

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

März 1973

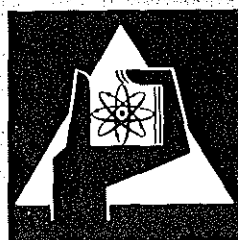
KFK 1714
EUR 4848d

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

NISA I

Ein Programm zur Berechnung der Reibungsbeiwerte
in rauhen Stabbündeln in hexagonaler Anordnung

C. Savatteri



**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

KFK 1714

EUR 4848a

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Projekt Schneller Brüter

NISA I

Ein Programm zur Berechnung der Reibungsbeiwerte in rauhen Stabbündeln in hexagonaler Anordnung

von

C. Savatteri*

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

* delegiert von EURATOM zum Karlsruher Projekt Schneller Brüter

Zusammenfassung

Der vorstehende Bericht gibt die Beschreibung von NISA I. NISA I ist ein digitales Rechenprogramm zur Berechnung von Reibungsbeiwerten in rauhen Stabbündeln in hexagonaler Anordnung. Mit dem Programm NISA I kann man die isotherme Strömung in Stabbündeln mit einer beliebigen Anzahl rauher Stäbe berechnen. Die Grundlage für die Berechnung, die im KFK 1588 zusammengefaßt sind, werden nicht angegeben. Hier wird nur das Programm beschrieben, die Eingabedaten erläutert und ein Rechnungsbeispiel angegeben. Zur Bestätigung der Gültigkeit des NISA I Rechenprogramms werden Versuche /4/ benutzt, die zur Bestimmung der Reibungsbeiwerte in Stabbündel in Hexagonal-Anordnung dienen. Es zeigt sich, daß zwischen den digital berechneten und den gemessenen Reibungsbeiwerten eine gute Übereinstimmung besteht.

Abstract

This report is a description of NISA I which is a digital computing program for calculation of friction coefficients in roughened pin bundles in hexagonal array. The program NISA I allows to calculate the isothermal flow in pin bundles with any number of roughened pins. The fundamentals of the calculation which are summarized in KFK 1588, are not indicated here. This report only gives a description of the program, an explanation of the input data and an example of computation. To confirm the validity of the NISA I computing program, experiments /4/ were used which helped to determine the friction coefficients in pin bundles of hexagonal array. Good agreement is found to exist between the digitally computed and the measured friction coefficients.

Inhalt

1. Einleitung

2. Beschreibung des NISA I Programms

2.1 Verwendungszweck und Möglichkeiten

2.2 Eingabedaten

2.3 Abriß der Programmstruktur

2.4 Ausgabeliste

3. Schlußfolgerung

Anhang 1 Programmliste

Anhang 2 Berechnungsbeispiel

1. Einleitung

Im "Core" eines schnellen Reaktors herrscht eine sehr hohe Leistungsdichte. Aus diesem Grunde kommt der Wärmeabfuhr besonders bei gasgekühlten schnellen Reaktoren eine besondere Bedeutung zu, da Gas wie bekannt kein gutes Kühlmittel ist. Zur Verbesserung des Wärmeübergangs in gasgekühlten Reaktoren mit stabförmigen Brennelementen werden künstliche Rauigkeiten auf den wärmeübertragenden Flächen verwendet. Diese Rauigkeiten verbessern wesentlich die Wärmeabfuhr, erhöhen allerdings auch die Druckverluste.

Die Brennelemente von Kernreaktoren sind zu Stabbündeln zusammengefaßt, die Kanäle bilden. Dabei befinden sich am Rand des Bündels Kanäle mit teilweise glatter, teilweise rauher Wand.

Dieser Bericht beschreibt NISA I-Rechenprogramm zur Berechnung der Reibungsbeiwerte in rauhen Stabbündeln mit glatter Kanalwand in Hexagonalanordnung.

Die Grundlagen für die Berechnung sind in /1/ zusammengefaßt. Hier wird nur das Programm beschrieben, die Eingabedaten erläutert und ein Berechnungsbeispiel angegeben.

2. Beschreibung des NISA I Computer-Programms

2.1 Verwendungszweck und Möglichkeiten

Das NISA I Programm befaßt sich mit der Berechnung der Reibungsbeiwerte der Zentral-, Wand- bzw. Eckkanäle, sowie des gesamten Bündels bei hexagonal angeordneten Stabbündeln. Die folgenden Voraussetzungen gelten für alle Kanäle:

- a) Isotherme Strömung ($\rho = \text{konstant}$)
- b) Voll entwickelte turbulente, inkompressible Strömung
- c) In allen Kanälen gilt die universelle Geschwindigkeitsverteilung des glatten und rauhen Kreisrohres, die von NIKURADSE /2,3/ bestimmt wurde.

Danach gilt für die Geschwindigkeitsverteilung an glatten Flächen

$$U^+ = 2.5 \ln y^+ + 5.5 \quad (1)$$

und an rauhen Flächen

$$U^+ = 2.5 \ln y/h + R(h^+) \quad (2)$$

- d) Die Trennung der beiden Zonen, glatt und rauh, wird als Schnittpunkt der von beiden Wänden bestimmten Geschwindigkeitsprofile angenommen.
- e) Eine Sekundärströmung wird nicht berücksichtigt.
- f) dp/dx ist konstant für alle Kanäle.

Für die Rauigkeitsfunktion $R(h^+)$ wurde, wie in /1/ erläutert ist,

$$R(h^+) = 2.8 + 33/h^+ \quad \text{für } h^+ > 10 \quad (3)$$

angenommen.

Bei einem Rohrbündel teilt man den Strömungsquerschnitt an den Symmetrielinien in Kanäle ein. Abb. 1 zeigt als Beispiel ein 19-Stabbündel das folgende Kanäle bildet:

48 Zentralkanäle mit rauhen Rohren

24 Wandkanäle mit glatten Wänden und rauhen Rohren

12 Eckkanäle ebenfalls mit glatten Wänden und rauhen Rohren.

Da das System symmetrisch ist, betrachtet NISA I für die Berechnung nur einen Zentral A bzw. Wand B bzw. Eckkanal C Abb. 2.

Die Unterteilung der Kanäle ist in /1/ beschrieben.

Das Programm NISA I bietet die Möglichkeit zur Berechnung des Bündels mit beliebiger Anzahl rauher Stäbe in Hexagonal-Anordnung.

Die Anzahl der Stäbe NR wird durch:

$$NR = 3 \cdot NE(NE + 1) + 1 \quad (4)$$

gegeben, wobei NE die Anzahl der Sechsecke im Bündel ist. Für jedes NE errechnet NISA I die Anzahl der Rohre und Kanäle.

Bei einem Stabbündel kann NISA I mehrere Rechnungen mit verschiedenen Reynoldszahlen durchführen, um den Verlauf der Funktion

$$\lambda = f(Re)$$

zu bestimmen.

2.2 Eingabedaten

Dieser Abschnitt befaßt sich mit der Beschreibung der Eingabedaten.

1. Karte:

- NJ Anzahl der Rechnungen
- K Anzahl der Unterkanäle auf 360°
Diese Größe entspricht der Winkeltrittweite im Wand bzw. Eckkanal.
- NI Anzahl der Unterkanäle auf 30°
Winkeltrittweite in Zentralkanälen.
- NK Anzahl der Unterkanäle in Zone 6 des Eckkanals. Abb. 2a.
- NE Anzahl der Sechsecke im Bündel.

2. Karte:

- D Rohraußendurchmesser in mm.
- H Rauigkeitshöhe in mm.
- A Konstante = 33. Siehe Gleichung (3)
- C Rohrteilung in mm.
- WD Verhältnis zwischen dem Abstand der äußeren Stabreihe zur Wand, W in Abb. 1, und dem Rohraußendurchmesser.

3. Karte:

RE Reynoldszahl

XLAM Geschätzter Reibungsbeiwert für das gesamte Bündel.

Diese Karte muß NJ-mal wiederholt werden.

2.3 Abriß der Programmstruktur

Eine Übersicht der NISA I Programmstruktur kann man durch das Flußdiagramm, das in Abb. 3 angegeben ist, erhalten.

Nach Einlesen der Eingabedaten werden die geometrischen Parameter des Gesamtbündels und der 30° Ausschnitte berechnet (Querschnitt, benetzter Umfang, hydraulischer Durchmesser, Anzahl der Rohre und Kanäle).

