

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

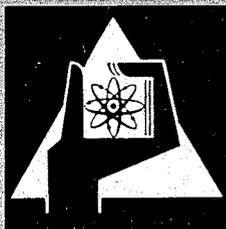
August 1968

KFK 725
EUR 3974 d

Institut für Reaktorentwicklung

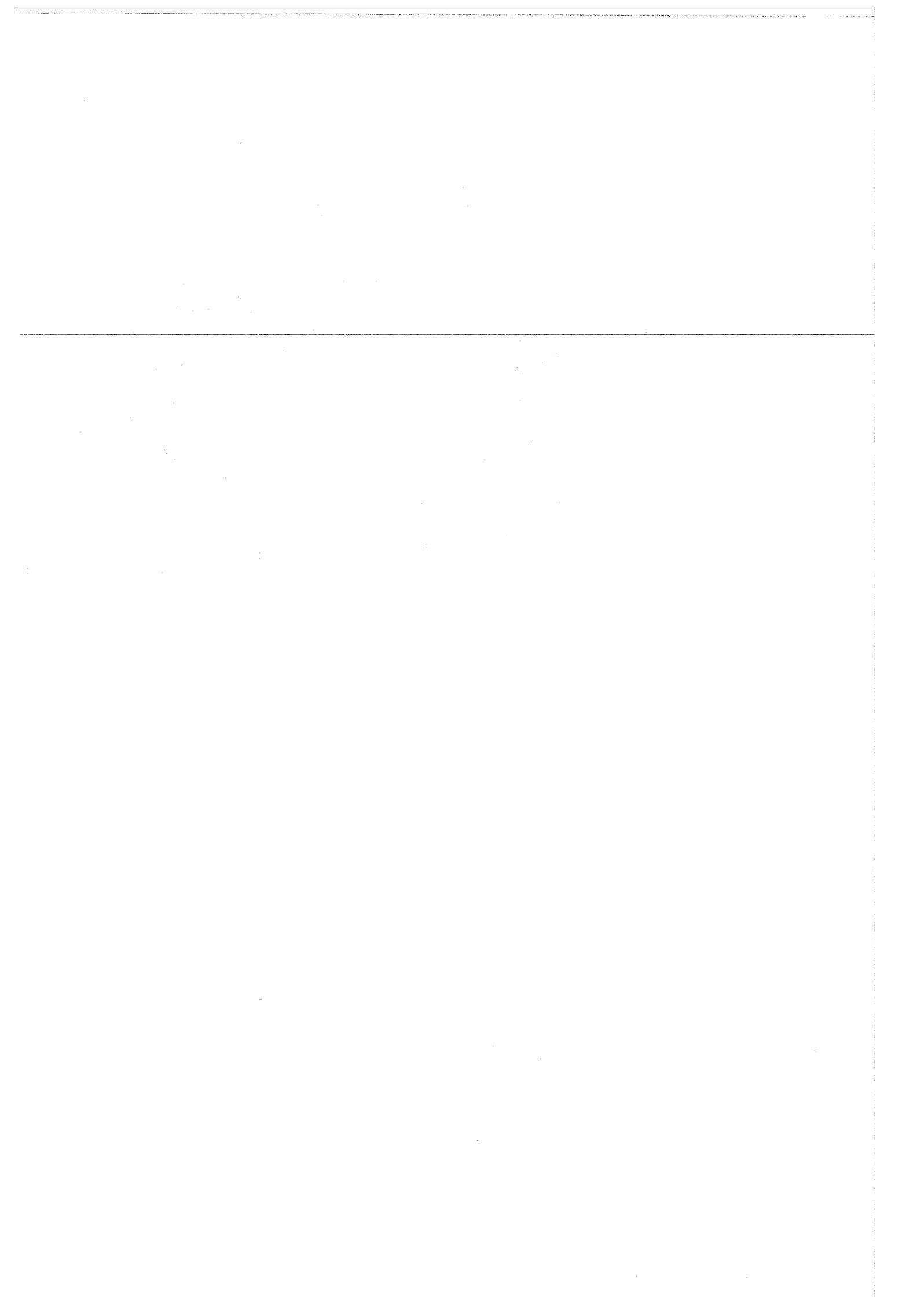
PRAWDA - Ein FORTRAN-Programm zur wärmetechnischen
Auslegung dampf- und gasgekühlter Reaktoren

K. Doetschmann, F. Hofmann, D. Kirsch



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

August 1968

KFK 725

EUR 3974 a

Institut für Reaktorentwicklung

PRAWDA- ein FORTRAN-Programm zur wärmetechnischen
Auslegung dampf- und gasgekühlter Reaktoren *)

K. Doetschmann

F. Hofmann

D. Kirsch

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

*) Diese Arbeit wurde im Rahmen der Assoziation zwischen der Europäischen Atomgemeinschaft und der Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe auf dem Gebiet der schnellen Reaktoren durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Berechnungsgrundlagen
3. Aufbau des Programms
 - 3.1 Berechnung der Kühlkanal-Geometrie
 - 3.2 Berechnung der einzelnen Reaktorabschnitte
 - 3.3 Berechnung der kühlungstechnischen Auslegungsgrößen
 - 3.4 Berechnung von Reaktoren mit Turbulenzförderern
4. Hinweise für die Benutzung
 - 4.1 Eingabe
 - 4.2 Ausgabe
 - 4.3 Fehlermeldungen
 - 4.4 Unterprogramme
 - 4.5 Speicherplatzbedarf, Segmentierung, Rechenzeit
5. Liste der im Text verwendeten Nomenklatur
6. Literatur
7. Anhang
 - 7.1 Blockdiagramm
 - 7.2 FORTRAN-Listen

1. Einleitung

Zwei der wichtigsten Größen für die Auslegung dampfgekühlter Reaktoren sind der Druckverlust des Kühlmittels im Reaktor und die maximale auftretende Hüllrohrtemperatur. Diese beiden Größen lassen sich nur dann genau berechnen, wenn die thermodynamischen Zustandsgrößen und Stoffwerte des Kühlmittels an jeder Stelle des die Auslegung bestimmenden Kühlkanals bekannt sind. Zur Bestimmung des Druckverlustes im Reaktorkern muß zunächst die Änderung der Kühlmitteldichte in axialer Richtung berechnet werden; zur Bestimmung der maximalen Hüllrohrtemperatur müssen die Zustandsgrößen und Stoffwerte des Kühlmittels ortsabhängig berechnet werden.

Unter Verwendung der Wasserdampfatafel [1] lassen sich aus Druck und Temperatur mit Hilfe von FORTRAN-Unterprogrammen [2] die übrigen Zustandsgrößen und die Stoffwerte ermitteln. Zur Lösung des Problems genügt es daher, den Verlauf von Druck und Temperatur im Kühlkanal zu berechnen. Jedoch erfordert auch dieses Vorgehen einen beträchtlichen Rechenaufwand. Von Smidt [3] wurde daher für kühlungstechnische Parameterstudien ein Verfahren angegeben, mit dem die Zustandsgrößen und Stoffwerte am Ort maximaler Hüllrohrtemperatur sowie der Druckverlust allein aus den Daten am Ein- und Austritt des Kühlkanals errechnet werden können. Zur genauen kühlungstechnischen Berechnung eines Reaktorkernes ist jedoch die Kenntnis der ortsabhängigen Änderung der Zustandsgrößen und Stoffwerte unerlässlich, damit der Druckverlust in einer numerischen Integration bestimmt werden kann und eine bessere Berechnung der maximalen Hüllrohrtemperatur möglich wird.

Das Rechenprogramm PRAWDA führt deshalb die kühlungstechnische Auslegung dampfgekühlter Reaktoren auf die Berechnung des Verlaufes von Druck und Temperatur im Kühlkanal zurück, wobei die Brennstäbe glatt oder auch durch Turbulenzförderer aufgerauht sein können. Dazu wird die Spaltstoffzone (Core) axial in 30 gleichlange Abschnitte aufgeteilt, zusätzliche Abschnitte sind die axialen Brutstoffzonen, der Bereich des Spaltgasplenums und die radiale Brutstoffzone.

Durch noch feinere Aufteilung kann die Genauigkeit nur noch unwesentlich gesteigert werden.

Das Rechenprogramm PRAWDA wurde für dampfgekühlte Reaktoren entwickelt. Unter Benutzung entsprechender Unterprogramme für die Zustandsgrößen und Stoffwerte kann dieses Rechenprogramm jedoch ohne Schwierigkeiten auch für die kühlungstechnische Auslegung gasgekühlter Reaktoren angewandt werden.

2. Berechnungsgrundlagen

In diesem Abschnitt werden die zur kühlungsstechnischen Auslegung eines dampfgekühlten Reaktors benötigten Gleichungen angegeben. Der Übersichtlichkeit wegen wird dabei nur die Spaltstoffzone betrachtet, d.h. die axialen Brutstoffmäntel, das Spaltgasplenum und der radiale Brutmantel, die im Rechenprogramm berücksichtigt sind, werden hier nicht diskutiert. Der kühlungsstechnischen Auslegung wird der nominell belastete Kühlkanal (d.h. ohne Heißkanalfaktoren) am Ort maximaler Spaltratendichte zugrunde gelegt. Die von diesem Auslegungskühlkanal abgeführte Leistung entspricht dem mittleren Abbrandzustand. Die Reaktorauslegung erfolgt nun derart, daß in diesem höchstbelasteten Kühlkanal während der gesamten Brennelementstandzeit die maximal zulässige Hüllrohrtemperatur unter Berücksichtigung aller Unsicherheitsfaktoren (Heißkanalfaktoren) nicht überschritten wird.

Folgende Größen werden für die Berechnung unabhängig vorgegeben:

die elektrische Leistung des Kernkraftwerkes	Q_{el} ,
der Eintrittsdruck des Reaktors	p_1 ,
die Austrittstemperatur des Reaktors	ϑ_2 ,
der gesamte Kühlmittelanteil in der Brennstoffzone	α ,
der Brennstabdurchmesser	d ,
die maximale nominelle Stableistung	χ_{max} ,
die maximal (im heißen Kanal) zulässige Temperatur an der Innenseite des Hüllrohrs	$T_{wi max}$.

Aus physikalischen Berechnungen dampfgekühlter Reaktoren [4] hat sich ergeben, daß bei unveränderter Aufteilung der Volumenanteile in der Spaltstoffzone in guter Näherung der radiale Leistungsformfaktor φ_{rad} konstant gesetzt und der axiale Leistungsformfaktor φ_{ax} als Funktion der Corehöhe H_c berechnet werden kann. Aus φ_{ax} und H_c kann der Abstand H_s zweier Nullstellen der als cos-förmig angenommenen Spaltratenverteilung ermittelt werden.

Für die Eintrittstemperatur des Reaktors ϑ_1 und den Nettowirkungsgrad η_N liefert die Kreislaufberechnung [5] die beiden Funktionen:

$$\vartheta_1 = \vartheta_1(p_1, p_1 - p_2, \vartheta_2) \quad (1)$$

und $\eta_N = \eta_N(p_1, p_1 - p_2, \vartheta_2) \quad (2).$

Aus geometrischen Beziehungen läßt sich der hydraulische Durchmesser d_h des Kühlkanals berechnen:

$$d_h = d_h(\alpha, d, \text{Abstandshalterzahl und -form}) \quad (3).$$

Die Leistungsbilanz für den Reaktor liefert:

$$Q_{el} = \eta_N \cdot H_c \cdot \chi_{\max} \cdot \varphi_{\text{rad}} \cdot \varphi_{\text{ax}} \cdot n \quad (4),$$

wobei n die Anzahl der Brennstäbe bezeichnet. Für die Enthalpie i des Kühlmittels als Funktion der Kühlkanal-Koordinate z im Auslegungskühlkanal ergibt sich aus einer Enthalpiebilanz, wenn $z = 0$ in der Mitte der Spaltstoffzone liegt:

$$\int_z^{H_c/2} \chi_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{H_s}\right) dz = g_o \left\{ \left[i(p_2, \vartheta_2) - i(p(z), \vartheta(z)) \right] + \left(\frac{g_o}{\frac{\pi}{4} \cdot d \cdot d_h} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{g_2^2} - \frac{1}{g^2(z)} \right) \right\} \quad (5),$$

und entsprechend für den gesamten Kühlkanal:

$$\chi_{\max} \cdot H_c \cdot \varphi_{\text{ax}} = g_o \left\{ \left[i(p_2, \vartheta_2) - i(p_1, \vartheta_1) \right] + \frac{g_o}{\frac{\pi}{4} \cdot d \cdot d_h} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{g_2^2} - \frac{1}{g_1^2} \right) \right\} \quad (6).$$

Der zweite Term auf der rechten Seite von Gl. (5) und (6) berücksichtigt jeweils die zur Beschleunigung des Kühlmittels notwendige Energie.

Der Druck p des Kühlmittels als Funktion der Kühlkanalkoordinate z errechnet sich wie folgt:

$$p(z) - p_2 = \left(\frac{g_0}{\frac{\pi}{4} \cdot d \cdot d_h} \right)^2 \cdot \left\{ \frac{f_w}{2 \cdot d_h} \cdot \int_z^{+H_c/2} \frac{dz}{\rho(z)} + \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho(z)} \right) \right\} \quad (7),$$

Für den Druckverlust im gesamten Kühlkanal ergibt sich somit:

$$p_1 - p_2 = \left(\frac{g_0}{\frac{\pi}{4} \cdot d \cdot d_h} \right)^2 \cdot \left\{ \frac{f_w}{2 \cdot d_h} \cdot \int_{-H_c/2}^{+H_c/2} \frac{dz}{\rho(z)} + \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) \right\} \quad (8).$$

Hier berücksichtigt jeweils der erste Term auf der rechten Seite von Gl. (7) und (8) den Reibungsdruckverlust, der zweite Term den Beschleunigungsdruckverlust.

Für die Berechnung der Wärmeübergangszahl h an der Stelle z des Kühlkanals wird die für Rohrbündel modifizierte Wärmeübergangsbeziehung von SUTHERLAND [6] benutzt:

$$h(z) = A \cdot \text{Re}^{m_1}(z) \cdot \text{Pr}^{m_2}(z) \cdot \left(\frac{\nu(z)}{T(z)} \right)^{m_3} \cdot \frac{\lambda(z)}{d_h} \quad (9).$$

Damit folgt für die Differenz zwischen Wandtemperatur T und Kühlmitteltemperatur ϑ an der Stelle z :

$$h(z) \cdot \pi \cdot d \cdot (T(z) - \vartheta(z)) = \chi_{\max} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot z}{H_s}\right) \quad (10).$$

Am Ort z_m maximaler Wandtemperatur (im Auslegungskühlkanal an der Außenseite des Hüllrohres) T_{\max} müssen die beiden Bedingungen

$$T(z_m) = T_{\max} \quad (11)$$

und $\left(\frac{dT(z)}{dz} \right)_{z_m} = 0 \quad (12)$

erfüllt sein. Schließlich besteht eine etwas komplizierte Beziehung zwischen der Temperatur T_{\max} und der im heißen Kanal maximal zulässigen Temperatur an der Innenseite des Hüllrohres $T_{wi \max}$:

$$T_{\max} = f(T_{wi \max}, \text{Heißkanalfaktoren, Quervermischung, ...}) \quad (13).$$

Aus den Gln. (1) bis (13) ergeben sich die folgenden vier Funktionen für den axialen Verlauf

- des Kühlmitteldruckes im Auslegungs-Kühlkanal $p(z)$,
- der Kühlmitteltemperatur im Auslegungs-Kühlkanal $\vartheta(z)$,

- der Wandtemperatur im Auslegungs-Kühlkanal $T(z)$,
- der Wärmeübergangszahl im Auslegungs-Kühlkanal $h(z)$

und die folgenden 9 Unbekannten:

- Ort maximaler Wandtemperatur im Auslegungs-Kühlkanal z_m ,
- maximale Wandtemperatur im Auslegungs-Kühlkanal T_{\max} ,
- Austrittsdruck des Reaktors p_2 ,
- Eintrittstemperatur des Reaktors ϑ_1 ,
- Nettowirkungsgrad η_N ,
- Anzahl der Brennstäbe n ,
- Höhe des Brennstoffbereiches H_c ,
- hydraulischer Durchmesser des Kühlkanals d_h ,
- Durchsatz im Auslegungs-Kühlkanal G_o .

