

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

Mai 1975

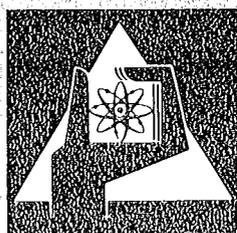
KFK 2149

Institut für Material- und Festkörperforschung

WIROCO

Fortran-Rechenprogramm für radiale und axiale Wärmeübertragung,
Strahlung und radiale Wärmeausdehnung in rotationssymmetrischen
Systemen mit Hilfe der Relaxationsmethode

H. Seitz



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Material- und Festkörperforschung

KFK - Bericht Nr. 2149

WIROCO

Fortran-Rechenprogramm für radiale und axiale Wärmeübertragung,
Strahlung und radiale Wärmeausdehnung in rotationssymmetrischen
Systemen mit Hilfe der Relaxationsmethode

von
H. Seitz

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Zusammenfassung

Das Fortran Rechenprogramm WIROCO dient zu thermodynamischen Berechnungen von rotationssymmetrischen Systemen und ist daher besonders gut für wärmetechnische Auslegungen von Bestrahlungseinsätzen geeignet. Mit Hilfe der Relaxationsmethode der Thermodynamik berechnet das Programm stationäre Temperaturfelder unter Berücksichtigung der radialen und axialen Wärmeleitung, der Wärmestrahlung und der radialen thermischen Ausdehnung. Die Wärmeleit- und Wärmeübergangszahlen können ebenso wie die stoffabhängigen Wärmequellichten als temperaturabhängige Größen in die Rechnung eingehen.

Nach einigen Ausführungen zur Relaxationstheorie wird der Aufbau des Rechenprogramms WIROCO erläutert unter besonderer Berücksichtigung der variablen Dimensionierung der Feldgrößen. Der Beschreibung der Eingabedaten folgt ein Beispiel, das die Berechnung des Temperaturfeldes für einen Bestrahlungseinsatz zeigt.

Abstract

The WIROCO FORTRAN computer program is used for thermodynamics calculations of rotationally symmetrical systems and, for this reason, lends itself particularly well to the application in thermal design of in-pile rigs. The program uses the relaxation method of thermodynamics to calculate steady state temperature fields, taking into account radial and axial heat conduction, heat radiation, and radial thermal expansion. The heat conduction and heat transfer numbers may be included in the calculation as temperature dependent quantities, just as the heat source densities, which are a function of the respective material.

After some remarks about the relaxation theory a discription is given of the structure of the WIROCO computer program, in particular in the light of variable dimensioning of the field parameters. The description of the input data is followed by an example indicating the calculation of the temperature field for an in-pile rig.

Inhalt -----	Seite -----
1. Anwendung des Fortran-Programms WIROCO	1
2. Das Relaxationsverfahren	1
2.1 Netzwerk	4
2.2 Wärmeleitwerte	6
2.3 Wärmeübergangswerte	8
2.4 Strahlungsleitwerte	10
2.5 Volumina	11
3. Aufbau des Fortran-Programms WIROCO	16
3.1 MAIN	17
3.2 Dynamische Dimensionierung der Felder	18
3.3 Job-Control-Language für Batch- und Band-Betrieb	22
4. Daten-Eingabe	23
4.1 Einlese-Formate	23
4.2 Daten und Dimensionen (1. bis 16. Datensatz)	23
4.3 INDEX, INDOX, INDOP	40
4.4 Subroutine KOVA, EPSILO und DELTAR	40
4.5 Speicherplatzbedarf und Rechenzeit	43
5. Fehlermeldungen	44
6. Beispiel	45
7. Nomenklatur	72
8. Literatur	74

1. Anwendung des Fortran-Programms WIROCO

Mittels des Relaxationsverfahrens der Thermodynamik berechnet das Fortran-Rechenprogramm WIROCO stationäre Temperaturfelder in rotationssymmetrischen Systemen unter Berücksichtigung der radialen und axialen Wärmeleitung, der Wärmestrahlung, der Wärmeerzeugung und der radialen thermischen Ausdehnung. Die thermodynamischen Stoffwerte, einschließlich der stoffabhängigen Wärmequellichten, können als temperaturabhängige Größen in die Rechnung eingehen. Wärmeübertragung durch Konvektion kann über die gesamte äußere Oberfläche der betrachteten Anordnung erfolgen. Freie oder erzwungene Konvektion in Gasspalten wird vernachlässigt, kann aber mittels einer umgeformten Wärmeübergangszahl (siehe Kap. 2.3) berücksichtigt werden.

Das Rechenprogramm ist besonders gut geeignet für thermodynamische Berechnungen und Auslegungen von Testeinrichtungen für in- und out-pile Versuche, wenn der axiale Anteil des Wärmeflusses von Bedeutung ist. Diese Versuchsanordnungen, wie z. B. Bestrahlungseinrichtungen und -einsätze, besitzen meist eine rein rotationssymmetrische Geometrie.

Das Institut für Reaktorbauelemente hat das Rechenprogramm RELAX ¹⁾ entwickelt, das die allgemeine Form der Fouriergleichung der Wärmeübertragung als Grundlage für das Relaxationsverfahren nimmt. Das Fortran-Programm WIROCO besteht in der Hauptsache aus diesem Programm RELAX und einem Programmteil, in dem die Eingabedaten unter den obengenannten Voraussetzungen für das RELAX-Programm aufbereitet werden.

2. Das Relaxationsverfahren

Die Relaxationsmethode der Thermodynamik zur Berechnung stationärer und instationärer Temperaturfelder in Körpern beliebiger Geometrie benutzt

ein Differenzenverfahren zur Lösung der mehrdimensionalen Fourier-Gleichung der Wärmeübertragung; sie ist also unabhängig von einem Koordinatensystem.

In den betrachteten Körper wird ein beliebiges Maschennetz gelegt. Die Masse eines so entstandenen Volumenelements wird in einem Punkt zusammengefaßt; die Netz-Punkte werden durch wärmeleitende Stäbe miteinander verbunden. Für jeden Punkt wird die Wärmebilanz aus den zugeführten, abgeführten und eventuell erzeugten Wärmemengen gebildet. Dadurch erhält man so viele Gleichungen, wie Netzpunkte vorhanden sind, so daß sich das Temperaturfeld nach vielen Iterationsschritten berechnen läßt. Ein Netzpunkt wird hauptsächlich charakterisiert durch die Wärmeleitwerte, die Wärmeübergangswerte, die Strahlungsleitwerte und das Volumen bzw. die Masse, die der Punkt repräsentiert. Das Letztere ist nur bei Vorhandensein von Wärmequellen, wie z. B. γ -Heizung, wichtig.

Für den stationären Fall der Wärmeübertragung ergibt sich für den Wärmestrom in Richtung der Wegkoordinate s nach der Fourierrechnung:

$$q = - \lambda \frac{dt}{ds}$$

$$\dot{Q} = - \lambda F \frac{dt}{ds} ; F = \text{Wärmeaustauschfläche}$$

In Differenzenform:

$$\dot{Q} = \lambda \frac{F}{\Delta s} \cdot \Delta t = L \cdot \Delta t$$

$$L = \text{Wärmeleitwert} \left[\frac{W}{\text{grad}} \right]$$

Bei der Wärmebilanz um einen Netzknoten mit dem Volumenelement $\Delta V = V_0$ betrachtet man die einzelnen Wärmeströme, die zwischen den benachbarten Gitterpunkten in Richtung des Netzes durch die wärmeleitenden Stäbe fließen.

Für das folgende einfache Beispiel erhält man:

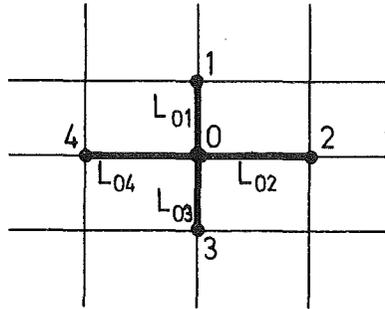


Abb. 1: Energiebilanz für den Punkt 0

L_{0i} = Wärmeleitwerte von Punkt 0 zu den Nachbarpunkten

$$\left. \begin{aligned} \dot{Q}_{01} &= L_{01} (t_1 - t_0) \\ \dot{Q}_{02} &= L_{02} (t_2 - t_0) \\ \dot{Q}_{03} &= L_{03} (t_3 - t_0) \\ \dot{Q}_{04} &= L_{04} (t_4 - t_0) \end{aligned} \right\} +$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_0 &= L_{01} (t_1 - t_0) + L_{02} (t_2 - t_0) + L_{03} (t_3 - t_0) \\ &\quad + L_{04} (t_4 - t_0) \end{aligned}$$

Energiebilanz für den Punkt 0:

$$\dot{Q}_0 + \phi V_0 = 0$$

$$\phi \left[\frac{\text{W}}{\text{cm}^3} \right] = \text{Wärmequellendichte}$$

$$\phi \cdot V_0 \left[\text{W} \right] = \text{im Punkt 0 erzeugte Wärme}$$

Allgemein für Punkt j gilt:

$$\sum_i L_{ji} (t_i - t_j) + \phi V_j = 0$$

Zwischen zwei benachbarten Gitterpunkten kann auch eine sogenannte Doppelverbindung mit zwei verschiedenen Wärmeleitwerten bestehen. Dies ist dann immer der Fall, wenn die Punkte auf der Begrenzungsfläche zweier Werkstücke liegen.

Um die für die Relaxationsmethode erforderlichen wärmetechnischen Kennwerte berechnen zu können muß man sich für ein festes Koordinatensystem entscheiden. Es werden Zylinderkoordinaten gewählt. Da bei rotations-symmetrischen Systemen die Wärmeübertragung in Umfangsrichtung keine Rolle spielt, beschränkt sich das Rechenprogramm WIROCO auf die stationäre, 2-dimensionale Wärmeübertragung.

2.1 Netzwerk

Für rotationssymmetrische Systeme ist für die Darstellung des Netzwerkes lediglich ein Schnitt in axialer Richtung erforderlich. Die Geometrie des Körpers erhält man in der Regel aus Konstruktionszeichnungen. Beim Erstellen eines Netzwerkes muß man konstruktive Einzelheiten, wie Gewinde, Schweißnähte, Schrauben etc, vernachlässigen und sich nur auf die für die Wärmeübertragung wesentlichen Teile und Abmaße beschränken.

Das Netzwerk besteht aus Höhen- und Radienlinien. Die meisten Höhen und Radien sind durch die Konstruktion und die Geometrie des Körpers festgelegt. Hinzu kommen noch frei wählbare Linien. Jedoch sollte wegen der Rechengenauigkeit des Programms darauf geachtet werden, daß die Maschenbreiten der Höhenlinien, ebenso die Maschenbreiten der Radienlinien möglichst gleich groß sind. Ideal ist eine gleichmäßige Maschenverteilung des

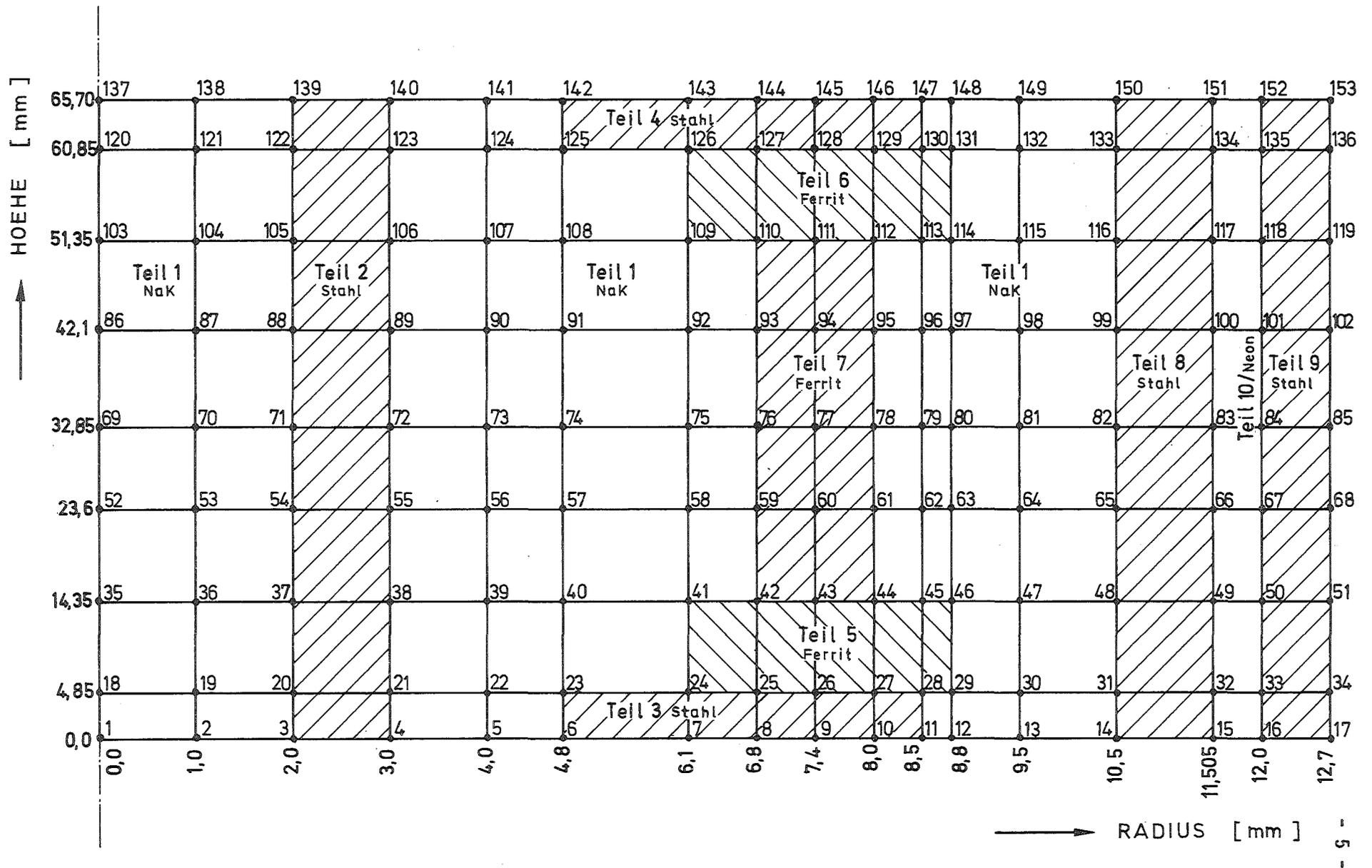


Bild 1: Netzwerk für einen Bestrahlungseinsatz

Netzwerkes. Beim Zeichnen und Auswerten des Netzwerk-Planes ist eine geeignete Vergrößerung des Modells sehr vorteilhaft.

Bild 1, Seite 5 zeigt das Netzwerk für einen Bestrahlungseinsatz. Die Höhen- und Radiallinien werden einzeln vermaßt; die Dimension ist [mm]. Die Netzpunkte werden von Punkt 1 an (Radius = 0.0 [mm], Höhe 0.0 [mm]) fortlaufend in radialer Richtung von unten nach oben durchnummeriert. Die einzelnen Werkstücke des Bestrahlungseinsatzes werden ebenfalls - allerdings beliebig - durchnummeriert.

2.2 Wärmeleitwerte

Die Wärmeleitwerte beschreiben die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung zwischen den einzelnen Netzpunkten. Der Wärmeleitwert ist allgemein definiert als Produkt aus der Wärmeleitzahl λ und der Wärmeaustauschfläche F bezogen auf die Länge des wärmeleitenden Stabes. Wegen der Rechengenauigkeit des Programms sollten die Wärmeleitwerte annähernd gleich groß, jedoch nicht mehr als 5 Zehnerpotenzen voneinander verschieden sein. Gleich große (radiale und axiale) Wärmeleitwerte erhält man durch ein gleichmäßiges Maschennetz.

