-4*TC
  ELAMD=1.E2*ELAMD
```

```
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN
C
C   PLATIN
15  ELAMD=0.71E2
    RETURN
C
C   AL2O3, 96%
16  IF (TC.GT.400.) GOTO 1620
    ELAMD=0.17-3.23E-4*TC+2.02E-7*TC**2
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    RETURN
1620 ELAMD=5.33E-4+18.81/TC+4.55E3/TC**2
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   QUARZGLAS
17  ELAMD=1.4611E-2+.1084E-4*TC-.2164E-7*TC**2+.454E-10*TC**3
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1600.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   ARGON, 1BARA
18  ELAMD=.163E-3+.5116E-6*TC-.2555E-9*TC**2+.762E-13*TC**3
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1127.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   ZRO2
19  ELAMD=1.6
    IF (TC.GT.2000.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   ZYC 30
20  ELAMD=0.9052E-3-.3123E-6*TC+.709E-9*TC**2
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1650.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   WOLFRAM
21  ELAMD=1.3039-1.9506E-4*TC+2.117E-8*TC**2
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1600.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   FASERSTOFF AUS AL2O3
22  ELAMD=4.327E-4+5.135E-7*TC+4.43E-10*TC**2+2.266E-13*TC**3
    ELAMD=1.E2*ELAMD
    IF (TC.GT.1350.) GOTO 9100
    RETURN
C
C   MOLYBDAEN IN W/MK
23  ELAMD=154.188 -4.258E-2*TK +3.443E-6*TK**2 -2.713E-10*TK**3
    IF (TC.GT.2273.) GOTO 9100
    RETURN
C
9100 IF (NA(NS).EQ.1) RETURN
```

```
IF (NS.EQ.2) THEN
TEXT(1)= '*****'
TEXT(2)= '* ZRY4-SCHMELZPUNKT ERREICHT. *****'
TEXT(3)= '*****'
WRITE (*,*) TEXT(1),TEXT(2),TEXT(3)
ELSE
WRITE (*,101) NS,TK
ENDIF
NA(NS)=1
RETURN
END

C
C
FUNCTION CP(NS,TK)
C
ES WIRD DIE SPEZIFISCHE WAERMEKAPAZITAET IN J/(KG*K) BERECHNET.
C
100 FORMAT (//,20X,'CP NICHT PROGRAMMIERT. STOFF NS=',I3//)
101 FORMAT (//,20X,'BEREICHSUEBERSCHREITUNG BEI CP, NS=',I3,5X,'TK=',
1F7.1,/ ,20X,'BEI DEN FOLGENDEN RECHNUNGEN WIRD EXTRAPOLIERT! ',//)
102 FORMAT (//20X,'STOFF NICHT IM PROGRAMM. NS=',I4)
C
DIMENSION NA(100)
COMMON/BLL/L
TC=TK-273.16
IF (L.NE.0) GOTO 8000
DO 8001 I=1,100
NA(I)=0
8001 CONTINUE
C
8000 GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,
A21,22,23),NS
C
WRITE (*,102) NS
STOP
C
C
U02
1 A1=15.496E-3
A2=19.145
TE=535.29
A3=7.847E-4
A4=5.644E6
ED=3.769E4
R=1.987
A6=EXP(TE/TK)
A7=A2*TE**2*A6/(TK**2*(A6-1.)**2)
A8=2.*A3*TK
A9=A4*ED*EXP(-ED/(R*TK))/(R*TK**2)
CP=A1*(A7+A8+A9)*1.E3
IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
RETURN
C
C
ZRY4
2 IF (TC.GT.800.) GOTO 201
CP=0.286+9.286E-5*TC
GOTO 204
```

```
201 IF (TC.GT.907.) GOTO 202
    CP=-3.341+4.626E-3*TC
    GOTO 204
202 IF (TC.GT.985.) GOTO 203
    CP=6.611-6.346E-3*TC
    GOTO 204
203 CP=0.36
204 CP=1.E3*CP
    IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   HELIUM: DUMMY
3   CP=1.
    WRITE (*,100) NS
    STOP

