

C-Stahl-Ausrüstungen des SKL und der lokalen Korrosion der Dampferzeuger vor [26].

Eingegangen am 28. 2. 1989

**Literatur**

[1] S. Köhler, M. Müller, *Teploehnergetika* (1986), H. 9, S. 74 (russ.).  
 [2] S. Köhler, Überwachung des Korrosionsverhaltens im KKW Greifswald 1983–1986, IFE, Bericht Nr. 16.5986.86 F, Leipzig 1986.  
 [3] S. Busek, A. Bursik, *VGB-Kraftwerkstechnik* 59 (1979), S. 720.  
 [4] V. V. Gerasimov et al., (Wasserregime von Kernkraftwerken), Moskau 1976, S. 306 (russ.).  
 [5] S. Köhler, M. Müller, *Energietechnik* 37 (1987), S. 365.  
 [6] S. Köhler, *VGB-Kraftwerkstechnik* 67 (1987), S. 64.  
 [7] E. Gläser, Lokale Korrosion an austenitischen Bauteilen der Dampferzeuger, VE Kombinat Kernkraftwerke, Bericht Nr. 1202 5023, Rheinsberg 1987.  
 [8] K. Schlaubitz, Phänomenologie sowie Mechanismen des lokalen Korrosionsangriffes an Nadelrohren der Dampferzeuger des Blockes 1, ZFW, Bericht Nr. D 6/9/85, Dresden 1985.  
 [9] P. Cohen, *Nucl. Technol.* 55 (1981), S. 105.

[10] G. Wendrich, Ergebnisse der Untersuchungen an der Bypass-Strecke im DE 2, Block 4 des KKW Greifswald, IFE, Bericht Nr. 16.1381.88 G, Leipzig 1988.  
 [11] P. Tylki et al., *Teploehnergetika* (1988), H. 5, S. 71 (russ.).  
 [12] P. G. Krutnikov, *Teploehnergetika* (1981), H. 2, S. 58 (russ.).  
 [13] V. V. Voronov, U. E. Kirillina, *Teploehnergetika* (1985), H. 5, S. 27 (russ.).  
 [14] I. D. Dobrevskij et al., *Teploehnergetika* (1983), H. 7, S. 68 (russ.).  
 [15] V. A. Mamet et al., *Teploehnergetika* (1983), H. 2, S. 20 (russ.).  
 [16] G. P. Sutotskij et al., *Trudy ZKTI* (1983), H. 205, S. 59 (russ.).  
 [17] B. N. Kryzanoskij et al., *Ehlektr. Stantsii* 30 (1984), H. 8, S. 27 (russ.).  
 [18] A. Langner, K. Pflugbeil, S. Köhler, *VGB-Kraftwerkstechnik* 68 (1988), S. 945.  
 [19] K.-H. Walter, K. Kuhnke, *VGB-Kraftwerkstechnik* 68 (1988), S. 1305.  
 [20] P.-H. Effertz et al., *Der Maschinenschaden* 51 (1978), S. 97.  
 [21] V. A. Mokin, V. F. Bystrov, L. V. Kusiniseva, *Teploehnergetika* (1981), H. 12, S. 30 (russ.).  
 [22] L. N. Moskvina, A. A. Efimov, *Teploehnergetika* (1985), H. 11, S. 60 (russ.).  
 [23] G. Kh. Krutilin et al., *Teploehnergetika* (1985), H. 5, S. 74 (russ.).  
 [24] A. S. Monakhov, *Teploehnergetika* (1982), H. 12, S. 55 (russ.).  
 [25] A. S. Monakhov et al., *Teploehnergetika* (1984), H. 2, S. 41 (russ.).  
 [26] G. H. Filippov et al., *Teploehnergetika* (1982), H. 9, S. 20 (russ.).

Kernenergie	33	(1990)	4	165–170
-------------	----	--------	---	---------

**Zur automatisierten Bereitstellung neutronenphysikalischer Weniggruppenparameter für die makroskopische Berechnung von Spaltzonen thermischer Reaktoren I**

G. Agthe, H.-J. Kretschmar

(VEB Bergmann-Borsig, Stammbetrieb des Kombines Kraftwerksanlagenbau, Berlin, und Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kernforschung, Bereich Reaktorphysik, Rossendorf bei Dresden <sup>1)</sup>)

**(E 21.00; F 51.00) INIS DESCRIPTORS:**

wwer-3 reactor: M1; wwer-5 reactor: M2; reactor cores; computer calculations; data base management: M3, Q1, Q2; data processing; data compilation; multigroup theory; group constants: Q3; cross sections.

Vorgestellt wird das MAGRU-Format zur Speicherung neutronenphysikalischer Weniggruppenparameter. Die Gruppenparametersätze einer MAGRU-Bibliothek enthalten alle wichtigen Neutronenquerschnitte und Gruppengrößen, einschließlich Daten verzögerter Neutronen, die in makroskopischen Berechnungen der Spaltzone thermischer Reaktoren benötigt werden. Zum Aufbau und zur Verwaltung solcher Bibliotheken steht das Programm PREPAR bereit. Es realisiert außerdem Verarbeitungsfunktionen wie Homogenisierung, Gruppenreduktion und Parametrisierung. Fertige Gruppenparameterbibliotheken existieren für die Reaktortypen WWER-440 und WWER-1000. Für den direkten Zugriff aus Nutzerprogrammen sind spezielle Anwenderprogramme vorhanden.

