

Primärbericht

AUDI3, ein Programm für Störungs-
rechnung 1. Ordnung und andere Aus-
wertungen der Ergebnisse von 3-
dimensionalen Multigruppen-Diffusions-
rechnungen

G. Willerding

O 1 • O 2 • 04 P 8 1 G

November 82

PSB-Bericht Nr. IV 394

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

INR-1241

PSB-

KAPROS-82

Bitte beachten Sie: dieser Primärbericht enthält Informationen von vorläufigem Charakter und ist in erster Linie zur aktuellen internen Unterrichtung zwischen den Instituten und den externen Zusammenarbeitspartnern des Kernforschungszentrums Karlsruhe bestimmt. Eine Weitergabe des Berichts oder seines Inhalts an Dritte bedarf der Zustimmung der Abt. Patente und Lizenzen des KfK.

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH

<u>Inhaltsübersicht</u>		<u>Seite</u>
I.	Einleitung	1
II.	Von AUDI3 auszuwertende Daten- Blöcke, die das System beschreiben	3
III.	Auswertungsmöglichkeiten	15
	A "Integrale Auswertung" ... Volumenintegrale/Mittelwerte	
	B Leckage :	27
	C "Lokale" Auswertung: Ratendichten, Linienintegrale von Raten- dichten	32
	D Druckausgabe von Neutronenflußdichten	37
	E Störungsrechnung im Multigruppen- diffusionsmodell	38
	E.1 Integrale Störungskoeffizienten	38
	A Exakte Rechnung	39
	B Rechnung 1. Ordnung	66
	E.2 Lokale Störungskoeffizienten	69
	F Effektive Anteile verzögerter Neutronen	78
	G Effektive Lebensdauer/Generationsdauer von Neutronen	80
IV	Eingabebeschreibung	82
V	Von AUDI3 erzeugte (KAPROS)-Blöcke	114
VI	Das Programm AUDI3 Beschreibung der Routinen	128
VII	Hardwareanforderungen	167

VIII	Anhang	
A	Physikalische Bedeutung der Importanz (ϕ^+)	169
B	Physikalische Begründung der Diffusions- gleichung für ϕ^+	180
C	Diskussion der zeitabhängigen Diffusions- gleichungen für ϕ und ϕ^+	195
D	Legende	201
E	Formeln für	203
	Integration	
	Skalarproduktbildung	
	Differentiation (3--Punkt-Formeln)	
	Referenzen	215
	Testbeispiel für AUDI3-Lauf	218

Herrn Dr. Kiefhaber danke ich für viele Diskussionen, die zu einer Reihe von Ergänzungen im physikalischen Teil des Berichts geführt haben.

Den Herren E.Stein und D.Thiem danke ich für die Unterstützung bei der Strukturierung und Programmierung der Ausgabeblöcke.

Herrn G.Wörner danke ich für die sorgfältige Ausführung der Zeichnungen.

I. Einleitung

AUDI3 ist ein Programm zur Auswertung 3-Dimensionaler energiegruppenabhängiger Neutronenflußverteilungen* für Reaktorkonfigurationen in XYZ-, Θ Z- und Dreiecks-Z-Geometrie, wie sie z.B. von den Diffusionsprogrammen D3D /1/, D3E /1'/, KASY /2/, berechnet werden, d.h. bei Zugrundelegung sogenannter "mesh-edged" (zur Unterscheidung von "mesh-centered") Punktegitter.

AUDI3 ist ein Fortran-Programm und als Modul des KAPROS-Systems /3/ implementiert.

AUDI3 erwartet die auszuwertenden Daten in Form von KAPROS-Blöcken (Teil II). Diese Blöcke mit den Beschreibungen des "mesh-edged" Punktegitters und der darauf bezogenen Verteilung des Reaktormaterials sowie des energiegruppenabhängigen Neutronenflusses und der Neutronenimportanz (Anhang A,B,C) können wahlweise von den o.g. Diffusionsprogrammen bereitgestellt werden. Die Programme D3D und D3E haben auch eine Option zur Ausgabe einer oder mehrerer sequentieller Dateien, aus denen erst die von AUDI3 geforderten KAPROS-Blöcke erzeugt werden müssen. Diese Erzeugung leistet z. B. der Modul AUPRCL /4/.

AUDI3 bietet folgende Auswertungsmöglichkeiten:

1. Volumenintegration und Volumenmittelung des energiegruppenabhängigen Neutronenflusses $/\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ zur Gewinnung der Ausgangsgrößen für die Berechnung integraler $/\text{s}^{-1}/$ und volumengemittelter $/\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}/$ Raten von nuklearen Reaktionen. Die integralen Raten sind wiederum Elemente zusammengesetzter Größen wie z.B. Brutraten und Brutgewinne, oder von Größen, mit denen die Flußwerte umnormiert werden können.
2. Oberflächenintegration der Neutronenstromdichte*
Bestimmung der Leckage von Neutronen.
(Anisotropie der Streuung kann berücksichtigt werden)
3. Lokale Raten $/\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$ nuklearer Reaktionen (für die "mesh-edged" Gitterpunkte) sowie axiale Linienintegrale lokaler Raten.

* Siehe Legende: \downarrow

4. Eine Störungsrechnung, der die Störungstheorie 1. Ordnung für das Multigruppen-Diffusionsmodell mit endlichen Differenzen zugrunde liegt
(Anisotropie der Streuung kann nicht berücksichtigt werden)
5. Berechnung der effektiven Lebensdauer von Neutronen und dem effektiven Anteil verzögerter Neutronen
6. Ausgabe der berechneten Größen in KAPROS-Datenblöcken, so daß eine Weiterverwendung in (KAPROS)-Folgeprogrammen möglich ist.
7. Druckausgabe der Neutronenflußwerte für Gebiete und Traversen.
(Plotausgabe von Flußtraversen ist nur mit geringem Zeichen-Komfort möglich).

AUDI3 kann formal auch zur (3-dimensionalen) Auswertung 2-dimensionaler Neutronenfluß/Importanzverteilungen für XY-, Θ R- und Δ -Geometrie eingesetzt werden.

Dazu müssen nur die das System beschreibenden KAPROS-Blöcke (Vgl. II) konsistent bereitgestellt werden:

Der Block KNTR muß Geometrieangaben für die simulierte 3. Dimension - d.h. in AUDI3 stets die (axiale) Z-Richtung - enthalten (mindestens 1 Z-Intervall).

Die Blöcke FLUX3DIM/FLUA3DIM müssen dementsprechend "Duplikate" der 2-dimensionalen Verteilungen von Neutronenfluß, Importanz für mindestens eine weitere Z-Ebene enthalten. Für die Störungsrechnung sind (wegen der Verwendung von 3-Punkt-Formeln) 2 Z-Intervalle bzw. 3 Z-Ebenen erforderlich.

Indem man die Gesamtlänge der eingeführten Z-Intervalle auf 1 normiert und (bei der integralen Auswertung in AUDI3) die 3-dimensionalen Integrationsbereiche (2-dimensional bei Leckageberechnung) stets über die gesamte Z-Richtung erstreckt, erzielt man bis auf numerische Ungenauigkeiten die gleichen Ergebnisse wie bei der (in AUDI3 nicht durchführbaren) 2-dimensionalen Integration (1-dimensional bei Leckageberechnung).

Es ist zu beachten, daß in AUDI3 eine Buckling-Korrektur nicht berücksichtigt werden kann.

*

D3E und D3D liefern Blöcke mit duplizierten Ebenen bei 2-dimensionaler Rechnung

Die Darstellung der Auswertungsmöglichkeiten, der physikalischen Grundlagen, der Formeln und der mathematisch-numerischen Verfahren wurde bewußt aus der eigentlichen Eingabebeschreibung herausgenommen, um diese möglichst knapp halten zu können. Diese Gesichtspunkte sind entsprechend ausführlich in Abschnitt **III** und in den **Anhängen** zusammenhängend beschrieben, so daß in der Eingabebeschreibung darauf Bezug genommen werden kann. Darüberhinaus dienen diese Teile des vorliegenden Berichts dem Verständnis der von AUDI3 behandelten Aufgabenstellungen und ermöglichen dem interessierten Leser und Programmbenutzer einen genaueren Einblick in die physikalischen Zusammenhänge. Außerdem soll erwähnt werden, daß - wegen der beschränkten Zeit für die Fertigstellung dieses Berichts - darauf verzichtet wurde, weitere wünschenswerte Details, die häufig in detaillierten Programmdokumentationen enthalten sind, in der vorliegenden AUDI3-Beschreibung darzustellen. Dies betrifft beispielsweise Angaben über die dynamische und problem abhängige Belegung des Speicherbereichs, genaue Beschreibung der Subroutinen einschließlich Flußdiagrammen und Definition der Argumente und Erläuterung der Bedeutung der lokalen Variablen. Die Erklärung der in den Common-Feldern enthaltenen Variablen, sowie die in Abschnitt VI daran anschließend gegebene Übersicht über die Funktion aller Subroutinen und die Hinweise zur Bedeutung bzw. Bezeichnungsweise einiger der verwendeten Variablen und Pointer soll ein genaueres Verständnis des Programms ermöglichen und dadurch zukünftige Korrekturen und Erweiterungen des Programms erleichtern. Auf eine umfassende Darstellung des gesamten Programmablaufs in der Overlay-Struktur wurde verzichtet, da durch die auf modernen Großrechenanlagen geschaffene Möglichkeit der sog. virtuellen Speicherung künftig eine derartige Overlay-Struktur vermutlich entfallen kann.

II. Von AUDI3 auszuwertende Daten

Die Daten werden in Form von 5 KAPROS-Blöcken erwartet, deren Namen

1. 'KNTR_-----'
2. 'VERT_-----'
3. 'SIGMN_-----'
4. 'FLUX3DIM_-----'
5. 'FLUA3DIM_-----'

beim Aufruf von AUDI3 in KAPROS in der Argumentliste der Systemroutine KSEXEC aufzuführen sind.

Inhalt und Struktur der Blöcke werden im folgenden beschrieben:

II.1 KNTR-Block

Name : 'KNTR_-----'

Erzeugung durch die Programme KASY, D3E, D3D/AUPRCL.

Inhalt:

Kontrollparameter, insbesondere Geometriedaten des Systems.

(In AUDI3 werden Punkte durch Tripel von Punktindizes, Maschen durch Tripel von Intervallindizes festgelegt) Die axiale Richtung wird stets durch die Z-Koordinate beschrieben. Das Punktgitter des Systems ist stets "mesh-edged". Es wird i.a. durch 3 Vektoren von Intervall(läng)en (Schrittweiten) beschrieben.

Die Punkte (Intervalle) sind i.a. nach wachsenden Koordinaten geordnet.

Die Ausnahme bildet die radiale Richtung in $\Theta R Z$ -Geometrie (wo zusätzlich ein Vektor von Radien angegeben wird, und Radien und Intervalle nach fallender Koordinate geordnet sind. Der kleinste vorkommende Radius ist aus formalen Gründen (Division) stets > 0 ! Bei Δ -Z-Geometrie hat das Punktgitter in der Δ -Ebene formal stets die Ausdehnung eines vollen Parallelogramms (mit $NX*NY$ Gitterpunkten, vgl. Struktur). Der Winkel am Anfangspunkt (mit den Punktindizes $IX=IY=1$) beträgt 120° .

Wie in den anderen Geometrien auch, müssen gegebenenfalls systemfremde Maschen durch nichtpositive Maschenkennziffern $MK \leq 0$ im VERT-Block (vgl. II.2) indiziert werden.

Struktur:

a. Kontrollparameter

IGEO Geometriekennzahl:

- 1 für XYZ-Geometrie (siehe Abb.1)
- 2 für ORZ-Geometrie (siehe Abb.2)
- 3 für Δ -Z-Geometrie (siehe Abb.3)

NX Anzahl der Gitterpunkte in X(O)-Richtung

Punktindex $IX: 1 \leq IX \leq NX$
Intervallindex $JX: 1 \leq JX < NX-1$

NY Anzahl der Gitterpunkte in Y(R)-Richtung

Punktindex $IY: 1 \leq IY \leq NY$
Intervallindex $JY: 1 \leq JY < NY-1$

NZ Anzahl der Gitterpunkte in Z-Richtung

Punktindex $IZ: 1 \leq IZ \leq NZ$
Intervallindex $JZ: 1 \leq JZ < NZ-1$

NGP Anzahl der Energiegruppen.

Der Energiegruppenindex wächst mit fallender Energie
(Vgl. II.3, I.4, I.5)

NM Anzahl der Reaktormischungen

IPL Anzahl der Platten

(axiale Bereiche mit nur horizontal variierender Mischungsverteilung. Vgl. VERT-Block; II.2)

XKEFF1 Effektiver Multiplikationsfaktor aus "realer" Diffusionsrechnung oder 0.

XKEFF2 Effektiver Multiplikationsfaktor aus adjungierter Diffusionsrechnung oder 0.

b. Geometriedaten (Vgl. Abb. 1,2,3. Vgl. Anhang E)

Für IGEO=1,2:

(DX(JX), JX=1, NX-1)

Schrittweiten in X(θ)-Richtung

Für IGEO=3:

DX konstante Schrittweite in der Δ-Ebene.

$\sqrt{3} \left(\frac{DX}{2}\right)^2$ Fläche eines Gitterdreiecks

$\frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{DX}{2}\right)^2$ Drittelfläche des Dreiecks

Für IGEO=1,2

(DY(JY), JY=1, NY-1)

Schrittweiten in Y(R)-Richtung

(Bei IGEO=2 nach fallenden Radien geordnet)

Für IGEO = 1,2,3

(DZ(JZ), JZ=1, NZ-1)

Schrittweiten in axialer Richtung

Für IGEO=2:

(R(IY), IY=1, NY-1)

Radien, beginnend mit dem größten Radius,
nach fallender Größe geordnet

(Der kleinste Radius R_{MIN} kann bestimmt werden
als $R_{\text{MIN}} = R(\text{NY}-1) - \text{DY}(\text{NY}-1)$, dabei gilt stets:

$R_{\text{MIN}} > 0.$)

$NX \equiv N$
 $NY \equiv M$

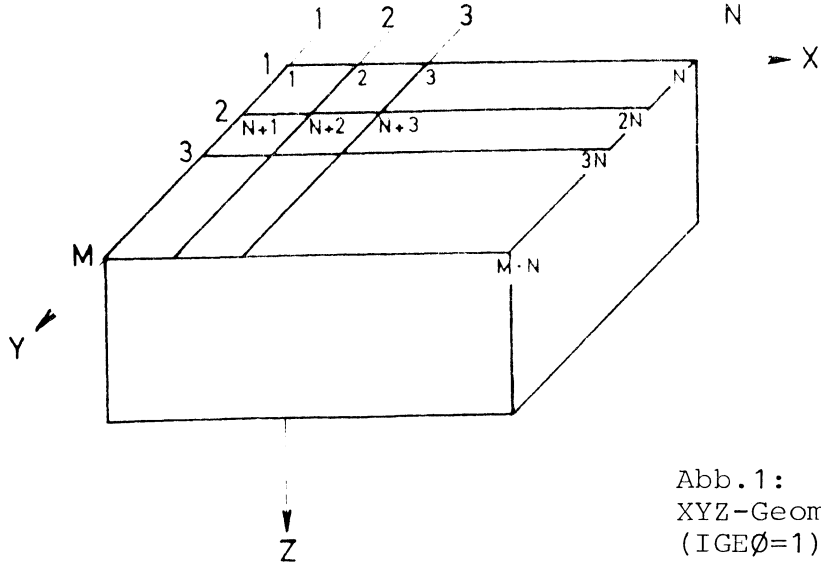


Abb.1:
 XYZ-Geometrie
 (IGE \emptyset =1)

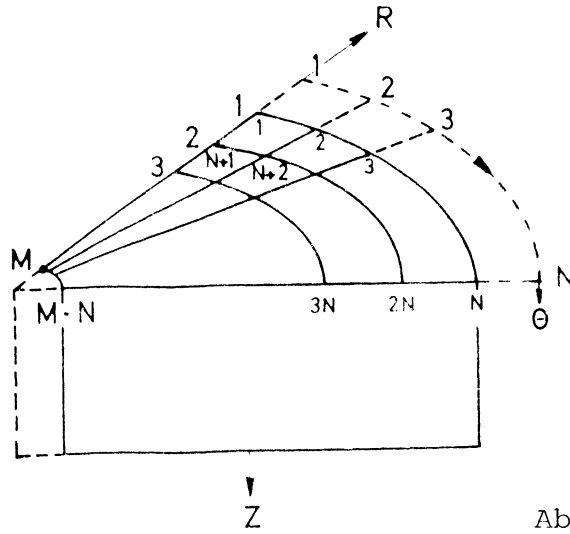


Abb.2:
 θ RZ-Geometrie
 (IGE \emptyset =2)

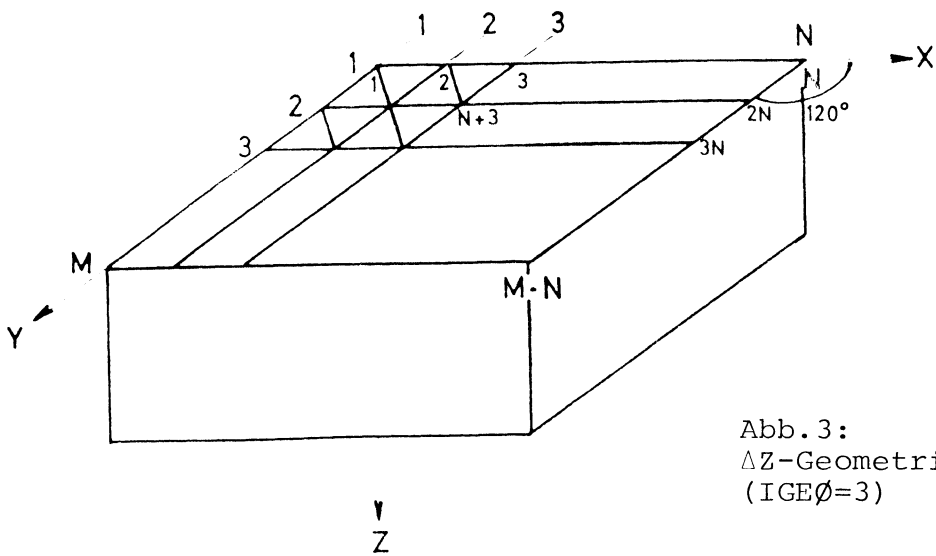


Abb.3:
 Δ Z-Geometrie
 (IGE \emptyset =3)

II.2 VERT-Block

Name: 'VERT_____'

Erzeugung:

- 1.Form: Die Programme KASY, D3E, D3D/AUPRCL erzeugen einen VERT-Block als Mischungsverteilung (vgl. Inhalt,Struktur)
- 2.Form: Der Benutzer kann eine solche Mischungsverteilung in eine Zonenverteilung umwandeln und als VERT-Block bereitstellen. (Vgl. Inhalt,Struktur)
- 3.Form: AUDI3 kann benutzt werden, um eine Mischungsverteilung in eine "normale" Zonenverteilung umzuwandeln. Diese Transformation des VERT-Blocks erfordert keinen vorangehenden AUDI3-Aufruf, sondern kann in dem aktuellen Aufruf vorgenommen werden (Vgl. Inhalt, Struktur. Vgl. Teil VI: Subroutine MIXZON)

Inhalt:

Der Inhalt des VERT-Blocks ist entweder eine Mischungsverteilung oder eine Zonenverteilung

Mischungsverteilung:

Beschreibung der Verteilung der Mischungen (vgl. II.3:SIGMN-Block) auf die von den Gitterpunkten (vgl.II.1 KNTR-Block) aufgespannten Maschen, indem jede Masche als Maschenkennziffer MK die Nummer M erhält, welche die entsprechende Mischung im SIGMN-Block hat.

$$MK = M$$

Die Vereinigung aller Maschen mit $MK = M$ bildet den Mischungsbereich M. (Wie schon bemerkt, stellen die o.g. Programme KASY, D3E, D3D/AUPRCL stets den VERT-Block als Mischungsverteilung bereit).

Zonenverteilung:

Wahlweise kann (neben der Verteilung der Mischungen) zugleich eine Aufgliederung der Mischungsbereiche (s.o) in Zonen beschrieben werden. (Eine Zone ist also immer ein Teilbereich eines Mischungsbereichs M.) Durch eine solche Aufgliederung der Mischungsbereiche wird ermöglicht,

daß bei den Auswertungen III.A,B,F,G als Integrationsbereiche der standardmäßigen Oberflächen- und Volumenintegration neben den Mischungsbereichen auch die Zonen genommen werden können.

(Neben dieser standardmäßigen Festlegung der Integrationsbereiche hat der Benutzer andere Möglichkeiten über die KSIOX-Eingabe: Vgl. Teil IIIA, IIIB. Vgl. Teil IV K2: NSTR; K76ff)

Zur Beschreibung der Zonenverteilung enthält die Maschenkennziffer MK (neben der Mischungsnummer M) zugleich die Nummer N derjenigen Zone, zu der die Masche gehören soll:

$$MK = M*10^{**}L+N \quad (\text{Vgl. Struktur})$$

Die Zonen jedes Mischungsbereichs (M) erhalten, jeweils bei 1 beginnend, fortlaufende Zonenindizes (N). L ist die Dezimalstellenzahl des (unabhängig von M) größten vorkommenden Zonenindex N. Auch ein nicht in verschiedene Zonen aufgegliederter Mischungsbereich erhält dabei einen Zonenindex : N=1.

Für Gestalt und Reihenfolge der Zonen ist keine Regel vorgeschrieben; insbesondere braucht eine Zone eines Mischungsbereichs (ebenso wie dieser selbst) nicht zusammenhängend zu sein. In der "normalen" Zonenverteilung jedoch (vgl. Erzeugung 3.Form) sind die Zonen die räumlich zusammenhängenden Teile des jeweiligen Mischungsbereiches, und die Zonenindizes geben für jeden Mischungsbereich die Reihenfolge des Auftretens seiner Zonen, wenn die Konfiguration der Maschen des Systems zunächst in X(0)-, dann in Y(R)- zuletzt in Z-Richtung durchlaufen wird (vgl. schematisches Beispiel).

Hinweis(für 3.Form des VERT-Blocks):

Soll AUDI3 die "normale" Zonenverteilung erzeugen (IZON=2), stellt aber fest, daß jeder Mischungsbereich für sich ein einziges räumlich zusammenhängendes Gebiet bildet, wird dieser Sachverhalt Block-intern (vgl.Struktur) und in der AUDI3-Druckausgabe vermerkt. Der VERT-Block wird im übrigen als Mischungsverteilung belassen (d.h. mit Maschenkennziffern $MK = M$. Vgl. Mischungsverteilung).

Wichtiger Hinweis:

Durch $MK \leq 0$ wird angezeigt, daß eine Masche nicht zum Reaktorsystem gehört (vgl. II.1).

Struktur

Zur Beschreibung der Struktur des VERT-Blocks (Mischungs- oder Zonenverteilung) denke man sich das gesamte Reaktorgebiet¹⁾ in Schichten zerlegt, das sind die zwischen zwei benachbarten Z-Ebenen liegenden Bereiche.

Zwei oder mehr benachbarte Schichten, die hinsichtlich ihrer horizontalen Mischungs- oder Zonenverteilung identisch sind, werden zu einer Platte zusammengefaßt: Die Maschen (der Schichten) einer Platte mit identischen X/Y-Intervallindizes (vgl. KNTR-Block, vgl. Anhang E) haben also identische Maschenkennziffern und bilden eine Säule der Mischungs- oder Zonenverteilung.

Eine Schicht, die nicht auf diese Weise mit benachbarten Schichten zusammengefaßt werden kann, bildet allein eine Platte.

Das Reaktorgebiet¹⁾ zerfällt somit in $IPL \leq NZ-1$ Platten; eine Platte besteht aus einer Anzahl von Säulen; diese Anzahl ist bei
IGEO=1,2 : $(NX-1) * (NY-1)$, bei
IGEO=3 : $(NX-1) * (NY-1) * 2$.

(Vgl. KNTR-Block)

Alle Maschen einer Säule gehören damit notwendig zum selben Mischungs- bereich oder zur selben Zone (eines Mischungsbereiches).

Der VERT-Block gliedert sich dementsprechend in folgender Weise:

1. Satz mit IPL-Daten:

$(IZ(I), I=1, IPL-1), KMZ$

IZ sind die Punktindizes zur Z-Richtung, die die Grenzebenen zwischen den IPL Platten spezifizieren, nach ansteigendem Index geordnet.

(Die IZ entfallen, wenn nur eine Platte existiert!)

KMZ gibt an, obin dem VERT-Block eine Mischungsverteilung oder eine Zonenverteilung gespeichert ist.

1) Anmerkung:

Genauer, das durch die Mischungsverteilung beschriebene Gebiet; es können systemfremde Maschen einbezogen sein mit Maschenkennziffern $MK \leq 0$ (Vgl. KNTR-Block)

KMZ = NZ > 0 besagt: Mischungsverteilung

KMZ=-10**L (mit $L \geq 1$; Dezimalstellenzahl; s.o. Inhalt)
besagt: Zonenverteilung

KMZ = -1 (mit $L = 0$ gilt $-10 **L = -1$)

besagt: Mischungsverteilung, die nur aus räumlich zusammenhängenden Mischungsbereichen besteht (s.o. Inhalt, spez. Hinweis).
Bei KMZ = -1 wird AUDI3 den erneuten Befehl,
die Mischungsverteilung in eine "normale"
Zonenverteilung umzuwandeln, nicht ausführen
und eine entsprechende Nachricht ausdrucken.

In der durch den 1. Satz gegebenen Reihenfolge folgt für jede Platte ein weiterer Satz mit den Maschenkennziffern MK für die (Maschen der) einzelnen Säulen der Platte (s.o. Inhalt).

$MK \leq 0$ besagt, daß die entsprechende Säule nicht zum Reaktorgebiet gehört.

2. Satz (und IPL-1 folgende Sätze):

((MK(JK,JY), JX=1, NX1), JY=1, NY-1)

mit $NX1 = \begin{cases} NX-1 & \text{für IGEO}=1,2 \\ (NX-1)*2 & \text{für IGEO}=3 \end{cases}$

Genauer:

Für IGEO=1,2 wird durch ein Paar von Intervallindizes JX,JY eine Säule einer Platte festgelegt.

Die Position L der entsprechenden Kennziffer im Satz ist:

$$MK(JX,JY) \rightarrow L = JX + (JY-1) * (NX-1)$$

Für IGEO=3 wird durch JX,JY ein Paar von Säulen der Platte (entsprechend einem Parallelogramm in der Δ -Ebene) festgelegt.

Die Positionen der entsprechenden Kennziffern im Satz sind:

$$MK(JX*2-1, JY) \rightarrow L = JX*2-1 + (JY-1) * (NX-1) * 2$$

$$MK(JX*2, JY) \rightarrow L+1 = JX*2 + (JY-1) * (NX-1) * 2$$

* D.h. falls der so strukturierte Block in einem weiteren AUDI3-Lauf benutzt und dabei wieder IGEO=2 gesetzt wird.

Bemerkung zum Gebrauch des Begriffs "Unterteilung in Zonen":
Einerseits werden auch die (Mischungs)bereiche einer
Mischungsverteilung als Zonen bezeichnet.

Andererseits gilt ein (Mischungs)bereich einer Mischungs-
verteilung auch dann als nicht unterteilt, wenn er in
verschiedene räumlich zusammenhängende Teile zerfällt.

Im schematischen Beispiel der Abbildung 4 ist das Gebiet
einer Mischung schraffiert und die Indizierung der 6 Zonen
dieser Mischung vorgeführt (nur die Zone 4 umfaßt mehr als
1 Elementarvolumen, d.h. kein Elementarvolumen der Mischung
ist "verdeckt". Zu beachten ist, daß die Zonen 1,3,5 unter-
schieden werden, obwohl sie Kanten von Volumenelementen
gemeinsam haben.

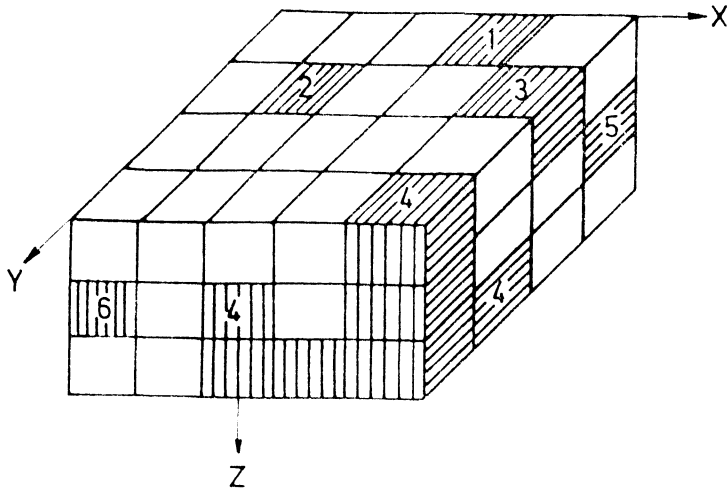


Abb. 4

Handwritten notes:
1. 4. Auf
...
Mischungen → Platte
H. Platte / $vx = 1$

Handwritten notes:
↓
...
(...)

II . 3 SIGMN-Block

Name: 'SIGMN_____'

Erzeugung:

Der SIGMN-Block wird durch das Programm GRUCAL erzeugt (vgl. /5/). I.a. wird bei einer Flußauswertung durch AUDI3 der gleiche SIGMN-Block benutzt, wie bei der Flußerzeugung durch die Programme D3D, D3E und KASY.

Der einer AUDI3-Auswertungsrechnung zugeführte SIGMN-Block muß jedoch nicht mit diesem "Original" identisch sein, sondern sein Inhalt könnte z.B. um spezielle Reaktionstypen zur Berechnung spezieller Reaktionsraten oder um einige Mischungen zur Verwendung als Störmischungen in einer Störungsrechnung erweitert sein.

Der Benutzer muß gewährleisten, daß im übrigen der Inhalt mit dem Original konsistent ist, vor allem für die im VERT-Block auftretenden Mischungen.

AUDI3 prüft vom SIGMN-Block nur die Energiegruppenzahl NGSI (es muß sein $NGSI=NGP$, vgl. II.1) und die Mischungszahl NMSI (es muß sein $NMSI \geq NM$, vgl. II.1)

Inhalt:

Makroskopische Energiegruppenkonstanten wie Gruppen-Wirkungsquerschnitte, Spaltspektren (vgl. /5/; Bezeichnung vgl. Anhang D)

Struktur:

(Vgl. /5/)

II. 4 FLUX3DIM-Block

Name: 'FLUX3DIM_-----'

Erzeugung:

Programme KASY, D3E,D3D/AUPRCL.

Inhalt:

Energiegruppenabhängige Neutronenflußdichte ϕ ($/\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}/$, vgl. Legende) für die Gitterpunkte ("mesh-edged") des Systems.

Struktur:

Für jede Energiegruppe (nach aufsteigendem Gruppenindex, d.h. fallender Energie, geordnet) NZ Sätze mit den Flußdichten FD für die Gitterpunkte jeweils einer Z-Ebene (nach aufsteigendem Punktindex der Z-Richtung geordnet):

((FD(IX,IY),IX=1,NX)IY=1,NY)

Bei IGEO=3 sind wieder alle Gitterpunkte eines vollen Parallelogramms einbezogen (vgl.II.1)

Z.Zt. haben systemfremde Gitterpunkte ggf. den Wert FD=0. Dies ist für die AUDI3-Auswertung jedoch irrelevant: AUDI3 erkennt systemfremde Punkte aufgrund der Informationen aus dem KNTR-Block (II.1) und dem VERT-Block (II.2)

II. 5 FLUA3DIM-Block

Name: 'FLUA3DIM_-----'

Erzeugung:

Programme KASY, D3E, D3D/AUPRCL.

Inhalt:

Energiegruppenabhängige Neutronenimportanz ϕ^+ (vgl. Anhang A bis C)
für die Gitterpunkte des ("mesh-edged") Systems.

Struktur:

Entspricht der Struktur des FLUX3DIM-Blocks.

Teil III Möglichkeiten der Auswertung in AUDI3

III.A Volumenintegration und Volumenmittelwerte

Eingabe: K3 bis K11

Routinen : MIXZON, VOLUME, FLINT, RATEN.

Die zu integrierende Funktion f ist die Neutronenflußdichte ($f=\phi$) bzw. eine Reaktionsratendichte ($f=\phi \cdot \Sigma$ vgl. Legende)

Integral I und Mittelwert \bar{I} stehen dabei in der Beziehung:

$$\bar{I}(B) = I(B)/|B| \text{ mit } I(B) = \int_B f dV$$

$$|B| = \int_B 1 dV$$

Der Integrationsbereich B ist "Standardbereich" oder "Spezialbereich": Standardbereiche sind durch den VERT-Block definiert (vgl. II.2, vgl. IZON, IV, K2):

Bei Vorliegen einer Mischungsverteilung sind es die Mischungsbereiche M und der Gesamtbereich R (IZON = +1).

Bei Vorliegen einer Zonenverteilung kommen die Zonen (echte oder unechte Teilgebiete von Mischungsbereichen) als Standardbereiche hinzu (IZON=2). Spezialbereiche sind vom Benutzer in der Karteneingabe zu spezifizieren (Vgl. IV.K2: IPRI und NSTR). Sie werden in Abschnitt III.E. (vgl. E1 Bestimmung integraler Störungskoeffizienten) als "integrale Störzonen" beschrieben und sind ebenfalls echte oder unechte Teilgebiete von Mischungsbereichen. Jedoch sind die verschiedenen Spezialbereiche alle disjunkt (überschneidungsfrei).

Bei Durchführung der Volumenintegration in AUDI3 werden stets die Standardbereiche (nach Maßgabe von IZON) als Integrationsbereiche verwendet. Bei Spezifizierung der Spezialbereiche kommen diese als Integrationsbereiche hinzu.

Die Neutronenflußdichte ϕ ist als Lösung der homogenen stationären Diffusionsgleichung nur bis auf einen Normierungsfaktor F bestimmt, für dessen Festlegung in AUDI3 verschiedene Möglichkeiten bestehen (A.1). Dieser Umstand ist auch bei der Interpretation der in A.2 bis A.5 beschriebenen Größen zu beachten.

III. A.1 Normierung der Neutronenflußdichte

- a. Normierung auf eine bestimmte Reaktionsrate c_1/s^{-1} /eines bestimmten Reaktionstyps α in einem bestimmten Reaktorgebiet T , welches sich aus Mischungsbereichen M (vgl. oben: Standardbereiche) zusammensetzt. D.h. für den (um)normierten Fluß $\phi^N = F \cdot \phi$ gilt die Gleichung (mit Σ^α als Wirkungsquerschnitt für die Neutronenreaktion)

$$\sum_g \int_T \phi_g^N \Sigma_g^\alpha dV = c_1$$

Der normierte Fluß ϕ^N geht also aus ϕ hervor durch Multiplikation mit

$$F = \frac{c_1}{I_\alpha} \quad I_\alpha = \sum_g \int_T \phi_g \Sigma_g^\alpha dV$$

c_1 Eingabegröße

- b. Normierung auf eine bestimmte Leistung $c_1/MW/in T$ (T wie in a.) bei Annahme einer mittleren Energie pro Spaltung von $c_2 /MeV/$ (Mittelung über die Spaltung auslösenden Neutronen aller Energiegruppen). D.h. für den normierten Fluß $\phi^N = F \cdot \phi$ gilt die Gleichung (mit Σ^f als Wirkungsquerschnitt für die Spaltreaktion):

$$\sum_g \int_T \phi_g^N \Sigma_g^f \cdot \frac{c_2}{E_0} dV = c_1 \quad (E_0 MeV = 1 \text{ MWS})$$

Der normierte Fluß ϕ^N geht also aus ϕ hervor durch Multiplikation mit

$$F = \frac{c_1 \cdot E_0}{I_f \cdot c_2} \quad I_f = \sum_g \int_T \phi_g \Sigma_g^f dV$$

c_1, c_2 Eingabegrößen; $E_0 = 6.2420E18$ intern gespeichert.

Hinweis:

Eine Umnormierung $\phi^N = F \cdot \phi$ nach A.1 läßt für A.2 bis A.5 die Wahl von ϕ^N oder ϕ offen (vgl. NGBL, IV.K2).

III. A.2 Flußdichteintegrale /cm s⁻¹/

Die Flußdichteintegrale werden für alle Einzelgruppen und die Gruppensumme bestimmt.

$$F_{B,g} = \int_B \phi_g dV \quad F_B = \sum_{g=1}^G F_{B,g}$$

F_B ($F_{B,g}$) läßt sich interpretieren als der von den in B vorkommenden Neutronen (der Energiegruppe g) pro Zeiteinheit /s/ zurückgelegte Gesamtweg/cm/.

Der Mittelwert \bar{F}_B ($\bar{F}_{B,g}$) ist dann der entsprechende Gesamtweg aller im Einheitsvolumen vorkommenden Neutronen (der Energiegruppe g), gemittelt über "alle Lagen" des Einheitsvolumens in B.

III. A.3 Reaktionsraten /s⁻¹/

Durch Multiplikationen der Neutronenflußdichte ϕ mit dem makroskopischen Wirkungsquerschnitt Σ^α für einen bestimmten Typ α von Neutronenreaktionen mit den Kernen des Reaktormaterials (Mischung), erhält man die entsprechende Reaktionsratendichte /cm⁻³s⁻¹/.

Auch die Integrale dieser Dichte werden für alle Einzelgruppen und die Gruppensumme bestimmt:

$$R_{B,g}^\alpha = \int_B \phi_g \Sigma_g^\alpha dV \quad R_B^\alpha = \sum_{g=1}^G R_{B,g}^\alpha$$

Als Reaktionstypen sind Streutypen nicht zugelassen.

Da Σ in den Integrationsbereichen B stets konstant ist, gilt:

$$R_{B,g}^\alpha = \Sigma_g^\alpha \cdot F_{B,g} \quad R_B^\alpha = \sum_{g=1}^G \Sigma_g^\alpha \cdot F_{B,g}$$

R_B^α ($R_{B,g}^\alpha$) läßt sich interpretieren als Gesamtzahl der Reaktionen (vom Typ α) aller im Gebiet B vorkommenden Neutronen (der Energiegruppe g) mit den Kernen des Materials (in B) pro Zeiteinheit /s/.

III. A.4 Ratensummen

Eingabe: K140, S29.

Routine: RASEN

Eine Ratensumme (kurz RS) wird gebildet als Linearkombination (bestimmter Summen) von Raten $R_{B,g}^\alpha$ für Standardbereiche B; (nicht für Spezialbereiche! Vgl. R^α in A.3)

$$RS_{\zeta,\gamma} = \sum_{\alpha=1}^{NRN} c_\alpha \left(\sum_{B \in \zeta} \sum_{g \in \gamma} R_{B,g}^\alpha \right)$$

α symbolisiert bestimmten Reaktionstyp (mit zugehörigen Σ^α).

Die c_α sind beliebige Konstanten.

Hinweis:

Durch den Spezialfall $NRN=1, c_1=1$ lassen sich die Reaktionsraten als Ratensummen einführen. Vgl. III. A.5

Zur Erklärung von ζ und γ :

Eine Ratensumme ist (anders als $R^\alpha = (R_{B,g}^\alpha)$ in III. A.3) nicht unmittelbar für bestimmte Volumen- und Energiebereiche (Standardbereiche B und Energiegruppen $g \in \{1, \dots, G\}$) gegeben. Vielmehr muß durch die Eingabe (s.o) ein für alle Ratensummen gleichzeitig gültiges Schema von Z-Summen (ζ) und G-Summen ($\gamma = g_1 g_2$) definiert werden:

Eine Z-Summe ist ein einzelner Standardbereich B oder eine beliebige "Summe" mehrerer Standardbereiche ("eigentliche" Z-Summe).

Im Beispiel von A.3 ist auch die Summenbildung aus M_1 und (der Teilmenge) Z_{11} zugelassen (d.h. keine Fehlermeldung). Der Mischungsbereich M_1 wird als Ergebnis genommen .

Die Spezifizierung einer Einzelzone als Z-Summe erfolgt durch Angaben eines Mischungsindex (NRM) und eines Zonenindex (NRZ), die sich auf die durch den VERT-Block gegebene Struktur beziehen.

(Liegt eine Mischungsverteilung vor, also keine Zonenindizes im VERT-Block, so ist dennoch NRZ=1 zu setzen)

Beide Angaben werden in einem Parameter MZ verschlüsselt:

$$MZ = NRM*10**NZF+NRZ$$

NZF muß so gewählt sein, daß für alle möglichen NRZ gilt:

$$10**NZF > NRZ.$$

Mit NZF=2 bedeutet MZ=1203:

Zone 3 zum Mischungsgebiet 12. (Vgl. IV. K20).

Die Spezifizierung einer eigentlichen Z-Summe geschieht durch explizite Aufzählung von Einzelzonen. MZ in der obigen Form.

Dabei kann jedoch anders als oben gesetzt werden:

NRZ=0 : MZ bedeutet das Mischungsgebiet NRM

MZ < 0 : MZ bedeutet das gesamte Reaktorgebiet

Die Aufzählung braucht nur ein MZ zu enthalten.

(Vgl. IV : K22 bis K24).

Eine G-Summe ist eine einzelne Energiegruppe ($\gamma = g_1 g_2$ mit $g_1 = g_2 = g$) oder die "Summe" mehrerer benachbarter Energiegruppen ("eigentliche" G-Summe).

$$(\gamma = g_1 g_2 \text{ mit } 1 \leq g_1 < g_2 \leq G)$$

Die Reihenfolgen von Z-Summen und G-Summen werden durch die Eingabe festgelegt und jeweils von den als Einzelbereiche definierten "Summen" angeführt.

Die Z-Summen- bzw. G-Summen werden mit den durch diese Reihenfolgen gegebenen Zahlen indiziert:

Die Indizes für Z- bzw. G-Summen werden mit ZS bzw. GS bezeichnet:

$$\begin{array}{ll} 1 \leq ZS \leq MZS & \text{Maximale Indizes.} \\ 1 \leq GS \leq MGS & \end{array}$$

Durch vereinfachte Eingabe (s.o) kann das für die Raten (vgl. III.A.3) definierte Schema der Standardbereiche und Einzelgruppen für die Ratensummen übernommen werden.

Zusammenfassung:

Die Bildung von Ratensummen gibt die Möglichkeit, für die Raten zusätzlich zu den (oder anstelle der) alten Energie- und Volumenbereiche neue "zusammengesetzte" Bereiche einzuführen. ("G-Summen" und "Z-Summen") Zugleich können als Linearkombinationen der alten Raten (zu Reaktionstypen, die im SIGMN-Block berücksichtigt sind) neue Raten eingeführt werden.

(z.B. Absorption = Capture + Fission)

III. A.5 Ratenkombinationen

Eingabe: IV. K320 bis S42

Routine: RTKOMB

1. Eine Ratenkombination RK entsteht durch arithmetische Verknüpfung (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) von zwei Ratensummen RS^1 und RS^2 . Symbolisch:

$$RK = RS^1 \oplus RS^2.$$

\oplus symbolisiert einen der arithmetischen Operatoren +, -, *, /

Hinweis:

RS^2 kann mit RS^1 identisch sein.

In einem Sonderfall der Kombination von Ratensummen $RK=RS^1 \oplus RS^2$ wird von deren Vektorstruktur (Komponenten mit (einfachem) Z-Summen- und (einfachem) G-Summen-Index) Gebrauch gemacht, indem jeweils die Komponenten von RS^1 und RS^2 mit paarweise identischem Index zu Komponenten der RK arithm. verknüpft werden, sodaß diese durch die nämlichen Paare (einfacher Indizes) indiziert werden können. (Vgl. IV, K37; $NGK=NZK=0$; vgl. Beispiel unter 2.)

Andere Sonderfälle verknüpfen jeweils die Komponenten aller Z-Summen und/oder aller G-Summen miteinander u.ä. (Vgl. IV K37: $NGK<0, NZK<0$).

Im allgemeinen wird eine Ratenkombination RK (unabhängig von anderen Ratenkombinationen) für bestimmte zu spezifizierende G-Kombinationen GK und Z-Kombinationen ZK erzeugt:

$$GK = (GS^1, GS^2) ; GS^i \text{ bestimmte G-Summe von } RS^i \text{ (i=1,2)}$$

$$ZK = (ZS^1, ZS^2) ; ZS^i \text{ bestimmte Z-Summe von } RS^i \text{ (i=1,2)}$$

(Vgl. IV K37: $NGK>0, NZK>0$)

Die durch das ("nichteinfache") Indexpaar (ZK, GK) indizierte Komponente von

$$RK = RS^1 \oplus RS^2$$

entsteht durch die arithmetische Verknüpfung \oplus der durch (GS^1, ZS^1) indizierten Komponente von RS^1 mit der durch (GS^2, ZS^2) indizierten Komponente von RS^2 .

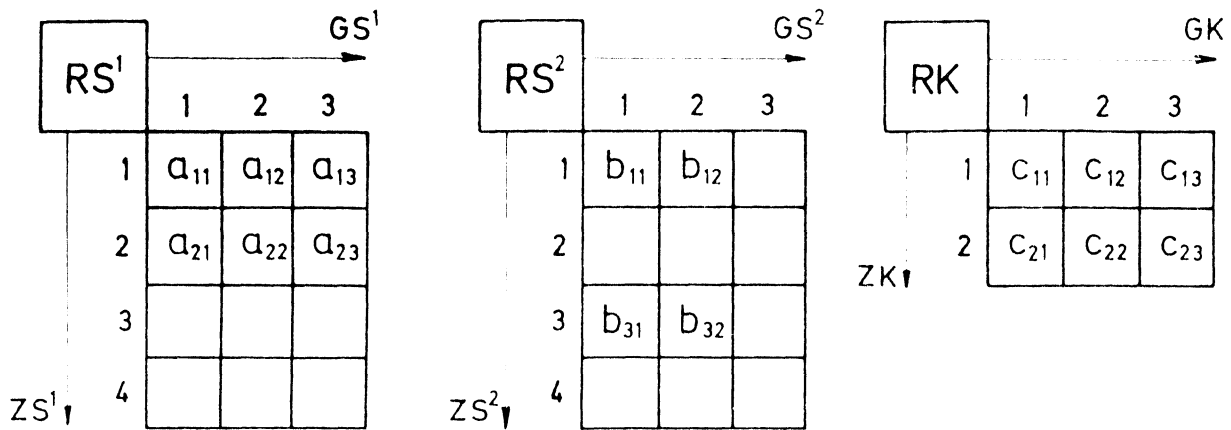
Zum Zweck der Indizierung der Komponenten von RK durch "einfache" Indexpaare erhalten die Z-Kombinationen (ZK) und die G-Kombinationen (GK) die jeweils durch die Reihenfolge ihrer Spezifizierung (Eingabe) gegebenen Nummern. Die Maximalindizes werden mit MZK (ZK) und MGK (GK) bezeichnet.

Beim Ausdruck der Ratenkombinationen werden diese Nummern zusammen mit den durch sie jeweils bezeichneten Z-Kombinationen und G-Kombinationen dargestellt (vgl. das folgende Beispiel).

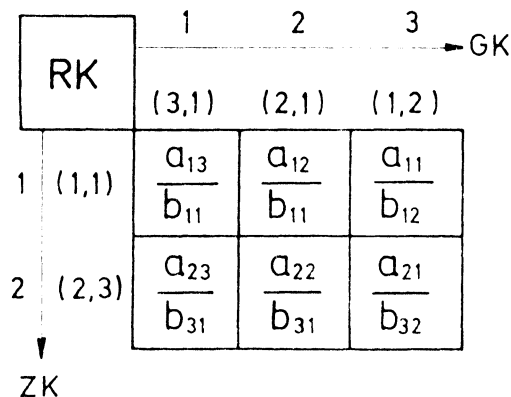
Für die Weiterverwendung der Ratenkombinationen als Operand weiterer Ratenkombinationen ist allein auf diese Nummern Bezug zu nehmen (Vgl. A.5.2)

Ein Beispiel soll die Bildung einer Ratenkombination aus Ratensummen verdeutlichen (Division $a/b=c$)

Die Ratensummen, darunter $RS^1(a)$, $RS^2(b)$, seien für 4 Z-Summen (MZS=4) und 3 G-Summen (MGS=3) gegeben. Die Ratenkombination $RK=RS^1/RS^2(c)$ wird für die beiden Z-Kombinationen (1,1) und (2,3) (MZK=2) sowie für die drei G-Kombinationen (3,1), (2,1) und (1,2) (MGK=3) erklärt:

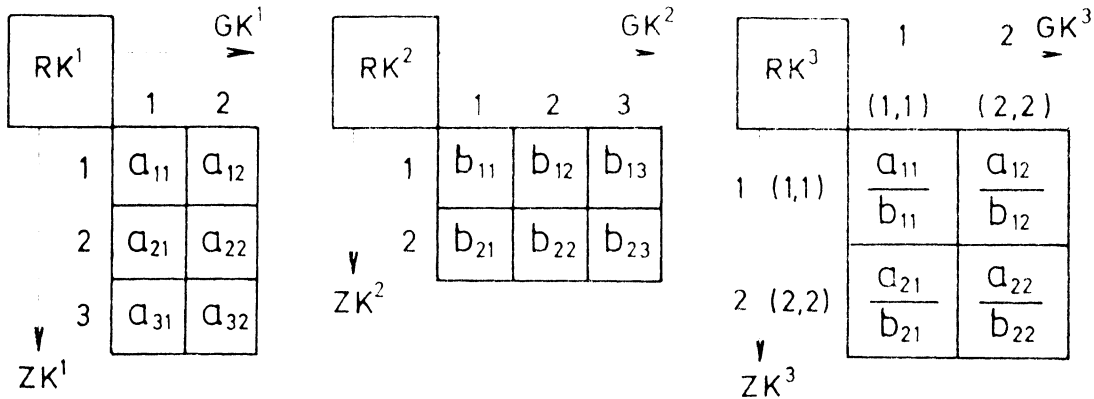


Ausführlicher dargestellt hat RK die folgende Struktur:



2. Sind bereits eine (oder mehrere) Ratenkombinationen definiert, so kann man diese, ebenso wie anfänglich nur die Ratensummen als Operanden weiterer Ratenkombinationen verwenden. Die Z-Kombinationen bzw. G-Kombinationen (einer Ratenkombination) bilden dann mit den Z-Kombinationen bzw. G-Kombinationen einer anderen RK oder mit den Z-Summen bzw. G-Summen einer Ratensumme die (neuen) Z-Kombinationen bzw. G-Kombinationen der neu zu definierenden Ratenkombination. Hierdurch wird insbesondere die Bildung von Ratenkombinationen aus Operanden mit unterschiedlicher Vektorstruktur (Matrizen unterschiedlicher Zeilen- und/oder Spaltenzahl) zugelassen. Der Sonderfall mit arithmetischer Verknüpfung der "gleichnamigen" Komponenten (vgl. IV. K37: $NGK=0$, $NZK=0$) führt dann zu einer entsprechend "reduzierten" Ratenkombination, wie aus folgendem Beispiel ersichtlich ist:

RK^3 werde aus $RK^1(a)$ und $RK^2(b)$ durch Division gebildet.



Die Anzahl der Z-Kombinationen von RK^3 ist gleich der kleineren der Anzahlen der Z-Kombinationen der beiden Operanden RK^1, RK^2 . Für die Anzahl der G-Kombinationen gilt das Entsprechende.

3. Der 1. (linke) Operand einer Ratenkombination kann eine Konstante sein.

Eine "Z-Kombination" bzw. "G-Kombination" einer solchen "Ratenkombination" ist zu verstehen als Z-Summe oder Z-Kombination bzw. G-Summe oder G-Kombination des 2. (rechten) Operanden, der eine Ratensumme ist oder eine Ratenkombination.

Im Falle NGK>0 (vgl. IV. K37, K39) müssen die Größen NG1 zwar angegeben werden, haben jedoch keine Bedeutung und werden im Ausdruck der Ratenkombination mit Null bezeichnet.

Im Falle NZK>0 (vgl. IV, K37, K41) gilt für die Größen NZ1 das Entsprechende.

Zusammenfassung:

Ratenkombinationen können nur aus Ratensummen oder aus anderen (bereits definierten) Ratenkombinationen gebildet werden; nicht aus Raten (III.A.3) die jedoch leicht als Ratensummen eingeführt werden können (III.A.4)

Die Verknüpfungen können in beliebiger Weise erfolgen:

beliebige Z-Kombinationen und G-Kombinationen; als Verknüpfungsoperation sind neben Addition (ohne Linearfaktoren) auch Multiplikation und Division zugelassen.

Bei Ratensummen können nur Z(onen)-Terme und G(ruppen)-Terme mit gleichem Index verknüpft werden; als Verknüpfungsoperation steht allein die Linearkombination (d.h. Addition mit Linearfaktoren) zur Verfügung, allerdings auch für einen einzelnen oder mehr als zwei Operanden (Raten).

Anwendungsbeispiele für Raten-Ratensummen-Ratenkombinationen sind Fluenzen, Ratenverhältnisse, etc.

Das Beispiel einer Brutratenberechnung sei hier skizziert:

$$BR = \frac{C_8 + C_0}{A_5 + A_9 + A_1}$$

C,F bedeuten:

$$\int_B \Sigma \text{capt} \phi \, dV, \quad \int_B \Sigma \text{fiss} \phi \, dV; \quad A=C+F$$

Die Indizes 8,0, 5, 9, 1 beziehen sich auf die Isotope:

U²³⁸, Pu²⁴⁰, U²³⁵, Pu²³⁹, Pu²⁴¹.

(Die entsprechenden isotopenabhängigen Wirkungsquerschnitte müssen im SIGMN-Block enthalten sein).

Die Größen C,F werden zunächst zonen- und energiegruppenabhängig als Reaktionsraten erzeugt (III.A.3).

Dann werden zwei Ratensummen RS^1 und RS^2 gebildet (III.A.4):

$$RS^1 = 1 \cdot C_8 + 1 \cdot C_0, \quad RS^2 = 1 \cdot C_5 + 1 \cdot F_5 + 1 \cdot C_9 + 1 \cdot F_9 + 1 \cdot C_1 + 1 \cdot F_1$$

Als Z-Summen werden erklärt:

Gesamtvolumen (R) und andere interessierende Bereiche.

Als (einzige) G-Summe wird der gesamte Energiebereich gewählt.

Endlich wird aus den Ratensummen RS^1 und RS^2 die Ratenkombination $BR = RS^1/RS^2$ gebildet, indem jede Z-Summe von RS^1 jeweils mit der Z-Summe "Gesamtvolumen" kombiniert wird. (Z-Kombinationen).

Die einzige G-Kombination entsteht durch die Verknüpfung der einzigen G-Summe (RS^1 : Gesamter Energiebereich) mit sich selbst (RS^2 : Gesamter Energiebereich) .

Man erhält so die Brutrate für das gesamte Reaktorvolumen, und für die anderen interessierenden Bereiche.

III.B Leckage der Neutronen

Eingabe:K431 bis K434.

Routinen: XLEK,ZLEK

Die Leckage aus einem Volumenbereich B ("Leckage-Volumen") des Reaktors wird als Oberflächenintegral von $-D \cdot \text{grad}\phi$ berechnet (Vgl.Legende. F(B) Oberfläche von B, \vec{n} , Richtungsvektor der äußeren Normalen und df skalares Flächenelement von F(B))

Für die Energiegruppen ($g=1, \dots, G$) wird berechnet:

$$L_{B,g} = - \int_{F(B)} D_g (\text{grad}\phi_g \cdot \vec{n}) df = - \int_{F(B)} D_g \frac{\partial \phi}{\partial n}^g df$$

und für den gesamten Energiebereich :

$$L_B = \sum_g L_{B,g}$$

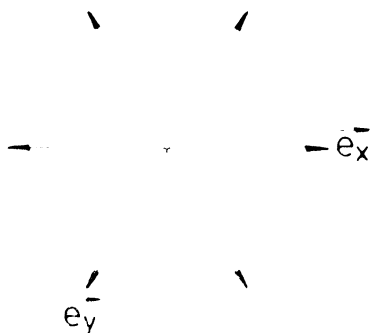
$$L_B < 0 \text{ bedeutet Zustrom von Neutronen: } \text{grad}\phi \cdot \vec{n} = \frac{\partial \phi}{\partial n} > 0$$

Als Leckage-Volumen sind zugelassen die in III.A. genannten Integrationsbereiche B. Alles was dort in Bezug auf die Durchführung der Volumenintegration für Standard- und Spezialbereiche gesagt wurde, gilt für die Oberflächenintegration entsprechend.