Weiterhin werden die geometrischen Parameter der Unterkanäle des Zentralkanals sowie die Reibungsbeiwerte der einzelnen Unterkanäle und des gesamten Zentralkanals sowie die Größe h_i^+ und $R(h_i^+)_i$ berechnet. Da h_i^+ abhängig von λ ist:

$$h_i^+ = \frac{h}{DI} \operatorname{Re} \frac{\lambda}{8} \frac{D_i}{DI} \quad (5)$$

wird für den ersten Rechenschritt ein geschätzter λ -Wert angenommen. Dann wird im Wandkanal iterativ die $\tau=0$ -Linie bestimmt, die die rauhe Zone von der glatten Zone trennt. Für beide Zonen werden die gleichen Größen wie beim Zentralkanal berechnet. Dieselbe Rechnung wie im Wandkanal wird für den Eckkanal durchgeführt.

Zu bemerken ist, daß die glatte Unterzone des Eckkanals, Zone 6 in Abb. 2a, in der Subroutine GZEK gesondert behandelt wird. Mit dieser Subroutine werden die geometrischen Parameter und die Reibungsbeiwerte dieser Zone bestimmt. Nach der Berechnung der Reibungsbeiwerte der Kanäle (Zentral, Wand und Eckkanal) wird für das Bündel ein Gesamtreibungsbeiwert - XLAMR - bestimmt.

Mit diesem Wert wird die Gesamtrechnung noch einmal durchgeführt und so lange wiederholt, bis der Wert von XLAMR konvergiert.

2.4 Ausgabeliste

Bei den Ausgabedaten werden folgende Größen ausgedruckt:

WD	[-]	<u>Abstand der äußeren Stabreihe von der Wand</u> Rohraußendurchmesser
DI	[mm]	Hydraulischer Durchmesser des Bündels
PD	[-]	<u>Teilung</u> Rohraußendurchmesser
RE	[-]	Reynoldszahl
XLAM	[-]	Geschätzter Reibungsbeiwert
A11	[-]	Konstante
W	[mm]	Abstand der äußeren Stabreihe zur Wand
F1	[mm ²]	Querschnitt des Zentralkanals
D1	[mm]	Hydraulischer Durchmesser des Z.K.
F2	[mm ²]	Querschnitt des Wandkanals
D2	[mm]	Hydraulischer Durchmesser des W.K.
F3	[mm ²]	Querschnitt des Eckkanals
D3	[mm]	Hydraulischer Durchmesser des E.K.
F	[mm ²]	Querschnittsfläche eines Kreisabschnittes vom Bündel mit Zentriwinkel von 30°
NR	[-]	Anzahl der Rohre
NWKS	[-]	Anzahl der Wandkanäle

NEKSL	[-]	Anzahl der Eckkanäle
NZKSL	[-]	Anzahl der Zentralkanäle
NWK	[-]	Anzahl der Wandkanäle im 30°-Ausschnitt
NEK	[-]	Anzahl der Eckkanäle im 30°-Ausschnitt
NZK	[-]	Anzahl der Zentralkanäle im 30°-Ausschnitt
NE	[-]	Anzahl der Sechseck im Bündel

Für den Zentralkanal werden folgende Größen ausgedrückt:

W8LAM	[-]	$\sqrt{8/\lambda_1}$	wobei λ_1 der Reibungsbeiwert des Zentralkanals ist.
WDDI	[-]	$\sqrt{\frac{D_1}{DI}}$	
FDF	[-]	F1/F	

Weiter die h^+ und $R(h^+)$ Werte für alle Unterkanäle.

Die wichtigsten ausgedruckten Größen für den Wandkanal sind:

RPB	[-]	$R(h^+)$	
HPB	[-]	h^+	
PVER	[mm]	Abstand der $\tau = 0$ Linie von der Wandparallelen durch den Rohrmittelpunkt	
PRAD	[mm]	Radialer Abstand der $\tau = 0$ Linie vom Rohrmittelpunkt	
ALFA2	[°]	Winkelweite des W.K. bis zur Symmetrielinie	

Die gleichen Größen wie im Wandkanal werden für den Eckkanal geschrieben. Schließlich werden der gerechnete Reibungsbeiwert des Bündels XLAR und der geschätzte bzw. gemessene Referenzwert XLAMM ausgedrückt.

3. Schlußfolgerung

Die Gültigkeit des NISA I Rechenprogramms wurde durch Vergleiche mit Messungen bestätigt.

Die Messungen wurden am Helium-Versuchsstand des INR an einem 19-Stab-bündel von K. Maubach /4/ durchgeführt.

In Abb. 4 sind die Meßergebnisse und der berechnete Verlauf von $\lambda = f(Re)$ aufgetragen.

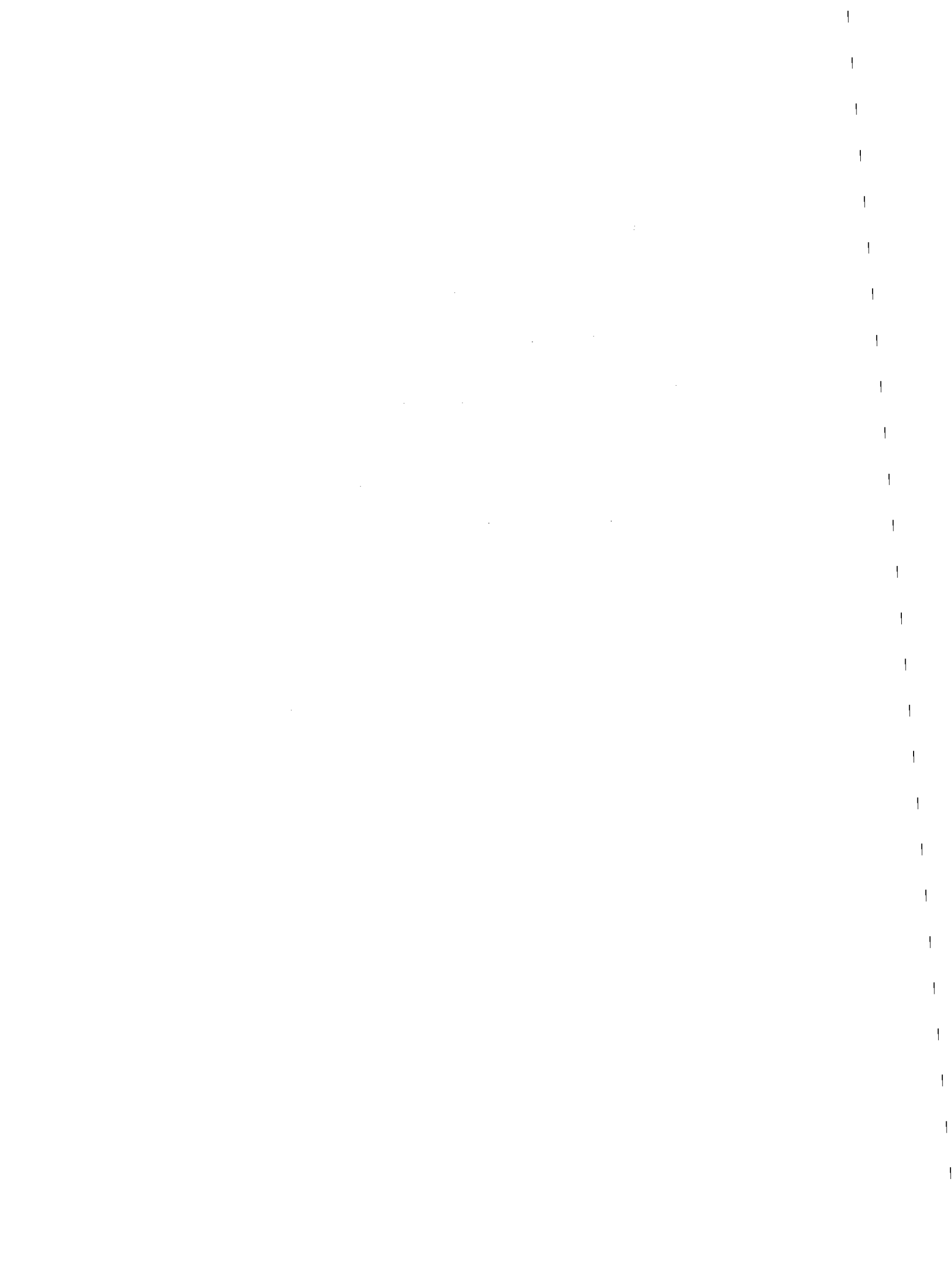
Sie zeigen eine gute Übereinstimmung.