**1. Einleitung**

Die Erarbeitung eines Programmkomplexes zur neutronenphysikalischen Berechnung von Kernreaktoren des Typs WWER-1000 [1] sowie die Entwicklung von zwei- und dreidimensionalen Programmen für die stationäre und instationäre Modellierung von Spaltzonen thermischer Reaktoren, wie FLEX [2], DERAB [3], HEXNOD23 [4], HEXDYN3D und DYN3D [5, 6], RHEIN [7] führte zu der Aufgabenstellung, eine flexible und vor allem effektive

Bereitstellung der dafür unumgänglichen neutronenphysikalischen Daten zu realisieren. Benötigt werden die üblichen makroskopischen Gruppenparameter

- Diffusionskonstante,
- Absorptionsquerschnitt,
- Neutronenproduktionsquerschnitt,
- Energieproduktionsquerschnitt,
- Streuübergangsmatrix

in Abhängigkeit von

- Abbrand,
- Moderatorzustand,
- Brennstofftemperatur,
- Borsäurekonzentration.

Auch Daten verzögerter Neutronen, wie

- relative Neutronengeschwindigkeiten,
- Anteile der emittierten verzögerten Neutronen,
- Zerfallskonstanten der Mutterkerne,

sind insbesondere für reaktordynamische Berechnungen bereitzustellen.

Es geht vor allem darum, diese Parameter in einer für den Nutzer übersichtlichen Form aufzubereiten, zu speichern und für die automatisierte Weiterverarbeitung verfügbar zu machen. Der vorliegende Beitrag und die Arbeit [8] beinhalten einen Lösungsweg zu dieser Problematik.

Während Teil I der Publikation eine Beschreibung des MAGRU-Formates für Gruppenparametersätze enthält, wendet sich Teil II der Bearbeitung und Verwaltung von Gruppenparameterbibliotheken zu.

<sup>1)</sup> Anschrift: Postfach 19, Dresden, DDR-8051.

G. Agthe zeichnet für die Konzipierung des MAGRU-Formates sowie für Bearbeitung der Verarbeitungs- und Verwaltungsfunktionen des Programmes PREPAR verantwortlich. Die rechen-technische Realisierung auf ESER-Rechnern und die Kopplung an Anwenderprogramme erfolgte durch H.-J. Kretschmar.

## 2. Das MAGRU-Format für Gruppenparameterbibliotheken

### 2.1 Aufbau von Gruppenparametersätzen im MAGRU-Format

Die Bereitstellung der makroskopischen Weniggruppenparameter erfolgt in sogenannten Gruppenparametersätzen. Ein Gruppenparametersatz wird gebildet für:

- einen Reaktortyp,
- einen Kassettyp bzw. Reflektor dieses Reaktortypes,
- eine Zone, d. h. ein homogenisiertes Teilgebiet des Kassettyps,
- einen bestimmten Zustand (Moderator, Brennstoff, Borsäure),
- bestimmte Spaltgiftkonzentrationen (Xenon und Samarium),
- determinierte Spektrumsbedingungen.

Er besteht aus den drei Hauptteilen

- Vorblock,
- Gruppenparameterblock,
- Koeffizientenblöcke,

die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden sollen. Zur Identifikation wird jedem Gruppenparametersatz ein Name zugeordnet.

2.1.1. *Vorblock.* Der Vorblock eines Gruppenparametersatzes (Tab. 1) enthält Variable zur Identifikation für:

- Reaktortyp,
- Kassettyp,
- Zonentyp.

Tab. 1. Aufbau des Vorblocks

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Bedeutung
1	KEN	Kennzeichen für Reaktortyp
2	NOG	Energiegruppenzahl
3	NOA	Abbrandstützstellenzahl
4	MUL	Multiplikationstyp
5	NZP	Zusatzparameterzahl
6	KTY	Kassettyp (gemäß Vereinbarung)
7	KZO	Zonentyp (gemäß Vereinbarung)
8	TM0	Moderatortemperatur $T_M^0$ , in K
9	TB0	Brennstofftemperatur $T_B^0$ , in K
10	CB0	Borsäurekonzentration $C_B^0$ , in g $H_3BO_4$ /kg $H_2O$
11	RM0	Moderatordichte $\rho_M^0$ , in g/cm <sup>3</sup>
12	PM0	Moderatordruck $p_M^0$ , in MPa
13	IGI	Giftkennzeichen
14	ICL	Clusterkennzeichen
15	ISP	Spektrumskennzeichen
16	KTM	$T_M$ -Abhängigkeit
17	KTB	$T_B$ -Abhängigkeit
18	KCB	$C_B$ -Abhängigkeit
19	KRM	$\rho_M$ -Abhängigkeit
20	KXE	Xe-Abhängigkeit
21	KSM	Sm-Abhängigkeit
22	KIS	indirekte Spektrumsabhängigkeit
23	KDS	direkte Spektrumsabhängigkeit
24	frei	-
25	frei	-

Konnektoren, welche die Speicherung von Koeffizientenblöcken für die angegebenen Abhängigkeiten anzeigen

Außerdem sind Informationen über:

- Anzahl der Energiegruppen,
- Anzahl der Abbrandzustände, für die Gruppenparameter vorhanden sind,
- Zusatzparameterzahl,
- Multiplikationseigenschaften

zu finden. Für welchen Bezugszustand ( $V^0$ ) die Größen im Gruppenparameterblock gespeichert sind, wird durch die Größen

- Moderatordruck  $p_M^0$ ,
- Moderatortemperatur  $T_M^0$ ,
- Moderatordichte  $\rho_M^0$ ,
- Brennstofftemperatur  $T_B^0$ ,
- Borsäuremassenkonzentration  $C_B^0$ ,
- Giftkennzeichen für Angaben über Spaltgiftkonzentrationen Xenon und Samarium,
- Clusterkennzeichen für Angaben über die Clusterbehandlung,
- Spektrumskennzeichen für Angaben zu den Spektrumsbedingungen

festgelegt. Durch Konnektoren wird danach angezeigt, für welche Abhängigkeiten Koeffizientenblöcke vorhanden sind.