Anisotropie der Neutronenstreuung kann insoweit berücksichtigt werden, als für die axiale Richtung (Z) einerseits und die dazu orthogonalen Richtungen andererseits, verschiedene Diffusionskoeffizienten D verwendet werden dürfen (Eingabeoption).

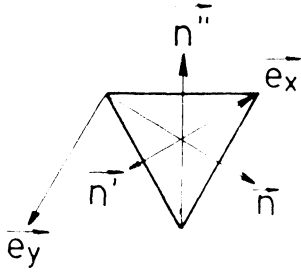
$(\text{grad}\phi \cdot \vec{n})$ wird auch Ableitung in Richtung von \vec{n} genannt und kurz mit $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ bezeichnet. (Vgl.Anhang E.2)

In Δ -Z-Geometrie hat man 6*4 Möglichkeiten zur Auswahl der Δ -Koordinaten:



die zur Beschreibung des Systems in AUDI3 verwendete ist durch die Basisvektoren \vec{e}_x, \vec{e}_y ($e^2=1$) in der 1. Skizze angezeigt. (Vgl. II.KNTR-Block, VERT-Block).

Für die Flächenelemente mit zur Z-Achse senkrechten Normalen, wie in der 2. Skizze $\vec{n}, \vec{n}', \vec{n}''$, gilt dann $(-\vec{n}, -\vec{n}', -\vec{n}'')$ ergibt sich durch Negation):



$$(\text{grad } \phi \cdot \vec{n}) = \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(2 \frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)$$

$$(\text{grad } \phi \cdot \vec{n}') = \frac{\partial \phi}{\partial n'} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)$$

$$(\text{grad } \phi \cdot \vec{n}'') = \frac{\partial \phi}{\partial n''} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(-\frac{\partial \phi}{\partial x} - 2 \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)$$

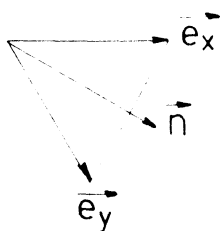
Denn bezüglich der speziellen Wahl der Δ -Koordinaten sind die kontravarianten Komponenten der Vektoren \vec{n} , \vec{n}' , \vec{n}'' :

$$\left(\frac{2}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, 0 \right), \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, 0 \right), \left(-\frac{1}{\sqrt{3}}, -\frac{2}{\sqrt{3}}, 0 \right)$$

Die kovarianten Komponenten des Gradienten sind stets:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y}, \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \quad (\text{Vgl. Anhang E.2})$$

Wegen der Invarianz des Skalarprodukts können jedoch, zum Zwecke einer einfachen und einheitlichen Darstellung, für jede Normalenrichtung \vec{n} , jeweils solche Koordinaten gewählt werden, für die gilt:



$$(n^2 = 1) \quad \vec{n} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\vec{e}_x + \vec{e}_y)$$

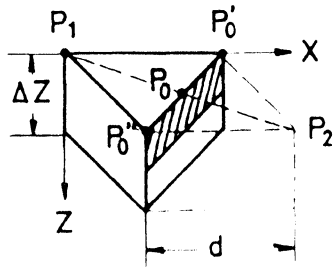
$$(\text{grad } \phi \cdot \vec{n}) = \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)$$

Für alle anderen Flächenelemente der zugelassenen Geometrien haben die Normalen \vec{n} die (posit. oder negat.) Richtung einer Koordinatenachse etwa z. Durch diese Wahl von \vec{n} in Koordinatenrichtung ist $(\text{grad } \phi \cdot \vec{n})$ also i.a. durch die partielle Ableitung von ϕ in dieser Richtung gegeben. Etwa $\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \phi}{\partial z}$ mit $\vec{n} = (0, 0, 1)$ ($|\vec{e}_z| = 1!$)

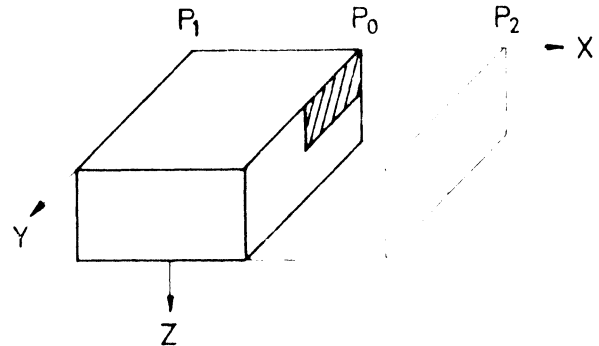
In $\Theta R Z$ -Geometrie gilt für die azimutale Richtung \vec{n} jedoch :

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{1}{R} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \quad \text{mit } \vec{n} = \left(\frac{1}{R}, 0, 0 \right) ; \quad (|\vec{e}_\theta| = R!)$$

Die Approximation von $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ erfolgt in allen Fällen durch 2-Punkt-Formeln (vgl. Anhang E.3)



$$\Delta F = \frac{1}{2} d \cdot \Delta Z$$



$$\Delta F = \frac{1}{2} \Delta Y \cdot \Delta Z$$

Die Skizzen zeigen die an der Oberfläche des Leckagevolumens liegenden Elementarvolumen (Vgl. Anhang E.1) für den Sonderfall der Δ -Koordinaten und stellvertretend für alle anderen Koordinaten den kartesischen Fall. Die zu betrachtenden Flächenelemente ΔF sind schraffiert. Die äußeren Normalen von ΔF haben die Richtung von P_1 nach P_2 .

Bei der Approximation werden nun zwei Fälle unterschieden:

- a) Ist auf der äußeren Seite von $\Delta F(P_2)$ die gleiche Mischung wie im Innern des (zum Leckagevolumen gehörigen) Elementarvolumens so wird $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ für ΔF approximiert durch den Differenzenquotienten zu P_1, P_2 .

Das bedeutet für die Leckage ΔL durch das Flächenelement ΔF :

$$\Delta L = -D \frac{\phi(P_2) - \phi(P_1)}{\overline{P_1 P_2}} \cdot \Delta F$$

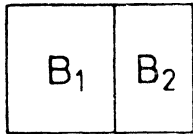
Für die "radialen" Richtungen der Δ -Z-Geometrie wird

$$\overline{P_1 P_2} = d \cdot \sqrt{3}$$

Für die azimutale Richtung der ΘRZ -Geometrie wird:

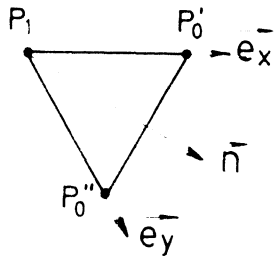
$$\overline{P_1 P_2} = |\theta(P_1) - \theta(P_2)| \cdot R \quad R = R(P_1) = R(P_2)$$

Dieses Vorgehen entspricht bei Äquidistanz von P_1 und P_2 zu ΔF (bei Δ -Koordinaten stets erfüllt, allgemein bei $\overline{P_1 P_0} = \overline{P_0 P_2}$) der Bildung des zentralen Differenzenquotienten für P_0 oder der Interpolation der Funktion ϕ entlang der Koordinatenrichtung durch ein Polynom 2. Grades mit den Stützpunkten P_1, P_0, P_2 . Der (durch Verwendung von 3-Punkt-Formeln vermeidbare) Fehler bei diesem Vorgehen wird in Kauf genommen, weil dieses Verfahren die physikalisch zu fordernde Additivität der Leckagewerte numerisch sicherstellt, falls ein zusammenhängendes Leckagevolumen B einheitlicher Mischung in Teilvolumina B_1, B_2 zerlegt wird:



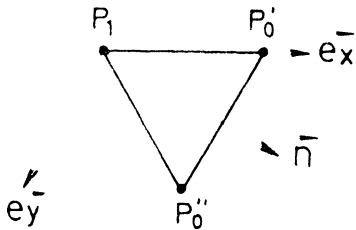
$$L_B = L_{B_1} + L_{B_2}$$

b) Liegt auf der äußeren Seite von ΔF keine Mischung vor oder eine andere Mischung als im Innern des Elementarvolumens, so wird in Δ -Z-Geometrie für die Flächenelemente ΔF mit "radialen" Normalenrichtungen von den Punkten P_0' und P_0'' Gebrauch gemacht:



$$\Delta L = -D \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{\phi(P_0') - \phi(P_1)}{d} + \frac{\phi(P_0'') - \phi(P_1)}{d} \right) \Delta F$$

In Bezug auf andere Δ -Koordinaten (vgl. oben) ergeben sich andere Ausdrücke, wie z.B.:



$$\Delta L = -D \frac{1}{\sqrt{3}} \left(2 \frac{\phi(P_0') - \phi(P_1)}{d} + \frac{\phi(P_0'') - \phi(P_0')}{d} \right) \Delta F$$

Alle lassen sich jedoch identisch umformen zu:

$$\Delta L = -D \frac{\frac{\phi(P'_0) + \phi(P''_0)}{2} - \phi(P_1)}{\frac{d\sqrt{3}}{2}} \Delta F$$

Dieser Formel kann z.B. auch das durch $\vec{e}_x = \vec{n}$ und $\vec{e}_y = \frac{\overrightarrow{P_0 P_1}}{d}$ definierte kartesische System zugrunde gelegt werden:
 $\frac{\phi(P'_0) + \phi(P''_0)}{2}$ ist der durch lineare Interpolation gewonnene Wert von ϕ im Punkt P_0 und $\frac{d\sqrt{3}}{2}$ der Abstand $\overline{P_0 P_1}$.

Für alle anderen Flächenelemente wird zur Approximation der Punkt P_0 anstelle von P_2 verwendet

$$\Delta L = -D \frac{\phi(P_0) - \phi(P_1)}{\overline{P_0 P_1}} \cdot \Delta F$$

III.C. Lokale Raten (Ratendichten /cm⁻³s⁻¹/)

Eingabe: K44 bis K50

Routinen: LRAT, LORA

C.1 Für die Punkte bestimmter Gebiete und für bestimmte Reaktionstypen α werden die lokalen Raten

- 1) energiegruppenabhängig
- 2) über alle Energiegruppen summiert

berechnet:

$$C.1.1 \quad r_{P,g}^{\alpha,m} = \phi_g(P) \cdot \Sigma_g^{\alpha,m}$$

$$C.1.2 \quad r_P^{\alpha,m} = \sum_g r_{P,g}^{\alpha,m}$$

(P bezeichnet einen Punkt, m eine Mischung, die in mindestens einem der den Punkt P umgebenden Elementarvolumina vorkommt)

C.2 Für alle in den oben genannten Gebieten verlaufenden axialen (Teil)traversen werden die Linienintegrale der Größen C.1.2 berechnet. Wahlweise können die Integrale dabei mit einem Renormierungsfaktor C_0 versehen werden, der unabhängig von den in III.A.1 gegebenen Möglichkeiten eingegeben werden kann,

$$g^{\alpha} = C_0 \int_{P_0}^{P_1} r_P^{\alpha,m} d_p$$

Bei der Berechnung der Ratendichten und ihrer axialen Integrale hat der Benutzer für jedes einzelne Gebiet zwei Optionen:

- 1) Sonderfall: Zu dem Gebiet wird eine Mischung vorgegeben, d.h. m wird in der Eingabe spezifiziert. Für alle Gitterpunkte des Gebiets werden dann die Größen $\phi \Sigma^{\alpha,m}$ als die lokalen Raten des Reaktionstyps α berechnet. (Ohne Prüfung, ob die angegebene Mischung (m) tatsächlich die Punkte des Gebiets berührt, d.h. ohne Benutzung der Mischungsverteilung, vgl. II VERT-Block).

2) Normalfall: Das Programm berücksichtigt für jeden Gitterpunkt des Gebiets jeweils alle angrenzenden Mischungen unter Benutzung der Mischungsverteilung (Vgl. II VERT-Block).

Für die Berechnung der lokalen Raten ist hier zu beachten: das Gebiet ist als Menge von Gitterpunkten zu verstehen und hat keine "Ränder", durch die möglicherweise "außen" liegende Mischungen von der Berücksichtigung ausgeschlossen werden.

Für die Berechnung der axialen Linienintegrale der lokalen Raten jedoch sind die (durch Z-Indizes gegebenen) "Randpunkte" der axialen Richtung als Integrationsgrenzen anzusehen, d.h. als Randpunkte der oben genannten Teiltraversen.

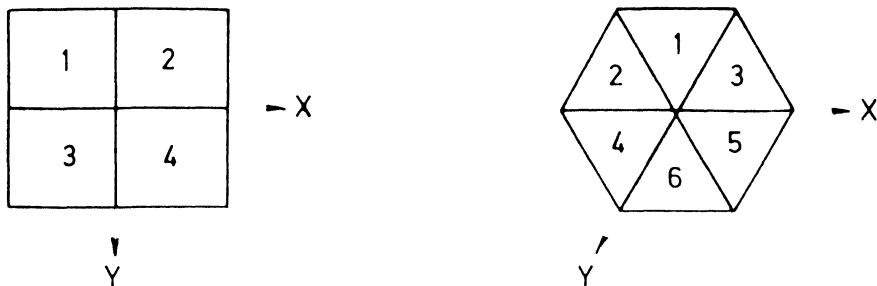
Die Druck- und Blockausgabe der Werte erfolgt nach Gebieten (und Reaktionstypen) und für jedes Gebiet nach den verschiedenen Z-Niveaus geordnet:

Für jedes Z-Niveau erhält man ein XY/OR-Schema von Werten.
(Die Linienintegrale ergeben pro Gebiet nur ein XY/OR-Schema)

Dies gilt streng jedoch nur bei Option (1), wo für jeden Punkt stets nur ein Wert (zu der vorgegebenen Mischung) auftritt.

Bei Option (2) müssen von den Punkten, die tatsächlich nur von einer Mischung umgeben sind, sogenannte "Grenzpunkte" unterschieden werden, welche diese Eigenschaft nicht haben.

Auf Z-Ebenen im Innern einer Platte, wo also die beiden angrenzenden Schichten identische Mischungsverteilungen haben (vgl. II, VERT-Block), können an Grenzpunkten je nach Geometrie vier oder sechs verschiedene Werte auftreten (vgl. Skizze)



Zu diesen Z-Ebenen werden also i.a. ausgegeben:

- (a) eine Tabelle für die Grenzpunkte
(nur falls solche vorkommen)
- (b) eine Tabelle für die übrigen Punkte (entsprechend Option (1))
(auch wenn nur Grenzpunkte vorkommen).

In der a-Tabelle werden die einzelnen Grenzpunkte mit den XY/ØR-Koordinaten-Indizes angegeben und die zugehörigen 4 oder 6 Werte in der aus der Skizze ersichtlichen Reihenfolge. (Mindestens 2 der 4 oder 6 Werte sind verschieden).

In der b-Tabelle sind die einzigen Werte der Punkte nach den XY/ØR-Koordinaten-Indizes des betreffenden Gebiets angeordnet.

In der b-Tabelle sind die Positionen der Grenzpunkte gekennzeichnet für die

Druckausgabe durch ***

Blockausgabe durch den Wert $-1.E-50(<0)$

Zu den Z-Ebenen zwischen zwei Platten werden die Tabellen (a) und/oder (b) je einmal für die Mischungsverteilungen beider Platten ausgegeben.

Bei der Berechnung der axialen Linienintegrale sind entsprechende "Grenzlinien" gesondert zu betrachten, d.h. solche Linien auf denen mindestens ein innerer Grenzpunkt liegt.

Notwendig liegt dann mindestens ein weiterer (benachbarter) Grenzpunkt auf dem Integrationsweg.

"Isolierte" Grenzpunkte können nur die Randpunkte des Integrationsweges sein; nämlich wenn ihre Eigenschaft als Grenzpunkt auf eine von "außen" angrenzende Platte zu beziehen ist (Vgl. das schematische Beispiel unten)

Dies ist bei der Berechnung der lokalen Raten für P_0 und P_1 zu berücksichtigen, jedoch für die Integration zwischen P_0, P_1 irrelevant:

der Integrationsweg endet mit Erreichen der äußeren Platte.

Die Ausgabe der Linienintegrale für ein Gebiet erfolgt bei Option(1)

bzw. (2) in Form von einer Tabelle (b) oder von zwei Tabellen (a und b)

In der b-Tabelle (für "Normallinien") werden die Positionen der Grenzlinien gekennzeichnet für die

Druckausgabe durch ***

Blockausgabe durch Zahlen < 0 (i.a. $\neq -1.E-50$)

Die Begriffe und das Vorgehen bei der Linienintegration sollen an einem schematischen Beispiel verdeutlicht werden.

Für die Umgebung des Punktes in XY/ØR-Richtung wird dabei nur "links" und "rechts" unterschieden.

Bedeutung der Bezeichnungen:

Die Zahlen 1 bis 6: Punktindizes in Z-Richtung (NZ=6)

PL1, PL2, PL3: Platten mit 1/2/2 Schichten (IPL=3)

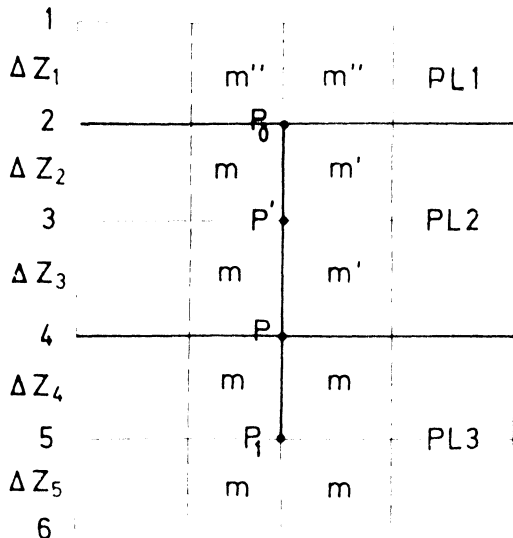
m, m', m'': Mischungsnummern (NM ≥ 3)

Das Gebiet enthält nur die Gitterpunkte P₀, P', P, P₁ und den Integrationsweg vom P₀ bis P₁

Es ist spezifiziert durch die Eingabe von (vgl. IV K50):

LU(i) = LO(i) geeignet (i=1,2); LU(3)=2, LO(3)=5.

Durch MI=0 wird die Option 2 für das Gebiet gewählt.



Lokale Raten für (P₀, P', P, P₁)

- P₀ : In Bezug auf PL1 : b-Tabelle mit Wert für m''
 In Bezug auf PL2 : a-Tabelle mit Werten für m und m'
 b-Tabelle mit *** bzw. -1.E-50
 (Die b-Tabelle wird auch dann erzeugt, wenn nur Grenzpunkte existieren)
- P' : Nur Bezug auf PL2 : a-Tabelle mit Werten für m und m'
 b-Tabelle mit *** bzw. -1.E-50

- P : In Bezug auf PL2: a-Tabelle mit Werten für m und m'
b-Tabelle mit *** bzw. -1.E-50
In Bezug auf PL3: b-Tabelle mit Wert für m.
- P₁: Nur Bezug auf PL3: b-Tabelle mit Wert für m.

Linienintegrale (zwischen P₀ und P₁)

Die (einzige)Linie zwischen P₀ und P₁ ist eine "Grenzlinie", denn sie enthält den "inneren Grenzpunkt" P (und die benachbarten Punkte P₀ und P als weitere Grenzpunkte). Das Linienintegral wird also für die linke Seite des Weges (nur die Mischung m kommt vor) und die rechte Seite des Weges (Mischungen m' und m kommen vor) berechnet.

Diese beiden Werte stehen also in der a-Tabelle für die Linienintegrale. Der Wert für die rechte Seite (IR) soll hier angegeben werden:

$$IR = r_{P_1}^{\alpha, m'} \frac{\Delta z_2}{2} + r_{P'}^{\alpha, m'} \frac{\Delta z_2 + \Delta z_3}{2} + r_P^{\alpha, m'} \frac{\Delta z_3}{2} + r_{P'}^{\alpha, m} \frac{\Delta z_4}{2} + r_{P_1}^{\alpha, m} \frac{\Delta z_4}{2}$$

Die b-Tabelle enthält bei der Druckausgabe ***

bei der Blockausgabe eine Zahl < 0

(Die b-Tabelle wird auch dann erzeugt, wenn nur Grenzlinien existieren)

III.D. Selektive Druckausgabe der Neutronenflußverteilung

Eingabe: IV: K2.:NAUS, K52 bis K63

Routinen: AUSGBE

Die Neutronenflußdichte kann nach Gebieten (insbesondere Traversen in den Koordinatenrichtungen) und Energiegruppen ausgewählt werden.

Für Δ -Z-Geometrie können die Gebiete in Bezug auf die Δ -Koordinaten nur als Parallelogramme spezifiziert werden, so daß der Einschluß systemfremder Punkte nicht immer vermieden werden kann.

(Vgl. II: KNTR, VERT-Block)

Die entsprechenden Werte werden in einem solchen Fall als 0 ausgegeben.

III.E Störungsrechnung im Multigruppendiffusionsmodell

(Eine Änderung der äußeren Reaktorabmessungen und der Randbedingungen wird nicht betrachtet.)

Im folgenden werden "gestörte" - zur Unterscheidung von "ungestörten" - Größen durch eine Tilde $\tilde{}$ gekennzeichnet.

Für die Differenz aus gestörtem und ungestörtem Wert einer Größe x wird von der Schreibweise $\delta x = \tilde{x} - x$ Gebrauch gemacht.

Eine Störung, d. h. eine bestimmte Änderung der Materialzusammensetzung des Reaktorsystems, wird durch den Übergang von Werten Σ zu $\Sigma + \delta\Sigma$ der makroskopischen Wirkungsquerschnitte beschrieben.

Jedoch soll für das Neutronenspaltpektrum χ gelten: $\delta\chi = 0$. Nach obigen Konventionen beschreiben also die Größen Σ das ungestörte, $\tilde{\Sigma} = \Sigma + \delta\Sigma$ das gestörte System. Die Neutronenspaltpektren der beiden Systeme sind identisch: $\tilde{\chi} = \chi$.

Ziel der Störungsrechnung ist es, die Auswirkungen von Störungen $\delta\Sigma$ (d. h. die einzelnen Effekte gestörter Capture-, Fission-, Leckage-, Degradationseigenschaften) auf den Eigenwert $\frac{1}{k}$ der stationären Gleichungen des Systems zu bestimmen.

(Vgl. Anhang C: (ϕ_s) und (ϕ_s^+))

III.E1 Integrale Störungskoeffizienten

Als integraler Störungskoeffizient wird die Größe $\delta\left(\frac{1}{k}\right) = \frac{1}{\tilde{k}} - \frac{1}{k}$ bezeichnet. Es gilt:

$$\delta\left(\frac{1}{k}\right) = -\delta\rho \quad \rho = \frac{k-1}{k} = 1 - \frac{1}{k} \quad (\rho \text{ Reaktivität})$$

$$\delta k = -k \frac{\delta\left(\frac{1}{k}\right)}{\frac{1}{k} + \delta\left(\frac{1}{k}\right)} \approx -k^2 \delta\left(\frac{1}{k}\right)$$

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß in AWDI3 der integrale Störungskoeffizient $\delta(\frac{1}{k})$ berechnet wird, der durch Vorzeichenumkehr in den Reaktivitätskoeffizienten $\delta\rho$ übergeht.

A. Exakte Störungsrechnung (vgl. Anhang A, B, C)

Die stationären Diffusionsgleichungen des Multigruppenmodells sind Bilanzgleichungen, die Verlust (V) und Produktion (P) vermittels der Multiplikationsfaktoren \tilde{k} (gestörtes System, Neutronenflußdichte $\tilde{\phi}$) und k^+ (ungestörtes System, Neutronenimportanz ϕ^+) zum Ausgleich bringen (vgl. Anhang C). In formaler Schreibweise:

$$\tilde{V} = \frac{1}{\tilde{k}} \tilde{P} \quad \text{und} \quad V = \frac{1}{k} P ; \quad \delta\left(\frac{1}{k}\right) = \frac{\delta V - \frac{1}{\tilde{k}} \delta P}{P} = \frac{\delta V - \frac{1}{k} \delta P}{\tilde{P}}$$

Um $\delta(\frac{1}{k})$ (durch δV , δP und $P(\tilde{k})$, bzw. $\tilde{P}(k)$) zu bestimmen, werden die durch die makroskopischen Wirkungsquerschnitte gegebenen Unterschiede in den Verlust- und Produktionseigenschaften des gestörten und des ungestörten Systems über den Systembereich (Ort und Energie) unter Verwendung geeigneter Wichtungsfunktionen gemittelt.

Als Wichtungsfunktionen für den Mittelungsprozeß werden die stationäre Neutronenflußdichte $\tilde{\phi}$ des gestörten sowie die stationäre Importanz ϕ^+ des ungestörten Systems verwendet. Umgekehrt ist es auch möglich, die stationäre Importanz $\tilde{\phi}^+$ des gestörten und die stationäre Neutronenflußdichte ϕ des ungestörten Systems zu benutzen.

In beiden Fällen jedoch hat man auch schon die beiden Eigenwerte $\frac{1}{\tilde{k}}$ ($= \frac{1}{\tilde{k}^+}$) sowie $\frac{1}{k^+}$ ($= \frac{1}{k}$) verfügbar und kann $\delta(\frac{1}{k}) = \frac{1}{\tilde{k}} - \frac{1}{k}$ direkt bestimmen.

Für den in der exakten Störungsrechnung beschrittenen Umweg, $\delta(\frac{1}{k})$ über die Bestimmung von Systemmittelwerten zu berechnen, gibt es einen praktischen und einen theoretischen Grund.

Zum einen ist die Genauigkeit der (direkten) Differenzbildung oft nicht ausreichend, insbesondere wenn der Unterschied in $\frac{1}{k}$ von der Größenordnung des Fehlers für die $\frac{1}{k}$ -Werte ist. (Derartige Unsicherheiten ergeben sich z. B. durch Diskretisierungs- und Rundungsfehler (vgl. /17/) oder aufgrund begrenzter Genauigkeit der iterativ bestimmten k-Werte [aus Rechenzeit- und Kostengründen müssen in praktischen Anwendungsfällen vernünftige Konvergenzkriterien verwendet werden]. Vgl. /6/.)

Zum anderen gibt die Methode der exakten Störungsrechnung die Grundlage zu einem Verfahren (vgl. Störungsrechnung 1. Ordnung III E1.B), die integralen Störungskoeffizienten unter Benutzung geringerer Vorkenntnisse näherungsweise zu bestimmen. (Vgl. jedoch /6/).

Hier sollen die Formeln der exakten Störungsrechnung mit den stationären Lösungen $\tilde{\phi}(\tilde{k} = \tilde{k}^+)$ und $\phi^+(k^+ = k)$ als Wichtungsfunktionen hergeleitet werden (Vgl. Anhang C Gleichungen $(\phi_s), (\phi_s^+)$): $\tilde{\phi}$ ist die Neutronenflußdichte, die, dem gestörten System als Anfangsbedingung aufgeprägt, sich stationär verhält, wenn die Spaltquelle* $v\Sigma^f$ durch $\frac{1}{\tilde{k}}v\Sigma^f$ ersetzt wird. Diese Anfangsverteilung soll in beiden Systemen die Reaktionen hervorrufen, deren Effekt in beiden Systemen mit der Detektorverteilung ϕ^+ gemessen werden soll. ϕ^+ ist die Detektorverteilung mit welcher der zur Zeit T gemessene Effekt eines Neutrons der Energiegruppe i, das zur Zeit $t_0 < T$ am Ort o in das ungestörte System eingesetzt wurde, unabhängig von $t_0 (< T)$ stets $\phi_1^+(r_0)$ ergibt, wenn die Spaltquelle $v\Sigma^f$ durch $\frac{1}{k^+}v\Sigma^f$ ersetzt wird.

Analog zur Aussage über $\tilde{\phi}$ kann dies auch so formuliert werden:

ϕ^+ ist die Importanzverteilung, die dem ungestörten System als Endbedingung aufgeprägt, sich stationär verhält, wenn die Spaltquelle $v\Sigma^f$ durch $\frac{1}{k^+}v\Sigma^f$ ersetzt wird. (Vgl. Anhang A,C).

Die beiden Wichtungen lassen sich also interpretieren als zwei in den beiden Systemen vorgenommene Messungen mit der Detektorverteilung ϕ^+ . Im gestörten System, in dem die "Anfangsverteilung" $\tilde{\phi}$ sich stationär verhält, ist der Zeitpunkt der Messung natürlich ohne Bedeutung, d.h. die Messung ist stationär. Die Daten beziehen sich auf das ganze Intervall $t_0 < t < T$ ($\phi^+(t) \equiv \phi^+$ und $\tilde{\phi}(t) \equiv \tilde{\phi}$).

* pro cm Neutronenweg

Im ungestörten System beginnt die Anfangsverteilung $\tilde{\phi}(t_0)$ jedoch sofort, in den zugehörigen Grundmode $\tilde{\phi}$ einzuschwingen $\tilde{\phi}(t) \xrightarrow{t \rightarrow t_0 + \tau} \tilde{\phi}$. Die Messung ist dennoch wegen Verwendung des speziellen Detektors ϕ^+ auch hier wieder stationär (vgl. Anhang A) ; die Rechnung aber wird nun mit Daten durchgeführt, deren einer Teil (d.h. $\tilde{\phi} = \tilde{\phi}(t_0)$), sich nur auf den Anfangszeitpunkt t_0 bezieht.

Multiplikation der stationären Gleichung für die Neutronenflußdichte des gestörten Systems (mit der Lösung $\tilde{\phi}$ und dem Eigenwert $\frac{1}{k}$) mit ϕ^+ führt auf (1); Multiplikation der stationären Gleichung für die Neutronenimportanz des ungestörten Systems (mit der Lösung ϕ^+ und dem Eigenwert $\frac{1}{k}$) mit $\tilde{\phi}$ führt auf (2); Differenzbildung von (1) und (2) und Summation über die Energiegruppen ergibt (3) ($i=1, \dots, G$)

$$(1) - \phi_i^+ \nabla \tilde{D}_i \nabla \tilde{\phi}_i + \phi_i^+ \tilde{\Sigma}_i^r \tilde{\phi}_i - \phi_i^+ \sum_{j < i} \tilde{\Sigma}_{i \leftarrow j}^{\text{tot}} \tilde{\phi}_j = \phi_i^+ \chi_i \sum_j \frac{v \tilde{\Sigma}_j^+}{\tilde{k}} \tilde{\phi}_j$$

$$(2) - \tilde{\phi}_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+ + \phi_i^+ \Sigma_i^r \tilde{\phi}_i - \sum_{j > i} \phi_j^+ \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \tilde{\phi}_i = \sum_j \phi_j^+ \chi_j \frac{v \Sigma_i^+}{k} \tilde{\phi}_i$$

$$(3) - \sum_i (\phi_i^+ \nabla \tilde{D}_i \nabla \tilde{\phi}_i - \tilde{\phi}_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+) + \sum_i \phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \tilde{\phi}_i \dots$$

$$- \sum_i \sum_{j > i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \tilde{\phi}_i = \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j \left(\frac{v \tilde{\Sigma}_i^+}{\tilde{k}} - \frac{v \Sigma_i^+}{k} \right) \tilde{\phi}_i$$

Nach Abspaltung eines Divergenzterms läßt sich der erste Klammerausdruck in (3) schreiben:

$$(\nabla(\phi_i^+ \tilde{D}_i \nabla \tilde{\phi}_i - \tilde{\phi}_i D_i \nabla \phi_i^+) - \delta D_i (\nabla \phi_i^+, \nabla \tilde{\phi}_i)).$$

Wenn wir nun die Systemmittelung durch die Integration von (3) über das Systemvolumen vollenden, verschwindet der Beitrag des Divergenzterms.

Denn wegen der Stetigkeit von $\tilde{D}_i \nabla \tilde{\phi}_i$ und $D_i \nabla \phi_i^+$ (auch an inneren Grenzflächen, wo \tilde{D} und $\nabla \tilde{\phi}$ sowie D und $\nabla \phi_i^+$ unstetig sind; Vgl. Anhang BII) kann das Volumenintegral in ein Integral über die Randfläche F verwandelt werden: (Satz von Gauss)*

$$(4) \int_R \nabla (\phi_i^+ \tilde{D}_i \nabla \tilde{\phi}_i - \tilde{\phi}_i D_i \nabla \phi_i^+) dV = \int_F (\phi_i^+ \tilde{D}_i \frac{\partial}{\partial n} \tilde{\phi}_i - \tilde{\phi}_i D_i \frac{\partial}{\partial n} \phi_i^+) df$$

Wegen der Randbedingungen (Vgl. Anhang B, C) verschwindet der Integrand des Oberflächenintegrals identisch auf F .

Die Integration über die Systemvariablen führt also zu (5)
(Die Bedeutung von N , δL , etc wird auf der folgenden Seite erklärt)

$$(5) \delta L + \delta R - \delta SG = \sum_{i,j} \int \phi_j^+ \chi_j \left(\frac{\tilde{v}_{\Sigma_i}^f}{\tilde{k}} - \frac{v_{\Sigma_i}^f}{k} \right) \tilde{\phi}_i dV$$

Elimination von $\frac{1}{k}$ oder $\frac{1}{\tilde{k}}$ in (5) gemäß $\delta(\frac{1}{k}) = \frac{1}{\tilde{k}} - \frac{1}{k}$ ergibt:

$$(6) \delta L + \delta R - \delta SG = \frac{1}{\tilde{k}} \delta FG + \delta(\frac{1}{k}) \cdot N$$

oder

$$(6') \delta L + \delta R - \delta SG = \frac{1}{k} \delta FG + \delta(\frac{1}{\tilde{k}}) \cdot \tilde{N}$$

Auflösung nach $\delta(\frac{1}{\tilde{k}})$ ergibt:

$$(7) \delta(\frac{1}{\tilde{k}}) = \left\{ \delta L + \delta R - \delta SG - \frac{1}{\tilde{k}} \delta FG \right\} \cdot N^{-1}$$

oder:

$$(7') \delta(\frac{1}{k}) = \left\{ \delta L + \delta R - \delta SG - \frac{1}{k} \delta FG \right\} \cdot \tilde{N}^{-1}$$

* Mit \vec{n} als äußerer Normalen und der Schreibweise $dF = \vec{n} \cdot d\vec{f}$, $\frac{\partial}{\partial n} = \vec{n} \cdot \nabla$

$$\int_R \nabla (\nabla \tau) dV = \int_F \nabla \tau [dF] = \int_F \nabla \tau [\vec{n} d\vec{f}] = \int_F \frac{\partial}{\partial n} \tau df$$

R bedeutet gesamtes, S gestörtes Reaktorgebiet:

$$N = \sum_{i,j} \int_R \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \bar{\phi}_i^f dV \quad \text{Normierungsintegral*}$$

$$(\tilde{N} = \sum_{i,j} \int_R \phi_j^+ \chi_j \nu \tilde{\Sigma}_i^f \bar{\phi}_i^f dV)$$

$$\delta L = \sum_i \int_S \nabla \phi_i^+ \delta D_i \nabla \bar{\phi}_i^f dV \quad \begin{array}{l} \text{Delta (Diffusion),} \\ \text{Delta (Leckage)} \end{array}$$

$$\delta R = \sum_i \int_S \phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \bar{\phi}_i^f dV \quad \text{Delta (Removal)}$$

$$\delta SG = \sum_j \int_S \phi_j^+ \left\{ \sum_{i < j} \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \bar{\phi}_i^f \right\} dV \quad \text{Delta (Scattergain)}$$

$$= \sum_i \int_S \left\{ \sum_{j > i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \right\} \bar{\phi}_i^f dV$$

$$\delta FG = \sum_j \int_S \phi_j^+ \left\{ \sum_i \chi_j \delta \nu \Sigma_i^f \bar{\phi}_i^f \right\} dV \quad \text{Delta (Fissiongain)*}$$

$$= \sum_i \int_S \left\{ \sum_j \phi_j^+ \chi_j \delta \nu \Sigma_i^f \right\} \bar{\phi}_i^f dV$$

Mit den in den Diffusionsgleichungen nicht explizit erforderlichen Wirkungsquerschnittstypen Σ^c , Σ^f werden in AUDI3 noch die weiteren Terme berechnet:

$$\delta CL = \sum_i \int_S \phi_i^+ \delta \Sigma_i^c \bar{\phi}_i^f dV \quad \text{Delta (Captureloss)}$$

$$\delta FL = \sum_i \int_S \phi_i^+ \delta \Sigma_i^f \bar{\phi}_i^f dV \quad \text{Delta (Fissionloss)}$$

Mit diesen Termen kann man dann weiter setzen:

$$\delta SL = \delta R - (\delta CL + \delta FL) \quad \text{Delta (Scatterloss)}$$

$$\delta D = \delta SL - \delta SG \quad \text{Delta (Degradation)}$$

* Entsprechend der Gleichung (7) enthalten die Delta-Terme in der Druck- und Blockausgabe von AUDI3 den Faktor N^{-1} , Delta(Fissiongain) zusätzlich \tilde{k}^{-1} .

$$\begin{aligned} \delta D &= \sum_j \int_S \phi_j^+ \{ \delta(\Sigma_j^r - (\Sigma_j^c + \Sigma_j^f)) \} \phi_j - \sum_{i < j} \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \phi_i \} dV \\ &= \sum_i \int_S \{ \phi_i^+ \delta(\Sigma_i^r - (\Sigma_i^c + \Sigma_i^f)) - \sum_{j > i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \} \phi_i dV \end{aligned}$$

Hinweis:

Zu beachten ist dabei, daß in der Streumatrix $\Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}}$ die Neutronenstreuungsprozesse entsprechend ihrer Vielfachheit berücksichtigt sind, d. h. insbesondere die (n,2n) - bzw. (n,3n)-Prozesse mit dem Gewicht 2 bzw. 3, so daß bei Vorkommen dieser Prozesse gilt:

$$\Sigma_i^r \neq \Sigma_i^c + \Sigma_i^f + \sum_{j > i} \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} .$$

Bei Fehlen oder Vernachlässigung dieser Prozesse jedoch ist der Term δD (vgl. die letzte Form) vereinfacht zu schreiben:

$$\delta D = \sum_i \int_S \sum_{j > i} (\phi_i^+ - \phi_j^+) \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \phi_i dV$$

(δD sollte nicht verwechselt werden mit der im Leakage-Term δL auftretenden Störung δD_i der Diffusionskonstanten in Gruppe i)

$$\delta F = \delta FL - \frac{1}{k} \delta FG \quad \text{Delta (Fission)}$$

$$= \sum_j \int_S \phi_j^+ \{ \delta \Sigma_j^f \phi_j - \frac{1}{k} \chi_j \sum_i \delta \nu \Sigma_i^f \phi_i \} dV$$

$$= \sum_i \int_S \{ \phi_i^+ \delta \Sigma_i^f - \frac{1}{k} \sum_j \phi_j^+ \chi_j \delta \nu \Sigma_i^f \} \phi_i dV$$

(Gelegentlich wird auch, z.B. in den Ausgaben anderer Störungsprogramme, δFL als Fission-Term bezeichnet und $-\delta F$ als Net-Fission Gain.)

Die Beziehung (7) zur Bestimmung von $\delta(\frac{1}{k})$ kann damit neu formuliert werden:

$$(8) \delta\left(\frac{1}{k}\right) = \{\delta L + \delta CL + \delta D + \delta F\} \cdot N^{-1}$$

Damit erscheint die Störung des Systems in ihrer Wirkung $\delta\left(\frac{1}{k}\right)$ (auf $\frac{1}{k}$) aufgegliedert nach der Störung der folgenden Neutronenprozesse:

(Es sei nochmals bemerkt, daß ein positiver Beitrag zu $\delta\left(\frac{1}{k}\right)$ einen negativen Beitrag zu $\delta\rho = -\delta\left(\frac{1}{k}\right)$ oder δk bedeutet.)

1. Diffusion: δL

$\nabla\phi_i^+ \cdot \nabla\phi_i$ hat überall dort positives Vorzeichen, wo der Neutronenstrom die Richtung fallender Importanz hat. $\delta D_i > 0$ bedeutet erhöhte Transparenz; für diese Bereiche also einen erhöhten Transport in die ungünstige Richtung, und damit einen positiven Beitrag zu $\delta\left(\frac{1}{k}\right)$. Bei $\delta D_i < 0$ ist es umgekehrt.

Für $\nabla\phi_i^+ \cdot \nabla\phi_i < 0$ schließt man ähnlich.

2. Capture-Prozeß: δCL

$\delta\Sigma^C > 0$ bedeutet erhöhten Einfangsverlust und hat damit einen positiven Effekt auf $\frac{1}{k}$ (positiver Beitrag zu $\delta\left(\frac{1}{k}\right)$).

3. Degradation: δD

Bei der Einschränkung unseres Modells für schnelle Systeme: Ausstreuung aus den Energiegruppen in Gruppen mit jeweils niedrigerer Energie. Dem erhöhten (verminderten) Verlust $\delta(\Sigma_i^r - (\Sigma_i^C + \Sigma_i^f)) > 0 (< 0)$ bei der Ausstreuung steht ein erhöhter (verminderter) Gewinn $\delta\Sigma_{j+i}^{\text{tot}} > 0 (< 0)$ bei der damit verknüpften Einstreuung (in niedrigere Gruppen j) gegenüber.

Bei Vernachlässigung der $(n,2n)$ - und $(n,3n)$ -Prozesse (vgl. vereinfachte Beziehung für δD) läßt sich die Importanzbilanz bei gestörter Streuung u. U. leicht abschätzen; z. B.:

$\delta\Sigma_{j+i}^{\text{tot}} > 0$ hat einen positiven Effekt auf $\frac{1}{k}$, wenn die Importanz mit der Energie der Neutronen abnimmt, also wenn $\phi_i^+ - \phi_j^+ > 0$ für $j > i$.

4. Fissionprozeß: δF

Dem Verlust beim Spalteinfang (Σ^f) steht der (wegen $\nu > 1$ stets größere) Gewinn bei der Spaltproduktion ($\nu\Sigma^f$) gegenüber.

$\delta\Sigma^f > 0$ ($\frac{\delta\nu\Sigma^f}{\tilde{k}} > 0$) bedeutet also negativen Effekt auf $\frac{1}{k}$.

Das Ziel der exakten Störungsrechnung ist damit erreicht:
Alle in der Formel für $\delta(\frac{1}{k})$ vorkommenden Terme sind bilineare
Wichtungen von Systemeigenschaften bzw. der Variation von
Systemeigenschaften: Mit der Neutronenflußdichte $\tilde{\phi}$, welche die
Ursache für die im System ablaufenden Prozesse darstellt, und
der Neutronenimportanz ϕ^+ , die den Effekt dieser Prozesse be-
schreibt (vgl. Anhang A).

Die Terme der Prozesse mit Gruppentransfer (Scattergain, Fission-
gain, Degradation und Fission) sind Summen über "Importanzgruppen"
j und "Flußdichtegruppen" i.

Die Summanden der äußeren Summation über j zeigen den Effekt,
vermittelt durch Neutronen der Energiegruppe j (und erfaßt etwa
von der Detektorfunktion $D_j = \phi_j^+$), die durch Streuung oder Spalt-
einfang von Neutronen (im gesamten Energiebereich) entstanden
sind (Terme $\delta SG, \delta FG$). Für die Bilanzterme $\delta D, \delta F$ kann man die
Formulierung wählen: Sie zeigen den Effekt im Energiebereich der
Gruppe j, der durch Streu- oder Spaltprozesse verursacht wird -
die Verlusteffekte durch Ausstreuung oder Spalteinfang in Gruppe
j finden Berücksichtigung.

Die Summanden der äußeren Summation über i zeigen sinngemäß die
Effekte im gesamten Energiebereich (etwa auf alle Detektoren
 $D_j, j=1, \dots, G$) die auf Streu- und Spaltprozesse in Energiegruppe i
zurückzuführen sind.

Wie schon eingangs erwähnt, kann man statt von den Lösungen

$\tilde{\phi}, \tilde{k}$	für das gestörte System
ϕ^+, k^+	für das ungestörte System

auch ausgehen von den Lösungen

$\phi, k=k^+$	für das ungestörte System
$\tilde{\phi}^+, \tilde{k}^+=\tilde{k}$	für das gestörte System

und erhält analoge Formeln durch Vertauschung von $\check{\phi} \rightarrow \phi$, $\phi^+ \rightarrow \check{\phi}^+$.
Ausgehend von (7) und (7') ergeben sich damit insgesamt vier Bestimmungsmöglichkeiten für $\delta(\frac{1}{k})$ und die zugehörigen Einzelbeiträge. Diese sind natürlich i. a. nicht identisch (mit den oben abgeleiteten Größen), es bestehen aber die gleichen Beziehungen zur Bestimmung von $\delta(\frac{1}{k})$.

Zur Durchführung einer exakten Störungsrechnung in AUDI3 hat man in folgender Weise zu verfahren:

1. Beschreibung des Störfalles (vgl. Bestimmung int. Störungskoeff. in AUDI3). Hier ist anzumerken, daß in einem AUDI3-Lauf beliebig viele Störfälle beschrieben werden können. Nur einer davon kann der Systemstörung entsprechen, durch die aus dem ungestörten System dasjenige gestörte System entsteht, für das die Neutronenflußverteilung ϕ und der effektive Multiplikationsfaktor \tilde{k} vorliegen, für den also eine exakte Störungsrechnung durchgeführt werden kann (vgl. 2.).
2. Eingabe von ϕ : Bereitstellung des FLUX3DIM-Blocks aus der Diffusionsrechnung für den gestörten Reaktor.
Eingabe von ϕ^+ : Bereitstellung des FLUA3DIM-Blocks aus der Diffusionsrechnung für den ungestörten Reaktor.
Alternativ können die Neutronenflußverteilung ϕ des ungestörten und die Importanz ϕ^+ des gestörten Systems bereitgestellt werden.
3. Eingabe von \tilde{k} , dem effektiven Multiplikationsfaktor des gestörten Systems: Bereitstellung des KNTR-Blocks aus der Diffusionsrechnung für das gestörte System (unabhängig davon ob aus ϕ - oder ϕ^+ -Rechnung).
Eingabe von $\nu\Sigma^f$ des ungestörten Systems: Bereitstellung des VERT-Blocks aus der Diffusionsrechnung für das ungestörte System.

Die alternative Möglichkeit, für die exakte Störungsrechnung k und $\nu\Sigma^f$ anstatt von \tilde{k} und $\nu\Sigma^f$ zu verwenden, ist in AUDI3 nicht realisiert.

Der Benutzer kann jedoch frei wählen, welches der beiden Systeme er als das "ungestörte" ansieht:

Er muß dann dem Programm die Mischungsverteilung dieses "ungestörten" Systems mit dem VERT-Block (aus "ungestörter" Diffusionsrechnung) und den Multiplikationsfaktor des "gestörten" Systems mit dem KNTR-Block (aus "gestörter" Diffusionsrechnung) zur Verfügung stellen:

AUDI3 nimmt:

- (1) die Störungen $\delta\Sigma$ als die Differenzen der Querschnitte für die angegebenen "Störmischungen" (positiv) und die aus dem VERT-Block entnommenen "Originalmischungen" (negativ).
(Vgl. Bestimmung der integ. Störungskoeffizienten in AUDI3)
- (2) den "gestörten" Multiplikationsfaktor (für den Term $\frac{1}{\tilde{k}} \delta FG$) aus dem KNTR-Block.
- (3) den "ungestörten" Spaltproduktionsquerschnitt v_{Σ}^f und das Spaltspektrum χ (für das Normierungsintegral) nach Maßgabe des VERT-Blocks.

Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3 ($\delta(\frac{1}{k}) = -\delta\rho$)

Eingabe: K70 bis S96

Routinen: PERPRF , PERTRB, PERAUD

(Vgl. Störungsrechnung im Multigruppendiffusionsmodell)

Ein integraler Störungskoeffizient entspricht einer bestimmten Materialänderung ("Störung") des Reaktors gegenüber seinem originalen ("ungestörten") Aufbau.

Eine solche Störung soll im folgenden als Störfall bezeichnet werden. Die mehr oder weniger komplexen Störfälle werden in AUDI3 durch Kombination (=Addition) von einfacheren Zonenstörungen gewonnen. Die Beschreibung einer Zonenstörung stützt sich auf den Begriff der Störzone.

Eine Störzone ist ein bestimmtes Reaktorgebiet, nicht notwendig konvex oder zusammenhängend, jedoch von einheitlicher originaler Materialzusammensetzung ("Mischung").

Ihre Festlegung für AUDI3 wird nachfolgend beschrieben, sie ist stets so zu treffen, daß beim Vorkommen mehrerer Störzonen keine gegenseitige Überlappung auftritt. Ein Verstoß gegen diese Vorschrift wird von der Eingabeprüfung nicht zugelassen.

Eine Zonenstörung entsteht, wenn die (einheitliche originale) Mischung einer Störzone durch eine "Störmischung" (einheitlich) ersetzt wird.

Störzonen in AUDI3

Eine Störzone wird in AUDI3 festgelegt durch:

- (a) Angabe eines "Zonenrahmens", d.h. der Berandung eines möglichst einfach zu beschreibenden Reaktorbereichs
- (b) Angabe einer originalen Reaktormischung vermittels ihrer Nummer MO (vgl. K81) im SIGMN-Block (vgl./5/).

als der im Innern des Zonenrahmens liegende Anteil des Mischungsbereichs MO.

Störzonenoptionen: (gelten stets für alle Störzonen gleichzeitig)

Für die Definition einer Störzone durch Zonenrahmen und Originalmischung MO gibt es in AUDI3 2 Optionen (vgl. K2):

- (1) IPRI = 1.
Der Rahmen darf außer MO noch andere (originale) Reaktormischungen enthalten, diese Option kann u.U. die Eingabe stark vereinfachen:

Verstreut liegende Teile von MO können durch geeignete Wahl des Rahmens zu einer Störzone zusammengefaßt werden.

(Fehlermeldung, wenn MO nicht in dem Rahmen vorkommt!)

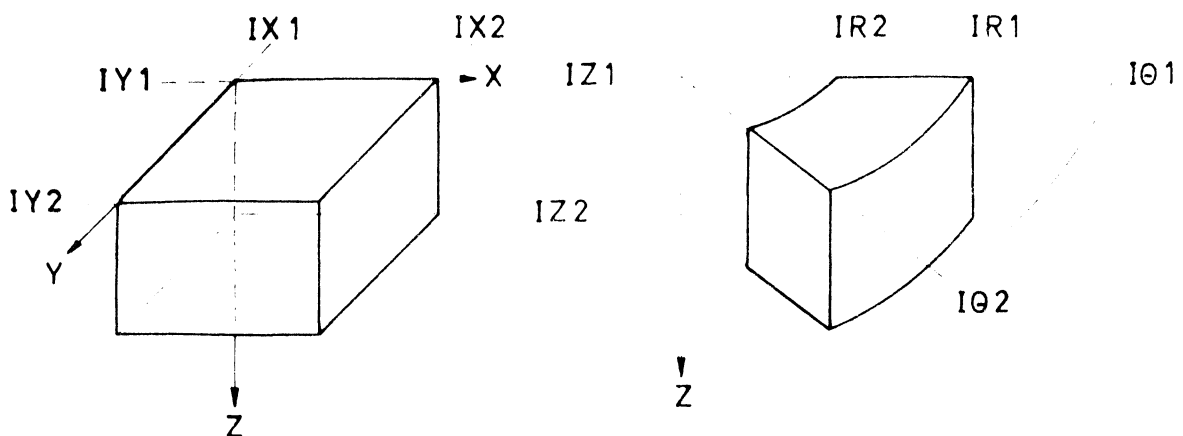
(2) IPRI = 2

Der Rahmen darf nur die Mischung MO enthalten; diese Option kann die Eingabeprüfung verschärfen, falls die Berandung eines isolierten Teils von MO mit dem Zonenrahmen zur Deckung gebracht werden kann: Eine falsche Position oder Größe des Rahmens wird dann erkannt, wenn dieser "fremde" Mischungen (\neq MO) einschließt.

Zonenrahmen

Bei XYZ-Geometrie und Θ RZ-Geometrie wird ein Zonenrahmen gebildet aus 3 Paaren von Normalflächen zu den Koordinatenrichtungen, die beschrieben werden durch Angabe von 3 Paaren von Koordinatenindizes:

(IX1,IX2;IY1,IY2;IZ1,IZ2) etc. (vgl. K80)



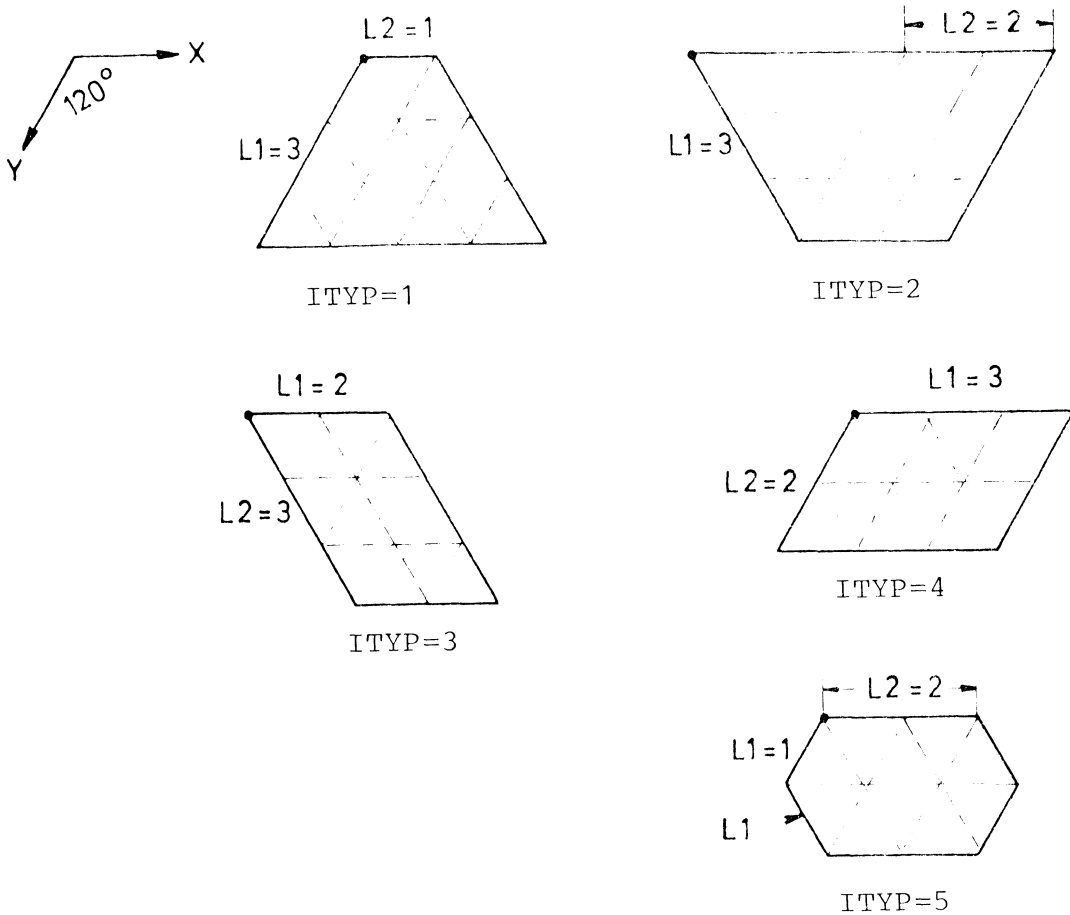
Bei Δ -Z-Geometrie werden die achsennormalen Flächen des Zonenrahmens durch ein Paar von Z-Indizes gegeben. Die übrigen Flächen des Zonenrahmens werden durch eine bestimmte Figur in der Δ -Ebene festgelegt (vgl. K78).

Diese Figur wird bestimmt durch Wahl

(aa) eines Anfangspunktes (gegeben durch das Indexpaar der minimalen XY-Koordinaten der Figur. Vgl.K78:IX,IY)

(ab) zweier Längenparameter L1,L2 (Festkommazahlen; Vgl. K78), deren Bedeutung als Differenz von Koordinatenindizes aus der Skizze zu (ac) ersichtlich ist:

(ac) eines Figurentyps (Vgl. K78: ITYP)



Die gestrichelten Linien sollen die Bedeutung der Größen L_1, L_2 verdeutlichen. Die "Anfangspunkte" der Figuren sind markiert.