Symbole

D_I	mm	Hydraulischer Durchmesser des Bündels
D_i	mm	Hydraulischer Durchmesser des i-ten Unterkanals
h	mm	Rauhigkeitshöhe
h^+	-	Dimensionslose Rauhigkeitshöhe
y	mm	Wandabstand
y^+	-	Dimensionsloser Wandabstand
$R(h^+)$	-	Rauhigkeitsfunktion
Re	-	Reynoldszahl
U^+	-	Dimensionslose Geschwindigkeit
λ	-	Reibungsbeiwert
τ	-	Schubspannung
h_i^+	-	Dimensionslose Rauhigkeitshöhe des i-ten Unterkanals
$R(h^+)_i$	-	Dimensionslose Rauhigkeitsfunktion des i-ten Unterkanals

Literatur

- /1/ Savatteri, C.: Friction factors of a cluster of 19 rough rods;
KFK 1588, EUR 4728e, April 1972
- /2/ Nikuradse, J.: Gesetzmäßigkeiten der turbulenten Strömung in
glatten Rohren;
VDI-Forsch., 1932, 356
- /3/ Nikuradse, J.: Strömungsgesetze in rauhen Rohren;
VDI-Forsch. 1933, 361
- /4/ Maubach, K.: Druckverlustmessungen an einem rauhen Stabbündel;
KFK 1433, Juni 1971



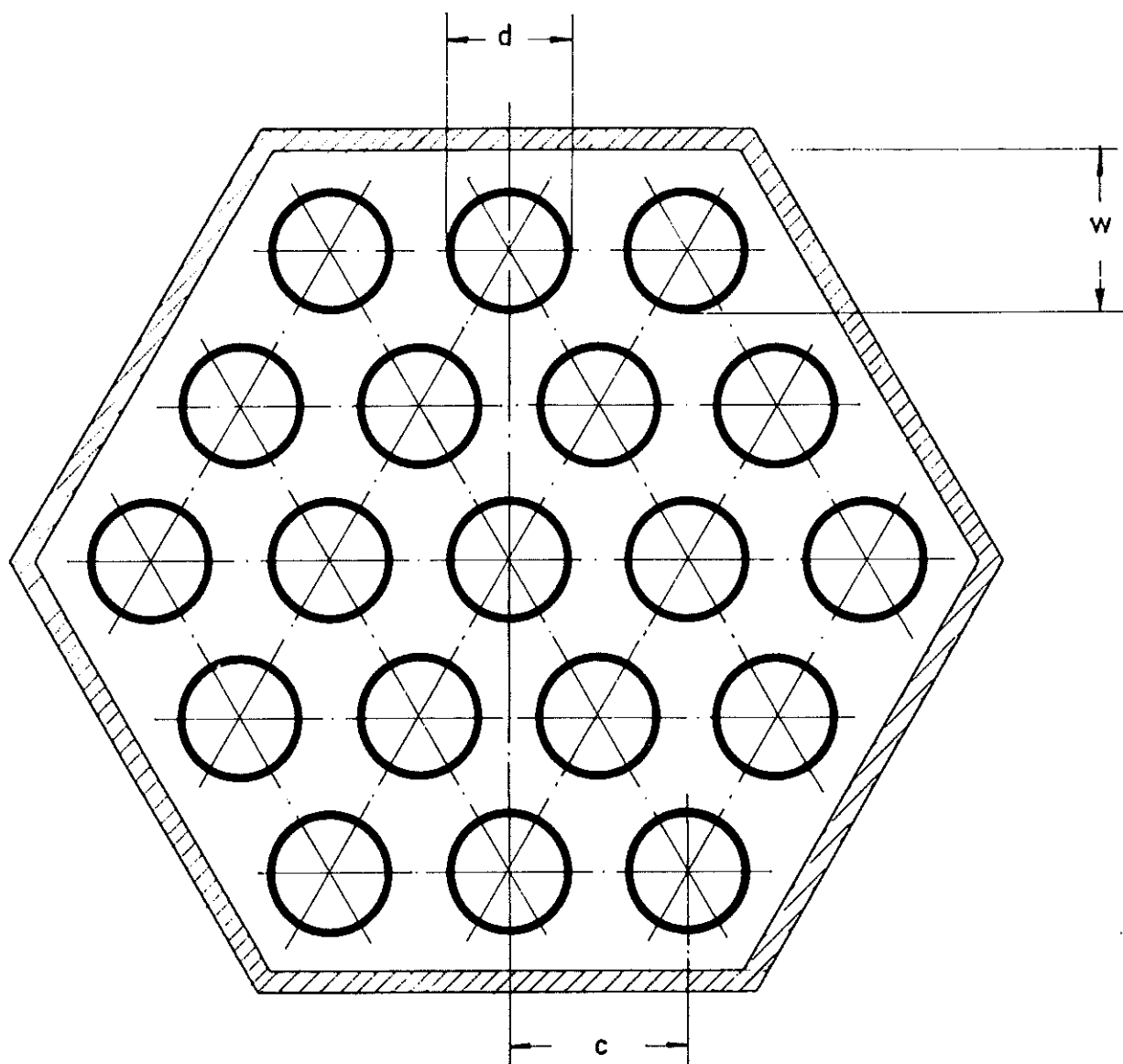
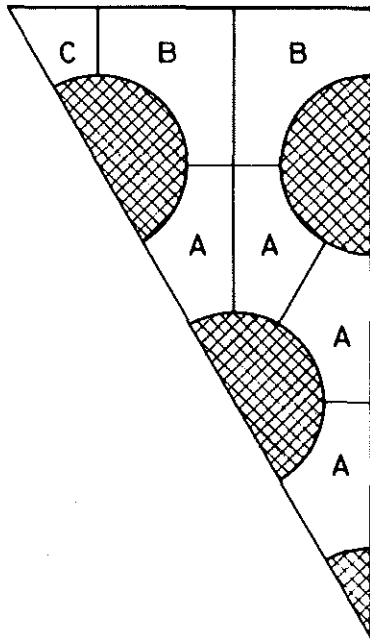