2.1.2. *Gruppenparameterblock.* Der Gruppenparameterblock (Tab. 2) beginnt mit den spezifischen Abbrandwerten, für die die neutronenphysikalischen Größen vorliegen. Nach dem Flußverhältnis, das als Spektrumscharakteristik dient, folgen die Gruppenparameter:

- mittlere Neutronenflüsse,
  - Diffusionskonstante,
  - Absorptionsquerschnitt,
  - Removalquerschnitt,
  - Streuquerschnitt,
  - Streuübergangsmatrix
- sowie bei multiplizierenden Gebieten
- Spaltquerschnitt,
  - Energieproduktionsquerschnitt,
  - Neutronenproduktionsquerschnitt,
  - Spaltspektrum.

Als Zusatzparameter sind die in dynamischen Spaltzonenmodellen benötigten neutronenkinetischen Größen

- relative Neutronengeschwindigkeit  $v_g$ ,
- Spaltspektrum der verzögerten Neutronen  $\chi_g^v$ ,
- Anteile der in den Gruppen  $j = 1, \dots, 6$  emittierten verzögerten Neutronen  $\beta_{gj}$ ,
- Zerfallskonstanten der Mutterkerne  $\lambda_{gj}$  für die Gruppen  $j = 1, \dots, 6$

enthalten. Darüber hinaus können ohne großen Aufwand weitere interessierende Größen als Zusatzparameter aufgenommen werden. Alle Parameter sind für jeden Abbrandzustand  $A_n$  und ausgenommen  $\zeta_{AS}^0$  für jede Energiegruppe  $g = 1, \dots, NOG$  bei dem im Vorblock angegebenen Bezugszustand ( $V^0$ ) abgespeichert.

2.1.3. *Koeffizientenblöcke zur Parametrisierung.* Nach Vorblock und Gruppenparameterblock können Blöcke mit Parametrisierungskoeffizienten folgen. Vorgesehen sind Koeffizientenblöcke zur Beschreibung der Abhängigkeiten von:

- Moderatortemperatur  $T_M$ ,
- Moderatordichte  $\rho_M$ ,
- Brennstofftemperatur  $T_B$ ,
- Borsäurevolumenkonzentration  $C_{BV}$ ,
- Xenonkonzentration  $C_{Xe}$ ,
- Samariumkonzentration  $C_{Sm}$ ,
- effektives Flußverhältnis  $\chi$ ,
- Flußverhältnis  $\zeta$ .

Tab. 2. Aufbau des Gruppenparameterblocks

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Länge in Worten	Maßeinheit	Bedeutung
1	$A_n$	NOA	MW d/kg U	spezifischer Abbrand
2	$\epsilon_{AS}^0$	NOA	—	Flußverhältnis
3	$\Phi_g$	NOA · NOG	—	mittlere Neutronenflüsse (einheitlich normiert)
4	$D_g$	NOA · NOG	cm	Diffusionskonstante
5	$\Sigma_g^a$	NOA · NOG	1/cm	Absorptionsquerschnitt
6	$\Sigma_g^r$	NOA · NOG	1/cm	Removalquerschnitt
7	$\Sigma_g^s$	NOA · NOG	1/cm	Streuquerschnitt
8	$\Sigma_{gk}^s$	NOA · NSC	1/cm	Streuübergangsquerschnitt (keine Aufwärtsstreuung) NSC = NOG · (NOG - 1)/2
9	$\Sigma_g^f$	NOA · NOG	1/cm	Spaltquerschnitt
10	$\Sigma_g^e$	NOA · NOG	MW s/cm · 10 <sup>13</sup>	Energieproduktionsquerschnitt $\Sigma_g^e = \epsilon \Sigma_g^f$
11	$\Sigma_g^v$	NOA · NOG	1/cm	Neutronenproduktionsquerschnitt $\Sigma_g^v = (v \Sigma_g^f)_g$
12	$\chi_g$	NOA · NOG	—	Spaltspektrum
13	Zusatzparameter	NOA · NOG		makroskopische Gruppengrößen gemäß Vereinbarung
...		...		
12 + NZP		NOA · NOG		

Welche der Koeffizientenblöcke im Gruppenparametersatz vorliegen, ist durch die zugehörigen Konnektoren im Vorblock festgelegt.

