

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

Juni 1969

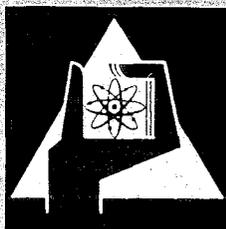
KFK 988

Institut für Reaktorbauelemente

M I S T R A L

Thermodynamischer Mischströmungsalgorithmus für
Stabbündel (16740)

W. Baumann



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.

KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Juni 1969

KFK 988

Institut für Reaktorbauelemente

M I S T R A L

Thermodynamischer Mischströmungsalgorithmus für
Stabbündel (16740)

- ein digitales Rechenprogramm zur Ermittlung örtlicher Temperaturen und Massenströme in 61-Stabbündeln unter Berücksichtigung der Kühlmittel-Quervermischung und des Energieaustausches durch Wärmeleitung -

von

W. Baumann

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG MBH., KARLSRUHE

1. The first part of the document is a list of names.

2. The second part of the document is a list of names.

3. The third part of the document is a list of names.

4. The fourth part of the document is a list of names.

5. The fifth part of the document is a list of names.

6. The sixth part of the document is a list of names.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 2. Verfahren zur Bestimmung örtlicher
Temperaturen und Massenströme
 - 2.1 Programmbeschreibung
 - 2.2 Programmschema
 - 2.3 Blockdiagramme
 - 2.4 Zusammenstellung der
erforderlichen Programmteile, Speicherplätze
 - 2.5 Eingabeliste
 - 2.6 Ausgabeliste
 3. Anwendung des Verfahrens auf Versuchsbündel
 4. Diskussion der Ergebnisse
 - 4.1 Vergleich gemessener und berechneter
Temperaturprofile
 - 4.2 Betrachtungen zur Energie-Querver-
mischung
 5. Zusammenfassung
- Literatur
- Verwendete Zeichen
- FØRTRAN - Listen
- Abbildungen

1. Einleitung

Die Kühlmittelströme in den Teilkanälen der Brennelemente von Reaktoren erfahren aufgrund unterschiedlicher Geometrie und Wärmezufuhr eine unterschiedliche Aufheizung, so daß voneinander abweichende örtliche Kühlmitteltemperaturen entstehen.

Die Größe dieser Abweichungen hängt zusätzlich ab von der natürlichen Kühlmittel-Quervermischung infolge der Turbulenz der Strömung [1], von der künstlichen Kühlmittel-Quervermischung [2], die im wesentlichen von der Art der Abstandshalterung der Stäbe beeinflusst wird, und von den Stoffeigenschaften des Kühlmittels.

Da die Auslegung des Reaktorkerns aus Materialgründen nach dem heißesten Kühlkanal erfolgt, besitzt die Kenntnis der Temperaturverteilung in den Brennelementen Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit der Anlage.

Das im nachstehenden Bericht beschriebene digitale Rechenprogramm MISTRAL ermöglicht es, die Temperaturverteilung für 61-Stabbündel zu berechnen.

Neben der thermischen Expansion und der Quervermischung des Kühlmittels wird der Energieaustausch durch radiale Wärmeleitung des Kühlmittels berücksichtigt. Das Programm eignet sich daher auch für Berechnungen mit Kühlmitteln hoher Wärmeleitfähigkeit, wie dies z.B. Flüssigmetalle darstellen.

2. Verfahren zur Bestimmung örtlicher Temperaturen und Massenströme

2.1 Programmbeschreibung

Jedes hexagonal angeordnete, von einem Führungsrohr umschlossene Stabbündel weist drei Typen von Strömungskanälen auf (Abb. 1). Diese werden nach Position, Größe und Zahl erfaßt und mit dem ideellen mittleren Strömungskanal verglichen.

Dabei interessieren zwei einander entgegenwirkende Vorgänge:

- a) Aufgrund seiner besonderen geometrischen Eigenschaften und der zugeführten Heizleistung besitzt jeder Kanal einen spezifischen Strömungswiderstand, der den durchfließenden Anteil des Gesamtmassenstromes und damit die Kühlmitteltemperatur des betreffenden Kanals festlegt.

Die Gleichungen

$$\Delta p = - \frac{1}{2} \rho \cdot w^2 \frac{\Delta x}{d_h} \cdot \lambda - \rho \cdot w \cdot \Delta w \quad (1)$$

und

$$\Delta t = \frac{\chi \cdot \Delta x}{\rho \cdot w \cdot F \cdot c_p} \quad (2)$$

werden dabei solange einem gekoppelten Iterationsprozeß unterworfen, bis die Änderung der kalorischen und thermischen Daten der einzelnen axialen Rechenabschnitte Δx eine Fehlerschwelle ε unterschreitet.

- b) Aufgrund der existierenden Parallelschaltung der Kühlkanäle besteht die Möglichkeit des kontinuierlichen Massen- bzw. Energieaustausches

zwischen den Kanälen durch Quervermischung und radiale Wärmeleitung des Kühlmittels, so daß Temperaturdifferenzen teilweise abgebaut werden.

Der Vermischungsvorgang schließt sich im Rechenprogramm sofort an die Zustandsbestimmung des Kühlmittels in jedem axialen Rechenabschnitt an und wird durch das folgende Gleichungssystem beschrieben:

$$\chi_1 \cdot \Delta x - \dot{Q}_{1,2} - \dot{M}_1 \cdot \Delta i_1 = 0 \quad (3)$$

$$\chi_2 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{1,2} - 2 \cdot \dot{Q}_{2,3} - \dot{M}_2 \cdot \Delta i_2 = 0 \quad (4)$$

$$\chi_3 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{2,3} - \dot{Q}_{3,4} - \dot{M}_3 \cdot \Delta i_3 = 0 \quad (5)$$

$$\chi_4 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{3,4} - \dot{Q}_{4,5} - \dot{Q}_{4,6} - \dot{M}_4 \cdot \Delta i_4 = 0 \quad (6)$$

$$\chi_5 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{4,5} - \dot{Q}_{5,7} - \dot{M}_5 \cdot \Delta i_5 = 0 \quad (7)$$

$$\chi_6 \cdot \Delta x + 2 \cdot \dot{Q}_{4,6} - \dot{Q}_{6,8} - \dot{M}_6 \cdot \Delta i_6 = 0 \quad (8)$$

$$\chi_7 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{5,7} - \dot{Q}_{7,10} - \dot{Q}_{7,9} - \dot{M}_7 \cdot \Delta i_7 = 0 \quad (9)$$

$$\chi_8 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{6,8} - 2 \cdot \dot{Q}_{8,9} - \dot{M}_8 \cdot \Delta i_8 = 0 \quad (10)$$

$$\chi_9 \cdot \Delta x + \dot{Q}_{7,9} + \dot{Q}_{8,9} - \dot{Q}_{9,13} - \dot{M}_9 \cdot \Delta i_9 = 0 \quad (11)$$

$$\chi_{10} \cdot \Delta x + \dot{Q}_{7,10} - \dot{Q}_{10,12} - \dot{M}_{10} \cdot \Delta i_{10} = 0 \quad (12)$$

$$\chi_{11} \cdot \Delta x - \dot{Q}_{11,12} - \dot{M}_{11} \cdot \Delta i_{11} = 0 \quad (13)$$

$$\chi_{12} \cdot \Delta x + \frac{1}{2} \cdot \dot{Q}_{11,12} + \dot{Q}_{10,12} - \dot{Q}_{12,13} - \dot{M}_{12} \cdot \Delta i_{12} = 0 \quad (14)$$

$$\chi_{13} \cdot \Delta x + \dot{Q}_{9,13} + \dot{Q}_{12,13} - \dot{M}_{13} \cdot \Delta i_{13} = 0 \quad (15)$$

es bedeuten:

$$\dot{Q}_{k,l} = \bar{\mu}_{k,l} \cdot \Delta x \cdot \dot{M}_k \cdot (i_{k_m} - i_{l_m}) + \lambda_s^a \cdot \Delta x \cdot (t_{k_m} - t_{l_m}) \quad (16)$$

den Energiestrom durch Kühlmittel-Quervermischung und Wärmeleitung aus dem Kanal k in den benachbarten Kanal l,

i_{k_m} über den betrachteten axialen Rechenabschnitt Δx gemittelte Enthalpie des Kanals k,

t_{k_m} über den betrachteten axialen Rechenabschnitt Δx gemittelte Temperatur des Kanals k.

Der Ansatz gründet sich auf die Vorstellung, daß Energieaustausch durch radiale Wärmeleitung und durch Kühlmittel-Quervermischung gleichzeitig stattfindet.

Zur Berechnung der Oberflächentemperaturen verwendet das Programm zwei Wärmeübergangsgleichungen, und zwar

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot \left(\frac{T_f}{T_h}\right)^p \quad (17)$$

für gasförmige Stoffe

und

$$Nu = C_1 + C_2 \cdot (Re \cdot Pr)^n \quad (18)$$

für Flüssigmetalle.

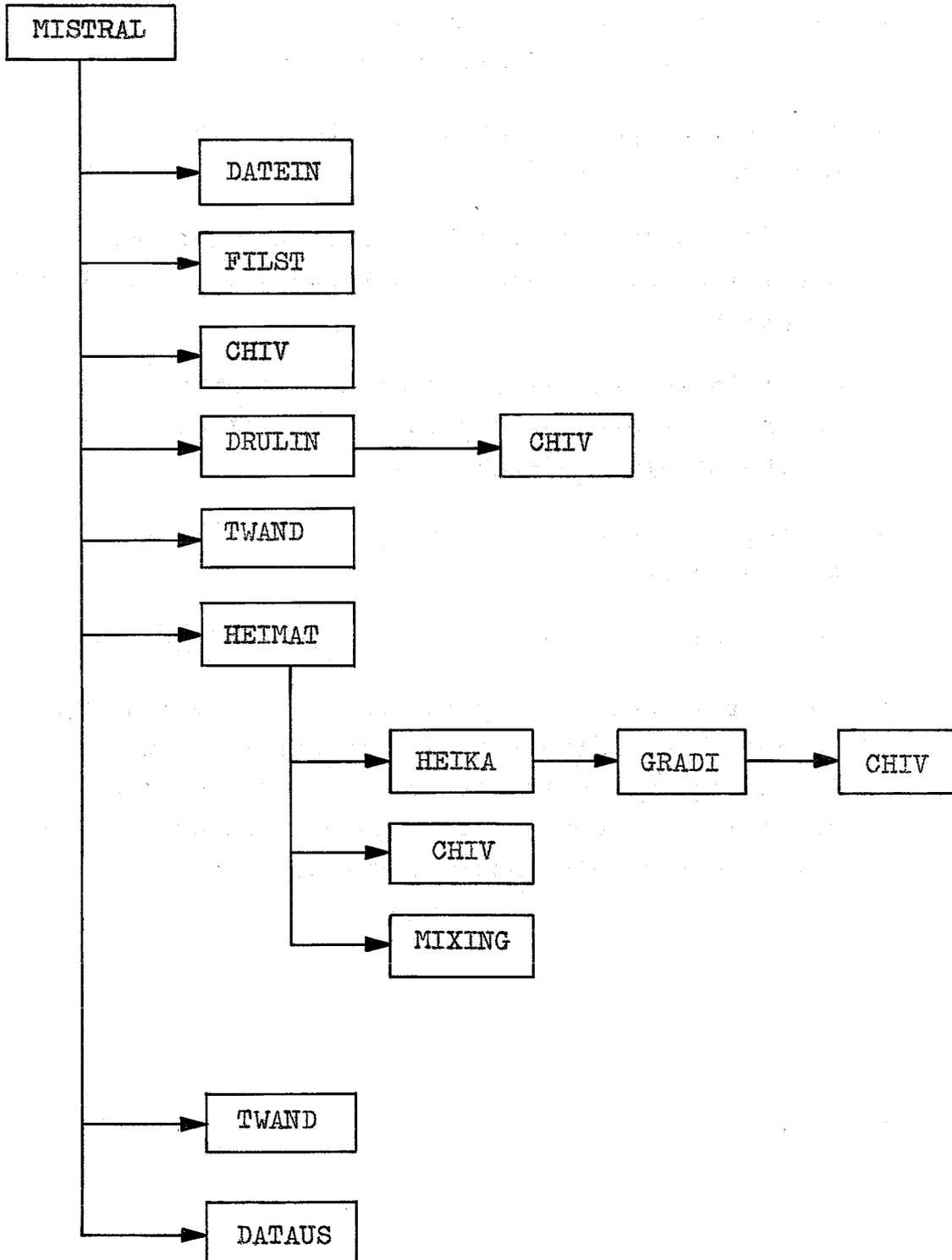
Die Kenngrößen Nu, Re und Pr beziehen sich auf die mittlere Kühlmitteltemperatur im betreffenden Kanalquerschnitt.