Abb.1 19-Stabbündel mit rauhen Röhren in hexagonaler Anordnung

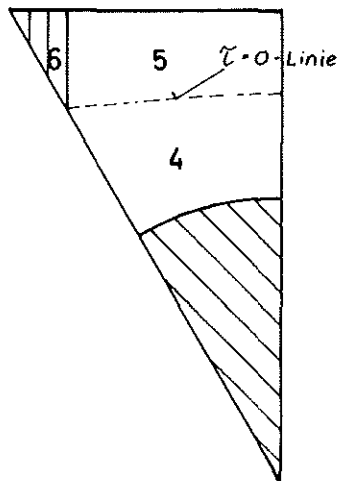


A = Zentralkanal

B = Wandkanal

C = Eckkanal

Abb.2 Kanäle im Rohrbündel



4 = Rauhe Zone

5 = Glatte Zone

6 = Glatte Zone

Abb. 2a Eckkanal C

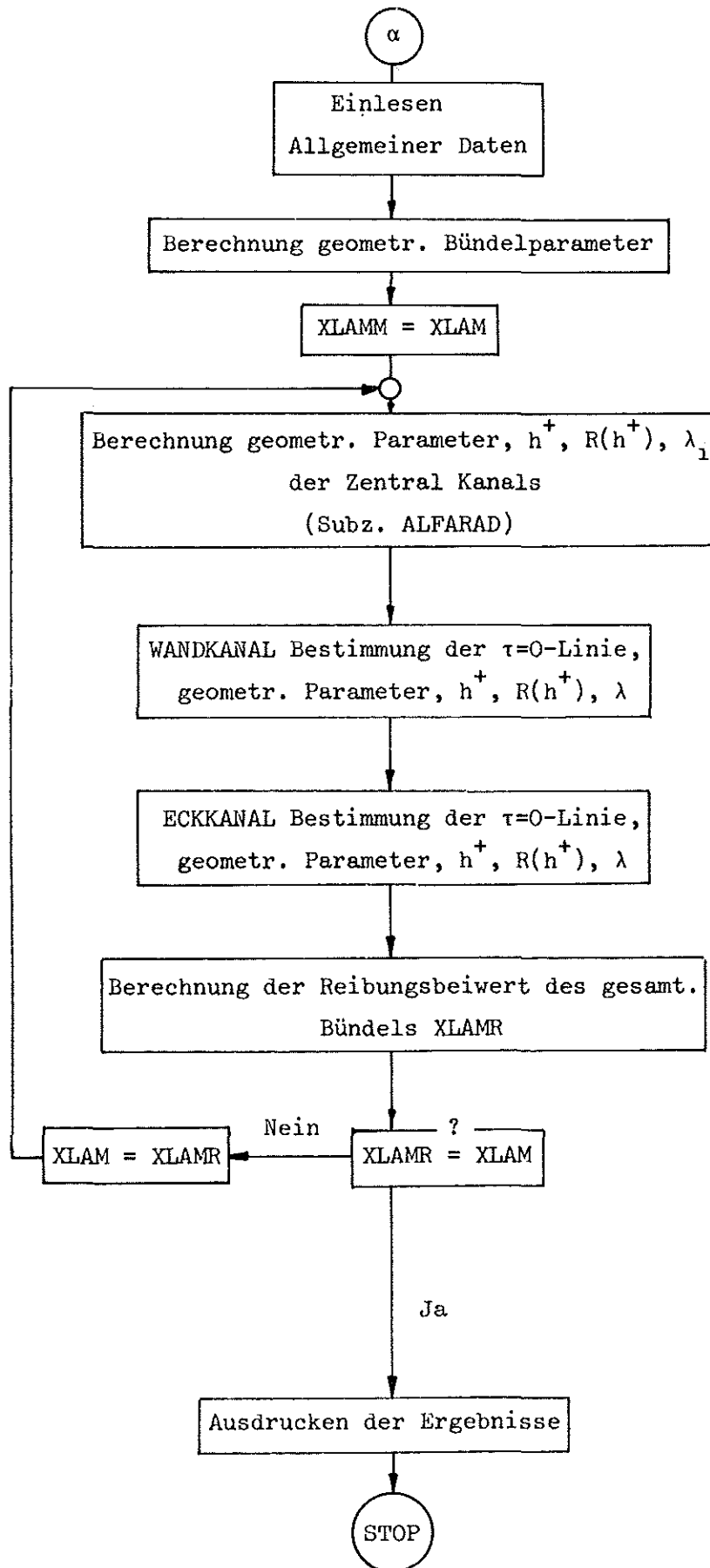


Abb. 3 Flussdiagramm des NISA I

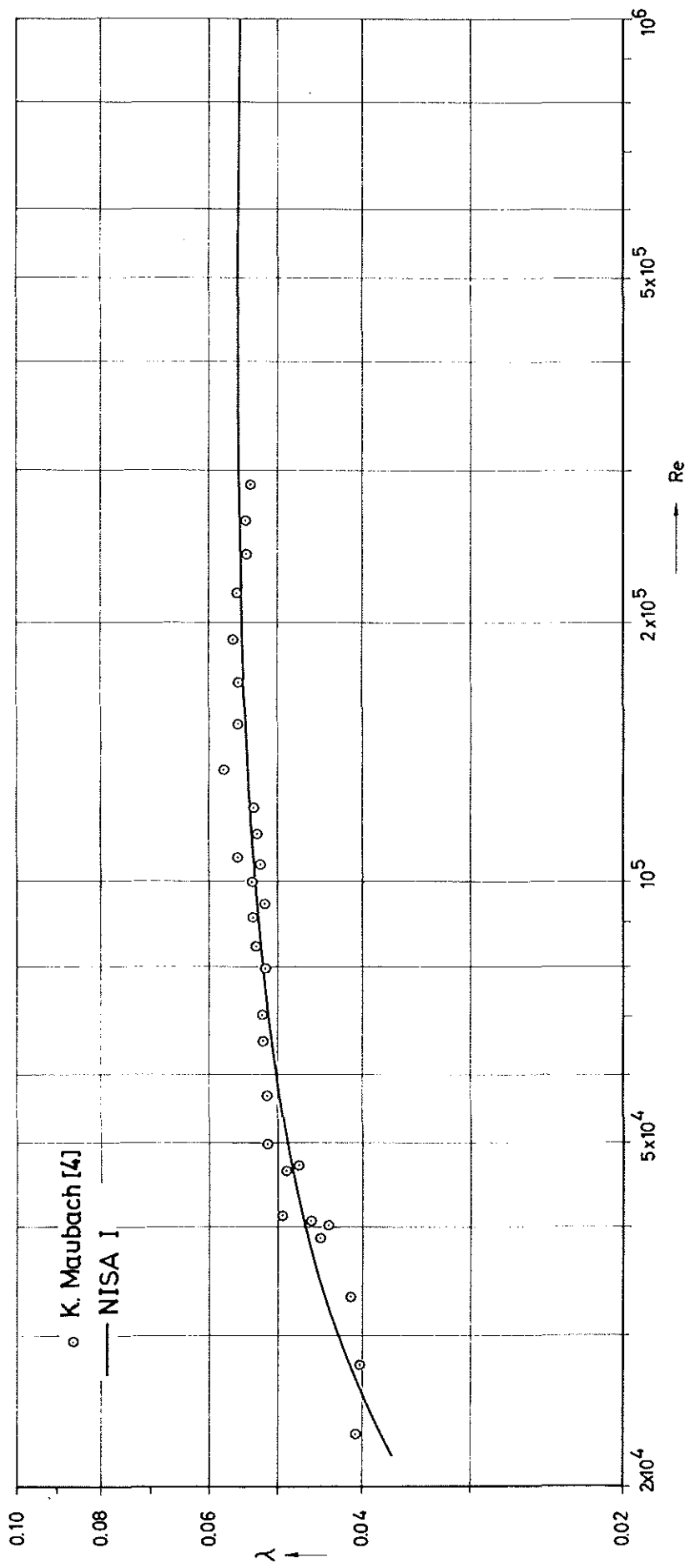


Abb. 4 Reibungsbeiwerte für ein rauhes Stabbündel

Anhang 1

Programmliste


```
DD=DI/D                                00004300
S=STOT/12.                              00004400
S1=C**2*COS(P6)/4.-PI*D**2/16.         00004500
DI=16.*S1/(PI*D)                        00004600
S2=8V*C/2.-PI/16.*D**2                 00004700
PN2=PI*D/4.+C/2.                        00004800
D2=4.*S2/PN2                             00004900
S3=8V**2*TAN(P6)/2.-PI/48.*D**2       00005000
PN3=PI*D/12.+BV*TAN(P6)                 00005100
D3=4.*S3/PN3                             00005200
WD1D=SQRT(D1/DI)                         00005300
WD2D=SQRT(D2/DI)                         00005400
WD3D=SQRT(D3/DI)                         00005500
NWKT=NE*6                                00005600
NEKT=6                                    00005700
NZKT=(NR-NWKT)*2+(NE-1)*6+4            00005800
NWKSL=NWKT*2                             00005900
NEKSL=NEKT*2                             00006000
NZKSL=NZKT*2                             00006100
NWK=NWKSL/12                             00006200
NEK=NEKSL/12                             00006300
NZK=NZKSL/12                             00006400
F1DF=S1/S*FLOAT(NZK)                    00006500
F2DF=S2/S*FLOAT(NWK)                    00006600
F3DF=S3/S                                 00006700
S1DF=F1DF/FLOAT(NZK)                    00006800
S2DF=F2DF/FLOAT(NWK)                    00006900
W8L=SQRT(8./XLAM)                        00007000
XLAMM=XLAM                               00007100
WRITE(6,103)                              00007200
103 FORMAT(1H1,35X,10HERGEBNISSE)        00007300
WRITE(6,115) WD,DI,PV,RE,XLAM,A,H        00007400
115 FORMAT(1H0,6X,2HWD,15X,2HDI,15X,2HPD,17X,2HRE,15X,4HXLAM,14X,3HA1100007500
1,15X,2HW /7(E15.8,3X))                  00007600
WRITE(6,114) S1,D1,S2,D2,S3,D3,S        00007700
114 FORMAT(1H0,6X,2HF1,15X,2HD1,15X,2HF2,17X,2HD2,14X,2HF3,17X,2HD3,1500007800
1X,2HF /7(E15.8,3X))                    00007900
WRITE(6,123)                              00008000
123 FORMAT(1H0,10X,28HANZAHL DER ROHRE UND KANA ELE) 00008100
WRITE(6,124) NR,NWKSL,NEKSL,NZKSL,NWK,NEK,NZK,NE 00008200
124 FORMAT(1H0,5X,3HNR=15,5X,6HNWKSL=15,5X,6HNEKSL=15,5X,6HNZKSL=15,5X00008300
1,4HNWK=15,5X,4HNEK=15,5X,4HNZK=15,5X,3HNE=15) 00008400
C                                          00008500
C    BERECHNUNG VON W8DLAMDA1              00008600
C                                          00008700
61 WF8=SQRT(XLAM/8.)                     00008800
SC=WF8*RE*H/DI                           00008900
CALL ALFRAD(A,H,D,P6,NI,C,SC,DI,FZ1,DZ1,W8LAM1,HPZK,RHPZK) 00009000
C                                          00009100
C    BERECHNUNG DER WANDKANAL              00009200
C                                          00009300
C    XK=FLOAT(K)                           00009400
C    AL=2.*PI/XK                           00009500
C    HD=H/D                                 00009600
C    N=360/K                                00009700
C    NN=2                                    00009800
C    PMAX=2.*WD-1.                          00009900
C    P1=WD                                  00010000
```