Die Koeffizientenblöcke sind für alle Abhängigkeiten einheitlich aufgebaut (Tab. 3). Sie enthalten zunächst Informationen über:

- Anzahl der Koeffizienten pro Gruppengröße,
- Anzahl der Zusatzkoeffizienten<sup>1)</sup>,

Tab. 3. Aufbau eines Koeffizientenblocks für die Parametrisierung

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Länge in Worten	Bedeutung
01	NKO	1	Anzahl der Koeffizienten pro Gruppengröße
	NKZ	1	Anzahl der Zusatzkoeffizienten
	$V_{min}$	1	Wertebereich der Variablen $V_{min} \leq V \leq V_{max}$
	$V_{max}$	1	
	$A_{min}$	1	Wertebereich des spezifischen Abbrandes $A_{min} \leq A \leq A_{max}$
	$A_{max}$	1	
02	ZKO	NKZ	Zusatzkoeffizienten zur Korrektur des Flußverhältnisses $c_i, d_i$
	Koeffizienten für		
1	$\Phi_g$	NKO · NOG	Parametrisierungskoeffizienten $a_i, b_i, c_i$ für alle Gruppenparameter in der Reihenfolge der Speicherung der Gruppengrößen (gemäß Tab. 2)
2	$D_g$	NKO · NOG	
3	$\Sigma_g^a$	NKO · NOG	
4	$\Sigma_g^r$	NKO · NOG	
5	$\Sigma_g^s$	NKO · NOG	
6	$\Sigma_{gk}^s$	NKO · NSC	
7	$\Sigma_g^f$	NKO · NOG	
8	$\Sigma_g^e$	NKO · NOG	
9	$\Sigma_g^v$	NKO · NOG	
10	$\chi_g$	NKO · NOG	
11	Zusatzparameter	...	
...		...	
10 + NZP		NKO · NOG	

<sup>1)</sup> Eine Erläuterung der Zusatzkoeffizienten folgt im Unterabschnitt Spektrumsbedingungen.

- Wertebereich der parametrisierten Größe (V), deren Abhängigkeit beschrieben wird (minimaler und maximaler Wert),
- Abbrandbereich, für den die Parametrisierung gilt (minimaler und maximaler Wert).

Es schließen sich die Zusatzkoeffizienten<sup>1)</sup>, falls vorhanden, an. Die eigentlichen Korrektorkoeffizienten für die Gruppenparameter (einschließlich für die Zusatzparameter) folgen danach in der gleichen Reihenfolge, wie sie im Gruppenparameterblock (vgl. Tab. 2) angeordnet sind.

### 2.2. Das Parametrisierungsmodell

Die Abhängigkeit der Gruppenparameter von den angegebenen Zustandsgrößen wird durch analytische Ansätze erfaßt. Durch eine geeignete Wahl des Parametrisierungsmodells für die vorliegende vieldimensionale Abhängigkeit ist eine kompakte Darstellung und eine wesentliche Verdichtung der Eingangsdaten von Reaktorberechnungsprogrammen möglich.

Die Parametrisierungsvorschrift für einen Gruppenparameter  $\Sigma$ , dessen Werte  $\Sigma_{AS}^0$  für diskrete Abbrandzustände  $A_n$  beim Bezugszustand (V)<sup>0</sup> und bei asymptotischen Spektrumsbedingungen  $\epsilon_{AS}^0$  im Gruppenparameterblock gespeichert sind, lautet

$$\Sigma = \Sigma_{AS}^0 K_{TM} K_{RM} K_{TB} K_{CB} K_{XE} K_{SM} + K_{IS} + K_{DS} \quad (1)$$

Das heißt, die einzelnen Abhängigkeiten (V) werden durch die Korrekturfaktoren bzw. -summanden  $K_{(V)}$  separat berücksichtigt. Neben der jeweiligen Variablen (V) enthalten diese auch den spezifischen Abbrand A, so daß zweidimensionale Abhängigkeiten  $K_{(V)} = K_{(V)}(V, A)$  vorliegen.  $\Sigma_{AS}^0$  ist der für einen gegebenen Abbrand A interpolierte Wert.<sup>2)</sup> Zu den Korrekturen  $K_{(V)}$  werden in den folgenden Abschnitten Erläuterungen gegeben. Eine darüber hinausgehende Darstellung befindet sich in [9], [12], [13].

Zur Übersicht sind in Tab. 4 ihre Berechnungsvorschriften zusammengestellt. Die angegebenen Koeffizienten  $a_i, b_i, c_i$  sind in den jeweiligen Koeffizientenblöcken abgespeichert.

<sup>2)</sup> Für dessen Berechnung steht ein Unterprogramm mit Linear-, Lagrange- und Splineinterpolation [10] bereit.

Tab. 4. Parametrisierungsmodell für makroskopische Gruppenparameter

$$\Sigma = \Sigma_{AS}^0 K_{TM} K_{RM} K_{TB} K_{CB} K_{XE} K_{SM} + K_{IS} + K_{DS}$$