Die Bündelparameter werden aus den betreffenden Größen der Teilkanäle ermittelt.

Dem Rechenverfahren liegen folgende Vereinfachungen zugrunde:

- a) Reibungsbeiwert $\lambda = \lambda(\text{Re})$ wird für alle Kanäle durch die gleiche Funktion dargestellt.
- b) Die übliche Definition des hydraulischen Durchmessers wird als gültig betrachtet.
- c) Bei der Bestimmung des hydraulischen Durchmessers der Teilkanäle werden die Rippen anteilmäßig berücksichtigt.
- d) Jeder Teilkanal besitzt über die gesamte Länge einen konstanten hydraulischen Durchmesser und freien Strömungsquerschnitt.
- e) Beeinträchtigungen der Strömungsverteilung durch Abstandshalter und
- f) axiale Wärmeleitung werden vernachlässigt.
- g) Der Energieaustausch durch radiale Wärmeleitung findet in Kühlmittelsäulen mit der konstanten Breite des Stababstandes statt. Die linearisierten Temperaturgradienten ergeben sich aus den jeweiligen Kanalmittentemperaturen. (Abb.2)

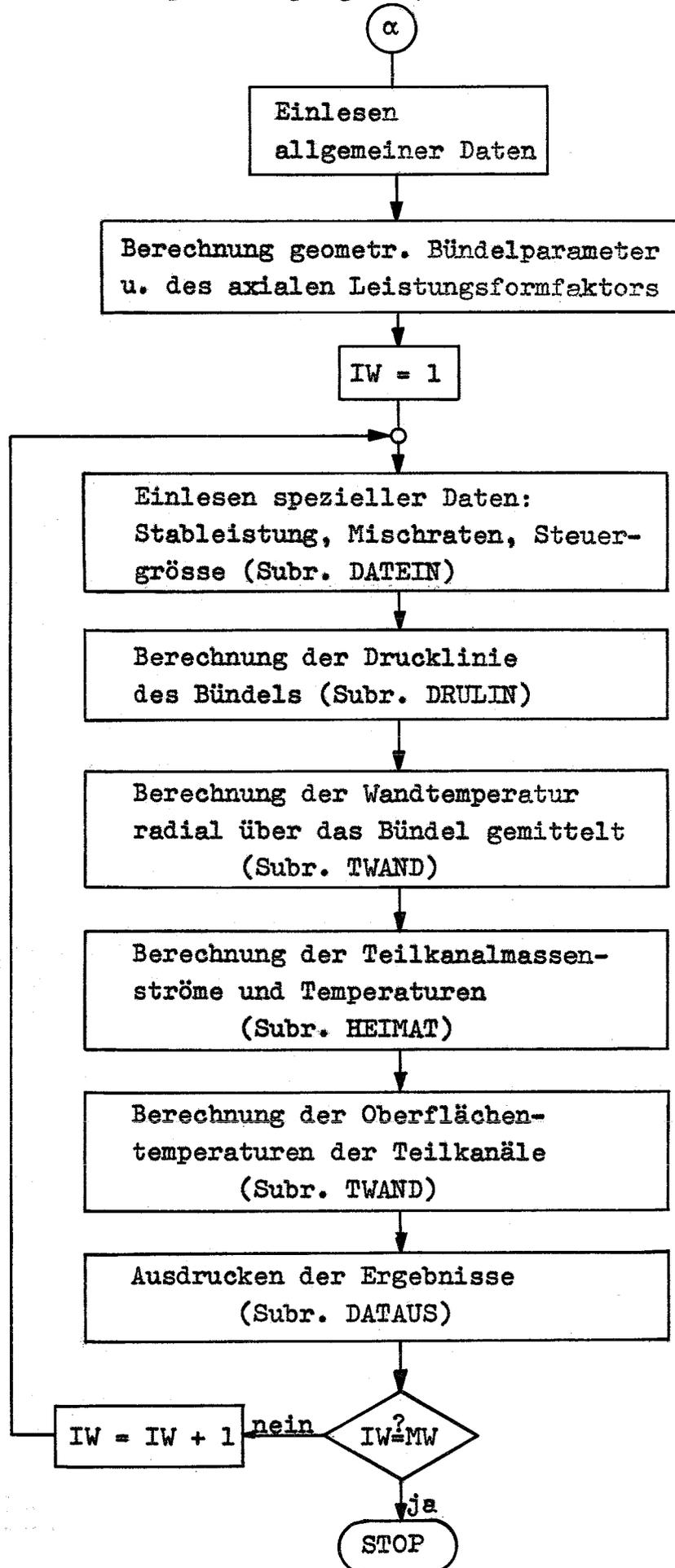
2.2 Programm-Schema:

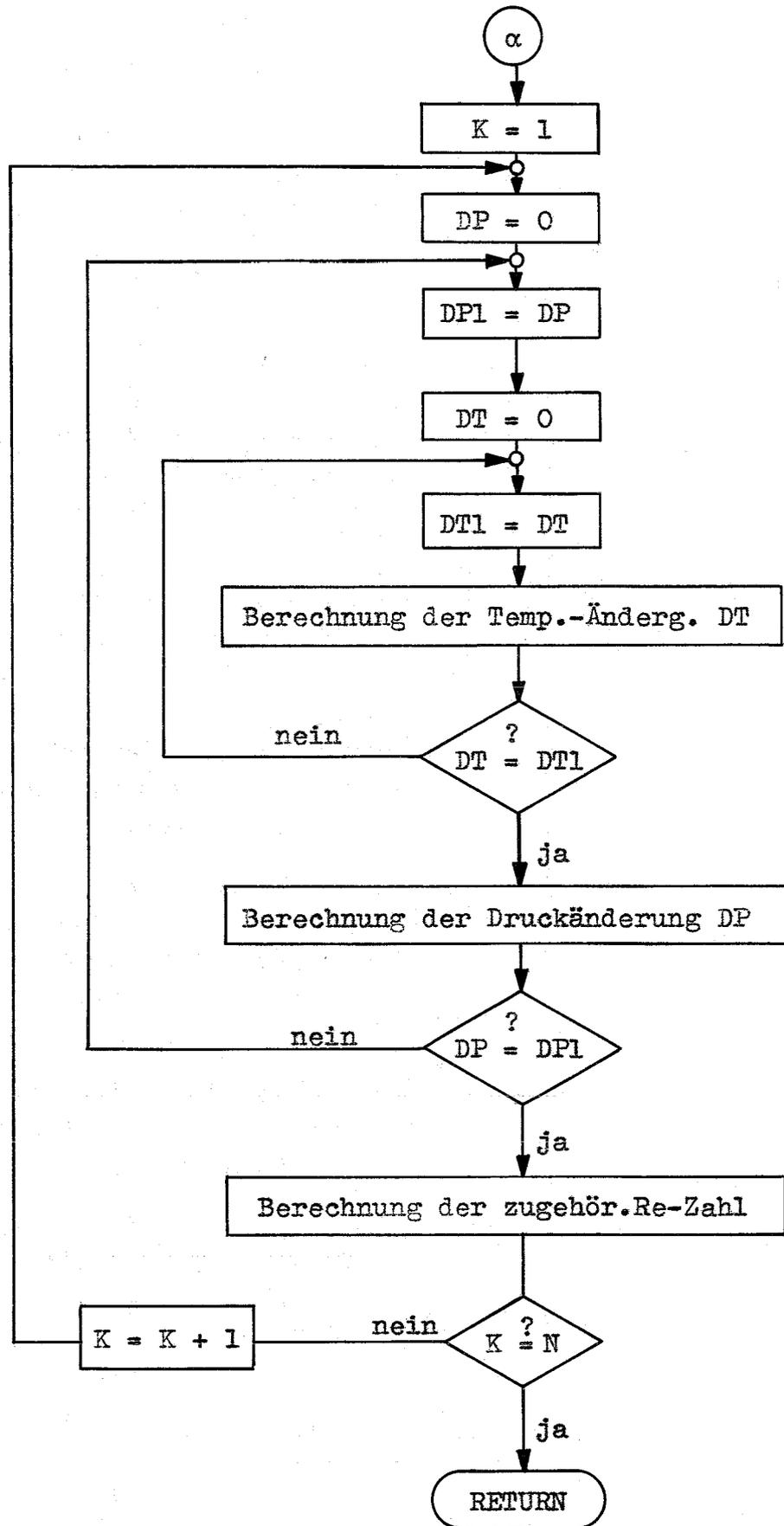


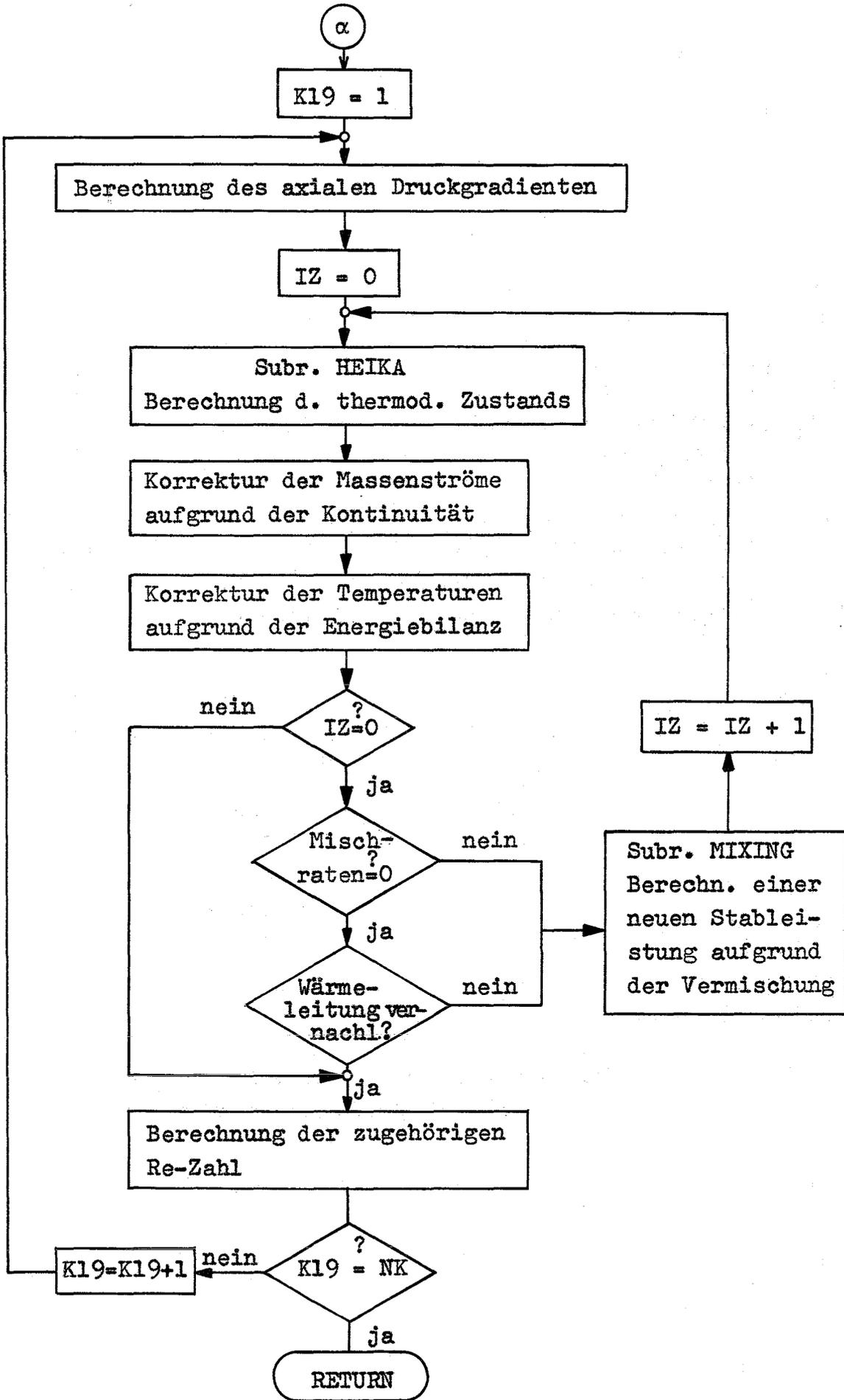
2.3 Blockdiagramme

- 7 -

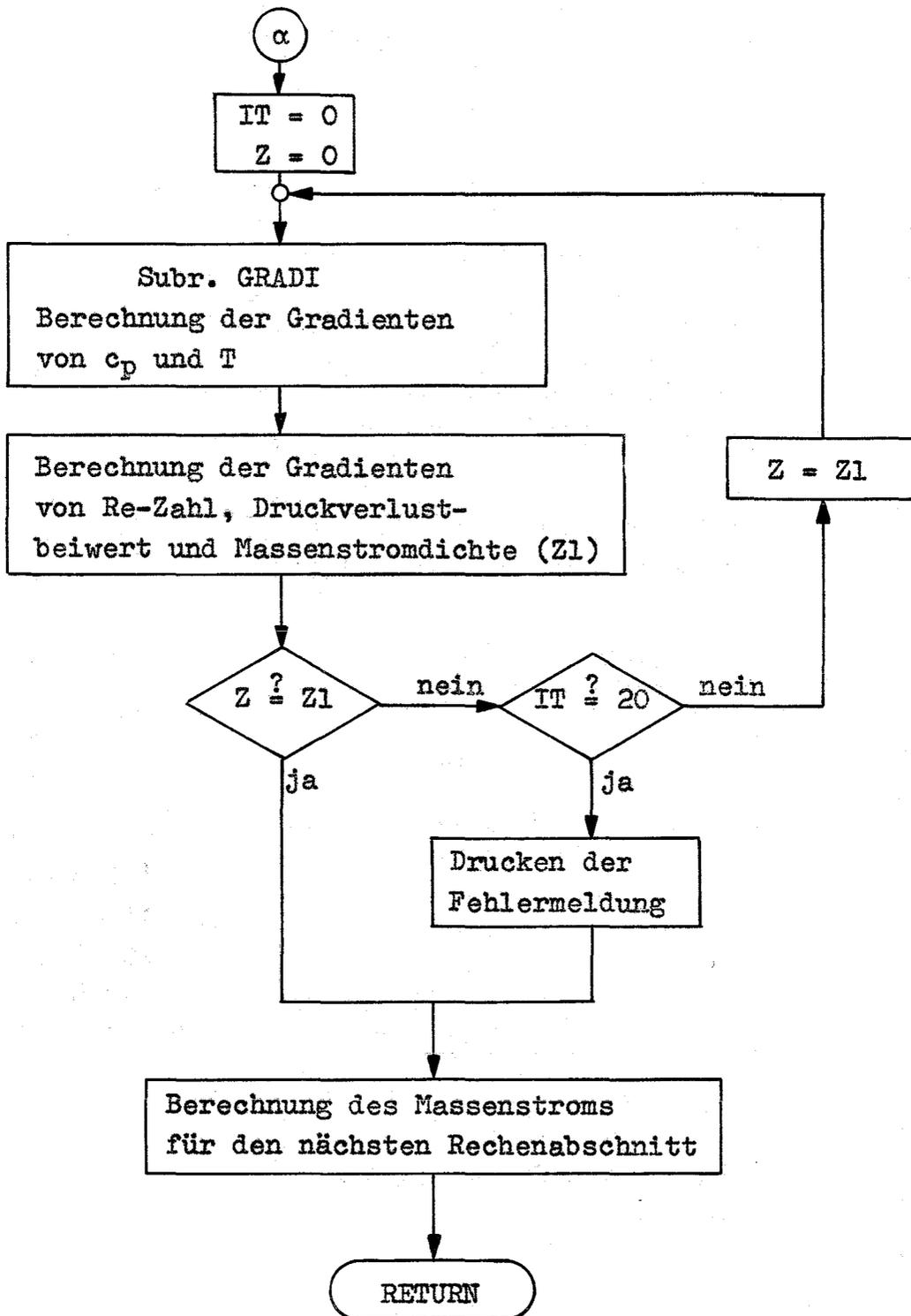
a) MISTRAL (Hauptsteuerprogramm)



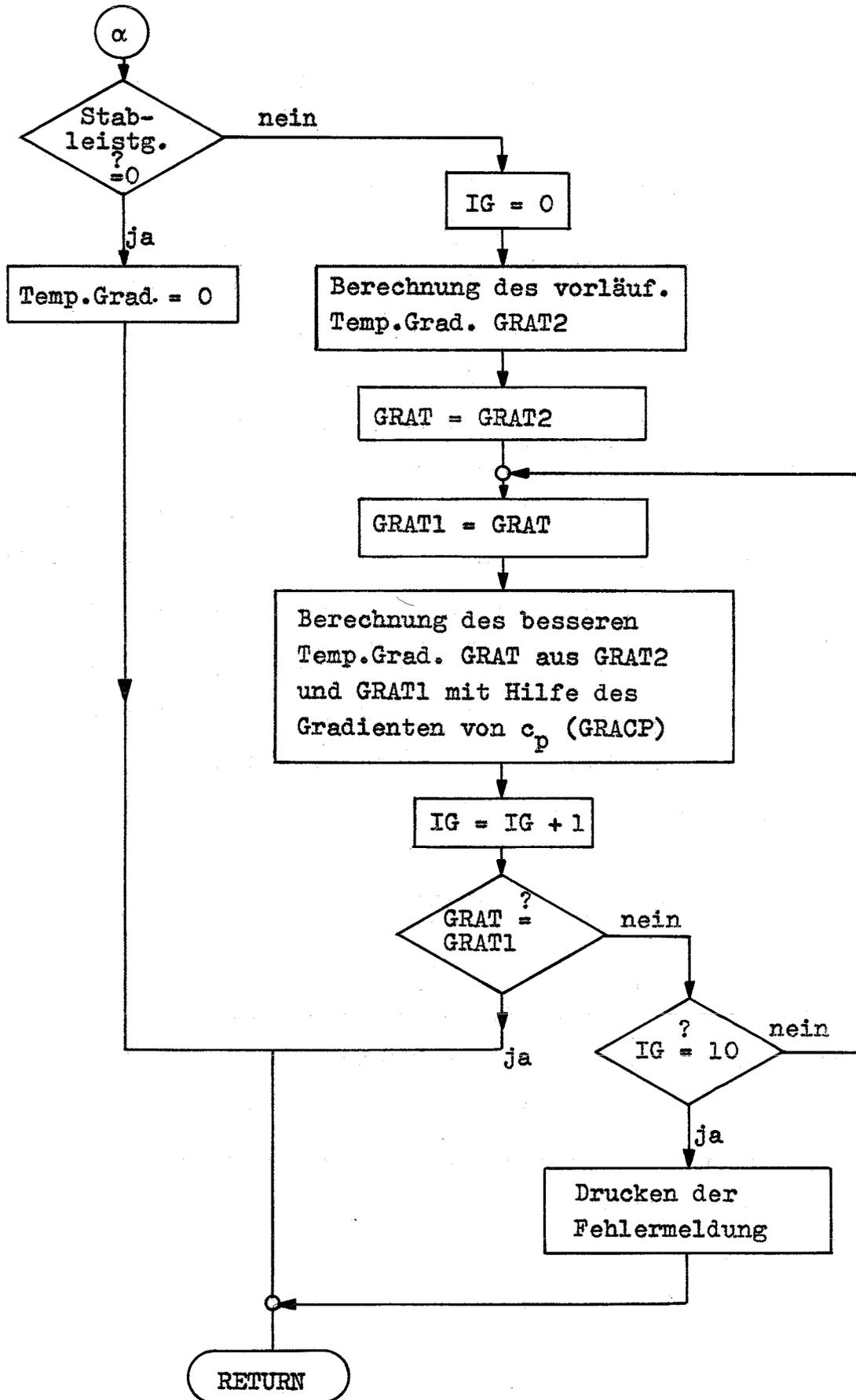




d) HEIKA



e) GRADI



2.4 Zusammenstellung der erforderlichen
Programmteile, Speicherplätze

1. MISTRAL (367) Hauptsteuerprogramm
2. DATEIN (241) Einlesen spezieller Daten
3. DRULIN (237) Berechnen der Druckabfallskurve
4. HEIMAT (306) Steuerprogramm für die Einzel-
kanalrechnung
5. HEIKA (227) Zustandsberechnung für die
Einzelkanäle
6. GRADI (145) Berechnung der Zustandsgradienten
7. MIXING (1014) Berechnung des Vermischungszustandes
8. FILST (112) Berechnung des Leistungsformfaktors
9. CHIV (42) Berechnung der Leistungsverteilung
10. TWAND (148) Berechnung der Oberflächentemperaturen
11. DATAUS (187) Ausgabe der Ergebnisse
(COMMON 2601)

erforderliche Stoffprogramme:

12. RHØL kg/m^3 Dichte
13. CPL $\text{kJ}(\text{kg}\cdot\text{grd})$ wahre spez. Wärme
14. ENTL kJ/kg Enthalpie
15. ETHAL $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ dyn. Zähigkeit
16. AMDAL $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{grd})$ Wärmeleitfähigkeit
17. PRANTL (1) Prandtl-Zahl

2.5 Eingabeliste

1. Karte: Zahl der speziellen Datensätze
MW (Karten 7, 8, 9)

2. Karte:

CØNU	}	Konstanten der Nusselt-Gleichung für EXT > 0:
EXRE		
EXPR		
EXT		

$$Nu = CØNU \cdot Re^{EXRE} \cdot Pr^{EXPR} \cdot \left(\frac{T_f}{T_h}\right)^{EXT}$$

für EXT = 0:

$$Nu = CØNU + EXRE \cdot (Re \cdot Pr)^{EXPR}$$

FLAM	}	Konstanten zur Berechnung des Druck- verlustbeiwertes
EXLAM		

$$\lambda = FLAM \cdot Re^{EXLAM}$$

N Zahl der axialen Rechenabschnitte Δx

NK Zahl der Kanäle im Gitterausschnitt
(= 13.)

3. Karte:

ZS		Zahl der Stäbe im Bündel (= 61.)
XL	cm	beheizte Stablänge
SW	mm	Schlüsselweite des Führungsrohres
XMP	kg/s	Massenstrom durch das Bündel
PATE	ata	Eintrittsdruck
TEC	°C	Eintrittstemperatur
FØL		axialer Leistungsformfaktor φ_{ax} oder Verhältnis der extrapol. Länge zur Bündellänge L'/L, wahlweise

4. Karte:

ZT (K)		Zahl der gleichartigen Teilkanäle im Bündel	
FT (K)	mm ²	freier Strömungsquerschnitt	} des k-ten Teilkanales
DHT (K)	mm	hydraulischer Durchmesser	
UT (K)	mm	beheizter Umfang	
(K = 1, NK)			

5. Karte +):

AXA (K) mm Breite der für Energieaustausch durch radiale Wärmeleitung eingesetzten Kühlmittelsäule (Abb.2)
(K = 1, NK)

AXA(1) verbindet die Kanäle 1 und 2.