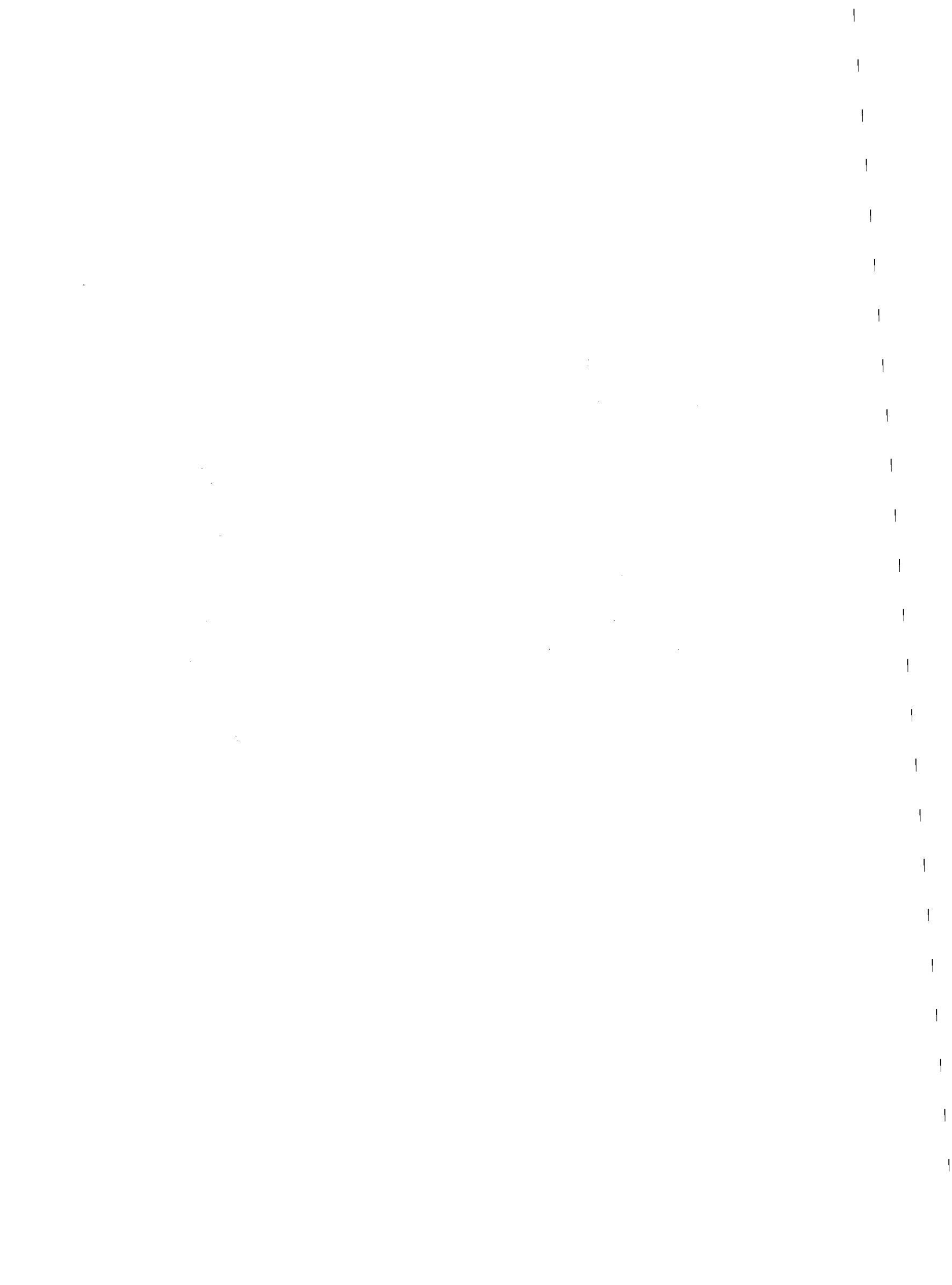
```
35 IF(NN-2)15,15,16          00010100
15 J=90/N                    00010200
   GOTO 17                    00010300
16 J=30/N                     00010400
   P1=WD                      00010500
17 L=0                        00010600
   XFA1=0                     00010700
   XFB1=0                     00010800
   DO 20 I=1,J                00010900
   M=1                        00011000
   R=FLOAT(I)                 00011100
   IF(I-1)21,21,22           00011200
21 P(I)=P1                    00011300
26 WDA(I)=SQRT(4.*(WD-.5-P(I)/2.)/DD) 00011400
   SA=P(I)**2*TAN(AL)*XK/PI-2. 00011500
   CA=8.*(WD-.5-P(I)/2.)     00011600
   WDBA(I)=SQRT(SA/CA)       00011700
   E(I)=P(I)/2.*D*TAN(AL)    00011800
   DA(I)=CA*D/2.             00011900
   FA(I)=DA(I)*E(I)/4.      00012000
   DB(I)=SA*D/2.             00012100
   HPB(I)=SC*SQRT(DB(I)/DI)  00012200
   RPB(I)=2.8+A/HPB(I)      00012300
   PB=PI*D/XK                00012400
   FB(I)=DB(I)*PB/4.        00012500
   EST(I)=E(I)               00012600
   BST(I)=E(I)               00012700
   GOTO 23                    00012800
22 P(I)=P(I-1)                00012900
   P1=P(I)                    00013000
27 WDA(I)=SQRT((4.*WD-2.-(P(I)+P(I-1)))/DD) 00013100
   E(I)=P(I)/2.*TAN(R*AL)*D  00013200
   IF(E(I-1)-C/2.) 31,31,30  00013300
31 EST(I)=P(I-1)/2.*TAN(R*AL)*D 00013400
   GOTO 32                    00013500
30 IF(NN-2)18,18,19          00013600
19 GOTO 32                    00013700
18 ANG=(R-1.)*360./XK        00013800
   AG1=(R-2.)*360./XK       00013900
   PX2=P(I-2)                00014000
   EX2=E(I-2)                 00014100
   XX=FA(I-1)                 00014200
   YY=FB(I-1)                 00014300
   LK=I-2                     00014400
   JJ=I-1                     00014500
   GOTO 1100                  00014600
32 BST(I)=EST(I)-E(I-1)      00014700
   SN=XK*BST(I)*P(I)/PI-D    00014800
   SS=(4.*WD-2.-(P(I)+P(I-1)))*D 00014900
   WDBA(I)=SQRT(SN/SS)       00015000
   DA(I)=SS                   00015100
   PA(I)=E(I)-E(I-1)         00015200
   FA(I)=DA(I)*PA(I)/4.     00015300
   DB(I)=SN                   00015400
   HPB(I)=SC*SQRT(DB(I)/DI)  00015500
   RPB(I)=2.8+A/HPB(I)      00015600
   FB(I)=DB(I)*PB/4.        00015700
23 FO=2.5*ALOG(RE*WF8*WDA(I)*(WD-0.5-P(I)/2.)/DD)+5.5 00015800
```

```
F01=WDBA(I)*(2.5*ALOG((P(I)/2.-0.5)/HD)+RPB(I))      00015900
F=F0-F01      00016000
IF(M-2)1,2,3      00016100
1 F1=F      00016200
P2=1.2*WD-.2      00016300
9 M=2      00016400
P(I)=P2      00016500
IF(I-1)24,24,25      00016600
24 GOTO 26      00016700
25 GOTO 27      00016800
2 F2=F      00016900
P3=P1-F1*(P2-P1)/(F2-F1)      00017000
IF(P3-1.)5,5,6      00017100
5 P2=0.8*WD+.2      00017200
L=L+1      00017300
IF(L-10)41,41,42      00017400
41 GOTO9      00017500
42 GOTO 999      00017600
6 IF(P3-PMAX)8,7,7      00017700
7 P2=P2+0.1*(2.*WD-1.-P2)      00017800
GOTO 9      00017900
8 M=3      00018000
P(I)=P3      00018100
IF(I-1)28,28,29      00018200
28 GOTO 26      00018300
29 GOTO27      00018400
3 F3=F      00018500
IF(F3)10,11,10      00018600
11 P4=P3      00018700
GOTO 12      00018800
10 IF(ABS(F3-F1)-1.E-20)13,13,126      00018900
126 P4=P1-F1*(P3-P1)/(F3-F1)      00019000
12 IF(ABS(P4/P3-1.)-1.E-6)13,13,14      00019100
14 F1=F3      00019200
P1=P3      00019300
P3=P4      00019400
GOTO 8      00019500
13 P(I)=P4      00019600
PVER(I)=P(I)/2.*D      00019700
PRAD(I)=PVER(I)/COS(R*AL)      00019800
IF(I-J)805,806,806      00019900
806 PVERTI=PVER(I)      00020000
805 XFA1=XFA1+FA(I)      00020100
XFB1=XFB1+FB(I)      00020200
20 CONTINUE      00020300
1100 IF(NN-2)33,33,34      00020400
34 LK=J      00020500
XFA=XFA1      00020600
XFB=XFB1      00020700
PBC=PVERTI*TAN(P6)      00020800
XDA=4.*XFA/PBC      00020900
XDB=8.*XFB/(P6*D)      00021000
GOTO 807      00021100
33 P1=PX2      00021200
M=1      00021300
PX=P1      00021400
AL1R=(R-2.)*AL      00021500
4 WDAK=SQRT((4.*WD-2.-(PX+PX2))/DD)      00021600
```

```
TAL2R=PV/PX                                00021700
B1=PX2/2.*TAL2R*D-EX2                       00021800
AL2R=ATAN(TAL2R)                             00021900
ALR=AL2R-AL1R                                00022000
SN1=2.*B1*PX/ALR-D                           00022100
SS1=(4.*WD-2.-(PX+PX2))*D                    00022200
WDBAX=SQRT(SN1/SS1)                          00022300
DAX=SS1                                       00022400
DBX=SN1                                       00022500
HPBX=SC*SQRT(DBX/DI)                         00022600
RHPBX=2.8+A/HPBX                             00022700
FBX=DBX*ALR*D/8.                             00022800
PAX=C/2.-EX2                                 00022900
FAX=DAX*PAX/4.                               00023000
FO=2.5*ALOG(RE*WF8*WDAX *(WD-0.5-PX /2.)/DD)+5.5 00023100
FO1=WDBAX *(2.5*ALOG((PX /2.-0.5)/HD)+RHPBX) 00023200
F=FO-FO1                                      00023300
IF(M-2)51,52,53                              00023400
51 F1=F                                       00023500
P2=1.2*WD-.2                                 00023600
59 M=2                                        00023700
PX=P2                                         00023800
GOTO 4                                        00023900
52 F2=F                                       00024000
P3=P1-F1*(P2-P1)/(F2-F1)                    00024100
IF(P3-1.)55,55,56                           00024200
55 P2=0.8*WD+.2                              00024300
GOTO 59                                       00024400
56 IF(P3-PMAX)58,57,57                       00024500
57 P2=P2+0.1*(2.*WD-1.-P2)                  00024600
GOTO 59                                       00024700
58 M=3                                        00024800
PX=P3                                         00024900