C
C   STAHL, WST. NR. 4550
4   CP=CPST(TC)*1.E3
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   WASSERDAMPF: 1 BAR
5   IF (TC.LE.100.) THEN
    WRITE (*,'(////,20X,'ACHTUNG, KONDENSATION. TC=',F6.1)') TC
    CP=2000.
    ELSEIF (TC.LT.200.) THEN
    CP=2.2E3-2.396*TC+6.458E-3*TC**2
    ELSE
    CP=1.881E3+0.3768*TC+2.466E-4*TC**2
    ENDIF
    RETURN

C
C   MGO
6   CP=0.787+3.075E-2*SQRT(TC)-5.562E-4*TC+9.4823E-8*TC**2
    CP=1.E3*CP
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   AL2O3
7   CP=0.7017+2.615E-2*SQRT(TC)-2.06E-4*TC-5.757E-8*TC**2
    CP=1.E3*CP
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   THO2
8   CP=0.2144+4.025E-3*SQRT(TC)-4.785E-5*TC+1.178E-8*TC**2
    CP=1.E3*CP
    IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   BORNITRID
9   CP=0.545+3.953E-2*SQRT(TC)+5.594E-4*TC-4.293E-7*TC**2
    CP=1.E3*CP
    IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
    RETURN

C
C   NICR 8020
```

```
10 CP=0.502E3
RETURN
C
C ELEKTROGRAFIT
11 CP=0.3644+4.257E-2*SQRT(TC)-4.529E-5*TC-7.996E-8*TC**2
CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
RETURN
C
C KUPFER
12 CP=0.3782+1.473E-4*TC-2.968E-8*TC**2
CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
RETURN
C
C INCONEL
13 IF (TC.GT.560.) GOTO 1301
CP=0.435+2.937E-4*TC-1.589E-7*TC**2
GOTO 1310
1301 IF (TC.GT.740.) GOTO 1302
CP=0.3653+3.333E-4*TC
GOTO 1310
1302 CP=0.5671+6.071E-5*TC
1310 CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN
C
C NICKEL
14 IF (TC.GT.351.) GOTO 1401
CP=0.4467+8.047E-5*TC+1.131E-6*TC**2
GOTO 1410
1401 IF (TC.GT.400.) GOTO 1402
CP=6.145-2.8E-2*TC+3.484E-5*TC**2
GOTO 1410
1402 IF (TC.GT.615.) GOTO 1403
CP=0.523
GOTO 1410
1403 CP=0.3884+2.188E-4*TC
1410 CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.1300.) GOTO 9100
RETURN
C
C PLATIN
15 CP=0.158E3
RETURN
C
C AL2O3, 96%
16 GOTO 7
C
C QUARZGLAS
17 CP=0.6997+14.947E-4*TC-.1654E-5*TC**2+.6493E-9*TC**3
CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
RETURN
C
C ARGON
```

```
18 CP=1.
WRITE(*,100) NS
STOP
C
C ZRO2
19 IF (TK.LT.1478.) THEN
CP=565.+6.11E-2*TK-1.14E7/TK**2
ELSEIF (TK.LT.2000.) THEN
CP=604.5
ELSEIF (TK.LE.2973.) THEN
CP=171.7+0.2164*TK
ELSE
CP=815.
ENDIF
RETURN
C
C ZYFB-3
20 GOTO 19
C
C WOLFRAM
21 CP=0.13737+3.8839E-5*TC-4.5758E-9*TC**2
CP=1.E3*CP
IF (TC.GT.2000.) GOTO 9100
RETURN
C
C FASERSTOFF AUS AL2O3
22 GOTO 7
C
C MOLYBDAEN IN JOULE/KG*K
23 CP=2.3748E2 +3.846E-2*TK +1.453E-5*TK**2
IF (TC.GT.2000.) GOTO 9100
RETURN
C
9100 IF (NA(NS).EQ.1) RETURN
WRITE (*,101) NS,TK
NA(NS)=1
RETURN
END
C
C
FUNCTION CPST(TC)
C SPEZIFISCHE WAERMEKAPAZITAET VON WST. NR. 4550 IN J/(G*K)
C TC IN GRD-C.
DIMENSION C(14)
DATA C(1),C(2),C(3),C(4),C(5),C(6),C(7),C(8),C(9),C(10),C(11),
1C(12),C(13),C(14)/0.445,0.488,0.52,0.543,0.562,0.578,0.593,
20.611,0.637,0.68,0.745,0.815,0.887,0.958/
100 FORMAT (20X,'BEREICHSUEBERSCHREITUNG BEI CPST',/)
IF (TC.GT.1300.) GOTO 10
N=IFIX(TC/100.)+1
CP1=C(N+1)
CP2=C(N)
B=(CP1-CP2)/100.
A=CP1-B*FLOAT(N)*100.
CPST=A+B*TC
RETURN
```