Für Zylindergeometrie erhält man folgende Wärmeleitwerte:

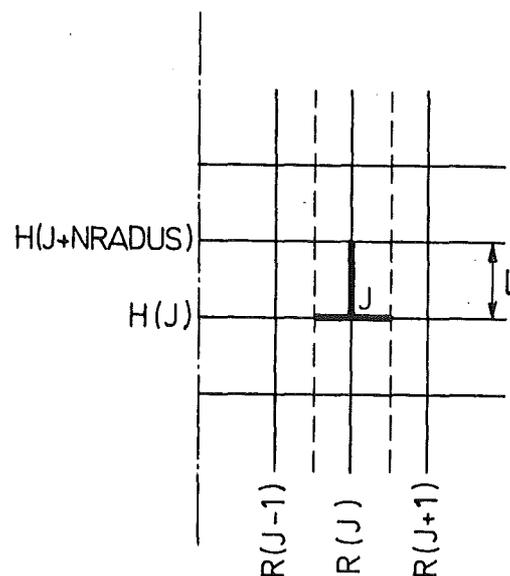
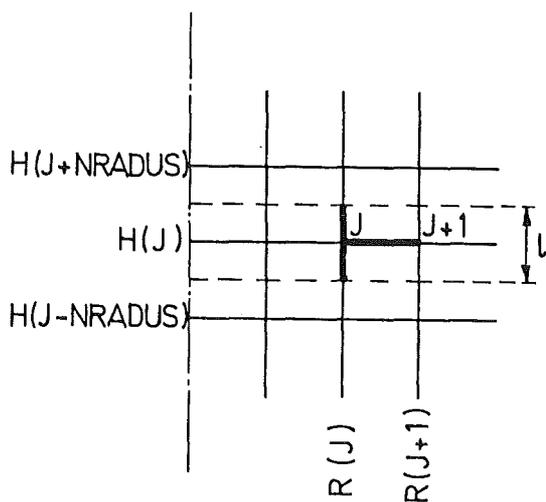


Abb. 2: radialer Wärmeleitwert

Abb. 3: axialer Wärmeleitwert

radial:

$$\dot{q} = - \lambda \frac{dt}{dr}$$

$F = 2\pi r l =$ Wärmeaustauschfläche

$$\dot{Q} \int_{R(J)}^{R(J+1)} \frac{dr}{r} = - 2\pi l \lambda \int_{t_J}^{t_{J+1}} dt$$

$$L_{\text{radial}} = \frac{2\pi l \lambda}{\int_{R(J)}^{R(J+1)} \frac{dr}{r}} = \frac{2\pi l \lambda}{\ln \frac{R(J+1)}{R(J)}} \left[\frac{W}{\text{grad}} \right] = \text{Wärmeleitwert von Punkt J zu Punkt J + 1}$$

$$l = \frac{H(J + \text{NRADUS}) - H(J - \text{NRADUS})}{2} \quad [\text{mm}]$$

NRADUS = Zahl der gesamten Radienlinien des Netzwerkes

$$L_{\text{radial}} = \frac{\pi}{10} \cdot \lambda \cdot \frac{[H(J + \text{NRADUS}) - H(J - \text{NRADUS})]}{\ln \frac{R(J+1)}{R(J)}} \left[\frac{W}{\text{grad}} \right]$$

axial:

$$L_{\text{axial}} = \lambda \cdot \frac{F}{l}$$

$F =$ Wärmeaustauschfläche

$$F = \pi \left[\left(\frac{R(J+1) + R(J)}{2} \right)^2 - \left(\frac{R(J) + R(J-1)}{2} \right)^2 \right]$$

$$= \frac{\pi}{4} \left[(R(J+1) + R(J))^2 - (R(J) + R(J-1))^2 \right] \left[\text{mm}^2 \right]$$

$$L_{\text{axial}} = \lambda \cdot \frac{\pi}{40} \frac{(R(J+1) + R(J))^2 - (R(J) + R(J-1))^2}{H(J + \text{NRADUS}) - H(J)} \left[\frac{\text{W}}{\text{grad}} \right]$$

2.3 Wärmeübergangswerte

Das Programm WIROCO sieht Wärmeübergänge durch freie oder erzwungene Konvektion nur an der äußeren Oberfläche einer Versuchsanordnung vor. Die Wärmeübergangswerte sind - entsprechend den Wärmeleitwerten - definiert als Produkt aus Wärmeübergangszahl α und Wärmeaustauschfläche F :

$$\Delta \dot{Q} = \alpha \cdot F \cdot \Delta t = \text{WUEB} \cdot \Delta t$$

$$\text{WUEB} = \alpha \cdot F \left[\frac{\text{W}}{\text{grad}} \right]$$

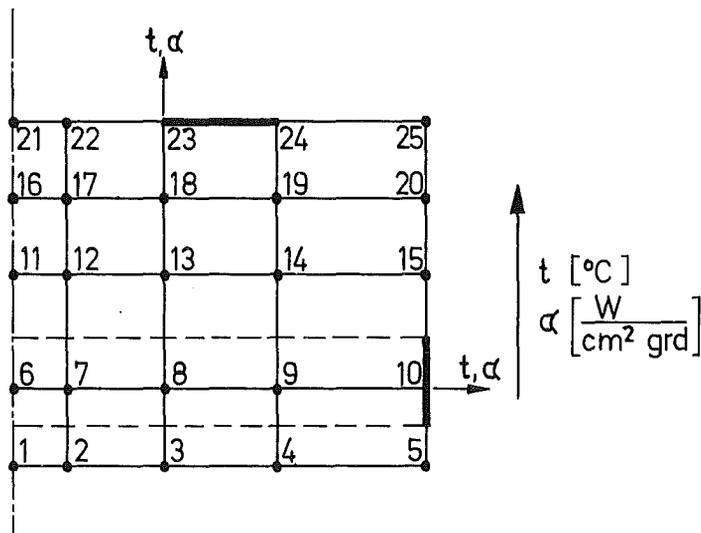


Abb. 4: Wärmeübergangswerte

Wärmeübergangswert für Punkt J am Umfang:

vgl. Punkt 10, Abb. 4

$$WUEB = \alpha \cdot F = \alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R(J) \cdot 1/100 \quad [\text{W/grad}]$$

$$l = \frac{H (J + NRADUS) - H (J - NRADUS)}{2} \quad [\text{mm}]$$

$$WUEB = \alpha \cdot \pi \cdot R(J) \left[H (J + NRADUS) - H (J - NRADUS) \right] / 100 \quad [\text{W/grad}]$$

Wärmeübergangswert für Punkt J am Fuß- bzw. Kopfende der Versuchsanordnung:

vgl. Punkt 23, Abb. 4

$$WUEB = \alpha \cdot F = \alpha \cdot \pi \cdot (R (J+1)^2 - R (J)^2) / 100 \quad [\text{W/grad}]$$

In den meisten Fällen wird nur der Wärmeübergang über die äußere Mantelfläche berücksichtigt. Die Fuß- und Kopfenden der Versuchsanordnung werden dann als adiabate Flächen betrachtet; d. h. über diese Flächen wird keine Wärme abgeführt (siehe Kap. 4.2, 6, „Datensatz“).

Wärmeübergang im Innern einer Versuchsanordnung:

Im Rechenprogramm ist die Wärmeübertragung im Innern einer Versuchsanordnung mittels α -Zahlen, d. h. durch Konvektion, nicht ausdrücklich vorgesehen.

Man muß sich hier mit einer Wärmeleitzahl behelfen, die sich aus der Wärmeübergangszahl α und einer (fiktiven) Spaltbreite gemäß der Beziehung

$$\lambda = \alpha \cdot s \left[\frac{\text{W}}{\text{cm} \cdot \text{grad}} \right]$$

zusammensetzt. Diese Wärmeleitfähigkeit λ wird dann in einen Wärmeleitwert L (entsprechend 2.2) umgeformt. Beispiel: direkter Kontakt zweier metallischer Oberflächen

$$\alpha = 0.2 \left[\frac{W}{cm^2 \text{ grad}} \right]$$

fiktiver Spalt: $s = 50 \mu = 0.005 \text{ cm}$

$$\lambda = 0.001 \left[\frac{W}{cm \text{ grad}} \right]$$

2.4 Strahlungsleitwerte

Hierbei handelt es sich natürlich um die thermische Strahlung zwischen zwei Flächen. In radialer Richtung erfolgt der Strahlungsaustausch zwischen konzentrischen Flächen, in axialer Richtung zwischen planparallelen Platten. Nach der Relaxationsmethode erfolgt die Strahlung von Punkt zu Punkt nach folgenden Beziehungen:

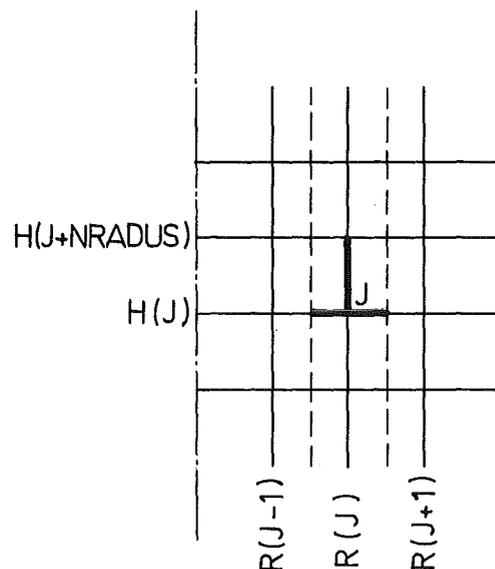
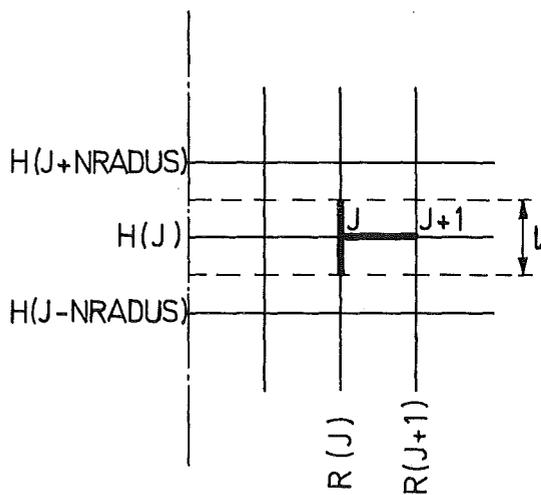


Abb. 5: radialer Strahlungsleitwert

Abb. 6: axialer Strahlungsleitwert

radial:

S_{radial} = radialer Strahlungsleitwert

$$S_{\text{radial}} = \frac{C_S \cdot F_J}{\frac{1}{\epsilon_J} + \frac{R(J)}{R(J+1)} \left(\frac{1}{\epsilon_{J+1}} - 1 \right)} \cdot \frac{1}{100} \left[\frac{W}{\text{grad}^4} \right]$$

$$F_J = 2\pi R(J) = \pi R(J) \cdot \left[H(J+NRADUS) - H(J-NRADUS) \right] \left[\text{mm}^2 \right]$$

ϵ_J = Emissionszahl im Punkt J

ϵ_{J+1} = Emissionszahl im Punkt J + 1

$$C_S = 5,775 \cdot 10^{-4} \left[\text{Wcm}^{-4} \text{ grad}^{-4} \right]$$

axial:

S_{axial} = axialer Strahlungsleitwert

$$S_{\text{axial}} = \frac{C_S \cdot F_J}{\frac{1}{\epsilon_J} + \frac{1}{\epsilon_{J+NRADUS}} - 1} \cdot \frac{1}{100} \left[\frac{W}{\text{grad}^4} \right]$$

$$F_J = \frac{\pi}{4} \left[(R(J+1) + R(J))^2 - (R(J) + R(J-1))^2 \right] \left[\text{mm}^2 \right]$$

2.5 Volumina

Die durch das Maschennetz entstandenen Segmente besitzen verschiedene Massen, die auf die einzelnen Netzpunkte verteilt werden. Die Massenverteilung ist wichtig, wenn Wärme durch Wärmequellen wie Kernspaltung und γ -Heizung erzeugt wird. Das Rechenprogramm berechnet zunächst die

stoffunabhängigen Volumina um die Netzpunkte und verknüpft sie dann mit den stoffabhängigen Wärmequellichten ϕ :

$$\phi \left[\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^3} \right] = \frac{\dot{Q} \left[\text{Watt} \right]}{V \left[\text{cm}^3 \right]}$$

für γ -Heizung:
$$\phi \left[\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^3} \right] = \gamma \text{ Heizung} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{g}} \right] \cdot \rho \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

Bei einer Bestrahlungskapsel kommt es häufig vor, daß ein Netzpunkt verschiedenen Werkstücken (Teilen) mit verschiedenen Werkstoffen angehört. Man kann nun den einen Punkt, der mehreren (maximal 4) Teilen angehört, durch mehrere Punkte, die nur jeweils einem Teil angehören, ersetzen und diese mit sehr großen Wärmeleitwerten verbinden. Dies ist aber umständlich und erhöht die Punktzahl des Netzwerkes erheblich.

Als zweite Möglichkeit kann man für einen solchen Punkt, bei dem mehrere Teile zusammenstoßen, ein sogenanntes " Schein " - Volumen V_S bilden, das wie folgt definiert ist:

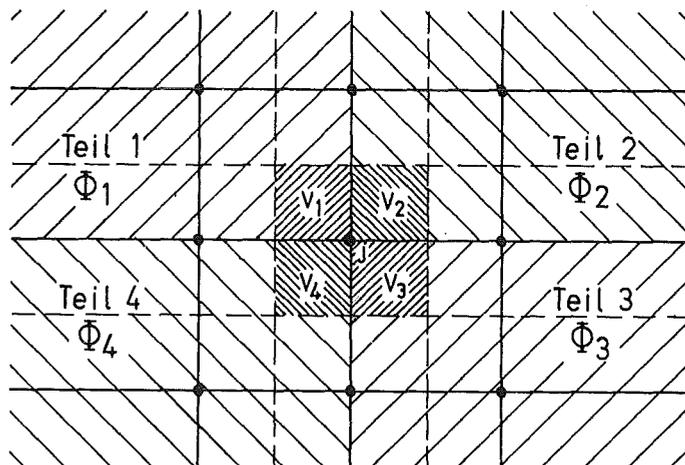


Abb. 7: Scheinvolumen des Punktes J

$$V_S \cdot \phi_{\max} = \sum_i V_i \phi_i, i = 1, 2, \dots$$

ϕ_{\max} ist der größte Wert der Wärmequellichten der verschiedenen Teile, die im Punkt J zusammentreffen.

Das Rechenprogramm WIROCO hingegen ordnet dem Punkt J das Volumenelement des Teils mit der größten Wärmequellichte zu. Die restlichen Teilvolumina werden zu den Volumina der umliegenden Punkte der entsprechenden Teile addiert. Das gesamte Volumen eines Punktes J ergibt sich zu:

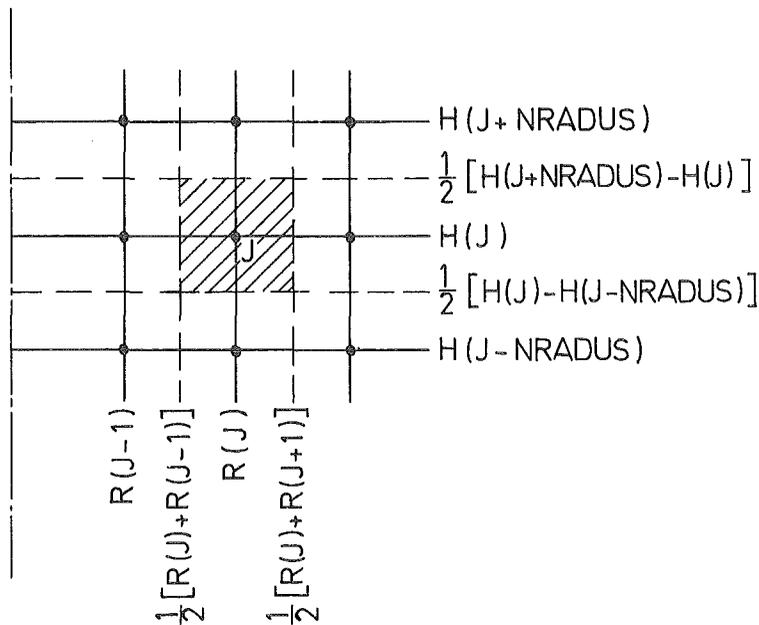


Abb. 8: Volumen des Punktes J

$$V_J = \frac{\pi}{3} \left[(R(J+1) + R(J))^2 - (R(J) + R(J-1))^2 \right] \cdot \left[H(J+NRADUS) - H(J-NRADUS) \right] \cdot 10^{-3} \text{ [cm}^3 \text{]}$$

R, H [mm]

Bild 2, Seite 15, zeigt die Aufteilung der Volumenelemente für einige Gitterpunkte des in den Kapiteln 2.1 und 6 beschriebenen Bestrahlungseinsatzes. Diese Volumina werden durch die engschraffierten Flächen dargestellt.

Z. B. Punkt 42: Im Punkt 42 stoßen 3 Teile zusammen; zwei Teile (5 und 7) haben gleich große Wärmequellichten: $\phi = 112,0 \text{ W/cm}^3$. In diesem Fall wird der Punkt demjenigen Teil zugeordnet, das bei der Dateneingabe zuerst genannt wird. Punkt 42 gehört also Teil 5 an. Punkt 42 erhält noch den zum Teil 5 gehörenden Volumenanteil des Punktes 25. Der Volumenanteil des Punktes 42, der Teil 1 bzw. Teil 7 angehört, wird Punkt 58 bzw. Punkt 59 zugerechnet.

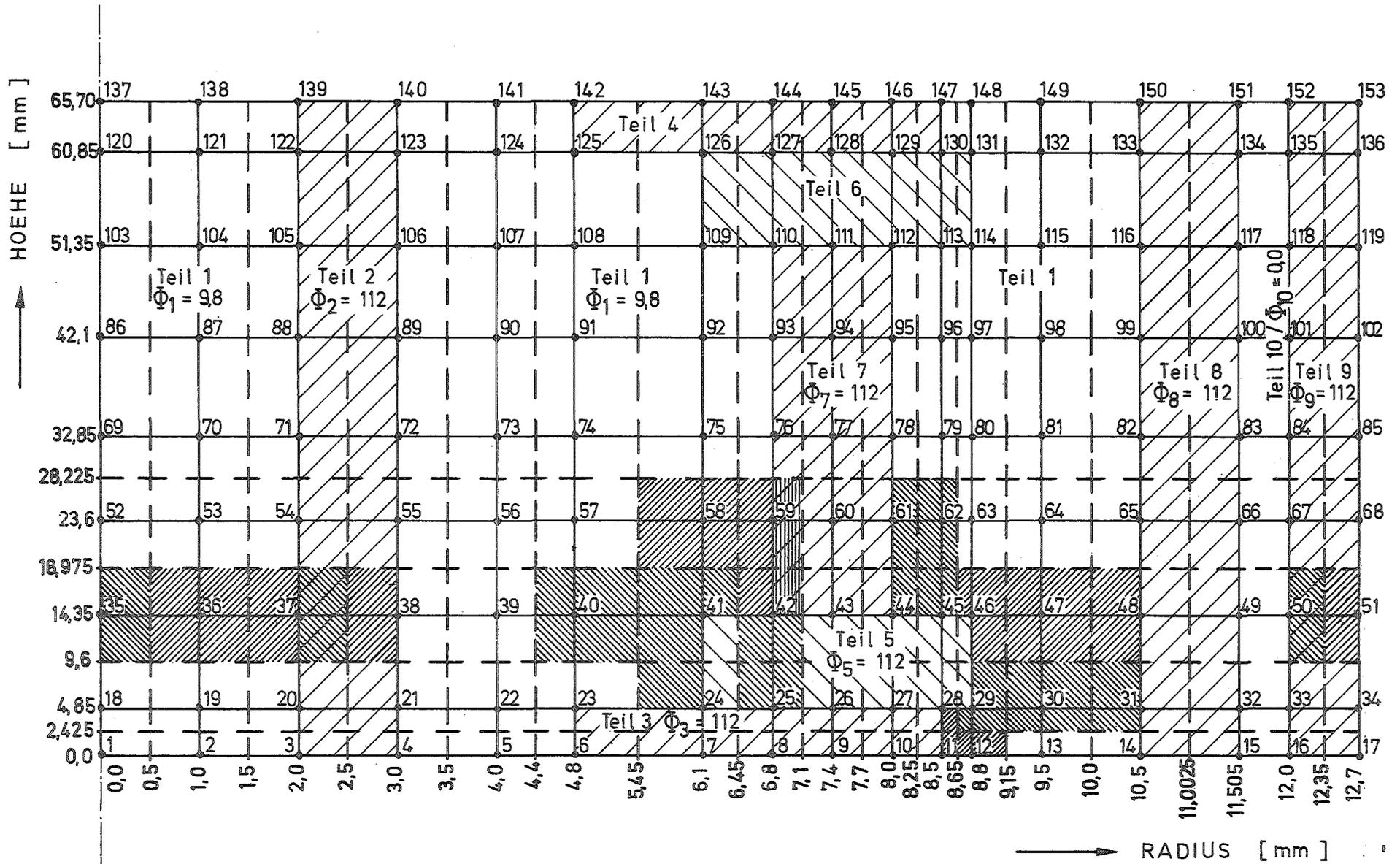
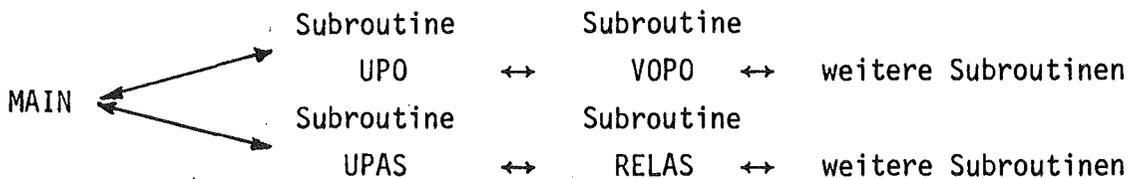


Bild 2: Volumen - Elemente für einige Gitterpunkte
 Φ [W/cm³] = Wärmequellendichte

3. Aufbau des Fortran-Programms WIROCO

Das Programm besteht aus einem kurzen Hauptprogramm MAIN. Zunächst wird über die Subroutine UPO die Subroutine VOPO aufgerufen, in der die Eingabedaten aufbereitet werden. Die Rechenergebnisse von VOPO werden dann über das Hauptprogramm MAIN der Subroutine UPAS und der Subroutine RELAS zugeführt, in der die Temperaturfelder nach dem Relaxationsverfahren berechnet werden.