Mit $p(z)$ und $\vartheta(z)$ sind nun auch die übrigen thermodynamischen Zustandsgrößen (z.B. die Enthalpie i oder die Dichte ρ) und die Stoffwerte (z.B. die Wärmeleitfähigkeit λ usw.) als Funktionen von z bekannt. Weitere Auslegungsgrößen - etwa der Durchmesser des Spaltstoffbereiches D_c oder der gesamte Kühlmitteldurchsatz G - lassen sich aus den ermittelten Größen unmittelbar berechnen.

3. Aufbau des Programmes

3.1 Berechnung der Kühlkanal-Geometrie

Das in Abschnitt 2 beschriebene System der Gln. (1) bis (13) kann nur unter Anwendung zahlreicher Iterationsprozesse numerisch gelöst werden. Nur die Geometrie der Kühlkanäle ergibt sich unmittelbar aus den Eingabedaten. Aus geometrischen Beziehungen wird zunächst die Teilung s der Brennstäbe unter Berücksichtigung von Form und Zahl der Abstandshalter berechnet, und zwar wahlweise für hexagonale oder quadratische Anordnung der Brennstäbe.

Kühlkanalfläche F_K und umströmter Umfang U_S der Elementarzelle (Brennstab mit zugehörigem Kühlkanal) lassen sich dann aus d , s und den Abmessungen der Abstandshalter berechnen und damit auch der hydraulische Durchmesser $d_h = 4 \cdot F_K / U_S$.

3.2 Berechnung der einzelnen Reaktorabschnitte

Der weitere Rechengang verläuft wie folgt: Für den Reaktoraustrittsdruck p_2 und die maximale Wandtemperatur im Auslegungs-Kühlkanal T_{max} werden geschätzte Werte eingegeben, aus diesen und den übrigen Werten der Eingabe werden - programmintern - mit Überschlagsrechnungen die Eintrittstemperatur ϑ_1 , die Höhe der Spaltstoffzone H_c und der Durchsatz im Auslegungs-Kühlkanal g_o in einer ersten Näherung bestimmt. Damit kann dann der Reaktorkern, beginnend am Kühlmittelaustritt, abschnittsweise durchgerechnet werden.

Für jeden Abschnitt wird eine Enthalpiebilanz

$$i_e = i_a - \left\{ \frac{X(z) \cdot \Delta z}{g_o} - \left(\frac{g_o}{F_K} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{g_a^2} - \frac{1}{g_e^2} \right) \right\} \quad (5a)$$

aufgestellt und der Druckverlust

$$\Delta p = \left(\frac{g_o}{F_K} \right)^2 \cdot \left\{ \frac{f_w}{2 \cdot d_h} \cdot \frac{\Delta z}{0,5 \cdot (g_a + g_e)} + \left(\frac{1}{g_a} - \frac{1}{g_e} \right) \right\} \quad (7a)$$

berechnet. Der Index "a" beschreibt den Austritt, "e" den Eintritt des Abschnitts, Δz seine Länge, $F_K = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot d_h$ den Kühlkanalquerschnitt. Da die Kühlmitteldichte ϱ_e am Eintritt des Abschnitts

zunächst unbekannt ist, muß eine erste Iteration im Abschnitt durchgeführt werden, an deren Ende $p_e = p_a + \Delta p$ und i_e mit vorgegebener Genauigkeit bekannt sind. Die Kühlmitteltemperatur ϑ_e läßt sich dann aus i_e und p_e berechnen, womit die Ausgangsgrößen zur Berechnung des nächsten Abschnitts bekannt sind.

Eine zweite Iteration im jeweiligen Abschnitt ist zur Bestimmung der Wandtemperatur $T(z)$ aus Gl. (10) notwendig, da in Gl. (9) zur Berechnung der Wärmeübergangszahl $h(z)$ diese Temperatur enthalten ist. Die Stoffwerte und Zustandsgrößen in Gl. (9) werden aus $p(z) = 0,5 \cdot (p_a + p_e)$ und $\vartheta(z) = 0,5 \cdot (\vartheta_a + \vartheta_e)$ berechnet.

3.3 Berechnung der kühlungstechnischen Auslegungsgrößen

Mit einer wiederholten abschnittweisen Durchrechnung des Auslegungskühlkanals zunächst nur bis zum Ort z_m maximaler Hüllrohrtemperatur werden der Durchsatz g_o und die Länge H_c des Auslegungs-Kühlkanals in einer ersten Iteration so bestimmt, daß die maximale Hüllrohrtemperatur $T(z_m)$ mit dem vorgegebenen Schätzwert T_{max} übereinstimmt. Der Ort z_m maximaler Hüllrohrtemperatur liegt immer in der Nähe des Kühlmittelaustritts aus der Spaltstoffzone. Um Rechenzeit zu sparen, wird daher die Rechnung am Reaktoraustritt begonnen.

In der nächsten Iteration wird nun der Reaktorkern vollständig durchgerechnet, es ergeben sich die Größen p_1 und ϑ_1 am Reaktoreintritt. Beide sind jedoch keine freien Variablen: p_1 wird vorgegeben und ϑ_1 ist von dem erst jetzt bekannten Reaktordruckverlust $\Delta p_{ges} = p_1 - p_2$ abhängig. Die Rechnung wird daher so lange wiederholt, bis diese beiden Größen mit den geforderten Werten übereinstimmen.

Die Rechnung kann für zwei Reaktorkonzeptionen erfolgen:

- a) Radialer Brutstoffmantel und Spaltstoffzone werden nacheinander durchströmt. Der Druckverlust im radialen Brutstoffmantel ergibt sich aus der Forderung, daß die Kühlmittel-Austrittstemperatur des höchstbelasteten Teilkanals einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten darf.

b) Radialer Brutstoffmantel und Spaltstoffzone werden parallel durchströmt. Über den vorgegebenen Leistungsanteil und die gemittelte Austrittstemperatur des radialen Brutmantels wird die Reduktion der Reaktoraustrittstemperatur ermittelt und durch entsprechende Erhöhung der Core-Austrittstemperatur wieder ausgeglichen.

Mit den nun vollständig bekannten Kühlkanaldaten führt die Subroutine HØTMIX die Heißkanalrechnung durch. HØTMIX ist eine gekürzte Version des in [7] beschriebenen Rechenprogrammes CØMIX1. In der Heißkanalrechnung wird u.a. die maximale Temperatur an der Innenseite des Hüllrohres $T_{wi \max}$ unter Berücksichtigung aller Unsicherheiten ermittelt. Diese Temperatur muß mit dem vorgegebenen Wert übereinstimmen; ist das nicht der Fall, dann wird T_{\max} entsprechend korrigiert und in einer weiteren Iteration die gesamte Berechnung so oft wiederholt, bis die Übereinstimmung genügend genau ist.

Zum Schluß werden für die physikalischen Berechnungen noch integrale Mittelwerte der Kühlmitteldichte nach der Simpson-Regel errechnet. Hierzu wird die Spaltstoffzone in axialer Richtung in fünf gleichgroße Bereiche aufgeteilt. - Anschließend werden alle Ergebnisse ausgedruckt.

3.4 Berechnung von Reaktoren mit Turbululenzförderern

Für dampf- und gasgekühlte Reaktoren kann die Verwendung von Brennstäben, die zur Verbesserung des Wärmeübergangs mit Turbulenzförderern (TF) ausgestattet sind, vorteilhaft sein. Um den dadurch verursachten zusätzlichen Druckverlust möglichst klein zu halten, wird man am Brennstab nicht auf der ganzen Länge TF anbringen, sondern nur am höchstbelasteten, zum Kühlmittelaustritt gelegenen Teil der Spaltstoffzone. Der andere Teil der Spaltstoffzone sowie die axialen Brutstoffzonen und der Bereich des Spaltgasplenums behalten glatte Oberflächen.

Mit dem Rechenprogramm PRAWDA können auch derartige Reaktoren berechnet werden. Einzugeben sind die Vergrößerung des Reibbeiwertes (FZFO, vgl. Abschn. 4.1.2) und die Verbesserung der Wärmeübergangszahl durch eine größere Konstante in der Wärmeübergangsbeziehung (AZAO, vgl. Abschn. 4.1.2). Das Rechenprogramm wählt dann selbst

die Länge der Brennstaboberfläche mit TF so, daß die maximale Hüllrohrtemperatur im glatten Teil des Brennstabes die maximale Hüllrohrtemperatur T_{\max} im Teil mit TF um wenige °C unterschreitet. Die Ergebnisse werden für alle Abschnitte ausgedruckt.

4. Hinweise für die Benutzung

4.1 Eingabe

4.1.1 Allgemeines zur Eingabe

Die zur Auslegung des Reaktors notwendigen Daten werden in freier Form eingegeben, wie dies - neben der formatkontrollierten Eingabe - an der Karlsruher IBM 7074 vorgesehen ist [8, S.53 ff.]. Dabei ist die Anordnung der Eingabedaten auf den Datenkarten mit folgenden Einschränkungen frei:

- (a) Die Reihenfolge der Daten muß die gleiche sein wie sie in der Eingabeliste (vgl. Abschn. 4.1.2) angegeben ist;
- (b) Die jeweils erste Größe einer "Karte" der Eingabeliste muß als erste Zahl einer Datenkarte erscheinen;
- (c) Die Zahlen der Datenkarten müssen durch mindestens eine Leerstelle ("Blank") voneinander getrennt sein;
- (d) Leerstellen innerhalb einer Zahl sind also nicht erlaubt (Ausnahmen siehe [8_7]).

Die Berücksichtigung des Kreislaufes der Anlage bei der Auslegung des Reaktorkernes kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

- (A) Mit der zehnten "Karte" der Eingabeliste (vgl. Abschn. 4.1.2) können Reaktoreintrittstemperatur ϑ_1 und Nettowirkungsgrad η_N unmittelbar eingelesen werden. Die Werte der Konstanten $C\phi N1$ bis $C\phi N4$ und $AK5$ bis $AK7$ sind dann beliebig, entsprechende Zahlen müssen jedoch auf den Datenkarten vorhanden sein; die Steuergröße KK muß 1 gesetzt werden.- In diesem Fall muß der Kreislauf mit den Ergebnissen der Reaktorauslegung nachgerechnet werden, möglicherweise ist dann eine Iteration notwendig.
- (B) Wenn in einer vorhergehenden Kreislaufberechnung die Funktionen

$$\vartheta_1 = \vartheta_1(p_1-p_2, \vartheta_2) \text{ mit } p_1 \text{ als Parameter} \quad (1a)$$

$$\text{und } \eta_N = \eta_N(p_1-p_2) \text{ mit } p_1, \vartheta_2 \text{ als Parametern} \quad (2a)$$

berechnet worden sind, kann eine Koppelung an den Kreislauf durch die Konstanten $C\phi N1$ bis $C\phi N4$ (verschieden für jeden Eintrittsdruck p_1) und $AK5$ bis $AK7$ (verschieden für jeden Eintrittsdruck p_1 und jede Austrittstemperatur \mathcal{V}_2) erreicht werden. Die Steuergröße KK wird 0 gesetzt, die zehnte "Karte" der Eingabeliste darf nicht vorhanden sein. - In diesem Fall werden η_N und \mathcal{V}_1 vom Programm berechnet, eine Nachrechnung des Kreislaufs ist natürlich nicht notwendig.

Die Werte von $P2$ ($= p_2$) und $TMAX$ ($= T_{max}$) müssen für die Eingabe geschätzt werden; als zweckmäßige Schätzwerte haben sich erwiesen

$$P1 - P2 = 5 \div 15 (\div 20) \text{ at} \quad (P2 = P1 - (P1 - P2))$$

$$\text{und } TMAX = 560 \div 600 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{bei } TWIM = 700 \text{ }^\circ\text{C}).$$

Reaktoren mit TF haben niedrigere Druckverluste $P1 - P2$ und höhere Wandtemperaturen $TMAX$. - Im allgemeinen wird das Programm jedoch auch bei ungenauen Schätzungen dieser beiden Werte die Rechnung durchführen und die geschätzten Werte durch die beschriebenen Iterationen beliebig genau berechnen.

4.1.2 Eingabeliste

Die Eingabedaten sind in der folgenden Eingabeliste auf neun bzw. zehn "Karten" zusammengefaßt, deren Daten jedoch - unter Beachtung der Einschränkung (b) des vorigen Abschnittes - auf zwei oder mehr Datenkarten verteilt werden können, was aber im allgemeinen nicht erforderlich sein wird. Festkommazahlen sind nur die Steuergrößen KK , KRB und $KGEO$, alle anderen Größen sind Gleitkommazahlen.

1. Karte

QEL	MW	Elektrische Leistung des Reaktors
CHIM	W/cm	Größte Stableistung im Auslegungs-Kühlkanal (vgl. Abschn. 2)
D	cm	Brennstabdurchmesser
S1	l	Durch Abstandshalter wird der Umfang des Kühlkanals um $S1 \approx (S-D)$ vergrößert (S = Brennstab-Teilung)
S2	l	Durch Abstandshalter wird die Fläche des Kühlkanals um $S2 \approx (S-D) \approx 2$ verringert.
SH	cm	Hüllrohrwandstärke
DB	cm	Brennstoff-(Pellet-)Durchmesser
SAMH	$\frac{W}{cm \cdot grd}$	Wärmeleitfähigkeit des Hüllrohres
SAMBR	"	Wärmeleitfähigkeit des Brennstoffes (integral gemittelt)

2. Karte

P1	ata	Kühlmitteldruck am Reaktoreintritt
P2	ata	Geschätzter Wert für Kühlmitteldruck am Reaktorausritt
$C\phi N1$	grd/at^2	Konstante zur Berechnung der Kühlmitteltemperatur am Reaktoreintritt TH1 aus Druckverlust und Kühlmitteltemperatur am Reaktorausritt TH2:

$$TH1 = C\phi N1 \cdot (P1 - P2) \cdot \sqrt{2} + C\phi N2 \cdot (P1 - P2) + C\phi N3 - C\phi N4 \cdot TH2$$

Die Konstanten $C\phi N1$ bis $C\phi N4$ ergeben sich aus der Kreislaufberechnung; wenn $KK = 1$, ist ihr Wert beliebig, sie müssen aber vorhanden sein (s. 9. Karte)

$C\phi N2$	grd/at	s. $C\phi N1$
$C\phi N3$	$^{\circ}C$	s. $C\phi N1$
$C\phi N4$	1	s. $C\phi N1$

3. Karte

TWIM	°C	Maximal zulässige Hüllrohrinnentemperatur im heißen Kanal
TMAX	°C	Geschätzter Wert der maximalen Hüllrohr- außentemperatur im Auslegungskühlkanal (nom. Kanal)
TH2	°C	Kühlmitteltemperatur am Reaktorausritt (Gemischtemperatur)
AK6	1/at ²	Konstante zur Berechnung des Nettowirkungs- grades ETAN (= Q_{el}/Q_{th}) aus dem Druckverlust: $ETAN = - AK6 \cdot (P1 - P2) \cdot \cdot 2$ $- AK5 \cdot (P1 - P2) + AK7$ <p>Die Konstanten AK5 bis AK7 ergeben sich aus der Kreislaufberechnung; wenn KK = 1, ist ihr Wert beliebig, sie müssen aber vorhanden sein (s. 9. Karte)</p>
AK5	1/at	s. AK6
AK7	1	s. AK6

4. Karte

PHIRAD	1	Radialer Leistungsformfaktor
C1	1	Konstante zur Berechnung des axialen Leistungs- formfaktors PHIAX aus der Core-Höhe HC $PHIAX = C1 + C2 \cdot HC + C3 \cdot HC \cdot \cdot 2$ $+ C4 \cdot HC \cdot \cdot 3 + C5 \cdot HC \cdot \cdot 4$
C2	cm ⁻¹	s. C1
C3	cm ⁻²	s. C1
C4	cm ⁻³	s. C1
C5	cm ⁻⁴	s. C1

5. Karte

BETA0	1	Strukturmaterial-Volumenanteil ohne Hüllrohre und Abstandshalter und ohne BETA01. Alle Volumenanteile sind auf das Volumen der ganzen Brennstoffzone bezogen!
BETA01	1	Strukturmaterial-Volumenanteil in Steuerstabpositionen (ohne Sechskant-Mantelrohre)
ALPHA2	1	Kühlmittel-Volumenanteil in Steuerstabpositionen
ALPHA5	1	Kühlmittel-Volumenanteil zwischen den Sechskant-Mantelrohren der Brenn- und Steuerstabelemente
AK2	1	Follower-Volumenanteil (bzw. Leervolumen, wenn kein Follower vorhanden, oder Absorbervolumen, je nach Stellung des Steuerstabes)
S3	1	Der Abstand der Brennstabmitte der äußersten Reihe vom Brennelement-Sechskant-Mantelrohr ist $S3 \approx (S-D) + 0,5 \cdot D$
AST	1	Anzahl der Brennstäbe pro Brennelement
STH	cm	Steigung der Abstandshalter
KGEO	1	Steuergröße a) KGEO = 0 : Hexagonale Anordnung der Brennstäbe b) KGEO = 1 : Quadratische Anordnung der Brennstäbe