Variable (V)	Maßeinheit	Parametrisierungsvorschrift	Parametrisierungskoeffizienten $a_i, b_i, c_i$
$T_M$	K	$K_{TM} = 1 + \alpha_{TM} \left( \frac{1}{\sqrt{T_M}} - \frac{1}{\sqrt{T_M^0}} \right)$	$\alpha_{TM} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$
$\rho_M$	g/cm <sup>3</sup>	$K_{RM} = 1 + \alpha_{RM}(\rho_M - \rho_M^0) + \beta_{RM}(\rho_M - \rho_M^0)^2$	$\alpha_{RM} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$ $\beta_{RM} = b_0 + b_1 A + b_2 A^2$
$T_B$	K	$K_{TB} = 1 + \alpha_{TB}(\sqrt{T_B} - \sqrt{T_B^0})$	$\alpha_{TB} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$
$C_{BV}$	g/l	$K_{CB} = 1 + \alpha_{CB}(C_{BV} - C_{BV}^0) + \beta_{CB}(C_{BV} - C_{BV}^0)^2$	$\alpha_{CB} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$ $\beta_{CB} = b_0 + b_1 A + b_2 A^2$
$C_{Xe}$	10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup>	$K_{XE} = 1 + \alpha_{XE}(\sigma_{iXe} C_{Xe} - \sigma_{iXe}^0 C_{Xe}^0)$	$\alpha_{XE} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$
$C_{Sm}$	10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup>	$K_{SM} = 1 + \alpha_{SM}(\sigma_{iSm} C_{Sm} - \sigma_{iSm}^0 C_{Sm}^0)$	$\alpha_{SM} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$
$\chi$	-	$K_{IS} = \alpha_{IS}(\chi - \xi_{AS}^0) + \beta_{IS}(\chi - \xi_{AS}^0)^2$	$\alpha_{IS} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2 + a_3 A^3$ $\beta_{IS} = b_0 + b_1 A + b_2 A^2$
$\xi, \chi$	-	$K_{DS} = \alpha_{DS}(\xi_{(V)} - \chi) + \beta_{DS}(\xi_{(V)} - \chi)^2 + \gamma_{DS}(\xi_{(V)} - \chi)(\chi - \xi_{AS}^0)$	$\alpha_{DS} = a_0 + a_1 A + a_2 A^2$ $\beta_{DS} = b_0 + b_1 A + b_2 A^2$ $\gamma_{DS} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2$

2.2.1. *Moderatorzustand.* Gemäß Tab. 4 kann ein vom Bezugszustand abweichender Moderatorzustand durch die Korrekturfaktoren  $K_{TM}$  und  $K_{RM}$  berücksichtigt werden. Liegt der Moderator als unterkühlte bzw. siedende Flüssigkeit oder als überhitzter bzw. trocken gesättigter Dampf vor und der Druck bleibt konstant, so führt eigenen Erfahrungen nach eine Korrektur über die Dichte ( $K_{RM}$ ) zu den genauesten Ergebnissen.<sup>3)</sup> Verändert sich jedoch der Moderatordruck, muß die vorliegende thermodynamische Abhängigkeit über die Temperatur und Dichte in der Form  $\Sigma = \Sigma(T_M, \rho_M)$  verwendet werden. Eine Parametrisierung des Moderatordruckes  $p_M$  ist im vorliegenden Parametrisierungsmodell nicht vorgesehen. Liegt Naßdampf vor, sind prinzipiell  $T_M$  und  $\rho_M$  zur Korrektur zu benutzen.

Zur Berechnung der Dichte  $\rho_M$  aus  $p_M$  und  $T_M$  für Wasser stehen Stoffwert-Unterprogramme aus den Bibliotheken PROP67 und PROP63 [10, 11] zur Verfügung.

Die Bezugswerte  $T_M^0$  und  $\rho_M^0$  sind dem Vorblock zu entnehmen.

2.2.2. *Brennstofftemperatur.* Vom vorliegenden Parametrisierungsmodell hängt es ab, welcher Wert für die Bezugstemperatur  $T_B^0$  in die Korrekturgleichung (Tab. 4) einzusetzen ist:

1. Die Parametrisierungskoeffizienten wurden für einen festen Ausgangszustand gebildet. Es ist der Wert des Vorblockes für  $T_B^0$  einzusetzen.

2. Die Berechnung der Koeffizienten erfolgte für Abweichungen von der Moderatortemperatur. Für  $T_B^0$  ist der *aktuelle* Wert der Moderatortemperatur  $T_M$  einzusetzen.

2.2.3. *Borsäurekonzentration.* In der Berechnungsgleichung des Korrektorkoeffizienten  $K_{CB}$  (Tab. 4) zur Berücksichtigung des Borsäuregehaltes werden die Borsäurevolumenkonzentrationen  $C_{BV}$  und  $C_{BV}^0$  verwendet. Untersuchungen zeigen, daß über die Volumenkonzentrationen eine genauere Parametrisierung möglich ist. Da im Vorblock die Bezugskonzentration  $C_B^0$  massenspezifisch abgespeichert ist, muß  $C_{BV}^0$  zuvor mit der ebenfalls im Vorblock enthaltenen Bezugsdichte über die Beziehung  $C_{BV}^0 = C_B^0 \rho_M^0$  berechnet werden. Ebenso ist mit  $C_{BV}$  zu verfahren. Für deren Umrechnung ist jedoch die *aktuelle* Dichte des Moderators  $\rho_M$  zu verwenden.

2.2.4. *Spaltgiftkonzentrationen Xenon und Samarium.* In den Korrekturgleichungen von Tab. 4 stellt  $\sigma_i$  den effektiven, auf die

thermische Gruppe bezogenen mikroskopischen Absorptionsquerschnitt des jeweiligen Spaltgiftes dar. Gemäß dem im Vorblock enthaltenen Giftkennzeichen können sich die Parametrisierungen auf folgende Bezugskonzentrationen beziehen:

$$\begin{aligned} \text{IGI} = 1: & C_{Xe}^0 = 0, & C_{Sm}^0 &= 0, \\ \text{IGI} = 2: & C_{Xe}^0 = C_{Xe}^\infty(A), & C_{Sm}^0 &= C_{Sm}^\infty(A), \\ \text{IGI} = 3: & C_{Xe}^0 = C_{Xe}^\infty(A), & C_{Sm}^0 &= 0, \\ \text{IGI} = 4: & C_{Xe}^0 = 0, & C_{Sm}^0 &= C_{Sm}^\infty(A), \end{aligned}$$

wobei  $C_{Xe}^\infty$  und  $C_{Sm}^\infty$  die stationären Konzentrationen sind.