Zonenstörungen

Wie schon weiter oben gesagt, ergibt sich eine Zonenstörung, wenn die Originalmischung M_0 einer Störzone durch eine bestimmte Störmischung ersetzt wird.

AUDI3 bietet die Möglichkeit zu jeder Störzone auch mehr als eine Störmischung anzugeben. (Eingabeparameter, NSM in K80)!

Die $NSM > 1$ Störmischungen werden durch ihre Nummern im SIGMN-Block gegeben (Vgl. K81: $M(I), I=1, NSM$).

Man hat dann etwa zur 1. Störzone	NSM_1	Störmischungen
zur 2. "	NSM_2	"
u.s.f.		

Das bedeutet, man hat zur 1. Störzone NSM_1 Zonenstörungen
zur 2. " NSM_2 "
u.s.f.

Die Reihenfolge der Störmischungen zu einer Störzone ist frei, jedoch wird auf die einmal gewählte Anordnung Bezug genommen, wenn anschließend die Zonenstörungen als die Komponenten von Störfällen aufgelistet werden.

Störfälle

Ein Störfall ist entweder identisch mit einer Zonenstörung oder er wird aus mehreren zu verschiedenen Störzonen gehörenden Zonenstörungen additiv zusammengesetzt.

Zonenstörungen verschiedener Störzonen sind stets zur Kombination in einem Störfall zugelassen, da verschiedene Störzonen nicht überlappen (vgl. oben). Die Störfälle werden durch eine bei 1 beginnende, fortlaufende Numerierung identifiziert, die in der Eingabe vom Benutzer frei gewählt werden kann.

Abgesehen von speziellen Optionen (vgl. NSF in K74) erfolgt die Konstruktion (Zusammensetzung, Kombination) der Störfälle aus Zonenstörungen nach folgendem Verfahren:

Zunächst wird die 1. Störzone betrachtet (mit $NSM_1 \geq 1$ Störmischungen). In der Reihenfolge der Störmischungen wird zu jeder Störmischung die Anzahl (≥ 1) Störfälle angegeben, zu denen die entsprechende Zonenstörung beiträgt. (Liste mit NSM_1 Anzahlen, Vgl. K83). Sodann werden die Nummern der Störfälle angegeben, d.h. wieder in der Reihenfolge der Störmischungen folgen NSM_1 Teillisten von Störfallnummern:

In der 1. Teilliste sind die Störfälle aufgeführt, zu denen die durch die 1. Störmischung definierte Zonenstörung beiträgt, u.s.f bis zur NSM_1 -ten Störmischung.
(Vgl. K85)

Bemerkung: Alle Störfallnummern der gesamten (aus den Teillisten zusammengesetzten) Liste müssen verschieden sein; erst in der Liste zu einer anderen Störzone dürfen sie wieder erscheinen.

Kommt keine weitere Störzone vor, so ist jeder Störfall identisch mit einer bestimmten Zonenstörung der 1. (und einzigen) Störzone.

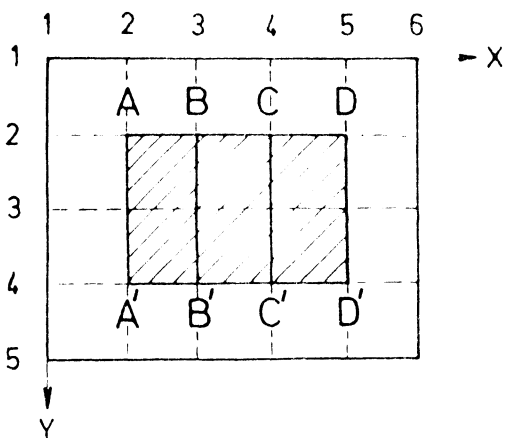
Andernfalls wird die 2. Störzone betrachtet (mit $NSM_2 \geq 1$ Störmischungen) Das Verfahren führt wieder zu einer Liste mit NSM_2 Anzahlen von

Störfällen und NSM_2 Teillisten mit Störfallnummern. Nach der obigen Bemerkung müssen zwar wieder alle Nummern untereinander verschieden sein, dürfen jedoch in der entsprechenden Liste von Teillisten zur 1. Störzone bereits vorkommen.

Das Verfahren wird fortgesetzt bis auch die Beiträge der Zonenstörungen der letzten Störzone zu den Störfällen berücksichtigt sind.

Zwei (schematische) Beispiele sollen das Verfahren zur Beschreibung von Störfällen in AUDI3 darstellen.

Beispiel 1 : XYZ-Geometrie Z-Richtung unterdrückt (vgl. unten(Z_1, Z_2)).



Die schraffiert und unshraffiert gezeichneten Gebiete sollen jeweils von einheitlicher Originalmischung sein. Die Nummer M_0 des schraffierten Gebiets sei 1. Die Ziffern bedeuten Koordinatenindizes Die Buchstaben haben keine Entsprechung in der AUDI3-Eingabe.

Es sollen zwei Störfälle gerechnet werden:

- (1) In (ACC'A') soll $M_0=1$ durch die Störmischung mit Nummer 2
- (2) In (BDD'B') soll $M_0=1$ durch die Störmischung mit Nummer 3

gestört werden:

Die Störfälle können nicht als einfache Zonenstörungen beschrieben werden, weil die Bereiche (ACC'A') und (BDD'B') in (BCC'B') überlappen. Die beiden Bereiche müssen daher aus (nicht überlappenden) Störzonen, die beiden Störfälle also aus den entsprechenden Zonenstörungen zusammengesetzt werden.

Die AUDI3-Rechnung könnte in folgender Weise gesteuert werden, wobei die Wahl der Reihenfolgen von Störfällen, Störzonen, Störmischungen frei ist:

Als Störzonenoption sollte $IPRI=2$ gewählt werden (K2).

($IPRI=1$ bringt jedenfalls keinen Vorteil, da keine verstreut liegenden Teile von M_0 zusammenzufassen sind. Vielmehr kann man alle

Zonen zwanglos so wählen, daß ihre Berandungen jeweils durch einen (zulässigen) Zonenrahmen dargestellt werden)

'INTPER' 3 2 1 (K72: 3 Zonen, 2 Störfälle, nur $\delta(\frac{1}{k})$ -Werte).

'ZONE' 1 (K76) (=Bereich (ABB'A'))

2 3 2 4 (Z_1, Z_2) 0 1 (K80: Grenzindizes des Rahmens; 0=dummy;
1 Störmischung)

1 2 (K81: MO=1; Störmischung (mit Nummer) 2)

1 (K83: 1 Störfall mit 1. und einziger Zonenstörung)

1 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 2 trägt zum
Störfall mit der Nummer 1 bei).

'ZONE' 2 (K76: (=Bereich (BCC' B'))

3 4 2 4 (Z_1, Z_2) 0 2 (K80: Grenzindizes des Rahmens, 0=dummy;
2 Störmischungen)

1 2 3 (K81: MO=1 Störmischungen (mit Nummern) 2 und 3)

1 1 (K83: 1 Störfall mit Zonenstörung durch Stör-
mischung 2)
1 Störfall mit Zonenstörung durch Stör-
mischung 3)

1 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 2 trägt zu
Störfall mit der Nummer 1 bei).

2 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 3 trägt zu
Störfall mit der Nummer 2 bei).

'ZONE' 3 (K76) (=Bereich (CDD'C'))

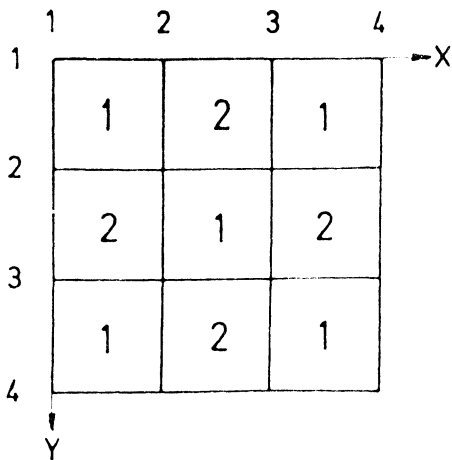
4 5 2 4 (Z_1, Z_2) 0 1 (K80: Grenzindizes d. Rahmens; 0=dummy;
1 Störmischung)

1 3 (K81: MO=1, Störmischung (mit Nummer) 3)

1 (K83: 1 Störfall mit Zonenstörung durch Stör-
mischung 3)

2 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 3 trägt zu
Störfall mit der Nummer 2 bei)

Beispiel 2: XYZ-Geometrie Z-Richtung unterdrückt(vgl. unten (Z_1, Z_2))



Die Zahlen am Rande der Skizze bedeuten Koordinatenindizes.

Die Zahlen im Innern der Skizze bedeuten Nummern von Originalmischungen des Reaktors.

Die Angaben "oben", "rechts", etc. beziehen sich auf das XY-Schema, nicht auf den 3-dimensionalen Systemaufbau)

Es sollen drei Störfälle gerechnet werden:

- (1) Die oben und rechts liegenden Teile von Mischung 2 sollen durch die Störmischung 3 ersetzt werden
- (2) Die unten und links liegenden Teile von der Mischung 2 sollen durch die Störmischung 4 ersetzt werden.
- (3) Die Mischungen 1 und 2 sollen untereinander vertauscht werden; d.h. die "Originalmischung" 1 wird durch die "Störmischung" 2 und die "Originalmischung" 2 wird durch die "Störmischung" 1 ersetzt.

Die AUDI3-Rechnung könnte in folgender Weise gesteuert werden.

Als Störzonenoption empfiehlt sich IPRI=1 (K2).

(Bei IPRI=2 müßten 9 Störzonen definiert werden).

- | | |
|----------------------------|--|
| 'INTPER' 3 3 1 | (K72: 3 Störzonen; 3 Störfälle, nur $\delta(\frac{1}{k})$ -Wert) |
| 'ZONE' 1 | (K76) (=oben und rechts liegende Teile von Mischung 2) |
| 2 4 1 3 (Z_1, Z_2) 0 2 | (K80:Grenzindizes d. Rahmens; dummy; 2 Störmischungen) |
| 2 3 1 | (K81: MO=2; Störmischungen (mit Nummern) <u>3</u> und <u>1</u>) |
| 1 1 | (K88: Zu beiden Störmischungen je <u>1</u> Störfall) |

- 1 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 3 trägt zu Störfall mit der Nr. 1 bei).
- 3 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 1 trägt zu Störfall mit der Nr. 3 bei).
- 'ZONE' 2 (K76) (=unten und links liegende Teile von Mischung 2)
- 1 3 2 4 (Z_1, Z_2) 0 2 (K80: Grenzindizes d. Rahmens, dummy; 2 Störmischungen)
- 2 1 4 (K81: $MO=\underline{2}$; Störmischungen (mit Nummern) 1 und 4)
- 1 1 (K83: Zu beiden Störmischungen je 1 Störfall)
- 3 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 1 trägt zu Störfall mit der Nr. 3 bei)
- 2 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 4 trägt zu Störfall mit der Nr. 2 bei).
- 'ZONE' 3 (K76) ("Mischungsgebiet" 1)
- 1 4 1 4 (Z_1, Z_2) 0 1 (K80: Grenzindizes d. Rahmens; dummy; 1 Störmischung)
- 1 2 (K81: $MO=\underline{1}$; Störmischung (mit Nummer)2)
- 1 (K83: Zur einzigen Störmischung 1 Störfall)
- 3 (K85: Zonenstörung durch Störmischung 2 trägt zu Störfall mit der Nr. 3 bei).

In einer AUDI3-Rechnung fallen primär nur Störungskoeffizienten zu Zonenstörungen an. Diese werden anschließend zu den Werten für kompliziertere Störfälle nur aufaddiert. So könnten in den beiden Beispielen eine Reihe weiterer Störfälle, scheinbar ohne zusätzlichen Rechenaufwand, aus den zur Verfügung stehenden Zonenstörungen kombiniert werden.

Hinsichtlich des Aufwandes (Rechenzeit und Speicherbedarf) ist jedoch i.a. folgendes zu beachten:

Bei NSZI Störzonen mit jeweils NSM_i Störmischungen ($i=1, NSZI$) ist die Anzahl K aller aus den gegebenen Zonenstörungen zu kombinierenden Störfälle gegeben durch:

$$K = \sum_{n=1}^{NSZI} \left(\sum_{i_1 < i_2 < \dots < i_n} NSM_{i_1} \cdot NSM_{i_2} \cdot \dots \cdot NSM_{i_n} \right)$$
$$i_j \in \{1, \dots, NSZI\}$$

In der Klammer () sind gerade die Störfälle vereinigt, die aus jeweils n Zonenstörungen (zu n verschiedenen Störzonen) kombiniert sind. Man hat bei nur einer Störmischung pro Störzone ($NSM_i \equiv 1$)

$$K = 2^{**NSZI} - 1.$$

Es läßt sich die Formel im Falle unserer beiden Beispiele leicht verifizieren.

Beispiel 1 : $NSZI = 3$; $NSM_1 = NSM_3 = 1, NSM_2 = 2$ $K=11$.

Beispiel 2 : $NSZI = 3$; $NSM_1 = NSM_2 = 2, NSM_3 = 1$ $K=17$.

AUDI3 bietet keine Option für eine automatische Berechnung aller möglichen Kombinationen der Zonenstörungen.

Nur im Fall $NSM_i = 1$ ($i=1, NSZI$) kann die automatische Berechnung aller Zonenstörungen und/oder der Gesamtstörung (Addition aller Zonenstörungen ist dann ja erlaubt) gewählt werden (vgl. NSF in K74).

Bei $NSF=0$ nur alle Zonenstörungen

$NSF=1$ nur Gesamtstörung

$NSF=-1$ alle Zonenstörungen und Gesamtstörung.

Bei $NSF \geq 2$ müssen die Störfälle wie oben beschrieben explizit aus den Zonenstörungen aufgebaut werden.

Approximation der partiellen Ableitungen bei integraler Störungsrechnung in AUDI3

Vorbemerkung 1.

Es werden 2- und 3-Punkt-Formeln verwendet, d.h. lineare und quadratische Approximationen der Funktionen.

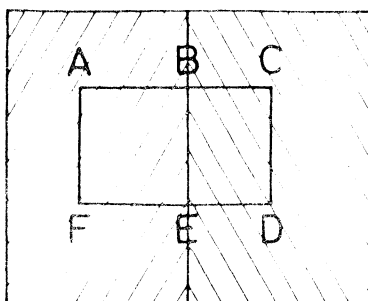
Zu den weiter unten sogenannten "Rand"- und "Zentralformen" der 3-Punkt-Formeln vgl. Anhang E.3, zu "Plattengrenze" vgl. Teil II.2: VERT-Block. Selbst bei Vorliegen entsprechender Randbedingungen (z.B. Strom=0) werden auch auf den Rändern des Systems alle partiellen Ableitungen (durch 2- oder 3-Punkt-Formeln) rechnerisch bestimmt.

Vorbemerkung 2.

Da i.a. die Ableitungen von Neutronenflußdichte ϕ und Neutronenimportanz ϕ^+ an Mischungsgrenzen Unstetigkeiten haben, sollte an den Grenzen der gestörten Gebiete (= Integrationsbereich für $\nabla\phi\delta D\nabla\phi^+$) die (innere) einseitige Ableitung genommen werden.

Allerdings erscheint nur bei der exakten Störungsrechnung die Beachtung der Unstetigkeiten an den Grenzen der Störmischungen zwingend (Benutzung von $\tilde{\phi}$ oder $\tilde{\phi}^+$), während bei der Störungsrechnung 1. Ordnung die verwendeten Funktionen (ϕ und ϕ^+) nur an den Grenzen der Originalmischungen Unstetigkeiten der Ableitungen haben:

Zur Verdeutlichung diene das Beispiel eines Systems mit zwei (durch unterschiedliche Schraffur gekennzeichneten) Originalmischungen und den beiden Störzonen (ABEF) und (BCDE).



Störfall 1:

Beide Störzonen haben die gleiche Störmischung

Störfall 2:

Die beiden Störzonen haben verschiedene Störmischungen

Die "ungestörten" Funktionen ϕ und ϕ^+ haben nur auf \overline{BE} (=Grenze der Originalmischungen) einen unstetigen Übergang der Gradienten. Die "gestörten" Funktionen $\check{\phi}$ und $\check{\phi}^+$ haben im Fall 1 nur auf dem Rand von (ACDF) nicht aber auf \overline{BE} einen unstetigen Übergang der Gradienten. Im Fall 2 kommt der Rand \overline{BE} als Grenze zwischen den verschiedenen Störmischungen hinzu.

Wenn, wie in AUDI3, für alle Funktionen sowohl auf den Grenzen der Störmischungen wie auf denen der Originalmischungen (soweit diese in dem Integrationsbereich des gestörten Gebiets fallen) die einseitigen Ableitungen genommen werden, ist dieses Vorgehen analytisch korrekt: bei stetiger Ableitung sind links- und rechtsseitige Ableitungen identisch. In der Approximation (auch durch 3-Punkt-Formeln) jedoch weichen i.a. beide Randformen voneinander (und von der Zentralform) ab.

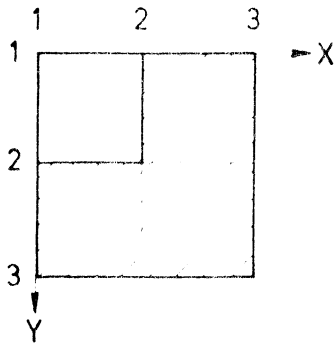
Zur Vermeidung zusätzlicher Ungenauigkeiten (durch Verwendung von 3-Punkt-Formeln an möglichen Unstetigkeitsstellen der Gradienten) sollten die Störzonen stets auch mindestens 3 Punkte in der jeweiligen Koordinatenrichtung haben: Die Verwendung von 2- oder 3-Punktformeln erfolgt in AUDI3 nämlich nicht in Abhängigkeit von der Anzahl der im relevanten Mischungsbereich "zur Verfügung stehenden" Punkte, sondern ist an die Geometrie des Systems (vgl. Eingabebeschreibung: IGEO, (K2)) gebunden. In der weiter unten folgenden Beschreibung des Vorgehens in der AUDI3-Störungsrechnung (Vgl. XYZ- Θ RZ- Δ -Z-Geometrie) wird nicht im einzelnen auf die möglichen Inkonsistenzen hingewiesen, die sich aus dem hier Gesagten für die Ableitungen bzw. Gradienten und die entsprechenden Leakage-Terme ergeben.

Eine Umstellung des Codes auf die durchgängige Verwendung von 2-Punkt-Formeln zur Approximation der Ableitungen würde die hier angesprochene Problematik beseitigen. Sie erscheint darüber hinaus aus Gründen der Konsistenz mit den Approximationsmodellen der vorgeschalteten Diffusionscodes angezeigt.

Vorbemerkung 3:

Wenn im folgenden insbesondere die Behandlung der Ränder von Störzonen beschrieben wird, sollte noch beachtet werden, daß gewisse Anwendungen der integralen Störungsrechnung in AUDI3 eine Unterteilung zusammenhängender Störungsgebiete einheitlicher "Original"- und "Störmischung" in mehrere Störzonen und damit die Einführung unechter Ränder erfordern.

Im Beispiel 1 (vgl. Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3) wird das Gebiet (ADD'A') in die Störzonen (ABB'A'), (BCC'B'), (CDD'C') unterteilt, wobei die "unechten Ränder" $\overline{BB'}$ ("unecht" in Bezug auf Störfall 1) und $\overline{CC'}$ ("unecht" in Bezug auf Störfall 2) entstehen. Während jedoch die in dieser Anwendung auftretenden "unechten" Ränder durch Einzelberechnung der Störfälle vermieden werden könnten, gibt es einfache Störfälle, zu deren Beschreibung die Einführung unechter Ränder notwendig ist:



XYZ-Geometrie (Z-Richtung unterdrückt)

Das homogene System (Mischung MO) soll im schraffierten Teil homogen (Störmischung M1) gestört werden. Der schraffierte Teil kann in AUDI3 nur so aus einfacheren Störzonen aufgebaut werden, daß mindestens einer der durch die beiden gestrichelten Linien angedeuteten "unechten" Ränder entsteht.

Beschreibung der AUDI3-Optionen

XYZ- und θ RZ-Geometrie

Verwendung von 3-Punkt-Formeln (für alle Koordinatenrichtungen), so daß das Punktgitter in allen diesen Richtungen mindestens 3 Punkte enthalten muß.

a) Ableitungen in X/Y- oder θ /R-Richtung:

aa) In Punkten, die nicht Randpunkte einer Störzone (in Bezug auf die jeweilige Koordinatenrichtung) sind, Verwendung der Zentralform.

(Siehe Y-Richtung im Beispiel 1 und 2 nachfolgend)

ab) In Randpunkten (in Bezug auf die jeweilige Koordinatenrichtung), Verwendung der geeigneten Randform genau dann, wenn die Störzone neben dem Randpunkt noch mindestens 2 weitere Punkte (auf der Koordinatenlinie) enthält.

(X-Richtung Beispiel 1 nachfolgend)

Für die anderen Randpunkte Verwendung der Zentralform.

(X-Richtung Beispiel 2 nachfolgend)

b) Ableitung in Z-Richtung:

ba) In Punkten, die nicht auf Plattengrenzen liegen, Verwendung der Zentralform.

bb) In Punkten auf Plattengrenzen, Verwendung der jeweiligen Randform.

(In Ergänzung zu Vorbemerkung 3: Bei Vorliegen einer inneren Plattengrenze kann die Störzone von der Plattengrenze unterteilt sein, so daß

ein unechter Rand vorliegt).

Abweichend von dieser Regel wird jedoch die Zentralform genommen, wenn die Randform wegen Überschreitung der Systemgrenzen nicht anwendbar ist. (Beispiel 3 nachfolgend)

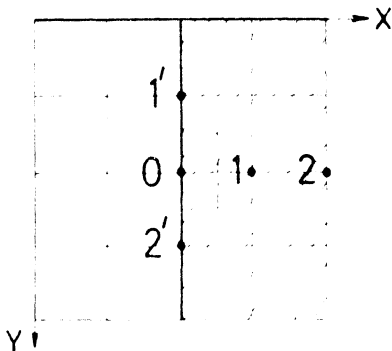
Δ -Z-Geometrie

- a) In den Δ -Ebenen werden 2-Punkt-Formeln verwendet, so daß hier eine besondere Behandlung von Rändern entfällt.
- b) Die Z-Richtung wird genauso behandelt wie in den anderen Geometrien. Daher muß insbesondere das Punktgitter in Z-Richtung auch mindestens 3 Punkte enthalten.

Zusammenfassung für Z-Richtung:

Für die Behandlung der achsennormalen Ränder einer Störzone gilt in allen Geometrien: Einerseits werden sie nur dann durch Verwendung der Randformen berücksichtigt, wenn sie mit Rändern der originalen Mischungsverteilung zusammenfallen (Eine Z-Ebene ist genau dann Platten-grenze, wenn sie einen solchen Rand enthält). Andererseits werden unechte Ränder dort eingeführt, wo eine Störzone (die stets von einheitlicher Originalmischung ist) durch eine Z-Ebene unterteilt wird, die Platten-grenze ist.

Beispiel 1:



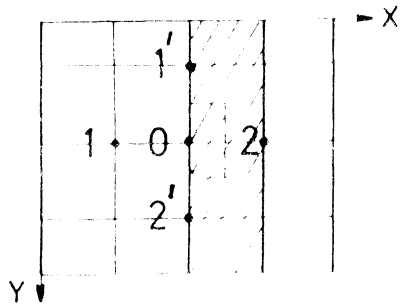
Die Störzone ist schraffiert:

Die Volumenelemente des aktuellen Integralbeitrags $\nabla\phi\nabla\phi^+ dV$ (vgl. Anhang E) sind gestrichelt umrissen.

Die Ableitung in X-Richtung wird durch die Randform α mit den Punkten $(0,1,2)$ - die Ableitung in Y-Richtung wird durch die Zentralform mit den Punkten $(1',0,2')$ approximiert.

0 ist Randpunkt des Störungsgebiets in Bezug auf die X-Richtung, nicht aber in Bezug auf die Y-Richtung.

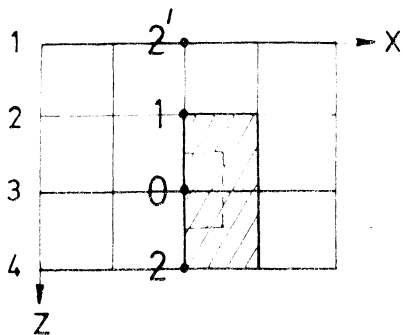
Beispiel 2:



Anders als im Beispiel 1 enthält hier die Störzone in X-Richtung nur 2 Punkte.

Die Ableitung in X-Richtung wird durch die Zentralform mit den Punkten (1,0,2) approximiert, obwohl 0 Randpunkt in Bezug auf die X-Richtung ist.

Beispiel 3:



Die Störzone ist schraffiert.

Die Volumenelemente des aktuellen Integralbeitrags $\nabla\phi \cdot \nabla\phi^+$ dV (vgl. Anhang E) sind gestrichelt umrissen.

Die Z-Ebene mit dem Index 3 sei eine Plattengrenze.

Die Ableitung in Z-Richtung wird

- a) für das oberhalb der Plattengrenze liegende Volumenelement durch die Randform β mit den Punkten (2',1,0) approximiert (obwohl die Störzone den Punkt 2' nicht enthält).
- b) für das unterhalb der Plattengrenze liegende Volumenelement durch die Zentralform mit den Punkten (1,0,2) approximiert (weil für die Anwendung der Randform kein weiterer Punkt zur Verfügung steht)

Datei zur Beschreibung der Integrationsbereiche für die Störungsrechnung/
Spezialbereiche für Volumen- und Oberflächenintegration in AUDI3

(Vgl. Anhang E. Integration, Vgl. III A,B)

Zu einem vorgegebenen Paar von Energiegruppenindizes (i,j) ist zu integrieren:

1. Zur Bestimmung des Normierungsintegrals die Funktion $\phi_i \cdot \phi_j^+$ über den Bereich des Systems, in dem $\chi_j \cdot v \Sigma_i^f \neq 0$.
Dieser Bereich wird wie bei der Integralen Auswertung durch die Informationen aus den Blöcken der Mischungsverteilung und der Wirkungsquerschnitte bestimmt (VERT-Block; SIGMN-Block)
2. Zur Bestimmung der Zählerterme der integr. Störungskoeffizienten die Funktion $\phi_i \cdot \phi_j^+$, bei $i=j$ zusätzlich noch $\nabla \phi_i \cdot \nabla \phi_j^+$, über die Störzonen (wo $\Sigma \neq 0$)

Zu diesem Zweck erzeugt AUDI3 aus der Störzoneneingabe einen externen File (UNIT 10), der die Zugehörigkeit der Elementarvolumen (kurz E.V.; Vgl. Anhang E) zu den Störzonen in folgender Weise beschreibt:

Struktur der Satzpaare von File 10:

1. Satz INDZ
2. Satz ((JF(I,J), I=1, NX-1), J=1, NY-1); XYZ/θRZ-Geometrie
((JF(I,J), I=1, (NX-1)*2), J=1, NY-1); Δ-Z-Geometrie

Durch das Indexpaar (I,J) wird in der Schicht mit dem Z-Index INDZ ($1 < \text{INDZ} < \text{NZ}-1$) ein bestimmtes E.V. gekennzeichnet, oder ein bestimmtes Paar von E.V. bei Δ-Z-Geometrie) (Vgl. II.2: VERT-Block, vgl. Anhang E)

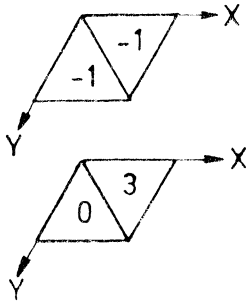
Der Reaktor wird durch die Z-Intervalle in horizontale "Schichten" unterteilt. Für jedes Z-Intervall, in deren Schicht mindestens 1 E.V. zu einer Störzone gehört, enthält der File ein Satzpaar (auf das letzte Paar von Sätzen folgt ein weiterer Satz, der nur die Zahl 0 enthält):

Der 1. Satz enthält den Index des Z-Intervalls. (Zählung beginnt in der obersten Schicht des Reaktoraufbaus mit dem Z-Index 1)

Der 2. Satz hat die gleiche Struktur wie die entsprechenden Sätze der Mischungsverteilung (1 Platte besteht aus einer oder mehreren Schichten.

Vgl. II.2 VERT-Block):

Er zeigt für das XY-Schema dieser Schicht (gegebenenfalls) die Zugehörigkeit eines E.V. zu einer Störzone durch die Störzonennummer an, während ein E.V. das zu keiner Störzone gehört, i.a. durch die Zahl -1 gekennzeichnet wird. In Δ -Z-Geometrie hat die -1 eine spezielle Bedeutung: Dort werden die E.V. einer Schicht paarweise d.h. jeweils für ein Parallelogramm erfaßt (Skizze)



Eine -1 im linken Dreieck besagt:
beide gehören keiner Zone an.

Eine 0 im linken Dreieck besagt:
(nur) das rechte gehört einer Zone an
(z.B. der Störzone Nr.3)

B. Störungsrechnung 1. Ordnung

Zur Herleitung der Terme der Störungsrechnung 1. Ordnung, gehen wir aus von der Gleichung A(7) der exakten Störungsrechnung.

Dabei werden in den Termen δL , δR , δSG , $\frac{1}{k} \delta FG$ und N die beiden Identitäten $\phi = \phi + \delta\phi$, $\frac{1}{k} = \frac{1}{k} + \delta\left(\frac{1}{k}\right)$ eingeführt.

Dazu können die Terme der Gleichung A(7) unter Abspaltung folgender Größen neu geschrieben werden

$$\delta L_1 = \sum_i \int \delta D_i \nabla \phi_i^+ \nabla \phi_i \, dv$$

$$\delta R_1 = \sum_i \int \phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \phi_i \, dv$$

$$\delta SG_1 = \sum_j \int \phi_j^+ \sum_{i < j} \delta \Sigma_{j+i}^{tot} \phi_i \, dv$$

$$= \sum_i \int \sum_{j > i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j-i}^{tot} \phi_i \, dv$$

$$\frac{1}{k} \delta FG_1 = \sum_j \int \phi_j^+ \sum_i \chi_j \frac{\delta v \Sigma_i^f}{k} \cdot \phi_i \, dv$$

$$= \sum_i \int \sum_j \phi_j^+ \chi_j \frac{\delta v \Sigma_i^f}{k} \phi_i \, dv$$

$$N_1 = \sum_{i,j} \int \phi_j^+ \chi_j v \Sigma_i^f \phi_i \, dv$$

Also:

$$\delta L = \delta L_1 + \sum_i \int \delta D_i \nabla \phi_i^+ \cdot \nabla \delta \phi_i \, dv$$

$$\delta R = \delta R_1 + \sum_i \int \phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \delta \phi_i \, dv$$

$$\delta SG = \delta SG_1 + \sum_i \int \sum_{j>i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j+i}^{\text{tot}} \delta \phi_i \, dv$$

$$\frac{1}{\tilde{k}} \delta FG = \frac{1}{\tilde{k}} \delta FG_1 + \sum_i \int \sum_j \phi_j^+ \chi_j \frac{\delta v \Sigma_i^f}{\tilde{k}} \delta \phi_i \, dv + \delta \left(\frac{1}{\tilde{k}} \right) \cdot \sum_{i,j} \int \phi_j^+ \chi_j \delta v \Sigma_i^f \phi_i \, dv$$

$$N = N_1 + \sum_{i,j} \int \phi_j^+ \chi_j v \Sigma_i^f \delta \phi_i \, dv$$

Wir sprechen von Störungsrechnung 1. Ordnung wenn die Gleichung A(7) geschrieben wird als:

$$\delta \left(\frac{1}{\tilde{k}} \right)_1 = \{ \delta L_1 + \delta R_1 - \delta SG_1 - \frac{1}{\tilde{k}} \delta FG_1 \} \cdot N_1^{-1}$$

Oder die Gleichung A(8) als:

$$\delta \left(\frac{1}{\tilde{k}} \right)_1 = \{ \delta L_1 + \delta C_1 + \delta D_1 + \delta F_1 \} \cdot N_1^{-1}$$

wobei die Terme δC_1 , δD_1 und δF_1 in der gleichen Weise aus δC , δD und δF hervorgehen.

Eine Rechtfertigung für die hierbei vorgenommenen Vernachlässigungen der Störungsrechnung 1. Ordnung liegt in der Beschränkung auf kleine Störungen $|\delta D| \ll D$ und $|\delta \Sigma| \ll \Sigma$ und der Annahme, daß dann $|\delta \phi| \ll \phi$ aber auch $|\nabla \delta \phi| \ll |\nabla \phi|$ ausfallen, was jedoch in besonderen Fällen für $\nabla \delta \phi$ problematisch werden kann. Dagegen darf $|\delta \left(\frac{1}{\tilde{k}} \right)| \ll \frac{1}{\tilde{k}}$ als Folge von $|\delta \Sigma| \ll \Sigma$ angenommen werden. In den Termen δL , δR etc. werden dann kleine Größen 2. Ordnung gegen solche 1. Ordnung, in N eine Größe 1. Ordnung gegen eine Größe 0. Ordnung vernachlässigt.

Umgekehrt darf aus $|\delta(\frac{1}{k})| \ll \frac{1}{k}$ nicht auf die Anwendbarkeit der Störungsrechnung 1. Ordnung geschlossen werden. Da sich $\delta(\frac{1}{k})$ aus mehreren Einzelbeiträgen zusammenstellt, die sich u.U. weitgehend gegenseitig kompensieren können, muß vielmehr für die Beurteilung der Anwendbarkeit darauf geachtet werden, ob auch jeder der Einzelbeiträge $\delta L_1, \delta C_1, \delta D_1, \delta F_1$ dem Betrag nach $\ll \frac{1}{k}$ ist.

Das Vorgehen zur Durchführung der Störungsrechnung 1. Ordnung ist eindeutig vorgeschrieben:

1. Beschreibung der Störfälle (vgl. Eingabebeschreibung, Teil IV des Berichtes)
2. Eingabe der Neutronenflußverteilung ϕ und der Neutronenimportanz ϕ^+ :
Blöcke FLUX3DIM und FLUA3DIM aus "direkter" und adjungierter Diffusionsrechnung.
3. Eingabe von k_{eff} über den KNTR-Block aus einer der beiden Rechnungen.
Eingabe der Mischungsverteilung des (einzigen) Systems:
VERT-Block aus einer der beiden Rechnungen zur Bestimmung von ϕ bzw ϕ^+ .

III.E2 Lokale Störungskoeffizienten

Ausgehend von der Verteilung der Neutronenflußdichte ϕ und der Importanz ϕ^+ eines stationären Systems mit dem effektiven Multiplikationsfaktor k werden folgende, dem integralen Störungskoeffizienten (aus Rechnung 1. Ordnung) analoge, jedoch für einzelne Punkte definierte Größen gebildet:

$$\delta\left(\frac{1}{k}\right)_P = \frac{\delta L_P + \delta R_P - \delta S G_P - \frac{1}{k} \delta F G_P}{N_1} = \frac{\delta L_P + \delta C L_P + \delta D_P + \delta F_P}{N_1}$$

Dabei bedeuten:

$$\delta L_P = \sum_i (\delta D_i \nabla \phi_i^+ \nabla \phi_i)_P \quad \delta C L_P = \sum_i (\phi_i^+ \delta \Sigma_i^C \phi_i)_P$$

$$\delta R_P = \sum_i (\phi_i^+ \delta \Sigma_i^R \phi_i)_P \quad \delta F L_P = \sum_i (\phi_i^+ \delta \Sigma_i^f \phi_i)_P$$

$$\begin{aligned} \delta S G_P &= \sum_j (\phi_j^+ \left[\sum_{i < j} \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \phi_i \right])_P & \delta D_P &= \sum_j (\phi_j^+ \left[\delta (\Sigma_j^R - (\Sigma_j^C + \Sigma_j^f)) \phi_j - \sum_{i < j} \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \phi_i \right])_P \\ &= \sum_i \left(\left[\sum_{j > i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \right] \phi_i \right)_P & &= \sum_i \left(\left[\phi_i^+ \delta (\Sigma_i^R - (\Sigma_i^C + \Sigma_i^f)) - \phi_j^+ \sum_{j > i} \delta \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \right] \phi_i \right)_P \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta F G_P &= \sum_j (\phi_j^+ \left[\chi_j \sum_i \delta \nu \Sigma_i^f \phi_i \right])_P & \delta F_P &= \sum_j (\phi_j^+ \left[\delta \Sigma_j^f \phi_j - \frac{1}{k} \chi_j \sum_i \delta \nu \Sigma_i^f \phi_i \right])_P \\ &= \sum_i \left(\left[\sum_j \phi_j^+ \chi_j \delta \nu \Sigma_i^f \right] \phi_i \right)_P & &= \sum_i \left(\left[\phi_i^+ \delta \Sigma_i^f - \frac{1}{k} \sum_j \phi_j^+ \chi_j \delta \nu \Sigma_i^f \right] \phi_i \right)_P \end{aligned}$$

$$N_1 = \int \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i \, dV$$

N_1 ist wieder das Normierungsintegral der Störungsrechnung 1. Ordnung. Die Größen $\delta\Sigma$ beschreiben die Störungen der makroskopischen Wirkungsquerschnitte an der Stelle P.

Die $\delta(\frac{1}{k})_P$ lassen sich interpretieren als Grenzwerte von volumenbezogenen integralen Störungskoeffizienten:

Man betrachte etwa eine Kugelschachtelung (K_1) zum Punkt $P_0 (V_1, r_1$ seien Volumen und Radius von K_1 ; dann gilt $V_1, r_1 \rightarrow 0$ für $l \rightarrow \infty$ und $P_0 \in V_1$ sowie $V_1 \subset V_{l-1}$) und eine Folge von Systemstörungen, die (unabhängig von l) durch die gleichen Änderungen $\delta\Sigma$ aber (abhängig von l) in den verschiedenen Volumina V_1 gegeben sind. Dabei wird angenommen, daß bereits V_0 von homogener Materialzusammensetzung ist. Die gestörten Neutronenflußdichten und Multiplikationsfaktoren seien ϕ^l und k^l .

Man denke sich die entsprechenden Störungskoeffizienten

$$\delta(\frac{1}{k})_l = \frac{1}{k^l} - \frac{1}{k} \quad \text{berechnet:}$$

$$\delta(\frac{1}{k})_l = \frac{1}{N_1} \int_{K_1} \{ \sum_i \nabla \phi_i^+ \delta D_i - \nabla \phi_i^+ \delta \Sigma_i r \phi_i^l - \sum_i \sum_{j>i} \phi_j^+ \delta \Sigma_{j+i}^{tot} \phi_i^l - \frac{1}{k^l} \cdot \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j \delta v \Sigma_i^f \phi_i^l \} dv$$

mit:

$$N_1 = \int_R \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j v \Sigma_i^f \phi_i^l dv$$

Bei Störungsrechnung 1. Ordnung gilt für alle l :

$$k^l = k, \quad \phi^l = \phi, \quad N_1 = N_1$$

Also (wegen der Stetigkeit des Integranden in K_1) nach dem Mittelwertsatz der Integralrechnung:

$$\delta(\frac{1}{k})_l = \frac{1}{N_1} \cdot \{ \delta L_{P_1} + \delta R_{P_1} - \delta S_{G_{P_1}} - \frac{1}{k} \delta F_{G_{P_1}} \} \cdot V_1$$

wobei P_1 ein geeigneter Punkt innerhalb der Kugel K_1 ist. Es folgt dann (wieder wegen der Stetigkeit der Terme in der Klammer und) wegen $P_1 \rightarrow P_0$:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\delta(\frac{1}{k})_l}{V_1} = \delta(\frac{1}{k})_{P_0} \quad (\delta L_{P_1} \rightarrow \delta L_{P_0} \text{ u.s.w.})$$

Bei exakter Störungsrechnung (für die Störung $\delta\Sigma$ in K_1 , mit ϕ^1 und k^1) gilt jedenfalls für $l \rightarrow \infty$: $k^1 \rightarrow k$; daß auch $N_1 \rightarrow N_1$ läßt sich z.B. zeigen, wenn man folgende Annahmen über die Sequenz der gestörten Neutronenflußverteilungen ϕ^1 macht:

- (1) Ist K_{1_0} eine beliebige Kugel der Schachtelung um P_0 , dann konvergiert die Funktionenfolge ϕ^1 im Außenbereich $\overline{K_{1_0}}$ von K_1 gegen die ungestörte Funktion ϕ , während sie im Innern von K_{1_0} gleichmäßig (bezüglich l) beschränkt ist.
- (2) Die Konvergenz ist monoton. Diese Annahme soll mit der monotonen Abnahme der Störungsvolumen K_1 begründet werden.

Die Monotonie der Konvergenz hat dann (wegen der Stetigkeit von ϕ^1 und ϕ) deren Gleichmäßigkeit zur Folge (Satz von DINI).

Für jedes l und l_0 gilt die Beziehung:

$$N_1 = \sum_{i,j} \int_{K_{1_0}} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i^1 dV + \int_{\overline{K_{1_0}}} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i^1 dV$$

Die angenommene Gleichmäßigkeit der Konvergenz von $\phi^1 \rightarrow \phi$ in $\overline{K_{1_0}}$ hat nun zur Folge:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \int_{\overline{K_{1_0}}} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i^1 dV = \int_{\overline{K_{1_0}}} (\lim_{l \rightarrow \infty} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i^1) dV = \int_{\overline{K_{1_0}}} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i dV$$

Das Integral über K_{1_0} geht wegen der gleichmäßigen Beschränktheit der Integranden, d.h. von ϕ^1 mit $l_0 \rightarrow \infty$ gegen 0.

Also haben wir unter den Annahmen (1) und (2) tatsächlich auch

$$N_1 \rightarrow N_1$$

Für die Zählerterme ist das Konvergenzverhalten von ϕ^1 an der Stelle P_0 entscheidend wie z.B. für δR_1 :

$$\delta R_1 = \int_{K_1} \sum_i \phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \phi_i^1 dV = \sum_i (\phi_i^+ \delta \Sigma_i^r \phi_i^1)_{P_1} \cdot V_1$$

wobei wie oben P_1 geeignet aus V_1 zu nehmen ist und wieder $P_1 \rightarrow P_0$ gilt. Auch erscheint die Konvergenz der Folge ϕ^1 in P_0 gesichert, wobei der Grenzwert jedoch von $\phi(P_0)$ abweicht:

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \phi^1(P_0) = C_{P_0} \cdot \phi(P_0) \text{ mit } C_{P_0} \neq 1.$$

Um also die lokalen Störungskoeffizienten als Grenzwerte volumenbezogener exakter integraler Störungskoeffizienten interpretieren zu können, müßte die Annahme $C_{P_0} \sim 1$ gemacht werden. Plausibel erscheint jedoch eher:

$C_{P_0} = 1 + \rho_{P_0}(|\delta\Sigma|)$ mit ρ_{P_0} als stetigem Funktional der vektoriellen Größe $\delta\Sigma$ und $\rho_{P_0}(0) = 0$.

D.h. es muß an kleinen $\delta\Sigma$ festgehalten werden, um in den Zählertermen C_{P_0} durch 1 ersetzen zu können, also $C_{P_0} \cdot \phi(P_0)$ durch $\phi(P_0)$: Das ist die Bedingung für Anwendbarkeit der Störungsrechnung 1. Ordnung.

Die Größe $\delta(\frac{1}{K})_P$ kann als Dichte eines integralen Störungskoeffizienten 1. Ordnung angesehen werden:

Sie gibt die Größe von $\delta(\frac{1}{K})_1$, wenn im Einheitsvolumen um P die (kleine) Querschnittsänderung $\delta\Sigma$ vorgenommen wird.

Für das Volumen V muß der lokale Störungskoeffizient integriert werden

$$\delta(\frac{1}{K})_1 = \int_V \delta(\frac{1}{K})_P d_p V.$$

(Die "exakte Dichte" zu einer Störung des Volumens V mit $\delta\Sigma$ erhält man durch Verwendung der Größen $\check{\phi}$ und \check{K} !).

AUDI3 enthält eine Option zur Integration lokaler Störungskoeffizienten über die "lokale Störzone".

(Vgl. Bestimmung lokaler Störungskoeffizienten in AUDI3)

Bestimmung lokaler Störungskoeffizienten in AUDI3

Eingabe: K70 und K88 bis S91

Routinen: PERPRF, PERTRB, PERAUD.

Die lokalen Störungskoeffizienten werden in AUDI3 für die Gitterpunkte in "lokalen Störzonen" berechnet.

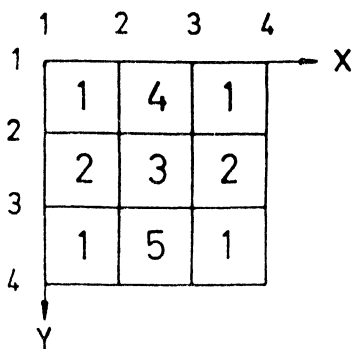
Eine lokale Störzone wird ganz ähnlich festgelegt wie eine Störzone der integralen Störungsrechnung: durch einen Zonenrahmen und eine Originalmischung. Zur lokalen Störzone gehören dann genau diejenigen Gitterpunkte, die auf dem Zonenrahmen oder in seinem Innern liegen und die gleichzeitig Eckpunkte von Volumenelementen sind, welche die angegebene Originalmischung (mit der Nummer MO) enthalten. Ein solches Volumenelement muß nicht zum Innern des Rahmens gehören d.h. insbesondere: die Koordinatenflächen des Zonenrahmens dürfen paarweise zusammenfallen. Es wird durch die lokale Störzone nicht ein Volumen festgelegt, sondern eine Menge von Gitterpunkten.

Wie bei der integralen Störungsrechnung kann zu jeder lokalen Störzone mehr als eine Störmischung angegeben werden.

Das folgende - schematische Beispiel in XYZ-Geometrie soll das in AUDI3 gewählte Vorgehen verdeutlichen.

(Man denke sich die Z-Richtung unterdrückt oder nehme $Z_1=Z_2$ an.

Vgl. (Z_1, Z_2) unten)



Die Zahlen auf dem Rande der Skizzen bedeuten Koordinatenindizes

Die Zahlen im Innern bedeuten Nummern von Originalmischungen

'LOCPER' 1

(K88, lokale Störungsrechnung für 1(lokal) Störzone)

'ZONE' 1

(Vgl. S89, ff)

2 3 2 3 (Z_1, Z_2) 0 2

(Zonenrahmen, 0=dummy; 2 Störmischungen

3 6 7

(Originalmischung mit Nr.3, Störmischungen mit Nrn. 6 und 7)

Zur lokalen Störzone 1 gehören also die "4" inneren Punkte des Systems (Z-Richtung unterdrückt), mit dem XY-Koordinatenindizes: (2,2) (3,2) (2,3), (3,3).

Die gleiche Punktmenge erhält man aber auch, wenn man 1 oder 2 als Originalmischung angibt (Die Störungen beziehen sich dann natürlich auf die Mischungen 1 oder 2!)

Für jede der beiden Störmischungen (6 und 7) wird eine Tabelle mit lokalen Störungskoeffizienten ausgedruckt; die Punkte werden durch die Tripel ihrer Koordinatenindizes identifiziert.

```
'ZONE' 2 *  
2 3 2 3 (Z1Z2) 0 1  
4 6
```

Zur lokalen Störzone 2 gehören die "beiden" oberen Punkte der "4" inneren (vom Zonenrahmen erfaßten) Punkte, mit den XY-Koordinatenindizes : (2,2), (3,2). In der Tabelle mit den Störungskoeffizienten werden auch die "beiden" unteren (vom Zonenrahmen erfaßten aber nicht zur lokalen Störzone 2 gehörigen) Punkte durch Angabe der Tripel ihrer Koordinatenindizes (unter Weglassung der nicht definierten Störungskoeffizienten) aufgeführt.

```
'ZONE' 3  
2 3 1 2 (Z1Z2) 0 1  
5 6
```

Die lokale Störzone ist leer. Es wird eine entsprechende Nachricht ausgedruckt. Es erfolgt kein Ausdruck einer "leeren" Tabelle mit Einführung der Punkte des Rahmengenbiets.

Die Option zur "Integration lokaler Störungskoeffizienten über eine lokale Störzone" ist nur dann sinnvoll anzuwenden, wenn die Wahl von Zonenrahmen und Originalmischung gemäß den Erfordernissen der Prüfoption 2 für integrale Störzonen getroffen wird (Vgl. Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3.Vgl. IV K2:IPRI)

Dann läßt sich das Ergebnis dieser Integration mit dem integralen Störungskoeffizienten (zur "gleichen" Störzone, mit gleicher Störmischung) vergleichen.

* Die durch die lokalen Störzonen 1 und 2 gegebenen Gitterpunkte des Systems sind wegen der unterschiedlichen Mischungsangaben verschieden, obwohl beide Zonen den gleichen "Rahmen" haben.

Abweichungen werden sich in bestimmten Fällen nur beim Leckageterm Delta (Diffusion) ergeben:

Anders als bei der integralen Störungsrechnung wird bei der Approximation der partiellen Ableitungen in den lokalen Störungsrechnungen der "Rand der (lokalen) Störzone" nicht als solcher behandelt. (Vgl. Approximation der partiellen Ableitungen bei lokalen Störungsrechnungen in AUDI3).

Approximation der partiellen Ableitungen bei lokaler Störungsrechnung in AUDI3

Vgl.: Approximation der partiellen Ableitungen bei integr. Störungsrechnung in AUDI3.

Insbesondere die Vorbemerkung 1 gilt unverändert für die lokale Rechnung. Entsprechend der in Abschnitt III.E.2 erläuterten Herleitung der lokalen Störungsrechnung sind in diesem Fall nur die Ränder von Originalmischungen zu beachten.

XYZ- und Θ RZ-Geometrie

Verwendung von 3-Punkt-Formeln für alle Koordinatenrichtungen.

a) für die achsennormalen Richtungen werden in Randpunkten* der Originalmischungen, i.a. die Randformen verwendet. Wo dies jedoch zur Überschreitung der Systemgrenzen* führt, wird die Zentralform* genommen.

b) Für die Z-Richtung werden auf den Plattengrenzen* (diese sind i.a. nur z.T. mit den horiz. Rändern von Originalmischungen identisch) die Randformen genommen, mit den Ausnahmen, die möglicherweise in der Nähe von Systemgrenzen notwendig werden:

Hinweis: Die Ausnahmefälle treten dann auf, wenn Platten betrachtet werden müssen, die nur aus einer Schicht bestehen.

(Vgl. Beispiel zur Δ -Z-Geometrie weiter unten)

* Anmerkung:

Bezüglich Begriffsdefinitionen siehe Erläuterung zu Beispielen in "Approximation der partiellen Ableitungen bei integraler Störungsrechnung"

Δ -Z-Geometrie

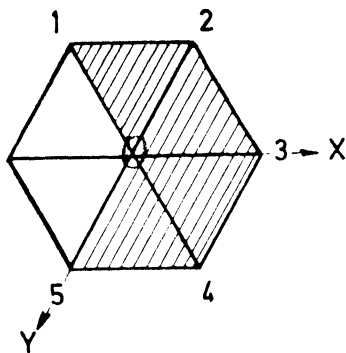
- a) Für die X/Y-Richtung (Δ -Ebenen) werden 2-Punktformeln verwendet.
- b) Die Z-Richtung wird wie in den anderen Geometrien behandelt.
- c) Die Behandlung der Plattengrenzen ist für alle Geometrien gleich.

Folgendes Beispiel für Δ -Z-Geometrie soll das Vorgehen in AUDI3 erklären.

Der Punkt (O), für den der lokale Störungskoeffizient zu bestimmen ist, sei Mittelpunkt der abgebildeten Hexagone. Die Originalmischung, die dabei zu stören ist, sei durch die schraffierten Dreiecke lokalisiert:

Liegt der Punkt auf einer Ebene im Innern etwa der 1. Platte (vgl. Skizze), so liegen oberhalb und unterhalb der schraffierten Dreiecke (O12) bis (O45) Elementarvolumina mit der zu störenden Originalmischung.

Für die Approximation der Ableitungen in Z-Richtung wird die zentrale Platte 1



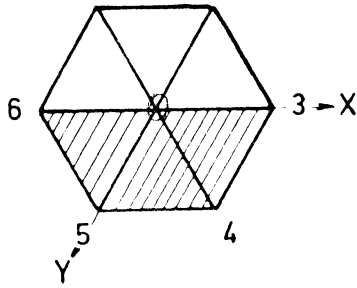
3-Punkt-Formel verwendet. Der XY-Anteil des Skalarprodukts wird über die 4 schraffierten Dreiecke gemittelt (das entspricht der Mittelung über die insgesamt 8 anliegenden Elementarvolumina) und dann zum Z-Anteil addiert.

Liegt der Punkt (O) auf der Grenzebene zwischen der 1. und 2. Platte, so liegen etwa für die 1. Platte (vgl. Skizze) die Elementarvolumina mit der zu störenden Mischung nur oberhalb der schraffierten Dreiecke (O12) bis (O45).

Für die Approximation der Ableitung in Z-Richtung wird die entsprechende 3-Punkt-Randformel verwendet.

Für den XY-Anteil des Skalarprodukts ergibt sich der gleiche Mittelwert wie eben (das entspricht jetzt aber der Mittelung über die 4 oberhalb liegenden Elementarvolumina)

Platte 2:



Kommt die Originalmischung auch in der 2. Platte vor, so wird analog verfahren: Approximation der Ableitungen in Z-Richtung durch die alternative Randform, Mittelung über die Dreiecke (O34) bis (O56), entsprechend der Mittelung über die (die zu störende Originalmischung enthaltenden) Elementarvolumina unterhalb dieser Dreiecke.

Die endgültige Größe für das Skalarprodukt $(\nabla\phi, \nabla\phi^+)$ zum Punkt (O) wird als arithmetisches Mittel der beiden Mittelwerte für die Platten 1 und 2 gebildet.

Wenn eine Platte in Z-Richtung nur 2 Punkte hat, wird hinsichtlich der Verwendung der Rand- und Zentralform genau wie in der integralen Rechnung verfahren.

III.F Effektive Anteile verzögerter Neutronen

Eingabe: K70 (NBETA), K92 bis S96

Routinen: PERTRB, PERAUD

Pro Sekunde und pro Neutron der Energiegruppe i entstehen durch Spaltung des spaltbaren Isotops m (natürlich abhängig von der das Isotop enthaltenden Mischung), im Mittel $v_i (\nu \Sigma_f)_i^m$ Spaltneutronen, zum größten Teil als sog. prompte Neutronen (v_i Neutronengeschwindigkeit in Energiegruppe i)

Bestimmte Spaltprodukte mit Neutronenüberschuß sind negative Betastrahler. Der Folgekern eines solchen Spaltprodukts kann so hoch angeregt sein, daß er ein Neutron emittieren kann. Die Emission eines solchen sog. verzögerten Neutrons erfolgt stets unmittelbar nach Bildung des Mutterkerns, so daß es mit der mittleren Verzögerungszeit des β -Zerfalls des sog. Vorläufers erscheint (1s bis 1m nach Spaltung).

Die verzögerten Neutronen werden nach den Halbwertszeiten des β -Zerfalls der Spaltprodukte in z. Zt. 6 Vorläufergruppen unterteilt:

Der Anteil der verzögerten Neutronen in der Vorläufergruppe k infolge von Spaltungen des Isotops m durch Neutronen der Energiegruppe i - bezogen auf alle Spaltneutronen infolge von Spaltungen durch Neutronen der Energiegruppe i - wird mit $\beta_i^{m,k}$ bezeichnet. Die relative Energieverteilung der verzögerten Neutronen wird für jede einzelne Vorläufergruppe durch ein Spektrum χ^k beschrieben, so daß eine Abhängigkeit von m nicht erfaßt wird. χ^k wird (wie χ) als unabhängig von i angenommen.

Man hat also für jede Vorläufergruppe k

$$\sum_j \chi_j^k = 1 \quad (j \text{ Energiegruppenindex})$$

Ähnlich wie N bilden wir $N^{m,k}(V)$, die (integrale) Rate der Einflußproduktion durch verzögerte Neutronen des Isotops m in der Vorläufergruppe k für das Volumen V (vgl. III.E., III.G)

$$N^{m,k}(V) = \int_V \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j^k (\nu \Sigma_f)_i^m \beta_i^{m,k} \phi_i \, dV .$$

Die Größe (vgl. /12 /; vgl. /14/)

$$\beta_{\text{eff}}^{m,k}(V) = \frac{N^{m,k}(V)}{N}$$

heißt "effektiver" Anteil der verzögerten Neutronen des Isotops m in der Vorläufergruppe k für das Volumen V.