Bei Berücksichtigung der Wärmeausdehnung werden im Unterprogramm RELAS mit Hilfe der für jeden Punkt ermittelten Temperaturen die sogenannten " warmen " Radien berechnet nach der Formel:

$$R [t] = R [20^{\circ}\text{C}] \cdot \frac{1 + \alpha \cdot t}{1 + \alpha \cdot 20} [\text{mm}]$$

- $R [20^{\circ}\text{C}]$ = kalter Radius eines Netzpunktes [mm]
- $R [t]$ = warmer Radius eines Netzpunktes [mm]
- $t [^{\circ}\text{C}]$ = Temperatur eines Netzpunktes
- $\alpha [\text{grd}^{-1}]$ = lineare Wärmeausdehnung

Da im Rechenprogramm WIROCO nur radiale thermische Ausdehnung vorgesehen ist, bleiben also die Höhenlinien unverändert. Mit dieser " warmen " Geometrie werden im Unterprogramm VOPO neue Wärmeleit-, Wärmeübergangs-, Strahlungsleit-Werte und neue Volumina berechnet, die nach dem oben dargestellten Schema wiederum dem Unterprogramm RELAS zugeführt werden. Dies wiederholt sich sooft, bis sich die Radien (aller Netzpunkte) der letzten Iteration um weniger als 0,005 mm (siehe 4.4c) von den Radien der darauffolgenden Iteration unterscheiden. Im Daten-Output ist dann nach dem Ausdruck der Wärmebilanz die Meldung

$$\text{IEPS} = 0$$

zu finden. Maximal sind 20 solcher Programmdurchläufe vorgesehen.

3.1 MAIN

Das Hauptprogramm MAIN dient in erster Linie zur Festlegung der Gesamtfeldlänge aller vorhandenen indizierten Größen mittels der drei großen Felder G, O und P. Ferner ist eine gewisse Steuerung des Programmablaufs vorgesehen.

Die Größe ITER erlaubt eine Berechnung der Temperaturfelder mit oder ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung; außerdem ermöglicht sie bei einer etwa auftretenden Fehlermeldung eine größere Ausgabe von Zwischenergebnissen für das Unterprogramm VOPO.

Die Größe LILI bricht die Rechnung nach einer gewissen Zahl (hier: 20) von Iterationsschritten bei Berücksichtigung der Wärmeausdehnung ab. Der Wert LILI = 20 kann natürlich beliebig verändert werden.

Es folgt der vollständige Text des z. Zt. benutzten Hauptprogramms in Fortran-Programmiersprache:

```
DIMENSION G(.....),TEXT(20),O(.....),P(.....)
INDEX=.....
INDOX=.....
INDOP=.....
READ(5,1001)ITER
LILI=0
8888 READ(5,1000)(TEXT(I),I=1,20)
CALL TITEL(6,TEXT)
6666 CALL UPD(G,O,INDEX,INDOX,NPUNKT,NBINDU,NTEILE,NALFA,NBILA,
1 KONST1,NRADUS,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,NHOEHE,ITER)
CALL UPAS(G,P,INDEX,INDOP,NPUNKT,NBINDU,NTEILE,NALFA,NBILA,
1 KONST1,NRADUS,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,NHOEHE,ITER)
LILI=LILI+1
IF(ITER.LE.9) GOTO 70
IF(ITER.GE.10.AND.ITER.LE.99) GOTO 80
IF(ITER.GE.100.AND.ITER.LE.999) GOTO 90
IF(ITER.EQ.1000) GOTO 9999
GOTO 9999
70 IF(ITER.EQ.LILI) GOTO 9999
GOTO 8888
80 READ(5,1001) ITER
IF(ITER.EQ.0) GOTO 9999
GOTO 6666
90 IF(LILI.EQ.20) GOTO 9999
GOTO 6666
9999 STOP
1000 FORMAT(20A4)
1001 FORMAT(I5)
END
```


Zur Programmierung der dynamischen Dimensionierung von Feldern sei noch folgendes bemerkt:

- . INTEGER- und REAL *4 -Größen benötigen den gleichen Speicherplatz. Deshalb ist es gleichgültig, ob einem Einzelfeld eine Größe vom Typ INTEGER oder REAL *4 zugeordnet wird.
- . Wenn einem Einzelfeld eine REAL *8 -Größe zugeordnet wird, so muß dafür der doppelte Speicherplatz vorgesehen werden. Die REAL *8 -Größe TN (1000) benötigt z. B. 2000 Speicherplätze.
- . Eine mehrfach indizierte Größe A (i, j) benötigt den Speicherplatz $i * j$.
- . Beim H-Compiler der Rechenanlage IBM 370/168, GfK, dürfen die Anfangsadressen der Teilfelder (z. B.: LG01...LG70) nicht selbst wiederum indizierte Größen (z. B.: LG (1)...LG (70)) sein. Beim G-Compiler ist dies jedoch möglich.
- . Beim H-Compiler muß das Gesamtfeld von G (INDEX) in weniger als 70 Einzelfelder unterteilt werden. Beim G-Compiler ist die Zahl der Unterteilungen etwas größer.

Die dynamische Feldvereinbarung hat also den Vorteil, daß man für jedes neu anstehende Problem nur ein einziges Mal die Dimension im MAIN festlegen muß. Dies erlaubt somit auch den bequemen Gebrauch eines Magnetbandes, auf dem das Fortran-Programm als Objekt-Programm abgelegt werden kann.

PROGRAMMAUSZUG:

MAIN:

DIMENSION G(81320),TEXT(20),O(7450),P(9950)

INDEX=81320

INDOX=7450

INDOP=9950

.....

CALL UPO(G,O,INDEX,INDOX,NPUNKT,NBINDU,NTEILE,NALFA,NBILA,
1 KONST1,NRADUS,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,NHOEHE,ITER)
CALL UPAS(G,P,INDEX,INDOP,NPUNKT,NBINDU,NTEILE,NALFA,NBILA,
1 KONST1,NRADUS,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,NHOEHE,ITER)

.....

END

SUBROUTINE UPO(G,O,INDEX,INDOX,NPUNKT,NBINDU,NTEILE,NALFA,NBILA,
KONST1,NRADUS,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,NHOEHE,ITER)

DIMENSION G(INDEX),TEXT(20),O(INDOX)

IF(ITER.GT.100.AND.ITER.LT.999)GOTO 2

READ(5,1000)NPUNKT,NHOEHE,NRADUS,NTEILE,NABSCH,NBINDU

.....

LG01=1

LG03=LG01+NPUNKT

LG04=LG03+NPUNKT

LG05=LG04+NPUNKT

LG06=LG05+NPUNKT

LG07=LG06+NALFA

....

LG62=LG61+NTEILE

LG70=LG62+NTEIL2

INDERG=LG70+NTEILE

LF01=1

LF02=LF01+NPUNKT

...

LF09=LF08+NTEILE

INDORO=LF09+NTEILE

DO 1 IG=1,INDEX

1 G(IG)=0.0

2 CALL VOPO (G(LG01),G(LG03),G(LG04),G(LG05),G(LG06),G(LG07),

1 G(LG08),G(LG09),G(LG10),G(LG11),G(LG12),G(LG13),G(LG14),

2 G(LG15),G(LG16),G(LG17),G(LG18),G(LG19),G(LG20),G(LG22),

3 G(LG23),G(LG24),G(LG25),G(LG26),G(LG27),G(LG28),G(LG35),

4 G(LG36),G(LG37),G(LG38),G(LG39),G(LG40),G(LG41),G(LG42),

5 G(LG43),G(LG44),G(LG46),G(LG47),G(LG48),G(LG49),G(LG50),

6 G(LG51),G(LG52),G(LG61),G(LG62),G(LG70),

7 O(LF01),O(LF02),O(LF03),O(LF04),O(LF05),O(LF06),O(LF07),

8 O(LF08),O(LF09),

9 NPUNKT,NTEILE,NHOEHE,NRADUS,NBINDU,NPUVI,NALFA,NABSCH,

1 KONST1,NBILA,TEXT,MTB,MD,MC,NSTR,MV,NBI,ITER)

RETURN

...

END

FORTS. PROGRAMMAUSZUG:

```
SUBROUTINE VOPO (NV,V,NQ,STR,TB,D,MCW,NLAMB,NXQZ,MPW,TLAMB,
1  XLAMB, TXQZ, XQZ, NS, C, IP1, IP2, NPZ, NA, NT, XLAMAX, JLAMAX, RR,
2  R, NDUEB, VA, VB, VC, VD, VUB, NZ, VOL, VI, WZ, CLWT, IND, NB, NRCW,
3  NR, NC, NRCWS, A, WNR, NSTOFF, NLAMA,
4  EPS, NU, NE, NO, NF, HH, VS, IZ, Q,
5  NPUNKT, NTEILE, NHOEHE, NRADUS, NBINDU, NPUVI, NALFA, NABSCH,
6  KONST1, NBILA, TEXT, MTB, MD, MC, NSTR, MV, NBI, ITER)
  DIMENSION NV(NPUNKT), V(NPUNKT), NQ(NPUNKT), STR(NPUNKT),
1  TB(NALFA), D(NALFA), MCW(NTEILE), NLAMB(NTEILE), NXQZ(NTEILE),
2  MPW(NTEILE), TLAMB(10, NTEILE), XLAMB(10, NTEILE), TXQZ(10, NTEILE),
3  XQZ(10, NTEILE), NS(NTEILE), C(KONST1), IP1(NBILA), IP2(NBILA),
4  NPZ(NPUNKT), NA(NPUNKT, NBINDU), NT(NPUNKT, NBINDU),
5  XLAMAX(NTEILE), JLAMAX(NTEILE), RR(NPUNKT)
  DIMENSION R(NRADUS), NDUEB(NPUNKT), VA(NPUNKT), VB(NPUNKT),
1  VC(NPUNKT), VD(NPUNKT), VUB(NPUNKT), NZ(NPUNKT), VOL(NPUNKT, 4),
2  VI(NPUNKT, 4), WZ(NPUNKT, 4), CLWT(NPUVI), IND(NPUVI), NB(NPUVI),
3  NRCW(NPUVI), NR(NPUVI), NC(NPUVI), NRCWS(NPUVI), A(NPUVI),
4  WNR(NTEILE), NSTOFF(20, NTEILE), NLAMA(NTEILE)
  DIMENSION EPS(NPUNKT), NU(NTEILE, NABSCH), NE(NTEILE, NABSCH),
1  NO(NTEILE, NABSCH), NF(NTEILE, NABSCH), HH(NPUNKT), VS(NPUNKT, 4),
2  IZ(NTEILE), Q(NTEILE),
3  H(200), ALPHA(400), INDJ(4), QJ(4), NN(4), NRQ(4), TEXT(20),
4  TLAMA(10), XLAMA(10), HAI(50), HEI(50), RAI(50), REI(50)
  INTEGER VA, VB, VC, VD, VS, WNR, WZ, WST, WNRMAX, VUB
  ...
  ...
  RETURN
  END
```

3.3 Job-Control-Language für Batch- und Band-Betrieb

Rechenanlage GfK, ADI: IBM/370 - 168, Stand: März 1975

Batch-Betrieb:

```
//.....Job-Karte.....  
// EXEC FHCLG  
//C.SYSIN DD *
```

Karten für
Fortran-Programm
WIROCO

```
//G.FT08F001 DD SYSOUT=A,DCB=(LRECL=133,BLKSIZE=1995,RECFM=FBA)  
//G.SYSIN DD *
```

Daten

```
//.....grüne Schlußkarte..... //
```

Magnetband:

```
//.....Job-Karte.....  
/*SETUP DEVICE=TAPEX,ID=(DV1009,NORING,SAVE,SL)  
/*FORMAT PR,DDNAME=FT08F001,OVFL=ON  
/*FORMAT PR,DDNAME=FT06F001,OVFL=ON  
//MARK6 EXEC FHCLG  
//C.SYSIN DD *
```

MAIN

```
      SUBROUTINE EPSILO(EPS)  
      EPS=.....  
      RETURN  
      END
```

} falls gewünscht !

```
//L.SYSIN DD UNIT=TAPEX,VOL=SER=DV1009,DSN=MARKE6,DISP=(OLD,PASS),  
// LABEL=(6,SL),DCB=(LRECL=80,BLKSIZE=1680,RECFM=FB,DEN=3)  
//G.FT08F001 DD SYSOUT=A,DCB=(LRECL=133,BLKSIZE=1995,RECFM=FBA)  
//G.SYSIN DD *
```

Daten

```
//.....grüne Schlußkarte..... //
```

4. Daten-Eingabe

4.1 Einlese-Formate

Zum Einlesen sämtlicher Daten - außer alphanumerischen Textes - sind lediglich 2 Formate nötig:

Größen vom Typ INTEGER	→	Format: I5
Größen vom Typ REAL (REAL*4)	→	Format: G10.4

Auf der Lochkarte müssen die Zahlen rechtsbündig angeordnet sein, wenn die Daten mit dem Format I5 oder mit dem Format G10.4 in exponentieller Darstellung eingelesen werden sollen.

4.2 Daten und Dimensionen

Die Eingabedaten werden zu einzelnen Datensätzen zusammengefaßt. Sie bestehen im wesentlichen aus Steuergrößen und Größen, die die Geometrie des Netzwerkes und des betrachteten Körpers, die Wärmeleitung, den Wärmeübergang, die Wärmestrahlung, die Wärmeausdehnung und die Wärmeerzeugung beschreiben.

Die Dimensionen werden an den betreffenden Stellen der Datensätze angegeben. Allgemein gelten für die Dateneingabe folgende Dimensionen:

Höhen, Radien:	mm
Wärmeübergangszahl :	$\text{Wcm}^{-2} \text{ grad}^{-1}$
Wärmeleitfähigkeit :	$\text{Wcm}^{-1} \text{ grad}^{-1}$
Wärmequellldichte :	Wcm^{-3}
Temperaturen:	Grad Celsius
lineare Wärmeausdehnungs- koeffizient:	grad^{-1}

1. Datensatz

ITER
FORMAT: I5

- | | |
|------------------|--|
| ITER = 1.....9 | Die Zahl der zu wiederholenden Rechenvorgänge beträgt maximal 9; d. h. es können die Temperaturfelder von maximal 9 verschiedenen Bestrahlungskapseln berechnet werden - jedoch ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung. |
| ITER = 10.....99 | in Bearbeitung (Variation von Parametern) |
| ITER = 100 | Berücksichtigung der radialen Wärmeausdehnung |
| ITER = 1 000 | Programmierter Stop bei IEPS = 0 (siehe Kap. 3) |
| ITER = 2 000 | Umfangreicher Ausdruck von Zwischenergebnissen zur Berechnung der Wärmeleitwerte, Volumina und Netzpunkt-Matrix |
| ITER = 3 000 | Umfangreicher Ausdruck von Zwischenergebnissen zur Berechnung der Volumina für jeden Netzpunkt |
| ITER = 4 000 | Umfangreicher Ausdruck von Zwischenergebnissen zur Berechnung von Wärmeleitwerten |
| ITER = 5 000 | Umfangreicher Ausdruck von Zwischenergebnissen zur Berechnung von Strahlungsleitwerten |

Bei ITER = 2 000 5 000 werden die Zwischenergebnisse nur für den 1. Iterationsschritt (also ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung) ausgedruckt.