6. Karte

WZM1	cm ⁻¹	Größe der Quervermischung mit den Nachbarkanälen (für einen Brennstab; für den von drei Brennstäben umgebenen heißen Kanal - Teilkanal des Kühlkanals - ist die Quervermischung also 3.WZM1)
------	------------------	--

V1	1	Nicht von der Quervermischung beeinflusster Anteil der Leistungserhöhung im heißen Kanal (einschl. Abbrandfaktor)
V2	1	Von der Quervermischung beeinflusster Anteil der Leistungserhöhung im heißen Kanal (Stableistung im heißen Kanal also maximal = CHIM · V1 · V2)
V4	1	Unsicherheitsfaktor bei der Berechnung des Temperaturanstieges <u>zum</u> Hüllrohr
V5	1	Unsicherheitsfaktor bei der Berechnung der Kühlmitteltemperatur
V6	1	Unsicherheitsfaktor bei der Berechnung des Temperaturanstieges <u>im</u> Hüllrohr
VL	1	Leckagefaktor; die Erhöhung der Kühlmittelenthalpie im Reaktor Δ_i ist gegenüber der Erhöhung im Auslegungs-Kühlkanal $\Delta_{i \max}$ vermindert durch Leckage (VL), Drosselung auf gleiche maximale Wandtemperatur (VS - s. VS1) und - bei paralleler Durchströmung von Brennstoffzone und radialer Brutstoffzone (KRB = 1) - durch Mischung mit dem kälteren Kühlmittel aus der radialen Brutstoffzone (VLRB - programmintern berechnet), so daß $\Delta_i = VL \cdot VS \cdot VLRB \cdot \Delta_{i \max}$
VS1	1	Konstante zur Berechnung des Schiefplast- (= Drossel-)Faktors $VS = VS1 + VS2 \approx DC$ (s. VL). Bei Drosselung auf gleiche mittlere Austrittstemperatur ist $VS1 = 1.$, $VS2 = 0.$ zu setzen.
VS2	cm^{-1}	s. VS1
DS	cm	Die Brennstab-Teilung ist im heißen Kanal gegenüber dem nominellen Wert S um DS verringert.

7. Karte

HBL	cm	Länge einer axialen Brutstoffzone (untere und obere gleichlang)
VHSP	1	Verhältnis Länge des Spaltgasplenums zu Höhe des Spaltstoffbereichs
VQC	1	Anteil der thermischen Leistung der Spaltstoffzone an der gesamten thermischen Leistung
VQBL	1	Anteil einer axialen Brutstoffzone an der gesamten thermischen Leistung (gleich für obere und untere axiale Brutstoffzone)
VQBRAD	1	Anteil der radialen Brutstoffzone an der gesamten thermischen Leistung

Es muß stets gelten:

$$VQC + 2 \cdot VQBL + VQBRAD = 1$$

8. Karte

THBLA	°C	Kühlmitteltemperatur am Austritt des höchstbelasteten Teilkanals der radialen Brutstoffzone (für KRB = 0, s.u.)
VCBLR	1	Verhältnis nominelle Stableistung im höchstbelasteten Teilkanal der radialen Brutstoffzone zu maximaler nomineller Stableistung (CHIM) in der Spaltstoffzone (für KRB = 0, s.u.)
FKBLR	cm ²	Querschnittsfläche eines Teilkanals der radialen Brutstoffzone (für KRB = 0, s.u.)
DHBLR	cm	Hydraulischer Durchmesser eines Teilkanals der radialen Brutstoffzone (für KRB = 0, s.u.)
FWBLR	1	Reibungsbeiwert im Teilkanal der radialen Brutstoffzone (für KRB = 0, s.u.)

DTRB	°C	Die mittlere Austrittstemperatur des Kühlmittels (= Gemischaustrittstemperatur) beim Austritt aus der radialen Brutstoffzone ist um DTRB geringer als die Reaktoraustrittstemperatur TH2 (für KRB = 1, s.u.)
KRB	1	Steuergröße
a) KRB = 0		
Radiale Brutstoffzone und Brennstoffzone werden vom Kühlmittel nacheinander durchströmt. (Wert von DTRB beliebig, muß aber vorhanden sein)		
b) KRB = 1		
Radiale Brutstoffzone und Brennstoffzone werden vom Kühlmittel parallel durchströmt. (Werte von THBLA, VCBLR, FKBLR, DHBLR, FWBLR beliebig, müssen aber vorhanden sein)		

9. Karte

ALPHA1	1	Gesamter Kühlmittel-Volumenanteil in der Brennstoffzone
F1	1	Der Reibungsbeiwert FW wird berechnet aus

$$FW = \frac{F1 \cdot CFW}{Re^{F2}}$$

CFW faßt den konstanten Ausdruck $F^{0,915} \cdot \frac{U_B}{U_{ges}} = f(S, D, STH, S1, S2, S3, AST)$ in der REHME-Formel für den Reibungsbeiwert zusammen; bei Verwendung dieser Formel (Wendeldrähte als Abstandshalter) ist $F1 = 0.1317$, $F2 = 0.17 \sqrt{9}$. Für Berechnungen mit konstantem Reibungsbeiwert FW ist zu setzen $F1 = FW$, $F2 = 0$; programmintern wird dann $CFW = 1$ gesetzt.

F2	1	s. F1
FZFO	1	Verhältnis Reibungsbeiwert bei durch Mikrorippen (turbulence promoters) aufgerauhtem Brennstab zum Reibungsbeiwert FW bei glattem Brennstab. (FZFO = 1., wenn der ganze Brennstab glatt)

AZAO 1 Verhältnis ANG (s.u.) bei durch Mikrorippen
(turbulence promoters) aufgerauhtem Brennstab
zu ANG bei glattem Brennstab (AZAO = 1., wenn
der ganze Brennstab glatt)

ANG 1 Konstante der Wärmeübergangsgleichung
$$Nu = ANG \cdot Re^{EUK} \cdot Pr^{EUP} \cdot \left(\frac{T_b}{T_w}\right)^{EUT}$$

EUK 1 s. ANG

EUP 1 s. ANG

EUT 1 s. ANG

KK 1 Steuergröße

a) KK = 0 : Programm berechnet ETAN und TH1
(s. CØN1 und AK6), 10. Karte
darf nicht vorhanden sein.

b) KK = 1 : ETAN und TH1 werden mit der
10. Karte eingelesen

10. Karte (nur vorhanden, wenn KK = 1)

TH1 °C Kühlmitteltemperatur am Reaktoreintritt

ETAN 1 Nettowirkungsgrad (Quotient aus abgegebener
elektrischer zu gesamter erzeugter thermischer
Leistung)

Eingabe-Endkarte

Soll nach der Auswertung eines oder mehrerer Eingabe-Datensätze
die Rechnung beendet werden, so ist die Eingabe-Endkarte als
letzte Eingabe-Datenkarte beizufügen. Sie muß wie die erste
"Karte" 9 Gleitkommazahlen enthalten, der Wert der ersten muß 0.
sein, der der übrigen ist beliebig.

N.B.: Die Größen VQC, VQBL, VQBRAD und DTRB sind als Werte eines eingefahrenen Reaktors bei halbem Abbrand einzugeben. Diese Forderung bedingt u.U. eine Iteration mit den physikalischen Berechnungen, die aber auch wegen anderer Werte (PHIRAD, C1 usw.) erforderlich sein kann.

4.1.3 Eingabebeispiel

Die beiden folgenden Reaktoren sollen in einem Lauf gerechnet werden:

- (1) 1000 MW_e-Reaktor mit durch TF aufgerauhten Brennstäben in hexagonaler Anordnung; 6 Wendelrippen mit quadratischem Querschnitt als Abstandshalter, Abstützung Rippe auf Rippe; Leckage, Drosselung auf gleiche maximale Wandtemperatur der Brennelemente; Spaltstoffzone und radiale Brutstoffzone werden parallel durchströmt; über die Konstanten C_{ØN1} bis C_{ØN4} und AK5 bis AK7 Koppelung an den Kreislauf.
- (2) 300 MW_e-Reaktor mit glatten Brennstäben in quadratischer Anordnung; 1 Wendeldraht mit kreisförmigem Querschnitt als Abstandshalter, Abstützung Draht auf Hüllrohr; keine Leckage, Drosselung auf gleiche mittlere Austrittstemperatur der Brennelemente; radiale Brutstoffzone und Spaltstoffzone werden in Reihe durchströmt; keine Koppelung an den Kreislauf: TH1 und ETAN werden eingegeben.

Weitere charakteristische Daten der beiden Reaktoren sind aus den Datenkarten ohne weitere Erläuterung abzulesen.

(3) Eingabe-Endkarte

Eingabe-Datenkarten:

(1) 1000. 420. 0.7 6.0 1.5 0.037 0.62 0.19 0.0216
150. 140. 0.016 0.28 345.5 0.00375
700. 580. 520. 4.6E-05 0.00171 0.4084
0.84 1.03837 -4.1973E-03 2.0274E-05 -3.6191E-08 0.
0.1 0.0069 0.0085 0.0025 0.0161 0.5 331. 60. 0.
0.02 1.145 1.03 1.135 1.05 1. 0.97 0.881
2.83E-04 0.01
35. 0.5 0.95 0.015 0.02
0. 0. 0. 0. 0. 80. 1
(1) 0.285 0.017 0. 5. 2. 0.020 0.8 0.6 0.575 0
(2) 300. 390. 0.7 3.1416 0.7854 0.037 0.62 0.19
0.0216
120. 112. 0. 0. 0. 0.
700. 570. 460. 0. 0. 0.
0.84 1.03837 -4.1973E-03 2.0274E-05 -3.6191E-08 0.
0.103 0.0163 0.0177 0.0336 0.0525 1. 169.
10. 1.
0.03 1.145 1.03 1.135 1.05 1. 1. 1. 0. 0.01
35. 0.5 0.95 0.015 0.02
600. 0.655 0.348 0.307 0.017 0. 0

↓	0.320	0.1317	0.17	1.	1.	0.0141	0.85	0.6
		0.575	1					
(2)	332.9	0.341						
(3)	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

4.2 Ausgabe

Die Ergebnisse der Rechnung werden in vier Gruppen ausgedruckt:

- a) Unter der Überschrift ITERATIONSPARAMETER werden an verschiedenen Stellen der Rechnung die gerade berechneten Werte der unten aufgeführten Parameter ausgedruckt, so daß der Verlauf der Iterationen leicht zu verfolgen ist;
- b) Unter der Überschrift H2O-DAMPF-GEKUEELTER SCHNELLER BRUTREAKTOR erscheinen die Auslegungsgrößen des Reaktors, darunter auch die Eingabedaten;
- c) Unter der Überschrift INTEGRALE MITTELWERTE DER DICHTEN IM CORE werden die für die physikalischen Berechnungen benötigten mittleren Dichten in der Spaltstoffzone ausgegeben;
- d) Unter der Überschrift AXIALE TEMPERATUR-, DRUCK- UND DICHTEVERTEILUNG IM KUEHLKANAL werden die im Auslegungs-Kühlkanal abhängig von der axialen Kühlkanal-Koordinate z berechneten Größen ausgedruckt.

Die bei der Ausgabe auftretenden Bezeichnungen sind in der folgenden Liste erläutert, soweit sie nicht bereits in der Eingabeliste in Abschn. 4.2.1 erklärt sind.

a) Iterationsparameter (1. Seite der Ausgabe)

ITWI	1	Variable, die angibt, wie oft das Unterprogramm HØTMIX zur Berechnung der Temperaturen im heißen Kanal aufgerufen wurde.
TWIMAX	°C	Durch HØTMIX berechnete maximale Hüllrohrinnentemperatur im heißen Kanal
TMAX	°C	Vorgegebener (zunächst geschätzter, dann programmintern korrigierter) Wert der maximalen Hüllrohraußentemperatur im Auslegungskühlkanal
DPGES	ata	Druckverlust im Reaktor
P(1)	ata	Druck am Reaktoreintritt als Ergebnis der abschnittweisen Berechnung vom Austritt zum Eintritt
DELTAP	ata	Differenz zwischen P(1) und dem vorgegebenen P1
TH(1)	°C	Temperatur am Reaktoreintritt als Ergebnis der abschnittweisen Berechnung vom Austritt zum Eintritt
DELTAT	°C	Differenz zwischen TH(1) und dem aus den Kreislaufkonstanten mit DPGES berechneten TH1
GO	g/s	Kühlmitteldurchsatz im Auslegungs-Kühlkanal
HC	cm	Höhe des Spaltstoffbereiches
THZMX	°C	Kühlmitteltemperatur an der Stelle der maximalen Hüllrohraußentemperatur im Auslegungs-Kühlkanal TMAXS
TMAXS	°C	Berechnete maximale Hüllrohraußentemperatur im Auslegungs-Kühlkanal

b) Auslegungsgrößen des Reaktors (2. Seite der Ausgabe)

QTH	MW	Thermische Leistung des Reaktors (einschließlich Brutstoffzonen)
THETA1	°C	= TH1 (Reaktoreintrittstemperatur)
THETA2	°C	= TH2 (Reaktoraustrittstemperatur)
TWIMAX	°C	Tatsächlich berechnete maximale Hüllrohr- innentemperatur im heißen Kanal ($TWIM \geq TWIMAX$ $\geq TWIM - 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}$)
CHIMAX	W/cm	= CHIM (größte Stableistung im Auslegungskühlkanal)
NR	l	Anzahl der Abschnitte mit TF der Spaltstoffzone (von insgesamt 30)
WZM	cm ⁻¹	= WZM1 (Größe der Quervermischung mit den Nachbarkanälen)
PHIAX	l	Axialer Leistungsformfaktor
P2	ata	Bei der Ausgabe: tatsächlich berechneter Wert des Reaktoraustrittsdruckes
DPGESR	ata	Druckverlust im Reaktor
G	kg/s	Gesamter Kühlmitteldurchsatz durch den Reaktor
GO	g/s	Kühlmitteldurchsatz im Auslegungskühlkanal
DH	cm	Hydr. Durchmesser des Auslegungs-Kühlkanals
S	cm	Brennstabteilung
FK	cm ²	Querschnittsfläche des Auslegungskühlkanals
HC	cm	Höhe des Spaltstoffbereiches
DC	cm	Durchmesser des Spaltstoffbereiches
HZUD	l	HC/DC
VC	m ³	Volumen des Brennstoffbereiches
TWAMAX	°C	Maximale Hüllrohräußentemperatur im heißen Kanal

TBIMAX	°C	Maximale Brennstoffzentraltemperatur im heißen Kanal (ohne Berücksichtigung eines zentralen Kamins)
VLRB	l	Blanketfaktor (s. Eingabeliste, VL)

c) Mittelwerte der Dichten in der Spaltstoffzone

RHOQ	g/cm ³	Integraler Mittelwert der Kühlmitteldichte in der Brennstoffzone
------	-------------------	--

d) Im Auslegungskühlkanal abhängig von der axialen Kühlkanal-
koordinate berechnete Größen (3. Seite der Ausgabe)

Z	cm	Axiale Kühlkanalkoordinate
TH	°C	Kühlmitteltemperatur
P	ata	Kühlmitteldruck
RHØ	g/cm ³	Kühlmitteldichte
I	kcal/kg	Kühlmittelenthalpie
CP	WS/(g·grd)	Spezifische Wärme des Kühlmittels
W	m/s	Geschwindigkeit des Kühlmittels
RE	l	REYNOLDS-Zahl des Kühlmittels
PR	l	PRANDTL-Zahl des Kühlmittels
CHI	W/cm	örtliche Stabileistung
H	W/(cm ² ·grd)	Wärmeübergangszahl
TWA	°C	Hüllrohräußentemperatur
TWI	°C	Hüllrohrinnentemperatur
TBI	°C	Brennstoffzentraltemperatur

4.3 Fehlermeldungen

Alle Fehlermeldungen, sowohl die unter Abschn. 4.3.1 wie die unter Abschn. 4.3.2, sind dann ohne Bedeutung, wenn sie zwischen den Iterationsparametern vor dem letzten auftretenden ITWI (vgl. Abschn. 4.2) erscheinen und nach diesem die vollständige Ergebnisliste ausgedruckt wird.