AUDI3 berechnet die Größen $\beta_{\text{eff}}^{m,k}(V)$, wobei V das Reaktorvolumen R und die Mischungs- bzw. Zonenvolumina durchläuft (vgl. II.2, III.A: Standardbereiche)

Für alle betrachteten Volumina werden endlich die Größen

$$\beta_{\text{eff}}^k(V) = \sum_m \beta_{\text{eff}}^{m,k}(V)$$

$$\beta_{\text{eff}}^m(V) = \sum_k \beta_{\text{eff}}^{m,k}(V)$$

$$\beta_{\text{eff}}(V) = \sum_{m,k} \beta_{\text{eff}}^{m,k}(V)$$

gebildet.

Die Größe $(v \Sigma^f)_i^m \cdot \beta_i^{m,k}$, abhängig von m und k, der Energiegruppe i und von der Mischung kann für jedes Paar (m,k) als nur mehr energiegruppen- und mischungsabhängiger Typ $[(v \Sigma^f \beta)^{m,k}]_i$ bzw. $[(v_d \cdot \Sigma^f \cdot a)^{m,k}]_i$, beschrieben werden, und wird von AUDI3 (in dieser Form) im SIGMN-Block erwartet, ebenso wie die Spektren χ^k der Neutronen der Vorläufergruppe. Die Erzeugung all dieser Typen leistet der KAPROS-Modul SIGMUT (/15/), wobei die χ^k als Eingabe erwartet werden.

Hinweis:

Für $\beta^{m,k}$ (d.h. im stationären Fall: für die Wahrscheinlichkeit der Bildung der Vorläufer) wird, ebenso wie für χ^k , häufig angenommen, daß diese Größen unabhängig von i sind, d.h. die Energie des Neutrons, das die Spaltung auslöst, keinen Einfluß auf diese Größen besitzt. Für schnelle Reaktoren ist es i.a. zweckmäßig, diese Näherungsannahme für $\beta^{m,k}$ durch die folgende Näherungsannahme zu ersetzen (diese ist in einem größeren Energiebereich gültig und daher besser geeignet): statt $(v \Sigma^f)_i^m \cdot \beta_i^{m,k} = (v \Sigma^f)_i^m \cdot \beta^{m,k}$ wird die Größe $v_d^m \cdot (\Sigma^f)_i^m \cdot a^{m,k}$ verwendet, da $v_d^m = v^m \beta^m$ und $a^{m,k} = \beta^{m,k} / \beta^m$ (=fractional group yield) für Energien unterhalb von etwa 4 MeV als konstant vorausgesetzt werden können, wobei $\beta^m = \sum_{k=1}^6 \beta^{m,k}$ gilt und die Zahlenwerte für v_d^m sowie u.U. für die zugehörigen Größen $a^{m,k}$ und β^m aus Daten für die Spaltung durch thermische Neutronen gewonnen werden.

III. G Effektive Generationsdauer/Lebensdauer von Neutronen

Eingabe: K70 (NLIFE)
 Routinen: PERTRB, PERAUD

Die Größe

$$E(V) = \int_V \sum_i \bar{v}_i^+ \frac{1}{v_i} \phi_i dV \quad (v_i \text{ Neutronengeschwindigkeit in Gruppe } i)$$

ist die Gesamtimportanz der Neutronenpopulation des Volumens V.

Das Normierungsintegral (vgl. III.E)

$$N = \int_R \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_{j,i} v_j \Sigma_i^f \phi_i dV$$

läßt sich interpretieren als integrale Rate der Importanzproduktion durch Spaltung, d.h. als Gesamtimportanz der - von der Neutronenpopulation des Reaktors (R) - pro Sekunde erzeugten Spaltneutronen,

Die Größe

$$\Lambda(V) = \frac{E(V)}{N}$$

ist dann die Zeit, in der die Neutronenpopulation von R soviel Importanz (von Spaltneutronen) produziert, wie von der Teilpopulation in V repräsentiert wird.

Die Zeit $\Lambda = \Lambda(R)$, in der also die Neutronenpopulation gerade ihre Gesamtimportanz E(R) reproduziert, heißt "effektive Generationsdauer".

Die Zeit $l = l(R)$, in der durch Leckage und Absorption in R Importanz vom Betrage E(R) verloren geht, heißt "effektive Lebensdauer".

In einem kritischen System sind Produktion und Verlust ausgeglichen, und es ist $l = \Lambda$.

Für stationäre Systeme gilt allgemein:

$$l = k \cdot \Lambda$$

Gewöhnlich werden die Größen Λ und l mit dem Zusatz "prompt" bezeichnet. Dieser Zusatz kann sich auf die Annahme (bei der Interpretation des Normierungsintegrals N) beziehen, daß auch die verzögerten Neutronen "prompt" auftreten (während dies nur für die entsprechenden Precursoratome gilt).

Diese Interpretation ist für die (in AUDI3 auszuwertenden) stationären Systeme gerechtfertigt, denn hinsichtlich der (stationären) Importanz ist kein Unterschied zu machen zwischen den Precursoratomen und "ihren" verzögerten Neutronen, wenn als Energieverteilung der Neutronen $\chi = \sum_{m=0} \beta^m \chi^m$ verwendet wird (Vgl. Anhang C; vgl. Legende)

Dagegen erscheint für die Reaktorkinetik diese auf stationäre Verhältnisse bezogene Begründung prinzipiell ungeeignet.

Im Kontext der Reaktorkinetik erscheint vielmehr der Zusatz prompt zu den Größen Λ und l gerechtfertigt, wenn die Größe N durch N^0 ersetzt wird (Vgl. III.F: $N^{k,m}$):

$$N^0 = \int_V \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j^0 \beta^0 \nu \Sigma_i^f \phi_i \, dV$$

In der Praxis indessen kannman i.a. N^0 durch N ersetzen. (Vgl. /12/. p. 161f; vgl. /13./)

AUDI3 berechnet die Größen $\Lambda(V)$ oder $l(V)$, wobei V das Reaktorvolumen R und die Mischungs- bzw. Zonenvolumina durchläuft. (vgl. II.2, III.A. Standardbereiche)

$$\Lambda(V) = \frac{\int_V \sum_i \phi_i^+ \frac{1}{v_i} \phi_i \, dV}{\int_R \sum_{i,j} \phi_j^+ \chi_j \nu \Sigma_i^f \phi_i \, dV}$$

AUDI3 erwartet den Typ $1/v$ im SIGMN-Block.

IV. Beschreibung der Karteneingabe

Die hier beschriebenen Eingabedaten werden als KSIOX-Block mit dem Blocknamen DBN = AUDINP eingegeben und von dem Prüfmodul PMN = AUDIPR geprüft. Die Eingabe erfolgt FORMAT-frei nach KSFORM-Konventionen /3/ S bezeichnet eine Anweisung oder Erläuterung zur Erstellung der Eingabesätze; K bezeichnet einen Eingabesatz.

- 1) Kette (n) soll eine Kette von n in Hochkommata eingeschlossenen Zeichen bedeuten.
- 2) Die Schlüsselworte ('KONTPARM' etc) sind mit den sie einschließenden Hochkommata zu schreiben.
- 3) Die Eingabe beginnt mit K1

K1	'KONTPARM'	kennzeichnet die folgenden Daten als Kontrollparameter
	IGEO = 1	XYZ-Geometrie
	= 2	θRZ-Geometrie
	= 3	Δ-Z-Geometrie
	NX	Anzahl der Punkte in X/θ-Richtung
	NY	" " " " Y/R-Richtung
	NZ	" " " " Z-Richtung
	NGP	Anzahl der Energiegruppen
	NM	Anzahl der Mischungen (im SIGMN-Block, vgl. II.3) bei der vorangegangenen Diffusionsrechnung

K2 IZON Die Form, in der der VERT-Block (vgl. II.2; Form 1,2,3) verarbeitet wird, d.h. welche Gebiete als Standardbereiche der Volumenintegration (Vgl. III.A und K2: NVOL, NORM, NGLB, vgl. III.E/F/G und K2: NSTR) und der Oberflächenintegration (Vgl. III. B und K2: NLEK) genommen werden, wird durch IZON in folgender Weise gesteuert:

= ± 1 Standardbereiche sind Mischungsgebiete:
Form 1. des VERT-Blocks. Wird der Block nicht schon in dieser Form an AUDI3 übergeben, so wird er entsprechend umgewandelt.

= ± 2 Standardbereiche sind zusätzlich (zu den Mischungsgebieten) gewisse Teilgebiete von Mischungsbereichen:
Form 2 oder 3 des VERT-Blocks. Wird der Block in Form 1 an AUDI3 übergeben, so wird er in Form 3 umgewandelt. Andernfalls wird er in der Form verarbeitet, in der er an AUDI3 übergeben wird. Bei positivem Vorzeichen wird der VERT-Block in der (der Größe von IZON) entsprechenden Form ausgedruckt. Sonst nicht.

NVOL > 0 Volumina der Integrationsgebiete werden bestimmt. Erforderlich für Mittelwertbildungen (Vgl. K6:NFAV)

= 1 Nur Berechnung (keine Druck-oder Blockausgabe)

= 2 Drucken

= 3 Block erzeugen (Vgl. V.2)

= 4 Drucken und Block erzeugen

= 0 keine Bestimmung der Volumina

IPRI Kennziffer für die Prüfung/Interpretation der Eingabe (vgl. NSTR, vgl. K76 bis S86) zur Spezifizierung von Reaktorgebieten, die als "Spezialbereiche" der Volumenintegration (III.A)/Oberflächenintegration (III.B), sowie als Störzonen der integralen Störungsrechnung (III.E) verwendet und in III.E : "Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3" erklärt werden. Insbesondere werden dort die beiden durch IPRI anzugebenden, Störzonenoptionen erklärt:(p.50):

- = 1 Störzonenoption 1
- = 2 Störzonenoption 2

Die gemäß IPRI geprüfte/interpretierte Information dieser Gebietseingabe wird auf eine Datei geschrieben (Vgl. III.E: Datei zur Beschreibung der Integrationsgebiete zur integralen Störungsrechnung. Vgl.VII: UNIT 10 mit DISP=NEW)

- =-1 Bei wiederholter Verwendung der identischen Gebietseingabe (wie etwa: bei Störungsrechnung mit Restart (vgl. IRST) oder bei Neuverwendung der Störzone einer Störungsrechnung als Spezialbereiche einer Ratenberechnung und umgekehrt), kann die erneute Prüfung/Interpretation unterdrückt werden, indem IPRI < 0 gesetzt und die Datei bereitgestellt wird (UNIT 10 mit DISP= OLD).

Zwar muß dennoch die ursprüngliche Eingabe erneut erfolgen. (Bei Restart einer Störungsrechnung ist dies nicht nur aus programmtechnischem Grund erforderlich; denn die Störzoneneingabe ist mit der Eingabe für Störmischungen und Störfälle gekoppelt, deren Information nicht in der Datei (Unit 10) abgelegt wird), doch immerhin erfordert die Erzeugung der Datei mit der geprüften/interpretierten Eingabe z.B. für ca 1500 Störzonen ca. 50 sec CPU-Zeit, so daß die Benutzung dieser Option (IPRI < 0) zu empfehlen ist.

= 0 Es erfolgt keine Eingabe von Spezialbereichen/
Störzonen (bei NSTR=0, vgl. K2, p.8f)

IRST

Restartoption für Auswertungen III.E. (NSTR1,
NSTR1 > 0) III.F(NBETA > 0), III.G (NLIFE > 0)
Restartpunkt ist der Abschluß der Rechnung
für ein Energiegruppenpaar (I,NGP),
I für Neutronenflußdichte ($1 \leq I \leq \text{NGP}$),
NGP für Neutronenimportanz. (Vgl. III.E. Stör-
ungsrechnung; Vgl. K1: NGP)

= 1 Jeweils nach Ablauf einer "Gruppenschleife" d.h.
der Rechnung für NGP-Gruppenpaare (I,1) bis
(I,NGP)($1 \leq I \leq \text{NGP}$) wird geprüft, ob die
verbliebene CPU-Zeit größer (+ 2 Sekunden) ist
als der bislang maximale Zeitbedarf für eine
solche Gruppenschleife. Ist das nicht der Fall, so
wird ein KAPROS-Block mit dem Namen
'AURE_____ ' durch KSPUT-Aufrufe erzeugt.
(Das 1. Wort des Blocks enthält die Energie-
gruppennummer I)

Danach wird der AUDI3-Lauf beendet.

- = 2 Der Restart-Block muß zur Verfügung stehen (KSGET-Aufruf) und unverändert die Blöcke aus II, insbesondere der VERT-Block. Die Störungsrechnung wird mit der gleichen Eingabe für die Störzonen einschließlich der Angabe der Störmischungen (integral und lokal) gestartet. (vgl. IPRI)
Jedoch darf die Störfall-Eingabe modifiziert sein. Auch können zusätzliche Auswertungen in einem Lauf mit Störungs-Restart vorgenommen werden (einschließlich Normierung der Neutronenflußdichte)
- = 3 Verbindet die Optionen 2 (Restart) und 1 (Restartvorbereitung; hier werden KSCH-Aufrufe an Stelle von KSPUT-Aufrufen vorgenommen)
- = 0 Keine Restart-Operation.

NORM

- > 0 Auswertung nach III.A.1
Umnormierung der Neutronenflußverteilung
Die normierten Werte bilden den FLUN-Block (Vgl. V.9). Dieser Block hat den Namen 'FLUN3DIM_-----' und die Struktur des in II.5 beschriebenen FLUX-Blocks. (Vgl. K3, K4. NORM gibt die Länge eines Eingabevektors in K3)
- = 0 Keine Auswertung nach III.A.1

NGLB

- ≠ 0 Auswertung nach III.A.2 bis III.A.5, basierend auf Volumenintegration der Neutronenflußdichte (vgl. K6: 'NGLBPARM')
- > 0 Verwendung des FLUX-Blocks (Vgl. II.4)
- < 0 Verwendung des FLUN-Blocks (Vgl. K2: NORM)
- = 0 Keine Auswertung nach III.A.2 bis III.A.5

- NLEK \neq 0 Auswertung nach III.B
Neutronenleckage als Oberflächenintegral von
 $-D \cdot \text{grad } \phi$ (vgl. K431 'LECKAGFN')
- = + 1 Diffusionskoeffizient D richtungsunabhängig
(Isotropie)
- = + 2 Diffusionskoeffizient D "radial"/axial unter-
schiedlich (Anisotropie)
- > 0 Verwendung des FLUX-Blocks
- < 0 " des FLUN-Blocks
- = 0 Keine Auswertung nach III.B.
- NLOK \neq 0 Auswertung nach III.C.
Lokale Raten und ihre Linienintegrale
(vgl. K44: 'LOKLPARM')
- > 0 Verwendung des FLUX-Blocks
- < 0 " des FLUN-Blocks
- = 0 Keine Auswertung nach III.C.
- NAUS \neq 0 Druckausgabe der Neutronenflußdichte (III.D)
- > 0 Verwendung des FLUX-Blocks
- < " des FLUN-Blocks
- = 0 Keine Auswertung nach III.D.

NSSTR = 1 Betrifft Auswertung III.A. Es soll keine Störungsrechnung durchgeführt werden. Man setzt $NSTRI < 0$ ($NSTRL=NBETA=NLIFE = 0$, vgl. K68), um die Eingabe für die Spezialgebiete der Volumen- und Oberflächenintegration bereitzustellen.

Die zur Spezifizierung dieser Gebiete nicht erforderlichen Angaben der Störmischungen (und Störfälle) sind dann als Dummy-Größen in die Eingabestruktur einzufügen (Vgl. K74 bis S86). Die Störfallangaben sind nur bei $NSF \geq 2$ in K72 anzugeben. Man wähle daher $NSF < 2$. Hinweis: Immer, wenn integrale Störungsrechnung durchzuführen ist ($NSTR > 1$ mit $NSTRI > 0$), werden die integralen Störzonen automatisch auch als Spezialbereiche der Volumen- und Oberflächenintegration von III.A genommen. (Falls diese ebenfalls durchgeführt wird: $NVOL \neq 0$, $NGLB \neq 0$)

> 1 Auswertung III.F ($NSTRI > 0$ und/oder $NSTRL > 0$)
und/oder III.F ($NBETA > 0$)
und/oder III.G ($NLIFE > 0$)
("Kinetische Parameter")

= 2 Druckausgabe

= 3 Blockausgabe

= 4 Druck- und Blockausgabe

der den Parametern $NSTRI, NSTRL, NBETA, NLIFE$
> 0 entsprechenden Größen.

Blockausgabe Vgl. V.6 'PERTKOFF' ($NSTRI > 0$)

Vgl. V.7.'BETA_EFF' ($NBETA > 0$)

In V.7 sind bei NLIFE > 0 die Größen der Lebens/Generationsdauer enthalten.
Für lokale Störungskoeffizienten (NSTRL>0) gibt es keine Blockausgabe.

= 0 Keine Störungsrechnung etc.
Keine Spezialbereichseingabe

IKEF * = 0 keine weitere Eingabegröße auf K2
 = 1 eine weitere Eingabegröße auf K2
 nämlich XKEFF2
 = 2 es folgen XKEFF1 und XKEFF2
 In diesen Fällen werden dann nicht die im
 KNTR-Block (vgl. II.1) angelieferten Werte
 benutzt, sondern die hier eingegebenen.

XKEFF1 Vgl. IKEF

XKEFF2 Vgl. IKEF

S2 Falls NORM > 0 K3 sonst S5

* Hinweis: Bei integraler Störungsrechnung (NSTRI>0) und bei lokaler Störungsrechnung (NSTRL > 0) muß man IKEF=1 oder 2 und XKEFF1 und XKEFF2 auf K2 angeben, wenn man nicht mit den im KNTR-Block stehenden Werten rechnen will. XKEFF1 sollte immer eingegeben werden (kann im KNTR-Block 0 sein)

K3 'NORMPARM' kennzeichnet Normierungseingabe (III.A.1)
(NM(J), J=1, NORM)

Die Mischungsnummern der Mischungsbereiche,
über die zur Bestimmung der Normierungsgröße
integriert wird.

NORM = 1 mit NM(1) = 0 bedeutet Integration
über alle Mischungen.

XK Normierungskonstante

Bedeutung: wird durch XK1 näher bestimmt:

XK1 = 0 Normierung auf XK-Reaktionen pro Sekunde
(im Integrationsgebiet)

> 0 mittlere Energie pro Spaltung in MeV:
Normierung erfolgt auf den zum Integrations-
gebiet gehörigen Leistungswert XK (in MW_{th})

K4 Kette (16) Kennzeichnung der Reaktionsrate, deren
Integral zur Bestimmung der Normierungs-
größe gebildet werden soll, durch den Namen
des Querschnittstyps im SIGMN-Block (vgl. II.3)

Für XK1 > 0 in K3 ist der Typ SFISS anzugeben!

S5 Falls NGLB ≠ 0, K6; sonst S430 (Seite 100)

K6 'NGLBPARAM' kennzeichnet Eingabe zur Berechnung von
volumenintegrierten Größen (III.A)

NFINT > 0 Flußintegrale werden erzeugt (III.A.2)
= 1 Nur Berechnung (kein Drucken, kein Block)
= 2 Drucken
= 3 Block erzeugen
'FLUX3DIMINTG' (Vgl. V.3)
= 4 Drucken und Block erzeugen

NFAV > 0 Flußmittelwerte werden erzeugt
NFAV=1 hat keine Bedeutung
= 2 }
= 3 } analog NFINT, nur möglich bei NVOL \neq 0,
= 4 }
= 0 keine Erzeugung von Flußmittelwerten

NR \geq 0 Anzahl der Reaktionstypen, für die Raten zu
berechnen sind. (Vgl. NFRA, MFRA, S10).
NR > 0 nur möglich bei NFINT > 0

NFRA \geq 0 Reaktionsraten werden erzeugt (III.A.3)
NFRA=1 hat keine Bedeutung
= 2 }
= 3 } analog NFINT, nur möglich bei NR \neq 0.
= 4 }
= 0 keine Erzeugung von Reaktionsraten

MFRA > 0 Ratenmittelwerte werden erzeugt
MFRA=1 hat keine Bedeutung
= 2 }
= 3 } analog NFINT, nur möglich bei NR \neq 0, NVOL \neq 0.
= 4 }
= 0 keine Erzeugung von Ratenmittelwerten

NRS \geq 0 Anzahl der zu berechnenden Ratensummen
(III.A.4)

NRKB ≥ 0 Anzahl der zu berechnenden Ratenkombinationen
(III.A.5).

Die Parameter NRS und NRKB haben nur bei $NR > 0$
eine Bedeutung.

S7 Falls $NR \neq 0$, S8. Sonst S430.

S8 Ratenintegrale werden berechnet für die Einzelgruppen und die
Gruppensumme, sowie für die Zonen (nach Maßgabe von IZON,
siehe K2) und das Gesamtvolumen. Weiter mit K9.

K9 'RATEN' kennzeichnet Rateneingabe.

S10 Für jeden der NR Reaktionstypen K11

K11 KETTE(16) Kennzeichnung der zu berechnenden
Reaktionsrate durch den Namen des
Querschnittstyps im SIGMM-Plock (Siehe II.3)

S12 Falls $NRS > 0$ S13. Sonst S430.

S13 Ratensummen (kurz: RS)

Siehe Kapitel III.A.4, wo die hier verwendeten Begriffe wie Ratensummen, G-Summen, S-Summen etc. erklärt werden

K140 'RATENSUM' kennzeichnet Eingabe für Ratensummen.

K14 NGE < 0 alle Energiegruppen sind G-Summen
 ≥ 0 Anzahl der Einzelgruppen unter den G-Summen

NGS ≥ 0 Anzahl eigentlicher G-Summen (siehe S17
NGS und NGE dürfen nicht beide = 0 sein!
Die Gesamtzahl der G-Summen (MGS) wird aus NGE
und NGS bestimmt).

NZE < 0 alle Zonen (nach Maßgabe von IZON) sind
Z-Summen.
 ≥ 0 Anzahl der Einzelzonen unter den Z-Summen.

NZS ≥ 0 Anzahl eigentlicher Z-Summen
(siehe S21; NZE und NZS dürfen nicht beide = 0
sein ! Die Gesamtzahl der Z-Summen (MZS) wird
aus NZF und NZS bestimmt.)

NZF ≥ 0 (Siehe K20, K24, NZF = 0 wird als NZF = 2
gelesen).

S15 Falls $NGE > 0$, K16. Sonst S17.

K16 (IG(I), I=1, NGE)
die Nummern der Einzelgruppen

S17 Falls $NGS > 0$, K18. Sonst S19.

K18 (NGA(I),NGE(I),I=1,NGS)

die Nummern der jeweiligen Grenzgruppen der
eigentlichen Gruppensummen ($NGA \leq NGB$)
Hinweis: $NGA = NGB$ ist erlaubt.

S19 Falls $NZE > 0$, K20. Sonst S21.

K20 (NZ(I),I=1,NZF)

Die Zonenbezeichnungen für die Einzelzonen in
der Form $NRM * 10^{**}NZF + NRZ$, wobei
NRM Mischungsnummer
NRZ Nummer einer zugehörigen Zone
(bei $IZON = +1$ ist $NRZ = 1$ zu setzen)

NZF, die Eingabegröße in K14, ist so zu wählen,
daß $10^{**}NZF$ größer ist als jedes vorkommende NRZ.

S21 Falls $NZS > 0$ K22. Sonst S25.

K22 (NANZ(I),I=1,NZS)

Für jede der NZS eigentlichen Zonensummen die
Anzahl der zugehörigen Zonen (siehe S23, K24),
 $NANZ = 1$ ist erlaubt.

S23 Für jede eigentliche Zonensumme (d.h. für $I=1$, NZS) K24.

K24 (NZ(J),J=1,NANZ(I))

Die NZ sind die Bezeichnungen der zur I-ten
eigentlichen Zonensumme gehörigen Zonen in der
unter K20 beschriebenen "expliziten", oder in
einer der beiden folgenden "impliziten" Formen:

a) $NZ = NRM * 10^{**}NZF$ bedeutet Mischungsgebiet
(NRM, NZF siehe K20)

b) $NZ < 0$ bedeutet Reaktorgebiet
Im Falle b) ist nur $NANZ(I)=1$ sinnvoll. Jedoch:
In einer (eigentlichen) Zonensumme wird eine Zone
nur einmal berücksichtigt; wiederholende expli-
zite oder implizite Spezifizierungen werden igno-
riert. Eine Liste der in der Zonensumme
vorkommenden Zonen wird ausgedruckt.

S25 Alle RS sind für das gleiche durch K14 bis K24 erzeugte Schema
von G-Summen und Z-Summen definiert. Für jede der NRS
Ratensummen K26 bis S29.

K26 NRN Anzahl der in die RS (Linearkombination)
eingehenden Raten
Kette (16) Freier Name der RS

S27 Für jede der NRN Raten K28

K28 FAKT Linearfaktor der Rate in der RS; Gleitkommazahl.
Dieser Faktor enthält das Vorzeichen
Auch die (+)1. muß spezifiziert werden!

KETTE(16) Name der Rate. D.h. einer der unter K11 vor-
kommenden Namen.

S29 Falls weitere RS vorkommen, weiter mit K26. sonst S30

S30 Falls $NRKB > 0$, S31. Sonst S430.

S31 Ratenkombinationen (kurz RK)

Siehe Kapitel III.A.5, wo die hier verwendeten Begriffe wie Ratenkombinationen, G-Kombinationen, Z-Kombinationen etc. erklärt werden.

K320 'RATENKMP' kennzeichnet Eingabe für Ratenkombination.

S321 Für jede RK K32 bis S42

K32 KETTE(3) 1. Zeichen: + oder - oder * oder /
Es kennzeichnet die arithmetische Verknüpfung der beiden Operanden der RK.

2. Zeichen Blank oder C
Blank bedeutet den Normalfall: beide Operanden sind RS (oder RK)
C bedeutet, der linke (1.) Operand ist eine Konstante (siehe S33).

3. Zeichen: Blank oder P oder S
Blank bedeutet die RK wird ausgedruckt und (zur Verwendung als Operand in weiterer RK) gespeichert.
P die RK wird gedruckt und nicht gespeichert
S die RK wird gespeichert und nicht gedruckt.

KETTE(16) Freier Name der RK. Jedoch: Falls diese RK als Operand einer weiteren RK verwendet werden soll, darf dieser Name nicht unter den Namen der RS vorkommen (KETTE(16) von K26).

S33 Falls in Kette(3) von K32 das 2. Zeichen C ist, weiter mit K36.
Sonst K34.

K34 KETTE(16) Name des linken (1.) Operanden der RK
KETTE(16) Name des rechten (2.) Operanden der RK
Als Operanden sind zugelassen
a) alle RS (Kette(16) von K26)
b) bereits definierte RK(Kette (16) von K32).

S35 Weiter mit K37.

K36 XKONST linker (1.)Operand der RK; Gleitkommazahl
KETTE(16) Name des rechten (2.) Operanden der RK

K37 NGK > 0 Anzahl der für die RK zu bildenden G-Kombinationen d.h. Paare (J_1, J_2)
 J_i mit $1 \leq J_i \leq G_i$ ($i=1,2$) indiziert hier entweder eine G-Summe, falls der i -te Operand eine RS ist:
 G_i ist dann durch NGE und NGS aus K14 bestimmt
 $G_i = MGS$ (vgl. III.A.5);
oder eine G-Kombination, falls der i -te Operand eine bereits definierte RK ist:
 G_i ist dann identisch mit dem MGK dieser RK.
Nur im Fall $NGK > 0$ ist $MGK = NGK$ (Vgl. III.A.5)

= 0 Es werden folgende G-Kombinationen gebildet:
 $(1,1), (2,2), \dots, (J,J)$
 $(MGK=J, J=MIN(G_1, G_2))$

< 0 Es werden folgende G-Kombinationen gebildet:
 $(1,1), \dots, (1, G_2)$
 $\vdots \quad \vdots \quad \vdots$
 $(G_1, 1), \dots, (G_1, G_2)$
 $(MGK = G_1 * G_2)$

NZK > 0 Anzahl der für die RK zu bildenden
 Z-Kombinationen d.h. Paare (M_1, M_2)
 M_i mit $1 \leq M_i \leq Z_i ; i=1,2$ indiziert hier
entweder eine Z-Summe, falls der
 i-te Operand eine RS ist:
 Z_i ist dann durch NZE und NZS aus K14 bestimmt
 $(MZS = Z_i)$;
oder eine Z-Kmbination, falls der i-te
 Operand eine bereits definierte RK ist:
 Z_i ist dann identisch mit dem MZK dieser RK.
 Nur im Fall $NZK > 0$ ist $MZK = NGK$ (Vgl. III.A.5)

$= 0$ }
 analog den Spezifikationen zu NGK
 > 0 }

S38 Falls $NGK > 0$, K39. Sonst S40.

K39 $((NG1(J), NG2(J), J=1, NGK)$

Die in K37 in der Erklärung zu NGK mit (J_1, J_2)
 bezeichneten Paare: also G-Kombinationen.
 Über die obige Erklärung hinausgehend, kann
 jeweils eine der beiden Zahlen eines Paares=0
 sein. Das bedeutet zum Beispiel, für $NG1(J)=0$:
 Alle G_1 G-Summen/G-Kombinationen des 1. Operanden
 werden mit der festen G-Summe/G-Kombination
 $NG2(J)$ ($> 0!$) des 2. Operanden zu G_1 Gruppen-
 kombinationen verknüpft.
 Falls der 1. Operand eine Konstante ist, haben
 die Größen NG1 keine Bedeutung und werden vom
 Programm = 0 gesetzt.

S40 Falls $NZK > 0$, K41. Sonst S42.

K41 (NZ1(M), NZ2(M), M=1,NZK)

Die in K37 in der Erklärung zu NZK mit (M_1, M_2) bezeichneten Paare: also Z-Kombinationen. Die Spezifikationen für die Z-Kombinationen sind genau analog zu denen für die G-Kombinationen. (Siehe K39).

S42 Falls weitere RK, K32. Sonst S430

S430 Falls NLEK \neq 0, weiter mit K431. (Vgl. K2; Vgl.III.R)
Sonst S43

K431 'LECKAGEN' kennzeichnet Leckageeingabe

ILEK = 1 Berechnung ohne Druck- oder Blockausgabe
= 2 Druckausgabe
= 3 Blockausgabe
= 4 Druck- und Blockausgabe

S432 Falls NLEK = 2 weiter mit K433. Sonst S43

K433 KETTE(16) Name des makroskopischen Transportquerschnitts
für radiale Leckage

KETTE(16) Name des makroskopischen Transportquerschnitts
für axiale Leckage.
(Beide Namen müssen im SIGMN-Block vorkommen;
sie können jedoch identisch sein)

S43 Falls $NLOK \neq 0$, K44 (Vgl. K2, vgl. III.C). Sonst S51

K44 'LOKLPARM' kennzeichnet Eingabe zu lokaler Auswertung
NLR > 0 Anzahl der Reaktionstypen, für die lokale Raten
zu berechnen sind.
NSUM = 0 Erzeugung der über alle Energiegruppen
summierten lokalen Raten.
NGEB > 0 Anzahl der Reaktorgebiete, für deren
Gitterpunkte lokale Raten zu berechnen sind.
IAX 1 Berechnung axialer Linienintegrale der
gruppensummierten lokalen Raten
(für Gebiete mit positiver axialer Ausdehnung)
= 2 Berechnung axialer Linienintegrale mit
Renormierung (Multiplikation mit RNRM von K46)
= 0 Keine Berechnung axialer Linienintegrale

S45 Falls in K44 IAX=2: K46. Sonst S47.

K46 RNRM Renormierungsfaktor (Siehe K44, IAX=2)
Gleitkommazahl.

S47 Für jede der NLR Reaktionstypen K48.

K48 KETTE(16) Kennzeichnung des Reaktionstyps durch den Namen
im SIGMN-Block (Siehe II.3)

S49 für jedes der NGEB Gebiete K50.

K50 (LU(I),LO(I),I=1,3)
Kennzeichnung des Reaktorgebietes durch die
unteren (LU) und die oberen (LO) Punktindizes in
den 3 Koordinatenrichtungen: X/ θ , Y/R,Z

- MI > 0 Eine Mischungsnummer für das durch LU, LO gekennzeichnete Reaktorgebiet. Das Programm nimmt ohne Prüfung die Mischung MI als im Gebiet gegeben an.
Gebiet und Mischung sollten also konsistent eingegeben werden.
- = 0 Das Programm berechnet für jeden Punkt des Gebiets die lokalen Raten zu allen den Punkt berührenden Mischungen
- NBL1 > 0 Der Inhalt der Tabelle b) wird in einen Block mit dem Namen 'RALO' geschrieben.
(Vgl. III.C., vgl. V.8.a)
- NBL2 > 0 Der Inhalt der Tabelle a) wird in einen Block mit dem Namen 'RALG' geschrieben.
(Vgl. III.C, vgl. V.8.b)
- Das erste Gebiet mit NBL1 > 0 bzw. NBL2 > 0 initialisiert die Blöcke 'RALO' bzw. 'RALG'.
Jedes weitere Gebiet mit NBL1 > 0 bzw. NBL2 > 0 erweitert die Blöcke 'RALO' bzw. 'RALG'.
Die Erzeugung der beiden Blöcke ist also programmtechnisch "entkoppelt".
(I.a. wird man jedoch durch "synchrones" Setzen von NBL1 und NBL2 für die Kopplung sorgen)

S51 Falls NAUS \neq 0, K52. (vgl. K2, vgl. III.D). Sonst S66

K52 'AUSGPARM' kennzeichnet Eingabe zur Flußausgabe
KX \geq 0 Druckausgabe von KX-Traversen in
 X/ θ -Richtung
KY \geq 0 entsprechend für Y/R-Richtung
KZ \geq 0 entsprechend für Z-Richtung
KGEB \geq 0 Druckausgabe für KGEB-Reaktorgebiete
NGAP \geq 0 Anzahl der Gruppenbereiche für die Fluß-
 ausgabe
NPLOT = 0 Dummy
NAPT = 0 Dummy

S53 Falls KX \neq 0, K54. Sonst S55.

K54 (IY(I), IZ(I), I=1, KX)
 Kennzeichnung der Traversen in X/ θ -Richtung
 durch die Indizes ihrer Y/R- und
 Z-Koordinaten

S55 Falls KY \neq 0, K56. Sonst S57

K56 (IX(I), IZ(I), I=1, KY)
 Kennzeichnung der Traversen in Y/R-Richtung
 durch die Indizes ihrer X/ θ - und
 Z-Koordinaten

S57 Falls KZ \neq 0, K58. Sonst S59.

K58 (IX(I), IY(I), I=1, KZ)
 Kennzeichnung der Traversen in axialer
 Richtung durch die Indizes ihrer X/ θ - und
 Y/R- Koordinaten

S59 Falls KGEB $>$ 0, S60. Sonst S62.

S60 Für jedes Ausgabegebiet K61.

K61 I1,I2 Grenzindizes in X/0 -Richtung($I1 \leq I2$)
 J1,J2 Grenzindizes in Y/R -Richtung($J1 \leq J2$)
 L1,L2 Grenzindizes in Z -Richtung($L1 \leq L2$)

S62 Für jeden Gruppenbereich K63 (NGAP stets >0)

K63 IG1,IG2 Nummern der Grenzgruppen des Gruppenbereichs
 ($IG1 \leq IG2$)

S64 Die Ziffer 65 kommt nicht vor.

S66 Falls $NSTR > 0$, S67. Sonst S97.

S67 Für K68: $NSTRI > 0$ oder $NSTRL > 0$ vergleiche

III.E. "Störungsrechnung im Multigruppendiffusionsmodell".

$NSTRI > 0$:

"Integrale Störungskoeffizienten", insbesondere:

"Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3",

wo die Begriffe Störzone, Störmischung, Zonenstörung, Störfall,
u.s.w. erklärt werden. *

$NSTRL > 0$.:

"Lokale Störungskoeffizienten", insbesondere :

"Bestimmung lokaler Störungskoeffizienten in AUDI3".

Für K68: $NBETA > 0$ vergleiche

III.F "Effektive Anteile verzögerter Neutronen"

Für K68: $NLIFE > 0$ vergleiche :

III.G "Effektive Generations/Lebensdauer von Neutronen"

Für K68 : $NSTRI < 0$ vergleiche ebenfalls :

"Bestimmung integraler Störungskoeffizienten in AUDI3",

wo insbesondere die Definition der Spezialbereiche ("Störzonen")
gegeben wird.

K68 'PERTPARM' kennzeichnet Steuerparameter für
Störungsrechnung.

$NSTRI = 1$ Berechnung integraler Störungskoeffizienten
(vgl. S67)

$= 2$ Aufschlüsselung der Größen nach den Beiträgen

a) "kausaler" Energiegruppen I:

Index I der Neutronendichte

b) "effektiver" Energiegruppen J:

Index J der Neutronenimportanz ,

* Vgl. auch Hinweis zu IKEF in K2.

- = 0 keine integralen Störungskoeffizienten
 - < 0 keine integralen Störungskoeffizienten, jedoch Erstellung der Eingabe für die Spezialbereiche der Auswertungen gemäß III.A und III.E (Vgl. K2: NGLB, NLFK, NSTR)
- NSTRL
- = 1 Berechnung lokaler Störungskoeffizienten (vgl.S67)
 - = 2 Aufschlüsselung der Größen wie bei NSTRI
 - = 5 Eingeführt als Testoption :
Lokale Störungskoeffizienten werden jeweils über die lokale Störzone integriert (vgl. jedoch S90) Bei "vollen" Zonen ist dann Vergleich mit integraler Rechnung möglich (Vgl.III.E2,p72),
 - = 6 Wie 5, jedoch nur Ausdruck der Integrale. (Ausdruck der lokalen Störungskoeffizienten entfällt).
 - = 0 keine Berechnung lokaler Störungskoeffizienten
- NBETA
- > 0 Berechnung effektiver Anteile verzögerter Neutronen (β_{eff}) aufgegliedert nach:
 - a) Standardbereichen (nach Maßgabe von IZOM)
 - b) Vorläufergruppen k (z.Zt. k=1,6)
 - c) den spaltbaren Isotopen m ,deren Anzahl durch NBETA anzugeben ist.(Vgl. S67)
Hinweis: Die Spektren für die Vorläufergruppen k: χ^k und die Vorläufergruppen- und isotopenspezifischen Skalartypen $(\nu_{\lambda}^f \cdot \beta)^{k,m}$ oder $(\nu_d \cdot \sum^f \cdot a)^{m,k}$ müssen im SIGMN-Block vorkommen (Vgl. II.3).
 - = 0 keine Berechnung effektiver Anteile verzögerter Neutronen

NLIFE = 1 Berechnung der effektiven Generationsdauer
aufgegliedert nach den Standardbereichen Z (nach
Maßgabe von IZON).
(Vgl. S67).

= 2 Berechnung der effektiven Lebensdauer
Hinweis: Der mischungsabhängige Skalartyp $1/v$
muß im SIGMN-Block vorkommen (Vgl. II.3)

= 0 keine Berechnung der effektiven Generations/Lebensdauer

S69 Die Eingabe zur Spezifizierung der integralen Störzonen
("Spezialbereiche"), Störmischungen (evtl. dummy) und Störfälle
(evtl. dummy) kann als weiterer KSIOX-Block mit DBN=INTPBLCK,
PMN=AUDIPR eingegeben werden.

Die Struktur dieses Blocks wird durch die Ziffern K72 bis S86
gegeben und er wird durch die Zeichenkette 'ENDEENDE'
abgeschlossen. Liegt dieser Fall vor, weiter mit K70 .
Sonst K72.

K70 'INTPBLCK' (Kette der Länge 8)

S71 Weiter mit S87

K72 'INTPER' (Kette der Länge 8)

IZOI Anzahl der Störzonen (Spezialbereiche)

NSF = 0 Jede Zonenstörung ist Störfall (vgl. S67)

= 1 Zu jeder Störzone ist nur eine Störmischung
gegeben. Die Summe aller Zonenstörungen ist
einziger Störfall.

= -1 Wie bei 1. Aber auch jede Zonenstörung ist
Störfall.

> 1 Die Störfälle sind zu spezifizieren (vgl. S82)
NSF gibt ihre Anzahl.

S73 Die Größen von K74 werden zur Erzeugung des 'PERTKOEFF' -Blocks
verwendet (Vgl. V.6) Weiter K74.

K74 NAXB ≥ 0 Anzahl der Schichten, in denen zu störende
Elementarvolumina vorkommen

NEL ≥ 0 Anzahl der Störzonen (i.a. redundante Information)

NTY ≥ 0 Gibt die Anzahl der im Block berücksichtigten
Werte der Reihe:
 $\delta(1/K)$, $\delta(DIFF)$, $\delta(SCATTERGAIN)$,
 $\delta(SCATTERLOSS)$, $\delta(FISSIONGAIN)$,
 $\delta(FISSIONLOSS)$, $\delta(CAPTURE)$, $\delta(DEGRADATION)$,
 $\delta(FISSION)$
NTY=1: nur $\delta(1/K)$, NTY=2: nur $\delta(1/K)$ und $\delta(DIFF)$
Die Druckausgabe enthält stets alle 9 Werte!

S75 Für jede der IZOI Störzonen K76 bis S86.

K76 'ZONE' Zonenkennzeichnung

I Nummer der Zone: $1 \leq I \leq IZOI$

S77 Falls IGEO=3 (siehe K1), K78. Sonst K80.

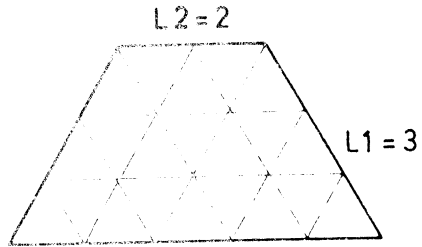
K78 IX X,Y-Indizes des Anfangspunktes der ebenen Figur
IY deren Gestalt durch ITYP (s.u.) festgelegt wird
und die den horizontalen Querschnitt der Zone
darstellt.

L1 ≥ 0 Intervalllängen der ebenen Figur
L2 ≥ 0 (s.u. ITYP)

IZ1 Indizes der Endpunkte des Intervalls, über das
IZ2 sich die Störzone in axialer Richtung erstreckt:
 $1 \leq IZ1 \leq IZ2 \leq NZ$ (NZ siehe K1)

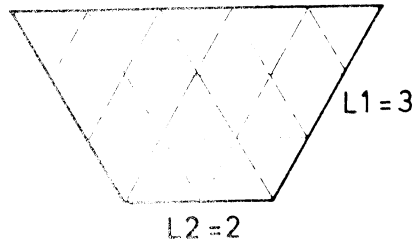
ITYP = 1

$L1 > 0$
 $L2 = 0$ möglich



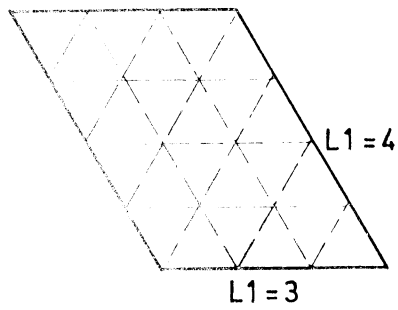
= 2

$L1 > 0$
 $L2 = 0$ möglich

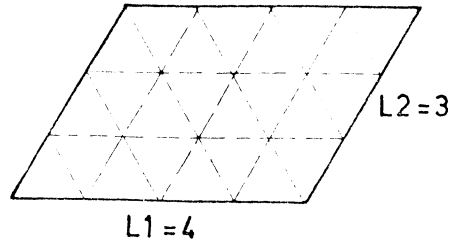


= 3

$L1 > 0$
 $L2 > 0$



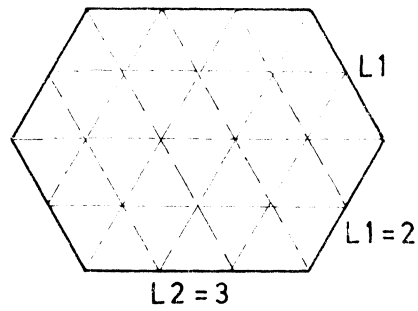
=4



$L1 > 0$

$L2 > 0$

= 5



$L1 > 0$

$L2 = 0$ möglich

NSM ≥ 0 Anzahl der in Störfällen für diese Zone in Frage kommenden Störmischungen (siehe K81).

S79 Weiter mit K81.

K80 IX1 Indizes der Endpunkte des Intervalls über das
IX2 sich die Störzone in X/ θ -Richtung erstreckt.
 $1 \leq IX1 \leq IX2 \leq NX$ (vgl. K1).

IY1 Indizes der Endpunkte des Intervalls über das
IY2 sich die Störzone in Y/R-Richtung erstreckt.
 $1 \leq IY1 \leq IY2 \leq NY$ (vgl. K1).

IZ1 } Bedeutung wie in K78
IZ2 }

ITYP = 0 (dummy)

NSM Bedeutung wie in K78

K81 MO Nummer der zu störenden Reaktormischung der
 Störzone

(M(I), I=1, NSM)

Nummern der Störmischungen, die in Störfällen die
Reaktormischung MO in der Störzone ersetzen
sollen

(NSM: vgl. K78/K80).

S82 Falls $NSF > 1$, K83. (Vgl. K72). Sonst S86.

K83 (ISF(I), I=1, NSM)

ISF(I) ist die Anzahl der Störfälle, in denen
die Reaktormischung MO durch die Störmischung
M(I) ersetzt werden soll. (Siehe K81).

ISF(I) > 0, d.h. es dürfen nur Störmischungen
aufgeführt werden, die auch in mindestens einem
Störfall gebraucht werden. Es kann jedoch der
Dummy-Störfall mit der Nummer 0 angegeben werden
(siehe K85).

S84 Für jede Störmischung M(I), I=1, NSM K85

K85 (LSF(J), J=1, ISF(I))

Die Nummern der Störfälle, in denen die Reaktor-
mischung MO durch die Störmischung M(I) ersetzt
werden soll.

$0 \leq LSF(J) \leq NSF$. 0 ist als Dummy-Störfall zu-
gelassen und erzeugt eine Warnung

S86 Falls weitere integrale Störzone, K76. Sonst S860

S860 Falls die durch K74 bis S86 definierte Struktur als separater KSIOX-Block (vgl. S69, 'INTPBLCK') eingegeben wird, ist sie durch die Zeichenkette 'ENDEENDE' abzuschließen. Weiter mit S87.

S87 Falls NSTRL $\neq 0$, K88 (vgl. K68). Sonst S92.

K88 'LOKPER' kennzeichnet Eingabe zur lokalen Störungsrechnung

NSZL > 0 Anzahl der lokalen Störzonen

S89 Für jede der NSZL Störzonen S90 bis S91.

S90 Die Eingabe zu einer lokalen Störzone entspricht formal der unter K76 bis K81 beschriebenen Eingabe zur integralen Störzone.

Da durch eine lokale Störzone nur eine Menge von Gitterpunkten erfaßt werden soll, darf jedoch im Unterschied zur integralen Störzone auch ein 2-, 1- oder 0-dimensionaler Bereich definiert werden:

So ist z.B. in K78 im Fall ITYP=3 L1=0 und/oder L2=0 und/ oder IZ1=IZ2 zugelassen.

S91 Falls weitere lokale Störzone, S90. Sonst S92.

S92 Falls NBETA > 0, K93 (vgl. K68). Sonst K97.

K93 'BETAPARM' kennzeichnet Eingabe zur Berechnung von β_{eff} .

S94 Für jedes der NBETA Isotope K95 bis S96.

K95 KETTE(8) Name des Isotops, für das die β_{eff} berechnet werden sollen.
z.B. 'U_235___'.

Die zugehörigen vorläufergruppenspezifischen
Skalartypen müssen im SIGMN-Block (siehe II.3)
vorkommen.

z.B.: 'BETA1___U235' bis BETA6___U235__'

S96 Falls weiteres Isotop, K95

K97 'ENDE' kennzeichnet Ende der Karteneingabe

S98 Die Beschreibung der Karteneingabe zu AUDI3 ist abgeschlossen.

V. Beschreibung der KAPROS-Ausgabe-Blöcke von AUDI3

(Die Namen sind mit Blanks aufgefüllt zu denken!)

1. Strukturblock für Blöcke mit Größen der Auswertungen zu III.A und III.B wie

Volumen	(V.2)
Flußintegrale	(V.3)
Leistungen	(V.3)
Ratenintegrale	(V.4)
Leckage	(V.5)

Name : STRUKTURINTG

Inhalt :

NGP Gruppenzahl

IZON Kennziffer für Beschreibung der Materialverteilung des Systems

(vgl. II.2 VERT-Block. Vgl. III.A. Vgl. IV.K1.)

IZOI Anzahl der Spezialbereiche

(vgl. III.A, vgl. IV.K2: NSTR, K72)

MIR Anzahl der im Reaktorsystem vorkommenden Mischungen ^oder Mischungsgebiete (Vgl. II.2).

(M(I), I=1, MIR)

Die SIGMN-Nummern der Reaktormischungen

Falls IZON \neq 0 folgen weitere Daten :

(Vgl. II.2, III.A, IV K1)

NZO Gesamtanzahl der Standardbereiche, die Teilgebiete von Mischungsgebieten sind (kurz Zonen)

(IZ(I), I=1, MIR)

Anzahlen der Teilzonen für die Mischungsgebiete

Erzeugung: Stets

2. Volumina

Name : VOLUMEN

Inhalt:

Falls IZON#1 (vgl. Strukturblock):

Die Volumina der NZO Zonen , nach Mischungen und den Zonenindizes
des VERT-Blocks (vgl. Eingabe-Blöcke) , geordnet

Stets enthalten :

Die Volumina der MIR Mischungsgebiete
Das Gesamtvolumen

Falls IZOI > 0 (vgl. Strukturblock):

Die Volumina der IZOI Spezialbereiche

Erzeugung : Falls NVOL = { $\frac{3}{4}$ } (vgl. K2)

3. Flußintegrale, Flußmittelwerte, Leistungen

Namen :

FLUX3DIMINTG	Flußintegrale	$[cm/s]$
FLUX3DIMMITT	Flußmittelwerte	$[1/(cm^2s)]$
LEISTUNGEN	Leistungen	$[MW_{th}]$

Inhalt der Blöcke mit gleicher Struktur

Enthalten falls IZON#1 (vgl. Strukturblock V.1)

Werte aller NZO Zonen für die Gruppensumme
(Vgl. V1.: NZO) für die Gruppe 1
:
für die Gruppe NGP

Stets enthalten :

Werte aller MIR für die Gruppensumme
Mischungsbereiche für die Gruppe 1
:
für die Gruppe ICP

Stets enthalten:

Wert des Gesamtsystems für die Gruppensumme
für die Gruppe 1
:
für die Gruppe NGP

Enthalten falls IZOI > 0 :

Werte aller IZOI Spezial- für die Gruppensumme
bereiche für die Gruppe 1
:
für die Gruppe NGP

Erzeugung : FLUX3DIMINTG falls NFINT = 3 oder 4
FLUX3DIMMITT " NFAV = 3 oder 4 (Vgl. K6)
LEISTUNGEN " XK1 > 0 (vgl. K3)

4. Ratenintegrale, Ratenmittelwerte

Namen :

RAGLINTG $\int 1/s \int$
RAGLMITT $\int 1/(cm^3 s) \int$

Inhalt :

NR Anzahl der Reaktionstypen, zu denen Raten/Ratenmittelwerte vorkommen.

((TYP(L,J),L=1,4)J=1,NR)

Die Namen der zugehörigen Querschnittstypen im SIGMN-Block.

In der durch J gegebenen Anordnung folgen für jeden Reaktionstyp die Daten in der gleichen Struktur wie in den unter 3 beschriebenen Blöcken.

Erzeugung:

RAGLINTG falls NFRA = 3 oder 4
RAGLMITT falls MFRA = 3 oder 4 } (vgl. K6)

5. Neutronenleckage als Oberflächenintegral von $D \cdot \text{grad} \phi$

Name : LECKAGE $[1/s]$

Inhalt :

1 Wort : NLEK > 0 unnormierte Flüsse
 < 0 normierte Flüsse
 ± 1 Isotropie
 ± 2 Anisotropie (radial-axial)

Bei Anisotropie enthalten:

Teilblock mit radialer Leckage
Teilblock mit axialer Leckage

Stets enthalten:

Teilblock mit Gesamtleckage.

Die Teilblöcke haben die gleiche Struktur wie die unter 3. beschriebenen Blöcke.

Erzeugung : Falls ILEK = 3 oder 4 (vgl. K434)

6. Block mit Störungskoeffizienten :

Name : PERTKOE F

Inhalt :

1. Satz enthält 8 Worte:

NDAT	7 (Anzahl der restlichen Worte im Satz)
DMY	Datum (2 Worte)
HMS	Uhrzeit beim Schreiben des Blocks (2 Worte)
NAXB	} (Vgl. IV. K74)
NEL	
NTY	

Es folgen NTY weitere Sätze mit den Störungswerten der ersten NTY Typen in folgender Reihe ($NTY \leq 9$)

1. δ (1/K)
2. δ (DIFF)
3. δ (SCATTERGAIN)
4. δ (SCATTERLOSS)
5. δ (FISSIONGAIN)
6. δ (FISSIONLOSS)
7. δ (CAPTURE)
8. δ (DEGRADATION)
9. δ (FISSION)

Jeder dieser Sätze hat folgende Struktur :

NSFI Anzahl der Störfälle
(PERT(I), I=1, NSFI)

Die Störungswerte des entsprechenden Typs.

Erzeugung : NSTR = 3 oder 4 (Vgl. IV. K2)

Hinweis: Es werden nur gruppensummierte Werte ausgegeben; eine Ausgabe gruppenabhängiger Werte ist gegenwärtig nicht vorgesehen.

7. Block mit Werten von β_{eff} und Lebensdauer. (Vgl. III.F, III.G)

Name : BETA_EFF

Inhalt: (Die Struktur entspricht derjenigen des 'BETA_EFF' Blocks im Programm DIXY /15/).

Stets enthalten:

IANZ	1	("nur ein Fall")
IADR	3	(Adresse des Kopfteils)
NX	}	vgl. IV. K1
NY		
NZO		
NLIFE	= 1	Block enthält Lebensdauer von Neutronen
	= 2	Block enthält Generationsdauer
	= 0	Keine Lebens/Generationsdauer
NVERZ	6	Anzahl der Gruppen verzögerter Neutronen
NBETA	> 0	Anzahl der spaltbaren Isotope
TNORM		Normierungsintegral
NZ		(vgl. IV. K1)

(PNORM(I), I=1, NZO) Beiträge der NZO Zonen zum Normierungsintegral

Nur enthalten, falls NLIFE \neq 0.:

TLIFE Lebens/Generationsdauer für Gesamtsystem

(PLIFE(I),I=1,NZO) Anteil für die NZO Zonen des Systems

Stets enthalten:

((ISONA(J,I),J=1,2),I=1,NBETA)

Die Namen der spaltbaren Isotope (Doppelworte)

SBETA Entspricht TBETA(1+NBETA,7)(siehe unten).

Stets enthalten ist für jede der Zonen der Mischungszonenverteilung ein Satz mit der Mischungsnummer und mit β_{eff} -Werten.

(Vgl. Bemerkung in II.2):

IZO Mischungsnummer der Zone (bei IZON=1 und IZON=2 , β_{eff} -K2)

((BETA(I,J),I=1,NBETA+1),J=1,7)

I=1, NBETA entspricht den Werten für die spaltbaren Isotope

I=1+NBETA entspricht dem Wert für Isotopensumme

J=1,6 entspricht den Werten für die einzelnen Gruppen verzögerter Neutronen

J=7 entspricht dem Wert für deren Summe.