Deshalb gilt: AXA(NK) = 0.

6. Karte +):

SAS (K) mm Abstand der Kanalmitten zweier benachbarter Kanäle.
(K = 1, NK)

Ebenfalls gilt: SAS (NK) = 0.

+) Die Zuordnung der indizierten Verknüpfungparameter AXA (K), SAS(K) und QV(K) zu den betreffenden Teilkanälen geschieht nach folgendem Schlüssel:

K	verknüpfte Kanäle
1	1 - 2
2	2 - 3
3	3 - 4
4	4 - 5, 4 - 6
5	5 - 7
6	6 - 8
7	7 - 9, 7 - 10
8	8 - 9
9	9 - 13
10	10 - 12
11	11 - 12
12	12 - 13
13	—

2.6 Ausgabeliste

1. Seite:

Sie enthält die Eingabedaten und verschiedene selbst-erklärende Angaben.

FM	mm ²	freier Strömungsquerschnitt	} das gesamte Bündel be- treffend
DHYM	mm	hydraulischer Durchmesser	
UM	mm	beheizter Umfang	
CHIMAX	W/cm	maximale Stabileistung	
FIAX		axialer Leistungsformfaktor	
VL		Verhältnis der extrapolierten Länge L' zur aktiven Länge L	
G	kg/(s·m ²)	mittlere Massenstromdichte des Bündels	

2. Seite:

Sie enthält die Druckabfallskurve und die für das gesamte Bündel berechneten Mittelwerte:

PAT	ata	Druck
TC	°C	Temperatur
TØ	°C	Oberflächentemperatur
RE		Reynoldszahl
VMP		Quotient, der bei der Bildung der Massenbilanz in jedem axialen Ab- schnitt entsteht.

3. Seite und folgende:

Neben der Nummer des betrachteten Kanals und der fortlaufenden Zählung der axialen Rechenabschnitte werden ausgedruckt:

TCT	°C	Kühlmitteltemperatur
TØT	°C	Oberflächentemperatur
RET		Reynoldszahl
GT	kg/(s·m ²)	Massenstromdichte
ALFAT	W/(cm ² ·grd)	Wärmeübergangszahl

3. Anwendung des Verfahrens auf Versuchsbündel

Die Gültigkeit des beschriebenen Verfahrens soll durch Vergleich mit Messungen bestätigt werden. Hierzu eignen sich die in [2] beschriebenen Untersuchungen, die zur Ermittlung der Kühlmittel-Quervermischung in Stabbündeln dienten. Sie wurden an unberippten, ein-, drei- und sechsfach berippten Brennstäben mit den Abmessungen der Brennelemente Schneller Brutreaktoren nach folgender Methode durchgeführt:

Der beheizte Zentralstab erzeugt im sonst unbeheizten luftdurchströmten Stabverband ein radiales Temperaturprofil, dessen Verlauf ein Maß für die Größe der Energie-Quervermischung darstellt.

In den Abb. 3 - 6 sind die für verschiedene Abstandhalter und Mischraten berechneten radialen Temperaturprofile den entsprechenden gemessenen Temperaturen gegenübergestellt. Die Kurven mit und ohne Berücksichtigung der Energie-Quervermischung durch radiale Wärmeleitung fallen zusammen. (Vergl. Abschn. 4.2)

4. Diskussion der Ergebnisse

4.1 Vergleich gemessener und berechneter Temperaturprofile

Die in den Abb. 3 - 6 für verschiedene Abstandshalter und Mischraten berechneten Temperaturprofile zeigen einen im wesentlichen mit den Meßpunkten übereinstimmenden Verlauf.

Dabei ist allgemein festzustellen:

- a) Mit zunehmender Mischrate μ sinkt die berechnete Temperatur im Zentrum des Bündels (an der beheizten Wand) ab und steigt in den Außenzonen an.
- b) Der Temperaturabfall im Zentrum überwiegt den Anstieg in den Außenzonen.

Die Ermittlung der Größe der Kühlmittel-Quervermischung erfolgt deshalb zweckmäßigerweise mit Hilfe der im Bündelzentrum gemessenen Temperaturen.

Die durchgezogenen Kurven wurden aufgrund der durch Versuche [2] gefundenen Mischraten berechnet. Der Vergleich mit Meßpunkten zeigt, daß diese Mischraten in fast allen Fällen auf der sicheren Seite liegen.

4.2 Betrachtungen zur Energie-Quervermischung

Die Einbeziehung der radialen Wärmeleitung des Kühlmittels in die Berechnung örtlicher Temperaturen bei Vielstabbündeln führt zur Definition der Energie-Quervermischung.

Die zwischen den benachbarten Teilkanälen k und l im Längenabschnitt Δx ausgetauschte Energie besteht aus zwei Komponenten:

a) Massentransport (Kühlmittel-Quervermischung)

$$\dot{Q}_M = \bar{\mu}_{kl} \cdot \dot{M}_k \cdot \Delta x \cdot c_p \cdot \Delta t_{kl} \quad (19)$$

b) Wärmeleitung

$$\dot{Q}_W = \lambda \cdot a_{kl}/s_{kl} \cdot \Delta x \cdot \Delta t_{kl} \quad (20)$$

Da für die mit Luft als Strömungsmedium durchgeführten Versuche

$$\frac{\dot{Q}_W}{\dot{Q}_M} = \frac{\lambda \cdot a_{kl}/s_{kl}}{\bar{\mu}_{kl} \cdot \dot{M}_k \cdot c_p} < 0,01 \quad (21)$$

gilt, erfolgt die Energie-Quervermischung in diesem Falle praktisch nur durch Massentransport.

Das bedeutet:

Der Energie-Austausch durch radiale Wärmeleitung ist bei den mit Luftströmung durchgeführten Versuchen zu vernachlässigen.

Bei vergleichbaren Natrium-Strömungen erhält man:

$$0,1 < \frac{\dot{Q}_W}{\dot{Q}_M} < 1 \quad (22)$$

Der Energieaustausch durch radiale Wärmeleitung des Kühlmittels besitzt etwa die Größenordnung des Energieaustausches durch Massentransport (Kühlmittel-Quervermischung).

Das bedeutet:

Der Energie-Austausch durch radiale Wärmeleitung darf bei Natriumströmung nicht vernachlässigt werden.

Der Begriff der Energie-Quervermischung stellt eine inhomogene Größe dar, da die beiden Komponenten \dot{Q}_M und \dot{Q}_W verschiedene Abhängigkeiten aufweisen.

Die die Kühlmittel-Quervermischung beschreibende Mischrate $\bar{\mu}_{kl} = (\bar{\mu}_{kl})_M$ hängt nach [2] praktisch nur von der Geometrie des Bündels und der Art und Anordnung der Abstandshalter ab. Sie stellt damit eine Bündelkonstante dar. Die entsprechende fiktive Größe für die Quervermischung durch Wärmeleitung ergibt sich nach (19) und (20) zu:

$$(\bar{\mu}_{kl})_W = \frac{\lambda \cdot a_{kl} / s_{kl}}{\dot{M}_k \cdot c_p} \quad (23)$$

Die Gleichung zeigt, daß $(\bar{\mu}_{kl})_W$ sich umgekehrt proportional zur Reynoldszahl verhält und damit keine Bündelkonstante ist. Für die Durchführung von Quervermischungsversuchen ergibt sich daher die Forderung:

Bei der Bestimmung der Energie-Mischrate von Flüssigmetallen nach dem Prinzip partieller Bündelbeheizung [2] muß unbedingt auf die Einhaltung der entsprechenden Re-Zahl geachtet werden.

5. Zusammenfassung

Der vorstehende Bericht gibt die Beschreibung eines digitalen Rechenprogramms zur Berechnung örtlicher Temperaturen und Massenströme in den Kühlkanälen eines aus 61 Stäben aufgebauten Brennelementes. Das Rechenverfahren berücksichtigt, daß die Temperaturunterschiede zwischen den zentralen und wandnahen Kühlkanälen durch Expansion, Wärmeleitung und Quervermischung des Kühlmittels beeinflußt werden.

Zur Bestätigung des Verfahrens werden Versuche [2] benutzt, die zur Bestimmung der Kühlmittel-Quervermischung in luftgekühlten Stabbündeln dienten. Es zeigt sich, daß zwischen den digital berechneten und den gemessenen Temperaturprofilen eine gute Übereinstimmung herrscht.

Das Rechenverfahren wird weiterhin auf Bündel verschiedener Abstandshalter mit Natrium, Dampf und Helium als Kühlmittel angewendet. Schließlich bietet das Verfahren die Möglichkeit, in modifizierter Form den experimentell schwierig zu erfassenden Fall thermischer Schief- last abzuschätzen.

Literatur:

- [1] BAUMANN W.: 'Cross mixing by natural turbulence in fuel-element bundles'.
Atomkernenergie 2/69
- [2] BAUMANN W., MÖLLER R.: 'Experimentelle Untersuchung der Kühlmittel-Quervermischung an Vielstabbündeln bestehend aus unberippten, ein-, drei- und sechsfach berippten Brennstäben'.
KFK 807, März 1969
Atomkernenergie 5/69 (engl.)

Verwendete Zeichen:

a	Stababstand
c_p	spez. Wärme bei konst. Druck
d_h	hydraul. Durchmesser
F	freier Strömungsquerschnitt
Δi	Enthalpieänderung
\dot{M}	Massenstrom
\dot{Q}	Energiestrom
Δp	Druckabfall
r	normierter Bündelradius
s	Abstand benachbarter Kanalmitten
Δt	Temperaturänderung
w	Strömungsgeschwindigkeit
Δx	Länge eines axialen Rechenabschnittes
λ	Druckverlustbeiwert
λ	Wärmeleitung des Kühlmittels
$\bar{\mu}$	Mischrate bezogen auf einen Austauschquerschnitt
$\mu = 3 \cdot \bar{\mu}$	Mischrate bezogen auf einen Teilkanal mit 3 Austauschquerschnitten
ρ	Kühlmitteldichte
χ	Stableistung

Indizes:

ein	Eintritt
f	Kühlmittel
h	Hülle
k	Teilkanal k
l	Teilkanal l
kl	von Teilkanal k in Teilkanal l
m	mittel
M	Massentransport
W	Wärmeleitung

C
C
C
C

MISTRAL

THERMODYNAMISCHER MISCH-STROEMUNGS-ALGORITHMUS FUER STABBUENDEL

DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TO(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),ZCHIM(15),CHIX(15),OV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)

DIMENSION FELD(250)

COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
27T ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHVD ,TO ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PRAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4

CALL FREFFO(5,8,6,0,FELD,FELD)

INP=8

READ(INP)MW

READ(INP)CONU,EXRE,EXPR,EXT,FLAM,EXLAM,N,NK

READ(INP)ZS,XL,SW,XMP,PATE,TEC,FOL

IF(NK-15)90,90,91

90 DO 92 K=1,NK

92 READ(INP)ZT(K),FT(K),DHT(K),UT(K)

READ(INP)(AXA(K),K=1,NK)

READ(INP)(SAS(K),K=1,NK)

FM=0.

UM=0.