Die Werte  $C_{Xe}^\infty$ ,  $C_{Sm}^\infty$  und  $\sigma_{iXe}^0$ ,  $\sigma_{iSm}^0$  sind dem zugehörigen Spaltgift-datensatz zu entnehmen und für den gegebenen Abbrand  $A$  zu interpolieren.

Spaltgift-datensätze sind eigenständige Datensätze, die in einer separaten Bibliothek gespeichert werden. Ihre Bildung und Verarbeitung realisiert das in dieser Arbeit nicht behandelte Programm GIFPAR.

2.2.5. *Spektrumsbedingungen.* Die in Tab. 4 angegebenen Parametrisierungsvorschriften zur Berücksichtigung spektraler Störungen entsprechen dem in [12] und [13] erläuterten Modell.

Äußere Einflüsse oder Zustandsänderungen, die sich über das Neutronenflußspektrum auf die makroskopischen Weniggruppenparameter als indirekter Langzeiteinfluß auswirken (Nuklid- und Weniggruppenlangzeiteffekte), werden durch die Parametrisierung als indirekte Spektrumsabhängigkeit berücksichtigt. In der Berechnungsgleichung für den Korrektionssummanden  $K_{IS}$  stellt  $\chi$  den aktuellen Wert für das effektive Flußverhältnis dar, während  $\xi_{AS}^0$  das im Gruppenparameterblock gespeicherte asymptotische Flußverhältnis ist, das für den gegebenen Abbrand  $A$  interpoliert werden muß.

Weichen dazukommend die aktuellen Werte für  $\chi$  und  $\xi$  voneinander ab, muß *außerdem* die direkte Spektrumsabhängigkeit (momentaner Weniggruppeneffekt) durch den Korrektionssummanden  $K_{DS}$  beachtet werden. In dessen Gleichung ist für  $\xi_{(V)}$  ein nach der Beziehung

$$\xi_{(V)} = \xi - (\xi_{AS} - \xi_{AS}^0) \tag{2}$$

mit

$$\xi_{AS} = \xi_{AS}^0 + \alpha_{TM} + \alpha_{RM} + \alpha_{TB} + \alpha_{CB} + \alpha_{XE} + \alpha_{SM} \tag{3}$$

berechneter Wert einzusetzen. Es wird damit die bereits in den Korrektionsfaktoren  $K_{(V)}$  erfaßte Wirkung der Zustandsgrößen auf das Spektrum wieder herauskorrigiert. Wie Tab. 5 zeigt, erfolgt die

<sup>3)</sup> Die Temperaturabhängigkeit ist dann implizit mit in der Dichtekorrektur enthalten.

Tab. 5. Parametrisierungsmodell für das asymptotische Flußverhältnis

$\xi_{(V)} = \xi - (\xi_{AS} - \xi_{AS}^0)$   
mit  
 $\xi_{AS} = \xi_{AS}^0 + \kappa_{TM} + \kappa_{RM} + \kappa_{TB} + \kappa_{CB} + \kappa_{XE} + \kappa_{SM}$

Variable (V)	Maßeinheit	Parametrisierungsvorschrift	Parametrisierungskoeffizienten $c_i$ und $d_i$
$T_M$	K	$\kappa_{TM} = \gamma_{TM} \left( \frac{1}{\sqrt{T_M}} - \frac{1}{\sqrt{T_M^0}} \right)$	$\gamma_{TM} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$
$\rho_M$	g/cm <sup>3</sup>	$\kappa_{RM} = \gamma_{RM}(\rho_M - \rho_M^0) + \delta_{RM}(\rho_M - \rho_M^0)^2$	$\gamma_{RM} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$ $\delta_{RM} = d_0 + d_1 A + d_2 A^2$
$T_B$	K	$\kappa_{TB} = \gamma_{TB}(\sqrt{T_B} - \sqrt{T_B^0})$	$\gamma_{TB} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$
$C_{BV}$	g/l	$\kappa_{CB} = \gamma_{CB}(C_{BV} - C_{BV}^0) + \delta_{CB}(C_{BV} - C_{BV}^0)^2$	$\gamma_{CB} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$ $\delta_{CB} = d_0 + d_1 A + d_2 A^2$
$C_{Xe}$	10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup>	$\kappa_{XE} = \gamma_{XE}(\sigma_{iXe} C_{Xe} - \sigma_{iXe}^0 C_{Xe}^0)$	$\gamma_{XE} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$
$C_{Sm}$	10 <sup>24</sup> /cm <sup>3</sup>	$\kappa_{SM} = \gamma_{SM}(\sigma_{iSm} C_{Sm} - \sigma_{iSm}^0 C_{Sm}^0)$	$\gamma_{SM} = c_0 + c_1 A + c_2 A^2 + c_3 A^3$

Bildung der Korrektionsummanden  $\kappa_{(V)}$  zur Berechnung von  $\xi_{AS}$  wiederum in Abhängigkeit von  $T_M, \rho_M, T_B, C_B, C_{Xe}$  und  $C_{Sm}$ . Die darin benötigten Parametrisierungskoeffizienten  $c_i$  und  $d_i$  sind im zur jeweiligen Abhängigkeit gehörenden Koeffizientenblock als *Zusatzkoeffizienten* gespeichert.