2. Datensatz

TEXT
80 beliebige Zeichen

3. Datensatz

NPUNKT	NHOEHE	NRADUS	NTEILE	NABSCH	NBINDU
FORMAT					
I5	I5	I5	I5	I5	I5

Diese Konstanten gehen direkt in die Größen INDEX, INDOX und INDOP (siehe Kap. 3 und Kap. 4.4) ein und legen die Speicherplatzbelegung der Felder G, O und P und somit in der Hauptsache die Größe der Region und der Rechenzeit fest. Oft ist es erstrebenswert und erforderlich, die Werte NPUNKT ... NBINDU möglichst klein zu halten.

NPUNKT: Gesamtzahl der Netzwerk-Punkte (siehe Kap. 2.1)

$$\text{NPUNKT} = \text{NHOEHE} \cdot \text{NRADUS}$$

Beschränkung: $\text{NPUNKT} < 5000$

NHOEHE: Zahl der Höhenlinien des Netzwerkes

Beschränkung: $\text{NHOEHE} \leq 200$

NRADUS: Zahl der Radiallinien des Netzwerkes

NTEILE: Zahl der Teile der Bestrahlungseinrichtung (siehe 2.1).

Ein "Teil " ist im wesentlichen dadurch charakterisiert, daß es aus einem homogenen Werkstoff besteht. Deshalb können zwei oder mehrere Konstruktions-Teile, die aus demselben Werkstoff bestehen und demzufolge die selbe Wärmeleitfähigkeit haben, bei wärmetechnischen Berechnungen zu einem einzigen Teil zusammengefaßt werden. Ein inneres und ein äußeres Hüllrohr aus demselben Stahl können z. B. wie ein Teil mit mehreren Abschnitten behandelt werden.

Beschränkung: $\text{NTEILE} \leq 50$

NABSCH: Maximale Zahl von Abschnitten, die irgendein Teil des betrachteten Bestrahlungseinsatzes besitzt.

Ein Teil besteht mindestens aus einem Abschnitt. Bei rotations-symmetrischer Geometrie hat ein Abschnitt die Form eines Voll-

oder Hohlzylinders. Es ist nicht erforderlich, daß alle Abschnitte eines Teiles zusammenhängen. Auch ist die Reihenfolge der Abschnitte bei der Dateneingabe beliebig.

NBINDU: Maximale Zahl der Verbindungen, die irgendein Netzwerkpunkt mit anderen Punkten besitzt.

Ein Netzwerkpunkt kann maximal acht wärmeleitende Verbindungen durch Wärmeübertragung und maximal vier Verbindungen durch Wärmestrahlung besitzen.

$$NBINDU \leq 12$$

4. Datensatz

H (1)	H (2)	H (3)	.....	H (NHOEHE)
FORMAT				
G10.4	G10.4	G10.4		G10.4

Dimension: mm

H (i) sind die Höhen des Netzwerkes, beginnend bei der kleinsten Höhenlinie H (1). $H (1) < H(2) < H (NHOEHE)$. Meistens ist $H (1) = 0,0$; das muß aber nicht sein. Mit dem Format G10.4 finden 8 Werte auf einer Lochkarte Platz. Besitzt das Netzwerk mehr als 8 Höhenlinien, müssen entsprechend mehrere Lochkarten angefertigt werden.

5. Datensatz

R (1)	R (2)	R (3)	.....	R (NRADUS)
FORMAT				
G10.4	G10.4	G10.4		G10.4

Dimension: mm

R (i) sind die Radien des Netzwerkes; beginnend beim kleinsten Radius R (1). $R (1) < R (2) \dots < R (NRADUS)$. Meistens ist $R (1) = 0,0$; das muß aber nicht sein. Die Zahl der zu druckenden Lochkarten richtet sich entsprechend dem Format 8G10.4 nach der Zahl der Radien des Netzwerkes.

6. Datensatz (Bekannte Temperaturen bei Wärmeübergängen)

In der Regel werden Versuchsanordnungen wie Bestrahlungseinrichtungen an ihren Außenflächen gekühlt, wobei die Kühlmitteltemperatur und die Wärmeübergangszahl α bekannt sind.

Dimensionen: TB (i) [grd.Cels.] = bekannte Temperatur
 α (i) [$\text{Wcm}^{-2} \text{grd}^{-1}$] = Wärmeübergangszahl

Beschränkung: Die Zahl der Wärmeübergänge von den Gitterpunkten an den Begrenzungsflächen der Versuchsanordnung zu bekannten Temperaturen des Kühlmittels ist auf maximal 400 beschränkt.

1. Fall: IBETE = 1

d. h. Wärmeübergang nur am Umfang.

1. Karte:

1
FORMAT I5

2. Karte:

TB (1)	α (1)
FORMAT: G10.4	G10.4

In diesem Fall erfolgt der Wärmeübergang zu bekannten Temperaturen nur über die Oberfläche des äußersten Hüllrohres (siehe Abb. 10). Über die obere und untere Begrenzungsfläche der Versuchsanordnung soll keine Wärme abfließen.

Als Vereinfachung wird angenommen:

$$TB (1) = TB (2) = \dots = TB (NHOEHE)$$

$$\alpha (1) = \alpha (2) = \dots = \alpha (NHOEHE)$$

Die Wärmeübergangszahl und die Temperatur längs des Umfangs gelten als konstant. Deshalb genügt es, jeweils nur einen Wert für die Rechnung einzugeben.

2. Fall: IBETE = 2

d. h. Wärmeübergang am Fuß und Umfang der Versuchsanordnung

1. Karte

2
FORMAT I5

2. Karte und folgende

TB (1)	α (1)	TB (2)	α (2)	.....	TB (MTB)	α (MTB)
FORMAT G10.4	G10.4	G10.4	G10.4		G10.4	G10.4

MTB = Zahl der bekannten Temperaturen, bzw. der Wärmeübergangszahlen

MTB = NRADUS + NHOEHE - 1

Für jeden Gitterpunkt am Fußteil und Umfang müssen die Wertepaare TB (i) / α (i) in der Reihenfolge, wie sie Abb. 11 zeigt, eingegeben werden. Insgesamt sind es " MTB " Wertepaare.

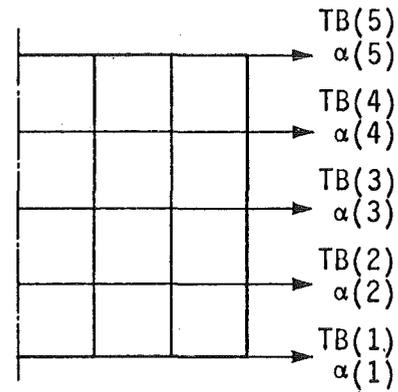


Abb. 10: Beispiel für Wärmeübergang am Umfang (IBETE = 1)

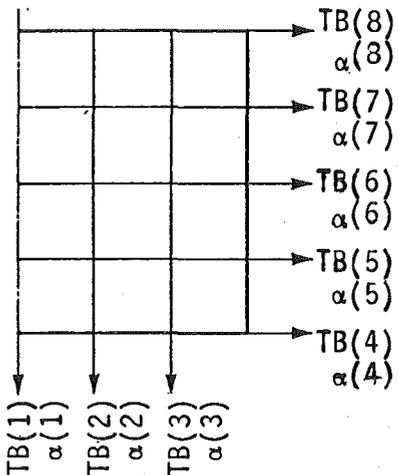


Abb. 11: Beispiel für Wärmeübergang am Fußteil und Umfang (IBETE = 2)

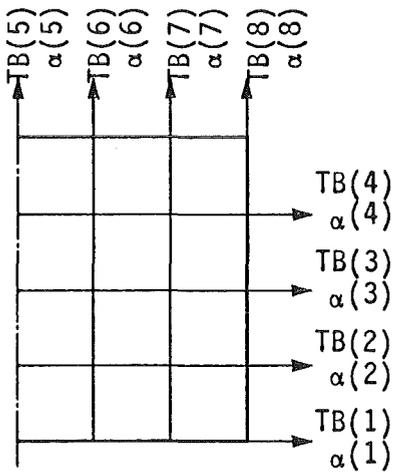


Abb. 12: Beispiel für Wärmeübergang am Kopfteil und Umfang (IBETE = 3)

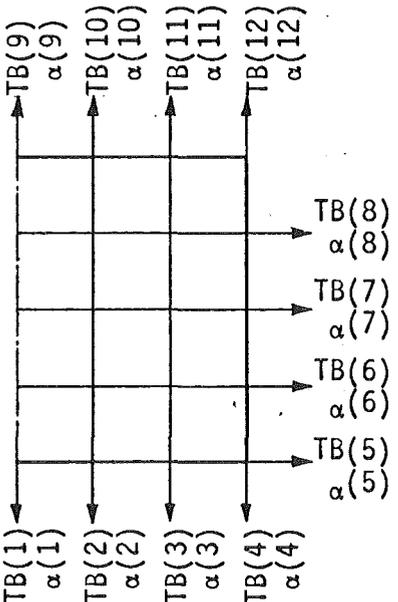


Abb. 13: Beispiel für Wärmeübergang am Fußteil, Umfang und Kopfteil (IBETE = 4)

3. Fall: IBETE = 3

d. h. Wärmeübertragung am Umfang und Kopf der Versuchsanordnung

1. Karte

3
FORMAT I5

2. Karte und folgende

TB (1)	α (1)	TB (2)	α (2)	...	TB (MTB)	α (MTB)
FORMAT						
G10.4	G10.4	G10.4	G10.4		G10.4	G10.4

MTB = Zahl der bekannten Temperaturen, bzw. der Wärmeübergangszahlen

$$MTB = NRADUS + NHOEHE - 1$$

Für jeden Gitterpunkt am Umfang und Kopf müssen die Wertepaare TB (i) / α (i) in der Reihenfolge, wie sie Abb. 12 zeigt, eingegeben werden. Insgesamt sind es " MTB " Wertepaare.

4. Fall: IBETE = 4

d. h. Wärmeübergang am Fuß, Umfang und Kopf der Versuchsanordnung

1. Karte

4
FORMAT I5

2. Karte und folgende

TB (1)	α (1)	TB (2)	α (2)	..	TB (MTB)	α (MTB)
FORMAT						
G10.4	G10.4	G10.4	G10.4		G10.4	G10.4

MTB = Zahl der bekannten Temperaturen, bzw. Wärmeübergangszahlen

$$MTB = 2 * NRADUS + NHOEHE - 1$$

Für jeden Punkt am Fuß, Umfang und Kopf müssen die Wertepaare TB (i) / α (i) in der Reihenfolge, wie sie Abb. 13 zeigt, eingegeben werden. Insgesamt sind es " MTB " Wertepaare.

7. Datensatz

1. Karte

IZNR
FORMAT I5

2. Karte

HA (1)	HE (1)	RA (1)	RE (1)	HA (2)	HE (2)	RA (2)	RE (2)
FORMAT G10.4	G10.4						

.....

letzte Karte

HA (IZNR)	HE (IZNR)	RA (IZNR)	RE (IZNR)
FORMAT G10.4	G10.4	G10.4	G10.4

für jedes Teil

IZNR = Zahl der Abschnitte des betrachteten Teils

- HA (i) [mm] = untere Begrenzungslinie (Höhe) des Abschnitts i
- HE (i) [mm] = obere Begrenzungslinie (Höhe) des Abschnitts i
- RA (i) [mm] = innere Begrenzungslinie (Radius) des Abschn. i
- RE (i) [mm] = äußere Begrenzungslinie (Radius) des Abschn. i

Dieser Datensatz muß für jedes Teil der Versuchsanordnung angefertigt werden. Ausgehend von Teil 1, gibt man zuerst die Zahl " IZNR " der Abschnitte des betrachteten Teils an. Die Abschnitte werden dann - in beliebiger Reihenfolge - durch die innere, äußere, untere und obere Begrenzungslinie beschrieben.

8. Datensatz

WNRMAX
FORMAT I5

WNRMAX = Gesamtzahl aller in der Versuchsanordnung vorhandener Werkstoffe, bzw. Stoffe.

9. Datensatz

WNR (1)	WNR (2)	...	WNR (NTEILE)
FORMAT I5	I5		I5

WNR (Teil i) = Nummer des Werkstoffes des Teils i.

Die Werkstoffe werden mit einer Nummer versehen. Jedes Teil besitzt nun eine Werkstoff-Nummer. Beginnend bei Teil 1, werden in dem Datensatz diese Werkstoffnummern für jedes Teil aufgeführt.

10. Datensatz

NLAMA (1)	NLAMA (2)	...	NLAMA (WNRMAX)
FORMAT I5	I5		I5

NLAMA (Stoff i) = Zahl der Wertepaare t/λ des Werkstoffes i.

Beschränkung auf 10 Wertepaare: $NLAMA (i) \leq 10$

Nachdem die Werkstoffe mit einer Nummer versehen sind, werden im oberen Datensatz die Zahlen der Wertepaare der temperaturabhängigen Wärmeleitzahlen für die Stoffe Nr. 1, 2, 3 ... aufgeführt.

NLAMA (i) = 1 bedeutet eine konstante Wärmeleitzahl für den Stoff i.

11. Datensatz

1. Karte

NSTOFF
Text mit 8 beliebigen Zeichen; Text mit maximal 80 beliebigen Zeichen erlaubt.

2. Karte und folgende

t (1)	λ (1)	t (2)	λ (2)	...	...	t(10)	λ (10)
FORMAT							
G10.4	G10.4	G10.4	G10.4			G10.4	G10.4

für jeden Stoff

Wenn die Wärmeleitzahl λ für den betrachteten Stoff konstant ist:

→	λ
G10.4	G10.4

Dimensionen: t [°C] = Temperatur

λ [Wcm⁻¹ grd⁻¹] = Wärmeleitzahl

NSTOFF = Name des Stoffes, z. B. STAHL, HELIUM

Beschränkung: Maximal 10 Wertepaare pro Stoff

Dieser Datensatz wird für jeden Stoff ausgeführt, beginnend bei Stoff Nr. 1. Auf jede Lochkarte passen 4 Wertepaare.

12. Datensatz

NXQZ (1)	NXQZ (2)	...	NXQZ (NTEILE)
FORMAT I5	I5		I5

NXQZ (Teil i) = Zahl der Wertepaare t/ϕ des Teiles i.

Beschränkung auf 10 Wertepaare: $NXQZ (i) \leq 10$.

Jedes Teil hat je nach Werkstoff eine bestimmte Wärmequellichte $\phi \geq 0,0 [Wcm^{-3}]$. Die Zahl der Wertepaare t/ϕ der temperaturabhängigen Wärmequellichten werden für jedes Teil - beginnend mit Teil 1 - aufgeführt.

NXQZ (Teil i) = 1 bedeutet, daß die Wärmequellichte des Teils i temperaturunabhängig ist: $\phi (i) = const.$

13. Datensatz

t (1)	ϕ (1)	t (2)	ϕ (2)	....	t (10)	ϕ (10)
FORMAT G10.4	G10.4	G10.4	G10.4		G10.4	G10.4

für Teil 1

.....

t (1)	ϕ (1)	t (2)	ϕ (2)	...	t (10)	ϕ (10)
FORMAT G10.4	G10.4	G10.4	G10.4		G10.4	G10.4

für letztes
Teil

Wenn die Wärmequellichte für das betrachtete Teil konstant ist:

\rightarrow	ϕ
G10.4	G10.4

Dimensionen: t [°C] Temperatur

ϕ $\left[\frac{W}{cm^3} \right]$ Wärmequellendichte

z. B.: $\phi \left[\frac{W}{cm^3} \right] = \gamma \text{ Heizung} \left[\frac{W}{g} \right] \cdot \rho \left[\frac{g}{cm^3} \right]$

Beschränkung: Maximal 10 Wertepaare pro Teil.

Bemerkung: ϕ [GAS] = 0,0 [Wcm⁻³]

14. Datensatz (Strahlung)

1. Fall: keine Strahlung

1. Karte

STRAHLUNG
Text mit beliebigen Zeichen in den Spalten 1-80

2. Karte

ENDE
Spalten 1-4

2. Fall: Strahlung mit Flächeneingabe

Die beiden Flächen, zwischen denen Wärmeübertragung durch Strahlung erfolgt, sind bei Rotationssymmetrie bestimmt durch zwei Radien und zwei Höhen.

Strahlung in radialer Richtung:

$R1, R2$ [mm]: Radius der inneren, bzw. äußeren Strahlungsaustauschfläche

H1, H2 [mm]: untere und obere Begrenzung dieser Flächen durch die entsprechenden Höhenlinien;

ϵ_1, ϵ_2 [1] : Emissionsverhältnisse der inneren, bzw. äußeren Strahlungsaustauschfläche.

Strahlung in axialer Richtung:

R1, R2 [mm]: innere und äußere Begrenzung der Strahlungsaustauschfläche durch Radiuslinien;

H1, H2 [mm]: Höhenlinien der unteren und oberen Strahlungsaustauschfläche;

ϵ_1, ϵ_2 [1] : Emissionsverhältnisse der unteren, bzw. oberen Fläche.

Bei der Dateneingabe können nun in beliebiger Reihenfolge die Daten für die radiale (und / oder die axiale) Strahlung eingegeben werden. Man muß nur darauf achten, daß in den Spalten 1-4 entweder " RADI " oder " AXIA " steht:

STRAHLUNG
Text mit beliebigen Zeichen

RADIAL	R1	R2	H1	H2	ϵ_1	ϵ_2
Spalten 1-10; Spalten 1-4:RADI	G10.4	G10.4	G10.4	G10.4	G10.4	G10.4

.....

AXIAL	
Spalten 1-10; Spalten 1-4: AXIA	

.....

ENDE
Spalten 1-4

3. Fall: Strahlung mit Punkteingabe

Bei schwieriger Geometrie des Gasspaltes ist es oft einfacher, die Nummern der Netzpunkte anzugeben, zwischen denen Strahlung ausgetauscht wird.

PUNKTE
Spalten 1-4: PUNK

oder

STRAHLUNG
Text mit beliebigen Zeichen



PUNKTE
Spalten 1-4: PUNK

weiter:

PUNKTE	Punkt 1	Punkt 2	ϵ_1	ϵ_2
Spalten 1-10 ; Spalten 1-4: PUNK	I5	I5	G10.4	G10.4

.....