Stets enthalten: Ein entsprechender Satz für das Gesamtsystem

99999 kennzeichnet den Satz für Gesamtsystem

((TBETA(I,J),I=1,NBETA+1),J=1,7)

Erzeugung:Falls NSTR = 3 oder 4 (vgl. IV.K2)

8. Blöcke mit lokalen Raten und Linienintegralen lokaler Raten
(Vergleiche III.C)

8a. Lokale Raten für Punkte mit nur einer angrenzenden Mischung
(d.h. ein Wert pro Punkt, vgl. III.C:b-Tabellen)

Name : RALO

Inhalt :

<u>Marke</u> :	<u>Variable</u> :	<u>Bedeutung</u> :	
A	NX NY NZ	} X,Y,Z-Gitter-Ausdehnung des Reaktors(Vgl. IV K1)	
	IPLM1		Anzahl der Grenzebenen zwischen den Platten IPLM1=IPL-1
	(NGRENZ(I), I=1, IPLM1)		ihre Z-Koordinaten-Nummern
	NGELO	Zahl der in RALO gespeicherten Gebiete (\leq NGEb, vgl. IV. K44)	
	NLR	Anzahl der Reaktionstypen (vgl. IV. K44)	
	IAX	Steuerparameter für axiale Linien- integrale (vgl. IV. K44)	
	NIP	(hier Konstante = 0)	
	(TYP(I), I=1, NLR)	Reaktionstypen (16-Byte-Worte) (vgl. IV. K48)	

B Für jedes der NGELO-Gebiete : Teil B - F

J Lfde. Nummer des Gebiets in Reihenfolge
der Eingabe des Rechengebiets
(vgl. IV. S49)

IX1 }
IX2 }
IY1 } Indizes, die die Koordinatenbegrenzung
IY2 } des Rechengebiets kennzeichnen
IZ1 } (Vgl. K50)
IZ2 }

MI Mischungsparameter (Vgl. K50)

MNEBB Zahl der folgenden Ebenen und
Doppelebenen (=Grenzebenen), für die
lokale Raten ausgegeben werden.

C Für jeden der NLR Ratentypen : Teil C - F
(TYP(I), I=1,4) Name Ratentyp (16-Byte-Worte)

D Für jede der im Rechengebiet liegenden Ebenen und
Doppel-Ebenen (MNEBB - mal): Teil D - E

IZ Nummer der Z-Gitter-Linie der Ebene
((RS(IX, IY), IX=IX1, IX2), IY=IY1, IY2)
Ratenwerte (Gruppensummen)

- Anmerkung: 1. Doppelebenen an Plattengrenzen werden immer ausgegeben, selbst wenn in vertikaler Richtung im Rechengebiet (J) keine Mischungsänderung stattfindet.
2. Grenzpunkte tragen den Wert -1.E-50
(In der Druckausgabe sind die entsprechenden Werte durch *** gekennzeichnet).

E Falls IAX = 0 folgen die axialen Linienintegrale:
Teil E - F

999 Konstante (= irreales IZ)

((AX(IX,IY),IX=IX1,IX2),IY=IY1,IY2)

Ratenwerte integriert über die Z-Achse
von IZ1 bis IZ2

F Blockende

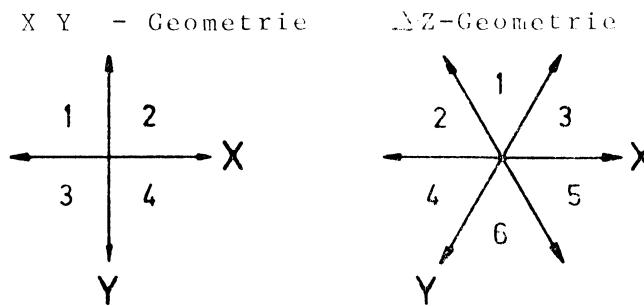
Erzeugung: Steuerung gebietsweise möglich durch den Parameter
NBL1 (vgl. IV. K44, K50 : Zu jedem der NGFF Gebiete wird
auch die Größe NBL1 eingegeben , die angibt, ob die
Größen (Lokale Raten und Linienintegrale) für dieses
Gebiet in den Block geschrieben werden oder nicht).

C Für jeden der NLR Ratentypen : Teil C - H
 Name Ratentyp (16-Byte-Wort)

D Für jede der NGEbb-Ebenen : Teil D - F
 NGEP Anzahl der folgenden Grenzpunkte

E Für jeden der NGEP - Grenzpunkte : Teil E - F

IZ
 IY Gitter-Koordinaten des Grenzpunktes
 IX
 (RSG(I), I=1, NIP) Grenzwerte nach folgenden
 Anordnungsschemata:



F Falls IAX = 0, folgen die Grenzpunkte der axialen
 Linienintegrale : Teil F - H

NGEAL Anzahl der Grenzlinien

G Für jeden der NGEAL-Grenzpunkte: Teil G - H

999 Konstante (statt IZ)

(AXG(I), I=1, NIP) Grenzwerte der axialen
 Linienintegrale

H Blockende

Erzeugung: Steuerung gebietweise möglich durch den Parameter NBL2
 (vgl. IV.K50, vgl. NBL1 unter 8.a).

9. Unormierte Neutronenflußdichte

(Vgl. III.A.1)

Normierung auf bestimmte Reaktionsrate (s^{-1})

oder:

Normierung auf bestimmte Leistung (MW_{th}) bei Annahme bestimmter Energie pro Spaltung (eV)

Name : FLUN3DIM

Inhalt : Die unnormierte Neutronenflußdichte

Struktur Wie FLUX3DIM (vgl. II.4)

Erzeugung falls NORM > 0 (Vgl. K2)

VI . Das Programm AUDI3

AUDI3 ist ein KAPROS-Programm (Vgl./³/).

1. Die KAPROS-Konvention erfordert die Prüfung der Eingabe durch einen Prüfmodul. Der Prüfmodul AUDIPF für AUDI3 ist jedoch dummy. Die Eingabeprüfung wird in verschiedenen AUDI3-Subroutinen durchgeführt.
EINGBE, RASEN, RTKOMB, PERPRF (für Störungsrechnung; Zoneneingabe)
2. Im Steuerprogramm SAUDI3 wird durch KSPUT die Hälfte des verfügbaren Speichers als Arbeitsfeld (EQUIVALENCE(DF,JDF)) angefordert. Die Anfangsadresse wird als Argument an die einzelnen AUDI3-Routinen übertragen. Die Länge ist Common-Größe (NDIM) ebenso wie die aktuelle belegte Länge (LPFREI)
3. Nach der Beschaffung des Arbeitsfeldes wird die Eingabe teilweise geprüft und teils in den Common, teils in das Arbeitsfeld gebracht. (Programm EINGBE).
Commongrößen werden i.a. Kontrollparameter, die insbesondere die Unterprogrammaufrufe im Steuerprogramm SAUDI3 steuern (Commonfeld KN).
Der größte Teil der Eingabe wird satzweise in das Arbeitsfeld gebracht und durch Pointergrößen (Commonfeld LPF) adressierbar gemacht.
4. Die von AUDI3 erzeugten Größen stehen in Ausnahmefällen im Commonfeld KN (z.B. wenn Eingabeparameter modifiziert werden), in der Regel jedoch im Arbeitsfeld; die zu ihrer Adressierung erzeugten Pointer werden in das Commonfeld LPF gebracht.

Das Common-Feld KN (Länge 100 Worte) enthält:

Steuerparameter, FILE-Nummern, Kenngrößen des Systems, etc.

Die aus der Eingabe kommenden Größen sind durch E gekennzeichnet.

Die für die verschiedenen Größen von KN verwendeten Namen sind gelegentlich von Subroutine zu Subroutine verschieden.

1	NDIM	Länge des Arbeitsfeldes NDIM=PARM.G/4
2	IGEO	Geometriekennzahl
3		
4	NX	Punkte in X(θ)-Richtung
5	NY	Punkte in Y(R)-Richtung
6	NZ	Punkte in Z -Richtung
7	NGP	Energiegruppen
8	NZO	Zonen(Gebiete einheitlicher Mischung oder Teilgebiete davon)
9	NM	Mischungen (Anzahl im SIGMN-Block) vgl. 27
10	IPL	Platten der Mischungsverteilung
11 E	IZON	Kennzahl für Interpretation der Mischungsverteilung
12	LSIG	Länge des Feldes für SIGMN-Daten(Teil des Arbeitsfeldes)
13	NFI	Eingabedatei (wird in EINGBE von 5 auf 8 gesetzt)
14	NFO	Ausgabedatei (=6)
15	NPR	Ausgabedatei (KAPROS-Datei FT42FO01)
16 E	KGEB	Gebiete für Flußausgabe
17 E	KX	Traversen in X(θ)-Richtung für Flußausgabe
18 E	KY	Traversen in Y(R)-Richtung
19 E	KZ	Traversen in Z-Richtung
20 E	NAGP	Energiegruppenintervalle für Flußausgabe
21 E	NPLOT	Plotausgabe der Traversen
22 E	LART	Plots als Linien, Punkte, etc.
23	NXNY	$NX \cdot NY$
24	NX1NY1	$(NX-1) \cdot (NY-1) \cdot k$; k=1 für IGEO=1,2; k=2 für IGEO=3
25	NX1	$(NX-1) \cdot k$
26	NY1	$NY-1$
27	MIR	Anzahl der im Reaktor vorkommenden Mischungen
28 E	NORM	Normierung ja/nein
29 E	NGLB	Globale Auswertung ja/nein (Volumenintegrierte Größen)
30 E	NFINT	Flußintegrale ja/nein

31		NLEK	Leckage ja/nein (<0 normiert)
32		IZOI	Integrale Zonen (Anzahl)
33		IZOL	lokale Zonen (Anzahl)
34	E	NR	Ratenintegrale ja/nein
35	E	NRKB	Ratenkombinationen
36	E	NRT	Ratensummen
37	E	NVOL	Volumina
38			
39			
40	E	NLOK	Lokale Auswertung (lok. Raten) ja/nein
41	E	NSUM	Lokale Raten gruppenabhängig ja/nein
42	E	NGEB	Reaktorgebiete für lokale Raten
43	E	IAX	Axiale Integrale lokaler Raten ja/nein
44			
45	E	NLR	Anzahl lokaler Raten (Reaktionstypen)
46	E	NSTR	Störungsrechnung od. Lebensdauer od. verz. Neutronen ja/nein
47	E	NSTRI	integrale Störungsrechnung ja/nein
48	E	NSTRL	lokale Störungsrechnung ja/nein
49	E	NBETA	eff. Anteil verzögerter Neutronen (Anzahl der Isotope)
50	E	NLIFE	Lebensdauer von Neutronen ja/nein
51			
52			
53			
54			
55	E	NAUS	Flußausgabe ja/nein
56			
57		NFZV	Steuert Zugriff auf Mischungsverteilung: NFZV \leq 0 alle Platten sind gleichzeitig im Feld LPMV NFZV $>$ 0 jede Platte wird einzeln ins Feld LPMV gebracht
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65	E	NFAV	Berechnung und Ausgabe der Flußmittelwerte
66	E	NFRA	Berechnung und Ausgabe der Reaktionsraten
67	E	MRAT	Berechnung und Ausgabe der Reaktionsratenmittelwerte

Das Common-Feld LPF (Länge 50 Worte) enthält:

Zeiger auf Abschnitte des Arbeitsfeldes. Enthalten die Abschnitte Eingabegrößen, so sind die Zeiger mit E gekennzeichnet.

(n=MIR) bedeutet: der Abschnitt enthält MIR-Worte.

1	LPGEB	Flußausgabe	(Gebietsweise)
2	E LPKX	Flußausgabe	(Traversen in X(θ)-Richtung)
3	E LPXY	Flußausgabe	(Traversen in Y(R)-Richtung)
4	E LPKZ	Flußausgabe	(Traversen in Z-Richtung)
5	E LPNAGP	Flußausgabe	(Energiegruppenintervalle)
6	LPIPLG	Indizes der Grenzebenen der Mischungsverteilung	
7	LPMV	Platten der Mischungsverteilung	
8	LPSIG	Querschnitte (SIGMN-Daten)	
9			
10			
11	LPDX	Schrittweiten in X(θ)-Richtung	
12	LPDY	Schrittweiten in Y(R)-Richtung	
13	LPDZ	Schrittweiten in Z-Richtung	
14	LPR	Radien (nur bei θ, R, Z -Geometrie)	
15			
16	LPFREI	Freies Arbeitsfeld	
17	LPANZ	Zonen pro Mischung (n=MIR)	
18	LPINC	Inkrementen für zonenabhängige Felder (n=MIR)	
19	LPZON	Volumina	
20	LPINTZ	Ratenintegrale	
21	LPINTZ	Ratenmittelwerte	
22	LPNM	Zuordnung der Mischungsnummern SIGMN \rightarrow Reaktor (n=NM)	
23	LPMIR	Zuordnung der Mischungsnummern Reaktor \rightarrow SIGMN (n=MIR)	
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

31	LPRAT	Pointer für verschiedene Raten (n=NP)
32	LPTOR	Ratenintegrale für Gesamtsystem
33	E LDRTY	Ratensummen
34	LPRTY	Pointer für verschiedene Ratensummen (n=NRT)
35		
36	E LDRKB	Ratenkombinationen
37	E LDLRT	lokale Raten
38	E LDNORM	Flußnormierung
39	E LPLEK	Leckage
40	E LPST(1)	Integrale Störungsrechnung
41	E LPST(2)	Lokale Störungsrechnung
42	E LBETA	β_{eff} (n=4.NBETA)

Kurzbeschreibungen der Subroutinen nach folgendem Schema:

- a.) Programmaufrufe (ohne KAPROS-Systemprogramme)
- b.) Funktion
- c.) Methode und Bedeutung/Bezeichnungsweise einiger der verwendeten Variablen und Pointer

SAUDI3

Gerufene Routinen:

EINGBE, MIXZON, PERPFR, VOLUME, WQIN, FLINT, RATEN, RASEN, RTKOMB, XLEK, ZLEK, LRAT, PERTRB, PERAUD, AUSGBE,

Funktion:

Steuerprogramm: KSINIT-Aufruf; Beschaffung des Arbeitsspeichers unter Berücksichtigung des Bufferbedarfs. (Vgl. VII.)

Aufruf von EINGBE.

Aufruf der "Arbeitsprogramme" gesteuert durch Eingabegrößen.

Return nach KAPROS, insbesondere Fehlerausgang.

EINGBE(DF, JDF, *)

Gerufene Routinen:

GETBLK

Funktionen:

Lesen und teilweise Prüfen und Drucken der KSIOX-Eingabe (vgl. IV).

KSGET-Aufrufe für KNTR-Block (vgl. II. 1), dieser Block ist für jede AUDI3-Rechnung obligatorisch) und die anderen für die spezielle Rechnung notwendigen Blöcke (vgl. II).

Fehlermeldung und -Ausgang bei Fehlen eines solchen Blocks.

MIXZON (JDF, *)

(Vgl. II.2, III.A; IV.K2:IZON)

Gerufene Routinen:

ZEILE, PLADRI

Funktion:

1. Mischungsverteilung in Arbeitsfeld bringen (KSGET-Aufrufe)

Pointer: LPIPLG (Indizes d. Grenzebenen, Kennziffer)

LPMV (Säulen Kennziffern der IPL Platten)

(Siehe 4).

2. Felder mit Anfangs- und Endindizes der X(θ)-Richtung, zwischen denen die zum System gehörenden Teile der (durch einen Y-Intervallindex gegebenen) einzelnen "Zeilen" der Platten liegen, werden erzeugt. (Bei Δ -Z-Geometrie wird durch einen Intervallindex der X-Richtung ein Parallelogramm, d.h. ein Paar von Maschen gegeben, von denen die linke (beim Anfangsindex) oder die rechte (beim Endindex) jeweils auch noch systemfremd sein kann)

Pointer: LPXA = LPIPLG-2*NY1

LPXE = LPXA+NY1

3. Felder, die eine (bei 1 beginnende und bis MIR gehende) AUDI3-interne Durchnumerierung der (im Reaktor verwendeten) Mischungsnummern des SIGMN-Blocks beschreiben, werden erzeugt.

Pointer: LPNM (SIGMN \rightarrow AUDI3; Länge NM)

LPMIR(AUDI3 \rightarrow SIGMN; Länge MIR)

4. Bei IZON=1 wird eine vorgelegte Mischungsverteilung übernommen, eine vorgelegte Zonenverteilung auf die entsprechende Mischungsverteilung reduziert.

Bei IZON=2 wird eine vorgelegte Zonenverteilung übernommen, eine vorgelegte Mischungsverteilung in die Standard-Zonenverteilung transformiert. (Vgl. Methode).

5. Erzeugung des Strukturblocks (Vgl. V.1)

Ausdruck der Mischungs/Zonenverteilung nach evtl. Umwandlung gemäß IZON (IZON<0 : kein Ausdruck)

Methode:

Die Standardzonen werden nach den verschiedenen Mischungen getrennt bestimmt. Dabei wird die Mischungsverteilung plattenweise ($IP=1, IPL$) und "zeilenweise" ($IY=1, NY1$) durchlaufen: Jede Zeile Z der Mischungsverteilung (gegeben durch (IP, IY)) wird auf das Vorkommen von "Intervallen" (von Säulen) der aktuellen Mischung untersucht.

Durch Vergleich mit den beiden Nachbarzeilen Z_0 (gegeben durch $IP-1, IY$, nur bei $IP>1$) und Z_1 (gegeben durch $IP, IY-1$, nur bei $IY>1$) wird ein (neues) Intervall auf den Zusammenhang mit (alten) Zonen der Mischung untersucht.

ZEILI (JDF, LPA, IZZO, LPZN, LPZON)

Funktion:

Initialisierung für den "Arbeitseingang" ZEILE, siehe unten.

LPA Pointerfeld für Informationen über Nachbarzeilen.

LPZ, LPZON, Pointer für Felder "vorläufiger" und "bereinigter"
Zonenindizes

IZZO=10000 : pro Mischung können damit nur 9999 Zonen (bereinigt)
vorkommen

ZEILE (LPN, IAA, IAN, MIX, MIFR, IC) (Entry in ZEILI)

Gerufene Routine:

ELIM

LPN Pointer auf aktuelle Zeile relativ zu LPMV.

IAA gibt an, ob nur schichtgleiche (1), nur obere (2) beide (3)
oder keine (0) Nachbarzeile in Bezug auf vergebene "alte"
Zonenziffern zu vergleichen sind.

IAN Pointer relativ zu LPN

MIX aktuelle Mischungsnummer

MIFR "Zonenfrequenz" der Mischung, "Updating" bei jedem Aufruf

IC Meldet Mischungsanfang für die Zeile.

(Für späteren ZEILE-Aufruf in MIXZON nach JDF(LPA (3)) gebracht)

Bei jedem ZEILE-Aufruf wird die Zonenverteilung um eine "Zeile"
fortgeschrieben. Das Vorgehen soll am Beispiel in II.2 gezeigt
werden.

Platte 1:

Aufruf 1	liefert	Zonenindex	1	(IP=1, IY=1)
2	"	"	2 und 3	
3	"	"	-	
4	liefert	"	4	

Platte 2:

Aufruf 5	liefert	Zonenindex	5	(IP=2, IY=1)
6	"	"	-	
7	"	"	-	
8	"	"	6,7 (vorläufig) und 4.	(IP=2, IY=4)

Platte 3				(IP=3,IY=1)
Aufruf 9 liefert Zonenindex	-			
10 "	"	-		
11 "	"	8 (vorläufig)		
12 "	"	4		(IP=3,IY=4)

Denn die schichtgleiche Nachbarzeile grenzt mit Zone 8 an den (einzigen) Mischungsbereich der (aktuellen) Zeile. Beim folgenden Vergleich mit der oberen Nachbarzeile (IP=2,IY=4) wird die gemeinsame Grenze mit den weiteren Zonen 7 und 4 festgestellt; so daß alle Elementarvolumina des Mischungsbereichs der neuen Zeile zusammen mit denen der Zonenindizes 7 und 8 nun den Index 4 erhalten (Es wird der kleinste "angrenzende" Index genommen, wodurch automatisch eine durchgehende Numerierung in der Reihenfolge des ersten Auftretens der Zonenindizes entsteht).

ELIM(JEL, IEL, JAL, IAL,*)

Für jedes zusammenhängende Mischungsintervall einer Zeile ein ELIM-Aufruf.

Beim einzigen ELIM-Aufruf im ZEILE-Aufruf 12 (Vgl. ZEILE) zeigt z.B. LPZN auf das Feld JEL mit den Zahlen 8,7,4 (Indizes benachbarter Zonen zum aktuellen Mischungsintervall der Zeile 12)

IEL gibt ihre Anzahl 3 (Für jedes angrenzende Volumenelement der gleichen Mischung wird der entsprechende Zonenindex in das Feld geschrieben, so daß z.B. bei anderer Mischungsverteilung

JEL : 8,8,8,7,4 und IEL = 5 sein könnte)

LPZON zeigt auf das Feld JAL mit : 1,2,3,4,5,6,7,8, (mit IAL=8)

Beim Rücksprung aus ELIM enthält

JEL : 4,7,8 (IEL=3)

(Die 8 würde jetzt auch im oben angedeuteten Fall der anderen Mischungsverteilung nur einfach vorkommen)

JAL: 1,2,3,4,5,6, (IAL=6)

PLADRI (JF) mit ENTRY:

PLADRU(LPPL, IPLAT)

Gerufene Routine:

XGRF(Entrv XGFEI) Routine aus D3E, vgl. /2/.

Funktion:

Ausdruck der Mischungsverteilung (eine Platte pro Aufruf von PLADRU)

LPPL Pointer für Mischungsverteilung

IPLAT Nummer der Platte ($1 \leq \text{IPLAT} \leq \text{IPL}$)

PERPRF (DF, JDF, IPR)

Funktion:

(IPR=1)

Prüfung der Eingabe für integrale Störzonen(Spezialbereiche)
Vgl. III A,B; III.E,F,G; vgl. IV K2: IPRI, IV K74 bis K81.

Prüfung der Eingabe für Störfälle.

Vgl. III.E; vgl. IV K83 bis K85.

Erzeugung der Datei (auf UNIT 10, vgl. VII) mit der geprüften
und interpretierten Information der Eingabe für Störzonen/
Spezialbereiche

(IPR=2)

Prüfung der Eingabe für lokale Störzonen.

VOLUME(DF, JDF, #)

Funktion:

Bestimmung der Volumina der Standard- und Spezialbereiche.

Druckausgabe der Volumina

Erzeugung des VOLUMEN-Blocks (vgl. V.2)

Methode:

Schleife über Platten (IP=1,IPL)

Schleife über Y-Intervalle und X-Intervalle.

Für die Standardbereiche werden die ganzen Säulen (ΔV) der Platten auf Mischungsbereiche und Zonen "verteilt".

(In $\Delta V = \Delta X \cdot \Delta Y \cdot \Delta Z$ entspricht ΔZ der Plattenstärke; ΔX , ΔY den Schrittweiten der Elementarvolumina (vgl. Anhang E.1))

Für die Spezialbereiche brauchen nur die Schichten mit $LZA \neq 0$ (vgl. Datei von UNIT 10) berücksichtigt zu werden.

Für Δ -Z-Geometrie werden die zu einem Standardbereich gehörigen Säulen einer Platte bzw. die zu einem Spezialbereich gehörigen Elementarvolumina einer Schicht gezählt, und die Anzahlen mit dem zur Platte bzw. zur Schicht gehörigen Volumen multipliziert ($F \cdot \Delta H$ bzw. $F \cdot \Delta Z$; F Dreiecksfläche, ΔH Plattenstärke, ΔZ Schichtstärke)

WQIN(DF, JDF, *)

Funktion:

Der SIGMN-Block (vgl. II.3) wird in das Arbeitsfeld gebracht.

Pointer: LPSIG.

Methode: +

Es wird der ganze Block mit Erklärungsteil und allen Gruppenteilen in das Arbeitsfeld gebracht.

WQSKAL(S,LS, TYP,IA,NR,LPCR,*,*)

Funktion:

Angabe der Adresse (LPCR) im SIGMN-Block für die zu einem angegebene "skalaren" Wirkungsquerschnittstyp (TYP, Name aus 4 oder 2 4-Byte-Worten) und gegebener Energiegruppennummer (NR) gehörigen Werte.

Das Feld S(1), LS(1) ist durch DF(LPSIG+1), JDF(LPSIG+1) anzugehen
IA=0 ist zu setzen, wenn der Name des Querschnittstyps aus 2 4-Byte-Worten besteht.

RETURN1 wird benutzt bei Strukturfehlern im SIGMN-Block,
RETURN2 wenn der Querschnittsname nicht gefunden wird.

WQVEKT(S,LS,TYP,IA,NR,LPCR,*,*,N1,N2)

Funktion:

Entsprechend WQSKAL, jedoch für "vektorielle" Wirkungsquerschnittstypen(in AUDI3 nur der totale Streuquerschnitt SMTOT)

N1/N2 sind die erste/letzte Energiegruppennummer des Streubereichs (aus Energiegruppe NR).

+ An Stelle der hier benutzten Programme WQIN, WQSKAL, WQVEKT sollte das Programm WQRG von Herrn Höbel Verwendung finden, wodurch der Speicherbedarf für die Benutzung der makroskopischen Wirkungsquerschnitte stark reduziert werden kann. (Erklärungsteil und ein Gruppenteil im Arbeitsfeld. Vgl./18/).

FLINT(DF,JDF,*)

Gerufene Routinen:

PRINZ, PRING, BLOZ, BLOG.

Funktion:

Berechnung der Integrale und Mittelwerte der Neutronenflußdichte.

Methode:

(Reihenfolge der Nennung von Schleifen verläuft von "außen" nach "innen")

Schleife über Energiegruppenindex (IG=1,NGP,IF/GOTO)

Schleife über Z-Ebenen (Punktindex LZ=1,NZ)

Für innere Ebenen 2-maliger Durchlauf der Schleifen über Intervall-indizes für Y-Richtung (J=1,NY1) und X-Richtung (I=NXA,NXE. Vgl. MIXZON:LPXA, LPXE) d.h. je einmal für die oberhalb und unterhalb der Ebene liegenden Volumenelemente (vgl. Anhang E.1)

An Grenzebenen erfolgt nach dem ersten Durchlauf Umschalten auf neue Platte (Pointer LPMV. Vgl. MIXZON).

Pointer für erzeugte Integralwerte:

LPINTZ Standardbereiche "Zonen"

LPINTT Standardbereiche "Mischungsgebiete"

LPG Standardbereich "Gesamtsystem"

LPINSZ Spezialbereiche

Pointer für entsprechende Mittelwerte

LPMITZ, LPMITT, LPM, LPMISZ

RATEN(DF,JDF,*)

Gerufene Routinen:

PRINZ, PRING, BLOZ, BLOG, DFUT

Funktion(vgl. III.A):

Berechnung von Reaktionsraten und ihrer Mittelwerte (vgl. III.A.3)

Berechnung der Leistung, Normierung (vgl. III.A.1)

Erzeugung der entsprechenden Blöcke (vgl. V)

Methode:

Multiplikation der Flußintegrale (Mittelwerte) mit makroskopischen Wirkungsquerschnitten

Pointer der erzeugten Werte:

LPZOR	Raten für Zonen
LPTOR	Raten für Mischungsbereiche
LPROR	Raten für Gesamtsystem
LPRTSZ	Raten für Spezialbereiche

Pointer für die entsprechenden Mittelwerte:

LMZOR, LMTOR, LMROR, LMRTSZ

In RASEN werden die Ratensummen aus den unter LPZOR abgelegten Größen berechnet. Die Adressierbarkeit (auch) der Ratengrößen (LPTOR bis LMRTSZ) durch den Namen des Wirkungsquerschnitts im SIGMN-Block wird durch die Namensliste unter LNRT gewährleistet (Eingabe).

PRINZ(DF, JDF, LPZOR, LPTOR, LPROR)

Funktion:

Ausdruck von Ergebnissen der Auswertung nach III.A., III.B für Standardbereiche

LPZOR/LPTOR/LPROR sind Pointer der Größen für Zonen (Teile von Mischungsbereichen)/Mischungsbereiche/Gesamtsystem.

PRING(DF, JDF, LPRTSZ) (Entry von PRINZ):

Funktion:

Ausdruck von Ergebnissen der Auswertung nach III.A, III.B für Spezialbereiche

LPRTSZ ist Pointer für diese Größen im Arbeitsfeld.

BLOZ(DF, JDF, BLOCK, LP1, LP2, LP3, IA, IND, TYP) (Entry von PRINZ)

Funktion:

Erzeugung eines Blocks mit dem Namen BLOCK (4-4 Byte Worte) in der Struktur nach V.1 (Blockteile für Standardbereiche)

LP1/LP2/LP3 entsprechen LPZOR/LPTOR/LPROR in PRINZ.

IA Blockadresse nach KAPROS-Konventionen.

IND=1 TYP ist dummy;

IND=2 TYP hat folgende Bedeutung:

TYP 4 4-Byte-Worte mit Namen des Querschnittstyps zu dem Raten in den Block geschrieben werden.

Dieser Name wird vor die Werte der Raten in den Block geschrieben

BLOG (DF, JDF, BLOCK, LP, IA)

Funktion (Aufruf erfolgt nach BLOZ-Aufruf!)

Erzeugung des Blockteils für Spezialbereiche

LP entspricht LPRTSZ in PRING

IA Blockadresse nach KAPROS-Konventionen.

RASEN(DF, JDF, *)

Funktion (Vgl. III.A.4):

Prüfung und Interpretation der Eingabe für Ratensummen
(Pointer: LDRTY)

Berechnung der Ratensummen aus Raten (Vgl. RATEN)

Die Ergebnisse werden im Arbeitsfeld unter LPRTY abgelegt.

Länge $NRT + NRT * INCRTY * NRT$

NRT Anzahl der Ratensummen (Common)

INCRTY Anzahl der Werte (für alle Ratensummen gleich) ergibt
sich aus Interpretation der Eingabe.

Die ersten NRT Werte geben die Anfangsadressen (relativ zu LPRTY)
der verschiedenen Ratensummenwerte. Die Reihenfolge ist durch die
Eingabe der Namen der Ratensummen (IRT=1,NRT) gegeben:

$DF(LNRTY+(IRT-1)*5+2)$ bis $DF(LNRTY+(IRT-1)*5+5)$

RTKOMB(DF, JDF, *)

Funktion (Vgl. III.A.5)

Prüfung und Interpretation der Eingabe für Ratenkombinationen.
(Pointer: LDRKB)

Berechnung der Ratenkombinationen aus Ratensummen (Vgl. RASEN)

Die Ergebnisse werden im Arbeitsfeld unter LPARKB abgelegt.

Die Länge ergibt sich aus der Interpretation der Eingabe und ist i.a.
für die einzelnen Ratenkombinationen verschieden.

Die NRKB (Commongröße, Anzahl der Ratenkombinationen) ersten Werte
geben die Anfangsadressen relativ zu LPARKB der verschiedenen Raten-
summen.

XLEK(DF,JDF,*)

Gerufene Routinen:

PLATI(ENTRY,PLATZ), STRAFI(ENTRY STRAFZ), STRATI(ENTRY STRATZ)
PRINZ, PRING, BLOZ, BLOG.

Funktion(vgl. III.B.):

Berechnung der Leckage für Δ-Z-Geometrie

Methode:

Schleife über Energiegruppen.

Schleife über Schichten, d.h. Z-Intervalle (LZ=1,NZ1)

Bereitstellung der für die Schicht relevanten Platten der Mischungsverteilung (falls die Schicht eine Platte ist, wird die obere und/oder die untere Nachbarplatte gebraucht): Aufrufe von PLATI(PLATZ).

Bereitstellung der Werte der Neutronenflußdichte für die relevanten Z-Ebenen (neben oberer und unterer Grenzebene der Schicht selbst noch obere und/oder untere Nachbarebene): Aufrufe von STRAFI(STRAFZ).

Nur bei IZOI>0 (Vgl. III.A.III.B)

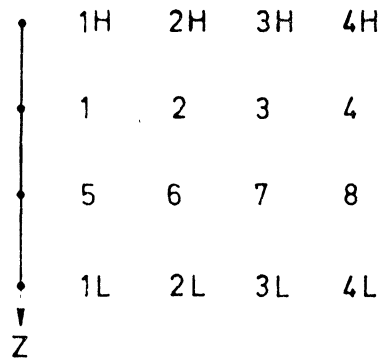
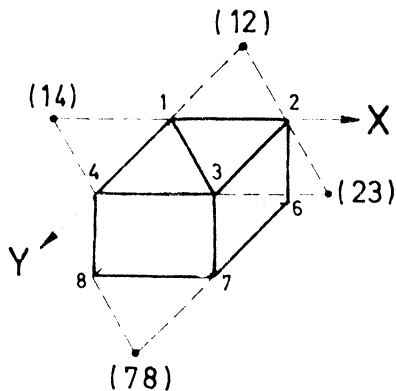
Bereitstellung der (für die Schicht relevanten)Beschreibung der Spezialbereiche der Datei von UNIT 10 (Vgl. III.) ISCH=1 gesetzt.

Aufrufe von STRATI(STRATZ)

Schleife über Y-Intervalle (LY=1,NY1) und X-Intervalle (LX1=NXA,NXE,2).

Pro X-Intervall sind i.a. 2 Elementarvolumina(kurz E.V.) zu behandeln.

(2 "Dreiecke" der Δ-Z-Geometrie)



Die beiden Skizzen zeigen die im Programm (für Pointer und Variable) verwendeten Bezeichnungen der Gitterpunkte eines durch (LZ,LY,LX1) gegebenen Maschenpaares. Die Punkte (12)bis (78) und (1H) bis (4L) werden für die "externen" Formeln gebraucht (Vgl. III.B).

MI1/MI2 Mischungsnummer von linkem/rechtem E.V.
M14 Mischungsnummer im bei (1485) angrenzenden E.V.
M23 entsprechend für (2376) etc.

LIK gibt an, ob die durch die Punkte (I,K) ($1 \leq I < K \leq 4$) spezifizierte vertikale Grenzfläche eines E.V. auch Mischungsgrenze ist oder nicht. Durch L1H/L1L ist die obere/untere Grenzfläche des linken E.V. -- durch L2H/L2L ist die obere/untere Grenzfläche des rechten E.V. gekennzeichnet.

LIK=1 : Verwendung von "Intern-Formeln", da Mischungsgrenze vorliegt
LIK=2 : Verwendung von "Extern-Formeln", da keine Mischungsgrenze vorliegt
 (Vgl. III.B).

Für das linke E.V. bedeutet $L13=L14=L34=1$ bzw. $L1H=L1L=1$ das (numerische) Verschwinden der radialen bzw. axialen Gesamtleckage ("Linearisierungsfehler" bei Approximation)

DIK enthält die entsprechenden Leckagewerte zu den E.V.

Die Pointer der berechneten Größen:

L EKZ	Standardbereiche	"Zonen"
L EKM	"	"Mischungsgebiete "
L EKR	Standardbereich	"Gesamtsystem"
L EKG	Spezialbereiche	
§ =A	bezieht sich auf die radiale Leckage	
§ =L	" " " "	axiale Leckage
§ =S	" " " "	Gesamt-Leckage

ZLEK(DF,JDF,*)

(Vgl. III.B.)

Gerufene Routinen:

Siehe XLEK

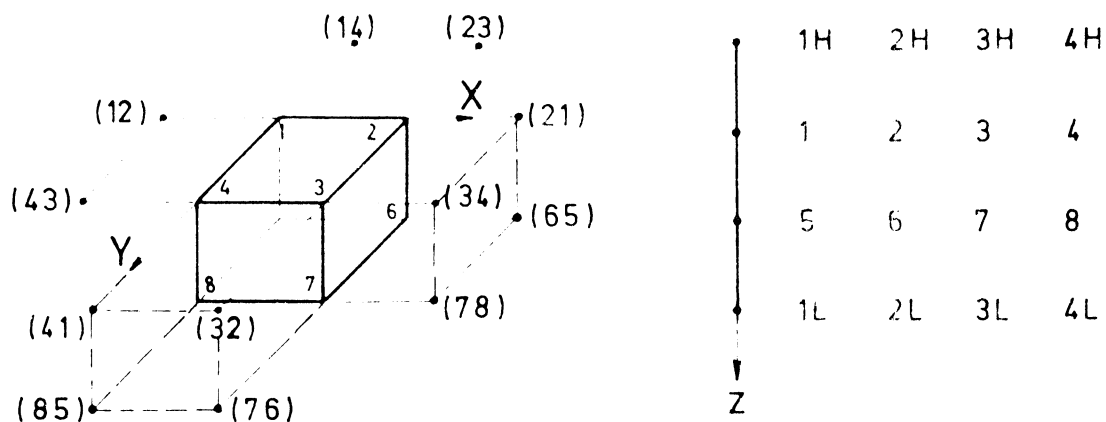
Funktion:

Berechnung der Leckage für XYZ- und Θ RZ-Geometrie

Methode:

Vgl. XLEK.

Für beide Geometrien werden die Koordinatendifferenzen in X wie in Θ -Richtung mit "Radien" multipliziert: R1, R2, R1P, R2M. Diese "Radien" werden für XYZ-Geometrie gleich 1 gesetzt.



Die beiden Skizzen zeigen die im Programm (für Pointer und Variable) verwendeten Bezeichnungen der Gitterpunkte zu einer durch (LZ,LY,LX1) gegebene Masche (zu einem X-Intervall (LX1) gehört jetzt nur 1 Masche). Die Punkte (12)bis (87) und (1H) bis (4L) werden für die "externen" Formeln gebraucht. (Vgl. III.B)

PLATI(DF,JDF) mit ENTRY:

PLATZ(LZ,INDP,LPL1,LPL2,LPL3)

Funktion: Bereitstellung der für die durch LZ gegebene Schicht relevanten Platten der Mischungsverteilung, durch Angabe der Pointer (und falls notwendig, d.h. bei NFZV=1, Aufruf von KSGET für VERT-Block):

LPL2 Platte, zu der die Schicht gehört

LPL1 obere Nachbarplatte (falls vorhanden und falls aktuelle Schicht an diese grenzt)

LPL3 untere Nachbarplatte (falls vorhanden und falls aktuelle Schicht an diese grenzt)

INDP=1 Nur obere Schichtebene ist Plattengrenze

=2 Nur untere " " "

=3 Keine Schichtebene ist Plattengrenze

=4 Beide Schichtebenen sind Plattengrenzen

STRAFI, JDF, LPFL) ; ENTRIES

STRAFA

STRAFZ (LZ, LPFA, LPF1, LPF2, LPFE)

Funktion: Bereitstellung der Werte der Neutronenflußverteilung
der für die aktuelle Schicht (LZ) relevanten Ebenen
(KSGET-Aufruf)

(STRAFA: Ebene 1 und 2 (Schicht 1) werden eingelesen)

LPFL Pointer für Arbeitsfeld, welches die Werte der Neutronenfluß-
dichte für 4 Ebenen enthält

LPF1/LPF2

obere/untere Grenzebene der Schicht

LPFA/LPFA

obere/untere Nachbarebene für Schicht, falls vorhanden und
benötigt

STRATI (DF, JDF, LZC, LPZ) mit ENTRY

STRATZ (LZ, LZC, INDZ, LPZ1, LPZ2, LPZ3)

Funktion: Bereitstellung der Information über die Spezialgebiete
(aus Datei von UNIT 10) für die aktuelle Schicht (LZ)

LPZ Pointer für Arbeitsfeld, das die Information aus der Datei
 für die aktuelle Schicht (LPZ2) und die obere/untere Nachbar-
 schicht (LPZ1/LPZ3) enthält

LPZ1, LPZ2, LPZ3

werden zyklisch für den Bereich ab LPZ verwendet

LZC Z-Index der Schicht, die als nächste wieder Elementarvolumina
 von Spezialbereichen enthält
 (nicht notwendig LZC=LZ+1!)

INDZ=1 Obere Fläche eines jeden in der Schicht vorkommenden E.V.
 eines Spezialgebiets gehört zur Grenzfläche dieses Spezial-
 gebiets, untere Fläche nicht notwendigerweise.
 (Für LZ-1/LZ+1 ist kein/ein Record auf Datei von UNIT 10
 vorhanden)

=2 gegenüber 1 umgekehrte Verhältnisse

=3 Bei beiden Flächen läßt sich nur durch Vergleich mit entsprechen-
 der Nachbarschicht die "Grenzeigenschaft" feststellen
 (Für LZ-1 und LZ+1 ist ein Record auf Datei von UNIT 10 vorhanden)

=4 Beide Flächen eines jeden in der Schicht vorkommenden E.V.
 eines Spezialgebiets gehören zur Grenzfläche dieses Spezial-
 gebiets
 (Für LZ-1 und LZ+1 ist kein Record auf Datei von UNIT 10
 vorhanden)

L^PAT(DF, JDF)

Gerufene Routine:

LORA

Funktion:

Bereitstellung und Adressierung von Arbeitsfeldbereichen für den Aufruf von LORA. Vgl. LORA, Argumente.

LORA (MV, IGEB, IGRENZ, SIGMN, TYP, FLUX, MVN, PAS, RENORM, SIGMA, RATEN, RATENS, NGRENZ, ZEILE, NX)

Gerufene Routinen:

PRIGR, FORM9 (entry FORMT)

Funktion(vgl. III C):

Berechnung der lokalen Raten und ihrer axialen Linienintegrale.

Druckausgabe der Ergebnisse.

Erzeugung der Blöcke 'RALO' und 'RALG' (vgl. V.8a; V.8b)

Bedeutung der Argumente:

MV	Mischungsverteilung (vgl. MIXZON)
IGEB	Definition der Gebiete (für Berechnung lok. Raten) aus Eingabe.
IGRENZ	Z-Indizes der Grenzebene zwischen Platten der Mischungsverteilung (vgl. MIXZON)
SIGMN	SIGMN-Block (Vgl. WQIN, WQSKAL, WQVEKT)
TYP	Namen der Typen (für Berechnung lok. Raten) aus Eingabe.
FLUX	Werte der Neutronenflußdichte zu gegebener Energiegruppe und Z-Ebene (Indizes IG und IZ)
MVN	enthält die SIGMN-Nummern der Mischungen, für den durch (IX,IY,IZ) gegebenen Punkt: Bei Δ -Z-Geometrie sind das bis zu 6, bei den anderen Geometrien bis zu 4 (bezogen auf eine Platte).

- PAS Schrittweiten in Z-Richtung aus Eingabe (KNTR-Block)
 (für Berechnung der axialen Linienintegrale)
- RENORM Renormierungsfaktor aus Eingabe
 (für Berechnung der axialen Linienintegrale)
- SIGMA nimmt die Werte (zu NM Mischungen) eines (des "aktuellen")
 Querschnittstyps zu einer (der "aktuellen") Energiegruppe
 auf.
- RATEN nimmt die Werte (maximal $NXNY = NX * NY$ vgl. KNTR-Block)
 der Raten (Einzelgruppen) eines Gebietes auf, die in einer
 Z-Ebene (IZ) liegen.
 Genauer: die Werte für "Normalpunkte" (Vgl. III.C. a-Tabelle)
 Die Werte für jeweils einen "Grenzpunkt" werden in BOUND
 gehalten (Vgl. III.C. b-Tabelle)
- RATENS Wie RATEN, jedoch für die (Energie)Gruppensumme.
 (BOUNDS entsprechend BOUND)
- NGRENZ enthält die auf die IPL verschiedenen Platten entfallenden
 Grenzpunkte eines (des "aktuellen") Gebiets.
- ZEILE enthält die durch FORMT für die Druckausgabe aufbereitete
 Zeile der a-Tabelle.
- NX Punktindex in X-Richtung (aus COMMON-Feld)

Methode:

Schleife über Gebiete

Schleife über Querschnittstypen

Schleife über Energiegruppen

Schleife über Z-Ebenen(des aktuellen Gebiets)

Schleife über Y,X-Koordinaten (des aktuellen Gebiets)
zur Behandlung der "Grenzpunkte" (b-Tabelle)

Schleife über Y,X-Koordinaten (des aktuellen Gebiets)
zur Behandlung der "Normalpunkte" (a-Tabelle)

Die externen Dateien 18/29 nehmen die Werte für Normalpunkte,
die externen Dateien 20/21 nehmen die Werte für Grenzpunkte auf.

Beim wiederholten Durchlaufen der Schleife über Energiegruppen
werden die alten Werte von der einen Datei (eines Paares) gelesen
und nach Addition der Werte für die aktuelle Energiegruppe auf die
andere Datei dieses Paares geschrieben.

Die "Puffer" bei diesen I/O-Aktivitäten sind

RATEN/RATENS für 18/19

BOUND/BOUNDS für 20/21

Beim ersten Durchlauf wird auf 18 bzw. 20 geschrieben
(noch kein Lesen)

Beim zweiten Durchlauf wird von 18 bzw. 20 gelesen und auf 19 bzw. 21
geschrieben, u.s.f.

PERTRB (DF,JDF,SZ,GZ,*)

(Vgl. III.E)

Gerufene Routinen:

XEBENE, ZEBENE

Funktion:

Berechnung der integralen Störungskoeffizienten für Zonenstörungen,
Berechnung der lokalen Störungskoeffizienten
Berechnung der effektiven Lebens/Generationsdauer von Neutronen
Berechnung der effektiven Anteile verzögerter Neutronen

Methode:

Spektren der Spaltneutronen (aller Mischungen) werden im Arbeitsfeld gehalten. Pointer IDCHI.

Schleife über Energiegruppen für Neutronenflußdichte (I=1,NGP)

Bereitstellung der "I-abhängigen" Wirkungsquerschnitte durch ihren Pointer im SIGMN-Block (LPSIG):

LPNUS($v\Sigma_i^f$), LPSRE(Σ_i^r), LPSFI(Σ_i^f), LPSCA(Σ_i^c),

LDDIF($1/(3 \Sigma_i^{tr})$), LPSMT(Σ_{+i}^{tot})

Schleife über Energiegruppen für Neutronenimportanz (J=1,NGP)

Nullsetzen der Felder, die für jedes Energiegruppenpaar (I,J) die Integrale von $\phi_I \cdot \phi_J^+$ bzw. $\text{grad}\phi_I \cdot \text{grad}\phi_J^+$ über Störzonen aufnehmen sollen; Pointer IFZON bzw. IGZON

Schleife über die Z-Ebenen (LZ=1,NZ)

"Zyklisches" "einlesen" der Werte der Neutronenflußdichte bzw.

Neutronenimportanz für 3 Z-Ebenen :KSGET-Aufrufe für FLUX3DIM- und FLUA3DIM-Block; Pointer LPFR bzw. LPFA.

I.a. gilt:

LPFR2 bzw. LPFA2 zeigen auf die "aktuelle" Z-Ebene (LZ)

LPFR1 bzw. LPFA1 zeigen auf die Ebene mit LZ-1

LPFR3 bzw. LPFA3 zeigen auf die Ebene mit LZ+1

Für Grenzebenen des Systems oder zwischen verschiedenen Platten der Mischungsverteilung gilt:

LPFR1 bzw. LPFA1 zeigen auf Ebene mit LZ-1

LPFR3 bzw. LPFA3 zeigen auf Ebene mit LZ-2

(LPFR2 bzw. LPFA2 zeigen auf "untere" Grenzebene mit LZ)

Oder:

LPFR1 bzw. LPFA1 zeigen auf Ebene mit LZ+2

LPFR3 bzw. LPFA3 " " " " LZ+1

(LPFR2 bzw. LPFA2 zeigen auf obere Grenzebene mit LZ)

I.a. pro Z-Ebene ein Aufruf von XEBENE (oder ZEBENE) zur Ausführung von $\phi_I \cdot \phi_J^+$ und $\text{grad}\phi_I \cdot \text{grad}\phi_J^+$ und deren Integration.

(Berücksichtigung der über und unter der Ebene anliegenden Volumenelemente; vgl. XEBENE, ZEBENE).

Für Grenzebenen (zwischen Platten) zwei Aufrufe einer dieser Routinen; je einmal für die Ebene (mit LZ) als "untere" (Berücksichtigung der über der Ebene liegenden Volumenelemente) und als "obere" (Berücksichtigung der unter der Ebene liegenden Volumenelemente) Grenzebene.

Die Integralbeiträge werden auf die mischungsabhängigen Größen (für Normierungsintegral, Lebensdauer und effektive Anteile verzögerter Neutronen, Pointer LNORM) verteilt und auf die störzonenabhängigen Größen (für Zählerterme der Störungsrechnung, Pointer IFZON für $\phi_I \cdot \phi_J^+$ und IGZON für $\nabla\phi_I \cdot \nabla\phi_J$).

Nach Durchlauf der Z-Schleife (Vollendung der Volumenintegration für Energiegruppenpaar (I,J)) werden die Integralgrößen mit den geeigneten makroskopischen Wirkungsquerschnitten multipliziert und gespeichert (wahlweise auch gruppenabhängig: I- und J-abhängig).

XEBENE(DF,JDF) mit ENTRIES

XEBENA (IJ,IJF)

XEBENB (MV,LZ,ISD,IEB)

Funktion:

Durchführung der Rechnungen (XEBENE) für Δ -Z-Geometrie:

XEBENE: Bereitstellung des Arbeitsfeldes (durch einmaligen Aufruf).

XEBENA: Definition des Arbeitsumfanges von XEBENB (durch Aufruf)

für jedes Energiegruppenpaar I,J:

IJ=1 bedeutet I=J, d.h. (zusätzliche) Integration von $\nabla\phi_I \cdot \nabla\phi_I^+$ und bei NLIFE > 0, von $\phi_I \cdot \phi_I^+$ für Lebensdauer auch wenn die Schicht mit dem Intervallindex LZ keine Teile von Störzonen enthält.

IJF>0 bedeutet $\chi_J \cdot \nu \Sigma_I^f \neq 0$ oder (wenn IJ=0 und I<J) $\sum_{j=I}^{\text{tot}} \neq 0$, d.h. Notwendigkeit der Integration von $\phi_I \cdot \phi_J^+$ als Betrag zum Normierungsintegral etc., oder zu den Termen DELTA(FISSIONGAIN) und -(SCATTERGAIN).

XEBENB:

Integration der Funktionen $\phi_I \cdot \phi_J^+$ (über Mischungsbereiche und/oder Störzonen) und $\nabla\phi_I \cdot \nabla\phi_I^+$ (über Störzonen)

Bestimmung der Produkte $\phi_I \cdot \phi_J^+$ und $\nabla\phi_I \cdot \nabla\phi_I^+$ für die Gitterpunkte lokaler Störzonen.

Für jede Z-Ebene (Punktindex LZ) im Innern einer Platte (Pointer MV) der Mischungsverteilung ein Aufruf (von XEBENB) mit ISD=0.

Zu jeder Z-Ebene, die Plattengrenze ist, ein Aufruf (von XEBENB) für die Ebene als obere (ISD=2) und/oder ein Aufruf für die Ebene als untere (ISD=1) Plattengrenze ("und" gilt für Grenzen zwischen 2 Platten)

Es sind immer ϕ_I -Werte (LPFR) und ϕ_J^+ -Werte (LPFA) von 3 Ebenen im Arbeitsfeld (für 3-Punktformeln zur Approximation der Ableitungen in Z-Richtung)

	a)		b)		c)
LZ-2	{ LPFR3 LPFA3	LZ-1	{ LPFR1 LPFA1	LZ	{ LPFR2 LPFA2
LZ-1	{ LPFR1 LPFA1	LZ	{ LPFR2 LPFA2	LZ+1	{ LPFR3 LPFA3
LZ	{ LPFR2 LPFA2	LZ+1	{ LPFR3 LPFA3	LZ+2	{ LPFR1 LPFA1

Die Pointer für die aktuelle Ebene (LZ:LPFR2 und LPFA2) und die anderen Ebenen sind "zyklisch" zugeordnet.

IEB=0 /1/2/ bezeichnet die Fälle a/b/c und gibt sozusagen die "Anzahl der Ebenen im Voraus" wieder.

Kommen in jeder Platte innere Ebenen vor, d.h. besteht jede Platte aus mindestens 2 Schichten so entsprechen sich:

ISD=0 und IEB=1

ISD=1 und IEB=0

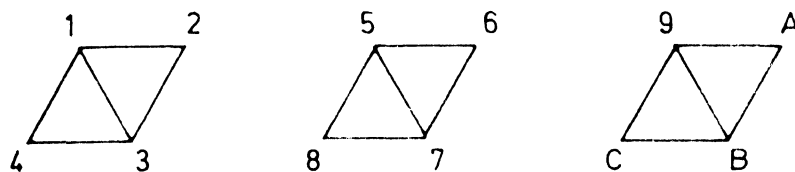
ISD=2 und IEB=2

Bei Aufrufen (von XEBENB) mit ISD=0 erfolgt die Durchführung der Integration in 2 Schritten (IEN=1, IEND mit IEND=2) je einer für die oberhalb und unterhalb der Ebene (LZ) liegenden Volumenelemente.

Bei Aufrufen mit ISD=1 oder ISD=2 ist nur jeweils ein Schritt zu tun (IEN=1, IEND mit IEND=1)

[Bei Durchführung der lokalen Rechnungen wird in Punkten auf inneren Plattengrenzen die Mischungsverteilung in beiden Platten berücksichtigt (Vgl. III.E. Approximation der partiellen Ableitungen bei lokaler Störungsrechnung)]

Für IEN=1,IEND wird eine Schleife über die Y-Intervalle und eine Schleife über die X-Intervalle durchlaufen (LY=1,NY1 und LX1=NXA,NXE,2; vgl. MIXZON:LPXA,LPXE). Für jedes einzelne LX1 werden dann jeweils 1 Paar von Dreiecken des Δ -Gitters erfaßt; genauer 3 koaxiale Paare in den 3 benachbarten Ebenen mit Werten der Neutronenflußdichte/Importanz (Die den Punkten entsprechenden Pointer sind mit I1/J1 bis IC/JC bezeichnet)



Die Raute mit den Punkten (1 2 3 4) bezieht sich immer auf die "aktuelle" Ebene (Punktindex LZ, Pointer LPFR2/LPFA2) Für die Fälle (a),(b),(c) (siehe oben) gilt im einzelnen eine Zuordnung, bei der die beiden "Randformen" der Ableitungen in

a) LZ-2	(9 A B C)	b) LZ-1	(5 6 7 8)	c) LZ	(1 2 3 4)
LZ-1	(5 6 7 8)	LZ	(1 2 3 4)	LZ+1	(5 6 7 8)
LZ	(1 2 3 4)	LZ+1	(9 A B C)	LZ+2	(9 A B C)

Z-Richtung (Fälle (a) und (c) bis auf die Orientierung die gleiche Anordnung der Punktindizes (I1, I5, I9/J1, J5, J9, etc) haben, d.h. identisch kodiert werden können.

Bis auf die "Geometriefaktoren" (reziproke Koordinatendifferenz mal ΔV) werden die Skalarprodukte der Gradienten bezüglich der Δ -Koordinaten durch die Summen

$$P13+P14+P34 \quad \text{für das Dreieck (1 3 4)}$$

$$P13+P12+P23 \quad \text{für das Dreieck (1 2 3)}$$

gegeben.

Bezüglich der Z-Richtung durch die Produkte

$$DF15 \cdot DA15 \quad \text{für den Punkt 1}$$

$$DF48 \cdot DA48 \quad \text{für den Punkt 4.}$$

u.s.w.

MI1/2 Mischungen in Dreiecken (1 3 4)/(1 2 3) (SIGMN-Nummern)
 MZ1/2 " " " " " (AUDI3-Nummern)

IDFI=1/2/3/0 gibt an, ob linkes/rechtes/beide/kein "Dreieck" zum System gehört.

Integralbeiträge zu den Standardbereichen (Mischungen, Zonen) werden im Arbeitsfeld DF(LNORM+MZ1/2) aufsummiert (für Normierungsintegral, Lebensdauer, effektive Anteile verzögerter Neutronen)

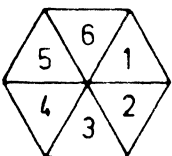
ITRI=1/2/3/ (vgl. IDFI) gibt an, welche Dreiecke zu einer Störzone gehören (0 kommt nicht vor; vgl. LSZ1=-1)

LSZ1, LSZ2 sind die Störzonenindizes für linkes/rechtes Dreieck.

LSZ1=-1 bedeutet keines der Dreiecke gehört zu einer Störzone.

Die Integralbeiträge von $\phi_I \cdot \phi_J^+$ bzw. $\nabla \phi_I \cdot \nabla \phi_I^+$ werden im Arbeitsfeld DF(IFZON+LSZ1/2) bzw. DF(IGZON+LSZ1/2) aufsummiert.

[Bei "lokaler" Berechnung von $\nabla \phi_I \cdot \nabla \phi_I^+$ wird folgende Bezeichnungsweise gewählt:



Der aktuelle Punkt in Ebene LZ (Zentrum des Hexagons) wird mit 0 bezeichnet. M(L)=I, I=1,6 sind die Mischungsnummern zu den 6 "Dreiecken", MI die Nummer der im Punkt 0 zu störenden Mischung.