DO 98 K=1,NK

FM=FM+FT(K)*ZT(K)

98 UM=UM+UT(K)*ZT(K)

DHYM=4.*FM/(UM+3.464*SW)

DO 100 IW=1,MW

CALL DATEIN

XN=N

H=1./XN

H2=.5*H

G=XMP/FM*1.F6

KG/(S*M**2)

N1=N+1

IF(ABS(FOL-1.)-1.E-6)2,2,1

1 IF(FOL-1.)4,2,5

2 VL=1.F6

WRITE(9,3)FOL,VL

3 FORMAT(1H ,27HKONSTANTE STABLFISTUNG,FOL=,F7.2,3X,3HVL=,F10.1)

WRITE(9,11)G

11 FORMAT(1H0,2HG=,F14.6,12H KG/(S*M**2)/)

GO TO 8

4 VL=FILST(FOL)

FIAX=FOL

GO TO 6

5 FIAX=FILST(FOL)

VL=FOL

6 WRITE(9,7)FIAX,VL

7 FORMAT(1H ,27HCOSINUSF. STABLFISTG.FIAX=,F7.3,3X,3HVL=,F7.4)

WRITE(9,12)G

12 FORMAT(1H0,2HG=,F14.6,12H KG/(S*M**2))

8 CALL DRULIN

WRITE(9,9)SW

9 FORMAT(1X,24HOPEATION DRULIN BEENDET,5X,3HSW=,F8.2,3H MM/)

DHX=DHYM

UX=UM

DO 10 K1=1,N1

PBAR=PAT(K1)*.980665

XK1=K1-1

X=H*XK1

CHIVL=CHIV(X,VL)

CHI=CHIMAX*CHIVL*ZS

TK=TC(K1)

REX=RE(K1)

CALL TWAND

10 TO(K1)=TC(K1)+DTW

CALL HEIMAT

DO 20 K3=1,N1

PBAR=PAT(K3)*.980665

XK3=K3-1

X=H*XK3

CHIVL=CHIV(X,VL)

DO 21 K4=1,NK

UX=UT(K4)

DHX=DHT(K4)

CHI=CHIT(K4)*CHIVL

TK=TCT(K4,K3)

REX=RET(K4,K3)

CALL TWAND

TOT(K4,K3)=TCT(K4,K3)+DTW

21 ALFAT(K4,K3)=ALFA

20 CONTINUE

CALL DATAUS

100 CONTINUE

STOP

91 WRITE(9,93)NK

93 FORMAT(1H0,18HEINGABFFEHLER, NK=,I4)

STOP

END

C

C
CSUBROUTINE DATFIN
DATENEINGABE

```

DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TD(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)
COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TD ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REF ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4
INP=8
IF(NK-15)1,1,9
1 READ(INP)(CHIT(K),K=1,NK)
  READ(INP)(QV(K),K=1,NK)
  READ(INP)ZLAM
  CHIMAX=0.
  DO 15 K=1,NK
15 CHIMAX=CHIMAX+CHIT(K)*ZT(K)
  CHIMAX=CHIMAX/ZS
  WRITE(9,3)CONU,EXRE,EXPR,EXT
3 FORMAT(1X,5HCONU=,F9.6,3X,5HFXRE=,F9.6,3X,5HEXPR=,F9.6,3X,4HEXT=,
1F8.6)
  WRITE(9,4)FLAM,EXLAM,N,NK,ZLAM
4 FORMAT(1H0,5HFLAM=,F7.4,3X,6HFXLAM=,F7.4,3X,2HN=,I3,3X,3HNK=,I3,
13X,5HZLAM=,F4.0/)
  WRITE(9,5)ZS,FM,DHYM,UM,CHIMAX,XL
5 FORMAT(1H0,3HZS=,F4.0,3X,3HFM=,F7.2,4H MM2,3X,5HDHYM=,F7.4,3H MM,
13X,3HUM=,F8.2,3H MM,3X,7HCHIMAX=,F7.2,5H W/CM,3X,3HXL=,F7.2,3H CM)
  WRITE(9,11)PATE,TEC,XMP
11 FORMAT(1H0,5HPATE=,F7.2,4H ATA,3X,4HTEC=,F7.2,5H GR.C,3X,4HXMP=,
1E14.6,5H KG/S////)
  WRITE(9,6)
6 FORMAT(2X,1HK,6X,2HZT,6X,2HFT,7X,3HDHT,8X,2HUT,7X,4HCHIT,7X,3HAXA,
17X,3HSAS,7X,2HQV/)
  DO 7 K=1,NK
7 WRITE(9,8)K,ZT(K),FT(K),DHT(K),UT(K),CHIT(K),AXA(K),SAS(K),QV(K)
8 FORMAT(1X,I3,3X,F4.0,7F10.2)
  WRITE(9,12)
12 FORMAT(1X////)
  RETURN
9 WRITE(9,10)NK
10 FORMAT(1H0,18HEINGABEFFHLER, NK=,I4)
  STOP
  END

```

C
CSUBROUTINE DRULIN
BERECHNUNG DER DRUCKLINIE

```

DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TD(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)
COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TD ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REF ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4
PAT(1)=PATE
TC(1)=TEC
PB1=PAT(1)*.980665
ETA1=ETHAL(PB1,TEC)
RE(1)=G*DHYM*.001/ETA1
DO 5 K=1,N
  L=K+1
  XK=K-1
  X=H*XK
  X2=X+H2
  CHI=CHIMAX*ZS*CHIV(X2,VL)
  DP=0.
1 DP1=DP
  DT=0.
2 DT1=DT
  TZ=TC(K)+.5*DT1
  PZ=PAT(K)+.5*DP1
  PZB=PZ*.980665
  ETA=ETHAL(PZB,TZ)
  CP=CPL(PZB,TZ)
  REZ=G*DHYM*.001/ETA
  XLAM=FLAM*REZ**EXLAM
  DT=CHI*XL*H/(G*FM*CP*.001)
  IF(ABS(ABS(DT1/DT)-1.)-1.E-4)3,2,2
3 RHOZ=RHOL(PZB,TZ)
  TC(L)=TC(K)+DT
  PAT(L)=PAT(K)+DP1
  PZL=PAT(L)*.980665
  PZK=PAT(K)*.980665
  RHOL=RHOL(PZL,TC(L))
  RHO=RHOL(PZK,TC(K))
  DRD=RHO1-RHO
  DP=-G**2*(5.*XL*H*XLAM/(RHOZ*DHYM)-DP0/RHOZ**2)/9.80665E4
  IF(ABS(ABS(DP1/DP)-1.)-1.E-4)4,1,1
4 PBL=PAT(L)*.980665
  FTA1=ETHAL(PBL,TC(L))
  RE(L)=G*DHYM*.001/ETA1
5 CONTINUE
  RETURN
  END

```

C
C

SUBROUTINE HEIMAT
HEISSKANAL-MASSENSTROMFLE UND TEMPERATUREN

```
DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TO(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,  
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),  
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)  
COMMON COMU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,  
17S ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,  
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,  
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,G1 ,  
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAMI,TEK ,FF ,DHVD ,TO ,  
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,  
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,  
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4  
TEK=TEC+273.15  
EXLAMI=EXLAM-1.  
HT=H*TEK  
DO 19 K19=1,NK  
19 CHIM(K19)=0.  
GRAP=(PAT(2)-PAT(1))/(PAT(1)*H)  
G1=G  
P1=PAT(1)  
T1=TFC  
DO 1 K1=1,NK  
DHVD=DHT(K1)  
FF=FT(K1)  
CHI=CHIM(K1)  
CALL HEIKA  
1 GT(K1,1)=G1+DG  
XMP1=0.  
DO 2 K2=1,NK  
2 XMP1=XMP1+FT(K2)*GT(K2,1)*ZT(K2)  
VMP(1)=XMP1/XMP*1.E-6  
PB=PATE*.980665  
ETA=ETHAL(PB,TEC)  
DO 3 K3=1,NK  
GT(K3,1)=GT(K3,1)/VMP(1)  
3 RET(K3,1)=GT(K3,1)*DHT(K3)/ETA*.001  
DO 4 K=1,NK  
4 TCT(K,1)=TFC  
DO 20 K4=1,N  
I7=0  
L4=K4+1  
XK=K4  
Y=H*XK  
X2=X+H2  
P1=PAT(K4)  
GRAP=(PAT(L4)-PAT(K4))/(PAT(K4)*H)  
CHIVL=CHIV(X2,VL)  
DO 9 K9=1,NK  
9 CHIX(K9)=CHIT(K9)  
15 DO 5 K5=1,NK  
T1=TCT(K5,K4)  
G1=GT(K5,K4)  
CHIM(K5)=CHIX(K5)*CHIVL  
CHI=CHIM(K5)  
DHVD=DHT(K5)  
FF=FT(K5)
```

```
CALL HEIKA  
TCT(K5,L4)=TCT(K5,K4)+HT*GRAT  
5 GT(K5,L4)=GT(K5,K4)+DG  
XMP2=0.  
DO 6 K6=1,NK  
6 XMP2=XMP2+FT(K6)*GT(K6,K4)*ZT(K6)  
VMP(L4)=XMP2/XMP*1.E-6  
DO 7 K7=1,NK  
GT(K7,L4)=GT(K7,L4)/VMP(L4)  
7 TCT(K7,L4)=TCT(K7,1)+(TCT(K7,L4)-TCT(K7,1))*VMP(L4)  
IF(IZ)10,8,10  
8 IF(QV(1))18,18,16  
18 IF(ZLAM)10,10,16  
16 CALL MIXING  
IZ=IZ+1  
GO TO 15  
10 PB=PAT(L4)*.980665  
DO 12 K12=1,NK  
ETA=ETHAL(PB,TCT(K12,L4))  
12 RET(K12,L4)=GT(K12,L4)*DHT(K12)/ETA*.001  
20 CONTINUE  
RETURN  
END
```

SUBROUTINE HEIKA
HEISSKANALRECHNUNG

DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TO(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)

COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RF ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TO ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4

PBAR=P1*.980665
ETA=ETHAL(PBAR,T1)
REK=G1*DHYD/(1000.*ETA)
XLAM=FLAM*REK**EXLAM
CP=CPL(PBAR,T1)
DL=.1*DHYD/(XLAM*XL)
SU1=1.+2.*DL
SU2=1.+DL
P2=PBAR
W=G1*FF*TEK*CP*1.E-3
RO1=RHOL(PBAR,T1)
DPS=5.*G1**2*XL*XLAM/(RO1*DHYD)
DPSN=DPS/(PBAR*1.E5)
Z=0.
IT=0

1 CALL GRADI

ETA1=ETHAL(P2,T2)
DRE=REK*((ETA/ETA1-1.)/H+Z)
GRALA=FLAM*EXLAM*REK**EXLAM1*DRE
SU=1.+GRALA/XLAM
RO2=RHOL(P2,T2)
GRO=(RO2-RO1)/(RO1*H)
Z1=-.5*(GRAP/DPSN+SU-GRO*SU1)/SU2
IF(ABS(Z1)-1.E-20)7,7,2

2 IT=IT+1

IF(ABS(ABS(Z/71)-1.)-1.E-6)7,7,3

3 IF(IT-20)4,4,5

4 Z=Z1

GO TO 1

5 WRITE(9,6)Z,Z1

6 FORMAT(1X,24HKEINE KONV. IN HEIKA, Z=,E14.6,3X,3HZ1=,E14.6)

7 DG=Z1*G1*H

RETURN

END

SUBROUTINE GRADI
GRADIENTEN VON CP UND T
DIM KJOULE/(KG*GR) - 1

DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TO(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)

COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RF ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TO ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4

IF(CHI)2,1,2

1 T2=T1

GRAT=0.