ENDE
Spalten 1-4

4. Fall: Strahlung mit Flächen- und Punkteingabe

Man muß darauf achten, daß zuerst die Flächeneingabe (" RADIAL ", " AXIAL ") und danach die Punkteingabe (" PUNKTE ") erfolgt. Es gelten die gleichen Formate wie bei den vorangegangenen Fällen:

STRAHLUNG
Text mit beliebigen Zeichen

RADIAL	R1	R2	H1	H2	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$
--------	----	----	----	----	--------------	--------------

AXIAL	R1	R2	H1	H2	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$
-------	----	----	----	----	--------------	--------------

.....

PUNKTE

PUNKTE	Punkt 1	Punkt 2	$\epsilon 1$	$\epsilon 2$
--------	---------	---------	--------------	--------------

.....

ENDE

15. Datensatz (Wärmebilanz)

NBI = Zahl der aufzustellenden Wärmebilanzen

1. Fall: NBI = 0 (Wärmebilanz entfällt)

0
FORMAT I5

2. Fall: NBI = 1 (Gesamt-Wärmebilanz)

1
FORMAT I5

3. Fall: NBI = 2, 3, (Einzelbilanzen)

NBI
FORMAT I5

R1	R2	H1	H2
----	----	----	----

.....

} (NBI-1) - Karten

Dimensionen: R1, R2, H1, H2 [mm]

Für NBI >1 wird zunächst die Wärmebilanz für die gesamte Versuchsanordnung aufgestellt. Weitere Wärmebilanzräume werden durch die sie begrenzenden Flächen beschrieben. Die Flächen sind durch zwei Radien- und zwei Höhenlinien bestimmt. Die errechneten Wärmemengen haben die Dimension: Watt.

16. Datensatz (Wärmeausdehnung)

AUSLIN (1)	AUSLIN (2)	.....	AUSLIN (NTEILE)
FORMAT			
G10.4	G10.4		G10.4

AUSLIN (Teil i) [grad^{-1}] = linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient des Teils i

Bemerkung: AUSLIN (GAS) = 0,0 [grad^{-1}]

4.3 INDEX, INDOX, INDOP

Die Größen INDEX, INDOX und INDOP legen den Speicherplatzbedarf der Felder G, O und P (siehe 3.2) fest. Sie spielen bei der dynamischen Dimensionierung der Felder eine wichtige Rolle und müssen daher sorgfältig berechnet werden. Der Wert für diese Größen darf nie kleiner, eher etwas größer sein, als die Rechnung ergibt.

$$\text{INDEX (UPO)} = 60 * \text{NPUNKT} + 2 * \text{NPUNKT} * \text{NBINDU} + 69 * \text{NTEILE} + 36 * (\text{NHOEHE} + \text{NRADUS}) + \text{NRADUS} + 1$$

$$\text{INDEX (UPAS)} = \text{NPUNKT} * (29 + 5 * \text{NBINDU}) + 56 * \text{NTEILE} + 100 * (\text{NHOEHE} + \text{NRADUS}) + 1$$

$$\text{INDEX} = \text{MAXIMUM} \{ \text{INDEX (UPO)}, \text{INDEX (UPAS)} \}$$

$$\text{INDOX} = 6 * \text{NPUNKT} + (2 + 4 * \text{NABSCH}) * \text{NTEILE} + 1$$

$$\text{INDOP} = (1 + \text{NBINDU}) * \text{NPUNKT} + 2 * \text{NTEILE} + 1$$

4.4 Subroutine KOVA, EPSILO und DELTAR

a) Subroutine KOVA

SUBROUTINE KOVA (KONST1, NBILA, NALFA)

KONST1 =

NBILA =

NALFA =

RETURN

END

KONST1 = Summe aller Wärmeleitwerte;

NBILA = doppelte Zahl aller Punkte, die die Wärmebilanzräume bilden;

NALFA = Zahl der Punkte mit Wärmeübergang durch Konvektion

Die Konstanten KONST1, NBILA, NALFA bestimmen die Größe verschiedener Felder und sind nach Erfahrungswerten wie folgt - festgelegt:

KONST1 = 3 * NPUNKT
NBILA = 16 * (NHOEHE + NRADUS)
NALFA = 2 * (NHOEHE + NRADUS) \leq 400

Je nach Konstruktion und Geometrie der betrachteten Versuchsanordnung können die Größen zu klein gewählt sein. Mit Hilfe der Subroutine KOVA können sie erhöht werden. Dies ist vorallem beim Rechnen mit Magnetband sehr vorteilhaft.

b) Subroutine EPSILO

SUBROUTINE EPSILO (EPS)

EPS =
RETURN
END

EPS = Genauigkeitsschranke (für die Temperaturen)

Bei der Berechnung der Temperaturfelder in der Subroutine RELAS soll die Temperatur im Punkt J beim i-ten Iterationsschritt um nicht mehr als \pm EPS von der Temperatur im Punkt J beim (i-1)-ten Iterationsschritt abweichen. Im Rechenprogramm ist EPS folgendermaßen definiert:

Für NPUNKT \leq 500: EPS = 0,25
Für NPUNKT > 500: EPS = NPUNKT/2 000

Bei einem im Verhältnis zur Gesamtzahl der Gitterpunkte kleinen Wert von EPS benötigt das Programm unter Umständen sehr viel Rechenzeit zur Berechnung der Temperaturverteilung. Bei Berücksichtigung der Wärmeausdehnung kann diese sehr lange werden. Dann erhöht man etwas die Genauig-

keitsgrenze EPS mit Hilfe der Subroutine EPSILO.

c) Subroutine DELTAR

SUBROUTINE DELTAR (REPS)

REPS =

RETURN

END

REPS = Genauigkeitsschranke (für die Radian)

Bei Berücksichtigung der Wärmeausdehnung wird, nachdem ein neues Temperaturfeld mit " warmen " Radian berechnet worden ist, für jeden Punkt des Netzwerkes ein neuer Radius festgelegt, der dann mit dem Radius der vorangegangenen Rechnung verglichen wird. Weichen die Radian aller Punkte um weniger als

$$\text{REPS} = 0,005 \text{ mm} = 5 \mu$$

voneinander ab, so ist die Rechnung beendet. Wenn eine größere oder auch kleinere Genauigkeit erforderlich ist, so muß der Faktor REPS mittels der Subroutine DELTAR entsprechend geändert werden.

4.5 Speicherplatzbedarf und Rechenzeit

Ein so umfangreiches Programm wie WIROCO wird man als Objektprogramm - in übersetzter Form - auf Platte oder Magnetband ablegen. Für die eigentliche Rechnung interessiert dann nur noch der Speicherplatzbedarf für den GO-Step, genannt REGION.G. Bild 3 zeigt den Region-Bedarf des GO-Steps in Abhängigkeit von der Summe aus den Größen INDEX, INDOX und INDOP, die die Länge der Felder G, O und P (siehe 3.2 und 4.3) festlegen. Die nach der folgenden Näherungsformel errechneten Werte liegen nach bisherigen Erfahrungen stets auf der sicheren Seite:

$$\text{REGION.G} \approx 142 + \frac{4}{1000} (\text{INDEX} + \text{INDOX} + \text{INDOP}) \text{ [K]}$$

↓
K-Bytes

Die Rechenzeit ist in erster Linie abhängig von den Genauigkeitsanforderungen wie EPS, REPS, siehe 4.4b, c, und von der Zahl der temperaturabhängigen Größen. Für ein Maschennetz von 150 Punkten benötigt man ungefähr 30 sec, bzw. 2 min, für ein Maschennetz von 1000 Punkten ungefähr 4 min, bzw. 12 min Rechenzeit ohne, bzw. mit Berücksichtigung der Wärmeausdehnung.

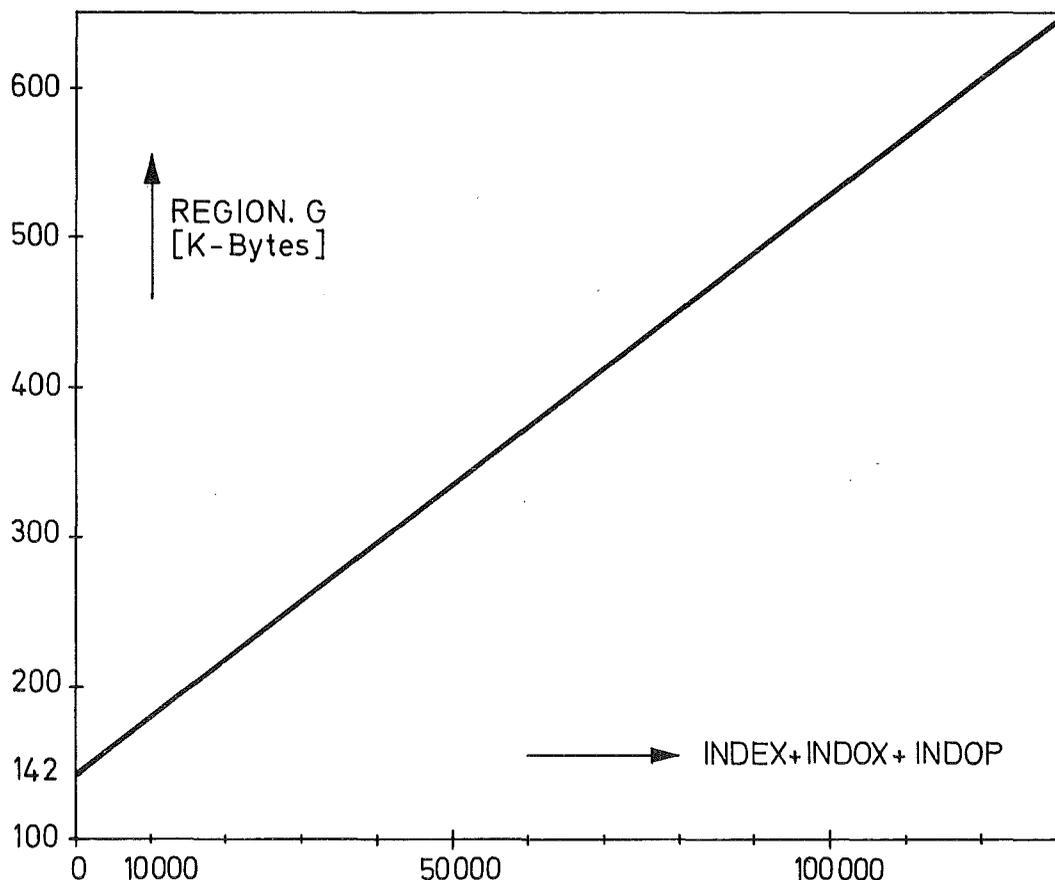


Bild 3: Speicherplatzbedarf des GO-Steps für WIROCO

5. Fehlermeldungen

Häufigste Fehlermeldungen:

- . Overflow
- . oC5: " Adresse größer als Maximal-Adresse "; meistens: Index-Überlauf

Häufigste Fehlerursachen:

- . Region zu klein; INDEX, INDOX, INDOP (siehe 4.3) überprüfen.
- . Rechenzeit zu klein. Bei Wärmeausdehnungsrechnungen EPS (siehe 4.4) vergrößern.
- . falsche Dateneingabe (z. B. Geometrie der Werk-Teile, Vergessen eines Gasspaltes, ...)
- . Dreifachverbindungen sind verboten ! Kann bei Berücksichtigung der Strahlung häufig auftreten. Ein Punkt darf mit einem Nachbarpunkt maximal zweimal durch Wärme- und Strahlungsleitwerte verbunden sein. Netzpunkt-Matrix, die (für ITER = 1) auf der Einheit 8 ausgedruckt wird, überprüfen !
- . Zahl der Wärmeleitwerte > KONST1. Überprüfen !
- . Wenn die verschiedenen Wärmeleitwerte sich um mehr als 5 Zehnerpotenzen unterscheiden kann das Relaxationsverfahren instabil werden. Abhilfe: Man achte auf ein möglichst gleichmäßiges Maschennetz.
- . Bei Verwendung von temperaturabhängigen Wärmequellichten ist die Konvergenz bei der Iteration oft nicht gewährleistet. Abhilfe: sorgfältige Wahl des Temperaturbereichs; konstante Wärmequellichten !

6. Beispiel

Zur Erläuterung des Programms und der Dateneingabe sei an dieser Stelle als Beispiel ein Einsatz für Materialbestrahlungsversuche aufgeführt (siehe Bild 1, Seite 5). Ferritische Proben sollen bei bestimmten Temperaturen im Reaktor bestrahlt werden, wobei das Aufheizen der Proben ausschließlich durch Absorption von γ -Strahlung (γ -Heizung = 14 W/g) erfolgt. Über die gesamte Länge des Bestrahlungseinsatzes wird eine konstante Flußverteilung im Reaktor angenommen. Der Prüfling (Teil 7) ist mit NaK (Teil 1) umgeben; er wird von den Probenhalterungen (Teile 3, 4) an den Probenköpfen (Teile 5, 6) gehalten. Zwischen dem Hüllrohr (Teil 8) der NaK-Kapsel und dem Einsatzhüllrohr (Teil 9) besteht ein Gasspalt (Teil 10), dessen Breite entscheidend die Prüflingstemperatur bestimmt. In den betrachteten Körper wird ein Netzwerk mit Zylinderkoordinaten gelegt, wie es in Bild 1 dargestellt wird. Die 153 Gitterpunkte und die 10 Werk-Teile werden mit Nummern versehen. Anschließend kann man sich nach Art der Tabelle 1 und 2 (Seite 46,47) die Daten aufbereiten und die Datenkarten erstellen (Seite 48- 51).

Die Rechnung wird mit dem auf Magnetband abgelegten Programm WIROCO durchgeführt. Für die Speicherplatzbelegung werden folgende Werte angenommen:

INDEX = 14 500; INDOX = 1 560; INDOP = 1 560;

INDEX+INDOX+INDOP = 17 440

Nach der Näherungsformel in Kap. 4.5 errechnet sich für den GO-Step ein Speicherplatzbedarf von 212 K.

Tatsächlich benötigter Speicherplatz (G-Step) : 210 K

Erforderliche Rechenzeit

ohne Berücksichtigung der Wärmeausdehnung 29,9 sec,

mit Berücksichtigung der Wärmeausdehnung 1 min 52,3 sec.

Das Temperaturfeld wird zunächst ohne, dann mit Berücksichtigung der radialen Wärmeausdehnung berechnet. Da vorallem der Gasspalt entscheidend das Temperaturfeld beeinflusst wird bei der Rechnung mit Wärmeausdehnung (ITER = 100) lediglich für die Teile 8 und 9 ein linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient von $18 \cdot 10^{-6} \left[\text{grd}^{-1} \right]$ angenommen. Nach 5 Näherungsrechnungen verändern

sich die Radien aller Gitterpunkte nur noch um weniger als 0,005 mm (d.h. IEPS = 0).

Bild 4, Seite 71 zeigt den Verlauf der Temperatur entlang der Prüflingsmitte, bzw. der Radiuslinie $R = 7,4$ mm. Auf Grund des kleineren (" warmen ") Gasspaltes verschiebt sich das Temperaturprofil um rund 234°C zu niedrigeren Temperaturen hin.

Tabelle 1

Stoff	Stoff- Nummer	Punktepaare		Zahl der Punktepaare NLAMA (Stoff)
		t	λ	
		$^{\circ}\text{C}$	W/cmgrd	
NaK	1	100	0,25	5
		200	0,26	
		300	0,27	
		400	0,28	
		500	0,27	
Ferrit	2	-	0,264	1
Stahl	3	100	0,1535	4
		200	0,1692	
		500	0,2163	
		600	0,2244	
Neon	4	100	0,00056	4
		200	0,00065	
		400	0,00084	
		600	0,0010	

Tabelle 2

Teil	Stoff-Nummer WNR (Teil)	Dichte g/cm ³	γ -Heizung W/g	$\phi = \gamma \cdot \rho = \text{const.}$ W/cm ³
1	1	0,7	14,0	9,8
2	3	8,0	14,0	112,0
3	3	8,0	14,0	112,0
4	3	8,0	14,0	112,0
5	2	8,0	14,0	112,0
6	2	8,0	14,0	112,0
7	2	8,0	14,0	112,0
8	3	8,0	14,0	112,0
9	3	8,0	14,0	112,0
10	4	-	0,0	0,0

DATENKARTEN
SPALTEN

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1															
KAPSEL MIT STRAHLUNG-OHNE WAERMEAUSDEHNUNG / WIROCO / ITER=1 / GAMMA=14.0 /															
153	9	17	10	11	9										
0.0		4.85		14.35		23.6		32.85		42.10		51.35		60.85	
65.7															
0.0		1.0		2.0		3.0		4.0		4.8		6.1		6.8	
7.4		8.0		8.5		8.8		9.5		10.5		11.505		12.0	
12.7															
1															
50.0		3.0													
11															
0.0		65.7		0.0		2.0		0.0		4.85		3.0		4.8	
4.85		14.35		3.0		6.1		14.35		51.35		3.0		6.8	
51.35		60.85		3.0		6.1		60.85		65.7		3.0		4.8	
0.0		4.85		8.5		10.5		4.85		14.35		8.8		10.5	
14.35		51.35		8.0		10.5		51.35		60.85		8.8		10.5	
60.85		65.7		8.5		10.5									
1															
0.0		65.7		2.0		3.0									

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
1															
Q.0		4.85		4.8		8.5									
1															
60.85		65.7		4.8		8.5									
1															
4.85		14.35		6.1		8.8									
1															
51.35		60.85		6.1		8.8									
1															
14.35		51.35		6.8		8.0									
1															
Q.0		65.7		10.5		11.505									
1															
Q.0		65.7		12.0		12.7									
1															
Q.0		65.7		11.505		12.0									
4															
1		3		2		2		3							
1		3		2		2		3							
1		4													

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
NAK																
100.0			0.25		200.0			0.26		300.0			400.0			0.28
500.0			0.27													
FERRIT																
			0.2640													
STAHL																
100.0			0.1535		200.0			0.1692		500.0			600.0			0.2244
NEON																
100.0			0.00056		200.0			0.00065		400.0			600.0			0.0010
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
			9.8													
			112.0													
			112.0													
			112.0													
			112.0													
			112.0													
			0.0													

Die Rechenergebnisse werden über die Druckeinheit 8 und 6 ausgegeben.