4.3.1 Fehlermeldungen, die beim Abbruch der Rechnung ausgedruckt werden

Beim Auftreten eines Fehlers, der zum Abbruch der Rechnung führt, wird eine der folgenden Meldungen ausgedruckt:

(1) S UND DH NICHT BERECHENBAR

(2) PHIAx (= ...) WIRD ZU GROSS ODER ZU KLEIN

In der Klammer wird die berechnete Größe des axialen Leistungsformfaktors φ_{ax} angegeben;

(2a) $\varphi_{ax} \geq 1,$

(2b) $\varphi_{ax} \leq \frac{2}{\pi} = 0,637$ (Kleinstwert bei cos-förmiger Leistungsverteilung)

(3) ETAN (= ...) NICHT MEHR POSITIV

In der Klammer wird der berechnete Wert des Nettowirkungsgrades η_N angegeben.

(4) KEINE KONVERGENZ FUER TH1 ODER P2,

TH1 = ... P2 = ... DELTATH = ... DELTAP = ...

Es werden die berechneten Werte angegeben für

TH1 Eintrittstemperatur,

P2 Austrittsdruck,

DELTATH Differenz zwischen der mit dem Druckverlust aus Gl. (2) (S. 4) ermittelten oder eingegebenen Eintrittstemperatur TH1 und der nach der abschnittweisen Durchrechnung sich ergebenden Temperatur TH(1),

DELTAP Differenz zwischen dem Eintrittsdruck P_1 und dem nach der abschnittweisen Durchrechnung sich ergebenden Druck $P(1)$.

(Bei Konvergenz ist sowohl $\text{DELTATH} < 1 \text{ } ^\circ\text{C}$ als auch $\text{DELTAP} < 0,1 \text{ at}$).

Wird die Rechnung abgebrochen, dann werden außer den Fehlermeldungen (1) bis (4) unter der Überschrift EINGABE die wichtigsten Eingabedaten (QEL, CHIMAX, P_1 , TWIM, TH2, ALPHAL, D, AZAO, S1, S2) ausgedruckt, so daß leicht festzustellen ist, für welche von mehreren eingegebenen Fällen die Auslegung nicht möglich war. Weiter erscheint die Angabe

RECHNUNG ABGEBROCHEN BEI ITWI = ... (Bedeutung von ITWI s. 4.2). Anschließend wird mit dem Einlesen der Eingabedaten des nächsten zu berechnenden Falles begonnen oder die Rechnung beendet.

Wenn der Abbruch der Rechnung mit Ausgabe einer der Fehlermeldungen (1) bis (4) nicht durch einen Eingabefehler verursacht ist, dann bedeutet eine solche Fehlermeldung im allgemeinen, daß der zu berechnende Reaktor für die eingegebenen Daten nicht auszulegen ist.

Kann schon die Kühlkanal-Geometrie nicht berechnet werden - Fehlermeldung (1) - , dann kann z.B. ein anderer Kühlmittelanteil ALPHAL, ein anderer Stabdurchmesser D oder eine andere Form der Abstandshalter (S1, S2) eine Auslegung noch möglich machen; diese Rechnung, die keine Iteration enthält, ist leicht mit dem Rechenschieber überprüfbar. Wenn mit einer der Fehlermeldungen (2) bis (4) abgebrochen wird, dann kann z.B. ein Versuch mit einer niedrigeren Austrittstemperatur TH2 oder einer höheren zulässigen Hüllrohrinnentemperatur TWIM zum Erfolg führen.

Die Möglichkeit, daß eine ungeschickte Schätzung der maximalen nominellen Hüllrohräußentemperatur TMAX zum Abbruch führt, obwohl eine Auslegung möglich ist, ist zwar nahezu ausgeschlossen, da solche Schätzungen vom Programm selbsttätig korrigiert werden, doch soll sie erwähnt werden. Mit Hilfe der ausgedruckten Iterationsparameter (s. 4.2) ist leicht festzustellen, ob ein solcher Fall vorliegt.

4.3.2 Fehlermeldungen, nach denen die Rechnung fortgeführt wird (Warnungen)

- (5) MEHR ALS 5 ITERATIONEN UEBER DTH,
N = ..., IDT = ..., DDT = ..., DDT0 = ...

Im N-ten Abschnitt ist die Iteration über Druckverlust und Enthalpiebilanz nicht konvergent gewesen ($DDT0 \leq DDT$), nach IDT (> 5) Schritten wurde die Iteration abgebrochen und mit den bis dahin ermittelten Werten die Berechnung des nächsten Abschnitts begonnen; der Einfluß auf das Endergebnis kann bei kleinen Werten von DDT vernachlässigbar sein.

(Diese Fehlermeldung (5) tritt im Normalfall auch dann nicht auf, wenn die Rechnung mit einer anderen Fehlermeldung abgebrochen wird)

- (6) MEHR ALS 5 ITERATIONEN UEBER TWI, ITWI = ...

Die Iteration zur Berechnung der maximalen Hüllrohrinnentemperatur im heißen Kanal (TWIMAX) ist nach ITWI Schritten divergent. Die bis dahin berechneten Werte werden als Endergebnis ausgedruckt, dessen Verwertbarkeit aus der Abweichung des angegebenen Wertes für TWIMAX vom Eingabewert TWIM abzulesen ist.

4.4 Unterprogramme

Das Hauptprogramm PRAWDA ruft während der Rechnung die folgenden Unterprogramme:

1. Zur Berechnung der Temperaturen im heißen Kanal
 - maximale Hüllrohräußentemperatur TWAMAX,
 - maximale Hüllrohrinnentemperatur TWIMAX,
 - maximale Brennstoffzentraltemperatur TBIMAX -

die

SUBROUTINE HOTMIX,

eine gekürzte Version des Programmes COMIX1 [7].

2. Für die Ausgabe der berechneten Ergebnisse die
SUBROUTINE OUTPT;
vor den Ausgabebefehlen werden in diesem Unterprogramm noch
verschiedene Größen berechnet, die während der Iterationen
im Hauptprogramm nicht benötigt werden.
3. Für die Ausgabe der wichtigsten Eingabedaten bei Abbruch der
Rechnung (s. 4.3.1) die
SUBROUTINE COMBRE.
4. Zur Berechnung der extrapolierten Höhe des Spaltstoffbereichs
aus dem axialen Leistungsformfaktor φ_{ax} die
FUNCTION AFUNC
Das Unterprogramm OUTPT ruft:
5. Zur Berechnung integraler Mittelwerte der Dichten
FUNCTION BFUNC.

Sowohl vom Hauptprogramm PRAWDA als auch vom Unterprogramm
HOTMIX werden gerufen:
6. Zur Ermittlung der thermodynamischen Zustandsgrößen und Stoff-
werte von Wasserdampf als Funktion von Druck und Temperatur
FUNCTION HDI (Enthalpie),
FUNCTION HDV (spez. Volumen),
FUNCTION ETA (dyn. Zähigkeit),
FUNCTION FLAM (Wärmeleitfähigkeit),
sowie als Unterprogramme hierzu für die Ermittlung der
Sättigungstemperatur zu einem bestimmten Druck die
FUNCTION TS
und für die Ermittlung des Sättigungsdruckes zu einer be-
stimmten Temperatur die
FUNCTION PS.

Die unter 6. genannten Unterprogramme sind in [2] ausführlich
beschrieben, für die übrigen Unterprogramme sind im Anhang
(Abschn. 7.2) die FORTRAN-Listen abgedruckt.

4.5 Speicherplatzbedarf, Segmentierung, Rechenzeit

Ohne die Laderoutinen für die Segmentierung (250 Speicherplätze) werden für das Programm PRAWDA, für die im Abschnitt 4.4 genannten Unterprogramme, für die aufgerufenen Bibliotheksunterprogramme und für das FORTRAN-Package insgesamt etwa 11 200 Speicherplätze benötigt. Das Programm läßt sich also nicht mehr in den nur knapp 10 000 Speicherplätze umfassenden Kernspeicher der Karlsruher IBM 7074 laden. Für Rechnungen an dieser Maschine mußte daher das Programm segmentiert werden, eine Aufteilungsart, bei der die FORTRAN-Statements unverändert bleiben. Als günstigste Segmentierung erwies sich die folgende:

- * ØVL HDI (1. Zweigsegment)
Unterprogramme HDI, TS
- * ØVL ØUTPT (2. Zweigsegment)
Unterprogramme ØUTPT, BFUNC
- * ØVL CØMBRE (3. Zweigsegment)
Unterprogramm CØMBRE
- * ØVL RØUTSEGMNT (Stammsegment)
Hauptprogramm PRAWDA,
Unterprogramme HØTMIX, AFUNC, HDV, ETA, FLAM, TS, PS

Die Rechenzeit für die Auslegung eines Reaktors beträgt im Normalfall etwa 3 bis 3,5 Minuten, kann aber bei sehr großen Druckverlusten im Reaktor (> 15 at) 5 Minuten mehr betragen.

5. Liste der im Text verwendeten Nomenklatur

Die FØRTRAN-Bezeichnungen, die in der Eingabe- oder Ausgabeliste (Abschnitt 4.1.2 bzw. 4.2) bereits erläutert sind, werden hier nicht mehr aufgeführt.

5.1 Nomenklatur

Zeichen	Dimension	Bedeutung
A	1	Konstante der NUSSELT-Gleichung (s. Gl. (9))
d	cm	Brennstabdurchmesser
D _c	cm	Durchmesser der Spaltstoffzone
d _h	cm	hydraulischer Durchmesser des Auslegungs-Kühlkanals
F _k	cm ²	Querschnittsfläche des Auslegungs-Kühlkanals
f _w	1	Reibungsbeiwert
G	kg/s	Gesamter Durchsatz durch den Reaktor
g _o	g/s	Durchsatz im Auslegungs-Kühlkanal
h	W/(cm ² ·grd)	Wärmeübergangszahl
H _c	cm	Höhe der Spaltstoffzone
H _s	cm	Extrapolierte Höhe der Spaltstoffzone
i	kcal/kg	Enthalpie des Kühlmittels
m ₁	1	Exponent der REYNOLDS-Zahl in Gl. (9)
m ₂	1	Exponent der PRANDTL-Zahl in Gl. (9)
m ₃	1	Exponent des Temperatur-Korrekturfaktors in Gl. (9)
n	1	Gesamtzahl der Brennstoffstäbe

p	kp/cm ² =at	Kühlmitteldruck
Q _{el}	MW	Elektrische Leistung des Kernkraftwerkes
s	cm	Teilung der Brennstäbe
T	°C	Hüllrohrtemperatur
U _s	cm	Umströmter Umfang des Auslegungs-Kühlkanals
z	cm	Axiale Längenkoordinate im Kühlkanal
z _m	cm	Stelle maximaler Hüllrohraußentemperatur im Auslegungs-Kühlkanal
α	l	Volumenanteil des Kühlmittels in der Spaltstoffzone
Δp	kp/cm ² =at	Druckverlust (ohne Index: im Abschnitt)
Δz	cm	Länge eines Abschnitts
η _N	l	Nettowirkungsgrad
ϑ	°C	Kühlmitteltemperatur
λ	W/(cm·grad)	Wärmeleitfähigkeit des Kühlmittels
ρ	g/cm ³	Kühlmitteldichte
φ	l	Leistungsformfaktor
χ	W/cm	Stableistung

5.2 Indizes, soweit sie nicht bereits unter 5.1 erklärt sind

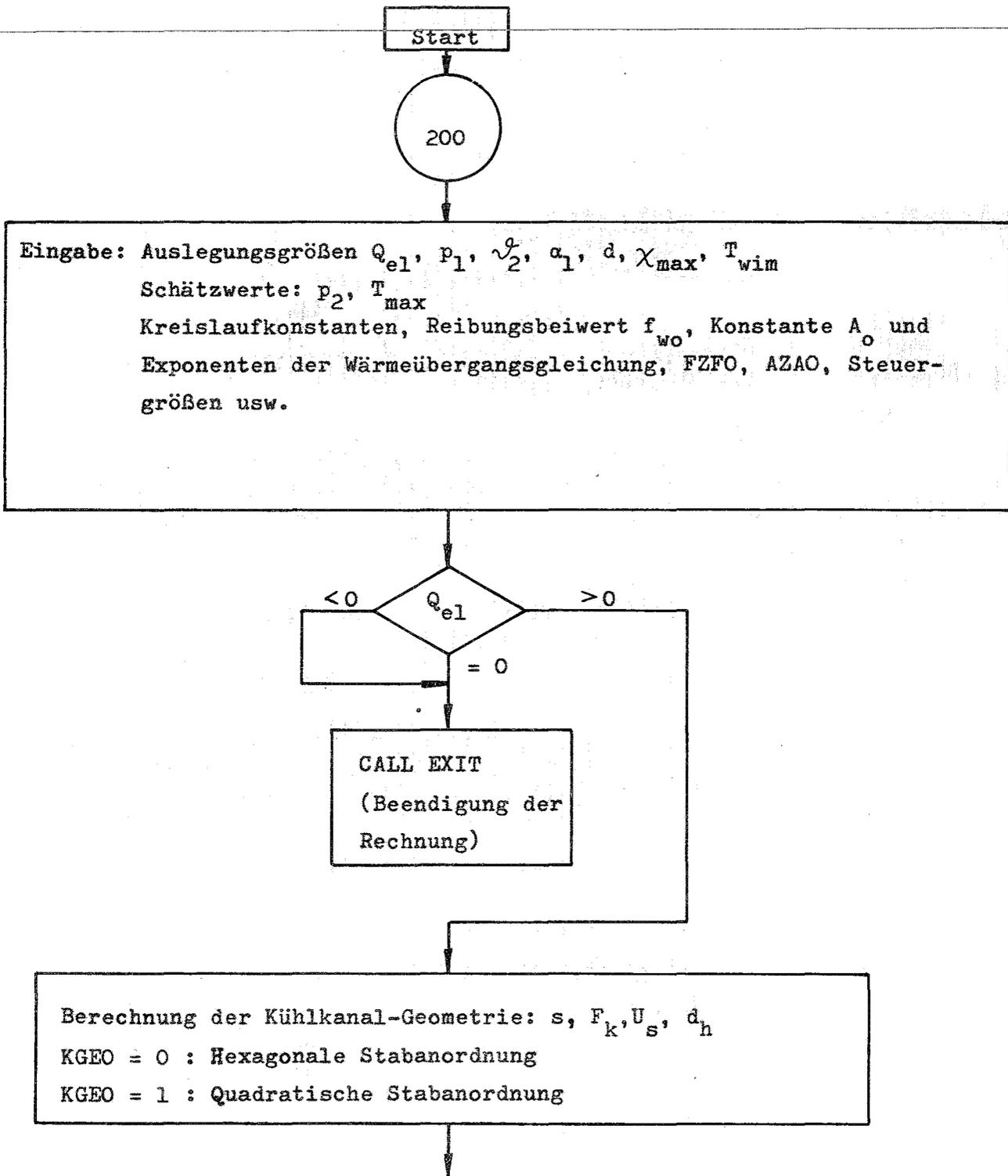
a	Austritt eines Abschnitts	
ax	axial	
e	Eintritt eines Abschnitts	
ges	Gesamt-...	
max	maximal	
rad	radial	
wa	Hüllrohraußenseite	} im heißen Kanal
wi	Hüllrohrinnenseite	
1	Reaktoreintritt	
2	Reaktoraustritt	

6. Literatur

- [1] SCHMIDT, E.:
VDI-Wasserdampfatafeln, Ausgabe A, 6.Auflage, 1963
- [2] SCHNAUDER, H., SPILKER, H.:
Rechenprogramme zur Bestimmung der Stoffwerte und der thermodynamischen Zustandsgrößen von Wasser und Wasserdampf; Kernforschungszentrum Karlsruhe, Institut für Reaktorentwicklung, Externer Bericht 8/66-1, 30.Sept.1966
- [3] SMIDT, D.:
Die Wärmeabfuhr aus gasgekühlten Leistungsreaktoren, Nukleonik, 3. Band, 6. Heft, 1961
- [4] KIEFHABER, E.:
Persönliche Mitteilung
- [5] SPILKER, H.:
Ein FORTRAN-Programm zur Berechnung des thermodynamischen Kreisprozesses und des Kühlkreislaufes dampfgekühlter Kernreaktoren, KFK-Bericht 716 (in Vorbereitung)
- [6] SUTHERLAND, W.A.:
Heat Transfer to Superheated Steam, GEAP-4258 (1963), General Electric
- [7] DOETSCHMANN, K.:
Drei FORTRAN-Programme zur Bestimmung der Heißkanaltemperaturen in dampf- und gasgekühlten Reaktorkernen unter Berücksichtigung der Kühlmittel-Quervermischung, KFK-Bericht 815 (in Vorbereitung)
- [8] STITTGEN, H.:
Specifications of the FORTRAN-IV Language (Karlsruhe Subset), Reference Manual; Kernforschungszentrum Karlsruhe, RZ-Arbeitsbericht Nr. 3, 10.April 1967
- [9] REHME, K.:
Systematische experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit des Druckverlustes von der geometrischen Anordnung für längs durchströmte Stabbündel mit Spiraldrahtabstandshaltern; Dissertation, Universität Karlsruhe, 1967.