2.3. Externe Speicherung einer MAGRU-Bibliothek

Alle zur Spaltzonenberechnung benötigten Gruppenparametersätze werden zu einer Gruppenparameterbibliothek zusammengefaßt. Den Aufbau einer MAGRU-EC-Bibliothek (IBM-kompatible ESER-Version) als externe Direktzugriffsdatei zeigt Abb. 1.

Das erste Wort (4 Zeichen) beinhaltet den Namen der Bibliothek. Es schließt sich der Katalog mit den Namen der enthaltenen Gruppenparametersätze ab dem zweiten Wort an. Acht Zeichen stehen zu ihrer Identifikation zur Verfügung. Die Adressierung der Gruppenparametersätze erfolgt über diese Namen. Eine Bibliothek kann bis zu 1022 Datensätze enthalten. Ihre aktuelle Anzahl ist im 2049. Wort verzeichnet. Der Katalog mit den Anfangsadressen der Datensätze beginnt mit dem 2050. Wort. Die Anordnung der Anfangsadressen entspricht der im Namenkatalog. Somit sind über deren Namen die zugehörigen Adressen und Längen von Gruppenparametersätzen leicht erschließbar. Als letzte Adresse ist die des ersten freien Wortes, womit beginnend ein neuer Datensatz in die Bibliothek geschrieben werden kann, vermerkt. Das 3073. Wort enthält die vereinbarte Gesamtlänge der Bibliothek. Mit dem Wort 3074 beginnt der Teil, der die Gruppenparametersätze in der Verzeichnisreihenfolge jeweils ab den angegebenen Adressen enthält.

Diese beschriebene Struktur wurde in Anlehnung an die DATSYS-Struktur [14] konzipiert. Alle Lese-, Schreib- und Pufferoperationen nehmen spezielle ESER-R-Routinen [15, 16] vor.

3. Gruppenparameterbibliotheken für die Reaktortypen WWER-440 und WWER-1000

Die Berechnung der neutronenphysikalischen Materialparameter von Kernreaktoren erfolgt mit aufwendigen Zellberechnungsprogrammen (z. B. NESSEL [17], WIMS [19, 20]). Mit diesen Programmen werden für alle vorkommenden Teilgebiete der Spaltzone Zellabbrand- und Zellrechnungen ausgeführt, um Daten für bestimmte Abbrandbereiche und Zustandsänderungen innerhalb des Betriebsregimes und für Störfallmodellierungen zu erhalten. Die in der Einleitung zitierten Programme zur makroskopischen Berechnung der Spaltzonen von Leistungsreaktoren benötigen jedoch, wie dargestellt, nur einen bestimmten Teil der Ergebnisdaten dieser Zellrechnungen. Es ist deshalb zweckmäßig, ein auf die Belange von Makroprogrammen ausgerichtetes Datenversorgungssystem zu schaffen. Ein definiertes Speicherformat ist aber gleichzeitig auch die Voraussetzung für eine automatisierte Verarbeitung der makroskopischen Gruppenparameter.

Das in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene MAGRU-Format soll den Anforderungen der unterschiedlichen Makroprogramme gerecht werden. Durch die hohe Variabilität ist es darüber hinaus leicht möglich, umfangreiche Gruppenparameterbibliotheken zu organisieren.

Nutzbare Bibliotheken mit Datensätzen im MAGRU-Format stehen in IBM-kompatiblen Versionen bereit für:

1. WWER-440 (Betriebsverhalten),
2. WWER-440 (Verhalten bei größeren Dichteänderungen des Moderators),
3. WWER-1000 Prototyp,
4. WWER-1000 Serientyp (in Vorbereitung).

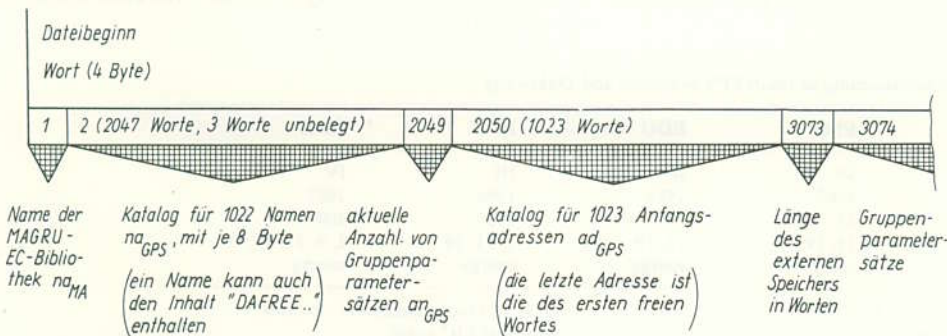


Abb. 1. Struktur einer MAGRU-EC-Bibliothek als externe Direktzugriffsdatei

Die dazu erforderlichen Zellrechnungen erfolgten mit dem Mikroabbrandprogramm NESSEL-4 [17]. Formiert wurden die Datensätze im Anschluß daran mit dem Programm PREPAR, das im Teil II dieser Veröffentlichung vorgestellt werden soll.