Druckeinheit 8:

Die Ergebnisse, die auf der Druckeinheit 8 ausgegeben werden, gelten in diesem Fall für eine Rechnung ohne Wärmeausdehnung: ITER = 1.

Es werden folgende Zwischenergebnisse aufgeführt:

- 1.) Die Größen INDEX (UPO) und INDOX, die die Länge der Felder G und O für die Unterprogramme UPO und VOPO festlegen. Für das Feld G werden z. B. 14 500 Speicherplätze reserviert; der tatsächliche Bedarf beträgt 13 578.
- 2.) Die Eingabedaten NPUNKT, NTEILE, NABSCH, NHOEHE, NRADUS, NBINDU und die berechneten Konstanten NALFA, KONST1, NBILA.
- 3.) Zahl und Größe der Wärmeübergangswerte.
- 4.) Tabelle der Gitterpunkte, zwischen denen Strahlung ausgetauscht wird. Z. B.: Punkt 15 ist mit Punkt 16 über den - radialen - Strahlungsleitwert Nr. 2 verbunden.
- 5.) Wärmeleitwerte:
Zahl der Wärmeleitwerte = MC = 225 muß kleiner sein als KONST1 = 459.
Es folgen die Wärmeleitwerte, die für jedes Teil mit einer entsprechenden Wärmeleitwert-Nummer versehen werden. Teil 1 besitzt z. B. 105 Wärmeleitwerte.
- 6.) Gesamtzahl der Netzpunkte und Zahl der Netzpunkte pro Teil.
- 7.) Die sogenannte Netzpunkt-Matrix gibt Aufschluß über alle vorkommenden Verknüpfungen der Gitterpunkte untereinander: Nach der Nummer des Gitterpunktes folgt die Zahl der Verbindungen des Punktes, danach paarweise die Leitwertnummern mit den entsprechenden Verbindungspunkten; zum Schluß steht die Nummer des Volumens für diesen Punkt und die Nummer des Teils, dem dieser Punkt angehört. Negative Leitwertnummern entsprechen Strahlungsleitwerten. Leitwertnummern > 5 000 bedeuten Wärmeübergangswerte. Punkte mit bekannten Temperaturen werden ebenfalls ab 5 000 aufwärts gezählt.

Z. B.: Punkt 32 hat 7 Verbindungen. Er ist unter anderem mit Punkt 33 über den Wärmeleitwert Nr. 223 und den Strahlungsleitwert Nr. 4 verbunden. Er besitzt das Volumen Nr. 79 und gehört dem Teil 8 an.

Z. B.: Punkt 68 liegt auf dem Umfang des Bestrahlungseinsatzes und ist über den Wärmeübergangswert Nr. 5 (5005) mit der bekannten Temperatur 5004 = TB(4) gekoppelt.

Nach der Netzpunkt-Matrix werden Zwischenergebnisse für den Programmteil UPAS-RELAS ausgedruckt:

- 8.) Die Eingabedaten NPUNKT, NBINDU, NTEILE und die berechneten Konstanten NALFA, NBILA, KONST1.
- 9.) Die Größen INDEX (UPAS) und INDOP, die die Länge der Felder G und P für die Unterprogramme UPAS und RELAS festlegen.
INDEX (UPAS) = 14 483; vergl. 1.):
INDEX (UPO) = 13 578;
INDEX = Maximum (INDEX (UPO), INDEX(UPAS)): gewählt: 14 500.
- 10.) Wärmeleitfähigkeitswerte als Funktion der Temperatur für die Teile 1...10.
- 11.) Das Temperaturfeld wird zunächst mit konstanten Wärmeleitfähigkeitswerten berechnet. Diese Rechnung liefert ein Konvergenz-Kriterium $\leq 1,99$, hier: 1,91, das für die weiteren Rechnungen mit temperaturabhängigen Wärmeleitzahlen verwendet wird. Das Fehler-Kriterium beinhaltet alle Abweichungen bei den Temperaturen, die zwischen zwei Iterationsschritten zur Anpassung an die Temperaturabhängigkeit von Stoffwerten auftreten. Das Fehler-Kriterium soll möglichst klein sein. Die ausgedruckten Mitteltemperaturen der Teile sind mit Vorbehalt zu betrachten, da sie für ein Teil nicht aus Temperaturen der Punkte berechnet sind, die laut Geometrie diesem Teil angehören, sondern aus wärmetechnischen Gründen diesem Teil zugeordnet worden sind.
Es folgt der Ausdruck über die Druckeinheit 8 für ITER = 1:

KAPSEL MIT STRAHLUNGSDIENE WÄRMELEITFÄHIG / WIRCOO / ITER=1 / GAMMA=14.0 /

VORPROGRAMM : UPO

DIMENSION DES FELDDES G = 13578 SPEICHERPLATZ
GEWÄHLT = 14500 SPEICHERPLATZ
DIMENSION DES FELDDES D = 1379 SPEICHERPLATZ
GEWÄHLT = 1380 SPEICHERPLATZ
ZAHL DER NETZPUNKTE = NPUNKT = 153
ZAHL DER TEILE = NTEIL = 10
ZAHL DER ABSCHNITTE = NABSCH = 11
ZAHL DER HOEHEN = NHOEHE = 9
ZAHL DER RADII = NRADII = 17
ZAHL DER VERBINDUNGEN PRO PUNKT = NBINDU = 9
MAX.ZAHL DER BEKANNTEN TEMPERATUREN = NALFA = 52
ZAHL DER WÄRMELEITWERTE = KONST1 = 459
DOPPELTE ZAHL DER WÄRMEBILANZPUNKTE = NBILA = 416

VORPROGRAMM : VIPO

ZAHL DER WÄRMEÜBERGANGSWERTE = 6
5.805176 5.805187 17.176147 17.176163 22.143494
22.442719

STRAHLUNG

15	2	16	0	0	0	0	0	0
16	2	15	0	0	0	0	0	0
32	4	33	0	0	0	0	0	0
33	4	32	0	0	0	0	0	0
49	6	50	0	0	0	0	0	0
50	6	49	0	0	0	0	0	0
66	5	67	0	0	0	0	0	0
67	5	66	0	0	0	0	0	0
83	5	84	0	0	0	0	0	0
84	5	83	0	0	0	0	0	0
100	5	101	0	0	0	0	0	0
101	5	100	0	0	0	0	0	0
117	6	118	0	0	0	0	0	0
118	6	117	0	0	0	0	0	0
134	3	135	0	0	0	0	0	0
135	3	134	0	0	0	0	0	0
151	1	152	0	0	0	0	0	0
152	1	151	0	0	0	0	0	0

ZAHL DER WÄRMELEITWERTE=NC= 225 MUSS KLEINER SEIN ALS KONST1

ZAHLE DER WÄRMELEITWERTE PRO TEIL

105 16 11 11 11 11 12 16 16 16

TEIL 1 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 105

1	C.826698E-C2	2	C.849246E-02	3	0.849247E-02	4	0.161970E-01	5	0.161970E-01	6	0.578714E-01
7	C.594355E-01	8	C.594355E-01	9	0.661371E-01	10	0.679246E-01	11	0.107475E+00	12	0.110380E+00
13	C.110380E+00	14	0.113356E+00	15	0.113357E+00	16	0.129547E+00	17	0.129547E+00	18	0.137975E+00
19	C.137975E+00	20	0.157504E+00	21	0.157504E+00	22	0.165430E+00	23	0.165430E+00	24	0.165627E+00
25	C.166627E+00	26	0.207757E+00	27	0.210519E+00	28	0.210519E+00	29	0.229587E+00	30	0.229587E+00
31	C.235123E+00	32	0.238372E+00	33	0.238373E+00	34	0.241478E+00	35	0.241478E+00	36	0.248268E+00
37	C.302271E+00	38	0.312271E+00	39	0.338961E+00	40	0.342020E+00	41	0.348122E+00	42	0.348122E+00
43	C.351264E+00	44	0.351264E+00	45	0.404161E+00	46	0.404161E+00	47	0.460551E+00	48	0.460552E+00
49	C.469469E+00	50	C.469469E+00	51	0.538292E+00	52	0.552840E+00	53	0.552840E+00	54	0.576496E+00
55	C.576497E+00	55	0.631023E+00	57	0.639551E+00	58	0.663944E+00	59	0.663944E+00	60	0.105439E+01
61	C.105439E+01	62	0.219819E+01	63	0.219819E+01	64	0.529635E+01	65	0.529635E+01	66	0.653392E+01
67	C.650393E+01	68	0.835703E+01	69	0.835705E+01	70	0.938486E+01	71	0.849817E+01	72	0.124524E+02
73	C.152240E+02	74	0.152240E+02	75	0.156707E+02	76	0.156707E+02	77	0.199068E+02	78	0.199069E+02
79	C.202726E+02	80	0.204756E+02	81	0.242495E+02	82	0.245772E+02	83	0.247265E+02	84	0.247265E+02
85	C.267501E+02	86	0.267501E+02	87	0.318774E+02	88	0.323082E+02	89	0.439285E+02	90	0.439286E+02
91	C.450442E+02	92	0.450443E+02	93	0.479335E+02	94	0.479335E+02	95	0.535002E+02	96	0.580710E+02
97	0.588557E+02	98	0.588996E+02	99	0.588997E+02	100	0.759334E+02	101	0.769595E+02	102	0.837314E+02
103	C.837815E+02	104	0.958669E+02	105	0.167563E+03						

TEIL 2 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 16

106	C.744061E-01	107	0.764170E-01	108	0.764171E-01	109	0.909408E-01	110	0.933986E-01	111	0.933986E-01
112	0.145744E+00	113	0.145744E+00	114	0.178131E+00	115	0.178132E+00	116	0.375783E+01	117	0.375784E+01
118	C.111186E+02	119	0.111186E+02	120	0.143340E+02	121	0.145277E+02				

TEIL 3 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 11

122	0.271246E+00	123	0.431564E+00	124	0.568240E+00	125	0.570506E+00	126	0.575202E+00	127	0.770823E+00
128	0.635730E+01	129	0.140257E+02	130	0.180195E+02	131	0.195438E+02	132	0.251327E+02		

TEIL 4 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 11

133	0.271246E+00	134	0.431565E+00	135	0.568241E+00	136	0.570507E+00	137	0.575204E+00	138	0.770825E+00
139	C.635728E+01	140	0.140257E+02	141	0.180195E+02	142	0.195437E+02	143	0.251326E+02		

TEIL 5 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 11

144	0.865938E-01	145	0.145257E+00	146	0.223545E+00	147	0.290101E+00	148	0.291258E+00	149	0.293656E+00
150	C.274731E+02	151	0.352960E+02	152	0.382816E+02	153	0.492290E+02	154	0.860458E+02		

TEIL 6 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 11

155	0.865938E-01	156	0.145257E+00	157	0.223545E+00	158	0.290101E+00	159	0.291258E+00	160	0.293656E+00
161	C.274731E+02	162	0.352960E+02	163	0.382816E+02	164	0.492290E+02	165	0.860458E+02		

TEIL 7 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 12

166	0.141626E+00	167	0.141626E+00	168	0.159967E+00	169	0.159967E+00	170	0.301592E+00	171	0.301593E+00
172	C.343672E+02	173	0.343672E+02	174	0.372742E+02	175	0.372742E+02	176	0.687343E+02	177	0.745484E+02

TEIL 8 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 16

178	0.357310E+00	179	0.366967E+00	180	0.366967E+00	181	0.374017E+00	182	0.384125E+00	183	0.384125E+00
184	C.699886E+00	185	0.699888E+00	186	0.732610E+00	187	0.732611E+00	188	0.166691E+02	189	0.166691E+02
190	C.493199E+02	191	0.493199E+02	192	0.635832E+02	193	0.644424E+02				

TEIL 9 SUMME DER WÄRMELEITWERTE : 16

194	C.281832E+00	195	0.289449E+00	196	0.289450E+00	197	0.289934E+00	198	0.297770E+00	199	0.297770E+00
200	C.552043E+00	201	0.552044E+00	202	0.567913E+00	203	0.567914E+00	204	0.268744E+02	205	0.268744E+02

206 0.795150E+02 207 0.795150E+02 208 0.102511E+03 209 0.103896E+03

TEIL 1C SUMME DER HARMONISIERTE WERTE : 16

210 0.140353E+00 211 0.194412E+00 212 0.195497E+00 213 0.195497E+00 214 0.199666E+00 215 0.199666E+00
 216 0.372856E+00 217 0.372857E+00 218 0.380806E+00 219 0.380807E+00 220 0.361703E+02 221 0.361704E+02
 222 0.107020E+03 223 0.107020E+03 224 0.137970E+03 225 0.139834E+03

ZAHL DER STRAHLUNGSEITWERTE = 6

1 0.233529E-03 2 0.233529E-03 3 0.690957E-03 4 0.690958E-03 5 0.890781E-03 6 0.902819E-03

ZAHL DER GEC.NETZPUNKTE = NPUNKT = 153

ZAHL DER PUNKTE PRO TEIL :

1C7	18	12	12	12	12	15	18	18	18								
1	2	4	18	23	2	2	1										
2	3	16	19	63	3	23	1	14	1								
3	4	112	20	117	4	63	2	14	20	10	2						
4	4	27	21	65	5	117	3	114	21	12	2						
5	3	47	22	69	6	65	4	49	1								
6	4	123	23	128	7	69	5	32	23	21	3						
7	3	127	24	129	8	128	6	46	3								
8	3	125	25	130	9	129	7	33	3								
9	3	126	26	131	10	130	8	35	3								
10	3	124	27	132	11	131	9	31	3								
11	4	24	28	90	12	132	10	122	28	16	3						
12	3	54	29	78	13	90	11	51	1								
13	3	60	30	74	14	78	12	67	1								
14	4	184	31	189	15	74	13	58	31	40	8						
15	5	216	32	221	16	189	14	-2	16	186	32	44	8				
16	5	200	33	205	17	221	15	-2	15	218	33	25	9				
17	3	202	34	205	16	5002	5001	29	9								
18	3	1	35	50	19	4	1	4	1								
19	4	9	36	67	20	16	2	50	18	42	1						
20	6	106	37	119	21	112	3	67	19	6	37	14	3	19	2		
21	6	11	38	76	22	27	4	119	20	109	38	114	4	23	2		
22	4	31	39	84	23	47	5	76	21	106	1						
23	6	40	40	72	24	123	6	64	22	128	24	32	6	21	3		
24	7	145	41	150	25	127	7	72	23	36	41	129	25	128	23		
		46	3														
25	6	148	42	151	26	125	8	150	24	130	26	129	24	33	3		
26	6	149	43	152	27	126	9	151	25	131	27	130	25	35	3		
27	6	147	44	153	28	124	10	152	26	132	28	131	26	31	3		
28	7	146	45	154	29	24	11	153	27	90	29	122	11	132	27		
		16	3														
29	6	26	46	99	30	54	12	154	28	144	46	90	28	59	5		
30	4	51	47	92	31	60	13	99	29	115	1						
31	6	178	48	191	32	184	14	92	30	39	48	58	14	71	8		
32	7	210	49	223	33	216	15	191	31	-4	33	181	49	186	15		
		79	8														
33	7	194	50	207	34	200	16	223	32	-4	32	211	50	218	16		
		63	9														
34	4	157	51	202	17	207	33	5004	5002	65	9						
35	3	2	52	57	36	1	18	8	1								
36	4	10	53	71	37	9	19	57	35	55	1						
37	6	107	54	121	38	106	20	71	36	7	54	6	20	27	2		
38	6	12	55	80	39	11	21	121	37	110	55	109	21	38	2		
39	4	34	56	88	40	31	22	60	38	93	1						

40	4	43	57	32	41	40	23	88	39	113	1				
41	6	45	58	66	42	145	24	82	40	150	42	36	24	57	5
42	7	166	59	173	43	145	25	86	41	20	59	151	43	150	41
		86	5												
43	6	170	60	175	44	147	26	173	42	152	44	151	42	97	5
44	7	18	61	94	45	147	27	175	43	168	61	153	45	152	43
		85	5												
45	6	29	62	103	46	146	28	94	44	154	46	153	44	47	5
46	6	37	63	101	47	25	29	103	45	144	29	154	45	17	5
47	4	52	64	97	48	51	30	101	46	118	1				
48	6	179	65	193	49	178	31	97	47	41	65	39	31	98	8
49	7	212	66	225	50	210	32	193	48	-6	50	182	66	181	32
		102	8												
50	7	195	67	209	51	194	33	225	49	-6	49	214	67	211	33
		75	9												
51	4	198	68	197	34	209	50	5006	5003	82	9				
52	3	3	69	56	53	2	35	6	1						
53	4	10	70	70	54	10	36	56	52	53	1				
54	6	108	71	120	55	107	37	70	53	8	71	7	37	26	2
55	6	13	72	79	56	12	38	120	54	111	72	110	38	36	2
56	4	25	73	67	57	34	39	79	55	91	1				
57	4	44	74	81	58	43	40	87	56	89	1				
58	4	46	75	95	59	45	41	81	57	111	1				
59	6	167	76	176	60	166	42	55	58	21	76	20	42	61	7
60	4	171	77	177	61	170	43	176	59	104	7				
61	6	19	78	104	62	18	44	177	60	169	78	168	44	69	7
62	4	30	79	105	63	29	45	104	61	108	1				
63	4	38	80	100	64	37	46	105	62	84	1				
64	4	53	81	96	65	52	47	100	63	117	1				
65	6	180	82	192	66	179	48	96	64	42	82	41	48	95	8
66	7	213	83	224	67	212	49	192	65	-5	67	183	83	182	49
		100	8												
67	7	196	84	208	68	195	50	224	66	-5	66	215	84	214	50
		73	9												
68	4	199	85	198	51	208	67	5005	5004	77	9				
69	3	3	86	56	70	3	52	5	1						
70	4	10	87	70	71	10	53	56	69	52	1				
71	6	106	88	120	72	105	54	70	70	8	88	8	54	26	2
72	6	13	89	79	73	13	55	120	71	111	89	111	55	36	2
73	4	35	90	97	74	35	56	79	72	90	1				
74	4	44	91	81	75	44	57	87	73	88	1				
75	4	46	92	95	76	46	58	81	74	109	1				
76	6	167	93	176	77	167	59	55	75	21	93	21	59	56	7
77	4	171	94	177	78	171	60	176	76	80	7				
78	6	19	95	104	79	19	61	177	77	169	95	169	61	58	7
79	4	30	96	105	80	30	62	104	78	96	1				
80	4	38	97	100	81	38	63	105	79	83	1				
81	4	53	98	96	82	53	64	100	80	116	1				
82	6	180	99	192	83	180	65	96	81	42	99	42	65	94	8
83	7	213	100	224	84	213	66	192	82	-5	84	183	100	183	66
		99	8												