```
10 WRITE (*,100)
   STOP
   END
C
C
   FUNCTION DEHN(NS,TK)
C
C   ES WIRD DIE DEHNUNG BERECHNET.
C
100 FORMAT (//,20X,'DEHN NICHT PROGRAMMIER. STOFF NS=',I3//)
101 FORMAT (//,20X,'BEREICHSUEBERSCHREITUNG BEI DEHN, NS=',I3,5X,
1'TK=',F7.1,' K'/,
220X,'BEI DEN FOLGENDEN RECHNUNGEN WIRD EXTRAPOLIERT!',//)
102 FORMAT (//20X,'STOFF NICHT IM PROGRAMM. NS=',I4)
C
   DIMENSION NA(100)
   COMMON/BLL/L
   TC=TK-273.16
   IF (L.NE.0) GOTO 8000
   DO 8001 I=1,100
   NA(I)=0
8001 CONTINUE
C
8000 GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,
A21,22,23),NS
C
   WRITE (*,102) NS
   STOP
C
C   UO2
1 DEHN=-4.972E-4+7.107E-6*TC+2.581E-9*TC**2+1.14E-13*TC**3
   IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
   RETURN
C
C   ZRY4
C   BEZUGSTEMPERATUR 300 K
2 IF (TC.GT.825.) GOTO 211
   DEHN=8.207E-4+TK*(-7.856E-6+TK*(1.9236E-8-TK*6.1409E-12))
   RETURN
211 IF (TC.GT.890.) GOTO 212
   DEHN=7.3E-3
   RETURN
212 IF (TC.GT.955.) GOTO 213
   DEHN=2.7E-2-2.214E-5*TC
   RETURN
213 IF (TC.GT.990.) GOTO 214
   DEHN=5.75E-3
   RETURN
214 DEHN=-6.514E-3+TK*9.7E-6
   IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
   RETURN
C
C   HELIUM : DUMMY
3 DEHN=1000.
   WRITE (*,100) NS
   STOP
C
C   STAHL, WST. NR. 4550
```

```
4 DEHN=-2.5E-4+1.85E-5*TC
  IF (TC.GT.500.) GOTO 9100
  RETURN
C
C WASSERDAMPF: DUMMY
5 DEHN=1000.
  WRITE (*,100) NS
  STOP
C
C MGO: DUMMY
6 DEHN=1000.
  WRITE (*,100) NS
  STOP
C
C AL2O3
7 DEHN=-2.931E-4+6.91E-6*TC+1.814E-9*TC**2
  IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C THO2
8 DEHN=-5.551E-5+7.9E-6*TC+1.329E-9*TC**2
  IF (TC.GT.1500.) GOTO 9100
  RETURN
C
C BORNITRID: DUMMY
9 DEHN=1000.
  WRITE (*,100) NS
  STOP
C
C NI CR 80 20
10 DEHN=-3.248E-4+1.316E-5*TC+4.789E-9*TC**2
  IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C ELEKTROGRAFIT
11 DEHN=-2.043E-4+3.846E-6*TC+6.423E-10*TC**2
  IF (TC.GT.3000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C KUPFER
12 DEHN=1.E-6*(-419.77+16.73*TC+2.528E-3*TC**2+8.037E-7*TC**3)
  IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C INCONEL 600
13 DEHN=-3.12E-4+1.345E-5*TC+3.338E-9*TC**2
  IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C NICKEL
14 GOTO 13
C
C PLATIN
15 DEHN=9.2E-6*TC
  RETURN
C
C AL2O3, 96%
```