7. Anhang

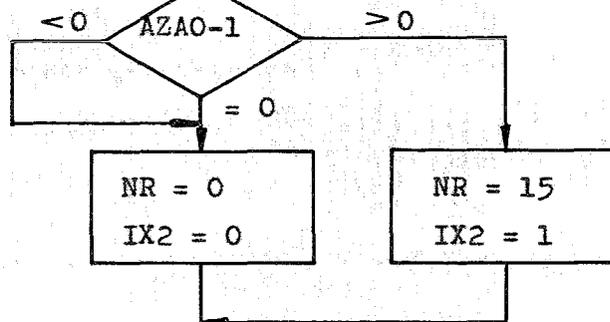
7.1 Blockdiagramm (stark vereinfacht)



Festlegung erster Schätzwerte:

$\vartheta_1 = \vartheta_1(p_1 - p_2, \vartheta_2)$	$\vartheta_{ca} = \vartheta(38) = \vartheta_2$
$\vartheta(z_m) = \vartheta_2$	$p_{ca} = p(38) = p_2$
$p(z_m) = p_2$	$\vartheta_{ce} = \vartheta(7) = \vartheta_1$
$\chi(z_m) = 0,65 \cdot \chi_{max}$	$p_{ce} = p(7) = p_1$

150



530

Berechnung des Durchsatzes g_o im Auslegungskühlkanal aus dem Wärmeübergang an der heißen Stelle z_m

$$g_o = g_o(d, d_h, F_k, T_{max}, p(z_m), \vartheta(z_m), \chi(z_m))$$

$$H_c = \frac{g_o \left[\text{HDI}(p_{ca}, \vartheta_{ca}) - \text{HDI}(p_{ce}, \vartheta_{ce}) + \left(\frac{g_o}{F_k}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} (\text{HDV}(p_{ca}, \vartheta_{ca}) - \text{HDV}(p_{ce}, \vartheta_{ce})) \right]}{\varphi_{ax} \cdot \chi_{max}}$$

$$\varphi_{ax} = C_1 + C_2 \cdot H_c + C_3 \cdot H_c^2 + C_4 \cdot H_c^3 + C_5 \cdot H_c^4$$

IX = 1
IX3 = 1

N = 40 : Werte am Austritt des Auslegungskühlkanals
 $p(40) = p_2$ $\vartheta(40) = \vartheta_2$ usw.

N = 39 : Berechnung der Druck- und Temperaturdifferenz
in der (oberen) axialen Brutstoffzone
Mittelwerte: $p(39)$, $\vartheta(39)$ usw.

N = 38 : Werte am Austritt der Brennstoffzone
 $p(38)$, $\vartheta(38)$ usw.

32

N = N - 1

$N - (38 - NR) > 0$
 $N - (38 - NR) = 0$
 $N - (38 - NR) < 0$

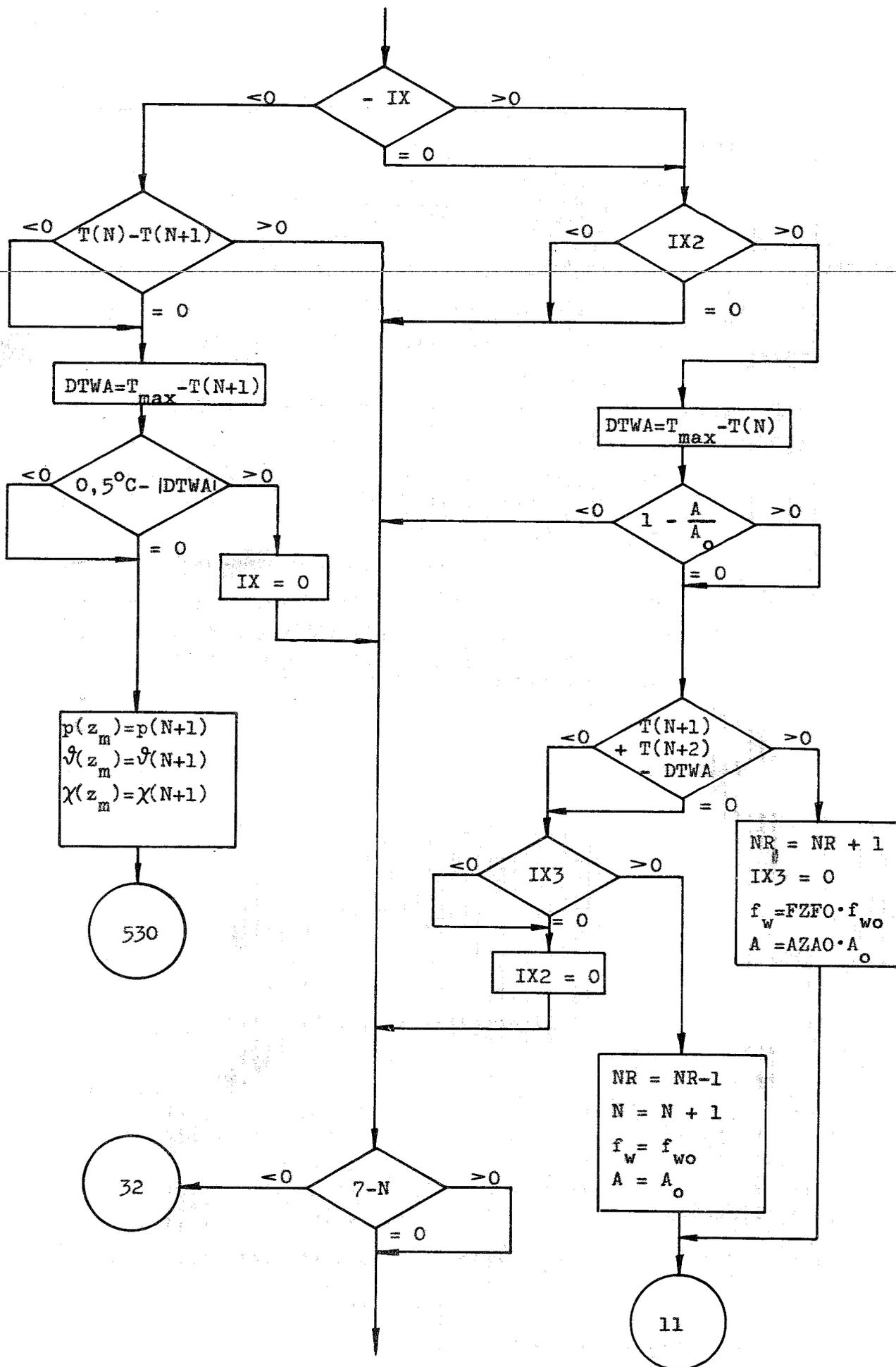
$f_w = f_{w0}$
 $A = A_0$

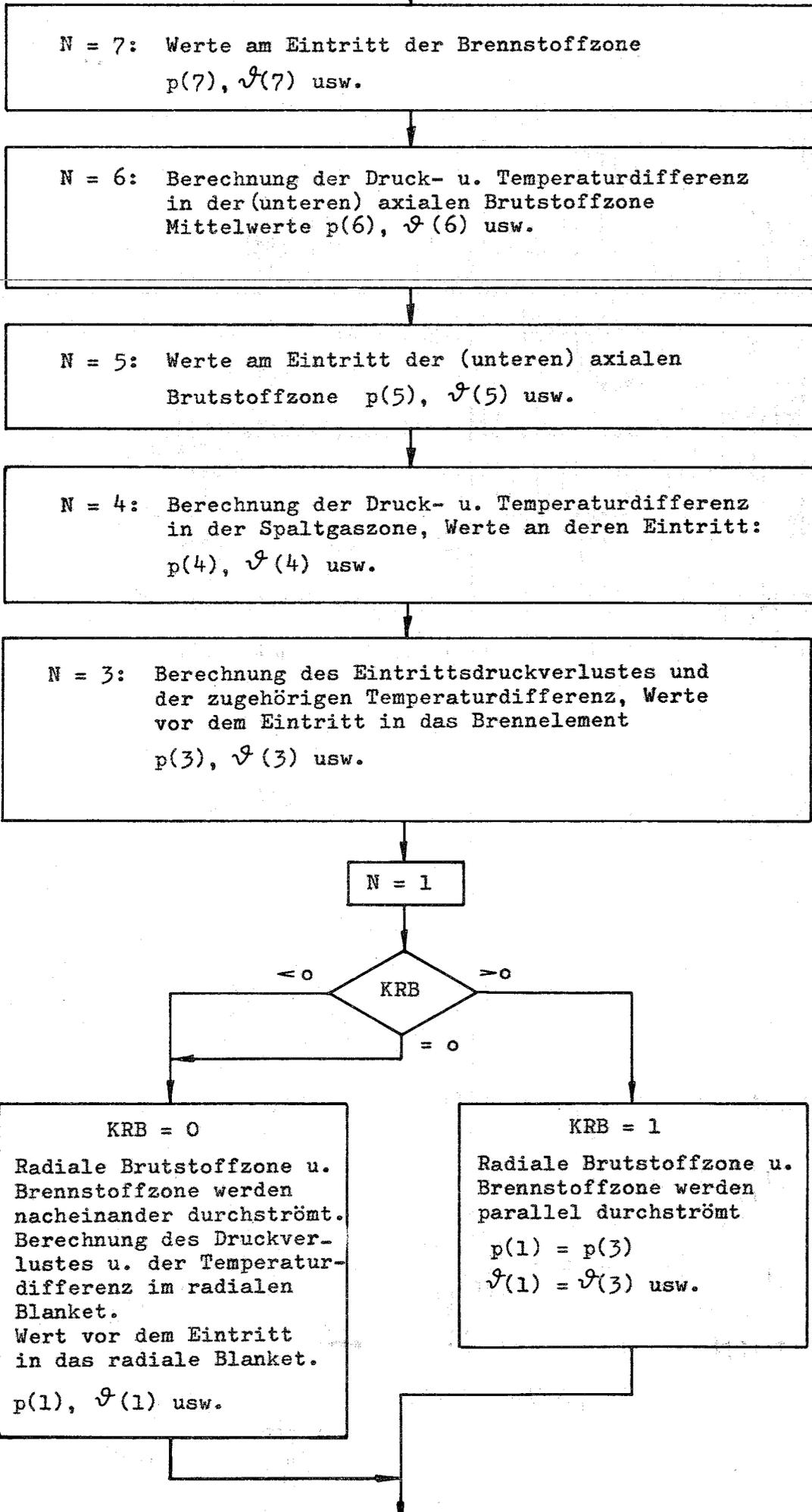
$f_w = FZFO \cdot f_{w0}$
 $A = AZAO \cdot A_0$

11

Berechnung der Druck- und Temperaturdifferenz im N-ten
Abschnitt der Brennstoffzone
Mittelwerte im Abschnitt: $p(N)$, $\vartheta(N)$ usw.

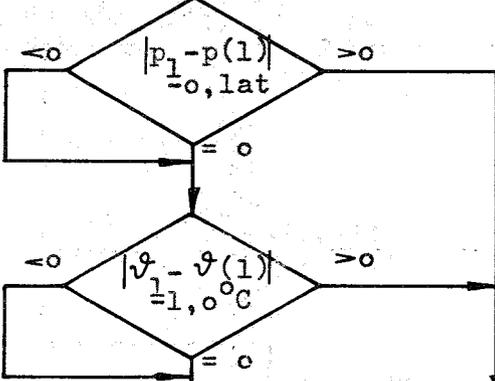
Berechnung der Hüllrohraußentemperatur
 $T_{wa}(N) = T(N)$ in der Mitte des N-ten Abschnittes





$$\Delta p_{ges} = p(1) - p_2$$

$$\eta_N = -AK6 \cdot \Delta p_{ges}^2 - AK5 \cdot \Delta p_{ges} + AK7$$
$$\dot{V}_1 = CON1 \cdot \Delta p_{ges}^2 + CON2 \cdot \Delta p_{ges} + CON3 - CON4 \cdot \dot{V}_2$$

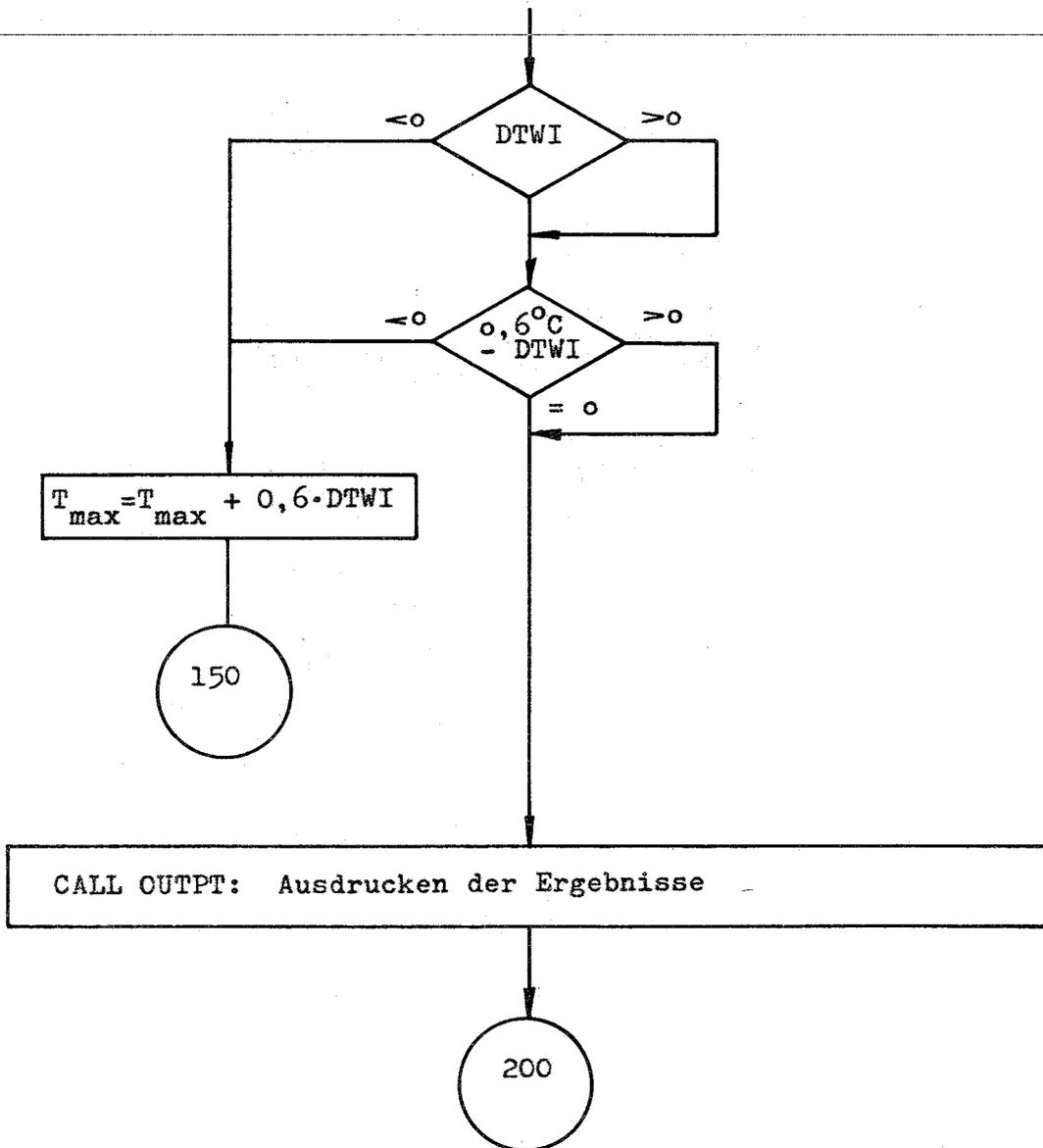


$$p_2 = p_1 - \Delta p_{ges}$$
$$\dot{V}_{ca} = \dot{V}_2 - (\dot{V}(40) - \dot{V}(38))$$
$$p_{ca} = p_2 + (p(38) - p(40))$$
$$\dot{V}_{ce} = \dot{V}_1 - (\dot{V}(1) - \dot{V}(7))$$
$$p_{ce} = p_1 - (p(1) - p(7))$$