Eingegangen am 11. 10. 1988

**Literatur**

[1] G. Agthe, A. Müller, Mitt. Kraftwerksanlagenbau DDR 25 (1985), Nr. 2, S. 39 ... 41.  
 [2] G. Agthe, W. Mai, W. Möller, A. Müller, Kernenergie 21 (1978), H. 1, S. 18 ... 22.  
 [3] G. Agthe, W. Möller, Kernenergie 21 (1978), H. 11, S. 345 ... 348.  
 [4] U. Grundmann, HEXNOD23 — A Two- and Three-Dimensional Nodal Code for Neutron Flux Calculation of Thermal Reactors with Hexagonal Geometry, Report ZfK-557, Rossendorf 1986.  
 [5] U. Grundmann, H.-J. Kretzschmar, U. Rohde, Entwicklung des Programmkomplexes DYN3D, Arbeitsbericht RPT-7/86, Rossendorf 1986.  
 [6] U. Grundmann, Die dreidimensionalen Programme HEXDYN3D und DYN3D/M1 zur Berechnung transients Vorgänge in thermischen Reaktoren mit hexagonalen Kassetten, Arbeitsbericht RPT-1/88, Rossendorf 1988.  
 [7] Chr. Reiche, H.-U. Barz, B. Kunzmann, E. Seifert, H. Wand, Reaktor-Code-System RHEIN für ESER-Computer, Report ZfK-668, Rossendorf 1989.

[8] G. Agthe, H.-J. Kretzschmar, Die Gruppenparameterbibliothek MAGRU-EC und das zugehörige Verwaltungsprogramm PREPAR-EC, Arbeitsbericht RPT-2/88, Rossendorf 1988.  
 [9] G. Agthe, Report KFKI-ZR-6-549/1987, Budapest 1987 (russ.).  
 [10] H.-J. Kretzschmar, J. Klinger, St. Schneider, A. Dittmann, Wiss. Ber. IH Zittau (1987), Nr. 709, VI/5, S. 16 ... 22.  
 [11] H.-J. Kretzschmar, Zur effektiven Bereitstellung von thermophysikalischen Stoffdaten für Wasser — angewendet in instationären thermo-hydraulischen Modellierungen von Kernreaktoren, Arbeitsbericht RPT-1/86, Rossendorf 1986.  
 [12] G. Agthe, Kernenergie 29 (1986), H. 11, S. 409 ... 413.  
 [13] G. Agthe, W. Möller, Report KFKI-ZR-6/1988, Budapest, 1988.  
 [14] G. Schulz, VEB Bergmann-Borsig, Berlin 1979, pers. Mitteilung.  
 [15] E. Franke, ESER-R-Routinen, ZfK Rossendorf 1982, unveröff.  
 [16] R. Lischke, ASSEMBLER-Hilfsprogramme für die ESER-R-Routinen, ZfK Rossendorf 1982, unveröff.  
 [17] H. Heinrich, Kernenergie 24 (1981), H. 12, S. 465 ... 471.  
 [18] E. Müller, FORTRAN 77 und VS FORTRAN, Reihe: EC 1055 Anwender-Informationen, 6. Fortsetzung, Rossendorf 1985.  
 [19] H. Wand, WIMS-D im ZfK — Dateneingabe, Erfahrungen und praktische Beispiele, Report ZfK-499, Rossendorf 1983.  
 [20] J. R. Askew, F. J. Fayers, P. B. Kemshell, J. Brit. nucl. Energy Soc. 5 (1966), Nr. 4, S. 564 ... 585.

Kernenergie 33 (1990) 4 170-173

**Neutron Flux Fluctuation Measurements during Start-up of Czechoslovak Nuclear Power Plants with WWER-440 Reactors\***

by

P. Stulik, B. Šípek, P. Jirsa, and J. Rejchrt

(Nuclear Research Institute, 250 68 Řež, Czechoslovakia)

**(E 21.00; E 32.00) INIS DESCRIPTORS:**

nuclear power plants; wwer-3 reactor: M1; reactor start-up: M2, Q1; neutron flux: M4, Q2; fluctuations: Q4; reactor cores: M3; mechanical vibrations: Q3; reactor instrumentation; signals; spectral density.

*The aim and scope of neutron noise measurements during start-up of Czechoslovak nuclear power plants is highlighted. Applied measurement system is described together with data processing. Brief summary of results evaluation and following activity in the field is further given.*

**1. Introduction**

Monitoring reactor internals vibrative behaviour and related anomalies detection is nowadays widely admitted to play important role in common reactor diagnostics.

Special excore ionization chambers with dedicated electronics are commonly used as measurement chains within the newly installed diagnostic systems of NPP's. Spectral or time analysis of acquired signal fluctuation part is then carried out to obtain descriptors for recognition of abnormal conditions.

Under the circumstances of operational diagnostic systems introduction in Czechoslovak NPP's it was quite logical to prove the possibilities of employing the standard neutron instrumentation for the above mentioned diagnostics application [4].

In the frame of diagnostic systems commissioning at the NPP's Bohunice and Dukovany the appropriate measuring apparatus had been developed and a number of measurements was realized [1 ... 3, 6 ... 8] as shown in Table 1.

The aim of realized measurements was:

- (1) Investigation of standard neutron instrumentation possibilities for the detection of reactor internals vibration during start-up of an NPP.

Table 1. Diagnostic systems commissioning at the NPP's Bohunice and Dukovany

NPP	EDU	EBO	EDU	EDU	EDU
Unit	I	IV	II	III	IV
Year	1985	1985	1986	1986	1987
N, in %	1 ... 100	35 ... 100	75 ... 100	100	100
EIC	4, 12, 20	11, 19	11, 19	1, 11, 19	1, 9, 11, 17, 19
Range	source	energy	energy	energy	energy

EDU/EBO NPP Dukovany and/or Bohunice, N nominal reactor power,

EIC Range number of excore ionization chamber, operational EIC range.

\* Paper held at the 2nd Kolloquium "Technische Diagnostik" of the Zittau College of Advanced Technology, Zittau, September 28-30, 1988.