```
16 GOTO 7
C
C QUARZGLAS
17 DEHN=-0.305E-4+.7256E-6*TC-.1493E-9*TC**2-.2084E-13*TC**3
  IF (TC.GT.1000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C ARGON: DUMMY
18 GOTO 3
C
C ZRO2
19 DEHN=-.2042E-3+.7731E-5*TC-.2771E-8*TC**2
  IF (TC.GT.1927.) GOTO 9100
  RETURN
C
C ZYFB-3
20 GOTO 19
C
C WOLFRAM
21 ALPHA=4.428E-6+7.775E-11*TC+6.6408E-13*TC**2
  DEHN=ALPHA*(TC-20.)
  IF (TC.GT.2000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C FASERSTOFF AUS AL2O3
22 DEHN=5.E-6*(TC-20.)
  IF (TC.GT.2000.) GOTO 9100
  RETURN
C
C MOLYBDAEN
23 DEHN= -1.648E-3 +6.511E-6*TK -1.278E-9*TK**2 +6.396E-13*TK**3
  IF (TC.GT.2600.) GOTO 9100
  RETURN
C
9100 IF (NA(NS).EQ.1) RETURN
  WRITE (*,101) NS,TK
  NA(NS)=1
  RETURN
  END
C
C
C FUNCTION EMISS(NS,TK)
C
C ES WIRD DER EMISSIONSKOEFFIZIENT BERECHNET.
C
100 FORMAT (//,20X,'EMISS IST NICHT PROGRAMMIERT. STOFF NS=',I3//)
101 FORMAT (//20X,'STOFF NICHT IM PROGRAMM. NS=',I4)
C
  TC=TK-273.16
C
  GOTO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,
A21,22,23),NS
C
  WRITE (*,101) NS
  STOP
C
C UO2
```

```
1 IF (TC.GT.1040.) GOTO 111
  EMISS=0.85
  RETURN
111 IF (TC.GT.1770.) GOTO 112
  EMISS=1.49-6.164E-4*TC
  RETURN
112 EMISS=0.4
  RETURN
C
C   ZRY4
  2 EMISS=0.75
  RETURN
C
C   HELIUM: DUMMY
  3 EMISS=1.
  WRITE (*,100) NS
  STOP
C
C   STAHL, WST.NR. 4550
  4 EMISS=0.69
  RETURN
C
C   WASSERDAMPF: DUMMY
  5 EMISS=1.
  WRITE (*,100) NS
  STOP
C
C   MGO: DUMMY
  6 EMISS=0.2
  RETURN
C
C   AL2O3
  7 IF (TC.GT.1300.) GOTO 71
  EMISS=0.8-3.615E-4*TC
  RETURN
71 EMISS=0.33
  RETURN
C
C   THO2
  8 IF (TC.GT.550.) GOTO 81
  EMISS=0.3
  RETURN
81 IF (TC.GT.2340.) GOTO 82
  EMISS=0.162+2.514E-4*TC
  RETURN
82 EMISS=0.75
  RETURN
C
C   BORNITRID
  9 IF (TC.GT.1600.) GOTO 91
  EMISS=0.7
  RETURN
91 IF (TC.GT.2200.) GOTO 92
  EMISS=1.5-5.E-4*TC
  RETURN
92 EMISS=0.4
```