RETURN

2 IG=0

X1=X+H2

CHI2=CHIV(X,VL)

CHIL=CHI*XL

QUOT=CHI*H/(W*CP)*XL

GRAT2=CHIL*(1.+(CHIV(X1,VL)-CHI2)/((CHI2*H2)*H-Z*H)/W

GRAT=GRAT2

3 T2=T1+GRAT*HT

GRAT1=GRAT

GRACP=(CPL(P2,T2)-CP)/H

GRAT=GRAT2/(1.+QUOT*GRACP/GRAT1)

IG=IG+1

IF(ABS(ABS(GRAT/GRAT1)-1.)-1.E-10)6,6,4

4 IF(IG-10)3,3,5

5 WRITE(9,7)GRAT,GRAT1,GRACP

7 FORMAT(1H0,21HKEINE KONVERG., GRAT=,E14.6,3X,6HGRAT1=,E14.6,3X,
16HGRACP=,E14.6)

6 RETURN

END

```

SUBROUTINE MIXING
BERECHNET DIE VERMISCHUNG IM 61-STARRBUENDEI-SEKTOR- 13TEILKANALELF
DIMENSION PAT (30),TC(30),RF(30),TO(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)
DIMENSION A(15,15),B(15),XMKAN(15),RX(15),Y(15),B1(15)
COMMON CONU ,FXRF ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATF ,TEC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RF ,G1 ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TD ,
5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4
XH=XL*H
DO 1 K1=1,NK
1 XMKAN(K1)=GT(K1,L4)*FT(K1)
PX1=PAT(K4)
DO 2 K2=1,12
TX1=TCT(K2,K4)
CP1=CPL(PX1,TX1)
2 RX(K2)=.5*(QV(K2)*XH*XMKAN(K2)*CP1*.001+ZLAM*
IAMDAL(PX1,TX1)*AXA(K2)*XH/SAS(K2)*.01)
DIM VON RX= WATT/GR
DO 21 KK=1,13
CP2=CPL(PX1,TCT(KK,K4))
21 Y(KK)=XMKAN(KK)*CP2*.001
A(1,1)=RX(1)+Y(1)
A(1,2)=-RX(1)
DO 3 K3=3,15
3 A(1,K3)=0.
A(2,1)=-RX(1)
A(2,2)=RX(1)+RX(2)*2.+Y(2)
A(2,3)=-RX(2)*2.
DO 5 K5=4,15
5 A(2,K5)=0.
DO 6 K6=3,15
6 A(K6,1)=0.
A(3,2)=-RX(2)
A(3,3)=RX(2)+RX(3)+Y(3)
A(3,4)=-RX(3)
DO 7 K7=5,15
7 A(3,K7)=0.
DO 8 K7=4,15
8 A(K7,2)=0.
A(4,3)=-RX(3)
A(4,4)=RX(3)+2.*RX(4)+Y(4)
A(4,5)=-RX(4)
A(4,6)=-RX(4)
DO 9 K7=7,15
9 A(4,K7)=0.
DO 10 K7=5,15
10 A(K7,3)=0.
A(5,4)=-RX(4)
A(5,5)=RX(4)+RX(5)+Y(5)
A(5,6)=0.
A(5,7)=-RX(5)
DO 11 K7=8,15

```

```

11 A(5,K7)=0.
A(6,4)=-RX(4)*2.
DO 12 K7=7,15
12 A(K7,4)=0.
A(6,5)=0.
A(6,6)=RX(4)*2.+RX(6)+Y(6)
A(6,7)=0.
A(6,8)=-RX(6)
DO 13 K7=9,15
13 A(6,K7)=0.
A(7,5)=-RX(5)
A(7,6)=0.
A(7,7)=RX(5)+2.*RX(7)+Y(7)
A(7,8)=0.
A(7,9)=-RX(7)
A(7,10)=-RX(7)
DO 14 K7=11,15
14 A(7,K7)=0.
DO 15 K7=8,15
15 A(K7,5)=0.
A(8,6)=-RX(6)
A(8,7)=0.
A(8,8)=RX(6)+RX(8)*2.+Y(8)
A(8,9)=-RX(8)*2.
DO 16 K7=10,15
16 A(8,K7)=0.
DO 17 K7=9,15
17 A(K7,6)=0.
A(9,7)=-RX(7)
A(9,8)=-RX(8)
A(9,9)=RX(7)+RX(8)+RX(9)+Y(9)
A(9,10)=0.
A(9,11)=0.
A(9,12)=0.
A(9,13)=-RX(9)
A(9,14)=0.
A(9,15)=0.
A(10,7)=-RX(7)
A(10,8)=0.
A(10,9)=0.
A(10,10)=RX(7)+RX(10)+Y(10)
A(10,11)=0.
A(10,12)=-RX(10)
A(10,13)=0.
A(10,14)=0.
A(10,15)=0.
DO 18 K7=7,10
18 A(11,K7)=0.
A(11,11)=RX(11)+Y(11)
A(11,12)=-RX(11)
A(11,13)=0.
A(11,14)=0.
A(11,15)=0.
A(12,7)=0.
A(12,8)=0.
A(12,9)=0.
A(12,10)=-RX(10)
A(12,11)=-RX(11)*.5

```

```

A(12,12)=RX(10)+RX(11)*.5+RX(12)+Y(12)
A(12,13)=-RX(12)
A(12,14)=0.
A(12,15)=0.
A(13,7)=0.
A(13,8)=0.
A(13,9)=-RX(9)
A(13,10)=0.
A(13,11)=0.
A(13,12)=-RX(12)
A(13,13)=RX(9)+RX(12)+Y(13)
DO 19 K7=1,15
19 A(14,K7)=0.
DO 20 K7=1,15
20 A(15,K7)=0.
Z1=RX(1)*(TCT(1,K4)-TCT(2,K4))
Z2=RX(2)*(TCT(2,K4)-TCT(3,K4))
Z3=RX(3)*(TCT(3,K4)-TCT(4,K4))
Z45=RX(4)*(TCT(4,K4)-TCT(5,K4))
Z46=RX(4)*(TCT(4,K4)-TCT(6,K4))
Z5=RX(5)*(TCT(5,K4)-TCT(7,K4))
Z6=RX(6)*(TCT(6,K4)-TCT(8,K4))
Z79=RX(7)*(TCT(7,K4)-TCT(9,K4))
Z710=RX(7)*(TCT(7,K4)-TCT(10,K4))
Z8=RX(8)*(TCT(8,K4)-TCT(9,K4))
Z9=RX(9)*(TCT(9,K4)-TCT(13,K4))
Z10=RX(10)*(TCT(10,K4)-TCT(12,K4))
Z11=RX(11)*(TCT(11,K4)-TCT(12,K4))
Z12=RX(12)*(TCT(12,K4)-TCT(13,K4))
R( 1)=CHIX( 1)*XH-Z1
R( 2)=CHIX( 2)*XH+Z1-Z2*2.
R( 3)=CHIX( 3)*XH +Z2-Z3
R( 4)=CHIX( 4)*XH +Z3-Z45-Z46
R( 5)=CHIX( 5)*XH +Z45 -Z5
R( 6)=CHIX( 6)*XH +Z46*2.-Z6
R( 7)=CHIX( 7)*XH +Z5 -Z79-Z710+Y( 7)*TCT( 7,K4)
R( 8)=CHIX( 8)*XH-Z8*2. +Z6
R( 9)=CHIX( 9)*XH+Z8-Z9 +Z79
R(10)=CHIX(10)*XH -Z10 +Z710+Y(10)*TCT(10,K4)
R(11)=CHIX(11)*XH -Z11
R(12)=CHIX(12)*XH +Z10+Z11*.5-Z12
R(13)=CHIX(13)*XH +Z9 +Z12
R(14)=0.
R(15)=0.
CALL LINAL(A,13,15,A,B,1,13,B1)
DO 90 K=1,13
IF(B1(K))80,90,90
90 CONTINUE
81 DO 30 K=1,13
XI1=FNTL(PX1,TCT(K,K4))
XI2=FNTL(PX1,B1(K))
30 CHIX(K)=XMKAN(K)*(XI2-XI1)/(1000.*XH)
RETURN
80 DO 60 I=1,15
WRITE(9,50)(A(I,K),K=1,8)
50 FORMAT(1X,8E14.6)
60 WRITE(9,51)(A(I,K),K=9,15),R(I)
51 FORMAT(6X,8E14.6/)
STOP
END

```

C
C

SUBROUTINE TWAND
BERECHNUNG DER WANDTEMPERATUREN

```

DIMENSION PAT (30),TC(30),RF(30),TQ(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
130),RET(15,30),TOT(15,30),7T(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
2CHIM(15),CHIX(15),OV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)
COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TFC ,
1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,OV ,N ,HT ,X ,
3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,GI ,
4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TO ,
5OG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4
IT=0
DTW=0.
IF(CHI)5,5,1
1 DT=DTW
TW=TK+DT
TV=(TK+273.15)/(TW+273.15)
PR=PRANTL(PBAR,TK)
IF(EXT)6,7,6
7 XNU=CONU+EXRE*(RF*PR)**EXPR
ALFA=XNU*AMDAL(PBAR,TK)/DHX*.1
DTW=CHI*10./(ALFA*UX)
GO TO 5
6 XNU=CONU*REX**EXRE*PR**EXPR*TV**EXT
ALFA=XNU*AMDAL(PBAR,TK)/DHX*.1
DTW=CHI*10./(ALFA*UX)
IT=IT+1
IF(ABS(ABS(DT/DTW)-1.)-1.E-4)5,2,2
2 IF(IT-20)1,3,3
3 WRITE(9,4)DT,DTW
4 FORMAT(1H0,21HKEINE KONVERGENZ, DT=,E14.6,3X,4HDTW=,E14.6)
5 RETURN
END

```

```

C   UMRECHNUNG VON FIAXIAL IN VL UND UMGEKEHRT
FUNCTION FILST(FOL)
  IF(FOL-1.)7,8,6
8  WRITE(9,9)FOL
9  FORMAT(1H0,18HEINGABEFFHLER,FOL=,E14.6)
  STOP
6  Z=1.57079/FOL
  FILST=SIN(Z)/Z
  RETURN
7  IT=0
  Z1=1.5
1  Z=Z1
  F=SIN(Z)
  Z1=F/FOL
  IT=IT+1
  IF(ABS(ABS(Z/Z1)-1.)-1.E-6)5,5,2
2  IF(IT-20)1,1,3
3  WRITE(9,4)IT,Z,Z1
4  FORMAT(1H0,32HKEINE KONVERGENZ IN FILST,   IT=,I4,3X,2HZ=,E14.6,
  13X,3HZ1=,F14.6)
5  FILST=1.57079/Z1
  RETURN
  END

```

```

C   COSINUSFOERM. STABLEIST. VERT.
FUNCTION CHIV(X,VL)
  PI=3.14159
  IF(VL-1.E6)1,2,2
1  CHIV=COS(PI*(X-.5)/VL)
  RETURN
2  CHIV=1.
  RETURN
  END

```

```

C   INTEGRAL DER COSIN. FOERM. STABL. VERT.
FUNCTION CHINT(X,VL)
  IF(VL-1.E6)1,2,2
1  FA=3.14159/VL
  CHINT=(SIN(FA*(X-.5))+SIN(.5*FA))/FA
  RETURN
2  CHINT=X
  RETURN
  END