GOTO 4                                        00025000
53 F3=F                                       00025100
IF(F3)910,911,910                            00025200
911 P4=P3                                     00025300
GOTO 912                                     00025400
910 IF(ABS(F3-F1)-1.E-20)913,913,130        00025500
130 P4=P1-F1*(P3-P1)/(F3-F1)                 00025600
912 IF(ABS(P4/P3-1.)-1.E-5)913,913,914      00025700
914 F1=F3                                     00025800
P1=P3                                         00025900
P3=P4                                         00026000
GOTO 58                                       00026100
913 PX=P4                                     00026200
CX=PX/2.*TAN(AL2R)*D                         00026300
XFA=XFA1+FAX-XX                              00026400
XFB=XFB1+FBX-YY                              00026500
XDA=4.*XFA/CX                                00026600
XDB=8.*XFB/(AL2R*D)                          00026700
AL2=AL2R*360./(2.*PI)                        00026800
AL1=(R-2.)*360./XK                           00026900
PVERX=PX/2.*D                                 00027000
PRADX=PVERX/COS(AL2R)                        00027100
807 W8DLA=0                                  00027200
W8DLB=0                                       00027300
DO 800 I=1,LK                                00027400
```

```
WDAIDA=SQRT(DA(I)/XDA) 00027500
FAIFA=FA(I)/XFA 00027600
DX=(DA(I)/DI)**1.5 00027700
W8DLAI=2.5*ALOG(RE*WF8*DX)-0.465 00027800
W8DLA1=W8DLAI*WDAIDA*FAIFA 00027900
W8DLA=W8DLA+W8DLA1 00028000
W8DBIDB=SQRT(DB(I)/XDB) 00028100
FBIFB=FB(I)/XFB 00028200
RO(I)=PRAD(I) 00028300
IF(I-1)801,801,802 00028400
801 EPS=(RO(I)+PVER(I))/D 00028500
GOTO 803 00028600
802 EPS=(RO(I)+RO(I-1))/D 00028700
ROX=RO(I) 00028800
803 GSTB=(3.75+1.25*EPS)/(1.+EPS)+2.5*ALOG(2.*(EPS+1.)) 00028900
W8DLBI=2.5*ALOG(DB(I)/H)+RPH(I)-GSTB 00029000
W8DLB1=W8DLBI*W8DBIDB*FBIFB 00029100
W8DLB=W8DLB+W8DLB1 00029200
800 CONTINUE 00029300
IF(NN-2)808,808,809 00029400
808 DAX1=(DAX/DI)**1.5 00029500
W8DLAX=(2.5*ALOG(RE*WF8*DAX1)-0.465)*SQRT(DAX/XDA)*FAX/XFA 00029600
W8DLA2=W8DLA+W8DLAX 00029700
EPSX=(ROX+PRADX)/D 00029800
GSTBX=(3.75+1.25*EPSX)/(1.+EPSX)+2.5*ALOG(2.*(EPS+1.)) 00029900
W8DLBX=(2.5*ALOG(DBX/H)+RHPBX-GSTBX)*SQRT(DBX/XDB)*FBX/XFB 00030000
W8DLB2=W8DLB+W8DLBX 00030100
ALF2R=PI/2.-AL2R 00030200
X=ALF2R*180./PI 00030300
MK=FIX(X) 00030400
CALL ALFRAD(A,H,D,ALF2R,MK,C,SC,DI,FZ2,DZ2,W8DLZ2,HPWK,RHPWK) 00030500
WDAD2=SQRT(XDA/D2) 00030600
WDBD2=SQRT(XDB/D2) 00030700
FAF2=XFA/S2 00030800
FBF2=XFB/S2 00030900
WDZ2D2=SQRT(DZ2/D2) 00031000
FZ2F2=FZ2/S2 00031100
W8LAM2=W8DLA2*WDAD2*FAF2+W8DLB2*WDBD2*FBF2+W8DLZ2*WDZ2D2*FZ2F2 00031200
C 00031300
C BERECHNUNG DER ECKKANAL 00031400
C 00031500
NN=3 00031600
GOTO 35 00031700
809 Z2=W-D/2.-PVERTI 00031800
CALL GZEK(RE,XLAM,DI,Z2,NK,FGZ,OGZ,W8DLGZ) 00031900
WDAD3=SQRT(XDA/D3) 00032000
WDBD3=SQRT(XDB/D3) 00032100
WDGZD3=SQRT(OGZ/D3) 00032200
FAF3=XFA/S3 00032300
FBF3=XFB/S3 00032400
FGZF3=FGZ/S3 00032500
W8LAM3=W8DLA*WDAD3*FAF3+W8DLB*WDBD3*FBF3+W8DLGZ*WDGZD3*FGZF3 00032600
C 00032700
C BERECHNUNG VON W8LAMDA UND LAMDA FUER DIE ITERATION 00032800
C 00032900
W8LAM=W8LAM1*WD1D*F1DF+W8LAM2*WD2D*F2DF+W8LAM3*WD3D*F3DF 00033000
XLAMR=8./W8LAM**2 00033100
IF(ABS(XLAMR-XLAM)-1.E-05)810,810,811 00033200
```

```
811 XLAM=XLAMR                                00033300
    GOTO 61                                    00033400
810 EX=(W-D/2.)*TAN(P6)                       00033500
    AL1=R*360./XK                              00033600
    WRITE(6,104)                               00033700
104 FORMAT(1H0,3X,12HZENTRALKANAL)           00033800
    WRITE(6,105) W8LAMI,WD1D,S1DF             00033900
105 FORMAT(1H0,10X,6HWBLAM=E15.8,5X,5HWDDI=E15.8,5X,4HFDF=E15.8) 00034000
    WRITE(6,113)                               00034100
113 FORMAT(1H0,12HHPLUS-RHPLUS)              00034200
    WRITE(6,117) (HPZK(I),RHPZK(I),I=1,NI)   00034300
117 FORMAT(1H ,7E18.8)                       00034400
    WRITE(6,112)                               00034500
112 FORMAT(1H0,3X,9HWANDKANAL)               00034600
    WRITE(6,116)                               00034700
116 FORNAT(1H0,6X,1HE,16X,3HRPB,15X,3HHPB,15X,4HP2/D,14X,4HPVER,14X,4H00034800
    IPRAD)                                     00034900
    WRITE(6,110)(E(I),RPB(I),HPB(I),P(I),PVER(I),PRAD(I),I=1,JJ) 00035000
110 FORMAT(1H ,E15.8,3X,E15.8,3X,E15.8,3X,E15.8,3X,E15.8,3X,E15.8) 00035100
    WRITE(6,111) ANG,E(I-1),HPBX,RHPBX       00035200
111 FORMAT(1H0,15X,5HANG =E15.8,3X,2HE=E15.8,3X,5HHPBX=E15.8,3X,6HRHPB00035300
    1X=E15.8)                                  00035400
    WRITE(6,118) CX,AG1,AL2,PX,PVERX,PRADX   00035500
118 FORNAT(1H0,5X,3HP/2,13X,8HALF(I-1),12X,4HALF2,13X,2HPX,14X,5HPVERX00035600
    1,14X,5HPRADX/6(E15.8,3X))               00035700
    WRITE(6,105) W8LAM2,WD2D,S2DF            00035800
    WRITE(6,121)                               00035900
121 FORMAT(1H0,22HHPLUS-RHPLUS-RAUHEZONE)   00036000
    WRITE(6,117) (HPWK(I),RHPWK(I),I=1,MK)   00036100
    WRITE(6,120)                               00036200
120 FORMAT(1H0,3X,8HECKKANAL)                00036300
    WRITE(6,116)                               00036400
    WRITE(6,110)(E(I),RPB(I),HPB(I),P(I),PVER(I),PRAD(I),I=1,J) 00036500
    WRITE(6,119) EX,AL1,PVERT I              00036600
119 FORMAT(1H0,20X,4HEX =E15.8,3X,5HAL1 =E15.8,3X,7HPVERTI=E15.8) 00036700
    WRITE(6,105) W8LAM3,WD3D,F3DF            00036800
    WRITE(6,122) XLAMR,XLAMM                 00036900
122 FORNAT(1H0,10X,6HXLAMR=E15.8,5X,6HXLAMM=E15.8) 00037000
1000 CONTINUE                                00037100
999 STOP                                      00037200
    END                                        00037300
```