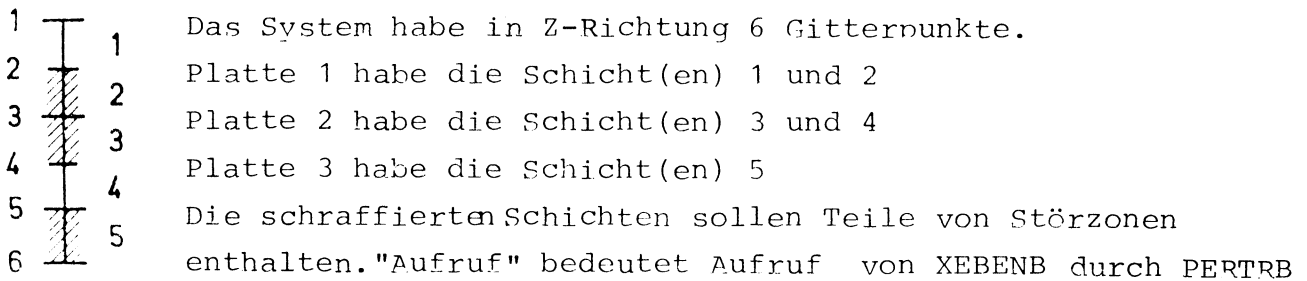
Für die XY-Ebene wird über die Dreiecke mit $M(L)=MI$ gemittelt (Liegt der Punkt O auf einer Grenzebene zwischen Platten: je einmal in 2 aufeinanderfolgenden Aufrufen mit gleichem LZ).

Die beiden zusätzlichen Punkte des jeweiligen Dreiecks werden mit 1 und 2 bezeichnet (Pointer IO/JO , I1/J2, I2/J2 für Neutronenfluß/Importanz)

Für die Z-Richtung werden die zum Punkt O koaxialen Punkte ebenfalls mit 1 und 2 bezeichnet in der Weise, daß die beiden Randformen wieder identisch kodiert werden können (vgl. Fälle (a) und (c) oben)]

Der Mechanismus der Bereitstellung der 3 Ebenen und der Störzoneninformation (Datei von UNIT 10) für die jeweils aktuelle Schicht soll an einem Beispiel dargestellt werden:

LZ LZA



1. Aufruf: LZ=1, ISD=2, IEB=2, (siehe oben)
 IEN=1, 1 (IEND=1)
 Ebenen 1,2,3 im Arbeitsfeld. Pointer: L...2, L...3, L...4
 LZA=2 ((10) lesen) gibt (Intervall)-Index der Schicht wo erstmalig Störzonen vorkommen (IW=0)
2. Aufruf: LZ=2, ISD=0, IEB=1
 Ebenen 1,2,3 im Arbeitsfeld. Pointer L...1, L...2, L...3.
 IEN=1,2 (IEND=2)
 Schicht mit Störzonen erreicht (bei IEN=IEND=2): IW=1
 Störzoneninformation einlesen (Pointer LPSZ; (10) lesen)
 LZ0=3 (zu LZA) nächste Schicht mit Störzonen ((10) lesen)

3. Aufruf: LZ=3, ISD=1, IEB=0
Ebenen 1,2,3 im Arbeitsfeld Pointer L...3, L...1, L...2
IEN=1,1
Nun ist LZA=LZ-1; untere Ebene der Schicht mit Störzonen erreicht.
Noch kein Einlesen von neuer Störzoneninformation von (10)
IW=1, LZA=LZØ (=3) setzen.
4. Aufruf: LZ=3, ISD=2, IEB=2
Ebenen 3,4,5 im Arbeitsfeld. Pointer: L...2, L...3, L...1
IEN= 1,1 (IEND=1)
Nun ist LZA=LZ; obere Ebene der neuen Schicht mit Störzonen erreicht.
Störzoneninformation einlesen (Pointer LPSZ; ((10) lesen)
(die Störzoneninformation der neuen Schicht überschreibt die
der alten)
LZO=5 (zu LZA) nächste Schicht mit Störzonen ((10) lesen).
5. Aufruf: LZ=4, ISD=0, IEB=1
Ebenen 3,4,5 im Arbeitsfeld. Pointer L...1, L...2, L...3
IEN=1,2 (IEND=2)
Nun ist LZA=LZ-1 (=3), untere Ebene der Schicht mit Störzonen
erreicht (bei IEN=1):
Noch kein Einlesen von neuer Störzoneninformation von (10)
IW=1, LZA=LZO(=5) setzen.
Bei IEN=2 keine Aktivität für Störzonen.
6. Aufruf: LZ=5, ISD=1, IEB=0
Ebenen 3,4,5 im Arbeitsfeld. Pointer L...3, L...1, L...2
IEN=1,1 (IEND=1)
Keine Aktivität für Störzonen
7. Aufruf: LZ=5, ISD=2, IEB=1, (es ist nur noch eine "Ebene im Voraus"
vorhanden:)
Ebenen 4,5,6 im Arbeitsfeld. Pointer L...1, L...2, L...3
IEN=1,1 (IEND=1)
Nun ist LZA=LZ; obere Ebene der neuen Schicht mit Störzonen erreicht.
Störzoneninformation einlesen(Pointer LPSZ, (10) lesen)
LZO=0. D.h. es gibt keine weitere Schicht mit Störzonen.
Diese Information ist in diesem Fall ohne Nutzen, da ohnehin
letzte Schicht erreicht.

8. Aufruf: LZ=6, ISD=1 ,IEB=0

Ebene 4,5,6 im Arbeitsfeld. Pointer L...3, L....1, L...2

IEN=1,1 (IEND=1)

Nun ist LZA=LZ-1; untere Ebene der Schicht mit Störzonen erreicht.

(Noch) kein Einlesen von neuer Störzoneninformation von (10).

(LZO=0 besagt: es ist keine weitere Information enthalten)

IW=1, LZA=LZO(0) setzen. Von der letzten Information wird in diesem Fall nicht mehr Gebrauch gemacht, vgl. Aufruf 7.

ZEBENE(DF,JDF) mit ENTRIES

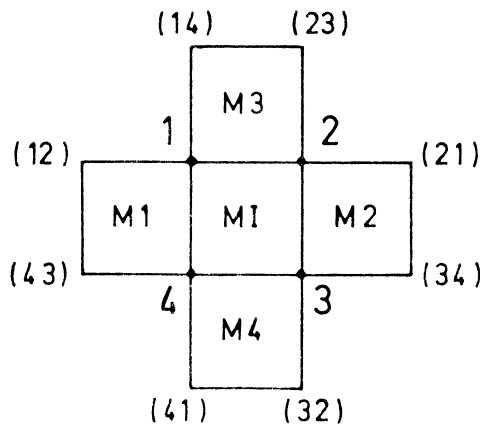
ZEBENA (IJ,IJF)

ZEBENB (MV, LZ, ISD, IGB)

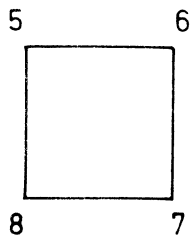
Funktion:

Durchführung der Rechnungen (Vgl. XEBENE) für XYZ- und Θ RZ-Geometrie.

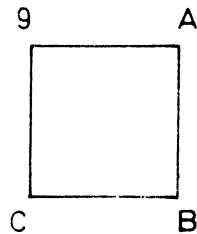
Wegen der Verwendung von 3-Punktformeln für die partiellen Ableitungen auch der nichtaxialen Richtungen werden (jeweils in der Ebene mit dem Punkt)-Index LZ zusätzliche Punkte gebraucht:



Für die Nachbarelemente ist wie bei Δ -Z-Geometrie:

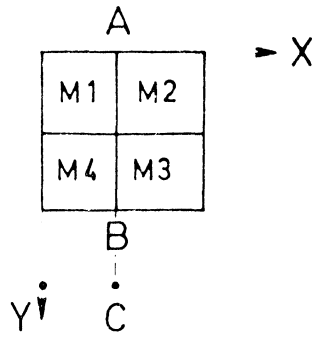


und



MI und M1 bis M4 geben die Mischungsnummern der zum Intervallindex LZ gehörigen (3-dimensionalen) Maschen.

Lokale Pechnung:



Der aktuelle Punkt in Ebene LZ (Zentrum des Rechtecks) wird mit 0 bezeichnet. M1 bis M4 sind die Mischungsnummern zu den 4 "Rechtecken", M1 die Nummer der im Punkt 0 störenden Mischung.

Für die Ableitung in Y-Richtung werden die Punkte A und B zusätzlich zu 0 verwendet (mit der Bezeichnung 1 und 2) wenn $M1=M1$ oder $M2=M1$ und gleichzeitig $M3=M1$ oder $M4=M1$.

Ist dagegen $M1 \neq M1$ und $M2 \neq M1$ (während gleichzeitig $M3=M1$ oder $M4=M1$) werden die Punkte B und C zusätzlich zu 0 verwendet (mit der Bezeichnung 1 und 2, vgl. Anhang E.3).

NPNT (JDF, KOORD)

Funktion

(Vgl. III.E.) vgl. PERTRB, PERAUD)

Bestimmung der Anzahl der zu einer lokalen Störzone gehörigen Gitterpunkte.

KOORD Adresse der Geometrieangaben zur lokalen Störzone im Feld JDF.

PERAUD(DF, JDF,*)

(Vgl. III.E,F,G)

Funktion:

Aufbereitung und Ausdruck der Ergebnisse von PERTRB:
Normierungsintegralbeiträge der Zonen in Prozentzahlen

FISSIONGAIN=1/k_{eff}*FISSIONGAIN (Pointer: INUFI)

SCATTERLOSS=REMOVAL-FISSIONLOSS-CAPTURELOSS (IPEMO)
(REMOVAL mit SCATTERLOSS überschreiben)

DEGRADATION=SCATTERLOSS-SCATTERGAIN (IDEGR)

FISSION=FISSIONLOSS-FISSIONGAIN (IFILD)

Zusammenstellung der Störfälle aus Zonenstörungen und
Druckausgabe der Störfälle

Erzeugung der Blöcke
'PERTKOEFF' und 'BETA_EFF' (vgl. V.8; V.9)

Druckausgabe der lokalen Störungskoeffizienten
Integration der lokalen Störungskoeffizienten über "lokale Störzonen".
Druckausgabe der Integralwerte

Methode:

Die lok. Stör-Koeffizienten sind für die Gitterpunkte einer Störzone in Tabellen nach Koordinatenindizes "lexikografisch" geordnet. Diese Tabellen werden durchlaufen und die Werte mit den "zugehörigen" (d.h. Beschränkung auf die "lokale Störzone") Volumengewichten multipliziert und aufsummiert (Vgl. Anhang E.1).

VII. Hardwareanforderungen

Die im folgenden angegebenen CPU-Zeiten beziehen sich auf IBM 3033!
Der virtuelle Speicherbedarf wird dadurch erhöht, daß der SIGMN-Block stets vollständig ins Arbeitsfeld gebracht wird, nicht in Teilen (Erklärungsteil, Gruppenteil).

AUDI3 hat Overlay-Struktur. Jedes Segment wird jedoch höchstens 1 mal geladen. Die verschiedenen Auswertungen werden i.a. in verschiedenen Segmenten vorgenommen.

Der Speicherbedarf ist 72K.

AUDI3 benutzt bis zu 5 externe Dateien.

- UNIT 10 für die Beschreibung der Spezialbereiche bzw. der Störzonen integraler Störungsrechnung
- UNIT 18/19 zur Manipulation der a-Tabellen für "Normalpunkte" bei der Berechnung "lokaler" Ratendichten
(Vgl.III.C,vgl.V.8.b)
- UNIT 20/21 zur Manipulation der b-Tabellen für "Grenzpunkte" bei der Berechnung lokaler Ratendichten.
(Vgl.III.C,vgl.V.8.a)

Das Recordformat RECFM=VBS für alle externen Dateien.

Die folgenden CPU-Zeiten beziehen sich auf das System IBM3033:

Das angefügte Testbeispiel verbraucht 6 SEC CPU-Zeit

Eine Störungsrechnung in einem System mit XYZ-Geometrie bei

53*105*40	Ortspunkten
13	Energiegruppen
53	Reaktormischungen

für 6 Störzonen und 8 Störfälle benötigt

CPU-Zeit : 20 min 12 sec

REGION : 3072 K

SCRATCH-LIFELINE : 7746 Blöcke a 3064 Bytes

Eine Störungsrechnung in einem System mit Δ -Z-Geometrie bei

37*37*52	Ortspunkten
13	Energiegruppen
74	Reaktormischungen

für 1659 Störzonen und ebensovielen Störfällen (NSF=0) benötigt

CPU-Zeit	:	10 min 23 sec
REGIOM	:	1500 K
SCRATCH-LIFELINE	:	2473 Blöcke à 3064 Bytes

Anhang

In Teil A wird die physikalische Bedeutung der Importanz erläutert, insbesondere der stationären Importanz für ein kritisches System. (engl. importance = Wichtigkeit, Einfluß. Statt des Begriffs Importanz findet man häufig folgende Bezeichnungen: Einflußfunktion, Adjungierte, adjungierter Neutronenfluß). Gleichzeitig wird der Erhaltungssatz für die Importanz eines Neutrons und seiner Nachfolger formuliert.

In Teil B wird die Diffusionsgleichung (Bilanzgleichung) für die Importanz aus deren physikalischer Bedeutung abgeleitet:*

In BI wird zunächst der Importanzstrom definiert,
in BII Randbedingungen aufgestellt,
in BIII der Erhaltungssatz (Teil A) für die Aufstellung der
Importanzbilanz im Multigruppenmodell angewendet.

In Teil C werden die beiden gekoppelten Systeme von Differentialgleichungen für die zeitabhängige Neutronenfluß- und Precursor-dichte und für die zeitabhängige Neutronen- und Precursor-importanz gegenübergestellt. (Im Deutschen wird statt Precursor der Ausdruck Vorläufer benutzt.) Mit der Forderung nach Stationarität werden die effektiven Multiplikationsfaktoren k und k^+ eingeführt und die Identität $k = k^+$ erörtert.

In Teil D werden die in den Gleichungen auftretenden Zeichen erklärt.

In Teil E werden die Formeln dargestellt, die bei der Integration, Differentiation und der Skalarproduktbildung der Gradienten in AUDI3 benutzt werden.

*
Wie bei der Neutronen(fluß)dichte ist auch bei der Importanz die Ableitung für das Transportmodell viel klarer und einfacher (Vgl. /9/, p.53; /10/ p.262).

Die Darstellung in Anhang A und B stützt sich weitgehend auf die Ausführungen von J. Lewins in /8/ und /9/, wobei mit Beschränkung auf das Multigruppen-Diffusionsmodell eine Annäherung an eine größere Vollständigkeit angestrebt wird und insbesondere die beiden folgenden Inkonsistenzen vermieden werden:

1. Das Postulat des Erhaltungssatzes (/9/, p.22) für die zuvor definierte Importanz (/9/, p.21): Der Erhaltungssatz ist vielmehr eine direkte Folge aus der Definition der Importanz (Anhang A).
2. Die Forderung der Stetigkeit des Importanzstromes an Mischungsgrenzen. (/9/, p. 62): Die Stetigkeit ist vielmehr eine Folge aus den bekannten Modellvoraussetzungen der Diffusionstheorie (Anhang B.I).

Weitere Ausführungen über den Importanzbegriff finden sich in /10/, /11/ und in der dort angegebenen Literatur.

E.Stumbur weist (/11/,p.24) auch auf die oben unter 1. genannte Inkonsistenz in /9/ hin. Er behandelt indessen nur die stationäre Importanz für ein kritisches System, i.a. für das Transportmodell. Der Übergang zur Importanz vereinfachter Modelle (/11/, p.24, 25) wird durch Integration nicht durch Mittelwertbildung vollzogen. Diesbezüglich vergleiche man die Vorbemerkung in Anhang A.

Teil A. Neutronenimportanz im Multigruppendiffusionsmodell
(Diskretisierung der Energie- Unabhängigkeit von der
Richtung)

Vorbemerkung:

Die zeitabhängigen Funktionen, welche die Verteilung* der Neutronen über den Ort und die Geschwindigkeit (Energie und Richtung) be-schreiben, sind Dichtefunktionen, wie z.B. $N : N(r, t, E, \Omega) dr dE d\Omega$ gibt für den Zeitpunkt t die Anzahl von Neutronen im Volumen dr (um r) im Energieintervall dE (um E) und im Raumwinkel $d\Omega$ (um Ω). Beim Übergang zu vereinfachten Modellen, in denen Näherungsannahmen (wie Diskretisierungen oder Unabhängigkeit) bezüglich der Energie- und Richtungsvariablen gemacht werden, sind diese Funktionen i. a. über geeignete Energieintervalle und Raumwinkelbereiche zu integrieren:

$$N_i(r, t, \Omega) = \int_{E_i}^{E_{i-1}} N(r, t, E, \Omega) dE$$

i ist Gruppenindex des Energiegruppenmodells, E_i , E_{i-1} Gruppengrenzen (Eingruppenmodell für $E_i = 0$, $E_{i-1} = \infty$).

$$N(r, t, E) = \int N(r, t, E, \Omega) d\Omega$$

Der Integrationsbereich ist der volle Raumwinkel (Diffusionsmodell) oder ein Teil einer (disjunkten) Zerlegung des vollen Raumwinkels (Sn-Modell).

Zur Darstellung (Beobachtung, Messung) der Neutronenverteilung bedarf es noch einer weiteren Funktion D , welche den Effekt** eines Neutrons (an der Stelle r zur Zeit t) mit der Energie E und der Richtung Ω (auf einen Neutronendetektor etwa) beschreibt und mit $D = D(r, t, E, \Omega)$ bezeichnet werden kann. Diese auf das einzelne Neutron bezogene Funktion ist beim Übergang zu den vereinfachten Modellen über die entsprechenden Energie- und Raumwinkelbereiche zu mitteln:

* engl. distribution

** engl. contribution

$$D_i(r, t, \Omega) = \int_{E_i}^{E_{i-1}} D(r, t, E, \Omega) dE \cdot \left(\int_{E_i}^{E_{i-1}} dE \right)^{-1}$$

$$D(r, t, E) = \int D(r, t, E, \Omega) d\Omega \cdot \left(\int d\Omega \right)^{-1}$$

Immer wenn hier und im folgenden von der Wirkung oder dem Effekt eines Neutrons oder eines Precursoratoms gesprochen wird, ist an ein statistisches auf 1 normiertes Ensemble von identischen Teilchen der jeweiligen Art zu denken.

Die Importanz eines Neutrons der Energiegruppe i an der Stelle r_0 zur Zeit t_0 wird mit $\phi_i^+(r_0, t_0)$ bezeichnet. Sie wird bestimmt durch den Effekt, den seine Nachfolgeneutronen zur Zeit $T \geq t_0$ auf einen Neutronendetektor D haben werden, der Spalt- oder Einfangereignisse registriert. Dieser Detektor wird, gemäß den Voraussetzungen unseres Modells, Energiegruppen, nicht aber Richtungen der Neutronen unterscheiden. Das in der Vorbemerkung über die neutronenbezogene Detektorfunktion D Gesagte überträgt sich damit auf die Importanz: $\phi_i^+(r_0, t_0)$ ist durch Mittelung über das Energieintervall (E_i, E_{i-1}) und den Raumwinkel 4π aus einer die volle Energie- und Richtungsabhängigkeit beschreibenden Importanzfunktion $\phi^+(r_0, t_0, E, \Omega)$ hervorgegangen. (Vgl. Teil B, wo die Richtungsmittelung eingehend behandelt wird.) (Als Meßgröße kann z.B. auch die Leistung des Systems angesehen werden.)

Als Nachfolger eines Neutrons ist dieses selbst anzusehen, etwa (vor oder) nach einem Streuprozeß, der in die gleiche oder eine energetisch niedrigere Energiegruppe führt (2 Nachfolger bei $n, 2n$ -Reaktion!). Oder die prompten und verzögerten Spaltneutronen nach der Auslösung eines Spaltprozesses durch das betrachtete Neutron selbst oder durch ein Neutron irgend einer seiner Folgegenerationen.

Auch ein Precursoratom der "verzögerten Gruppe" m_0 an der Stelle r_0 zur Zeit t_0 hat mittels der Nachfolgeneutronen "seines" verzögerten Neutrons einen Effekt auf D zur Zeit $T \geq t_0$, d. h. es hat eine Precursorimportanz $C_{m_0}^+(r_0, t_0)$ (Vgl. /83/; vgl.: Effektive Anteile verzögerter Neutronen. III.F).

Die Verteilungsdichten N bzw. N_m der Nachfolgeneutronen von Neutron bzw. Precursoratom der verzögerten Gruppe m sollen hier als "Green'sche Funktion" geschrieben werden, so daß die Definitionen von Neutronen- und Precursorimportanz unmittelbar formuliert werden können.

$$(1) \phi_{i_0}^+(r_0, t_0) = \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) \cdot N(r, T, i | r_0, t_0, i_0) d_r V \quad (t_0 < T)$$

$$(2) C_{m_0}^+(r_0, t_0) = \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) \cdot N_{m_0}(r, T, i | r_0, t_0) d_r V \quad (t_0 < T)$$

$D_i(r)$ sei der Detektorausschlag (Effekt), den ein Neutron der Energiegruppe i am Detektorort r (zur Zeit T) bewirkt. $r \in B$ soll deutlich machen, daß nur in einem Teilbereich B des Reaktorsystems $(R)D_i(r) \neq 0$ zu sein braucht.

$N = N(r, t, i | r_0, t_0, i_0)$ hat die Anfangsbedingungen

$$N(r, t_0, i | r_0, t_0, i_0) = \delta_{ii_0} \cdot \delta(r - r_0)$$

δ_{ik} Kroneckersymbol, $\delta(r-s)$ Dirac-Verteilungsdichte.

N ist die Dichte der Neutronen in Energiegruppe i zur Zeit t , erzeugt durch ein Neutron der Energiegruppe i_0 zur Zeit $t_0 < t$ an der Stelle r_0 .

$N_{m_0} = N_{m_0}(r, t, i | r_0, t_0)$ hat die Anfangsbedingung

$$N_{m_0}(r, t_0, i | r_0, t_0) = 0$$

N_{m_0} ist die Dichte der Neutronen in Energiegruppe i zur Zeit t erzeugt durch ein Precursoratom aus der Precursorgruppe m_0 zur Zeit $t_0 < t$ an der Stelle r_0 .

Einsetzen der Anfangsbedingungen von N und N_{m_0} in (1) und (2) für $t_0 = T$ ergibt die Endbedingungen von ϕ^+ und C^+ :

$$(\alpha) \quad \phi_{i_0}^+(r_0, T) = D_{i_0}(r_0) \quad \text{als Endbedingung für } \phi_{i_0}^+$$

$$(\beta) \quad C_{m_0}^+(r_0, T) = 0 \quad \text{als Endbedingung für } C_{m_0}^+$$

Die letzte Gleichung besteht, da einem Precursoratom nur dann Importanz zukommt, wenn es sein verzögertes Neutron noch vor dem Zeitpunkt der Detektormessung emittieren kann. (Das ist zum Zeitpunkt T nicht mehr möglich.)

Ist t irgend ein Zeitpunkt mit $t_0 < t < T$, dann müssen für N und N_m folgende Beziehungen gelten (Linearität des Systems):

$$(3) \quad N(r, T, i | r_0, t_0, i_0) = \sum_j \int_{\rho \in R} N(r, T, i | \rho, t, j) N(\rho, t, j | r_0, t_0, i_0) d_\rho V \\ + \sum_m \int_{\rho \in R} N_m(r, T, i | \rho, t) P_{i_0}(\rho, t, m | r_0, t_0) d_\rho V$$

$$(4) \quad N_{m_0}(r, T, i | r_0, t_0) = \sum_j \int_{\rho \in R} N(r, T, i | \rho, t, j) N_{m_0}(\rho, t, j | r_0, t_0) d_\rho V \\ + \sum_m \int_{\rho \in R} N_m(r, T, i | \rho, t) \cdot P(\rho, t, m | r_0, t_0, m_0) d_\rho V$$

D. h.:

Die Nachfolgerdichten N und N_m lassen sich darstellen als erzeugt durch die "Zwischengenerationen" zur Zeit t . Diese sind aber nur zum Teil unmittelbar durch die entsprechenden Neutronendichten N , N_m (zur Zeit t) repräsentiert. Vielmehr sind als quasi latente Erzeuger die Precursordichten (zur Zeit t) hinzuzunehmen:

$$P(\rho, t, m | r_0, t_0, m_0) \quad \text{mit der Anfangsbedingung} \\ (\gamma) \quad P(\rho, t_0, m | r_0, t_0, m_0) = \delta(\rho - r_0) \delta_{mm_0}$$

Dichte der Precursoratome der Gruppe m zur Zeit t , erzeugt durch ein Precursoratom aus der Precursorgruppe m_0 an der Stelle r_0 zur Zeit t_0 .

$$\begin{aligned}
 & P_j(\rho, t, m | r_0, t_0) \quad \text{mit der Anfangsbedingung} \\
 (\delta) \quad & P_j(\rho, t_0, m | r_0, t_0) = 0
 \end{aligned}$$

Dichte der Precursoratome der Gruppe m zur Zeit t , erzeugt durch ein Neutron der Energiegruppe j an der Stelle r_0 zur Zeit t_0 .

(3) bzw. (4) eingesetzt in (1) bzw. (2) ergibt ein System gekoppelter Funktionalgleichungen für ϕ_i^+ ($i=1, \dots, G$) und C_m^+ ($m=1, \dots, 6$) (vgl. (E₁') und (E₂') in Teil B. Insbesondere sind ϕ_i^+ und C_m^+ bis auf einen allen gemeinsamen Faktor festgelegt)

$$\begin{aligned}
 (E_1) \quad \phi_{i_0}^+(r_0, t_0) &= \sum_{j=1}^G \int_{\rho \in R} \phi_j^+(\rho, t) N(\rho, t, j | r_0, t_0, i_0) d_\rho V \\
 &+ \sum_{m=1}^6 \int_{\rho \in R} C_m^+(\rho, t) P_{i_0}(\rho, t, m | r_0, t_0) d_\rho V
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (E_2) \quad C_{m_0}^+(r_0, t_0) &= \sum_{j=1}^G \int_{\rho \in R} \phi_j^+(\rho, t) N_{m_0}(\rho, t, j | r_0, t_0) d_\rho V \\
 &+ \sum_{m=1}^6 \int_{\rho \in R} C_m^+(\rho, t) P(\rho, t, m | r_0, t_0, m_0) d_\rho V
 \end{aligned}$$

Die Einsetzung von (3) in (1) sei explizit durchgeführt:

$$\begin{aligned}
 \phi_{i_0}^+(r_0, t_0) &= \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) \left[\sum_j \int_{\rho \in R} N(r, T, i | \rho, t, j) N(\rho, t, j | r_0, t_0, i_0) d_\rho V \right] d_r V \\
 &+ \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) \left[\sum_m \int_{\rho \in R} N_m(r, T, i | \rho, t) \cdot P_{i_0}(\rho, t, m | r_0, t_0) d_\rho V \right] d_r V
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi_{i_0}^+(r_0, t_0) &= \sum_j \int_{\rho \in R} \left\{ \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) N(r, T, i | \rho, t, j) d_r V \right\} \cdot N(\rho, t, j | r_0, t_0, i_0) d_\rho V \\
 &+ \sum_m \int_{\rho \in R} \left\{ \sum_i \int_{r \in B} D_i(r) N_m(r, T, i | \rho, t) d_r V \right\} P_{i_0}(\rho, t, m | r_0, t_0) d_\rho V
 \end{aligned}$$

Die Ausdrücke in den geschweiften Klammern sind gerade

$$\phi_j^+(\rho, t) \quad \text{bzw.} \quad C_m^+(\rho, t) .$$

Völlig unabhängig von der speziellen Detektorverteilung

$D_i(r)_{i=1, \dots, G}$, die der Definition der Importanz zugrunde liegt, gilt folgender Erhaltungssatz:

E_1 : Die Importanz eines Neutrons (festgelegt durch das Tripel r_o, t_o, i_o) ist zu jedem Zeitpunkt t (mit $t_o < t < T$) verteilt auf die Nachfolgeneutronen und Nachfolgeprecursoratome mit den Dichten

$$N(r, t, i | r_o, t_o, i_o) \quad r \in R \quad i \in (1, \dots, G) \quad [\text{cm}^{-3}]$$

$$P_{i_o}(r, t, m | r_o, t_o) \quad r \in R \quad m \in (1, \dots, 6)$$

E_2 : Die Importanz eines Precursoratoms (festgelegt durch das Tripel r_o, t_o, m_o) ist zu jedem Zeitpunkt t (mit $t_o < t < T$) verteilt auf die Nachfolgeneutronen und Nachfolgeprecursoratome ("seines" verzögerten Neutrons; bis zu seinem β -Zerfall ist das Precursoratom als sein eigener Nachfolger anzusehen!) mit den Dichten:

$$N_{m_o}(r, t, i | r_o, t_o) \quad r \in R \quad i \in (1, \dots, G) \quad [\text{cm}^{-3}]$$

$$P(r, t, m | r_o, t_o, m_o) \quad r \in R \quad m \in (1, \dots, 6)$$

Man erkennt leicht, daß nur die spezielle zeitliche Struktur unserer Green'schen Funktionen auf die Formulierung des Erhaltungssatzes für die Nachfolger zu jeweils einem bestimmten Zeitpunkt t ($t_o \leq t \leq T$) führte, und daß für den Importanzbegriff nur die Erhaltung durch alle kausalen Verknüpfungen zwischen Neutronen und Nachfolgern wesentlich ist.

In einem kritischen System geht jede Anfangsverteilung von Neutronen N_{t_0} für $t > t_0 + \tau$ ($\tau \rightarrow \infty$) in den Grundmode über; nur die "asymptotische Amplitude" α (des Grundmodes $\frac{1^0}{v}$, den man sich dabei irgendwie normiert zu denken hat) ändert sich mit der jeweiligen Anfangsverteilung. Für die durch das Neutronenensemble zu (r_0, t_0, i_0) gegebene Diracverteilung $N_{t_0} = \delta(r-r_0) \cdot \delta_{ii_0}$ hat man dann $\alpha = \alpha_{i_0}(r_0)$ und

$$N(r, t, i | r_0, t_0, i_0) = \alpha_{i_0}(r_0) \cdot \frac{1^0}{v_i} \phi_i(r) \quad (i=1, \dots, 6)$$

für alle t mit $t > t_0 + \tau$ bei hinreichend großem τ^* .

Nach Gleichung (1) weiter oben mit $t = T$ bedeutet dies für die Importanz des kritischen System

$$\phi_{i_0}^+(r_0, t_0) = \alpha_{i_0}(r_0) \cdot I \quad \text{mit } I = \sum_{i \in B} \int_{r \in B} D_i(r) \frac{1^0}{v_i} \phi_i(r) \, d_r V$$

für alle t_0 mit $t_0 < T - \tau$ bei hinreichend großem τ^* .

D.h. die Importanz $\phi_{i_0}^+(r_0, t_0)$ ist im wesentlichen unabhängig von der verwendeten Detektorverteilung D durch die asymptotische Amplitude $\alpha_{i_0}(r_0)$ der Diracverteilung $\delta(r-r_0) \cdot \delta_{ii_0}$ gegeben, solange der Zeitpunkt t_0 hinreichend weit vor der Detektormessung liegt; nur der (von (r_0, t_0, i_0) unabhängige) Faktor I ändert sich mit der jeweiligen Detektorverteilung: $I = I(D)$

Erst im "transienten Intervall", $T - \tau < t_0 < T$ (die Verteilung der Nachfolger des anfänglichen (t_0) Neutronenensembles enthält zum Zeitpunkt T noch die transienten höheren Modes) verliert die Importanz des kritischen Systems dieses ungeachtet der benutzten Detektorverteilung stationäre Verhalten:

Für den Zeitpunkt T der Detektormessung gilt (vgl. (α) weiter oben) die Endbedingung $\phi_{i_0}^+(r_0, T) = D_{i_0}(r_0)$.
Stetiges Zeitverhalten von ϕ^+ vorausgesetzt, folgt somit für $t \rightarrow T$:

$$\phi_{i_0}^+(r_0, t) \rightarrow D_{i_0}(r_0)$$

* Die "hinreichende" untere Schranke für τ kann von (r_0, i_0) abhängen. Man nimmt an, daß eine für alle (r_0, i_0) gemeinsame, d.h. maximale Schranke τ_M existiert. Dieses Maximum kann von D abhängen: $\tau_M = \tau_M(D)$. Man nimmt an, daß ein für alle in Frage kommenden Detektoren gemeinsames τ existiert.

Notwendig* für Stationarität der Importanz im kritischen System auch im Vorlauf der Detektormessung ist ein nach der asymptotischen Amplitude geeichter Detektor:

$$D_i(r) = C \cdot \alpha_i(r)$$

Mit der Normierung $\sum_i \int_{r \in V} \alpha_i(r) \frac{1}{V_i} \phi_i(r) d_r V = 1$

erhält man zunächst für $t_0 < T - \tau$:

$$\phi_{i_0}^+(r_0, t_0) = \sum_i \int [C \cdot \alpha_i(r)] \left[\alpha_{i_0}(r_0) \frac{1}{V_i} \cdot \phi_i(r) \right] d_r V = C \cdot \alpha_{i_0}(r_0)$$

Für $t_0 = T$ ist natürlich die Endbedingung erfüllt:

$$\phi_{i_0}^+(r_0, T) = C \cdot \alpha_{i_0}(r_0) = \sum_i \int [C \cdot \alpha_i(r)] [\delta(r-r_0) \delta_{ii_0}] d_r V$$

Für t_0 mit $T - \tau < t_0 < T$ enthält, wie oben bemerkt, die zweite eckige Klammer die höheren Modes (mit zeitabhängigen Koeffizienten, die nun zum Zeitpunkt T noch ins Gewicht fallen).

Die Stationarität der Importanz, d.h. die Gültigkeit von $\phi_i^+(r, t) = C \cdot \alpha_i(r)$ auch in diesem transienten Intervall impliziert demnach die Orthogonalität dieser höheren Modes gegenüber der asymptotischen Amplitude α .

I.a. klingen im transienten Intervall (τ) unmittelbar vor der Detektorablesung die höheren Modes der Importanz auf, um sich zum Zeitpunkt T mit dem Grundmode zur Endbedingung zu summieren. Nur wenn die Detektorverteilung der asymptotischen Amplitude α des Systems entspricht, ist die Importanz bis zum Zeitpunkt T stationär (α als Grundmode der Importanz).

Die bekannte "adjungierte" Aussage lautet:

I.a klingen im transienten Intervall (τ) unmittelbar nach der "Zündung" des Systems die höheren Modes der Neutronendichte ab, die sich zum Zeitpunkt t_0 mit dem Grundmode ϕ zur Anfangsverteilung summieren. Nur wenn **diese selbst** schon dem Grundmode entspricht, ist die Neutronenverteilung von Anfang an stationär.

*Hiermit ist die Frage nach der Eindeutigkeit einer stationären Importanz (eines kritischen Systems) positiv beantwortet. Zur Frage nach der Existenz vgl. Anhang C.

Aus der Identität der stationären Importanz eines Neutrons der Energiegruppe i_0 an der Stelle r_0 mit dem Meßausschlag des speziell gewählten Detektors pro Neutron(enensemble) der Energiegruppe i_0 an der Stelle r_0 folgt weiter:

Dieser Meßausschlag ist stationär, also unabhängig davon, ob die Messung zur Zeit t_0 oder zu irgendeiner Zeit $T > t_0$ erfolgt: D. h. der unmittelbare Effekt (Zeitpunkt t_0) des in (r_0, i_0) konzentrierten Ensembles entspricht dem unmittelbaren Effekt der auf den Systembereich R und die Energiegruppen i verteilten Nachfolger zu irgendeinem späteren Zeitpunkt.

In einem kritischen System also kann nicht nur die Anfangsbedingung für die Neutronenflußdichte stationär gewählt werden (Grundmode), sondern auch die Endbedingung für die Neutronenimportanz (asymptotische Amplitude als Grundmode der Importanz).*

Die oben festgestellte Identität der stationären Importanz mit der nach der asymptotischen Amplitude geeichten Detektorverteilung ermöglicht eine Interpretation der exakten Störungsrechnung als formelmäßige Darstellung einer Bestimmung von $\delta(\frac{1}{k})$ durch Messungen. (Vgl. III.E: A. Exakte Störungsrechnung)

*Anmerkung

In Teil C wird gezeigt, daß die Precursorimportanz (im Multi-gruppendiffusionsmodell) in einem kritischen (allg. stationären) System völlig durch die Importanz der (verzögerten) Neutronen ersetzt werden kann. Man kann also (indem man die Importanz der Precursoratome gar nicht in Betracht zieht) die Endbedingung $C_m^+(r, T) = 0$ stationär machen, d. h. auch für $t < T$ gelten lassen. Oder man setzt

$$C_m^+(r, t) = \sum_i \chi_i^m \phi_i^+(r, t)$$

und hat dann auch eine stationäre Precursorimportanz ($\neq 0$), wenn ϕ_i^+ durch die oben diskutierte spezielle Detektorverteilung definiert wird.

Teil B

Hier soll die Diffusionsgleichung für die Neutronenimportanz abgeleitet werden. Dazu werden zunächst in BI $v\phi^+$ und der Importanzstrom J^+ als "Adjungierte" zu ϕ und dem Neutronenstrom J eingeführt. In BII werden die Randbedingungen untersucht. In BIII wird der in Anhang A aufgestellte Erhaltungssatz benutzt, um die Diffusionsgleichung selbst, die $\text{div } J^+$ enthält, zu entwickeln. (Vgl. Teil C).

$$\begin{aligned} J &= -D\nabla\phi \\ J^+ &= vD\nabla\phi^+ \end{aligned}$$

BI. Importanzströme

Im Diffusionsmodell wird zunächst eine monoenergetische Verteilung von Neutronen (der Geschwindigkeit v) in einem System mit isotroper Streuung (ohne Energieaustausch) betrachtet. Sowohl die Neutronenverteilung als auch die Neutronenimportanz sind im allgemeinen richtungsabhängig, werden im Modell jedoch nur in ihrer Orts/Zeitabhängigkeit explizit beschrieben. Die Richtungsabhängigkeit wird berücksichtigt durch die Einführung der Ströme:

1. der Nettoströme, deren Divergenz benutzt wird, um die durch den Neutronentransport bedingte zeitliche Änderung von Neutronen(fluß)dichte und Neutronenimportanz an einem Ort zu beschreiben (Kontinuitätsgleichung)
2. der "gerichteten Teilströme", die benutzt werden, um Randbedingungen für das als konvex angenommene System ohne äußere Quellen zu definieren: Der in das Innere gerichtete "Teilstrom" der Neutronen(fluß)dichte und der nach außen gerichtete "Teilstrom" der Neutronenimportanz werden auf dem Rande gleich Null gesetzt. (Diese Randbedingung wird häufig als sog. Vakuumrandbedingung bezeichnet). Im Fall der Importanz bedeutet "Quelle" nichts anderes als "Detektor" (der innerhalb des Systems liegen muß). Im folgenden werden wahlweise kartesische oder Polarkoordinaten (mit dem Ursprung in P_0) benutzt:
 $x = r \sin\theta \cdot \cos\psi \quad y = r \cdot \sin\theta \cdot \sin\psi \quad z = r \cdot \cos\theta.$
 $(\vec{r}_0$ sei Ortsvektor des Ursprungs P_0 , $\vec{r}_0 + \vec{r}$ ist dann Ortsvektor des Punktes P mit den Koordinaten x, y, z , $|\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$)

Interpretation der Neutronenflußdichte und Neutronenimportanz als Richtungsmittelwerte

Die Neutronenflußdichte wird durch eine Integralgleichung eingeführt, in der ihre Größe in (\vec{r}_0, t_0) durch die Streubeiträge ihrer Verteilung in den Orts/Zeitpunkten $(\vec{r}_0 + \vec{r}, t - r/v)$ gegeben ist (Vgl. /7/, p.190)

$$(1) \phi(\vec{r}_0, t_0) = \int_R \phi(\vec{r}_0 + \vec{r}, t - r/v) \Sigma^S(\vec{r}_0 + \vec{r}) \exp\left(-\int_0^1 \Sigma(\vec{r}_0 + \vec{r}\xi) r d\xi\right) \frac{\sin\theta d\psi d\theta}{4\pi} dr$$

\int_R symbolisiert die Integration über das Reaktorsystem.

Das "Richtungsgewicht" $\frac{\sin\theta d\psi d\theta}{4\pi}$ ist Ausdruck der Isotropie der Streuung.

$\phi(\vec{r}_0, t_0)$ wird interpretiert als totale Weglänge, die pro Zeiteinheit im Einheitsvolumen um (\vec{r}_0, t_0) von Neutronen der Geschwindigkeit v zurückgelegt wird $[cm^{-2} s^{-1}]$.

Die andere Interpretation als die Anzahl dieser Neutronen, die pro Zeiteinheit eine Flächeneinheit in (\vec{r}_0, t_0) (beidseitig) durchstoßen, ist i. a. erst nach Mittelung über die Normalrichtungen der Flächeneinheit korrekt; denn diese Anzahl ist größer oder kleiner, je nachdem Gebiete mit hoher oder geringer "rückdatierter" Neutronenflußdichte $\phi(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 - \vec{r}/v)$ um die (durch P_0 gehende) Normalrichtung (beidseitig) konzentriert sind. Bei dieser Interpretation ist also der Neutronenfluß als Mittelwert hinsichtlich der Normalrichtungen der Einheitsfläche in (\vec{r}_0, t_0) aufzufassen, während seine Richtungsabhängigkeit ihren Ausdruck im weiter unten erörterten Neutronenstrom J findet.

Auch die Importanz eines Neutrons (der Geschwindigkeit v) in (\vec{r}_0, t_0) ist größer oder kleiner, je nachdem in seiner Flugrichtung Gebiete mit hoher oder geringer "vordatierter" Importanz $\phi^+(\vec{r}_0 + \vec{r}, \vec{r}_0 + \vec{r}/v)$ liegen. Daher wird im Diffusionsmodell der Mittelwert über alle Richtungen $\vec{e}(=\vec{r}/r)$ und alle Entfernungen r , in welche Neutronen von (\vec{r}_0, t_0) aus gestreut werden, als Wert der Importanz $\phi^+(\vec{r}_0, t_0)$ genommen, während ihre Richtungsabhängig-

keit ihren Ausdruck im weiter unten erörterten Importanzstrom J^+ findet.

Unter den gleichen Bedingungen wie oben das Integral in (1) kann hier der Mittelwert leicht bestimmt werden. Wir nehmen ein monoenergetisches Ensemble von N Neutronen in (\vec{r}_0, t_0) . Von diesen werden wegen der Isotropie der Streuung

$$N_{\vec{e}}(d\psi, d\theta) = N \cdot \frac{\sin\theta d\psi d\theta}{4\pi}$$

in den Raumwinkel $\sin\theta d\psi d\theta$ gestreut (unabhängig von $\vec{e} = \vec{e}(\psi, \theta)$). Von den $N_{\vec{e}}$ Neutronen erreichen

$$N_{\vec{r}}(d\psi, d\theta) = N_{\vec{e}} \cdot \exp\left(-\int_0^1 \Sigma(\vec{r}_0 + \vec{r}\xi) r d\xi\right)$$

die Entfernung r (in der Richtung $\vec{e}(\psi, \theta) = \frac{\vec{r}}{r}$). Von den $N_{\vec{r}}$ Neutronen schließlich machen $\hat{N}_{\vec{r}}(d\psi, d\theta, dr) = N_{\vec{r}} \cdot \Sigma^S(\vec{r}_0 + \vec{r}) dr$ einen Stoß auf der Streuweglänge dr über \vec{r} hinaus und haben dann die Importanz $\phi^+(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 + r/v)$.

Als Ensemblemittel ergibt sich für $\phi^+(\vec{r}_0, t_0)$:

$$\phi^+(\vec{r}_0, t_0) = \frac{1}{N} \int_R \hat{N}_{\vec{r}}(d\psi, d\theta, dr) \quad \text{d. h.}$$

$$(2) \quad \phi^+(\vec{r}_0, t_0) = \int_R \phi^+(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 + r/v) \Sigma^S(\vec{r}_0 + \vec{r}) \cdot \exp\left(-\int_0^1 \Sigma(\vec{r}_0 + \vec{r}\xi) r d\xi\right) \frac{\sin\theta d\psi d\theta}{4\pi} dr$$

Durch Multiplikation von (2) mit der Neutronengeschwindigkeit v ergibt sich eine entsprechende Beziehung für den (ungerichteten) "Importanzfluß pro Neutron", $[\text{cm s}^{-1}]$ (Vgl./9/, p.57).

Neutronenstrom und Importanzstrom

Wenn man im Integranden der rechten Seite von (1) den Faktor $\frac{1}{4\pi}$ durch $\frac{\cos\theta}{4\pi}$ ersetzt und gleichzeitig den Integrationsbereich auf $z > 0$ ($0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$) bzw. auf $z < 0$ ($\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$) beschränkt, erhält man die "gerichteten Neutronenströme" $J_{-z}(r_0, t_0)$ bzw. $J_{+z}(r_0, t_0)$, welche

die Anzahlen der Neutronen angeben, die pro Zeiteinheit die Flächeneinheit in (\vec{r}_0, t_0) (mit der Z-Achse als Normalenrichtung) mit negativer bzw. positiver Z-Komponente der Geschwindigkeit durchstoßen. $J_z = J_{+z} - J_{-z}$ gibt den Nettostrom in +Z-Richtung. Der gerichtete Strom J_{-z} (in -Z-Richtung) ist stärker als J_{+z} (in +z-Richtung), wenn im Gebiet mit $z > 0$ gegenüber dem Gebiet mit $z < 0$ die höhere Neutronendichte vorherrscht (und umgekehrt); d. h. der Nettostrom J_z hat die Tendenz, Unterschiede der Neutronenflußdichte auszugleichen.

Für die X- und Y-Richtung lassen sich die Nettoströme $J_x = J_{+x} - J_{-x}$ und $J_y = J_{+y} - J_{-y}$ genauso herleiten und geben die X- und Y-Komponenten des Nettoneutronenstroms $J = (J_x, J_y, J_z)$.

Wenn man im Integranden der rechten Seite von (2) den Faktor $\frac{1}{4\pi}$ durch $v \cdot \frac{\cos\theta}{4\pi}$ ersetzt und gleichzeitig den Integrationsbereich auf $z > 0 (0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2})$ bzw. auf $z < 0 (\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi)$ beschränkt, erhält man die "gerichteten" Importanzströme $J_{+z}^+(\vec{r}_0, t_0)$ bzw. $J_{-z}^+(\vec{r}_0, t_0)$, welche die Importanz angeben, die ein Neutron der Geschwindigkeit \vec{v} in (\vec{r}_0, t_0) und positiver bzw. negativer Z-Komponente der Geschwindigkeit im Mittel pro Zeiteinheit eine Längeneinheit weit transportiert (in +Z-Richtung bzw. -Z-Richtung). Oder:

J_{+z}^+ bzw. J_{-z}^+ sind die Mittelwerte der Z-Komponenten der Größe $\vec{v}^+ = \vec{v} \cdot \phi^+(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 + r/v)$ ($\vec{v} = v \cdot \frac{\vec{r}}{r}$)

gemittelt über die in die Halbräume $z > 0$ bzw. $z < 0$ gerichteten Teilensembles mit jeweils $N/2$ Neutronen; $(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 + r/v)$ ist der Ortszeitpunkt der 1. Stoßreaktion des in (\vec{r}_0, t_0) zuletzt gestreuten Ensembleneutrons.

$J_z^+ = J_{+z}^+ - J_{-z}^+$ gibt den Nettoimportanzstrom in +Z-Richtung : d.h. die Importanz, die ein Neutron der Geschwindigkeit v in (r_0, t_0) unabhängig von der Z-Komponente seiner Geschwindigkeit im Mittel pro Zeiteinheit eine Längeneinheit weit in +Z-Richtung transportiert. Der gerichtete Strom J_{+z}^+ (in +Z-Richtung) ist stärker als J_{-z}^+ (in -Z-Richtung), wenn im Gebiet mit $z > 0$ gegenüber dem Gebiet $z < 0$ die höhere Neutronenimportanz vorherrscht (und umgekehrt); d.h. der Nettostrom J_z^+ hat die Tendenz, Unterschiede der Neutronenimportanz zu verstärken.

Für die X- und Y-Richtung lassen sich die Nettoströme $J_x^+ = J_{+x}^+ - J_{-x}^+$

und $J_Y^+ = J_{+Y}^+ - J_{-Y}^+$ genauso herleiten und geben die X- und Y-Komponenten des Nettoimportanzstromes $J^+ = (J_X^+, J_Y^+, J_Z^+)$.

Die aus den Gleichungen (1) und (2) für ϕ und ϕ^+ abgeleiteten Ausdrücke für die verschiedenen Neutronen- und Importanzströme gelten für monoenergetische Neutronenverteilungen mit isotroper Streuung. Um diese Ausdrücke mathematisch zu vereinfachen, werden in der Diffusionstheorie eine Reihe weiterer Annahmen gemacht (Vgl. /7/)

(a) schwache Orts- und Zeitabhängigkeit von ϕ und ϕ^+ , so daß

$$\phi(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 - r/v) = \phi(\vec{r}_0, t_0) + \nabla\phi(\vec{r}_0, t_0) \cdot \frac{\vec{r}}{v} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2\phi(\vec{r}_0, t_0)}{\partial t^2} r^2$$

$$\phi^+(\vec{r}_0 + \vec{r}, t_0 + r/v) = \phi^+(\vec{r}_0, t_0) + \nabla\phi^+(\vec{r}_0, t_0) \cdot \frac{\vec{r}}{v} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2\phi^+(\vec{r}_0, t_0)}{\partial t^2} r^2$$

gesetzt werden kann.

(b) Sehr schwache Ortsabhängigkeit von Σ und Σ^S innerhalb weniger freier Weglängen $1/\Sigma$, so daß

$$\Sigma^S(\vec{r}_0 + \vec{r}) = \Sigma^S(\vec{r}_0) \text{ und } \exp(-\int_0^1 \Sigma(\vec{r}_0 + \vec{r}\xi) r d\xi) = \exp(-\Sigma(\vec{r}_0) r)$$

gesetzt werden kann.

(c) Unendliches System, so daß die Integration über r sich vereinfacht:

$$\int_R d\psi d\theta dr \rightarrow \int_0^{2\pi} d\psi \int_{0'}^{\pi/2} d\theta \int_0^\infty dr \quad \text{bzw.} \quad \int_0^{2\pi} d\psi \int_{\pi/2}^\pi d\theta \int_0^\infty dr$$

Die Annahmen (a) implizieren schwache Absorption und Spaltquellen. Für die oben diskutierten Neutronen- und Importanzströme resultieren aus diesen Annahmen folgende Ausdrücke (die Argumente (\vec{r}_0, t_0) sind weggelassen):

$$J_{-z} = \frac{1}{4} \frac{\Sigma^S}{\Sigma} \phi + \frac{\Sigma^S}{\Sigma^2} \left\{ \frac{1}{6} \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{1}{4v} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\}$$

$$J_{+z} = \frac{1}{4} \frac{\Sigma^S}{\Sigma} \phi + \frac{\Sigma^S}{\Sigma^2} \left\{ -\frac{1}{6} \frac{\partial \phi}{\partial z} - \frac{1}{4v} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\}$$

$$J_z = J_{+z} - J_{-z} = -\frac{\Sigma^S}{3\Sigma^2} \frac{\partial \phi}{\partial z}$$

$$J = -\frac{\Sigma^S}{3\Sigma^2} \nabla \phi$$

Der Nettostrom J hat die Richtung des steilsten Abfalls von ϕ .

$$J_{+z}^+ = v \left(\frac{1}{4} \frac{\Sigma^S}{\Sigma} \phi^+ + \frac{\Sigma^S}{\Sigma^2} \left\{ \frac{1}{6} \frac{\partial \phi^+}{\partial z} + \frac{1}{4v} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\} \right)$$

$$J_{-z}^+ = v \left(\frac{1}{4} \frac{\Sigma^S}{\Sigma} \phi^+ + \frac{\Sigma^S}{\Sigma^2} \left\{ -\frac{1}{6} \frac{\partial \phi^+}{\partial z} + \frac{1}{4v} \frac{\partial \phi}{\partial t} \right\} \right)$$

$$J_z^+ = J_{+z}^+ - J_{-z}^+ = v \cdot \frac{\Sigma^S}{3\Sigma^2} \cdot \frac{\partial \phi^+}{\partial z}$$

$$J^+ = +\frac{\Sigma^S}{3\Sigma^2} \nabla \phi^+$$

Der Nettostrom J^+ hat die Richtung des steilsten Anstiegs von ϕ^+ ,
Verhält sich also wie der "Adjungierte" von J . Die Ausdrücke
lassen sich weiter vereinfachen. Wir setzen $\phi = v \cdot n$, wodurch
sich die "Antisymmetrie" von n und ϕ^+ bzw. von ϕ und $v \cdot \phi^+$ zeigt.

Wegen der schwachen Absorption ist $\Sigma \approx \Sigma^S$: $D = \frac{1}{3\Sigma}$.

Sodann soll $\left| \frac{1}{4v} \cdot \frac{\partial \phi^{(+)}}{\partial t} \right|$ gegen $\left| \frac{1}{6} \frac{\partial \phi^{(+)}}{\partial z} \right|$ vernachlässigt werden.

(Im stationären Fall hat man $\frac{\partial \phi^{(+)}}{\partial t} = 0$):

$$J_{-z} = \frac{v}{2} \left\{ \frac{n}{2} + D \cdot \frac{\partial n}{\partial z} \right\} \quad J_{+z}^+ = \frac{v}{2} \left\{ \frac{\phi^+}{2} + D \frac{\partial \phi^+}{\partial z} \right\} \quad (3)$$

$$J_{+z} = \frac{v}{2} \left\{ \frac{n}{2} - D \cdot \frac{\partial n}{\partial z} \right\} \quad J_{-z}^+ = \frac{v}{2} \left\{ \frac{\phi^+}{2} - D \frac{\partial \phi^+}{\partial z} \right\} \quad (4)$$

$$J_z = -vD \frac{\partial n}{\partial z} \quad J_z^+ = vD \frac{\partial \phi^+}{\partial z}$$

$$J = -vD \nabla n \quad J^+ = vD \nabla \phi^+ \quad (5)$$

Abschließend sei daran erinnert, daß die im unterschiedlichen Vorzeichen der Gradienten sich ausdrückende "Adjungiertheit" von n, ϕ^+ bzw. J, J^+ (5) eine einfache physikalische Grundlage hat: Die Tendenz des Nettoneutronenstromes pro Flächeneinheit J [$\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$], Unterschiede der Neutronendichte auszugleichen, ist ohne weiteres anschaulich. Wenn von der Tendenz des Nettoimportanzstroms pro Neutron gesprochen wird, Importanzunterschiede zu verstärken, so ist das nur ein umschreibender Ausdruck der einfachen Tatsache, daß von einem Paar von Neutronen - etwa aus dem repräsentativen isotropen monoenergetischen Ensemble (r_0, t_0, i_0) - dasjenige eine größere Importanz hat, welches in die Region mit der größeren Importanz fliegt (im folgenden Beispiel in die +Z-Richtung). Denkt man sich etwa die beiden Neutronen diametral in +Z- und -Z-Richtung streuend, so repräsentieren sie im Mittel einen Nettostrom von Importanz in +Z-Richtung. (Analoge Interpretationen sind z. B. in /9/ zu finden.)

BII. Randbedingungen

Die beiden Ausdrücke (3) und (4) für die "gerichteten Ströme" J_{+z}^+ und J_{-z}^+ der Importanz wurden hergeleitet unter der Voraussetzung eines unendlichen Systems.