84	7	196 72	101 9	208	85	196	87	224	83	-5	83	215	101	215	87
85	4	155	102	199	88	208	84	5005	5005	76	9				
86	3	3	103	56	87	3	89	5	1						
87	4	10	104	70	88	10	70	56	36	52	1				
88	6	103	105	120	89	105	71	70	87	8	105	8	71	26	2
89	6	13	106	75	90	15	72	120	88	111	106	111	72	36	2
90	4	35	107	87	91	35	73	79	89	90	1				
91	4	44	108	81	92	44	74	87	90	88	1				
92	4	46	109	95	93	46	75	81	91	110	1				
93	6	167	110	176	94	167	76	95	92	21	110	21	76	60	7
94	4	171	111	177	95	171	77	176	93	103	7				
95	6	19	112	104	96	19	78	177	94	169	112	169	76	68	7
96	4	30	113	105	97	30	79	104	95	107	1				
97	4	38	114	100	98	38	80	105	96	83	1				
98	4	53	115	96	99	53	81	100	97	116	1				
99	6	190	116	192	100	180	82	56	98	42	116	42	82	94	8
100	7	213 99	117 8	224	101	213	83	192	99	-5	101	183	117	183	83
101	7	156 72	118 9	208	102	196	84	224	100	-5	100	215	118	215	84
102	4	199	119	199	95	208	101	5005	5005	76	9				
103	3	1	120	57	104	3	86	7	1						
104	4	9	121	71	105	10	87	57	103	54	1				
105	6	105	122	121	106	108	88	71	104	6	122	8	88	27	2
106	6	11	123	80	107	13	89	121	105	109	123	111	89	37	2
107	4	31	124	88	108	35	90	80	106	92	1				
108	4	40	125	82	109	44	91	88	107	112	1				
109	6	156	126	161	110	46	92	82	108	36	126	85	110	57	6
110	7	159 86	127 6	162	111	167	93	161	109	172	111	21	93	85	105
111	6	160	128	163	112	171	94	162	110	174	112	172	110	87	6
112	7	158 85	129 5	164	113	19	95	163	111	93	113	169	95	174	111
113	6	157	130	165	114	30	96	164	112	102	114	93	112	47	6
114	6	26	131	101	115	35	97	165	113	155	131	102	113	17	6
115	4	51	132	97	116	53	98	101	114	118	1				
116	6	178	133	193	117	130	99	57	115	39	133	42	99	97	8
117	7	210 101	134 8	225	118	213	100	193	116	-6	118	181	134	183	100
118	7	154 74	135 9	209	119	196	101	225	117	-6	117	211	135	215	101
119	4	157	136	195	102	209	118	5006	5007	81	9				
120	3	5	137	49	121	1	103	3	1						
121	4	17	138	66	122	9	104	49	120	41	1				
122	6	113	139	118	123	106	105	66	121	15	139	6	105	18	2
123	6	28	140	75	124	11	106	118	122	115	140	109	106	22	2
124	4	48	141	83	125	31	107	75	123	105	1				
125	6	134	142	139	126	40	108	83	124	33	142	72	126	20	4
126	7	138 45	143 4	140	127	156	109	139	125	161	127	36	109	72	125

127	6	136	144	141	128	159	110	140	126	162	128	161	126	32	4
128	6	137	145	142	129	160	111	141	127	163	129	162	127	34	4
129	6	135	146	143	130	158	112	142	128	164	130	163	128	30	4
130	7	25	147	89	131	157	113	143	129	133	147	165	131	164	129
		15	4												
131	6	55	148	98	132	26	114	89	130	155	114	165	130	59	6
132	4	61	149	91	133	51	115	98	131	114	1				
133	6	165	150	190	134	178	116	91	132	59	150	39	116	70	8
134	7	217	151	222	135	210	117	190	133	-3	135	187	151	181	117
		78	8												
135	7	201	152	206	135	194	118	222	134	-3	134	219	152	211	118
		62	9												
136	4	203	153	197	119	206	135	5003	5008	64	9				
137	2	22	138	5	120	1	1								
138	3	62	139	17	121	22	137	13	1						
139	4	116	140	113	122	62	138	15	122	9	2				
140	4	64	141	28	123	116	139	115	123	11	2				
141	3	68	142	48	124	64	140	48	1						
142	4	139	143	134	125	68	141	33	125	20	4				
143	3	140	144	138	126	139	142	45	4						
144	3	141	145	136	127	140	143	32	4						
145	3	142	146	137	128	141	144	34	4						
146	3	143	147	135	129	142	145	30	4						
147	4	89	148	25	130	143	146	133	130	15	4				
148	3	77	149	55	131	89	147	50	1						
149	3	73	150	61	132	77	148	66	1						
150	4	168	151	165	133	73	149	59	133	39	8				
151	5	220	152	217	134	188	150	-1	152	187	134	43	8		
152	5	204	153	201	135	220	151	-1	151	219	135	24	9		
153	3	203	136	204	152	5001	5009	28	9						

UNTERPROGRAMM CPAS

NPUNKT,NBINDU,NTEILT,NALFA,NBTLA,KONST1 153 9 10 52 416 459

RELAS: DIMENSION DES FELDDES G = 14483 SPEICHERPLAETZE

GEWAESLT = 14500 SPEICHERPLAETZE

RELAS: DIMENSION DES FELDDES P = 1551 SPEICHERPLAETZE

GEWAESLT = 1560 SPEICHERPLAETZE

LEITFAEHIGKEIT (W/(CM*GF)) ALS FUNKTION DER TEMPERATUR:

WERKSTOFF	1	0.2500	100.00	0.2690	200.00	0.2700	300.00	0.2800	400.00	0.2700	500.00
WERKSTOFF	2	0.1535	100.00	0.1692	200.00	0.2163	500.00	0.2244	600.00		
WERKSTOFF	3	0.1535	100.00	0.1692	200.00	0.2163	500.00	0.2244	600.00		
WERKSTOFF	4	0.1535	100.00	0.1692	200.00	0.2163	500.00	0.2244	600.00		
WERKSTOFF	5	0.2640									
WERKSTOFF	6	0.2640									
WERKSTOFF	7	0.2640									
WERKSTOFF	8	0.1535	100.00	0.1692	200.00	0.2163	500.00	0.2244	600.00		
WERKSTOFF	9	0.1535	100.00	0.1692	200.00	0.2163	500.00	0.2244	600.00		
WERKSTOFF	10	0.0006	100.00	0.0007	200.00	0.0008	400.00	0.0010	600.00		

MAX.WLZ:ZAHL DER DOPPELVERBINDUNGEN = 174 MAX 2000

KONVERGENZ-KRITERIUM: 1.91 FEHLER-KRITERIUM : 0.163407D-08 BEI KONSTANTEN WAERMELEITZAHLEN

ANFANGSLÖSUNG MIT MAX. WAERMELEITZAHLEN BERECHNET
 MITTELTEMPERATUR (GR.C) IM WERKSTOFF

1	454.67	2	475.83	3	467.51	4	467.51	5	463.97
6	463.98	7	451.88	8	427.50	9	66.73	10	0.0

TN(1) = 489.1298 TN(NPUNKT) = 61.8925

1. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.171631C-01
2. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.214579D+00
3. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.355323C+00
4. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.177488D+00
5. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.836330D-01
6. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.317456D-01
7. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.131739D-01
8. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.491009C-02
9. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.209053C-02
10. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.679225C-03
11. ITERATIONSSCHRITT	KONVERGENZ-KRITERIUM : 1.91	FEHLER-KRITERIUM : 0.100185C-03

MITTELTEMPERATUR (GR.C) IM WERKSTOFF

1	1245.47	2	1271.40	3	1260.11	4	1259.97	5	1257.66
6	1257.61	7	1242.05	8	1213.12	9	69.27	10	0.0

Druckeinheit 6:

Bei der Druckausgabe über die Standardeinheit 6 werden folgende Ergebnisse aufgeführt:

- 1.) Höhen und Radien des eingegebenen Netzwerkes [mm] .
- 2.) Bekannte Temperaturen mit Wärmeübergangszahlen
- 3.) Eckpunkte aller Abschnitte eines Teils laut Netzwerk, Bild 1.
NU, NE: unterer innerer, bzw. äußerer Eckpunkt
NO, NF: oberer innerer, bzw. äußerer Eckpunkt
- 4.) Zahl der Werkstoffe des Bestrahlungseinsatzes und Werkstoffnummern der einzelnen Teile.
- 5.) Zahl der Punktepaare t / λ für die vorhandenen Werkstoffe.
- 6.) Wärmeleitzahlen für die einzelnen Teile.
- 7.) Zahl der Punktepaare t / ϕ für die einzelnen Teile; hier NXQZ (i) = 1; d. h. konstante Wärmequellichten.
- 8.) Wärmequellichten für die einzelnen Teile.
- 9.) Eingabedaten für Strahlung und Zahl der Strahlungsleitwerte.
- 10.) Wärmebilanz: Es werden Wärmebilanzen längs des Umfangs des Bestrahlungseinsatzes und für den angegebenen Bilanzraum durchgeführt.
- 11.) Zugeführte Wärme = Wärmequellichten der einzelnen Teile.
- 12.) Volumina der einzelnen Teile [cm³] .
- 13.) Lineare thermische Ausdehnungskoeffizienten der Teile.
- 14.) Temperaturfeld: Netzpunkt
 Temperatur [°C]
 R-Kalt [mm]: Radius ohne Berücksichtigung der
 Wärmeausdehnung
 R-Warm [mm]: Radius mit Berücksichtigung der Wärme-
 ausdehnung
- 15.) Gesamt- und Einzelwärmebilanz.
- 16.) IEPS = Zahl der Radien, die zwischen zwei Näherungsrechnungen zur Wärmeausdehnung um mehr als 0.005 mm voneinander abweichen.
Es folgt der Ausdruck über die Druckeinheit 6:

HÖHEN
 0.0 4.8500 14.3500 23.6000 32.8500 42.1000 51.3500 60.8500
 65.7000
 RADIEN
 0.0 1.0000 2.0000 3.0000 4.0000 4.8000 6.1000 6.8000
 7.4000 8.0000 8.5000 8.8000 9.5000 10.5000 11.5050 12.0000
 12.7000
 BEKANNTE TEMPERATUREN BEI BEKANNTER WÄRMEEBERGANGSZAHL
 50.00 3.000 50.00 3.000 50.00 3.000 50.00 3.000 50.00 3.000
 50.00 3.000 50.00 3.000 50.00 3.000 50.00 3.000

TEIL = 1 ZAHL DER ABSCHNITTE = 11
 0.0 65.7000 0.0 2.0000

 NU(1, 1) = 1 NE(1, 1) = 3
 NO(1, 1) = 137 NE(1, 1) = 139
 0.0 4.8500 3.0000 4.8000

 NU(1, 2) = 4 NE(1, 2) = 6
 NO(1, 2) = 21 NE(1, 2) = 23
 4.8500 14.3500 3.0000 6.1000

 NU(1, 3) = 21 NE(1, 3) = 24
 NO(1, 3) = 38 NE(1, 3) = 41
 14.3500 51.3500 3.0000 6.8000

 NU(1, 4) = 38 NE(1, 4) = 42
 NO(1, 4) = 106 NE(1, 4) = 110
 51.3500 60.8500 3.0000 6.1000

 NU(1, 5) = 106 NE(1, 5) = 109
 NO(1, 5) = 123 NE(1, 5) = 126
 60.8500 65.7000 3.0000 4.8000

 NU(1, 6) = 123 NE(1, 6) = 125
 NO(1, 6) = 140 NE(1, 6) = 142
 0.0 4.8500 8.5000 10.5000

 NU(1, 7) = 11 NE(1, 7) = 14
 NO(1, 7) = 29 NE(1, 7) = 31
 4.8500 14.3500 8.8000 10.5000

 NU(1, 8) = 29 NE(1, 8) = 31
 NO(1, 8) = 46 NE(1, 8) = 48
 14.3500 51.3500 8.0000 10.5000

 NU(1, 9) = 44 NE(1, 9) = 48
 NO(1, 9) = 112 NE(1, 9) = 116
 51.3500 60.8500 8.8000 10.5000

 NU(1,10) = 114 NE(1,10) = 116
 NO(1,10) = 131 NE(1,10) = 133
 60.8500 65.7000 8.5000 10.5000

 NU(1,11) = 130 NE(1,11) = 133
 NO(1,11) = 147 NE(1,11) = 150

TEIL = 2 ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
 0.0 65.7000 2.0000 3.0000

```

      NU( 2, 1) =   3      NF( 2, 1) =   4
      NO( 2, 1) = 139      NF( 2, 1) = 140

TEIL = 3      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              0.0      4.8500      4.8000      8.5000

      NU( 3, 1) =   6      NF( 3, 1) = 11
      NO( 3, 1) = 23      NF( 3, 1) = 28

TEIL = 4      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              60.8500      65.7000      4.8000      8.5000

      NU( 4, 1) = 125      NF( 4, 1) = 130
      NO( 4, 1) = 142      NF( 4, 1) = 147

TEIL = 5      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              4.8500      14.3500      6.1000      8.8000

      NU( 5, 1) = 24      NF( 5, 1) = 29
      NO( 5, 1) = 41      NF( 5, 1) = 46

TEIL = 6      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              51.3500      60.8500      6.1000      8.8000

      NU( 6, 1) = 109      NF( 6, 1) = 114
      NO( 6, 1) = 126      NF( 6, 1) = 131

TEIL = 7      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              14.3500      51.3500      6.8000      8.0000

      NU( 7, 1) = 42      NF( 7, 1) = 44
      NO( 7, 1) = 110      NF( 7, 1) = 112

TEIL = 8      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              0.0      65.7000      10.5000      11.5050

      NU( 8, 1) = 14      NF( 8, 1) = 15
      NO( 8, 1) = 150      NF( 8, 1) = 151

TEIL = 9      ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              0.0      65.7000      12.0000      12.7000

      NU( 9, 1) = 16      NF( 9, 1) = 17
      NO( 9, 1) = 152      NF( 9, 1) = 153

TEIL = 10     ZAHL DER ABSCHNITTE = 1
              0.0      65.7000      11.5050      12.0000

      NU(10, 1) = 15      NF(10, 1) = 16
      NO(10, 1) = 151      NF(10, 1) = 152

ANZAHL DER WERKSTOFFE = 4
WERKSTOFFNUMMER DER TEILE 1..10
  1   3   3   3   2   2   3   3   4

ZAHL DER PUNKTEPAARE DER LAMBDA WERTE FUER DIE 4 WERKSTOFFE
  5   1   4   4

PUNKTEPAARE DER TEMPERATURABH. LAMBDA WERTE
  T(GRD.CELS.) , LAMBDA(W/CM**2 GRD)

TEIL 1 =WERKSTOFF 1 = NAK
100.00  0.25000  200.00  0.26000  300.00  0.27000  400.00  0.28000
500.00  0.27000

```

TEIL 2	=WERKSTOFF 3 = STAHL
100.00	0.15350 200.00 0.16920 500.00 0.21630 600.00 0.22440
TEIL 3	=WERKSTOFF 3 = STAHL
100.00	0.15350 200.00 0.16920 500.00 0.21630 600.00 0.22440
TEIL 4	=WERKSTOFF 3 = STAHL
100.00	0.15350 200.00 0.16920 500.00 0.21630 600.00 0.22440
TEIL 5	=WERKSTOFF 2 = FERRIT
0.0	0.26400
TEIL 6	=WERKSTOFF 2 = FERRIT
0.0	0.26400
TEIL 7	=WERKSTOFF 2 = FERRIT
0.0	0.26400
TEIL 8	=WERKSTOFF 3 = STAHL
100.00	0.15350 200.00 0.16920 500.00 0.21630 600.00 0.22440
TEIL 9	=WERKSTOFF 3 = STAHL
100.00	0.15350 200.00 0.16920 500.00 0.21630 600.00 0.22440
TEIL 10	=WERKSTOFF 4 = NEON
100.00	0.00056 200.00 0.00065 400.00 0.00084 600.00 0.00100

ZAHLE DER PUNKTEPAARE FUER DIE WAERMEQUELLEDICHTE DER 10 TEILE
 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

PUNKTEPAARE DER TEMPERATURABH. WAERMEQUELLEDICHTE
 T(GFD.CELS.), WAERMEQUELLEDICHTE(W/CM**3)

TEIL 1	0.0	9.80
TEIL 2	0.0	112.00
TEIL 3	0.0	112.00
TEIL 4	0.0	112.00
TEIL 5	0.0	112.00
TEIL 6	0.0	112.00
TEIL 7	0.0	112.00
TEIL 8	0.0	112.00
TEIL 9	0.0	112.00
TEIL 10	0.0	0.0

STRAHLUNG

PACTAL	R1 = 11.5050	R2 = 12.0000	H1 = 0.0	H2 = 51.3500	EPS1 = 0.20	EPS2 = 0.20
PUNKTE	151 152	EPS1 = 0.20	EPS2 = 0.20			
PUNKTE	134 135	EPS1 = 0.20	EPS2 = 0.20			
ENDE	0 0	EPS1 = 0.0	EPS2 = 0.0			