Anhang 2

Berechnungsbeispiel

EINGABEDATEN

NJ= 1 K= 360 NI= 30 NK= 5 NE= 2
 D= 0.1800000E 02 H= 0.11099994E 00 ALLG= 0.3300000E 02 C= 0.26099991E 02 WD= 0.13218594E 01

ERGEBNISSE

WD	DI	PD	RE	XLAM	ALL	W
0.13218594E 01	0.20497284E 02	0.14499989E 01	0.10058000E 06	0.53514998E-01	0.33000000E 02	0.23793457E 02
F1	D1	F2	D2	F3	D3	F
0.83868896E 02	0.23730042E 02	0.12943719E 03	0.19043869E 02	0.41969742E 02	0.12666868E 02	0.63631958E 03

ANZAHL DER ROHRE UND KANAEL

NR= 19 NWKSL= 24 NEKSL= 12 NZKSL= 48 NWK= 2 NEK= 1 NZK= 4 NE= 2

ZENTRAKANAL

WBLAM= 0.10752737E 02 WDDI= 0.10759716E 01 FDF= 0.13180310E 00

HPLUS-RHPLUS

0.43727966E 02	0.35546646E 01	0.43753387E 02	0.35542259E 01	0.43804092E 02	0.35533533E 01	0.43880432E 02
0.35520420E 01	0.43982162E 02	0.35503025E 01	0.44109711E 02	0.35481329E 01	0.44262589E 02	0.35455494E 01
0.44441711E 02	0.35425444E 01	0.44646484E 02	0.35391388E 01	0.44876984E 02	0.35353422E 01	0.45134476E 02
0.35311470E 01	0.45417816E 02	0.35265856E 01	0.45728012E 02	0.35216570E 01	0.46065430E 02	0.35163708E 01
0.46429718E 02	0.35107508E 01	0.46821915E 02	0.35047970E 01	0.47241760E 02	0.34985332E 01	0.47690247E 02
0.34919643E 01	0.48166870E 02	0.34851170E 01	0.48673325E 02	0.34779882E 01	0.49209198E 02	0.34706049E 01
0.49775787E 02	0.34629717E 01	0.50373154E 02	0.34551096E 01	0.51002121E 02	0.34470310E 01	0.51663651E 02
0.34387455E 01	0.52358231E 02	0.34302721E 01	0.53087296E 02	0.34216166E 01	0.53851120E 02	0.34127998E 01
0.54651260E 02	0.34038277E 01	0.55489075E 02	0.33947105E 01			

WANDKANAL

E	RPB	HPB	P2/D	PVER	PRAD
0.22684622E 00	0.35606766E 01	0.43382370E 02	0.14440012E 01	0.12996011E 02	0.12997990E 02
0.45377469E 00	0.35603209E 01	0.43402634E 02	0.14438229E 01	0.12994406E 02	0.13002326E 02
0.68089551E 00	0.35596428E 01	0.43441391E 02	0.14435844E 01	0.12992260E 02	0.13010089E 02
0.90826863E 00	0.35586252E 01	0.43499680E 02	0.14432068E 01	0.12988861E 02	0.13020577E 02
0.11360092E 01	0.35572767E 01	0.43577118E 02	0.14427404E 01	0.12984664E 02	0.13034263E 02
0.13641853E 01	0.35555935E 01	0.43674225E 02	0.14421520E 01	0.12979368E 02	0.13050861E 02
0.15929070E 01	0.35535936E 01	0.43790131E 02	0.14414663E 01	0.12973197E 02	0.13070622E 02
0.18222456E 01	0.35512657E 01	0.43925797E 02	0.14406624E 01	0.12965961E 02	0.13093385E 02
0.20523109E 01	0.35486221E 01	0.44080933E 02	0.14397545E 01	0.12957790E 02	0.13119310E 02
0.22831860E 01	0.35456667E 01	0.44255615E 02	0.14387331E 01	0.12948598E 02	0.13148350E 02
0.25149708E 01	0.35424042E 01	0.44450104E 02	0.14376020E 01	0.12938418E 02	0.13180582E 02
0.27477589E 01	0.35388374E 01	0.44664673E 02	0.14363556E 01	0.12927200E 02	0.13216001E 02
0.29816618E 01	0.35349846E 01	0.44898804E 02	0.14350004E 01	0.12915004E 02	0.13254720E 02
0.32167730E 01	0.35308475E 01	0.45152985E 02	0.14335308E 01	0.12901777E 02	0.13296746E 02
0.34531965E 01	0.35264292E 01	0.45427643E 02	0.14319458E 01	0.12887512E 02	0.13342134E 02
0.36910400E 01	0.35217381E 01	0.45722885E 02	0.14302435E 01	0.12872191E 02	0.13390932E 02
0.39304190E 01	0.35167866E 01	0.46038727E 02	0.14284248E 01	0.12855824E 02	0.13443228E 02
0.41714506E 01	0.35115862E 01	0.46375214E 02	0.14264898E 01	0.12838408E 02	0.13499101E 02
0.44142294E 01	0.35061302E 01	0.46733521E 02	0.14244280E 01	0.12819852E 02	0.13558539E 02
0.46589212E 01	0.35004492E 01	0.47112549E 02	0.14222536E 01	0.12800282E 02	0.13621775E 02
0.49055967E 01	0.34945345E 01	0.47513779E 02	0.14199467E 01	0.12779520E 02	0.13688718E 02
0.51544428E 01	0.34884014E 01	0.47937057E 02	0.14175215E 01	0.12757693E 02	0.13759615E 02
0.54055586E 01	0.34820633E 01	0.48382492E 02	0.14149666E 01	0.12734699E 02	0.13834472E 02
0.56590929E 01	0.34755201E 01	0.48851151E 02	0.14122810E 01	0.12710529E 02	0.13913406E 02
0.59152136E 01	0.34687929E 01	0.49342560E 02	0.14094696E 01	0.12685226E 02	0.13996599E 02
0.61740160E 01	0.34618702E 01	0.49858643E 02	0.14065123E 01	0.12658610E 02	0.14083994E 02
0.64357796E 01	0.34547892E 01	0.50397812E 02	0.14034367E 01	0.12630930E 02	0.14176023E 02
0.67005367E 01	0.34475365E 01	0.50962250E 02	0.14002085E 01	0.12601876E 02	0.14272508E 02
0.69685850E 01	0.34401369E 01	0.51551392E 02	0.13968515E 01	0.12571664E 02	0.14373862E 02
0.72400007E 01	0.34325800E 01	0.52167221E 02	0.13933392E 01	0.12540052E 02	0.14480005E 02
0.75150709E 01	0.34248857E 01	0.52809509E 02	0.13896866E 01	0.12507179E 02	0.14591293E 02
0.77939796E 01	0.34170666E 01	0.53478745E 02	0.13858852E 01	0.12472967E 02	0.14707854E 02
0.80769291E 01	0.34091253E 01	0.54175903E 02	0.13819313E 01	0.12437382E 02	0.14829877E 02
0.83641205E 01	0.34010553E 01	0.54903275E 02	0.13778133E 01	0.12400320E 02	0.14957489E 02
0.86558981E 01	0.33928862E 01	0.55659851E 02	0.13735447E 01	0.12361902E 02	0.15091095E 02
0.89524622E 01	0.33846169E 01	0.56447113E 02	0.13691111E 01	0.12322000E 02	0.15230828E 02
0.92541227E 01	0.33762560E 01	0.57266098E 02	0.13645153E 01	0.12280638E 02	0.15377025E 02
0.95610561E 01	0.33677893E 01	0.58120056E 02	0.13597317E 01	0.12237585E 02	0.15529718E 02
0.98738737E 01	0.33592606E 01	0.59006393E 02	0.13548012E 01	0.12193211E 02	0.15689730E 02
0.10192550E 02	0.33506403E 01	0.59930115E 02	0.13496666E 01	0.12146999E 02	0.15856781E 02
0.10517757E 02	0.33419504E 01	0.60890991E 02	0.13443651E 01	0.12099286E 02	0.16031708E 02
0.10849731E 02	0.33331957E 01	0.61890808E 02	0.13388710E 01	0.12049839E 02	0.16214645E 02
0.11188952E 02	0.33243742E 01	0.62932007E 02	0.13331861E 01	0.11998675E 02	0.16406113E 02
0.11535878E 02	0.33154917E 01	0.64016373E 02	0.13273048E 01	0.11945744E 02	0.16606537E 02
0.11891049E 02	0.33065577E 01	0.65145401E 02	0.13212280E 01	0.11891052E 02	0.16816483E 02
0.12254916E 02	0.32975607E 01	0.66323380E 02	0.13149366E 01	0.11834430E 02	0.17036331E 02
0.12628300E 02	0.32885256E 01	0.67549973E 02	0.13084536E 01	0.11776082E 02	0.17267014E 02
0.13011615E 02	0.32794352E 01	0.68830765E 02	0.13017454E 01	0.11715709E 02	0.17508850E 02
0.13405788E 02	0.32703037E 01	0.70167282E 02	0.12948303E 01	0.11653473E 02	0.17762833E 02