```
RETURN
C
C   NICR 80 20
10  EMISS=0.85
    RETURN
C
C   ELEKTROGRAFIT
11  EMISS=0.8
    RETURN
C
C   KUPFER
12  EMISS=0.3
    RETURN
C
C   INCONEL 600
13  EMISS=0.7
    RETURN
C
C   NICKEL
14  EMISS=0.2
    RETURN
C
C   PLATIN
15  EMISS=0.1
    RETURN
C
C   AL2O3, 96%
16  GOTO 7
C
C   QUARZGLAS
17  EMISS=.4
    RETURN
C
C   ARGON: DUMMY
18  GOTO 3
C
C   ZRO2
19  IF (TC.GT.2200.) GOTO 191
    EMISS=.456-.855E-4*TC+.6421E-7*TC**2
    RETURN
191 EMISS=0.6
    RETURN
C
C   ZYC 30
20  GOTO 19
C
C   WOLFRAM POLIERT
21  EMISS=0.25
    RETURN
C
C   FASERSTOFF AUS AL2O3
22  GOTO 7
C
C   MOLYBDAEN POLIERT FUER KELVIN
23  EMISS= 1.391E-1-1.9E-4*TK +1.855E-7*TK**2-3.528E-11*TK**3
    IF (TK.LT.850.) EMISS= 0.09
```

C
RETURN
END

Anhang 8

JCL für das Beispiel mit Stationärlauf und Transiente mit
externer Ausgabe.

```
//AIT09430 JOB (0094,001,P423Z),WAGNER,NOTIFY=AIT094,
// TIME=3
/**MAIN LINES=10
/**
/**      JCL FUER STATIONAER- UND TRANSIENTENLAUF
/**      ANZAHL DER MASCHEN = 30
/**
/**      TESTLAUF MIT NEUER FUNCTION TN1
/**
/** EXEC F7CLG,PARM.C='DEBUG(ARGCHK,SUBCHK)',LIB=IT
/**C.SYSIN DD DSN=TSO094.STATI41.FORT(MAIN),DISP=SHR
/**
/**      DD DSN=TSO094.STATI41.FORT(LOAD),DISP=SHR
/**
/**      GEMEINSAME FUNCTIONS FUER STATIONAEREN UND TRANSIENTEN
/**      DURCHLAUF. VOM ANWENDER BEREITZUSTELLEN.
/**
/**      DD DSN=TSO094.STATI41.FORT(WBSS30),DISP=SHR
/**      DD DSN=TSO094.STATI41.FORT(WUEBSS30),DISP=SHR
/**      DD DSN=TSO094.STATI41.FORT(TSCBSS30),DISP=SHR
/**
/**      LADEN DER BENOETIGTEN SUBROUTINEN
/**
/**L.SYSIN DD *
  INCLUDE LOAD(NULLST41,KORRNU41,STOFFMKS)
/**
/**      GEMEINSAMER DATENSATZ FUER STATIONAEREN UND TRANSIENTEN
/**      DURCHLAUF. VOM ANWENDER BEREITZUSTELLEN.
/**
/**G.SYSIN DD DSN=TSO094.STATI41.DATA(BSS30),DISP=SHR
/**
/**
/**      AKTIVIERUNG DER AUSGABEEINHEIT FUER STATIONAEREN DURCHLAUF
/**      AUF FILE 50
/**
/**.FT50F001 DD DSN=AIT094.BSS30TE.DATA,
/**UNIT=DISK,VOL=SER=BAT00G,DISP=(,CATLG),SPACE=(TRK,(10,5)),
/**DCB=DCB.VBS
/**.FT50F001 DD DSN=AIT094.BSS30ST.DATA,DISP=SHR
/**G.FT50F001 DD DUMMY
/**
/**      AKTIVIERUNG DER AUSGABEEINHEIT FUER TRANSIENTEN
/**      DURCHLAUF AUF FILE 51
/**.FT51F001 DD DSN=AIT094.BSS30TR.TEST.DATA,
/**UNIT=DISK,VOL=SER=BAT00G,DISP=(,CATLG),SPACE=(TRK,(10,5)),
/**DCB=DCB.VBS
/**G.FT51F001 DD DSN=AIT094.BSS30TR.TEST.DATA,DISP=SHR
/**.FT51F001 DD DUMMY
```