ZAHL DER STRAHLUNGSLEITWERTE = 6

ZAHL DER WAERMEBILANZPAARUNG = 2

P1 = 0.0 P2 = 3.0000 H1 = 0.0 H2 = 65.7000

ZAHL DER EINZELBILANZEN PRO WAERMEBIL.PAUM : 9 9
17 5001 34 5002 51 5003 68 5004 85 5005 102 5006 119 5007 136 5008
153 5009
4 5 21 22 38 39 55 56 72 73 89 90 106 107 123 124
140 141

ZUGEFUEHRTE WAERME (W/CM**3) ALS FUNKTION DER TEMPERATUR:

WERKSTOFF	1	9.8000
WERKSTOFF	2	112.0000
WERKSTOFF	3	112.0000
WERKSTOFF	4	112.0000
WERKSTOFF	5	112.0000
WERKSTOFF	6	112.0000
WERKSTOFF	7	112.0000
WERKSTOFF	8	112.0000
WERKSTOFF	9	112.0000
WERKSTOFF	10	0.0

SUMME DER VOLUMINA (CM**3):

WERKSTOFF	1	0.157585E+02
WERKSTOFF	2	0.103201E+01
WERKSTOFF	3	0.749798E+00
WERKSTOFF	4	0.749797E+00
WERKSTOFF	5	0.120067E+01
WERKSTOFF	6	0.120067E+01
WERKSTOFF	7	0.206440E+01
WERKSTOFF	8	0.456459E+01
WERKSTOFF	9	0.356869E+01
WERKSTOFF	10	0.0

LINIARE AUSDEHNUNG:TEIL

1	0.0
2	0.0
3	0.0
4	0.0
5	0.0
6	0.0
7	0.0
8	0.0
9	0.0
10	0.0

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GRD.CELS.	1283.3516	1283.1987	1282.8224	1281.1734	1277.7144	1275.2988	1270.7893	1266.7777	1262.5067	1257.4761	1252.6967	1248.4896
R-KALT	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000
R-WARM	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000

PUNKT	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GRD.CELS.	1239.1512	1226.6975	1216.7949	77.2722	61.8832	1278.9042	1278.1203	1277.2633	1274.9381	1270.0018	1265.8377	1259.2447
R-KALT	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000
R-WARM	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000

PUNKT	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
GRD.CELS.	1255.5785	1252.0269	1248.1094	1244.5813	1242.1783	1234.2193	1222.8558	1213.2504	77.1550	61.8355	1281.8113	1281.4395
R-KALT	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000
R-WARM	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000

PUNKT	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
GRD.CELS.	1280.8824	1278.9701	1274.9103	1272.0059	1267.0460	1264.1173	1260.6269	1256.0093	1250.6406	1247.3084	1238.4557	1226.2651
R-KALT	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000
R-WARM	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000

PUNKT	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
GRD.CELLS	1216.4379	77.2614	61.8791	1268.3396	1267.7384	1267.7242	1264.6881	1260.4103	1257.0949	1252.1110	1249.3444	1246.6342
R-KALT	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000
R-WARM	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000
PUNKT	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
GRD.CELLS	1241.9407	1235.8781	1232.1674	1223.9846	1212.6706	1203.1520	76.8024	61.6900	1256.1581	1255.2506	1254.3257	1251.8938
R-KALT	8.0000	9.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000
R-WARM	8.0000	9.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000
PUNKT	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
GRD.CELLS	1246.8568	1247.9940	1236.9030	1233.4722	1230.6151	1226.3827	1221.0607	1217.6988	1210.6266	1200.2662	1191.0716	76.3911
R-KALT	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000
R-WARM	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000
PUNKT	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
GRD.CELLS	61.5206	1238.3193	1267.7187	1267.0047	1264.8691	1260.3919	1257.0768	1252.0937	1249.3275	1246.6173	1241.9239	1235.7913
R-KALT	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000
R-WARM	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000
PUNKT	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
GRD.CELLS	1232.1507	1223.9682	1212.6545	1203.1365	76.8019	61.6898	1281.7605	1281.3893	1280.8320	1278.9202	1274.8618	1271.9586
R-KALT	8.0000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000
R-WARM	8.0000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000
PUNKT	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
GRD.CELLS	1267.0010	1267.0741	1260.5835	1255.9650	1250.5948	1247.2619	1238.4082	1226.2179	1216.3907	77.2607	61.8787	1278.7792
R-KALT	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001
R-WARM	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001
PUNKT	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
GRD.CELLS	1277.5938	1277.1353	1274.8084	1269.8699	1265.7037	1259.1072	1255.4388	1251.8862	1247.9680	1244.4388	1242.0367	1234.0812
R-KALT	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000
R-WARM	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000
PUNKT	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
GRD.CELLS	1222.7243	1213.1211	77.1517	61.8342	1283.2199	1283.0664	1282.6897	1281.0398	1277.5802	1275.1644	1270.6548	1266.6430
R-KALT	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000
R-WARM	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000
PUNKT	145	146	147	148	149	150	151	152	153			
GRD.CELLS	1262.3720	1257.3417	1252.5626	1248.3563	1239.0196	1226.5584	1216.6674	77.2689	61.8819			
R-KALT	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000			
R-WARM	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000			

WÄRME-BILANZ:

17 - 5001	0.689841E+02	34 - 5002	0.203289E+03	51 - 5003	0.266599E+03	68 - 5004	0.258856E+03
85 - 5005	0.255110E+03	102 - 5006	0.258852E+03	119 - 5007	0.266589E+03	136 - 5008	0.203265E+03
153 - 5009	0.685762E+02						
SUMME:	0.185052E+04	WATT					
4 - 5	0.351861E+01	21 - 22	0.149110E+02	38 - 39	0.159863E+02	55 - 56	0.175261E+02
72 - 73	0.198503E+02	89 - 90	0.175233E+02	106 - 107	0.159817E+02	123 - 124	0.149189E+02
140 - 141	0.391547E+01						
SUMME:	0.123736E+03	WATT					

TEPS = C

SUMME DER VOLUMINA (CM**3):

WERKSTOFF 1 0.165443E+02
 WERKSTOFF 2 0.103201E+01
 WERKSTOFF 3 0.749798E+00
 WERKSTOFF 4 0.749797E+00
 WERKSTOFF 5 0.120067E+01
 WERKSTOFF 6 0.120067E+01
 WERKSTOFF 7 0.206440E+01
 WERKSTOFF 8 0.471173E+01
 WERKSTOFF 9 0.355763E+01
 WERKSTOFF 10 0.0

PUNKT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GRD.CFLS.	1048.2058	1048.1572	1047.8877	1046.1809	1043.2092	1041.2044	1036.5711	1032.3269	1027.7680	1022.3662	1017.2096	1013.4284
R-KALT	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000
R-WARM	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000

PUNKT	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
GRD.CFLS.	1005.0400	991.8893	981.1439	77.5881	62.0372	1043.3510	1042.6279	1041.8451	1039.3373	1034.9162	1031.1651	1024.7719
R-KALT	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000
R-WARM	9.5000	10.6836	11.7040	12.0124	12.7096	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000

PUNKT	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
GRD.CFLS.	1021.0033	1017.3640	1013.3600	1009.7618	1007.4480	1000.3633	988.3806	977.9367	77.4328	61.9736	1045.6424	1045.3099
R-KALT	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000
R-WARM	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6830	11.7033	12.0124	12.7096	0.0001	1.0000

PUNKT	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
GRD.CFLS.	1044.8132	1042.7435	1039.0951	1036.4868	1032.0383	1029.2409	1025.7395	1021.1043	1015.9748	1012.7914	1004.8574	991.9805
R-KALT	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000
R-WARM	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6836

PUNKT	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
GRD.CFLS.	981.2903	77.5991	62.0419	1033.4547	1032.9174	1032.2792	1029.9867	1025.9923	1023.0326	1018.5798	1016.1061	1013.3952
R-KALT	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000
R-WARM	11.7040	12.0124	12.7096	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000

PUNKT	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
GRD.CFLS.	1008.7009	1013.2178	999.9615	992.6404	980.7081	970.3827	77.0501	61.8148	1022.5266	1021.7148	1020.8875	1018.3006
R-KALT	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000
R-WARM	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6815	11.7017	12.0123	12.7096	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000

PUNKT	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
GRD.CFLS.	1013.8439	1010.4178	1005.0046	1001.9502	999.1109	994.9090	990.1801	987.3596	980.8978	970.0080	960.0642	76.5403
R-KALT	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000
R-WARM	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6795	11.6996	12.0122

PUNKT	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
GRD.CFLS.	61.6040	1033.4646	1032.9274	1032.2896	1029.9972	1026.0031	1023.0436	1018.5913	1016.1172	1013.4060	1008.7113	1003.2279
R-KALT	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000
R-WARM	12.7095	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000

PUNKT	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
GRD.CELS.	999.9714	992.6500	980.7176	970.3922	77.0504	61.8149	1045.6527	1045.3207	1044.8248	1042.7557	1039.1083	1036.5008
R-KALT	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000
R-WARM	8.8000	9.5000	10.6815	11.7018	12.0123	12.7096	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000

PUNKT	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
GRD.CELS.	1032.0542	1029.2579	1025.7563	1021.1204	1015.9899	1012.8059	1004.8708	991.9926	981.3015	77.6007	62.0426	1043.3206
R-KALT	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001
R-WARM	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6836	11.7040	12.0124	12.7096	0.0001

PUNKT	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
GRD.CELS.	1042.5968	1041.8142	1039.3060	1034.8840	1031.1316	1024.7359	1020.9658	1017.3263	1013.3221	1009.7237	1007.4102	1000.3265
R-KALT	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000
R-WARM	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000

PUNKT	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
GRD.CELS.	988.3451	977.9019	77.4322	61.9733	1048.1746	1048.1259	1047.8565	1046.1491	1043.1774	1041.1723	1036.5381	1032.2938
R-KALT	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000
R-WARM	10.6830	11.7033	12.0124	12.7096	0.0001	1.0000	2.0000	3.0000	4.0000	4.8000	6.1000	6.8000

PUNKT	145	146	147	148	149	150	151	152	153
GRD.CELS.	1027.7350	1022.3334	1017.1771	1013.3959	1005.0075	991.8572	981.1122	77.5870	62.0367
R-KALT	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.5000	11.5050	12.0000	12.7000
R-WARM	7.4000	8.0000	8.5000	8.8000	9.5000	10.6836	11.7040	12.0124	12.7096

WAERME-BILANZ:

17 - 5001	0.699307E+02	34 - 5002	0.205816E+03	51 - 5003	0.270458E+03	68 - 5004	0.261817E+03
85 - 5005	0.257146E+03	102 - 5006	0.261819E+03	119 - 5007	0.270473E+03	136 - 5008	0.205811E+03
153 - 5009	0.699279E+02						
SUMME:	0.187320E+04	WATT					
4 - 5	0.339208E+01	21 - 22	0.149841E+02	38 - 39	0.161280E+02	55 - 56	0.175260E+02
72 - 73	0.196620E+02	89 - 90	0.175249E+02	106 - 107	0.161237E+02	123 - 124	0.149876E+02
140 - 141	0.339212E+01						
SUMME:	0.123721E+03	WATT					

IFPS = 0

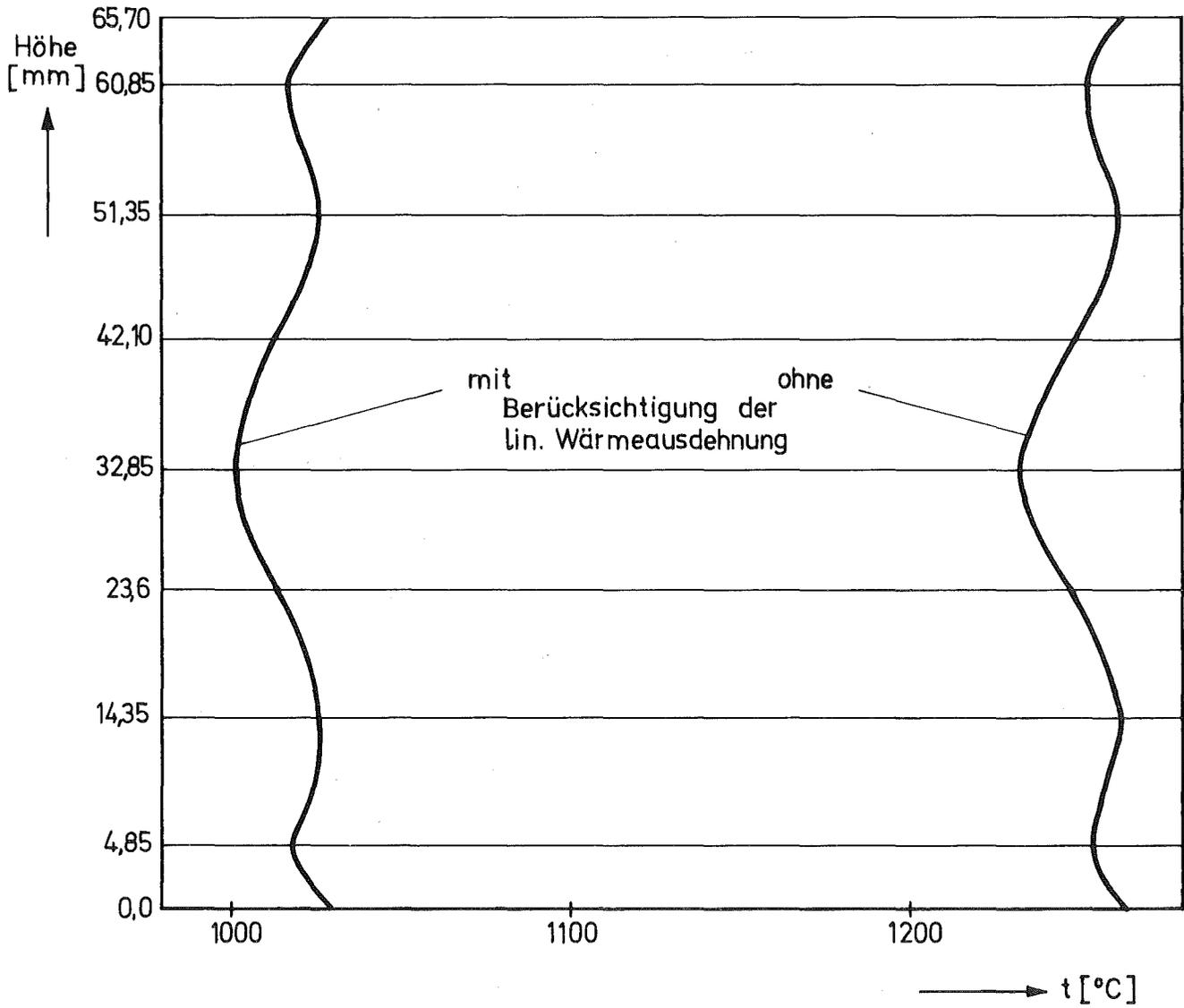


Bild 4: Temperaturverlauf in Prüflingsmitte

7. Nomenklatur

Dimension	Einheit, in der eine Größe gemessen wird
DIMENSION	Speicherplatzreservierung (Feldvereinbarung) für eine indizierte Variable in Fortran- Programmiersprache
F	Wärmeaustauschfläche
H	Höhe (-nlinie) des Netzwerkes, bzw. eines Netz- werkpunktes
INDEX } INDOX } INDOP }	Größen zur Bestimmung des Speicherplatzes für alle im Programm WIROCO vorhandenen indizierten Größen
J	beliebiger Punkt des Netzwerkes
l	Abstand zwischen zwei Netzwerklinien
NABSCH	maximale Zahl von Abschnitten eines Teiles
NBINDU	maximale Zahl von Punkt - zu - Punkt - Verbindungen
NHÖEHE	Gesamtzahl der Höhenlinien des Netzwerkes
NPUNKT	Gesamtzahl der Netzpunkte des Netzwerkes
NRADUS	Gesamtzahl der Radienlinien des Netzwerkes
NTEILE	Zahl aller in der Versuchsanordnung vorhandenen Teile laut Netzwerk
\dot{Q} [Watt]	Wärmestrom
$\dot{q} \left[\frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2} \right] = \frac{\dot{Q}}{F}$	Wärmestromdichte
R [mm]	Radius (-linie) des Netzwerkes, bzw. eines Netzwer- punktes
r	Wegkoordinate

REGION [K-Bytes]	Speicherplatzbelegung für den gesamten Programmablauf in der Rechenanlage
REGION.G [K-Bytes]	Speicherplatzbelegung für die Rechenausführung im GO-Step
s	Wegkoordinate
t [°C]	Temperatur
V	Volumen
WIROCO	Abkürzung: <u>W</u> ärmeübertragung <u>I</u> n <u>R</u> otationssymmetrischen <u>K</u> örpern (lat.: <u>C</u> orpus)
$\alpha \left[\frac{W}{cm^2 \text{ grad}} \right]$	Wärmeübergangszahl
$\alpha \left[\text{grad}^{-1} \right]$	linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient
$\gamma_{\text{Heizung}} \left[W/g \right]$	Wärmeerzeugung durch Absorption von γ -Strahlung
$\epsilon \left[1 \right]$	Emissionsverhältnis bei Wärmestrahlung
$\lambda \left[\frac{W}{cm \text{ grad}} \right]$	Wärmeleitfähigkeit, Wärmeleitzahl
μ	$= 10^{-3} \left[mm \right]$
$\rho \left[g/cm^3 \right]$	Dichte
$\Phi \left[\frac{W}{cm^3} \right]$	Wärmequellendichte

8. Literatur

- 1.) S. Malang, K. Rust: " RELAX, ein Fortran-Programm zur numerischen Bestimmung von Temperaturfeldern mittels der Relaxationsmethode der Thermodynamik "
- 2.) Gröber, Erk, Grigull: " Grundgesetze der Wärmeübertragung "
- 3.) Gordon D. Smith: " Numerical Solution of Partical Differential Equations "
Oxford Mathematical Handbooks, 1965
- 4.) Benjamin Gebhart: " Heat Transfer "
Mc Graw-Hill Book Company, Inc., 1961