```

```

SUBROUTINE DATAUS
DATENAUSGABE
C
C
  DIMENSION PAT (30),TC(30),RE(30),TD(30),VMP(30),TCT(15,30),GT(15,
  130),RET(15,30),TOT(15,30),ZT(15),FT(15),DHT(15),UT(15),CHIT(15),
  2CHIM(15),CHIX(15),QV(15),ALFAT(15,30),AXA(15),SAS(15)
  COMMON CONU ,EXRE ,EXPR ,EXT ,FLAM ,EXLAM ,PATE ,TEC ,
  1ZS ,FM ,DHYM ,UM ,CHIMAX,XL ,XMP ,NK ,FOL ,
  2ZT ,FT ,DHT ,UT ,CHIT ,QV ,N ,HT ,X ,
  3H ,H2 ,G ,N1 ,VL ,PAT ,TC ,RE ,G1 ,
  4P1 ,T1 ,CHIM ,GRAP ,EXLAM1,TEK ,FF ,DHYD ,TO ,
  5DG ,TCT ,GT ,RET ,TOT ,CHI ,GRAT ,Z ,PBAR ,
  6W ,CP ,T2 ,P2 ,VMP ,ALFAT ,TK ,REX ,DTW ,
  7ALFA ,DHX ,UX ,ZLAM ,AXA ,SAS ,CHIX ,K4 ,L4
  WRITE(9,1)
1  FORMAT(1H1,2X,1HK,8X,3HPAT,8X,2HTC,9X,2HTO,11X,2HRE,6X,3HVMP/)
  DO 2 K=1,N1
2  WRITE(9,3)K,PAT(K),TC(K),TD(K),RE(K),VMP(K)
3  FORMAT(2X,I3,F12.4,2F10.1,F14.1,F10.4)
  WRITE(9,4)
4  FORMAT(1H1)
  LZ=0
  DO 20 K=1,NK,2
  KX=K+1
  WRITE(9,5)K,KX
5  FORMAT(1X,I3,7X,3HTCT,7X,3HTOT,10X,3HRET,9X,2HGT,6X,5HALFAT,9X,
  1I3,7X,3HTCT,7X,3HTOT,10X,3HRET,9X,2HGT,6X,5HALFAT/)
  LZ=LZ+2
  DO 7 L=1,N1
  WRITE(9,6)L,TCT(K,L),TOT(K,L),RET(K,L),GT(K,L),ALFAT(K,L),L,
  1TCT(KX,L),TOT(KX,L),RET(KX,L),GT(KX,L),ALFAT(KX,L)
6  FORMAT(2X,I3,2F10.1,F14.1,F10.1,F12.5,8X,I3,2F10.1,F14.1,F10.1,
  1F12.5)
7  LZ=LZ+1
  IF((55/LZ)-2)8,9,9
8  WRITE(9,4)
  LZ=0
  GO TO 20
9  WRITE(9,10)
10  FORMAT(1X////)
20  CONTINUE
  RETURN
  END

```

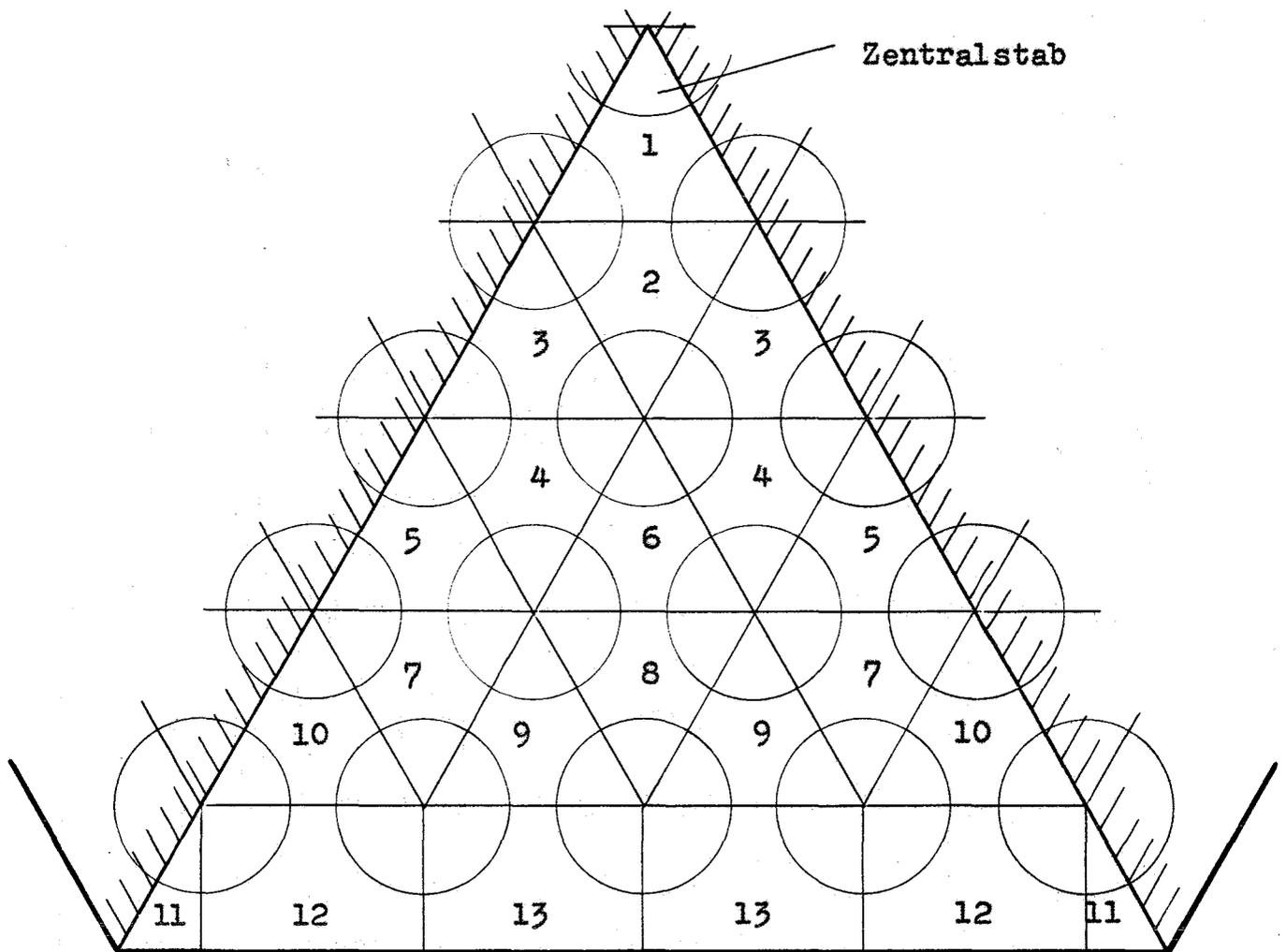


Abb. 1: Bezeichnung der Teilkanäle im Gitterausschnitt des 61-Stabbündels

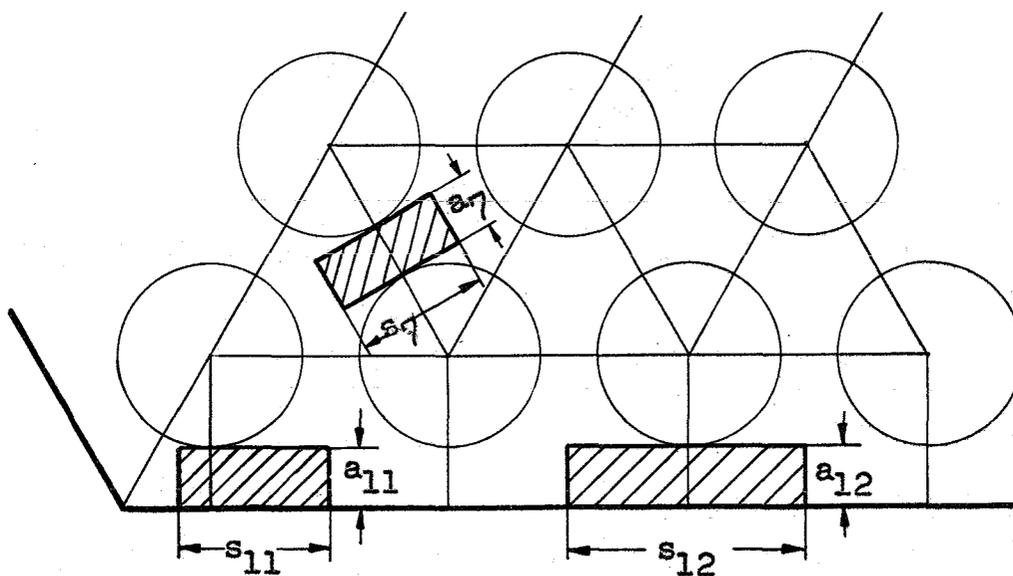


Abb. 2: Modell der Kühlmittel-Säulen zur Berechnung der Energie-Quervermischung durch radiale Wärmeleitung

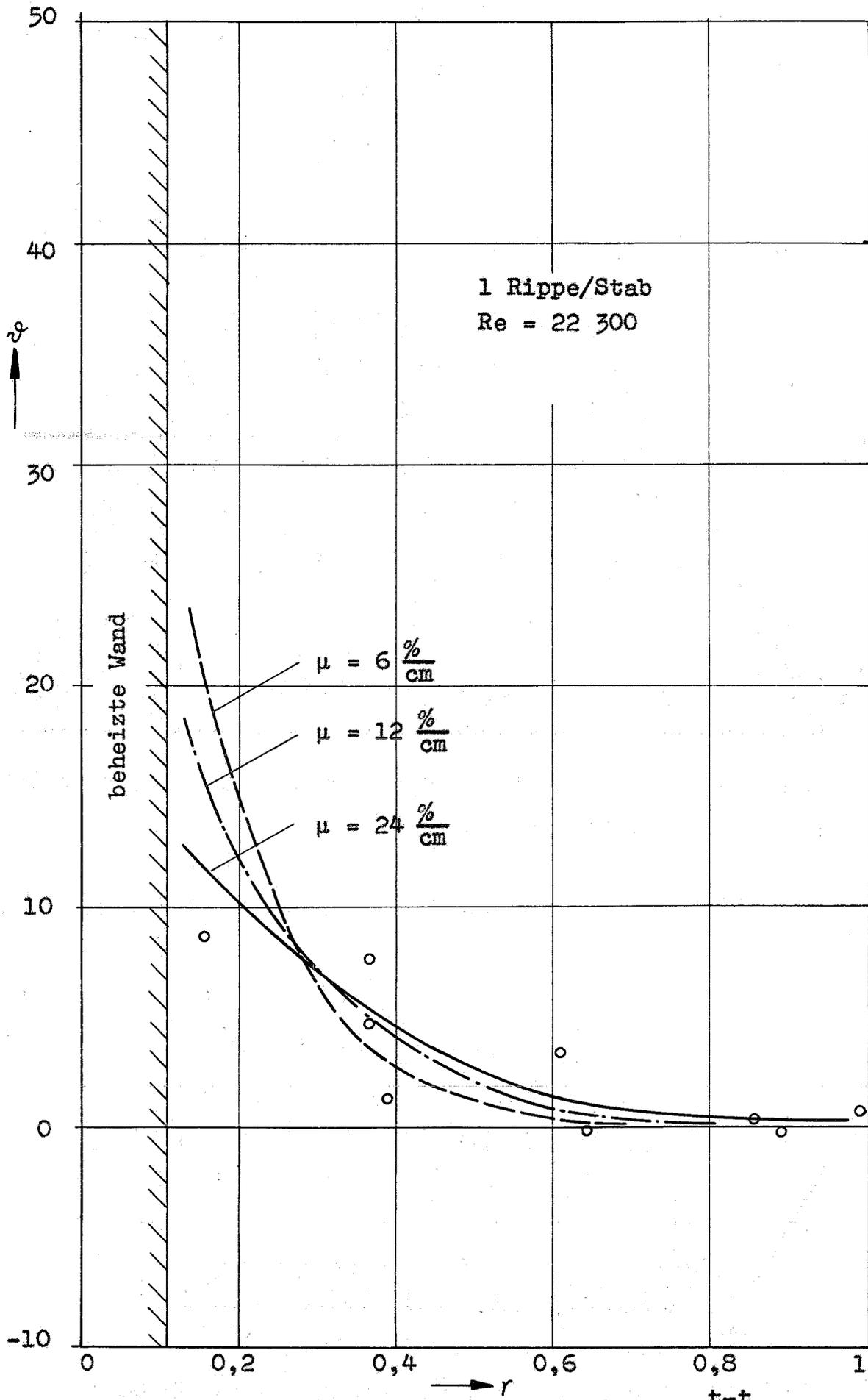


Abb. 3: Berechnete radiale Temperaturprofile $\vartheta = \frac{t-t_{\text{ein}}}{\Delta t_m}$ für verschiedene Mischraten μ verglichen mit Messpunkten