530

CALL HOTMIX: Berechnung der Temperaturen im heißen Kanal, insbesondere maximale Hüllrohrinnentemperatur T_{wimax}

$$DTWI = T_{wim} - T_{wimax}$$



7.2 FORTRAN-Listen

7.2.1 PRAWDA

```
C          - PRAWDA -
C  PROGRAMM ZUR WAERMETECHNISCHEN AUSLEGUNG DAMPFGEKUEHLTER REAKTOREN
C  BENUTZTE UNTERPROGRAMME - OUTPT,HOTMIX,AFUNC,BFUNC,HDI,HDV,FLAM,
C          - ETA,TS,PS,COMBRE
COMMON QEL,CHIMAX,P1,P2,TH1,TH2,ETAN,D,DH,FK,S,DS,PHIAX,PHIRAD,
1HC,DC,SH,SAMH,DB,SAMBR,HS,HBL,HSPG,S1,S2,GR,ALPHA1,TWAMAX,
2TWIMAX,TBIMAX,ANG,EUK,EUP,EUT,CDTW,CWBI
COMMON QTH,DPGES,C1,C2,C3,C4,C5,CON1,CON2,CON3,CON4,F1,F2,FZF0,
1BETA0,BETA01,ALPHA2,ALPHAS,AK2,AK5,AK6,AK7,VQC,VQBL,VQBRAD,S3,
2AST,STH,KK,KGEO,KRB,NR,DTRB,THBLA,VCBLR,FKBLR,DHBLR,FWBLR,
3  TH(40),P(40),ZA(40),RHO(40),CP(40),H(40),RE(40),PR(40),TWA(40),
4ENT(40)
200 READ(8,300)QEL,CHIM,D,S1,S2,SH,DB,SAMH,SAMBR
   IF(QEL)999,999,111
111 READ(8,300)P1,P2,CON1,CON2,CON3,CON4
   READ(8,300)TWIM,TMAX,TH2,AK6,AK5,AK7
   READ(8,300)PHIRAD,C1,C2,C3,C4,C5
   READ(8,300)BETA0,BETA01,ALPHA2,ALPHAS,AK2,S3,AST,STH,KGEO
   READ(8,300)WZM1,V1,V2,V4,V5,V6,VL,VS1,VS2,DS
   READ(8,300)HBL,VHSP,VQC,VQBL,VQBRAD
   READ(8,300)THBLA,VCBLR,FKBLR,DHBLR,FWBLR,DTRB,KRB
   READ(8,300)ALPHA1,F1,F2,FZF0,AZA0,ANG,EUK,EUP,EUT,KK
   IF(KK)113,113,112
112 READ(8,300)TH1,ETAN
113 CHIMAX=CHIM
   AZA00=AZA0
   IX2=1
   ITWI=0
   XX=0.5
   TWIMAX=0
   G=0
   DTMAX=10.
   VLRB=1.0
   WRITE(9,1800)
C  BERECHNUNG DER KUEHLKANAL-GEOMETRIE
C  KGEO=0  HEXAGONAL , KGEO=1  QUADRATISCH
   IF(KGEO)117,117,118
117 AR=(1.+SQRT(1.+4.*((AST-1.)/3.)))/2.
C  2.5981=(3./2.)*SQRT(3)
C  3.4641=2.*SQRT(3)
   CG1=2.5981
   CG2=6.
   CG3=3.4641
   GO TO 119
118 AR=SQRT(AST)
   CG1=1.
   CG2=4.
   CG3=4.
119 CF1=(AR-1.)**2*CG1+S3*(AR-1.)*CG2+S3**2*CG3
   CF2=(0.5-S3)*D*(CG2*(AR-1.)+2.*S3*CG3)
```

```
CF3=((S3-0.5)*D)**2*CG3
VA1=1.-ALPHA1-BETA0-BETA01-AK2
VA2=1.-ALPHA2-BETA0-BETA01-AK2
CBETA=VA1/VA2
A1=CBETA*CF1/AST-S2
A2=2.*S2*D+CBETA*CF2/AST
A3=(0.7854+S2)*D**2-CBETA*CF3/AST
C 0.7854=PI/4.
IF(A1)122,121,122
121 S=A3/A2
GO TO 125
122 DSKR=A2**2+4.*A1*A3
IF(DSKR)123,124,124
123 WRITE(9,300)
GO TO 201
124 S=(-A2+SQRT(DSKR))/(2.*A1)
125 IF(S-D)123,123,126
126 IF(3.*D-S)123,127,127
127 US=3.1416*D+S1*(S-D)
FK=CG3*S**2/4.-0.7854*D**2-S2*(S-D)**2
DH=4.*FK/US
UZUG=AST*US/(AST*US+CG2*(AR-1.)*S+CG3*2.*(S3*S-(S3-0.5)*D))
IF(F2) 114,115,114
114 CFW=(S/D)**0.5+(7.6*(S/STH)*(S/D)**2.)*2.16
CFW=CFW**0.915*UZUG
GO TO 116
115 CFW=1.
C FESTLEGUNG ERSTER SCHAETZWERTE
116 IF(KK)128,128,129
128 TH1=CON1*(P1-P2)**2+CON2*(P1-P2)+CON3-CON4*TH2
129 NR=15
TH10=TH1
P20=P2
532 PH1AX=0.8
IDELTH=1
P2=P20
CITP2=1.15
CITTMX=0.6
TH2M=TH10+(TH2-TH10)/VL
PCA=P20
PCE=P1
THCA=TH2
THCE=TH10
VSPCE=HDV(P1,TH10)
VSPCA=HDV(P20,TH2)
ETP2=HDI(P20,TH2)
CHZMX=0.65*CHIM
PZMX=P20
THZMX=TH2
WRITE(9,1500) ITWI,TWIMAX,TMAX
A=ANG*AZA00
150 IF(AZA00-1.)501,130,501
130 NR=0
IX2=0
C DURCHSATZ GO UND COREHOEHE HC AUS WAERMEUEBERGANGSFORDERUNG AN
```

```
C HEISSER STELLE ZMX
501 CETA=ETA(PZMX,THZMX,2)*98.1
    SAM=FLAM(PZMX,THZMX,2)*1.163E-2
    CPW=(HDI(PZMX,THZMX+5.)-HDI(PZMX,THZMX-5.))*0.4187
512 IF(THZMX-TMAX)530,520,520
520 WRITE(9,1600)THZMX
533 IF(ITWI)201,531,201
531 TMAX=TMAX+DTMAX
    DTMAX=10.
    WRITE(9,1700) TMAX
    GO TO 532
530 GO=FK*(CHZMX*CETA**((EUK-EUP)*DH**{1.-EUK})/
1(3.1416*D*(TMAX-THZMX)*A*CPW**EUP*SAM**{1.-EUP})*((TMAX+273.)/
2(T+ZMX+273.))**EUT)**(1./EUK)
    GO2=(GO/FK)**2
513 HC=((HDI(PCA,THCA)-HDI(PCE,THCE))*4.187+5.E-2*GO2*((VSPCA )*
1*2-(VSPCE )**2))*GO/(CHIM*PHIAX)
    IX=1
100 PHIAX=C1+C2*HC+C3*HC**2+C4*HC**3+C5*HC**4
C 0.637=2/PI MINIMALWERT VON PHIAX BEI COS-FOERMIGER LEISTUNGSVERT.
    IF(PHIAX-0.637)106,106,105
105 IF(PHIAX-1.)107,108,108
108 DTMAX=-6.
106 WRITE(9,340) PHIAX,HC,TH2M
    GO TO 533
107 HZHS=AFUNC(PHIAX)
510 HS=HC/HZHS
    HSPG=HC*VHSP
    HGES=HC+2.*HBL+HSPG
    DP=0.
    DTH=2.
    IX3=1
    N=41
C ABSCHNITTWEISE BERECHNUNG VON CORE UND AX. BLANKETS
32 N=N-1
    IF(N-39) 2,4,30
30 TH(N)=TH2M
    P(N)=P2
    ZA(N)=HGES
    GO TO 33
4 DZ=HBL
    ZA(N)=ZA(N+1)-DZ*0.5
    STL=VQBL*PHIAX*CHIM*HC/(DZ*VQC)
8 FW=F1*CFW/RE(N+1)**F2
    AZA0=1.
    GO TO 11
2 IF(N-38)3,6,6
6 ZA(N)=HGES-HBL
    DZ=HC/30.
    GO TO 36
3 IF(7-N)9,14,7
7 IF(5-N)4,14,1
1 ZA(N)=0.
    STL=0.
    DZ=HSPG
```

```
GO TO 8
14 ZA(N)=ZA(N+1)-0.5*DZ
GO TO 23
9 IF(N-37) 26,27,27
27 ZA(N)=ZA(N+1)-0.5*DZ
GO TO 28
26 ZA(N)=ZA(N+1)-DZ
28 STLO=STL
STL=CHIM*COS(((ZA(N)-(HSPG+HBL+0.5*HC))*3.1416)/HS)
IF(N-(38-NR)) 8,5,5
5 FW=FZF0*F1*CFW/RE(N+1)**F2
AZA0=AZA00
11 PE=PA+DP
VSPA=HDV(PA,THA)
THE=THA
IDT=0
ETPAS=ETPA
12 DTO=DTH
IDT=IDT+1
THE=THE-DTH
VSPE=HDV(PE,THE)
VSPQ=0.5*(VSPE+VSPA)
ETPE=ETPA-(0.5*G02*(VSPE**2-VSPA**2)/10.+STL*DZ/G0)*0.2388
DP=G02*(VSPQ*FW*DZ/(2.*DH)+(VSPA-VSPE))*1.02E-3
PE=PA+DP
ETPS=HDI(PE,THE)
IF(ABS(ETPE-ETPS)-1.E-3) 13,17,17
17 DTH=DTH*(ETPE-ETPS)/(ETPS-ETPAS)
DDT=ABS(DTO-DTH)
IF(DDT0-DDT)16,16,15
15 ETPAS=ETPS
DDT0=DDT
GO TO 12
16 IF(5-IDT) 18,15,15
18 WRITE(9,301) N, IDT,DDT,DDT0
13 DTH=THA-THE
IF(N-4)21,23,21
21 IX1=1
TH(N)=THE+0.5*DTH
P(N)=PE-0.5*DP
IF(N-6)22,33,22
22 IF(N-39)35,33,35
36 TWA(N)=0.
23 TH(N)=THE
P(N)=PE
33 IX1=0
35 ENT(N)=HDI(P(N),TH(N))
RHO(N)=1.E-3/HDV(P(N),TH(N))
CP(N)=(HDI(P(N),TH(N)+5.)-HDI(P(N),TH(N)-5.))/10.*4.187
CETA=ETA(P(N),TH(N),2)*98.1
CFLAM=FLAM(P(N),TH(N),2)*1.163E-2
RE(N)=G0*DH/(FK*CETA)
PR(N)=CP(N)*CETA/CFLAM
IF(IX1)34,31,34
C BER. DER WAERMEUEBERGANGSZAHL HZ UND HUELLENAUSSENTEMPERATUR TWA
```

```
34 CHZ= ANG*AZA0*RE(N)**EUK*PR(N)**EUP*CFLAM/DH
  HZ=0.95*CHZ
19 HZC=HZ
  DTWD=STL/(3.1416*D*HZ)
  HZ=CHZ*((TH(N)+273.)/(TH(N)+DTWD+273.))**EUT
  IF(0.01-ABS(HZ-HZ0))19,19,20
20 TWA(N)=TH(N)+DTWD*HZ0/HZ
  IF(IX)81,40,81
81 IF(TWA(N+1)-TWA(N))90,80,80
80 DTWA=TMAX-TWA(N+1)
  TMAXS=TWA(N+1)
  CHZMX=STLO
  PZMX=P(N+1)
  THZMX=TH(N+1)
  WRITE(9,1900) GO,HC,THZMX,TMAXS
  IF(XX-ABS(DTWA))501,501,82
82 IX=0
90 H(N)=HZ
  PA=PE
  THA=THE
  ETPA=ETPE
  GO TO 32
40 IF(IX2)37,90,37
C  ERMITTLUNG VON NR NR = ANZAHL DER AUFZURAUHENDEN TEILSTUECKE
37 DTWA=TMAX-TWA(N)
  IF(1.-AZA0)90,38,38
38 IF(DTWA-(TWA(N+2)-TWA(N+1)))44,43,43
43 IF(IX3)45,46,45
45 NR=NR-1
  N=N+1
  PA=0.5*(P(N)+P(N+1))
  THA=0.5*(TH(N)+TH(N+1))
  ETPA=HDI(PA,THA)
  GO TO 28
44 NR=NR+1
  IX3=0
  GO TO 5
46 IX2=0
  GO TO 90
31 PA=P(N)
  THA=TH(N)
  ETPA=ENT(N)
  IF(4-N)32,141,141
C  EINTRITTSDRUCKVERLUST DPE IN DAS SPALTGASPLENUM
141 N=3
  P(3)=P(4)
  THE=TH(4)
  ETP0=ENT(4)
  IDT=0
142 DTC=DTH
  IDT=IDT+1
  THE=THE+DTH
  VSPO=HDV(P(3),THE)
  DPE=0.75*VSPO*G02*1.02E-3
  P(3)=P(4)+DPE
```

```
ETPS=HDI(P(3),THE)
IF(ABS(ETPS-ETPO)-1.E-3) 146,149,149
149 THS1=THE-0.1*DTH
ETPS1=HDI(P(3),THS1)
DTH=DTH*0.1*(ETPO-ETPS)/(ETPS-ETPS1)
DDT=ABS(DT0-DTH)
IF(DDT0-DDT) 147,147,144
144 DDTO=DDT
GO TO 142
147 IF(5-IDT) 148,144,144
148 WRITE(9,301) N, IDT, DDT, DDTO
146 TH(3)=THE
```

```
C KRB=0 CORE UND RAD. BLANKET IN REIHE , KRB=1 PARALLEL
IF(KRB)168,168,169
169 DP=0.
GO TO 170
C DURCHSATZ GBLR UND DRUCKVERLUST DP IM MAX. BELASTETEN TEILKANAL
C DES RAD. BLANKETS ZUSTANDSGROESSEN AM REAKTOREINTRITT
C WIRKUNGSGRAD CORE-AUSLEGUNG
168 VSPA=HDV(P(3),THBLA)
DP=1.
P(1)=P(3)+DP
DTH=3.
TH(1)=TH(3)
IDT=0
ETPAS=ETPO
163 DT0=DTH
IDT=IDT+1
TH(1)=TH(1)-DTH
VSP1=HDV(P(1),TH(1))
VSPQ=0.5*(VSP1+VSPA)
GBLR=VCBLR*CHIM*(HC+HBL+HBL)*0.637/((HDI(P(3),THBLA)-HDI(P(1),TH(1)))
)*4.187)
GBLR2=(GBLR/FKBLR)**2
DP=GBLR2*(0.75*VSP1-0.25*VSPA+VSPQ*FWBLR*HGES/(2.*DHBLR)+VSPA-VSP1
1)*1.02E-3
170 P(1)=P(3)+DP
DPGES=P(1)-P2
IF(-KK)181,180,180
180 ETAN=-AK6*DPGES**2-AK5*DPGES+AK7
IF(ETAN) 185,185,181
185 WRITE(9,343) ETAN
GO TO 533
181 QTH=QEL/ETAN
QTHC=VQC*QTH
AN=QTHC*1.E+6/(PHIAX*PHIRAD*CHIM*HC)
DC=SQRT((AN/AST)*(CF1*S**2+CF2*S+CF3)/(0.7854*VA2))
VSL=VL*(VS1+DC*VS2)
GC=(VQC+2.*VQBL)*QTH/((ETP2 -ETPO)*4.187E-3+5.E-5*(G*1.E3/
1(AN*FK))**2*(HDV(P2,TH2)**2-(1.E-3/RHO(4))**2))
IF(KRB) 162,162,161
161 TH(1)=TH(3)
THARB=TH2-DTRB
ETP1=ETPO
ETPR=HDI(P2,THARB)
```

```
GRB=(VQBRAD*QTH)/((ETPR-ETP1)* 4.187E-3)
VLRB=(ETP2-ETP1)*GC/((ETP2-ETP1)*(GC+GRB)-(ETPR-ETP1)*GRB)
VSL=VSL*VLRB
G = QTH /(( ETP2 -ETPO)*4.187E-3+5.E-5*(G*1.E3/
1(AN*FK)**2*(HDV(P2,TH2)**2-(1.E-3/RHO(4))**2))
GO TO 167
162 G=GC
ETP1=ETPO-VQBRAD*QTH/(G*4.187E-3)
ETPS=HDI(P(1),TH(1))
IF (ABS(ETP1-ETPS)-1.E-3) 167,174,174
174 DTH=DTH*(ETP1-ETPS)/(ETPS-ETPAS)
DDT=ABS(DTO-DTH)
IF (DDT-DT) 164,166,166
166 ETPAS=ETPS
DDTO=DDT
GO TO 163
164 IF(5-IDT) 183,166,166
183 N=1
WRITE(9,301) N, IDT, DDT, DDT0
167 IF(-KK)172,171,171
171 TH1=CON1*DPGES**2+CON2*DPGES+CON3-CON4*TH2
172 DELTAT=TH(1)-TH1
DLTPO=DELTAP
DELTAP=P1-P(1)
IF (IDELTH-1)551,550,551
551 CITP2=CITP2*(DLTPO+DELTAP)/DLTPO
IF(1.10-CITP2)550,550,554
554 CITP2=1.10
GO TO 559
550 IF(CITP2-2.)559,559,558
558 CITP2=2.
559 P2=P2+DELTAP*CITP2
DELTH=ABS(DELTAT)
DELTP=ABS(DELTAP)
WRITE(9,1400) DPGES,P(1),DELTAP,TH(1),DELTAT
IX=1
IF(0.1-DELTP)152,152,159
159 IF(1.0-DELTH)152,152,562
562 IX=0
GO TO 158
152 IF(DELTP0-DELTP)151,151,514
514 IF(DELTH0-DELTH)151,151,153
151 IF(IDELTH-5) 153,153,184
184 WRITE(9,302) TH1,DELTAT,P2,DELTAP
GO TO 533
153 DELTH0=DELTH
DELTP0=DELTP
158 IDELTH=IDELTH+1
C ERMITTLUNG DER MAX. NOM. AUSTRITTSTEMP. TH2M
TH2M0=TH2M
TH2M=TH1+(TH2-TH1)/VSL
DTH=TH2M-TH2
ETP2=HDI(P2,TH2)
ETP2M=ETPO+(ETP2-ETPO)/VSL
TH2M=TH2
```

```

      IDT=0
190 DTO=DTH
      IDT=IDT+1
      TH2M=TH2M+DTH
      ETPS=HDI(P2,TH2M)
      IF (ABS(ETPS-ETP2M)-1.E-3) 560,191,191
191 THS1=TH2M-0.1*DTH
      ETPS1=HDI(P2,THS1)
      DTH=DTH*0.1*(ETP2M-ETPS)/(ETPS-ETPS1)
      DDT=ABS(DTO-DTH)
      IF(DDT0-DDT) 193,193,192
192 DDT0=DDT
      GO TO 190
193 IF(5-IDT) 194,192,192
194 N=0
      WRITE(9,301) N, IDT,DDT,DDT0
560 IF(1.-ABS(TH2M0-TH2M))195,195,561
561 IF(IX)195,154,195
195 THCA=TH2M-(TH(40)-TH(38))
      PCA=P2+(P(38)-P(40))
      THCE=TH1-(TH(1)-TH(7))
      PCE=P1-(P(1)-P(7))
      VSPCE=HDV(PCE,THCE)
      VSPCA=HDV(PCA,THCA)
      GO TO 501
C HEISSKANALRECHNUNG
154 G1=G0
      CHIM1=CHIM
      IVG=0
      VPR=V1
      WZM=0.
      IX=1
540 CALL HOTMIX(P(7),CHIM1,TH(7),IVG,VPR,V4,V5,V6,AZA00,G0,WZM,30)
      IF(IX)541,542,541
541 IVG=1
      VPR=V2
      CHIM1=CHIM*V1
      WZM=WZM1
      IX=0
      GO TO 540
542 GO=G1
      DTWI=(TWIM-0.30)-TWIMAX
      DTWIS=ABS(DTWI)
      IF(DTWIS-0.3)260,260,258
258 IF(ITWI)552,553,552
552 CITTMX=CITTMX*(TMAXS0-TMAXS)/(TMAXS0-TMAXS+CITTMX*DTWI)
      IF(ABS(CITTMX)-1.)553,553,555
555 CITTMX=1.
553 TMAX=TMAXS+DTWI*CITTMX
      XX=0.5-2./(5.+DTWIS)
259 IF(DTWIS-DTWI0)252,253,253
253 IF(5-ITWI) 256,252,252
252 DTWIO=DTWIS
      TMAXS0=TMAXS
      ITWI=ITWI+1
```

```
IDELTH=1
IX2=1
WRITE(9,1500) ITWI,TWIMAX,TMAX
GO TO 150
256 WRITE(9,341) ITWI
C BERECHNUNG DER MITTELWERTE FUER RAD. BLANKET
260 GR=G
IF(KRB) 265,265,268
268 TH(2)=0.5*(TH1+THARB)
P(2)=0.5*(P1+P2)
GO TO 269
265 THA=TH(1)
ETPES=ETP1
IDT=0
261 DTO=DTH
IDT=IDT+1
THA=THA+DTH
ETPOR=ETP1+(VQBRAD*QTH/(G*0.17*4.187E-3))
ETPS=HDI(P(3),THA)
IF(ABS(ETPOR-ETPS)-1.E-3) 264,263,263
263 DTH=DTH*(ETPOR-ETPS)/(ETPS-ETPES)
DDT=ABS(DTO-DTH)
IF(DDT-DT) 262,262,266
266 ETPES=ETPS
DDTO=DDT
GO TO 261
262 IF(IDT-5) 266,266,267
267 N=2
WRITE(9,301) N,IDT,DDT,DDTO
264 TH(2)=0.5*(TH(1)+THA)
P(2)=0.5*(P(1)+P(3))
269 DO 155 N=1,3
ENT(N)=HDI(P(N),TH(N))
155 RHO(N)=1.E-3/HDV(P(N),TH(N))
CALL OUTPT(GO,WZM1,V1,V2,V4,V5,V6,AZA00,VL,VS1,VS2,VLRB)
GO TO 200
201 CALL COMBRE (ITWI,AZA00,TWIM,TMAX)
GO TO 200
999 CALL EXIT
300 FORMAT(1H0,26HS UND DH NICHT BERECHENBAR)
301 FORMAT(1H0,32HMEHR ALS 5 ITERATIONEN UEBER DTH,5X,3HN =,I3,5X,
15HIDT =,I3,5X,5HDDT =,E12.4,5X,6HDDTO =,E12.4)
302 FORMAT(1H0,40HKEINE KONVERGENZ FUER TH1 ODER P2, TH1 =,F9.3,3X,
18HDELTAT = F9.3,3X,4HP2 = F9.3,3X,8HDELTAP =,F9.3)
340 FORMAT(1H0,7HPHIAX(=E11.4,35H) WIRD ZU GROSS ODER ZU KLEIN HC =
1E11.4,2X,6HTH2M =E11.4)
341 FORMAT(1H0,40HMEHR ALS 5 ITERATIONEN UEBER TWI, ITWI =,I3)
343 FORMAT(1H0,7HETAN (=,F7.4,20H) NICHT MEHR POSITIV)
1400 FORMAT(1H ,25X,5E12.4)
1500 FORMAT(1H0,I2,2E13.5)
1600 FORMAT(1H0,7HTHZMX =E12.5,23H WIRD GROESSER ALS TMAX)
1700 FORMAT(1H0,6HTMAX =E12.5,8H GESETZT)
1800 FORMAT( 1H1,19HITERATIONSPARAMETER/1H0,4HITWI,3X,6HTWIMAX,7X,4HTMA
1X,5X,5HDPGES,8X,4HP(1),7X,6HDELTAP,7X,5HTH(1),6X,6HDELTAT,5X,2HGO,
210X,2HHC,9X,5HTHZMX,6X,5HTMAXS)
1900 FORMAT(1H ,83X,3E12.4,E12.5)
```