In einem endlichen System, dessen nun zu beachtende Randfläche (die "gegenüber" liegende Randfläche sei "praktisch" unendlich weit entfernt) als äußere Normale die +-Z-Richtung haben soll, wollen wir nicht nur den Ausdruck (4) für J_{-z}^+ ("praktisch" unendlicher Halbraum für das nach innen gerichtete Teilensemble) sondern auch den Ausdruck (3) für J_{+z}^+ als Approximation des realen Mittelwertes (für das nach außen gerichtete Teilensemble) ansehen. Bei Annäherung von \vec{r}_0 an den Rand muß jedoch die reale Mittelung i.a. eine immer stärkere Abweichung gegenüber (3) ergeben; denn immer mehr Neutronen (des nach außen gerichteten Teilensembles) werden ohne Stoß das System verlassen: $\vec{r}(\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r})$ und damit $\vec{v}^+ = \vec{v} \cdot (\phi^+(\vec{r}_0, t_0) + \vec{r} \cdot \nabla \phi^+(\vec{r}_0, t_0))$ sind für sie nicht definiert. Vielmehr muß für sie $\vec{v}^+ = 0$ gesetzt werden; denn ein Neutron verliert seine Importanz, sowie es das (konvexe!) System verläßt. Ist etwa d der Abstand des Ensemblepunktes r_0 vom Rande, so ist der Anteil unter den Neutronen mit festem Richtungswinkel θ (gegen die äußere Normale) die einen Stoß im System machen, gegeben durch:

$$q(\theta) = 1 - e^{-\frac{\Sigma^s d}{\cos \theta}}$$

Dieser Anteil (der bei festem d für $\theta = 0$ natürlich am kleinsten ist) geht mit d gegen 0. Für $d \gg \frac{1}{\Sigma^s}$ ist unabhängig von θ , $q \approx 1$ (nahe 1), der Ausdruck (3) gibt also hier eine gute, für den randnahen ($d \rightarrow 0$) Bereich eine mehr und mehr unsichere Beschreibung der realen Verhältnisse (von J_{+z}^+). Auch für den Rand selbst wird an dem Ausdruck (3) für J_{+z}^+ festgehalten. D.h. es wird nun als Randbedingung für "freie Oberflächen" folgende Beziehung postuliert:

$$J_{+z}^+ = \frac{v}{2} \left(\frac{\phi^+}{2} + D \frac{\partial \phi^+}{\partial z} \right) = 0 \quad \text{Oder : } \phi^+ + 2D \frac{\partial \phi^+}{\partial z} = 0$$

Mit \vec{n} als äußerer Normalen hat man allgemeiner für die Importanz als Randbedingung auf "freien Oberflächen":

$$\phi^+ + \vec{n} \cdot 2D\nabla\phi^+ = 0$$

Was man oft schreibt als

$$\phi^+ + 2D \frac{\partial\phi^+}{\partial n} = 0$$

Neben den Bedingungen

$$\phi^+ = 0 \quad (\alpha = 0)$$

und $\frac{\partial\phi^+}{\partial n} = 0 \quad (\alpha = \infty)$

ist das ein weiterer Spezialfall für die allgemeine Randbedingung:

$$\phi^+ + \alpha D \frac{\partial\phi^+}{\partial n} = 0 \quad (\alpha = 2)$$

(Häufig wird im Diffusionsprogramm als sog. "Diffusionsrandbedingung" oder "logarithmische Randbedingung" der Wert $\alpha = 2.13 = 3 \cdot 0.71$ benutzt, wobei der Zahlenwert 0.71 aus einem Spezialfall des Halbraum (MILNE)-Problems abgeleitet wird.)

Haben wir statt des äußeren Randes einen inneren zwischen 2 Medien M1 und M2 mit den Diffusionskonstanten D^1 und D^2 , wobei die +z-Richtung äußere Normale für M1 sein soll, dann nehmen wir 2 Ensembles: eines an der Stelle r_1 auf der Ebene E_1 in M_1 (vgl. Abb. 1) eines an der Stelle r_2 auf der Ebene E_2 in M_2 . Die Aufteilung der beiden Ensembles in je zwei Teilensembles geschieht wieder nach dem Vorzeichen der z-Komponenten der Vektoren \vec{r}_i ($i=1,2$). I.a. unterscheiden sich die Mittelwerte je zweier entsprechender Teilensembles wegen der Ortsabhängigkeit von ϕ_i^+ schon bei $M_1 = M_2$. Die Abb.1 zeigt, daß bei $M_1 \neq M_2$ eine Verzerrung der Verteilungen beider Ensembles dazukommt.

Beide Effekte verschwinden jedoch wenn $\vec{r}_i \rightarrow \vec{r}_0$ ($i=1,2$) gehen.

D.h. beim Übergang nach \vec{r}_0 fallen beide Ausdrücke für J_{+z}^+ zusammen:

$$J_{+z}^+(\vec{r}_0, t_0) = \frac{v}{2} \left(\frac{\phi^+(\vec{r}_0, t_0)}{2} + D^{(m)} \frac{\partial\phi^+}{\partial z}(\vec{r}_0, t_0)^{(m)} \right)$$

m symbolisiert das Medium und die entsprechende einseitige Ableitung in (\vec{r}_0, t_0) .

Für J_{+z}^- erhalten wir das entsprechende Ergebnis.

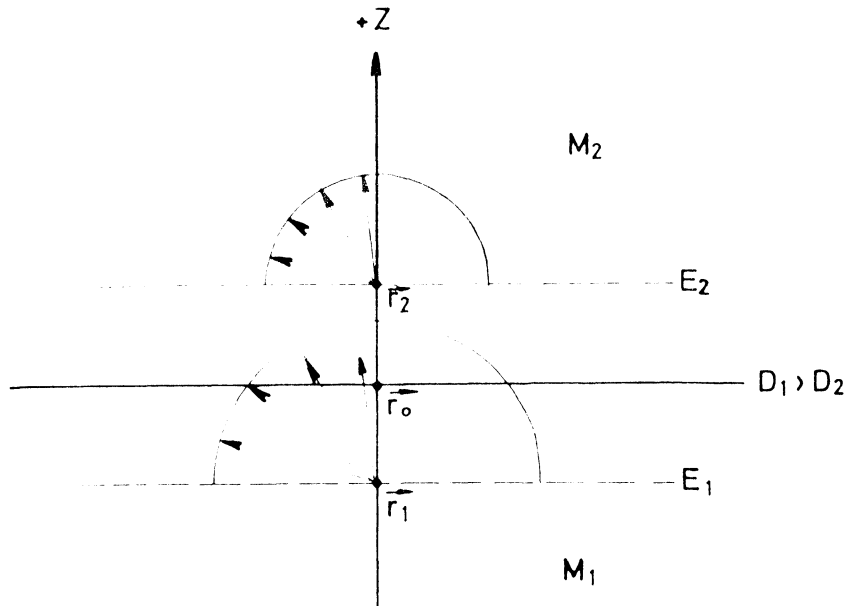
Liegt also \vec{r}_0 im Inneren des Systems, ganz gleich ob auf der Grenzfläche zweier Medien oder nicht, jedoch weit vom äußeren Rande entfernt, erhält man aus der Differenz von (1) und (2), gleichzeitig auch für die X- und Y-Komponenten durchgeführt, den Nettoimportanzstrom J^+

$$J^+(r_0, t_0) = vD\nabla\phi^+(r_0, t_0) \quad [\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}]$$

Die Unstetigkeit von $\nabla\phi^+$ an inneren Grenzflächen wird durch den Sprung von D kompensiert. Es ist dann gleich für welches Medium wir D und den (einseitigen) Gradienten wählen.

Die hier festgestellte Stetigkeit von J_i^+ gibt uns nachträglich die Berechtigung, J^+ einen Importanzstrom zu nennen.

Abb. 1



Die Pfeile zeigen auf die Stellen $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}$, wo die durch die Pfeilrichtung repräsentierten Neutronen im Mittel ihre Stoßreaktion haben. Wegen der Isotropie und Homogenität von M2 sind die mittleren Transportwege der Neutronen des Teilensembles in \vec{r}_2 alle gleich.

Die mittleren Transportwege des Ensembles in \vec{r}_1 hängen von der Richtung ab.

BIII: Die Ableitung der Diffusionsgleichung für die Importanz im Multigruppenmodell

Im Diffusionsmodell hat der Neutronentransport für die Neutronenimportanz folgende Konsequenz (vgl. Anhang BI).

Pro Neutron der Energiegruppe i (monoenergetische Neutronen mit der Geschwindigkeit v_i) in (\vec{r}_0, t_0) fließt Importanz vom Betrag $|J_i^+(\vec{r}_0, t_0)|$ in der Zeiteinheit eine Längeneinheit weit in Richtung des steilsten örtlichen Anstiegs der Importanz.

Die Quellstärke q_i dieses Importanzstroms pro Neutron ist durch seine Divergenz gegeben: $q_i = \nabla v_i D_i \nabla \phi_i^+ = v_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+$

(Die auf die Volumeneinheit bezogene Quellstärke Q_i ergibt sich dann durch Multiplikation mit der Neutronendichte n_i :

$$Q_i = n_i \cdot q_i = (n_i \cdot v_i \cdot \nabla D_i \nabla \phi_i^+ = \phi_i \cdot \nabla D_i \nabla \phi_i^+)$$

Der Erhaltungssatz für die Neutronenimportanz wird auf das "Neutron" (r_0, t_0, i_0) und seine unmittelbaren Nachfolger (Vgl. Teil A) innerhalb $t_0, t_0 + \Delta t$ angewendet.

In einem ersten Schritt nehmen wir an, daß das Neutron (in dieser Zeit) außer der unvermeidlichen Diffusion keinem weiteren Prozess unterliegt. Nach Δt Zeiteinheiten, d.h. nach Zurücklegen des Weges $\Delta t \cdot v_i$, ist der Importanzbetrag $\Delta t \cdot q_i$ auf den Nachfolger übergegangen. Wir interpretieren: Dieser Betrag, der nur aus dem Originalbetrag $\phi_i^+(\vec{r}_0, t_0)$ entnommen ("geschöpft") sein kann, hängt nur von der Distanz $\Delta t \cdot v$ und der lokalen Struktur von ϕ_i^+ ab, ist also allein durch die Lageänderung des Neutrons bestimmt. Der Differenzbetrag $\phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) - \Delta t v_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+$, den der Nachfolger nach dem Erhaltungssatz zusätzlich erhalten muß, ist dann allein durch die Zeitdifferenz Δt bestimmt und sollte nur von Δt und der zeitlichen Struktur von ϕ_i^+ abhängen. Es liegt nahe, hierfür zu setzen:

$$\phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) - \Delta t v_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) = \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t)$$

Dies bedeutet: im Diffusionsmodell wird die Auswirkung des Transportprozesses auf die Importanz eines Neutrons beschrieben, indem sie zerlegt wird in die einer virtuellen (instantanen) Verrückung und die einer (ortsfesten) Zeitverschiebung.

Durch Grenzübergang $\Delta t \rightarrow 0$ erhalten wir den "Kontinuitätssatz":

$$(1) - \frac{1}{v_i} \frac{\partial \phi_i^+}{\partial t} = \nabla D_i \nabla \phi_i^+$$

In Analogie dazu gilt für die Neutronenflußdichte:

$$(1') \frac{1}{v_i} \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \nabla D_i \nabla \phi_i$$

Aus (1) und (1') folgt außerdem für den reinen Neutronentransport im monoenergetischen Diffusionsmodell:

$$(2) \frac{\partial}{\partial t} \left(\phi^+ \frac{1}{v} \phi \right) = \phi^+ \cdot \nabla D \nabla \phi - \phi \cdot \nabla D \nabla \phi^+$$

Die zeitliche Änderung der Importanz im Einheitsvolumen* ist die Differenz zwischen dem Produkt der Importanz pro Neutron mit der Zahl der pro Zeiteinheit einströmenden Neutronen ("Transportquelle") und der "Importanzquelle pro Volumeneinheit" $Q = \phi \nabla D \nabla \phi^+$.

Bei Stationarität muß überall dort ein relatives Maximum (Minimum) der Importanz liegen (oder $\phi^+ = 0$ sein), wo auch ein relatives Maximum (Minimum) des Neutronenflusses vorliegt (oder $\phi = 0$ ist).

In einem zweiten Schritt werden jetzt die zunächst gemachten Annahmen fehlender Absorption und Ausstreuung in Gruppen $j > i$ (sowie fehlender Produktion von Spaltneutronen) aufgegeben. Die

* $\phi^+ \frac{1}{v} \phi = \left[\frac{\text{Importanz}}{\text{cm}^3} \right]$

Nachfolger zur Zeit $t_0 + \Delta t$ entstammen also nun nicht mehr allein dem Transportprozess; d.h. an den Orten $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}$ finden nun gruppeninterne Stöße, Absorptions- oder Ausstreureaktionen statt.

Wenn ein Neutron des Ensembles den Ort $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}$ erreicht und dort Nachfolger erzeugt wie prompte Neutronen, Precursoratome oder Streuneutronen in Gruppen $j \geq i$ so trägt es in allen Fällen in gleicher Weise zu dem oben abgeleiteten Importanzstrom bei.

Denn auch die Nachfolger zur Zeit $t_0 + \Delta t$, welche den neu zugelassenen Prozessen entstammen, bringen eine Verrückung um $\Delta t \cdot v_i$ Längeneinheiten gegenüber dem Originalneutron des Ensembles mit, d.h. auch auf sie wird der zu dieser Verrückung gehörige (mittlere) Importanzbetrag $\Delta t \cdot v_i \cdot \nabla D_i \nabla \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0)$ vom Originalneutron verteilt.

Nur die Capture-Neutronen können nicht zum Importanzstrom beitragen, d.h. es muß an dieser Stelle erneut auf die Forderung geringer Absorption- hier speziell geringer Capture-Absorption - Bezug genommen werden, ebenso wie auf die Vernachlässigbarkeit von Leckageprozessen:

N_i soll nun die Anzahl der Neutronen des Ensembles (r_0, t_0, i) bedeuten,

$A_i(\Delta t) (= \sum A_{ij}(\Delta t))$, $F_i(\Delta t)$, $C_i(\Delta t)$, $L_i(\Delta t)$ die Anzahlen der Teilmengen, die im Intervall $(t_0, t_0 + \Delta t)$ den

Ausstreu-, Spalt-, Capture-, Leckageprozessen unterliegen.

μ_{ij} , $j > i$ sei die mittlere Anzahl von Streuneutronen in Gruppe j pro Streureaktion $i \rightarrow j$

Der Erhaltungssatz, der ohne Berücksichtigung dieser Prozesse für die N_i -Neutronen lautet

$$N_i \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) = N_i \cdot (\Delta t \cdot v_i) \cdot (\nabla D_i \nabla \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0)) + N_i \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t),$$

kann bei deren Berücksichtigung mit den Größen A_i etc folgendermaßen formuliert werden.

$$\begin{aligned} N_i \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) &= (N_i - (C_i + L_i)) \cdot (\Delta t v_i) \cdot (\nabla D_i \nabla \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0)) \\ &+ (N_i - (A_i + F_i + C_i + L_i)) \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \\ &+ \sum_{j > i} A_{ij} \mu_{ij} \cdot \phi_j^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \\ &+ \sum_j F_i \cdot v_i \beta^0 \chi_j^0 \cdot \phi_j^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \\ &+ \sum_{m=1}^6 F_i \cdot v_i \beta^m \cdot C_m^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \end{aligned}$$

Division durch N_i führt zu einem Ausdruck des Erhaltungssatzes mit relativen Häufigkeiten der Neutronen des Ensembles.

Wenn wir also, wie oben erwähnt, $C_i + L_i$ gegen N_i und L_i gegen $A_i + F_i + C_i$ vernachlässigen, dann geht der Ausdruck unter Verwendung wohlbekannter makroskopischer Wirkungsquerschnitte für die Neutronenprozesse über in (E_1') .

$$\text{(Z.B. } \frac{A_i + F_i + C_i}{N_i} = (\Delta t \cdot v_i) \Sigma_i^r \text{ oder } \frac{A_{ij}}{N_i} \mu_{ij} = (\Delta t v_i) \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}})$$

$$(E_1') \quad \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0) = (\Delta t \cdot v_i) \cdot (\nabla D_i \nabla \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0)) \quad (1)$$

$$+ (1 - (\Delta t \cdot v_i) \Sigma_i^r) \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \quad (2)$$

$$+ \sum_{j > i} (\Delta t \cdot v_i) \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} \cdot \phi_j^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \quad (3)$$

$$+ \sum_j (\Delta t \cdot v_i) v \Sigma_i^f \cdot \beta^0 \chi_j^0 \phi_j^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \quad (4)$$

$$+ \sum_m (\Delta t \cdot v_i) v \Sigma_i^f \cdot \beta^m C_m^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) \quad (5)$$

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Importanz der Nachfolger zur Zeit $t_0 + \Delta t$ an der Stelle \vec{r}_0 zu nehmen ist. (Terme 2 bis 5 auf der rechten Seite von (E_1')), nachdem der "Strömungseffekt" (Verrückung um $\Delta t \cdot v_i$ Längeneinheiten) schon im Term 1 berücksichtigt worden ist. Der Grenzübergang für $\Delta t \rightarrow 0$ in (E_1') ergibt die Gleichung (ϕ^+) in Teil C.

Für die Precursoratome wird ein Transportprozess nicht in Betracht gezogen. (Das bedeutet, daß keine Brennstoffbewegung (z.B. bei Schmelzprozessen) und kein Diffusionsprozess (z.B. bei Thermomodifikation oder durch Verdampfung) sowie kein Transport von gasförmigen Precursoratomen betrachtet wird).

Für die Precursoratome am Ort \vec{r}_0 zur Zeit t_0 ergibt also der Erhaltungssatz:

$$(E_2') C_m^+(\vec{r}_0, t_0) = (1 - \Delta t \cdot \lambda^m) C_m^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t) + \Delta t \lambda^m \sum_i \chi_i^m \cdot \phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t)$$

Von dem Ensemble von Precursoratomen ist nach der Zeit Δt der Anteil $1 - \Delta t \cdot \lambda^m$ noch nicht zerfallen und hat nun die Importance $C_m^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t)$. Die beim β -Zerfall des komplementären Anteils $\Delta t \lambda^m$ in der Zeit Δt entstehenden verzögerten Neutronen verteilen sich gemäß χ_i^m auf die Energiegruppen i , wo sie jeweils die Neutronenimportance $\phi_i^+(\vec{r}_0, t_0 + \Delta t)$ haben.

Der Grenzübergang für $\Delta t \rightarrow 0$ in (E_2') ergibt die Gleichung (C^+) in Teil C.

Anhang C :

Die Differentialgleichungen der Diffusionstheorie für die Neutronenflußdichte $\phi = (v n)$ und Neutronenimportanz ϕ^+

Im Diffusionsmodell wird die Richtungsabhängigkeit der Neutronendichte und Neutronenimportanz nicht explizit durch eine "Richtungsvariable" (Transportmodell), sondern mit Hilfe der beiden Nettoströme J, J^+ (Vgl. B) beschrieben, die im wesentlichen durch die Gradienten von Neutronendichte und -Importanz gegeben sind:

$$\begin{aligned} \text{(Fick'sches Gesetz): } J_i &= -v_i D_i \nabla n_i = -D_i \nabla \phi_i && / \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} / \\ J_i^+ &= v_i D_i \nabla \phi_i^+ && / \text{s}^{-1} / \end{aligned}$$

Die zeitliche Veränderung der Neutronendichte bzw. Neutronenimportanz auf Grund des Transportprozesses (Diffusion der Neutronen) wird dann durch die Divergenzen der beiden Ströme J bzw. J^+ gegeben.

(Zunahme bei $\nabla D_i \nabla \phi_i > 0$ bzw. Abnahme bei $\nabla D_i \nabla \phi_i^+ > 0$)

Die Modellvoraussetzungen bei der Herleitung des Neutronenstromes und Importanzstromes sind (vgl. Teil B):

- Isotropie der Streuung ohne Energieaustausch mit dem Medium
- schwache Zeit- und Ortsabhängigkeit der monoenergetischen* Verteilungen n_i ($i=1, \dots, G$)
- ein unendliches System mit schwacher Absorption

Für reale (endliche) Systeme gibt die Diffusionstheorie, besonders in der Nähe der Ränder und Absorber, ein ungenaues Modell ab.

Die Gleichungen für die Neutronenfluß- und Precursordichten lauten: (vgl. Teil D, Legende)

* n_i ist die Verteilung über \vec{r} und Ω der monoenergetischen Neutronen mit der Geschwindigkeit v_i .

Für $i=1, \dots, G$

$$(\phi) \quad \frac{1}{v_i} \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \nabla D_i \nabla \phi_i - \sum_i^r \phi_i + \sum_{i>j}^{\text{tot}} \phi_j + \chi_i^{\text{O}\beta\text{O}} \sum_j^{\text{v}\Sigma_j^f} \phi_j + \sum_{m=1}^6 \chi_i^m \lambda^m C_m$$

Für $m=1, \dots, 6$

$$(C) \quad \frac{1}{\lambda^m} \frac{\partial C_m}{\partial t} = \frac{\beta^m}{\lambda^m} \sum_j^{\text{v}\Sigma_j^f} \phi_j - C_m$$

Stationarität hat insbesondere zur Folge $\frac{\partial C_m}{\partial t} = 0$, so daß C_m in Gleichung (ϕ) eliminiert werden kann:

$$\lambda^m C_m = \beta^m \sum_j^{\text{v}\Sigma_j^f} \phi_j.$$

Sie wird erreicht durch den Eigenwert $\frac{1}{k}$ (mit $v \rightarrow \frac{v}{k}$ in (ϕ) und (C)).

Für $i=1, \dots, G$ hat man die stationären Gleichungen:

$$(\phi_S) \quad -\nabla D_i \nabla \phi_i + \sum_i^r \phi_i - \sum_{i>j}^{\text{tot}} \phi_j = \chi_i \sum_j^{\frac{\text{v}\Sigma_j^f}{k}} \phi_j$$

$$\chi_i = \sum_{m=0}^6 \beta^m \chi_i^m \quad \text{ist das gemittelte Spaltspektrum und}$$

$m=0$ bezieht sich auf die prompten Spaltneutronen (vgl. (ϕ_S^+)).

Und die stationären Randbedingungen:

$$\phi_i + \alpha D_i \frac{\partial \phi_i}{\partial m} = 0 \quad (\alpha=0, \omega, \frac{1}{2} \text{ etc. vgl. } (\phi_S^+)).$$

Für $m=1, \dots, 6$:

$$(C_S) \quad \lambda^m C_m = \beta^m \sum_j^{\frac{\text{v}\Sigma_j^f}{k}} \phi_j$$

Die Multiplikationskonstante k kann dabei folgendermaßen definiert werden: (unabhängig von i und m)

$$k = \frac{\chi_i \sum_j^{\text{v}\Sigma_j^f} \phi_j}{-\nabla D_i \nabla \phi_i + \sum_i^r \phi_i - \sum_{i>j}^{\text{tot}} \phi_j} = \frac{\beta^m \sum_j^{\text{v}\Sigma_j^f} \phi_j}{\lambda^m C_m} \quad \left(\begin{array}{l} i=1, \dots, G \\ m=1, \dots, 6 \end{array} \right)$$

(Für $i=1$ ist die Summe $\sum_{i>j}$ leer).

Im Teil B wird unter Anwendung des Erhaltungssatzes (vgl. Teil A) das entsprechende System von Gleichungen für die Neutronen- und die Precursorimportanz aufgestellt:

Für $i=1, \dots, G$

$$(\phi^+) - \frac{1}{v_i} \frac{\partial \phi_i^+}{\partial t} = \nabla D_i \nabla \phi_i^+ - \phi_i^+ \sum_{i'}^r + \sum_{j>i} \phi_j^+ \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} + \left(\sum_j \phi_j^+ \chi_j^0 \beta^0 + \sum_{m=1}^6 C_m^+ \beta^m \right) v \Sigma_i^f$$

Für $m=1, \dots, 6$

$$(C^+) - \frac{1}{\lambda^m} \frac{\partial C_m^+}{\partial t} = \sum_j \phi_j^+ \chi_j^m - C_m^+$$

Stationarität hat insbesondere zur Folge $\frac{\partial C_m^+}{\partial t} = 0$, so daß C_m^+ in Gleichung (ϕ^+) eliminiert werden kann:

$$(C_s^+) \quad C_m^+ = \sum_j \phi_j^+ \chi_j^m.$$

Sie wird erreicht durch den Eigenwert $\frac{1}{k^+}$ (mit $v \rightarrow \frac{v}{k^+}$ in (ϕ^+))

Für $i=1, \dots, G$ hat man die stationären Gleichungen:

$$(\phi_s^+) - \nabla D_i \nabla \phi_i^+ + \phi_i^+ \sum_{i'}^r - \sum_{j>i} \phi_j^+ \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}} = \left(\sum_j \phi_j^+ \chi_j \right) \frac{v \Sigma_i^f}{k^+}$$

$\chi_j = \sum_{m=0}^6 \beta^m \chi_j^m$ ist das gemittelte Spaltspektrum und

$m=0$ bezieht sich auf die prompten Spaltneutronen (vgl. (ϕ_s)).

Und die stationären Randbedingungen:

$$\phi_i^+ + \alpha D_i \frac{\partial \phi_i^+}{\partial n} = 0 \quad (\alpha=0, \infty, \frac{1}{2} \text{ etc. vgl. Teil B, II}).$$

Die Multiplikationskonstante k^+ kann dabei folgendermaßen definiert werden (unabhängig von i):

$$k^+ = \frac{\left(\sum_j \phi_j^+ \chi_j \right) v \Sigma_i^f}{-\nabla D_i \nabla \phi_i^+ + \phi_i^+ \sum_{i'}^r - \sum_{j>i} \phi_j^+ \Sigma_{j \leftarrow i}^{\text{tot}}} \quad (i=1, \dots, G)$$

(Für $i=G$ ist die Summe $\sum_{j>i}$ leer)

k bzw. k^+ ist definitionsgemäß eine gruppen- und ortsunabhängige Größe. Durch Ungenauigkeiten bei der numerischen Lösung der Multigruppen-Diffusionsgleichung ist diese Unabhängigkeit nur näherungsweise erfüllt. Werden Zähler und Nenner der unter (ϕ_s) und (ϕ_s^+) stehenden Gleichungen für k und k^+ über die Energiegruppen summiert, so ergeben sich sog. lokale k -Werte, die dazu benutzt werden können, die Ungenauigkeiten der berechneten Multiplikationskonstante des Reaktors abzuschätzen. Diese globale Multiplikationskonstante wird in einigen Diffusionscodes aus den Bilanzen gemäß den angegebenen Gleichungen bestimmt, indem Zähler und Nenner über die Gruppen summiert und über den gesamten Reaktorbereich integriert werden:

k beschreibt somit das Verhältnis zwischen der gesamten Neutronen (Importanz)-Produktion durch Spaltung und den gesamten Neutronen (Importanz)-Verlusten:

In den Gleichungen (ϕ_s) und (ϕ_s^+) steht links der "Verlust" v und v^+ rechts die "Produktion" P und P^+ . (Der Effekt des Neutronentransports im Diffusionsmodell wird zum Verlust gerechnet, doch er kann sich bei negativem Vorzeichen auch "produktiv" auswirken.) Im Multigruppenmodell kommt dann zum Absorptions- und Leckageverlust die energetische Ausstreuung hinzu.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Precursoratome in den stationären Gleichungen keine Rolle spielen, daß also insbesondere hinsichtlich der Importanz ein Precursoratom mit "seinem" verzögerten Neutron zu identifizieren ist, und schließlich, daß die stationären Lösungen ϕ und ϕ^+ nur bis auf je einen konstanten Faktor bestimmt sind (wegen der Homogenität der Gleichungen (ϕ_s) , (ϕ_s^+) und der Randbedingungen).

Die Multiplikationsfaktoren k und k^+ sind gleich, da die Matrizen und die Randbedingungen der beiden stationären Gleichungen für ϕ und ϕ^+ zueinander adjungiert sind (ebenfalls abgesehen von num. Ungenauigkeiten). Die Identität von k und k^+ ist aber auch aus der Interpretation der adjungierten Lösung als Importanz leicht ersichtlich (Teil A und B): Die zeitliche Ableitung der Importanz ist negativ, positiv oder 0, je nachdem das System überkritisch, unterkritisch oder kritisch ist. In einem überkritischen System etwa hat das frühere von zwei Neutronen am (gleichen) Ort r_0 die längere Zeit (bis zum Zeitpunkt T der Detektormessung) sich zu "multiplizieren". Sein Effekt auf den Detektor

wird also größer als der des späteren Neutrons, d.h. die Wichtigkeit am Ort r_0 sinkt mit zunehmender Zeit. Im unterkritischen System gilt das Umgekehrte.

Daraus folgt auch für die zeitabhängige Wichtigkeitgleichung: Wichtigkeit ist durch $\frac{\partial \phi^+}{\partial t} = 0$, d.h. Stationarität, gekennzeichnet.

Stationarität wird jedoch durch v/k in der Gleichung (ϕ_s) erreicht: Das System wäre kritisch wenn v/k -Neutronen pro Spaltung erzeugt würden. Mit dem gleichen v/k muß also auch die Stationarität der Gleichung (ϕ_s^+) erzielt werden. Also $k^+ = k$.

Zuletzt soll der Erhaltungssatz für die integrierte Wichtigkeit (aller Neutronen) des Systems an den zeitabhängigen Gleichungen des Systems verifiziert werden. (Er folgt unmittelbar aus dem "individuellen" Erhaltungssatz).

Aus (ϕ) und (ϕ^+) sowie (C) und (C^+) folgt durch einfache Rechnung:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_i \phi_i^+ \frac{1}{v_i} \phi_i \right) = \sum_i (\phi_i^+ \nabla D_i \nabla \phi_i - \phi_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+) + \sum_{m=1}^6 \sum_i \phi_i^+ \chi_i^m \lambda^m C_m - \left(\sum_{m=1}^6 \beta^m C_m^+ \right) \left(\sum_i v \Sigma_i^f \phi_i \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{m=1}^6 C_m^+ C_m = \left(\sum_{m=1}^6 \beta^m C_m^+ \right) \left(\sum_i v \Sigma_i^f \phi_i \right) - \sum_{m=1}^6 \sum_i \phi_i^+ \chi_i^m \lambda^m C_m$$

Die Addition der beiden Gleichungen ergibt:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_i \phi_i^+ \frac{1}{v_i} \phi_i + \sum_{m=1}^6 C_m^+ C_m \right) = \sum_i (\phi_i^+ \nabla D_i \nabla \phi_i - \phi_i \nabla D_i \nabla \phi_i^+)$$

Dieses Zwischenergebnis läßt sich so formulieren (Vgl. Teil B.III(2)):

Die zeitliche Änderung der Gesamt Wichtigkeit der Neutronen und Precursoratome (aller Energie- und Precursorgruppen) im Einheitsvolumen ist allein durch die (lokale) Bilanz beim Neutronentransport bestimmt.

Integration über das Systemvolumen bestätigt den integralen Erhaltungssatz für die Gesamtimportanz: Das auf der rechten Seite auftretende Integral kann nach dem Gauss'schen Integralsatz in ein Oberflächenintegral umgewandelt werden, dessen Integrand wegen der Randbedingungen für ϕ und ϕ^+ verschwindet. (Vgl. das Vorgehen bei der exakten Störungsrechnung).

Bei Erhaltung der gesamten Systemimportanz können allerdings die Beiträge für die Neutronen- und Precursorpopulationen im Lauf der Zeit schwanken.

Für ein stationäres System dagegen folgt:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int \sum_m C_m^+ C_m dv = \frac{\partial}{\partial t} \int \sum_i \phi_i^+ \frac{1}{v_i} \phi_i dv = 0$$

Oder:

$$\int \sum_i \phi_i^+ \sum_m \chi_i^m \lambda^m C_m dv = \int \sum_m C_m^+ \beta^m \left(\sum_i v \Sigma_i^f \phi_i \right) dv$$

D.h. integral findet kein Nettotransfer von Importanz zwischen den beiden Populationen statt. Aus den Gleichungen (C_S^+) , (C_S) folgt jedoch die viel weitergehende Aussage:

$$C_m^+ \beta^m \sum_i \frac{v \Sigma_i^f}{k} \phi_i = \lambda^m C_m \sum_i \chi_i^m \phi_i$$

In jedem Zeitpunkt entsteht an jeder Stelle des stationären Systems pro Zeiteinheit und Volumeneinheit genauso viel Importanz von Atomen der Precursorgruppe m wie Importanz von verzögerten Neutronen in der Precursorgruppe m.

Die Precursoratome des stationären Systems können also bezüglich ihrer Importanz mit "ihren" verzögerten Neutronen identifiziert werden (Vgl. Anhang A).

Teil D Legende

Bezeichnungsweise der in den Multigruppendiffusionsrechnungen verwendeten Größen und Symbole:

ε, \subset	$a \in A \subset B$: a ist Element der Menge A, A ist Teilmenge von B	
$\{$	Summenzeichen	
i, j	Energiegruppenindex, steigt mit fallener Energie Minimal/Maximalindex (1/G) meist unterdrückt	
m	Precursorgruppenindex ($1 \leq m \leq 6$)	
∇	Nabla-Operator (grad)	/cm ⁻¹ /
v_i	Neutronengeschwindigkeit	/cm s ⁻¹ /
D_i	Diffusionskonstante	/cm/
\sum_i^r	makrosk. Wirkungsquerschnitt für Removal	/cm ⁻¹ /
$\sum_{j \neq i}^{\text{tot}}$	makrosk. Wirkungsquerschnitte für Streuneutronenproduktion (einschließlich (n,2n)-Reaktionen)	/cm ⁻¹ /
$\nu \sum_i^f$	makrosk. Wirkungsquerschnitt für Spaltneutronenproduktion	/cm ⁻¹ /
χ^0	Spektrum der prompten Spaltneutronen	
χ^m	Spektrum der verzögerten Spaltneutronen der Precursorgruppe m Alle Spektren sind vorausgesetzt als unabhängig - vom (Kern des)gespaltenen Isotop(s) - von der Energie des spaltenden Neutrons	
β^0	Anteil der prompten Neutronen	
β^m	Anteil der verzögerten Neutronen der Precursorgruppe m Es gilt: $\beta^0 = 1 - \sum_{m=1}^6 \beta^m$	
χ	Spektrum der Spaltneutronen im stationären Fall Es gilt: $\chi = \sum_{m=0}^6 \beta^m \chi^m$	
*	Im Bericht wird wahlweise von "Precursorgruppen", "verzögerten Gruppen" oder "Gruppen verzögerter Neutronen" gesprochen.	

n	Neutronendichte	$/\text{cm}^{-3}/$
ϕ	Neutronenflußdichte ($\phi = v \cdot n$)*	$/\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}/$
ϕ^+	Neutronenimportanz. Dimension kann gewählt werden. (vgl. Anhang Teil A)	
C_m	Dichte der Precursoratome der Precursorgruppe m	$/\text{cm}^{-3}/$
C_m^+	Importanz eines Precursoratoms der Precursorgruppe m	
λ^m	Gruppenmittel der Zeitkonstante des β -Zerfalls für die Precursorgruppe m	$/\text{s}^{-1}/$

* Im Bericht wird wahlweise von Neutronenflußdichte oder Neutronenfluß gesprochen
Unter Neutronenstromdichte wird die Größe $J = -D \cdot \text{grad } \phi$ verstanden.

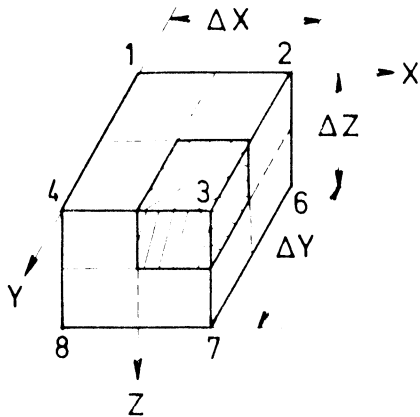
Anhang E . Formeln

1. Integration in AUDI3

Das Volumen des Systems wird durch die Netzflächen des "mesh-edged" Punktgitters in "Elementarvolumen" aufgeteilt , d.h. ein Elementarvolumen ist einer Masche zugeordnet.

Die Volumina bzw. Oberflächen der Integrationen in AUDI3 (vgl. III.A. III.B) setzten sich also aus solchen Elementarvolumina bzw. aus Randflächen solcher Elementarvolumina zusammen.

XYZ-Geometrie:



Das Elementarvolumen zerfällt in 8 Volumenelemente mit jeweils 3 (äußeren) Flächenelementen (schraffiert für Punkt 3) Diese sind den Gitterpunkten 1 bis 8 zugeordnet, für welche die Integranden definiert sind.

Die Volumenelemente sind für alle Punkte gleich:

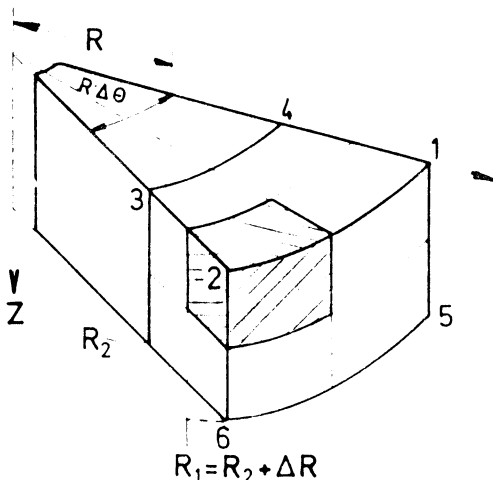
$$\Delta V = \frac{1}{8} \Delta X \cdot \Delta Y \cdot \Delta Z$$

Auch die Tripel von Flächenelementen sind für alle 8 Punkte gleich.

Die Elemente dieser Tripel jedoch unterscheiden sich nach den Normalflächen in X/Y/Z-Richtung (für alle Punkte in gleicher Weise)

$$\Delta F = \frac{1}{4} \Delta Y \cdot \Delta Z / \frac{1}{4} \Delta Z \cdot \Delta Z \cdot \Delta X / \frac{1}{4} \Delta X \cdot \Delta Y$$

ϕRZ-Geometrie



Das Elementarvolumen zerfällt in 8 Volumenelemente mit jeweils 3 (äußeren) Flächenelementen (schraffiert für Punkt 2)

Die Volumenelemente unterscheiden sich nach den Radien R_1 und

R_2 :

Für die Punkte 1, 2, 5, 6, (R_1):

$$\Delta V = \frac{(R_1 - \frac{1}{4} \Delta R) \cdot \Delta \theta}{2} \cdot \frac{\Delta R}{2} \cdot \frac{\Delta Z}{2}$$

Für die Punkte 3, 4, 7, 8, (R_2):

$$\Delta V = \frac{(R_2 + \frac{1}{4} \Delta R) \cdot \Delta \theta}{2} \cdot \frac{\Delta R}{2} \cdot \frac{\Delta Z}{2}$$

Die Tripel von Flächenelementen unterscheiden sich nach den Radien R_1 und R_2 und die Elemente dieser Tripel nach den Normalflächen zur θ/RZ -Richtung.

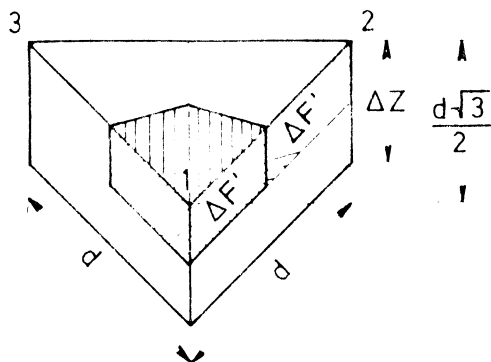
Für die Punkte 1, 2, 5, 6, (R_1):

$$\Delta F = \frac{1}{4} \Delta R \cdot \Delta Z / \frac{1}{4} (R_1 \Delta \theta) \cdot \Delta Z / \frac{1}{4} (R_1 - \frac{1}{4} \Delta R) \Delta \theta \cdot \Delta R$$

Für die Punkte 3, 4, 7, 8, (R_2):

$$\Delta F = \frac{1}{4} \Delta R \cdot \Delta Z / \frac{1}{4} (R_2 \Delta \theta) \cdot \Delta Z / \frac{1}{4} (R_2 + \frac{1}{4} \Delta R) \Delta \theta \cdot \Delta R$$

Δ -Z-Geometrie



Das Elementarvolumen zerfällt in 6 Volumenelemente mit jeweils 3 (äußeren) Flächenelementen (schraffiert für Punkt 1)

Die Volumenelemente sind für alle 6 Punkte gleich:

$$\Delta V = \frac{1}{8\sqrt{3}} d^2 \cdot \Delta Z$$

Auch die Tripel von Flächenelementen sind für alle 6 Punkte gleich. Für die Normalflächen zur Z-Achse gilt jeweils

$$\Delta F = \frac{1}{4\sqrt{3}} d^2$$

Für die anderen Ebenen gilt jeweils:

$$\Delta F' = \frac{1}{4} d \cdot \Delta Z$$

Der Integrand ($\frac{\partial \phi}{\partial n}$, vgl. III.B) fällt hier immer für ein Paar von Punkten an, (in der Skizze etwa 1 und 2). Das zu dem Punktepaar gehörige Flächenelement ist dann

$$\Delta F = 2 \cdot \Delta F' = \frac{1}{2} d \cdot \Delta Z$$

(In der Skizze schraffiert)

2. Das Skalarprodukt der Gradienten von ϕ und ϕ^+

a) Der Gradient als Linearform (Vgl. nächste Seite*)

Der Gradient einer stetig differenzierbaren (skalaren) Funktion ϕ ist die Linearform \underline{u} , welche einen infinitesimalen Vektor $\vec{\Delta r}$ die zur Ortsveränderung um $\vec{\Delta r}$ gehörige infinitesimale Änderung $\Delta \phi$ von ϕ zuordnet:

$$\Delta \phi = \underline{u}(\vec{\Delta r})$$

In einem Koordinatensystem $K(x^1 \dots x^n)$ läßt sich für $\Delta \phi$ schreiben:

$$\begin{aligned} \Delta \phi &= \phi(x^1 + \Delta r^1, \dots, x^n + \Delta r^n) - \phi(x^1 \dots x^n) \\ &= \frac{\partial \phi}{\partial x^1} \Delta r^1 + \dots + \frac{\partial \phi}{\partial x^n} \Delta r^n \end{aligned}$$

Bekanntlich sind die Δr^i die Komponenten des Vektors $\vec{\Delta r}$ zu der von K induzierten Vektorbasis: (\vec{e}_i) ($i=1, \dots, n$)

$$\vec{\Delta r} = \vec{e}_i \Delta r^i$$

(Wenn ein Index gleichzeitig hoch- und tiefgestellt erscheint, wird über ihn summiert)

Die partiellen Ableitungen sind die Komponenten des Gradienten zu der von K induzierten dualen Basis (von Linearformen) (\vec{e}_k) ($k=1, \dots, n$)

Die Linearform \vec{e}_k ordnet dabei dem Vektor \vec{r} seine Komponente bezügl. \vec{e}_k zu:

$$\vec{e}_k(\vec{r}) = r^k \quad (\vec{r} = \vec{e}_i r^i)$$

Speziell:

$$\vec{e}_k(\vec{e}_i) = \delta_i^k.$$

Damit wird in der Tat jede Linearform \vec{u} darstellbar als Linearkombination der (\vec{e}_k) ($k=1, \dots, n$):

$$\vec{u}(\vec{r}) = \vec{u}(\vec{e}_i r^i) = \vec{u}(\vec{e}_i) r^i = \vec{u}(\vec{e}_i) \cdot \vec{e}_i(\vec{r}) = (u_i \vec{e}_i)(\vec{r}) \quad (u_i = \vec{u}(\vec{e}_i))$$

Also für $\vec{u} = \text{grad} \phi$ ($\vec{\Delta r} = \vec{e}_i \Delta r^i$):

$$\vec{u}(\vec{\Delta r}) = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x^k} \vec{e}_k \right) (\vec{e}_i \Delta r^i) = \frac{\partial \phi}{\partial x^k} (\vec{e}_k(\vec{e}_i)) \Delta r^i = \frac{\partial \phi}{\partial x^k} \delta_i^k \Delta r^i$$

$$\vec{u}(\vec{\Delta r}) = \frac{\partial \phi}{\partial x^i} \Delta r^i$$

Anmerkung: *(vorhergehende Seite)

Eine Linearform \vec{u} ist eine skalare Funktion des Vektors \vec{r} :

Mit $\vec{r} = \vec{r}_1 \alpha + \vec{r}_2 \beta$, gilt $\vec{u}(\vec{r}) = \vec{u}(\vec{r}_1) \alpha + \vec{u}(\vec{r}_2) \beta$

Mit \vec{u} und \vec{v} ist auch $\vec{w} = \alpha \vec{u} + \beta \vec{v}$ als Linearform erklärt durch:

$$\vec{w}(\vec{r}) = \alpha \vec{u}(\vec{r}) + \beta \vec{v}(\vec{r})$$

b) Linearformen als "kovariante Vektoren"

Beim Übergang zu neuen (nicht notwendig linearen) Koordinaten $\kappa(x^1 \dots x^n)$ gilt bekanntlich für die induzierte Vektorbasis \vec{e}_i :
 (Die ursprünglichen Koordinaten und die von ihnen induzierten Größen werden durch den Querstrich gekennzeichnet)

$$(1) \vec{e}_i = \vec{e}_k \frac{\partial \bar{x}^k}{\partial x^i} \quad \bar{x}^k = \bar{x}^k(x^1 \dots x^n) \text{ mit } \left| \frac{\partial \bar{x}}{\partial x} \right| \neq 0$$

Die Identität $\vec{r} = \vec{e}_i r^i = \vec{e}_k \bar{r}^k$ hat also zur Folge:

$$(2) r^i = \frac{\partial x^i}{\partial \bar{x}^k} \bar{r}^k \quad (\text{was aus Umkehrung von } \bar{r}^k = \frac{\partial \bar{x}^k}{\partial x^i} r^i \text{ folgt})$$

Die Forderung der Invarianz von $\vec{u}(\vec{r}) = u_i r^i = \bar{u}_k \bar{r}^k$ impliziert weiter:

$$(3) u_i = \bar{u}_k \frac{\partial \bar{x}^k}{\partial x^i} *$$

Die Identität $\vec{u} = u_i \vec{e}_i = \bar{u}_k \vec{e}_k$ hat schließlich zur Folge:

$$(4) \vec{e}_i = \frac{\partial x^i}{\partial \bar{x}^k} \vec{e}_k$$

Bei Koordinatentransformationen verhalten sich also zueinander kontragredient:

die Basiselemente (\vec{e}_i) zu (\vec{e}_i)

die Komponenten (r^i) zu (u_i)

Anmerkung ‡

Das Transformationsgesetz für die Komponenten einer Linearform (3) stellt sich beim Gradienten dar als Ausdruck der Kettenregel der Differentiation:

Mit $\bar{\phi}(\bar{x}) = \bar{\phi}(\bar{x}(x)) = \phi(x)$ ist $\frac{\partial \phi}{\partial x^i} = \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial \bar{x}^k} \frac{\partial \bar{x}^k}{\partial x^i}$

die Komponenten zu "ihren" Basiselementen:

also (r^i) zu (\vec{e}_i)
 und (u_i) zu (\vec{e}_i)

(Der Index ist jeweils einmal hoch- und tiefgestellt)

Die Vektoren, deren Komponenten (r^i) (bezüglich ihrer Vektorbasis) sich kontragredient zur Vektorbasis (\vec{e}_i) verhalten, werden kontravariante Vektoren genannt.

Die Linearformen deren Komponenten (u_i) (bezüglich ihrer dualen Basis) sich kogredient zur Vektorbasis (\vec{e}_i) verhalten werden als kovariante Vektoren bezeichnet.

c.) Linearformen als Vektoren

Im Euklidischen Raum ist für alle kontravarianten Vektoren das Skalarprodukt erklärt:

$$(\vec{a}, \vec{b}) = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos(\vec{a}, \vec{b})$$

Bezüglich eines bel. Koordinatensystems mit der Basis (\vec{e}_i) ($i=1\dots n$) hat man

$$(\vec{a}, \vec{b}) = g_{ik} a^i b^k \quad \vec{a} = \vec{e}_i a^i \quad \vec{b} = \vec{e}_i b^i \quad g_{ik} = (\vec{e}_i, \vec{e}_k)$$

Diese in \vec{a} und \vec{b} lineare, symmetrische Form kann interpretiert werden als Linearform eines der beiden Argumente.

Z.B. (\vec{a}, \vec{b}) als Wert einer Linearform \vec{a} , für das Argument \vec{b} :

Die Komponenten a_i dieser zum Vektor \vec{a} gehörigen Linearform \vec{a} , sind gegeben durch:

$$(5) \quad a_i = g_{ik} a^k \quad (\text{d.h. } \vec{a} = a_i \cdot \vec{e}_i)$$

Umgekehrt kann zu jeder Linearform \vec{a} ein Vektor \vec{a} gefunden werden, so daß ihr Wert für (jedes) \vec{b} reproduziert wird durch das Skalarprodukt des (festen) Vektors \vec{a} mit dem (variablen) Vektor \vec{b} :

Die Komponenten a^i dieses zur Linearform \vec{a} gehörigen Vektors \vec{a} sind gegeben durch Umkehrung von (5):

$$(6) \quad a^i = g^{ik} a_k \quad \text{d.h. } \vec{a} = \vec{e}_i a^i$$

wobei die g^{ik} die Koeffizienten der zur Matrix G inversen Matrix G^{-1} sind:

$$G = (g_{ik}) = (\vec{e}_i, \vec{e}_k) \quad G^{-1} = (g^{ik})$$

Diese (durch das Skalarprodukt vermittelte) umkehrbare eindeutige Beziehung zwischen kovarianten Vektoren \underline{a} und kontravarianten Vektoren \overline{a} wird benutzt, um beide miteinander zu identifizieren:

$$(7) \quad (\overline{a}) \underline{e}_i^1 a^i = a_i \cdot \overrightarrow{e}^i (= \underline{a})$$

Damit entfällt die Signifikanz von kontravarianten und kovarianten Vektoren und man unterscheidet nur noch zwischen kontravarianten (a^i) und kovarianten Komponenten (a_i) eines Vektors ($\overline{a}=\underline{a}$) bezüglich der (kovarianten) Basis (\overrightarrow{e}_i) und der (kontravarianten) dualen Basis (\underline{e}_i^1). D.h. es muß nun die Signifikanz der dualen Basis (\underline{e}_i^1) als weitere (zur Vektorbasis (\overrightarrow{e}_i) "kontragrediente") Vektorbasis geklärt werden*: Skalarproduktbildung von (7) mit \overrightarrow{e}_k ergibt:

$$(8) \quad g_{ik} a^i = a_k = (\underline{e}_i^1, \overrightarrow{e}_k) a_i \text{ also } (\underline{e}_i^1, \overrightarrow{e}_k) = \delta_k^i \text{ (vgl. (a), wo } \underline{e}_i^i(\overrightarrow{e}_k) = \delta_k^i)$$

Skalarproduktbildung von (7) mit \underline{e}_i^k ergibt dann:

$$(9) \quad \delta_i^k a^i = a^k = (\underline{e}_i^k, \overrightarrow{e}_i) a_i \text{ also } (\underline{e}_i^k, \overrightarrow{e}_i) = g^{ik} \text{ (vgl. (6))}$$

Aufgrund dieser Resultate nennt man (\underline{e}_i^1) die zu (\overrightarrow{e}_i) reziproke Basis:

\underline{e}_i^1 ist orthogonal zu allen Vektoren \overrightarrow{e}_k mit $i \neq k$. Da die Vektoren \overrightarrow{e}_k jeweils die (Tangential)richtung der Koordinatenlinien x_k haben, ist also \underline{e}_i^1 senkrecht zur (Tangentialebene der) Koordinatenfläche $x_i = \text{const.}$ Die orthogonale Projektion von \underline{e}_i^1 auf \overrightarrow{e}_i ist das Reziproke der Länge von \overrightarrow{e}_i . Im Falle der Δ -Geometrie unten sind (\overrightarrow{e}_i) und (\underline{e}_i^1) dargestellt ($i=1,2$)

d) Das Skalarprodukt mit Gradienten

Die Gradienten von ϕ und ϕ^+ haben also im Koordinatensystem $K(x^1 \dots x^n)$ bezüglich der reziproken Basis (\underline{e}_i^1) die Darstellung:

$$\text{grad}\phi = u_i \cdot \underline{e}_i^1 \quad \text{grad}\phi^+ = v_i \cdot \overrightarrow{e}_i^1 \text{ mit } u_i = \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \text{ und } v_i = \frac{\partial \phi^+}{\partial x_i}$$

Das Skalarprodukt von $\text{grad}\phi$ mit dem durch seine kontravarianten Komponenten gegebenen Normalvektor \overline{n} (vgl. III.B). ergibt:

$$(\text{grad}\phi, \overline{n}) = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \underline{e}_i^1, \overrightarrow{e}_k^1 n^k \right) = \frac{\partial \phi}{\partial x_i} n^i$$

Das Skalarprodukt der beiden Gradienten von ϕ und ϕ^+ ergibt:

$$(\text{grad}\phi, \text{grad}\phi^+) = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \underline{e}_i^1, \frac{\partial \phi^+}{\partial x_i} \overrightarrow{e}_i^1 \right) = \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^+}{\partial x_k} g^{ik}$$

* Im folgenden wird nur noch bei den Elementen \underline{e}_i^k der dualen Basis der tiefgestellte Pfeil zur Symbolisierung eines Vektors benutzt.

XYZ-Geometrie ($x_1 = X, x_2 = Y, x_3 = Z$)

In einem kartesischen System ist $g_{ik} = g^{ik} = \delta_{ik}$, also

$$u_i = \dot{u}^i, v_i = \dot{v}^i.$$

Für das Skalarprodukt der Gradienten hat man dann:

$$\nabla\phi \cdot \nabla\phi^+ = \frac{\partial\phi}{\partial X} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial X} + \frac{\partial\phi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Y} + \frac{\partial\phi}{\partial Z} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Z}$$

RθZ-Geometrie ($x_1 = R, x_2 = \theta, x_3 = Z$)

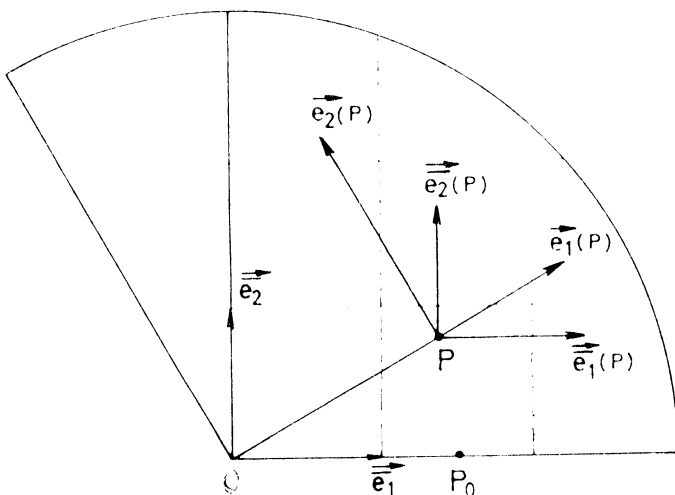
Das Koordinatensystem $\bar{K}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ habe die orthonormierte Basis $\bar{e}_1, \bar{e}_2, \bar{e}_3$. Für einen gewünschten Teilbereich der von \bar{e}_1, \bar{e}_2 aufgespannten Ebene werden Polarkoordinaten $K(x_1, x_2)$ eingeführt.

Dazu kann r_0 geeignet ("hinreichend groß") gewählt werden:

P_0 sei der Punkt mit den Koordinaten $x_1 = r_0/2, x_2 = 0$ und $U(P_0)$ das Innere des längs der negativen x_1 -Achse aufgeschnittenen Kreises mit dem Radius r_0 .