ANG = 0.49000000E 02 E= 0.13405788E 02 HPBX= 0.69532623E 02 RMPBX= 0.32745962E 01

P/2 ALF(I-1) ALF2 PX PVERX PRADX
 0.13049926E 02 0.48000000E 02 0.48133408E 02 0.12994766E 01 0.11695290E 02 0.17523697E 02

WBLAM= 0.13835759E 02 WDDI= 0.96389431E 00 FDF= 0.20341533E 00

HPLUS-RHPLUS-RAUHEZONE

0.43728149E 02	0.35546618E 01	0.43754684E 02	0.35542040E 01	0.43807510E 02	0.35532942E 01	0.43887222E 02
0.35519257E 01	0.43993195E 02	0.35501146E 01	0.44126038E 02	0.35478563E 01	0.44285995E 02	0.35451555E 01
0.44472275E 02	0.35420341E 01	0.44686020E 02	0.35384846E 01	0.44926773E 02	0.35345278E 01	0.45194992E 02
0.35301685E 01	0.45490692E 02	0.35254221E 01	0.45814926E 02	0.35202885E 01	0.46166626E 02	0.35148010E 01
0.46546844E 02	0.35089617E 01	0.46956604E 02	0.35027752E 01	0.47394867E 02	0.34962769E 01	0.47862976E 02
0.34894667E 01	0.48361557E 02	0.34823589E 01	0.48890640E 02	0.34749746E 01	0.49451096E 02	0.34673243E 01
0.50043411E 02	0.34594259E 01	0.50668320E 02	0.34512930E 01	0.51326569E 02	0.34429407E 01	0.52019150E 02
0.34343805E 01	0.52747162E 02	0.34256284E 01	0.53510559E 02	0.34166994E 01	0.54311935E 02	0.34076004E 01
0.55151321E 02	0.33983526E 01	0.56030655E 02	0.33889618E 01	0.56950134E 02	0.33794527E 01	0.57914780E 02
0.33698015E 01	0.58921005E 02	0.33600702E 01	0.59974182E 02	0.33502359E 01	0.61075714E 02	0.33403120E 01
0.62228012E 02	0.33303070E 01	0.63451931E 02	0.33202419E 01	0.64690216E 02	0.33101225E 01	0.66008774E 02

ECKKANAL

E	RPB	HPB	P2/D	PVER	PRAD
0.22684622E 00	0.35606766E 01	0.43382370E 02	0.14440012E 01	0.12996011E 02	0.12997990E 02
0.45377469E 00	0.35603209E 01	0.43402634E 02	0.14438229E 01	0.12994406E 02	0.13002326E 02
0.68089551E 00	0.35596428E 01	0.43441391E 02	0.14435844E 01	0.12992260E 02	0.13010089E 02
0.90826863E 00	0.35586252E 01	0.43499680E 02	0.14432068E 01	0.12988861E 02	0.13020577E 02
0.11360092E 01	0.35572767E 01	0.43577118E 02	0.14427404E 01	0.12984664E 02	0.13034263E 02
0.13641853E 01	0.35555935E 01	0.43674225E 02	0.14421520E 01	0.12979368E 02	0.13050861E 02
0.15929070E 01	0.35535936E 01	0.43790131E 02	0.14414663E 01	0.12973197E 02	0.13070622E 02
0.18222456E 01	0.35512657E 01	0.43925797E 02	0.14406624E 01	0.12965961E 02	0.13093385E 02
0.20523109E 01	0.35486221E 01	0.44080933E 02	0.14397545E 01	0.12957790E 02	0.13119310E 02
0.22831860E 01	0.35456667E 01	0.44255615E 02	0.14387331E 01	0.12948598E 02	0.13148350E 02
0.25149708E 01	0.35424042E 01	0.44450104E 02	0.14376020E 01	0.12938418E 02	0.13180582E 02
0.27477589E 01	0.35388374E 01	0.44664673E 02	0.14363556E 01	0.12927200E 02	0.13216001E 02
0.29816618E 01	0.35349846E 01	0.44898804E 02	0.14350004E 01	0.12915004E 02	0.13254720E 02
0.32167730E 01	0.35308475E 01	0.45152985E 02	0.14335308E 01	0.12901777E 02	0.13296746E 02
0.34531965E 01	0.35264292E 01	0.45427643E 02	0.14319458E 01	0.12887512E 02	0.13342134E 02
0.36910400E 01	0.35217381E 01	0.45722885E 02	0.14302435E 01	0.12872191E 02	0.13390932E 02
0.39304190E 01	0.35167866E 01	0.46038727E 02	0.14284248E 01	0.12855824E 02	0.13443228E 02
0.41714506E 01	0.35115862E 01	0.46375214E 02	0.14264898E 01	0.12838408E 02	0.13499101E 02
0.44142294E 01	0.35061302E 01	0.46733521E 02	0.14244280E 01	0.12819852E 02	0.13558539E 02
0.46589212E 01	0.35004492E 01	0.47112549E 02	0.14222536E 01	0.12800282E 02	0.13621775E 02
0.49055967E 01	0.34945345E 01	0.47513779E 02	0.14199467E 01	0.12779520E 02	0.13688718E 02
0.51544428E 01	0.34884014E 01	0.47937057E 02	0.14175215E 01	0.12757693E 02	0.13759615E 02
0.54055586E 01	0.34820633E 01	0.48382492E 02	0.14149666E 01	0.12734699E 02	0.13834472E 02
0.56590929E 01	0.34755201E 01	0.48851151E 02	0.14122810E 01	0.12710529E 02	0.13913406E 02
0.59152136E 01	0.34687929E 01	0.49342560E 02	0.14094696E 01	0.12685226E 02	0.13996599E 02
0.61740160E 01	0.34618702E 01	0.49858643E 02	0.14065123E 01	0.12658610E 02	0.14083994E 02
0.64357796E 01	0.34547892E 01	0.50397812E 02	0.14034367E 01	0.12630930E 02	0.14176023E 02
0.67005367E 01	0.34475365E 01	0.50962250E 02	0.14002085E 01	0.12601876E 02	0.14272508E 02
0.69685850E 01	0.34401369E 01	0.51551392E 02	0.13968515E 01	0.12571664E 02	0.14373862E 02
0.72400007E 01	0.34325800E 01	0.52167221E 02	0.13933392E 01	0.12540052E 02	0.14480005E 02

EX = 0.85410032E 01 AL1 = 0.30000000E 02 PVERTI= 0.12540052E 02

WBLAM= 0.14141847E 02 WDDI= 0.78611571E 00 FDF= 0.65957010E-01

XLAMR= 0.53237341E-01 XLAMM= 0.53514998E-01