7.2.2 SUBROUTINE HOTMIX

```
C SUBROUTINE HOTMIX(PE,CHIMX,THE,IVG,VPR,V4,V5,V6,AZAO,GO,WZM,IT)
  BENUTZTE UNTERPROGRAMME- HDI,HDV,FLAM,ETA,TS,PS
  DIMENSION THF(5),THA(5),DTH(5),ETPE(5),ETPA(5),ETPES(5),ETPS(5),
  1GPKTO(5),QZ(5),VSP(5),VSP0(5)
  DIMENSION THIA(30),TWA(30),GPKT(5),TWII(30),TBII(30)
  COMMON QEL,CHIMAX,P1,P2,TH1,TH2,ETAN,D,DH,FK,S,DS,PHIAX,PHIRAD,
  1HC,DC,SH,SAMH,DB,SAMBR,HS,HBL,HSPG,S1,S2,GR,ALPHA1,TWAMAX,
  2TWIMAX,TBIMAX,ANG,EUK,EUP,EUT,CDTW,CWBI
  COMMON QTH,DPGES,C1,C2,C3,C4,C5,CON1,CON2,CON3,CON4,F1,F2,FZF0,
  1BETA0,BETA01,ALPHA2,ALPHAS,AK2,AK5,AK6,AK7,VQC,VQBL,VQBRAD,S3,
  2AST,STH,KK,KGEO,KRB,NR,DTRB,THBLA,VCBLR,FKBLR,DHBLR,FWBLR
  EQUIVALENCE(THIA(1),TWA(1),TWII(1),TBII(1)),
  1(GI,GPKT(1)),(GJ,GPKT(2)),(GK,GPKT(3)),(GL,GPKT(4)),(GM,GPKT(5)),
  2(ETPE(1),ETPA(1))
  CDTW=1./(55.*D)+ALOG(D/(D-2.*SH))/(6.2832*SAMH)
  CWBI=1./(DB*3.1416)+1./(12.5664*SAMBR)
  FKPH=0.5*FK
  GM=0.5*GO
  SMIN=S-DS
  IF(KGEO)3,4,3
  3 FKG=SMIN**2
  GO TO 5
  4 FKG=0.86603*SMIN**2
  5 FMIN=FKG-0.7854*D*D-S2*(SMIN-D)**2
  DHMIN=4.*FMIN/(3.1416*D+S1*(SMIN-D))
  IF(IVG)1,1,2
  1 VG=1.
  GO TO 40
  2 VG=FK /FMIN
  40 AQ=1.5
  WIK=WZM*GM
  GI=GM/(VG**1.5)
  GJ=GM
  GK=GM
  GL=GM
  DZ=HC /FLOAT(IT)
  WIKMDZ=WIK*DZ
  PIDHS=3.1416/HS
  CHIHS=CHIMX/PIDHS
  QZZ=0
  IZ=0
  27 IZ=IZ+1
  ETPE(1)=HDI(PE,THE)
  DO 14 J=1,5
  DTH(J)=1.
  THF(J)=THE
  THA(J)=THE
  14 ETPE(J)=ETPE(1)
  Z=0
  DO 15 N=1,IT
```

```
Z=Z+DZ
Q0=QZZ
QZZ=CHHS*(SIN ((Z -0.5*HC )*PIDHS)-SIN ((Z -DZ -0.5*HC )*PIDHS)
1)*C.2388
QZ(1)=0.5*QZZ*VPR
QZ(2)=.1666667*QZZ*(2.*VPR +1.)
QZ(3)=.1666667*QZZ*(VPR +2.)
QZ(4)=.5*QZZ
QZ(5)=QZ(4)
IF(Q0)23,23,503
503 QZQ0=QZZ/Q0
GO TO 36
23 QZQ0=1.
36 DD 55 J=1,5
DTH(J)=DTH(J)*QZQ0
IF(1.-DTH(J))55,55,16
16 DTH(J)=1.
55 ETPES(J)=ETPE(J)
A11=(GI+AQ *WIKMDZ)
A22=(GJ+1.5*WIKMDZ)
A33=(GK+ WIKMDZ)
A44=(GL+1.5*WIKMDZ)
A55=(GM+ WIKMDZ)
A12=-AQ *WIKMDZ
A21=-0.5*WIKMDZ
A32=-0.5*WIKMDZ
A43=-0.5*WIKMDZ
A23= -WIKMDZ
A45= -WIKMDZ
A54= -WIKMDZ
A34=A32
B1=GI*ETPE(1)+QZ(1)+(WIKMDZ *(ETPE(2)-ETPE(1))) *AQ
B2=GJ*ETPE(2)+QZ(2)+(WIKMDZ*(0.5*(ETPE(1)-3.*ETPE(2))+ETPE(3)))
B3=GK*ETPE(3)+QZ(3)+WIKMDZ *(0.5*(ETPE(2)+ETPE(4))-ETPE(3))
B4=GL*ETPE(4)+QZ(4)+WIKMDZ *(0.5*(ETPE(3) -3.*ETPE(4))+ETPE(5))
B5=GM*ETPE(5)+QZ(5)+WIKMDZ *(ETPE(4)-ETPE(5))
Q21=A21/A11
B22=A22-Q21*A12
Z2=B2-Q21*B1
Q32=A32/B22
C33=A33-Q32*A23
D3=B3-Q32*Z2
Q43=A43/C33
D44=A44-Q43*A34
E4=B4-Q43*D3
Q54=A54/D44
E55=A55-Q54*A45
F5=B5-Q54*E4
ETPA(5)=F5/E55
ETPA(4)=(E4 -ETPA(5)*A45)/D44
ETPA(3)=(D3-ETPA(4)*A34)/C33
ETPA(2)=(Z2-ETPA(3)*A23)/B22
ETPA(1)=(B1-ETPA(2)*A12)/A11
I Z2=0
54 IST1=1
```

```
IZ2=IZ2+1
DO 10 J=1,5
THA(J)=THA(J)+DTH(J)
IF(ABS ( DTH(J) )-5.E-2)90,11,11
11 ETPS(J)=HDI(PE, THA(J))
IF(ABS (ETPS(J)-ETPA(J))-1.E-3)90,51,51
51 IST1=2
DTH(J)= DTH(J) /((ETPS(J)-ETPES(J))*(ETPA(J)-ETPS(J))
ETPES(J)=ETPS(J)
GO TO 10
90 DTH(J)=0
10 CONTINUE
GO TO(13,56),IST1
56 IF(IZ2-5)54,54,35
35 WRITE (9,500) Z
13 DO 94 J=1,5
DTH(J)=THA(J)-THF(J)
94 THF(J)=THA(J)
THIA(N)=THA(1)
15 J=N
IF(1-IZ)505,50,50
50 VSP(5)=HDV(PE,0.5*(THE+THA(5)))
GPKTO(5)=GM
DO 508 J=1,4
508 VSP(J)=VSP(5)
505 IST=0
DO 509 J=1,4
VSP0(J)=VSP(J)
VSP(J)=HDV(PE,0.5*(THE+THA(J)))
GPKTO(J)=GPKT(J)
GPKT(J)=GPKT(J)*SQRT (VSP0(J)/VSP(J))
IF(ABS (GPKTO(J)/GPKT(J)-1.)-1.E-4)509,510,510
510 IST=1
509 CONTINUE
IF(IST)511,17,511
511 IF(IZ-5)27,27,512
512 WRITE(9,501)
17 PCHI=PHIAX *HC *CHIMX*(1.1667*VPR+3.3333)*0.2388
HDIO=HDI(PE,THE)
PDTH=GPKTO(1)*(ETPA(1)-HDIO)+GPKTO(2)*(ETPA(2)-HDIO)+2.*GPKTO(3)*
1(ETPA(3)-HDIO)+2.*GPKTO(4)*(ETPA(4)-HDIO)+3.*GPKTO(5)*(ETPA(5)-
2HDIO)
VENRG=PCHI/PDTH
Y=ABS(1.-VENRG)
IF(Y-0.02)26,24,24
24 WRITE(9,502)VENRG
26 IF(IVG)76,76,78
76 GO=2.*GI
RETURN
78 TWAMAX=0.
TWIMAX=0.
TBIMAX=0.
Z=HC+DZ
DO 85 J=1,IT
Z=Z-DZ
```

```
N=IT+1-J
TD=THE+(THIA(N)-THE)*V5
CPW=(HDI(PE,TD+5.)-HDI(PE,TD-5.))*0.4187
CHIZ=CHIMX*COS(3.1416*(2.*Z -HC)/(2.*HS))*VPR
QF=CHIZ/(D*3.1416)
CETA=ETA(PE,TD,2)*98.1
SAM=FLAM(PE,TD,2)*1.163E-2
RE=GPKT(1)*VG*DHMIN/(FKPH*CETA)
PR=CPW*CETA/SAM
CHZ=ANG*AZA0*RE**EUK*PR**EUP* SAM/DHMIN
HZ=0.95*CHZ
81 HZC=HZ
DTWD=QF/HZ
HZ=CHZ*((TD+273.)/(TD+DTWD+273.))*EUT
Y=ABS(HZ-HZ0)
IF(0.01-Y)81,81,82
82 TWAI(N)=TD+DTWD*V4*HZ0/HZ
IF(TWAI(N)-TWAMAX) 87,87,86
86 TWAMAX=TWAI(N)
87 TWII(N)=TWAI(N)+ CHIZ*CDTW*V6
IF(TWII(N)-TWIMAX) 84,84,83
83 TWIMAX=TWII(N)
84 TBII(N)=TWII(N)+CHIZ*CWBI
IF(TBII(N)-TBIMAX) 70,70,85
85 TBIMAX=TBII(N)
70 RETURN
500 FORMAT(1H ,12HHOTMIX ZA =F6.1,17H MEHR ALS 5 ITER.)
501 FORMAT(1H ,27HHOTMIX KEINE KONV. FUER GO)
502 FORMAT(1H ,37HHOTMIX ENERGIEBILANZ UNGENAU,VENRG =,F7.4)
```