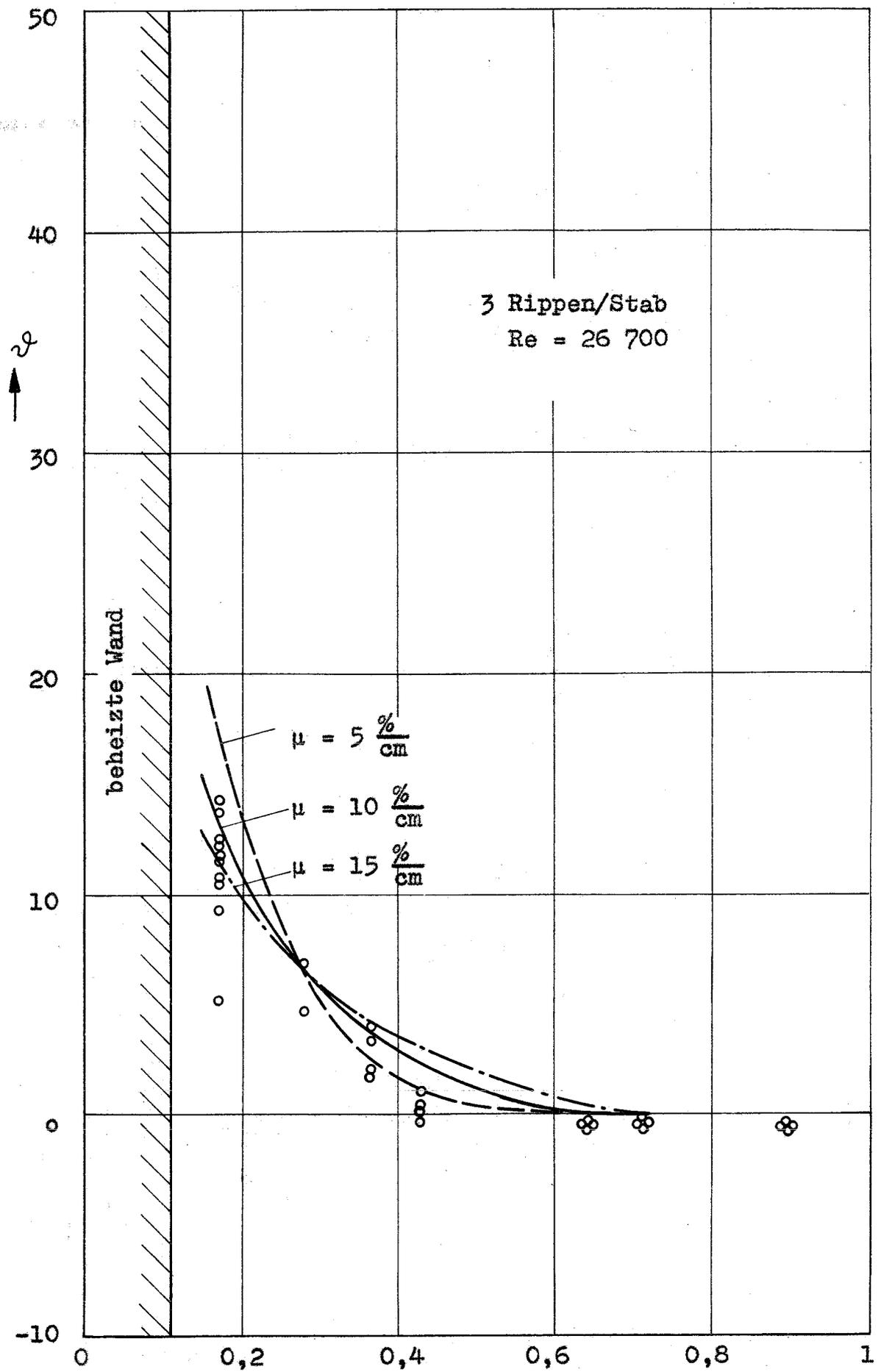


Abb. 4: Berechnete radiale Temperaturprofile $\zeta = \frac{t-t_{\text{ein}}}{\Delta t_m}$ für verschiedene Mischraten μ verglichen mit Messpunkten

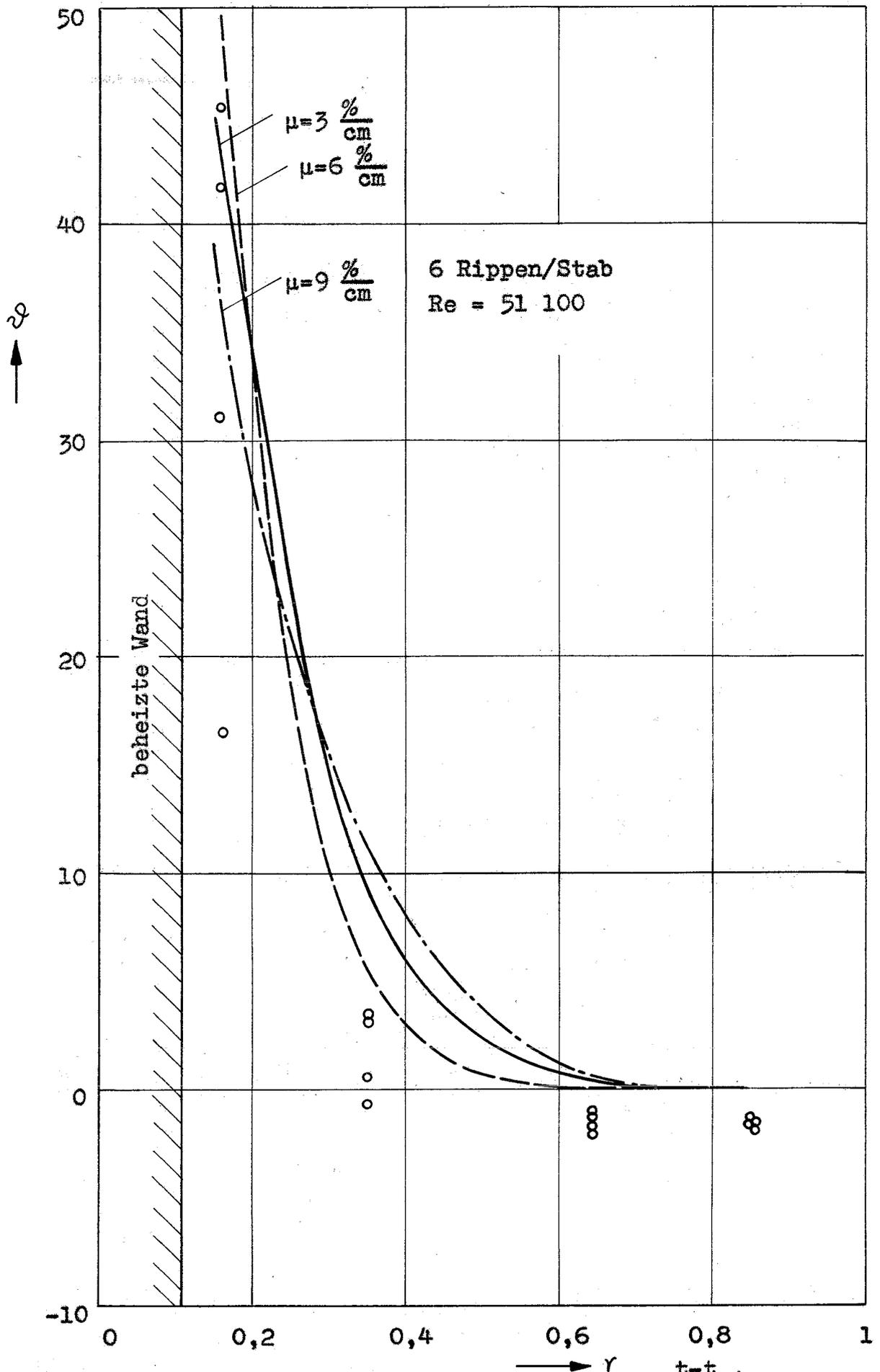


Abb. 5: Berechnete radiale Temperaturprofile $\vartheta = \frac{t - t_{\text{ein}}}{\Delta t_m}$ für verschiedene Mischraten μ verglichen mit Messpunkten

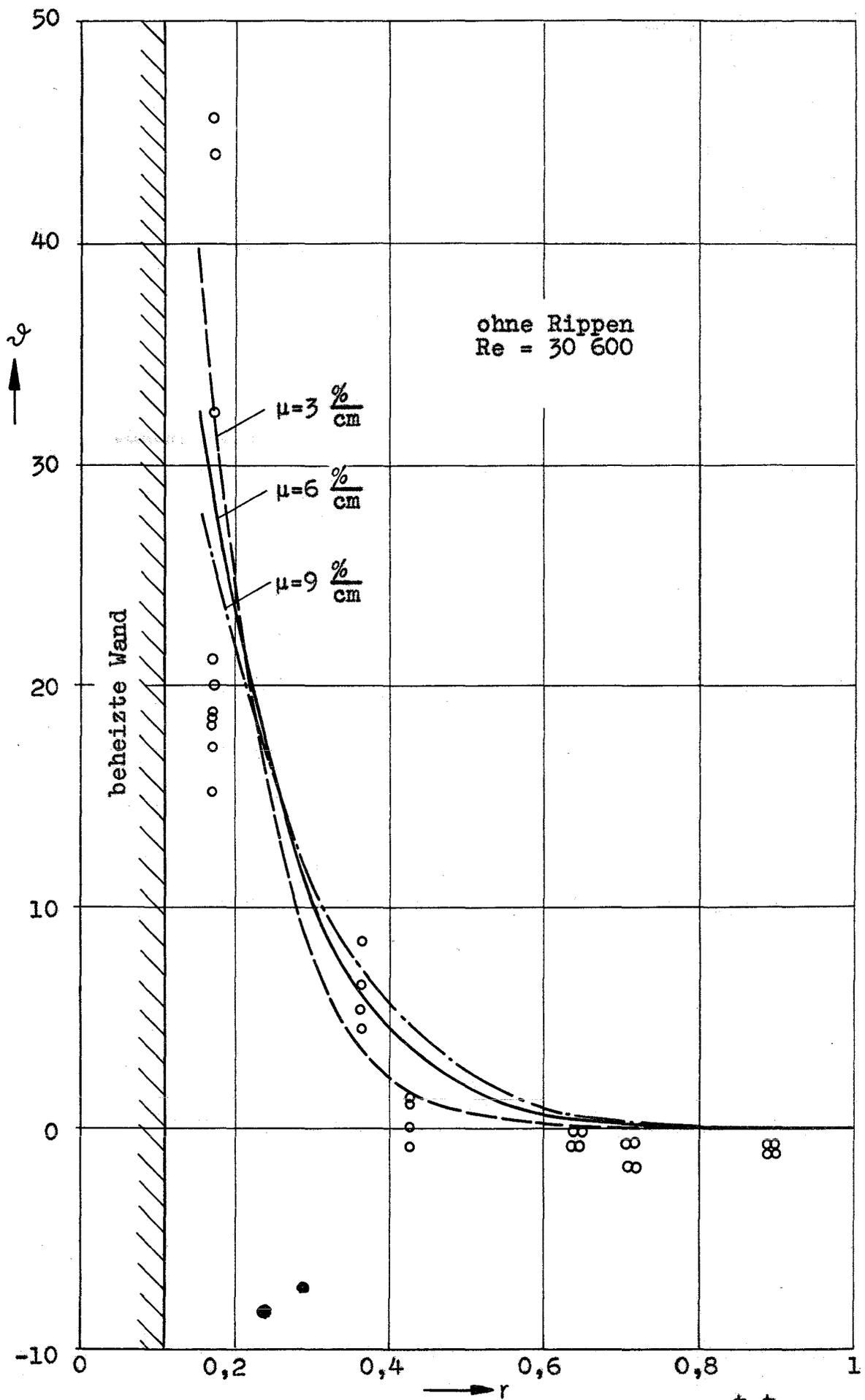


Abb. 6: Berechnete radiale Temperaturprofile $\vartheta = \frac{t-t_{\text{ein}}}{\Delta t_m}$ für verschiedene Mischraten μ verglichen mit Messpunkten