Durch die stetige und umkehrbare* Abbildung T

$$T : \begin{aligned} \bar{x}_1 &= x_1 \cos x_2 & I : |x_1 - r_0/2| < r_0/2 \\ \bar{x}_2 &= x_1 \sin x_2 & |x_2| < \pi \end{aligned}$$



* (Die Funktionaldeterminante erfüllt $|\frac{\partial \bar{x}}{\partial x}| = x_1 > 0$)

von $U(P_0)$ auf das Intervall I ist in $U(P_0)$ ein (nichtlineares) Koordinatensystem $K(x_1, x_2)$ mit den (von P abhängigen) Basisvektoren

$$\vec{e}_i = \left(\frac{\partial \bar{x}^k}{\partial x_i} \right) \cdot \vec{e}_k \quad (i, k = 1, 2,) \text{ gegeben:}$$

$$\vec{e}_1 = \cos x_2 \cdot \vec{e}_1 + \sin x_2 \cdot \vec{e}_2 \quad \vec{e}_1 \text{ hat die (feste) Länge 1}$$

$$\vec{e}_2 = x_1 \sin x_2 \cdot \vec{e}_1 + x_1 \cos x_2 \cdot \vec{e}_2 \quad \vec{e}_2 \text{ hat die (variable) Länge } x_1 (=R)$$

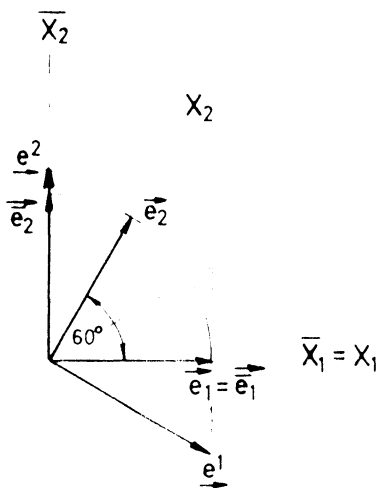
Nach Hinzunahme von $\vec{e}_3 = \vec{e}_3$ haben wir dann

$$G = (g_{ik}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & x_1^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad G^{-1} = (g^{ik}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_1^2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

In R θ Z-Geometrie hat man daher ($x_1=R, x_2=\theta, x_3=Z$)

$$\nabla \phi \cdot \nabla \phi^+ = \frac{\partial \phi}{\partial R} \cdot \frac{\partial \phi^+}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \phi^+}{\partial \theta} + \frac{\partial \phi}{\partial Z} \cdot \frac{\partial \phi^+}{\partial Z}$$

Δ -Z-Geometrie ($x_1=X, x_2=Y, x_3=Z$)



$\bar{K}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)$ sei wieder ein kartesisches K.S. mit der orthonormierten Basis $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$

Man sieht aus der Skizze

$$\begin{aligned} \vec{e}_1 &= 1 \cdot \vec{e}_1 + 0 \cdot \vec{e}_2 \\ \vec{e}_2 &= \frac{1}{2} \cdot \vec{e}_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \vec{e}_2 \end{aligned}$$

Außerdem hat man wieder $\vec{e}_3 = \vec{e}_3$

Für die zu (\vec{e}_i) reziproke Basis gilt:

$$\begin{aligned} \vec{e}_1^1 &= \frac{4}{3} \cdot \vec{e}_1 - \frac{2}{3} \cdot \vec{e}_2 = 1 \cdot \vec{e}_1 - \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \vec{e}_2 \\ \vec{e}_2^1 &= -\frac{2}{3} \cdot \vec{e}_1 + \frac{4}{3} \cdot \vec{e}_2 = 0 \cdot \vec{e}_1 + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \vec{e}_2 \end{aligned}$$

wie aus der Forderung $(\vec{e}_i^1 \cdot \vec{e}_k) = \delta_k^i$ und aus der Skizze gleichermaßen leicht ersichtlich ist.

$$G = (g_{ik}) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{2} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad G^{-1} = (g^{ik}) = \begin{pmatrix} \frac{4}{3} & -\frac{2}{3} & 0 \\ -\frac{2}{3} & \frac{4}{3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

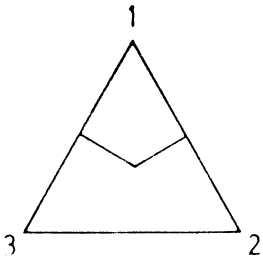
In Δ -Z-Geometrie hat man daher für das Skalarprodukt der Gradienten $\nabla\phi \cdot \nabla\phi^+ =$

$$= \frac{2}{3} \left\{ 2 \frac{\partial\phi}{\partial X} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial X} - \frac{\partial\phi}{\partial X} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Y} - \frac{\partial\phi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial X} + 2 \frac{\partial\phi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Y} \right\} + \frac{\partial\phi}{\partial Z} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Z}$$

$$= \frac{2}{3} \left\{ \frac{\partial\phi}{\partial X} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial X} + \left(\frac{\partial\phi}{\partial X} - \frac{\partial\phi}{\partial Y} \right) \cdot \left(\frac{\partial\phi^+}{\partial X} - \frac{\partial\phi^+}{\partial Y} \right) + \frac{\partial\phi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Y} \right\} + \frac{\partial\phi}{\partial Z} \cdot \frac{\partial\phi^+}{\partial Z}$$

[Man erkennt, daß der Klammerausdruck bei Vertauschung von X und Y erhalten bleibt:

Das Skalarprodukt ist (als metrische Größe) insbesondere unabhängig von der Orientierung des Koordinatensystems (vgl. III.B.)]



Die Approximation der partiellen Ableitungen $\frac{\partial}{\partial X}, \frac{\partial}{\partial Y}$ durch 2-Punktformeln ergibt für jeden der Punkte 1 bis 3 den gleichen Ausdruck für {.....}:

$$\frac{2}{3} \{ \dots \} = \frac{2}{3d^2} \sum_{1 \leq i < k \leq 3} (\phi_i - \phi_k) (\phi_i^+ - \phi_k^+)$$

(ϕ_i ist der Wert von ϕ im Punkt i)

Die Integration des Skalarproduktes über die obere Hälfte des Elementarvolumens (vgl. Integration in AUDI3) ergibt somit:

$$I = \left[\frac{1}{2\sqrt{3}} \sum_{1 \leq i < k \leq 3} (\phi_i - \phi_k) \cdot (\phi_i^+ - \phi_k^+) + \frac{d^2}{4\sqrt{3}} \sum_{i=1}^3 \left(\frac{\partial\phi}{\partial Z} \right)_i \cdot \left(\frac{\partial\phi^+}{\partial Z} \right)_i \right] \frac{\Delta Z}{2}$$

ϕ_i bzw. $\left(\frac{\partial\phi}{\partial Z} \right)_i$ sind die Werte von ϕ bzw. $\frac{\partial\phi}{\partial Z}$ im Punkt i.

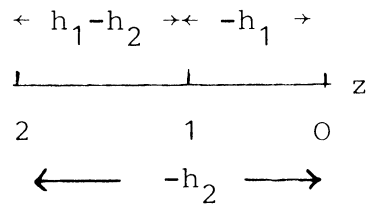
Zu $\frac{\partial\phi}{\partial Z}$ vergleiche Anhang E.3 und III.D.: Integrale Störungsrechnung, "Approximation der partiellen Ableitungen.."

Bei Äquidistanz der 3 Punkte ergibt sich ($h_2=2h_1$)

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)_{P_0} = - \frac{\phi_2 + 3\phi_0 - 4\phi_1}{h_2}$$

Randform (β):

("rechter" Randpunkt)



Bei Äquidistanz ergibt sich der gleiche Ausdruck wie unter (α)
(Das Vorzeichen von h_2 ist dabei umgekehrt).

Referenzen

- /1/ B. Stehle,
D3D - Ein Fortran-Programm zur Lösung der stationären drei-
dimensionalen Multigruppendiffusionsgleichungen
KfK-2118, März 1975
- /1'/ B. Stehle,
D3E - Ein Fortran-Programm zur Lösung der stationären drei-
dimensionalen Multigruppendiffusionsgleichungen in Dreieck-
Z-Geometrie
Primärbericht, März 1978
- /2/ G. Buckel,
KASY - Approximation der stationären, dreidimensionalen
Mehrgruppen-Neutronen-Diffusionsgleichung durch ein Synthese-
verfahren mit dem Karlsruher Synthese-Programm KASY
KfK-1349, Juni 1971
- /3/ H. Bachmann, S. Kleinheins,
Das Karlsruher Programmsystem KAPROS
KfK-2317, August 1976
- /4/ D. Thiem,
Mündliche Mitteilung
- /5/ D. Woll,
GRUCAL - Ein Programmsystem zur Berechnung makroskopischer
Gruppenkonstanten
KfK-2108, Juni 1975
- /6/ E. Kiefhaber,
"Berechnung der durch große Systemänderung bewirkten Kriti-
kalitätsunterschiede mit Hilfe eines modifizierten Störungs-
theorie-Formalismus".
Externer Bericht, INR-4/66-9

- /7/ A.M. Weinberg, E.P. Wigner,
The Physical Theory of Neutron Chain Reactors
Chicago University Press, 1958
- /8/ J. Lewins,
The Time-Dependent Importance of Neutrons and Precursors.
Nucl. Sci. and Eng. 7, 1960
- /9/ J. Lewins,
Importance. The Adjoint Function
Pergamon Press, 1965
- /10/ G. Bell, S. Glasstone,
Nuclear Reactor Theory,
Van Nostrand, 1970.
- /11/ E.A. Stumber,
The Use of Perturbation Theory in the Physics of Nuclear Reactors.
ERDA-tr-297
- /12/ G.R. Keepin,
Physics of Nuclear Kinetics,
Addison Wesley Publishing Company, 1965
- /13/ J. Lewins,
Use of Generation Time in Reactor Kinetics,
Nucl. Sci. and Eng. 7, 1960
- /14/ E.E. Gross, J.H. Marable,
Static and Dynamic Multiplication Factors and their Relation to
the Inhour Equation.
Nucl. Sci. and Eng. 7, 1960
- /15/ H. Bachmann, H. Gabaieff, D. Woll,
Kurzbeschreibung des KAPROS-Moduls SIGMUT zur Modifikation von
SIGMN-Blöcken und dessen Prüfmodul PRSIGM
Primärbericht, Mai 1979
- /16/ W. Höbel,
DIXY
Primärbericht in Vorbereitung

- /17/ G.Buckel, W.Gebhardt, E. Kiefhaber
Dependence of Diffusion Theory Results on the Mesh Size
for Fast Reactor Calculations
KfK-2827, Juli 1979
- /18/ W. Höbel,
Kurzbeschreibung des Unterprogramms WQRG zur Verarbeitung
von SIGMN-Strukturen in KAPROS-Moduln
Primärbericht, April 1981

Im vorliegenden Testbeispiel wird zunächst AUPRCL benutzt,
um aus den sequentiellen Dateien mit den FORTAN-Nummern
1/3/4/2 die KAPROS-Blöcke I+II/III/IV/V zu erzeugen.
Die AUDI3-Rechnung liefert

normierte Neutronenflüsse und Mittelwerte
integrale Reaktionsraten und Mittelwerte
Neutronenleckage
integrale Störungskoeffizienten
effektive Lebensdauer von Neutronen.


```
/ INR198T1 JOB (0198, 104, P6M2G), WILLERDING, REGION=1024K, MSGLEVEL=(0, 0),  
/ NOTIFY=INR198, TIME=(0, 30), MSGCLASS=H  
/ *MAIN ORG=RM003, LINES=3  
/ EXEC KSCLG  
/K. FT06F001 DD DCB=BLKSIZE=133, SYSOUT=*  
/K. FT42F001 DD DCB=BLKSIZE=133, SYSOUT=*  
/K. FT44F001 DD SPACE=(3064, 650)  
/K. SYSPRINT DD DUMMY  
/K. FT01F001 DD DSN=INR198.D3ESS.AUDIA, DISP=SHR  
/K. FT03F001 DD DSN=INR198.SIGMN.D3DVD, DISP=SHR  
/K. FT04F001 DD DSN=INR198.D3ESS.FLUSSA.PG, DISP=SHR  
/K. FT02F001 DD DSN=INR198.D3ESS.FLUSSB.ADJ.PG, DISP=SHR  
/K. FT10F001 DD UNIT=3350, VOL=SER=BAT00C, DSN=INR198.TEST1,  
/ DISP=(NEW, CATLG), SPACE=(TRK, 10)  
/  
+++++  
JCL FUER AUDI3 - TESTBEISPIEL  
+++++
```


ZONENVERTEILUNG IN DER CODIERUNG : 10*NRM+NRZ
 FUER JEDE MISCHUNG (NRM) BEGINNT DER ZONENINDEX (NRZ) BEI 1

VON INSGESAMT	11 ZONEN								
ENTFALLEN AUF									
MISCHUNG 1	1 ZONE(N)	MISCHUNG 3	1 ZONE(N)	MISCHUNG 8	3 ZONE(N)				
MISCHUNG 2	1 ZONE(N)	MISCHUNG 4	2 ZONE(N)	MISCHUNG 9	3 ZONE(N)				

++++
 MISCHEUNGEN MIT DEN SIGMN - NUMMERN 5,6,7 KOMMEN NICHT VOR
 ++++

AUSGABE DER VOLUMENANTEILE FUER DIE 11 ZONEN

MISCHUNG	1	1.358906E+05		
MISCHUNG	2	1.444912E+05		
MISCHUNG	3	3.422162E+05		
MISCHUNG	4	2.361111E+05		
ZONEN	1	1.180556E+05	2	1.180556E+05
MISCHUNG	8	2.335762E+04		
ZONEN	1	4.345605E+03	2	9.506008E+03
			3	9.506008E+03
MISCHUNG	9	3.367843E+04		
ZONEN	1	1.466641E+04	2	9.506008E+03
			3	9.506008E+03

GESAMTVOLUMEN : 9.157452E+05

*** V O L U M I N A (SPEZIALGEBIETE)
ELEM. 1 2.15017E+04 1.37611E+04 1.37611E+04 1.72014E+03 1.72014E+03 5.16041E+04 5.16041E+03 5.16041E+03 2.15017E+04
DIE BERECHNUNG DER FLUSSINTEGRALE IST ABGESCHLOSSEN

NACH NORMIERUNG
 FLUSSWERTE INTEGRIERT UEBER 11 ZONEN (6 MISCUNGSGEBIETE) (CM/SEC)

	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
TOTAL				
MISCHUNG 1				
TOTAL #	7.47339E+01	5.65412E+01	5.15420E+00	9.39747E-01
MISCHUNG 2				
TOTAL #	4.51418E+01	3.38260E+01	3.01418E+00	5.01239E-01
MISCHUNG 3				
TOTAL #	2.33032E+01	1.76944E+01	2.44633E+00	7.10822E-01
MISCHUNG 4				
ZONE 1	9.29556E+00	8.40453E-01	7.22893E+00	9.57441E-01
ZONE 2	1.46850E+01	1.20723E+00	1.10912E+01	1.71127E+00
TOTAL #	2.39806E+01	2.04768E+00	1.83201E+01	2.66871E+00
MISCHUNG 8				
ZONE 1	4.44483E-01	4.24314E-02	3.58223E-01	3.69708E-02
ZONE 2	1.88041E+00	3.12279E-01	1.44705E+00	1.08673E-01
ZONE 3	1.88041E+00	3.12279E-01	1.44705E+00	1.08673E-01
TOTAL #	4.20531E+00	6.66989E-01	3.25233E+00	2.54316E-01
MISCHUNG 9				
ZONE 1	6.66830E+00	9.59801E-01	5.03838E+00	5.43630E-01
ZONE 2	2.75286E+00	4.13851E-01	2.06179E+00	2.23326E-01
ZONE 3	2.75286E+00	4.13851E-01	2.06179E+00	2.23326E-01
TOTAL #	1.21740E+01	1.78750E+00	9.16195E+00	9.90282E-01
TOTAL	1.83539E+02	2.68529E+01	1.38796E+02	1.45280E+01
				3.36182E+00

NACH NORMIERUNG

FLUSS M I T T E L W E R T E D E R	1 1 Z O N E N U N D / O D E R	6 M I S C H U N G S G E B I E T E	(1 / (O M ** 2 * S E C))		
TOTAL	1. G R U P P E	2. G R U P P E	3. G R U P P E	4. G R U P P E	
MISCHUNG 1					
TOTAL *	5.49956E-04	8.90329E-05	4.16079E-04	3.79290E-05	6.91547E-06
MISCHUNG 2					
TOTAL *	3.12419E-04	5.39849E-05	2.34104E-04	2.08606E-05	3.46899E-06
MISCHUNG 3					
TOTAL *	6.80950E-05	7.16406E-06	5.17054E-05	7.14850E-06	2.07711E-06
MISCHUNG 4					
ZONE 1	7.87388E-05	7.11913E-06	6.12333E-05	8.11008E-06	2.27645E-06
ZONE 2	1.24391E-04	1.02259E-05	9.39491E-05	1.44955E-05	5.72036E-06
TOTAL *	1.01565E-04	8.67252E-06	7.75912E-05	1.13028E-05	3.99840E-06
MISCHUNG 8					
ZONE 1	1.02283E-04	9.76420E-06	8.24334E-05	8.50762E-06	1.57819E-06
ZONE 2	1.97813E-04	3.28507E-05	1.52225E-04	1.14320E-05	1.30517E-06
ZONE 3	1.97813E-04	3.28507E-05	1.52225E-04	1.14320E-05	1.30517E-06
TOTAL *	1.80040E-04	2.85555E-05	1.39241E-04	1.08879E-05	1.35596E-06
MISCHUNG 9					
ZONE 1	4.54665E-04	6.54421E-05	3.43532E-04	3.70663E-05	8.62451E-06
ZONE 2	2.89591E-04	4.35357E-05	2.16893E-04	2.34932E-05	5.66938E-06
ZONE 3	2.89591E-04	4.35357E-05	2.16893E-04	2.34932E-05	5.66938E-06
TOTAL *	3.61478E-04	5.30756E-05	2.72042E-04	2.94040E-05	6.95630E-06
TOTAL	2.00425E-04	2.93235E-05	1.51566E-04	1.58647E-05	3.67113E-06

NORMIERUNGSTYP / VOR NORMIERUNG :

ZONENABHAENIGIGE REAKTIONS-RATEN VOM TYP ***** NUSF ***** (1/SEC)

	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG 1				
TOTAL #	1.05530E+00	2.89566E-01	6.06657E-01	1.08712E-01
5.03636E-02				
MISCHUNG 2				
TOTAL #	8.87353E-01	2.34858E-01	5.24021E-01	8.99360E-02
3.85381E-02				
MISCHUNG 3				
TOTAL #	4.47857E-02	3.82473E-02	3.85950E-03	1.46600E-03
1.21290E-03				
MISCHUNG 4				
ZONE 1	1.10177E-02	9.19167E-03	1.10488E-03	4.09322E-04
3.11853E-04				
ZONE 2	1.64133E-02	1.32029E-02	1.69520E-03	7.31598E-04
7.83640E-04				
TOTAL #	2.74311E-02	2.23946E-02	2.80008E-03	1.14092E-03
1.09549E-03				
TOTAL	2.01487E+00	5.85066E-01	1.13734E+00	2.01255E-01
9.12101E-02				

NACH NORMIERUNG

ZONENABHAENIGIGE REAKTIONSRATEN VOM TYP		***** NUSF				***** (1/SEC)
		1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE	
MISCHUNG	1					
TOTAL	*	5.23756E-01	1.43715E-01	3.01090E-01	5.39550E-02	2.49960E-02
MISCHUNG	2					
TOTAL	*	4.40403E-01	1.16562E-01	2.60077E-01	4.46362E-02	1.91269E-02
MISCHUNG	3					
TOTAL	*	2.22276E-02	1.89826E-02	1.91551E-03	7.27591E-04	6.01975E-04
MISCHUNG	4					
ZONE	1	5.46820E-03	4.56192E-03	5.48363E-04	2.03151E-04	1.54776E-04
ZONE	2	8.14611E-03	6.55274E-03	8.41344E-04	3.63100E-04	3.88928E-04
TOTAL	*	1.36143E-02	1.11147E-02	1.38971E-03	5.66251E-04	5.43704E-04
TOTAL		1.00000E+00	2.90374E-01	5.64473E-01	9.98849E-02	4.52685E-02

*** R A T E N (SPEZIALGEBIETE)

GRUPPENSUMME

GRUPPENSUMME
GEBIETE 1 9.26888E-02 5.41789E-02 5.41789E-02 6.69328E-03 6.69328E-03 1.75918E-01 1.57128E-02 1.57128E-02 1.02022E-01

GRUPPE 1
GEBIETE 1 2.52975E-02 1.46378E-02 1.46378E-02 1.76186E-03 1.76186E-03 4.89182E-02 4.54997E-03 4.54997E-03 2.76216E-02

GRUPPE 2
GEBIETE 1 5.34474E-02 3.11474E-02 3.11474E-02 3.83751E-03 3.83751E-03 1.01052E-01 8.99423E-03 8.99423E-03 5.86486E-02

GRUPPE 3
GEBIETE 1 9.54622E-03 5.68433E-03 5.68433E-03 7.31556E-04 7.31556E-04 1.78902E-02 1.53276E-03 1.53276E-03 1.06230E-02

GRUPPE 4
GEBIETE 1 4.39782E-03 2.70933E-03 2.70933E-03 3.62367E-04 3.62367E-04 8.05773E-03 6.35894E-04 6.35894E-04 5.12914E-03

NACH NORMIERUNG

MITTELWERTE DER REAKTIONS-RATEN VOM TYP ***** (1/(CM**3*SEC))

	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG 1					
TOTAL *	3.85424E-06	1.05758E-06	2.21568E-06	3.97047E-07	1.83942E-07
MISCHUNG 2					
TOTAL *	3.04795E-06	8.06709E-07	1.79995E-06	3.08920E-07	1.32374E-07
MISCHUNG 3					
TOTAL *	6.49520E-08	5.54695E-08	5.59736E-09	2.12612E-09	1.75905E-09
MISCHUNG 4					
ZONE 1	4.63190E-08	3.86422E-08	4.64496E-09	1.72081E-09	1.31104E-09
ZONE 2	6.90022E-08	5.55056E-08	7.12668E-09	3.07567E-09	3.29445E-09
TOTAL *	5.76607E-08	4.70739E-08	5.88582E-09	2.39824E-09	2.30275E-09
TOTAL	1.09201E-06	3.17091E-07	6.16408E-07	1.09075E-07	4.94335E-08

*** R A T E N M I T T E L W E R T E (S P E Z I A L G E B I E T E)

GRUPPENSUMME

GRUPPENSUMME
GEBIETE 1 4.31077E-06 3.93711E-06 3.93711E-06 3.89114E-06 3.40899E-06 3.04489E-06 3.04489E-06 4.74485E-06

GRUPPE 1
GEBIETE 1 1.17653E-06 1.06371E-06 1.02426E-06 1.02426E-06 9.47953E-07 8.81708E-07 8.81708E-07 1.28462E-06

GRUPPE 2
GEBIETE 1 2.48573E-06 2.26344E-06 2.23093E-06 2.23093E-06 1.95821E-06 1.74293E-06 1.74293E-06 2.72763E-06

GRUPPE 3
GEBIETE 1 4.43975E-07 4.13073E-07 4.25290E-07 4.25290E-07 3.46682E-07 2.97023E-07 2.97023E-07 4.94053E-07

GRUPPE 4
GEBIETE 1 2.04534E-07 1.96883E-07 2.10662E-07 2.10662E-07 1.56145E-07 1.23225E-07 1.23225E-07 2.38546E-07

NACH NORMIERUNG
 ZONENABHAENIGIGE REAKTIONSRATEN VOM TYP ***** SREM ***** (1/SEC)

	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG					
TOTAL #	7.46337E-01	3.35682E-01	2.95681E-01	9.00723E-02	2.49017E-02
MISCHUNG					
TOTAL #	5.04831E-01	2.24509E-01	2.04617E-01	5.88065E-02	1.68990E-02
MISCHUNG					
TOTAL #	2.41031E-01	8.81602E-02	1.04139E-01	3.92424E-02	9.48875E-03
MISCHUNG					
ZONE 1	7.21168E-02	2.44513E-02	3.24642E-02	1.25257E-02	2.67570E-03
ZONE 2	1.14042E-01	3.51219E-02	4.98092E-02	2.23876E-02	6.72363E-03
TOTAL #	1.86159E-01	5.95732E-02	8.22734E-02	3.49133E-02	9.39934E-03
MISCHUNG					
ZONE 1	1.07552E-02	1.05290E-03	5.87910E-03	2.66640E-03	1.15683E-03
ZONE 2	4.14282E-02	7.74895E-03	2.37489E-02	7.83766E-03	2.09278E-03
ZONE 3	4.14282E-02	7.74895E-03	2.37489E-02	7.83766E-03	2.09278E-03
TOTAL #	9.36117E-02	1.65508E-02	5.33768E-02	1.83417E-02	5.34238E-03
MISCHUNG					
ZONE 1	2.25656E-02	1.26301E-02	7.33528E-03	2.50073E-03	9.94974E-05
ZONE 2	9.51733E-03	5.44591E-03	3.00172E-03	1.02731E-03	4.23923E-05
ZONE 3	9.51733E-03	5.44591E-03	3.00172E-03	1.02731E-03	4.23923E-05
TOTAL #	4.16003E-02	2.35219E-02	1.33387E-02	4.55535E-03	1.84282E-04
TOTAL	1.81357E+00	7.47997E-01	7.53426E-01	2.45932E-01	6.62154E-02

*** R A T E N (SPEZIALGEBIETE)

GRUPPENSUMME

GRUPPENSUMME

GEBIETE 1 1.31893E-01 7.69666E-02 7.69666E-02 9.46608E-03 9.46608E-03 2.51390E-01 2.26525E-02 2.26525E-02 1.44956E-01

GRUPPE 1

GEBIETE 1 5.90885E-02 3.41903E-02 3.41903E-02 4.11526E-03 4.11526E-03 1.14261E-01 1.06276E-02 1.06276E-02 6.45171E-02

GRUPPE 2

GEBIETE 1 5.24872E-02 3.05878E-02 3.05878E-02 3.76856E-03 3.76856E-03 9.92361E-02 8.83264E-03 8.83264E-03 5.75950E-02

GRUPPE 3

GEBIETE 1 1.59364E-02 9.48942E-03 9.48942E-03 1.22126E-03 1.22126E-03 2.98659E-02 2.55879E-03 2.55879E-03 1.77340E-02

GRUPPE 4

GEBIETE 1 4.38123E-03 2.69911E-03 2.69911E-03 3.61001E-04 3.61001E-04 8.02734E-03 6.33495E-04 6.33495E-04 5.10979E-03

NACH NORMIERUNG						
MITTELWERTE DER REAKTIONSRATEN VOM TYP ***** (1/(CM**3*SEC))						
	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE	SREM
MISCHUNG						
TOTAL *	5.49218E-06	2.47023E-06	2.17587E-06	6.62830E-07	1.83248E-07	
MISCHUNG						
TOTAL *	3.49385E-06	1.55379E-06	1.41612E-06	4.06990E-07	1.16955E-07	
MISCHUNG						
TOTAL *	7.04323E-07	2.57616E-07	3.04309E-07	1.14671E-07	2.77273E-08	
MISCHUNG						
ZONE 1	6.10872E-07	2.07117E-07	2.74991E-07	1.06100E-07	2.26648E-08	
ZONE 2	9.66005E-07	2.97503E-07	4.21913E-07	1.89637E-07	5.69531E-08	
TOTAL *	7.88439E-07	2.52310E-07	3.48452E-07	1.47868E-07	3.98089E-08	
MISCHUNG						
ZONE 1	2.47496E-06	2.42291E-07	1.35289E-06	6.13584E-07	2.66206E-07	
ZONE 2	4.35811E-06	8.15164E-07	2.49830E-06	8.24496E-07	2.20153E-07	
ZONE 3	4.35811E-06	8.15164E-07	2.49830E-06	8.24496E-07	2.20153E-07	
TOTAL *	4.00776E-06	7.08582E-07	2.28520E-06	7.85256E-07	2.28721E-07	
MISCHUNG						
ZONE 1	1.53859E-06	8.61160E-07	5.00141E-07	1.70507E-07	6.78403E-09	
ZONE 2	1.00119E-06	5.72891E-07	3.15771E-07	1.08070E-07	4.45953E-09	
ZONE 3	1.00119E-06	5.72891E-07	3.15771E-07	1.08070E-07	4.45953E-09	
TOTAL *	1.23522E-06	6.98428E-07	3.96061E-07	1.35260E-07	5.47181E-09	
TOTAL	1.98043E-06	8.16817E-07	8.22746E-07	2.68559E-07	7.23076E-08	

*** R A T E N M I T T E L W E R T E (SPEZIALGEBIETE)

GRUPPENSUMME

GRUPPENSUMME
GEBIETE 1 6.13409E-06 5.59306E-06 5.59306E-06 5.50310E-06 4.87151E-06 4.38967E-06 4.38968E-06 6.74160E-06

GRUPPE 1
GEBIETE 1 2.74809E-06 2.48456E-06 2.48456E-06 2.39241E-06 2.21418E-06 2.05945E-06 2.05945E-06 3.00056E-06

GRUPPE 2
GEBIETE 1 2.44107E-06 2.22278E-06 2.22278E-06 2.19085E-06 1.92303E-06 1.71162E-06 1.71162E-06 2.67862E-06

GRUPPE 3
GEBIETE 1 7.41172E-07 6.89584E-07 6.89584E-07 7.09979E-07 5.78750E-07 4.95850E-07 4.95850E-07 8.24771E-07

GRUPPE 4
GEBIETE 1 2.03762E-07 1.96141E-07 1.96141E-07 2.09868E-07 1.55556E-07 1.22761E-07 1.22761E-07 2.37646E-07

ZONENABHAENGLICHE LECKAGE (RADIAL)

	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG 1					
TOTAL #	1.39507E-01	3.54189E-02	9.99257E-02	3.15326E-03	1.00897E-03
MISCHUNG 2					
TOTAL #	1.86073E-01	1.09999E-01	8.34556E-02	4.14661E-03	3.23492E-03
MISCHUNG 3					
TOTAL #	-1.19683E-01	-9.29424E-02	-4.39328E-02	1.03425E-02	6.84986E-03
MISCHUNG 4					
ZONE 1	2.18535E-02	3.97363E-03	1.48938E-02	1.89761E-03	1.08840E-03
ZONE 2	2.11344E-02	4.79169E-03	1.52352E-02	7.74800E-04	3.32723E-04
TOTAL #	4.29879E-02	8.76532E-03	3.01290E-02	2.67241E-03	1.42112E-03
MISCHUNG 8					
ZONE 1	-3.89491E-03	-7.79027E-05	-2.74939E-03	-7.35874E-04	-3.31741E-04
ZONE 2	-2.94124E-02	-8.81433E-03	-1.84064E-02	-1.66706E-03	-5.24562E-04
ZONE 3	-2.94124E-02	-8.81434E-03	-1.84064E-02	-1.66706E-03	-5.24562E-04
TOTAL #	-6.27196E-02	-1.77066E-02	-3.95622E-02	-4.06999E-03	-1.38086E-03
MISCHUNG 9					
ZONE 1	-1.01078E-02	-1.80726E-02	1.18465E-03	4.61548E-03	2.16471E-03
ZONE 2	-6.87566E-03	-8.23263E-03	-9.83642E-04	1.58283E-03	7.57774E-04
ZONE 3	-6.87566E-03	-8.23263E-03	-9.83642E-04	1.58283E-03	7.57774E-04
TOTAL #	-2.38591E-02	-3.45379E-02	-7.82636E-04	7.78114E-03	3.68026E-03
TOTAL	1.62306E-01	8.99612E-03	1.29233E-01	1.57327E-02	8.34442E-03

ZONENABHÄNGIGE L E C K A G E (A X I A L)					
	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG	1				
TOTAL	*	1.36591E-01	5.06525E-02	8.52364E-02	1.29232E-03-5.90598E-04
MISCHUNG	2				
TOTAL	*	8.46574E-02	3.31275E-02	5.12660E-02	6.93270E-04-4.29263E-04
MISCHUNG	3				
TOTAL	*	7.24474E-03	5.05109E-04	5.77072E-03	6.11650E-04 3.57272E-04
MISCHUNG	4				
ZONE	1	-6.15326E-02-2.39534E-02-3.77904E-02-4.19353E-04	6.30688E-04		
ZONE	2	-6.74056E-02-3.15885E-02-3.93781E-02 9.42127E-04	2.61874E-03		
TOTAL	*	-1.28938E-01-5.55420E-02-7.71685E-02 5.22774E-04	3.24943E-03		
MISCHUNG	8				
ZONE	1	-3.32633E-03-1.09074E-03-2.14427E-03-7.88000E-05-1.25137E-05			
ZONE	2	-1.52258E-03-4.79542E-04-9.65157E-04-6.32190E-05-1.46637E-05			
ZONE	3	-1.52258E-03-4.79542E-04-9.65157E-04-6.32190E-05-1.46637E-05			
TOTAL	*	-6.37148E-03-2.04983E-03-4.07458E-03-2.05238E-04-4.18412E-05			
MISCHUNG	9				
ZONE	1	1.20655E-02 2.80952E-03 8.58020E-03 4.24510E-04 2.51281E-04			
ZONE	2	4.45351E-03 6.01631E-04 3.35071E-03 3.02462E-04 1.98711E-04			
ZONE	3	4.45351E-03 6.01630E-04 3.35071E-03 3.02462E-04 1.98711E-04			
TOTAL	*	2.09725E-02 4.01277E-03 1.52816E-02 1.02943E-03 6.48703E-04			
TOTAL		1.14156E-01	3.07061E-02	7.63116E-02	3.94421E-03 3.19370E-03

ZONENABHÄNGIGE L E C K A G E

	TOTAL	1. GRUPPE	2. GRUPPE	3. GRUPPE	4. GRUPPE
MISCHUNG 1					
TOTAL *	2.76097E-01	8.60714E-02	1.85162E-01	4.44558E-03	4.18372E-04
MISCHUNG 2					
TOTAL *	2.70730E-01	1.43126E-01	1.34722E-01	3.45334E-03	3.66418E-03
MISCHUNG 3					
TOTAL *	-1.12438E-01	-9.24373E-02	-3.81621E-02	1.09541E-02	7.20713E-03
MISCHUNG 4					
ZONE 1	-3.96791E-02	-1.99798E-02	-2.28966E-02	1.47826E-03	1.71909E-03
ZONE 2	-4.62712E-02	-2.67968E-02	-2.41428E-02	1.71693E-03	2.95146E-03
TOTAL *	-8.59502E-02	-4.67766E-02	-4.70394E-02	3.19518E-03	4.67055E-03
MISCHUNG 8					
ZONE 1	-7.22124E-03	-1.16865E-03	-4.89366E-03	-8.14674E-04	-3.44254E-04
ZONE 2	-3.09350E-02	-9.29388E-03	-1.93716E-02	-1.73028E-03	-5.39225E-04
ZONE 3	-3.09350E-02	-9.29388E-03	-1.93716E-02	-1.73028E-03	-5.39225E-04
TOTAL *	-6.90911E-02	-1.97564E-02	-4.36368E-02	-4.27523E-03	-1.42270E-03
MISCHUNG 9					
ZONE 1	1.95771E-03	-1.52631E-02	9.76485E-03	5.03999E-03	2.41599E-03
ZONE 2	-2.42215E-03	-7.63100E-03	2.36707E-03	1.88529E-03	9.56485E-04
ZONE 3	-2.42215E-03	-7.63100E-03	2.36707E-03	1.88529E-03	9.56485E-04
TOTAL *	-2.88661E-03	-3.05251E-02	1.44990E-02	8.81057E-03	4.32896E-03
TOTAL	2.76461E-01	3.97022E-02	2.05544E-01	1.96769E-02	1.15381E-02

*** L E C K A G E (SPEZIALGEBIETE) (R A D I A L)

GRUPPENSUMME										
GEBIETE	1	2.53645E-02	1.49007E-02	1.49007E-02	2.84098E-04	2.84098E-04	5.29529E-02	4.14453E-03	4.14454E-03	2.25318E-02
GRUPPE	1	7.56644E-03	4.14351E-03	4.14351E-03	3.57853E-04	3.57853E-04	1.18607E-02	7.43171E-04	7.43174E-04	6.93505E-03
GEBIETE	1	1.71801E-02	1.04197E-02	1.04197E-02	5.02771E-04	5.02771E-04	3.92428E-02	3.19401E-03	3.19401E-03	1.52700E-02
GRUPPE	2	5.08546E-04	2.61619E-04	2.61620E-04	9.47459E-05	9.47459E-05	1.33940E-03	1.39620E-04	1.39620E-04	3.13416E-04
GEBIETE	1	1.09473E-04	7.58989E-05	7.58990E-05	4.44338E-05	4.44338E-05	5.10061E-04	6.77337E-05	6.77337E-05	1.33191E-05

*** L E C K A G E (SPEZIALGEBIETE) (A X I A L)
 GRUPPENSUMME
 GEBIETE 1 2.15286E-02 1.40212E-02 1.40212E-02 1.71181E-03 1.71181E-03 4.61337E-02 4.19809E-03 4.19809E-03 2.90666E-02
 GRUPPE 1 7.99240E-03 5.13109E-03 5.13109E-03 6.02846E-04 6.02846E-04 1.72269E-02 1.61851E-03 1.61851E-03 1.07288E-02
 GEBIETE 1 1.33866E-02 8.79298E-03 8.79298E-03 1.08332E-03 1.08332E-03 2.86726E-02 2.56795E-03 2.56795E-03 1.82889E-02
 GRUPPE 2 2.11443E-04 1.48591E-04 1.48591E-04 2.71482E-05 2.71482E-05 4.30724E-04 3.28055E-05 3.28055E-05 2.33072E-04
 GEBIETE 1 -6.17834E-05 -5.14446E-05 -5.14446E-05 -1.50119E-06 -1.50118E-06 -1.96496E-04 -2.11731E-05 -2.11731E-05 -1.84087E-04

*** L E C K A G E (SPEZIALGEBIETE)

GRUPPENSUMME

GEBIETE 1	4.68932E-02	2.89219E-02	2.89219E-02	1.99591E-03	1.99591E-03	9.90866E-02	8.34262E-03	8.34262E-03	5.15984E-02
GRUPPE 1	1.55588E-02	9.27460E-03	9.27460E-03	2.44993E-04	2.44993E-04	2.90876E-02	2.36168E-03	2.36168E-03	1.76638E-02
GEBIETE 1	3.05667E-02	1.92127E-02	1.92127E-02	1.58609E-03	1.58609E-03	6.79153E-02	5.76196E-03	5.76196E-03	3.35589E-02
GRUPPE 2	7.19989E-04	4.10210E-04	4.10211E-04	1.21894E-04	1.21894E-04	1.77013E-03	1.72426E-04	1.72426E-04	5.46488E-04
GEBIETE 1	4.76899E-05	2.44544E-05	2.44544E-05	4.29326E-05	4.29326E-05	3.13565E-04	4.65607E-05	4.65607E-05	1.70768E-04
GRUPPE 3									
GEBIETE 1									
GRUPPE 4									
GEBIETE 1									

*** S T O E R U N G S R E C H N U G ***

DELTA(1/K) = DELTA(DIFFUSION - SCATTERGAIN + SCATTERLOSS - FISSIONGAIN + FISSIONLOSS + CAPTURE)
 DELTA(1/K) = DELTA(DIFFUSION + DEGRADATION + FISSION + CAPTURE)
 DELTA BEDEUTET 'GESTOERT - UNGESTOERT' . REAKTIVITAET RHO = 1-(1/K) , SODASS DELTA(RHO) = -DELTA(1/K)
 FISSIONGAIN = NU*FISSION*CHI/K

FISSION = FISSIONLOSS - FISSIONGAIN
 DEGRADATION = SCATTERLOSS - SCATTERGAIN
 SCATTERLOSS = REMOVAL - ABSORPTION
 ABSORPTION = FISSIONLOSS + CAPTURE

'I-GRUPPE N' : E F F E K T (IMPORTANCEVERLUST/ZUWACHS) IM GESAMTEN ENERGIEBEREICH
 B E W I R K T DURCH NEUTRONEN AUS ENERGIEGRUPPE N

'J-GRUPPE N' : E F F E K T (IMPORTANCEVERLUST/ZUWACHS) IN ENERGIEGRUPPE N
 B E W I R K T DURCH NEUTRONEN AUS GESAMTEM ENERGIEBEREICH

DIESE UNTERSCHIEDUNG IST PRIMAER NUR BEI SCATTERGAIN/FISSIONGAIN - SEKUNDAER BEI DEGRADATION/FISSION RELEVANT

'EFFEKTIVER' MULTIPLIKATIONSFAKTOR 1.00726E+00

'EFFEKTIVE' SPALTQUELLE (NORMIERUNGSINTEGRAL) 2.87281E-03

PROZENTANTEILE DER 11 ZONEN :

MISCHUNG	1	65.663
MISCHUNG	2	33.076
MISCHUNG	3	0.721
MISCHUNG	4	0.540
ZONEN	1	0.181
	2	0.359
MISCHUNG	8	0.0
ZONEN	1	0.0
	2	0.0
	3	0.0
MISCHUNG	9	0.0
ZONEN	1	0.0
	2	0.0
	3	0.0

INTEGRALE STOERUNG

STOERFALL	DELTA (1/K)	DELTA DIFFUSION	DELTA SCATTERGAIN	DELTA SCATTERLOSS	DELTA FISSIONGAIN	DELTA FISSIONLOSS	DELTA CAPTURE	DELTA DEGRADATION	D FI
1									
1-GRUPPE	7.16578E-05	-2.16651E-04	1.82191E-03	2.05987E-03	6.82630E-06	2.03134E-06	5.51442E-05	2.37960E-04	-4.79
2	1.14499E-04	-8.05774E-05	1.21723E-03	1.40877E-03	0.0	0.0	3.52938E-06	1.91546E-04	0.0
3	-5.36144E-05	-1.31405E-04	4.83296E-04	5.49013E-04	4.11412E-07	1.35697E-07	1.23484E-05	6.57172E-05	-2.75
4	3.78027E-06	-4.50379E-06	1.21386E-04	1.02039E-04	3.62668E-06	9.89576E-07	8.02674E-05	-1.93463E-05	-2.63
J-GRUPPE	6.99364E-06	-1.65607E-07	0.0	4.24474E-08	2.78821E-06	9.06069E-07	3.99895E-06	4.24474E-08	-1.88
1	1.32631E-03	-8.05774E-05	0.0	1.40877E-03	5.41489E-06	0.0	3.52938E-06	1.40877E-03	-5.41
2	-7.88540E-04	-1.31405E-04	1.21722E-03	5.49013E-04	1.41141E-06	1.35697E-07	1.23484E-05	-6.68209E-04	-1.27
3	-3.54509E-04	-4.50379E-06	4.83302E-04	1.02039E-04	0.0	9.89576E-07	3.02674E-05	-3.81262E-04	9.89
4	-1.11604E-04	-1.65607E-07	1.21386E-04	4.24474E-08	0.0	9.06069E-07	8.99895E-06	-1.21343E-04	9.06
2									
1-GRUPPE	3.58530E-05	-1.17983E-04	9.49998E-04	1.07702E-03	3.72302E-06	1.09954E-06	2.94353E-05	1.27024E-04	-2.62
2	6.08249E-05	-4.16459E-05	6.33657E-04	7.34288E-04	0.0	0.0	1.83960E-06	1.00631E-04	0.0
3	-3.00690E-05	-7.31523E-05	2.51559E-04	2.88302E-04	2.16247E-07	7.12583E-08	6.48451E-06	3.67436E-05	-1.44
4	1.32417E-06	-3.01687E-06	6.47827E-05	5.44093E-05	1.95247E-06	5.27661E-07	1.61392E-05	-1.03734E-05	-1.42
J-GRUPPE	3.77331E-06	-1.68506E-07	0.0	2.34522E-08	1.55430E-06	5.00616E-07	4.97205E-06	-2.34522E-08	-1.05
1	6.91528E-04	-4.16459E-05	0.0	7.34288E-04	2.95385E-06	0.0	1.83960E-06	7.34288E-04	-2.95
2	-4.12717E-04	-7.31523E-05	6.33655E-04	2.88302E-04	7.69172E-07	7.12583E-08	6.48451E-06	-3.45352E-04	-6.97
3	-1.83502E-04	-3.01687E-06	2.51561E-04	5.44093E-05	0.0	5.27661E-07	1.61392E-05	-1.97152E-04	5.27
4	-5.94550E-05	-1.68506E-07	6.47827E-05	2.34522E-08	0.0	5.00616E-07	4.97205E-06	-6.47592E-05	5.00
3									
1-GRUPPE	3.58536E-05	-1.17983E-04	9.49998E-04	1.07702E-03	3.72302E-06	1.09954E-06	2.94353E-05	1.27025E-04	-2.62
2	6.08255E-05	-4.16459E-05	6.33657E-04	7.34288E-04	0.0	0.0	1.83960E-06	1.00632E-04	0.0
3	-3.00690E-05	-7.31523E-05	2.51559E-04	2.88302E-04	2.16247E-07	7.12583E-08	6.48451E-06	3.67436E-05	-1.44
4	1.32417E-06	-3.01687E-06	6.47826E-05	5.44093E-05	1.95247E-06	5.27661E-07	1.61392E-05	-1.03734E-05	-1.42
J-GRUPPE	3.77331E-06	-1.68506E-07	0.0	2.34522E-08	1.55430E-06	5.00617E-07	4.97205E-06	-2.34522E-08	-1.05
1	6.91528E-04	-4.16459E-05	0.0	7.34288E-04	2.95385E-06	0.0	1.83960E-06	7.34288E-04	-2.95
2	-4.12717E-04	-7.31523E-05	6.33654E-04	2.88302E-04	7.69172E-07	7.12583E-08	6.48451E-06	-3.45351E-04	-6.97
3	-1.83502E-04	-3.01687E-06	2.51561E-04	5.44093E-05	0.0	5.27661E-07	1.61392E-05	-1.97152E-04	5.27
4	-5.94550E-05	-1.68506E-07	6.47827E-05	2.34522E-08	0.0	5.00617E-07	4.97205E-06	-6.47592E-05	5.00
4									
1-GRUPPE	5.55491E-06	-1.26714E-05	1.13089E-04	1.27969E-04	4.76448E-07	1.40710E-07	3.68235E-06	1.48797E-05	-3.35
2	7.71267E-06	-4.10740E-06	7.47176E-05	8.63214E-05	0.0	0.0	2.16260E-07	1.16038E-05	0.0
3	-2.71420E-06	-8.05408E-06	3.02239E-05	3.47986E-05	2.60387E-08	8.60101E-09	7.82692E-07	4.57463E-06	-1.74
4	8.1658E-08	-4.61057E-07	8.14787E-06	6.84608E-06	2.46107E-07	6.63932E-08	2.03072E-06	-1.30179E-06	-1.79
J-GRUPPE	4.68294E-07	-4.88800E-08	0.0	3.07861E-09	2.04302E-07	6.57159E-08	6.52681E-07	3.07861E-09	-1.38
1	8.20524E-05	-4.10740E-06	0.0	8.63214E-05	3.77761E-07	0.0	2.16260E-07	8.63214E-05	-3.77
2	-4.72801E-05	-8.05408E-06	7.47173E-05	3.47986E-05	9.86864E-08	8.60101E-09	7.82692E-07	-3.99187E-05	-9.00
3	-2.17421E-05	-4.61057E-07	3.02243E-05	6.84608E-06	0.0	6.63932E-08	2.03072E-06	-2.33782E-05	6.63
4	-7.47527E-06	-4.88800E-08	8.14787E-06	3.07861E-09	0.0	6.57159E-08	6.52681E-07	-8.14479E-06	6.57
5									
1-GRUPPE	5.55491E-06	-1.26714E-05	1.13089E-04	1.27969E-04	4.76448E-07	1.40710E-07	3.68235E-06	1.48797E-05	-3.35
2	7.71267E-06	-4.10740E-06	7.47176E-05	8.63214E-05	0.0	0.0	2.16260E-07	1.16038E-05	0.0
3	-2.71420E-06	-8.05408E-06	3.02239E-05	3.47986E-05	2.60387E-08	8.60101E-09	7.82692E-07	4.57463E-06	-1.74
4	8.1658E-08	-4.61057E-07	8.14787E-06	6.84608E-06	2.46107E-07	6.63932E-08	2.03072E-06	-1.30179E-06	-1.79
J-GRUPPE	4.68294E-07	-4.88800E-08	0.0	3.07861E-09	2.04302E-07	6.57159E-08	6.52681E-07	3.07861E-09	-1.38
1	8.20524E-05	-4.10740E-06	0.0	8.63214E-05	3.77761E-07	0.0	2.16260E-07	8.63214E-05	-3.77
2	-4.72801E-05	-8.05408E-06	7.47173E-05	3.47986E-05	9.86864E-08	8.60101E-09	7.82692E-07	-3.99187E-05	-9.00
3	-2.17421E-05	-4.61057E-07	3.02243E-05	6.84608E-06	0.0	6.63932E-08	2.03072E-06	-2.33782E-05	6.63
4	-7.47527E-06	-4.88800E-08	8.14787E-06	3.07861E-09	0.0	6.57159E-08	6.52681E-07	-8.14479E-06	6.57

EFFEKTIVE L E B E N SDAUER VON NEUTRONEN

MISCHUNG	1	2.632850E-07		
MISCHUNG	2	9.150381E-08		
MISCHUNG	3	1.852403E-08		
MISCHUNG	4	2.406015E-08		
ZONE	1	6.749783E-09	2	1.731037E-08
MISCHUNG	8	5.807646E-09		
ZONE	1	3.424292E-10	2	2.732609E-09
			3	2.732610E-09
MISCHUNG	9	3.641592E-08		
ZONE	1	2.332080E-08	2	6.547562E-09
			3	6.547555E-09
SUMME		4.395965E-07		

```
*****  
*  
* ENDE DER *  
* *  
* A U D I 3 - *  
* *  
* RECHNUNG *  
* *  
*****
```

```

*KSIOX DBN=EXTINP, PMN=AUDI PR, TYP=CARD
1 -1 3 4 2 1.007257 1.
0
+++++
EINGABE FUER AUPRCL
+++++

*KSIOX DBN=AUDI INP, PMN=AUDI PR, TYP=CARD
* $ #####
* $ # K1: #
* $ #####
'KONTPARM'
* $ IGEO NX NY NZ NGP NM
3 18 18 19 4 9
* $ #####
* $ # K2: #
* $ #####
* $ IZON NVOL
2 2
* $ IPR1 IRST
1 0
* $ NORM NGLB NLEK NLOK NAUS NSTR IKEF
1 -1 2 0 0 2 0
* $ #####
* $ # K3: #
* $ #####
'NORMPARM'
* $ NM(1)
0
* $ XK XK1
1. 0.
* $ KETTE(16)
'NUSF
* $ #####
* $ # K6: #
* $ #####
'NGLBPARM'
* $ NFINT NFAV NR NFRA MFRA NRS
2 2 2 2 0
* $ #####
* $ # K9: #
* $ #####
'RATEN
* $ #####
* $ # K11: #
* $ #####
* $ KETTE(16)
'NUSF
* $ KETTE(16)
'SREM
* $ #####
* $ # K431: #
* $ #####
'LECKAGEN'
* $ ILEK
2

```

```

*$ #####
*$ # K433: #
*$ #####
*$ $ KETTE(16) KETTE(16) } STR
   1 STR
*$ #####
*$ # K68: #
*$ #####
'PERTPARM'
*$ NSTRI NSTRL NBETA NLIFE
   2 0 0 2
*$ #####
*$ # K70: #
*$ #####
'INTPBLCK'
*$ #####
*$ # K97: #
*$ #####
'ENDE'
*$ $

```

```

*KSI0X DBN=INTPBLCK, TYP=CARD, PMN=AUDI PR

```

```

*$ #####
*$ # K72: #
*$ #####
'INTPER'
*$ IZ01 NSF
   9 10
*$ #####
*$ # K74: #
*$ #####
*$ NAXB NEL NTY
   11 22 9
*$ #####
*$ # K76: #
*$ #####
'ZONE 1
*$ IX IY L1 L2 IZ1 IZ2 ITYP N
   1 1 1 5 0 5 10 1 1 1
*$ #####
*$ # K81: #
*$ #####
*$ MO M(1)
   1 10
*$ #####
*$ # K83: #
*$ #####
*$ ISF(1)
   2
*$ #####
*$ # K85: #
*$ #####
*$ LSF(1) LSF(2)
   1 10
*$ #####

```

```
'ZONE' 2
1 6 2 2 5 15 4 1
1 10
2
2 10
*$ #####
'ZONE' 3
4 6 2 2 5 15 3 1
1 10
2
3 10
*$ #####
'ZONE' 4
3 7 1 0 5 15 1 1
1 10
2
4 10
*$ #####
'ZONE' 5
5 7 1 0 5 15 1 1
1 10
2
5 10
*$ #####
'ZONE' 6
1 8 1 7 5 15 5 1
1 10
2
6 10
*$ #####
'ZONE' 7
3 10 1 1 5 15 2 1
1 10
2
7 10
*$ #####
'ZONE' 8
6 10 1 1 5 15 2 1
1 10
2
8 10
*$ #####
'ZONE' 9
1 1 5 0 10 15 1 1
1 10
2
9 10
'ENDEENDE'
```

FELDBELEGUNG MAXIMAL 79900 4-BYTE-WORTE
KONTPARM KENNWORT GEFUNDEN ++++++
NORMPARM KENNWORT GEFUNDEN AUD13 PROTOKOLL-AUSGABE
NGLBPARM KENNWORT GEFUNDEN ++++++
LECKAGEN KENNWORT GEFUNDEN
PERTPARM KENNWORT GEFUNDEN
INTPBLCK KENNWORT GEFUNDEN
INTPER KENNWORT GEFUNDEN
CPU-ZEIT(SEK) 0.031
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE M I X Z O N : 2498 4-BYTE-WORTE VON 202 BIS 2699
CPU-ZEIT(SEK) 0.108
KS-WARNING IN KSDBG. BLKSIZE FOR UNIT FT10F001 UNFAVOURABLE.
BLKSIZE SHOULD BE N*4096/BUFNO.-8 (BUFNO=NUMBER OF BUFFERS)
KS-MESSAGE: BUFFER OPENED FOR FT10F001.
CPU-ZEIT(SEK) 0.199
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE V O L U M E : 624 4-BYTE-WORTE VON 3279 BIS 3902
CPU-ZEIT(SEK) 0.072
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE W Q I N : 673 4-BYTE-WORTE VON 3305 BIS 3977
CPU-ZEIT(SEK) 0.004
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE F L I N T : 1172 4-BYTE-WORTE VON 3978 BIS 5149
CPU-ZEIT(SEK) 0.634
FLUSSWERTE - NORMIERT MIT DEM FAKTOR 4.96310E-01 - ALS BLOCK FLUN3DIM
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE R A T E N : 545 4-BYTE-WORTE VON 4248 BIS 4960
CPU-ZEIT(SEK) 0.184
FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE X L E K : 3435 4-BYTE-WORTE VON 3978 BIS 6116
CPU-ZEIT(SEK) 0.714
GRUPPENPAAR 1 1 CPU-ZEIT(SEK) 0.212
GRUPPENPAAR 1 2 CPU-ZEIT(SEK) 0.185
GRUPPENPAAR 1 3 CPU-ZEIT(SEK) 0.101
GRUPPENPAAR 1 4 CPU-ZEIT(SEK) 0.101
GRUPPENPAAR 2 1 CPU-ZEIT(SEK) 0.184
GRUPPENPAAR 2 2 CPU-ZEIT(SEK) 0.211
GRUPPENPAAR 2 3 CPU-ZEIT(SEK) 0.102
GRUPPENPAAR 2 4 CPU-ZEIT(SEK) 0.102
GRUPPENPAAR 3 1 CPU-ZEIT(SEK) 0.185

GRUPPENPAAR 3 2 CPU-ZEIT(SEK) 0.185
 GRUPPENPAAR 3 3 CPU-ZEIT(SEK) 0.211
 GRUPPENPAAR 3 4 CPU-ZEIT(SEK) 0.101
 GRUPPENPAAR 4 1 CPU-ZEIT(SEK) 0.185
 GRUPPENPAAR 4 2 CPU-ZEIT(SEK) 0.185
 GRUPPENPAAR 4 3 CPU-ZEIT(SEK) 0.000
 GRUPPENPAAR 4 4 CPU-ZEIT(SEK) 0.211

FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE P E R T R B : 2676 4-BYTE-WORTE VON 3978 BIS 6653
 CPU-ZEIT(SEK) 2.477

FELDBELEGUNG DURCH ROUTINE P E R A U D : 1542 4-BYTE-WORTE VON 3978 BIS 5519
 CPU-ZEIT(SEK) 0.051

<==KS-MESSAGE: MODULE AUD13 HAS FINISHED ON LEVEL 2; T(CPU)= 4.52 SEC. ; T(ELAPSED)= 34. SEC.

KS-MESSAGE: BUFFER DELETED FOR FT10F001.

<==KS-MESSAGE: MODULE AUPRCL HAS FINISHED ON LEVEL 1; T(CPU)= 0.52 SEC. ; T(ELAPSED)= 8. SEC.

KS-MESSAGE: JOB HAS FINISHED WITHOUT ERRORS.