7.2.3 SUBROUTINE OUTPT

```
SUBROUTINE OUTPT(GO,WZM1,V1,V2,V4,V5,V6,AZA00,VL,VS1,VS2,VLRB)
DIMENSION N1(6),N2(6),RHOQ(6)
COMMON QEL,CHIMAX,P1,P2,TH1,TH2,ETAN,D,DH,FK,S,DS,PHIAX,PHIRAD,
1HC,DC,SH,SAMH,DB,SAMBR,HS,HBL,HSPG,S1,S2,GR,ALPHA1,TWAMAX,
2TWIMAX,TBIMAX,ANG,EUK,EUP,EUT,CDTW,CWBI
COMMON QTH,DPGES,C1,C2,C3,C4,C5,CON1,CON2,CON3,CON4,F1,F2,FZFO,
1BETA0,BETA01,ALPHA2,ALPHAS,AK2,AK5,AK6,AK7,VQC,VQBL,VQBRAD,S3,
2AST,STH,KK,KGED,KRB,NR,DTRB,THBLA,VCBLR,FKBLR,DHBLR,FWBLR,
3 TH(40),P(40),ZA(40),RHO(40),CP(40),H(40),RE(40),PR(40),TWA(40),
4ENT(40)
HZUD=HC/DC
VC=0.7854*DC**2*HC*1.E-6
N1(1)=8
N2(1)=37
DO 501 J=2,6
N1(J)=8+(J-2)*6
501 N2(J)=13+(J-2)*6
DO 502 J=1,6
502 RHOQ(J)=BFUNC(RHO,N1(J),N2(J))
HO=HSPG+HBL+0.5*HC
WRITE(9,303)
303 FORMAT(1H1,46X,44HH2O-DAMPF-GEKUEHLTER SCHNELLER BRUTREAKTOR//)
WRITE(9,306) QEL,PHIRAD,F1,PHIAX
306 FORMAT(1H0,8HQEL =,F9.3,2X,2HMM,13X,8HPHIRAD =,F9.3,17X,8HF1
1 =,F10.4,16X,8HPHIAX =,F9.3)
WRITE(9,307)ETAN,C1,F2,P2
307 FORMAT(1H0,8HETAN =,F10.4,16X,8HC1 =,E13.5,13X,8HF2 =,
1F9.3,17X,8HP2 =,F9.3,2X,2HAT)
WRITE(9,308) QTH,C2,FZFO,DPGES
308 FORMAT(1H0,8HQTH =,F9.3,2X,2HMM,13X,8HC2 =,E13.5,2X,6HCM**--
11,5X,8HFZFO =,F9.3,17X,8HDPGESR =,F9.3,2X,2HAT)
WRITE(9,309) P1,C3,BETA0,GR
309 FORMAT(1H0,8HP1 =,F9.3,2X,2HAT,13X,8HC3 =,E13.5,2X,6HCM**--
12,5X,8HBETA0 =,F10.4,16X,8HG =,F9.3,2X,4HKG/S)
WRITE(9,310) TH1,C4,BETA01,GO
310 FORMAT(1H0,8HTHETA1 =,F9.3,2X,5HGRD C,10X,8HC4 =,E13.5,2X,6HCM
1**--3,5X,8HBETA01 =,F10.4,16X,8HG0 =,F9.3,2X,3HG/S)
WRITE(9,311) TH2,C5,ALPHA2,DH
311 FORMAT(1H0,8HTHETA2 =,F9.3,2X,5HGRD C,10X,8HC5 =,E13.5,2X,6HCM
1**--4,5X,8HALPHA2 =,F10.4,16X,8HDH =,F9.3,2X,2HCM)
WRITE(9,312) TWIMAX,CON1,ALPHAS,S
312 FORMAT(1H0,8HTWIMAX =,F9.3,2X,5HGRD C,10X,8HCON1 =,F9.3,6X, 9HGR
1D/AT**2, 2X,8HALPHAS =,F10.4,16X,8HS =,F9.3,2X,2HCM)
WRITE(9,313) CHIMAX,CON2,AK2,FK
313 FORMAT(1H0,8HCHIMAX =,F9.3,2X,4HW/CM,11X,8HCON2 =,F9.3,6X,6HGRD/
1AT, 5X,8HAK2 =,F10.4,16X,8HFK =,F10.4,2X,5HCM**2)
WRITE(9,314) D,CON3,AK5,HC
314 FORMAT(1H0,8HD =,F9.3,2X,2HCM,13X,8HCON3 =,F9.3,6X,5HGRD C,
1 6X,8HAK5 =,E11.3,2X,4H1/AT, 9X,8HHC =,F9.3,2X,2HCM)
WRITE(9,315) DB, CON4,AK6,DC
```

```
315 FORMAT(1H0,8HDB      =,F9.3,2X,2HCM,13X,8HCON4  =,E13.5,13X,
18HAK6      =,E11.3,2X,7H1/AT**2,6X,8HDC      =,F9.3,2X,2HCM)
WRITE(9,316) SH,S1,AK7 ,HZUD
316 FORMAT(1H0,8HSH      =,F9.3,2X,2HCM,13X,8HS1      =,F9.3,17X,8HAK7
1      =,F10.4,16X,8HHZUD      =,F9.3)
WRITE(9,317) ALPHA1,S2,VQC ,VC
317 FORMAT(1H0,8HALPHA1 =,F9.3,17X,8HS2      =,F9.3,17X,8HVQC      =,
1F9.3,17X,8HVC      =,F9.3,2X,4HM**3)
WRITE(9,334) KK,S3,VQBL,TWAMAX
334 FORMAT(1H0,8HKK      =,I5,21X,8HS3      =,F9.3,17X,8HVQBL      =,F9.3,
117X,8HTWAMAX =,F9.3,2X,5HGRD C)
WRITE(9,304) ANG,SAMBR,VQBRAD,TBIMAX
304 FORMAT(1H0,8HANG      =,F10.4,16X,8HSAMBR =,F10.4,5X,8HW/CM*GRD,3X,
18HVQBRAD =,F9.3,17X,8HTBIMAX =,F9.3,2X,5HGRD C)
WRITE(9,305) AZA00,SAMH,VCBLR,NR
305 FORMAT(1H0,8HAZAO      =,F9.3,17X,8HSAMH      =,F10.4,5X,8HW/CM*GRD,3X,
18HVCLR =F9.3,17X,8HNR      =I5)
WRITE(9,336) EUK,WZM1,KGEO,KRB
336 FORMAT(1H0,8HEUK      =F9.3,17X,8HWZM      =F10.4,5X,4H1/CM,7X,8HKGEO
1      =I5,21X,8HKRB      =I5)
WRITE(9,337) EUP,AST,STH,DTRB
337 FORMAT(1H0,8HEUP      =F9.3,17X,8HAST      =F9.3,17X,8HSTH      =F9.3,
14X,2HCM,11X,8HDTRB      =F9.3,2X,5HGRD C)
WRITE(9,338) EUT,THBLA,FKBLR,DHBLR,FWBLR,DS
338 FORMAT(1H0,8HEUT      =F9.3,17X,8HTHBLA =F9.3,5X,5HGRD C,7X,8HFKBLR
1      =,F9.3,4X,5HCM**2,8X,8HDHBLR =,F9.3,2X,2HCM/1H0,8HFWBLR =,F9.3
2,17X,8HDS      =,F9.3,5X,2HCM/)
WRITE(9,335) V1,V2,V4,V5,V6,VS1,VS2,VL,VLRB
335 FORMAT(1H0,25HHEISSKANALFAKTOREN - V1 =,F6.3,3X,4HV2 =,F6.3,3X,
14HV4 =,F6.3,3X,4HV5 =,F6.3,3X,4HV6 =,F6.3/1H0,26HSCHIEFLASTFAKTORE
2N - VS1 =,F6.3,3X,5HVS2 =,E10.3,10X,18HLECKAGEFAKTOR VL =,F6.3,
310X,20HBLANKETFAKTOR VLRB =F6.3)
WRITE(9,350)
350 FORMAT(/1H0,4IHINTEGRALE MITTELWERTE DER DICHTEN IM CORE)
WRITE(9,351) RHOQ(1)
351 FORMAT(1H+,50X,21HGESAMTES CORE, RHOQ =F9.5,2X,7HG/CM**3)
DO 503 J=2,6
JO=J-1
503 WRITE(9,352) JO,RHOQ(J)
352 FORMAT(1H0,50X,4HZONE,I2,9X,6HRHOQ =F9.5,2X,7HG/CM**3)
WRITE(9,318)
318 FORMAT(1H1,71HAXIALE TEMPERATUR-,DRUCK- UND DICHTEVERTEILUNG IM NO
1MINELLEN KUEHLKANAL)
WRITE(9,319)
319 FORMAT(1H0,18X,1HZ,6X,2HTH,6X,1HP,7X,3HRHO,7X,1HI,7X,2HCP,7X,1HW,
17X,2HRE,8X,2HPR,5X,3HCHI,7X,1HH,7X,3HTWA,5X,3HTWI,5X,3HTBI)
WRITE(9,320)
320 FORMAT(1H0,18X,2HCM,4X,5HGRD C,3X,3HATA,4X,7HG/CM**3,2X,7HKCAL/KG,
12X,8HWS/G*GRD,2X,3HM/S,6X,1H1,9X,1H1,6X,4HW/CM,2X,9HW/QCM*GRD,
22X,5HGRD C,3X,5HGRD C,3X,5HGRD C)
DO 400 N=1,3
GO TO (401,402,403),N
401 WRITE(9,321)
321 FORMAT(1H0,15HREAKTOREINTRITT/)
GO TO 404
```

```
402 WRITE(9,322)
322 FORMAT(1H0,14HMITTELWERTE IM/1H ,12HRAD. BLANKET)
GO TO 404
403 WRITE(9,323)
323 FORMAT(1H0,14HUNTERES PLENUM/)
404 WRITE(9,324) TH(N),P(N),RHO(N),ENT(N)
324 FORMAT(1H+,21X,2F8.2,F9.5, F9.3)
400 CONTINUE
DO 409 N=4,7
NGT=N-3
GO TO (405,406,407,415),NGT
405 WRITE(9,325)
325 FORMAT(1H0,15HEINTRITT IN DIE/1H ,12HSPALTGASZONE)
GO TO 408
406 WRITE(9,326)
326 FORMAT(1H0,11HEINTRITT IN/1H ,14HUNT.AX.BLANKET)
GO TO 408
407 WRITE(9,327)
327 FORMAT(1H0,14HMITTELWERTE IM/1H ,14HUNT.AX.BLANKET)
GO TO 408
415 WRITE(9,329)
329 FORMAT(1H0,12HCOREEINTRITT)
408 WRITE(9,328) ZA(N),TH(N),P(N),RHO(N),ENT(N),CP(N), RE(N),PR(N)
328 FORMAT(1H+,F21.1,2F8.2,F9.5, F9.3,F8.3,E20.4,F7.3)
409 CONTINUE
DO 505 N=8,37
W =GO/(FK*RHO(N)*100.)
CHI =CHIMAX*COS(((ZA(N)-HO)*3.1416) /HS)
TWI =TWA(N)+CHI *CDTW
TBI =TWI +CHI *CWBI
505 WRITE(9,330) ZA(N),TH(N),P(N),RHO(N),ENT(N),CP(N),W ,RE(N),
1PR(N),CHI ,H(N),TWA(N),TWI ,TBI
330 FORMAT(1H ,F21.1,2F8.2,F9.5, F9.3, F8.3,F8.2,E12.4,F7.3,F8.2,F8.3,
1F9.2,F8.2,F8.1)
DO 410 N=38,40
NGT=N-37
GO TO (411,412,413),NGT
411 WRITE(9,331)
331 FORMAT(1H ,12HCOREAUSTRITT)
GO TO 414
412 WRITE(9,332)
332 FORMAT(1H0,14HMITTELWERTE IM/1H ,13HOB.AX.BLANKET)
GO TO 414
413 WRITE(9,333)
333 FORMAT(1H0,15HAUSTR.NOM.KANAL)
414 WRITE(9,328) ZA(N),TH(N),P(N),RHO(N),ENT(N),CP(N), RE(N),PR(N)
410 CONTINUE
RETURN
```

7.2.4 SUBROUTINE COMBRE

```
SUBROUTINE COMBRE (ITWI,AZA00,TWIM)
COMMON QEL,CHIMAX,P1,P2,TH1,TH2,ETAN,D,DH,FK,S,DS,PHIAX,PHIRAD,
IHC,DC,SH,SAMH,DB,SAMBR,HS,HBL,HSPG,S1,S2,GR,ALPHA1,TWAMAX,
2TWIMAX,TBIMAX,ANG,EUK,EUP,EUT,CDTW,CWBI
WRITE(9,501) QEL,CHIMAX,P1,TWIM,TH2,ALPHA1,D,AZA00,S1,S2
501 FORMAT(1H ,7HEINGABE/1H ,7HQEL =,F9.3,5X,7HCHIMAX=,F9.3,5X,7HP1
1 =,F9.3,5X,7HTWIM =,F9.3,5X,7HTH2 =,F9.3/1H ,7HALPHA1=,F9.3,
25X,7HD =,F9.3,5X,7HAZA0 =,F9.3,5X,7HS1 =,F9.3,5X,
37HS2 =,F9.3)
WRITE(9,500) ITWI
500 FORMAT(1H ,31HRECHNUNG ABGEBROCHEN BEI ITWI =,I3)
RETURN
```

7.2.5 FUNCTION AFUNC

```
FUNCTION AFUNC(PHIAX)
HZHS=SQRT (-2.755*(PHIAX-1.))
1 HZHS0=HZHS
HZHS=SIN (1.5707963*HZHS)/(1.5707963*PHIAX)
Y=ABS (HZHS0-HZHS)
IF(1.E-5-Y)1,1,2
2 AFUNC=HZHS
RETURN
```

7.2.6 FUNCTION BFUNC

```
FUNCTION BFUNC(Y,N1,N2)
DIMENSION Y(51)
SG=0.
SU=0.
I1=N1+1
NX=N2-N1
IF(1-NX)5,4,4
4 WRITE (9,100)
GO TO 6
5 IF(FLOAT (NX/2)-FLOAT (NX)/2.)2,9,9
9 FS=0.
GO TO 1
2 FS=(5.*Y(N2)+8.*Y(N2-1)-Y(N2-2))/12.
N2=N2-1
1 I2=N2-1
DO 3 I=I1,I2,2
SG=SG+Y(I)
3 SU=SU+Y(I+1)
8 BFUNC=((Y(N1)+4.*SG+2.*SU-Y(N2))/3.+FS)/FLOAT (NX)
6 RETURN
100 FORMAT(1H0,27HBFUNC ZU WENIG INTERVALLE)
```