

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

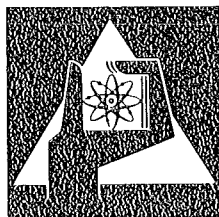
März 1976

KFK 2264

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

**Rechnerische Analyse einer hypothetischen
Abschaltstabejektion für einen heliumgekühlten
schnellen Brutreaktor von 1000 MW elektrischer
Leistung**

G. Jacobs
Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe
M. Schatz
Kraftwerk Union, Erlangen



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

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2264

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

Rechnerische Analyse einer hypothetischen Abschaltstabejektion
für einen heliumgekühlten schnellen Brutreaktor von 1000 MW
elektrischer Leistung ⁺⁾

von

G. Jacobs

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

und

M. Schatz

Kraftwerk Union Erlangen

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe

⁺⁾ Die Arbeit wurde durchgeführt im Rahmen des Zusammenarbeits-
vertrages zwischen der GfK und der KWU auf dem Gebiete Gas-
gekühlter Schneller Brutreaktoren.

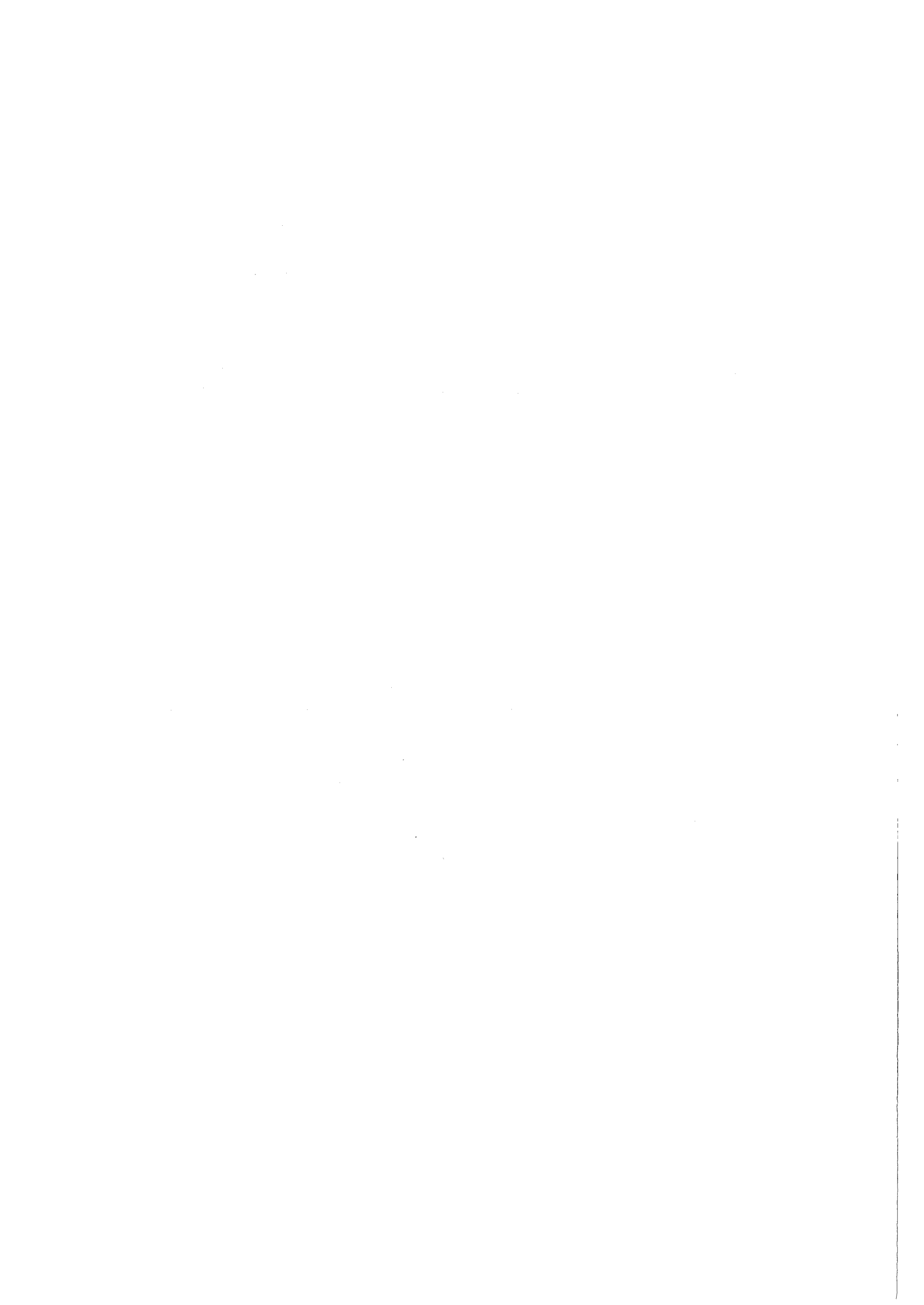
Kurzfassung

Im Rahmen der Analyse hypothetischer Störfälle in Gasbrütern wird die Ejektion eines Abschaltstabes in einem 1000 MW(e)-GSB untersucht. Der Abschaltstab erzeugt bei der Ejektion eine Reaktivitätsrampe von etwa 60 $\$/s$, die zu einer überpromptkritischen Leistungsexkursion führt. Die Einleitungsphase wird mit Hilfe eines Punktkinetikcodes berechnet, in dem der Kern durch einen Brennstab mittlerer Leistung mit Kühlkanal repräsentiert wird. Die Kernzerlegungsphase wird mit Hilfe des Hydrodynamikcodes KADIS, eines Abkömmlings des ANL-Codes VENUS, berechnet. Die Masse und die Energie des geschmolzenen Brennstoffs am Ende der Disassemblyphase ist 27600 kg bzw. 24000 MJ, entsprechend 0,87 MJ/kg. Durch Parametervariationen wird der Einfluß einiger Anfangsbedingungen der Disassemblyphase untersucht: Reaktivitätsrampe, Reaktivität, Leistungsniveau und mittlere Brennstofftemperatur. Der Bericht enthält neben der Darstellung und Diskussion der Rechenergebnisse eine Beschreibung der verwendeten Modelle und im Anhang eine vollständige Aufstellung der verwendeten Daten.

Numerical Analysis of a Hypothetical Shutdown Rod Ejection in a Helium Cooled Fast Breeder Reactor of 1000 MW electric power

Abstract

In the scope of the analysis of hypothetical accidents in gasbreeders the ejection of a shutdown rod in a 1000 MW(e)-GCFR is investigated. The shutdown rod generates a reactivity ramp of about 60 $\$/s$ during the ejection leading to a superprompt critical power excursion. The initiation phase is calculated using a point kinetics code, that represents the core by a fuel rod of mean power with cooling channel. The disassembly phase is calculated using the hydrodynamics code KADIS, a descendent of the ANL-Code VENUS. Mass and energy of molten fuel at the end of disassembly phase is 27600 kg and 24000 MJ respectively, corresponding to 0,87 MJ/kg. In form of parameter variations the influence of some initial conditions of the disassembly phase is studied: reactivity ramp, reactivity, power level, and mean fuel temperature. The report contains a representation and discussion of the computational results as well as a description of the applied models and in the appendix a complete listing of the used data.



<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
Zusammenfassung	III
Inhaltsverzeichnis	V
Anerkennungen	VII
1. Einleitung	1
2. Das Disassembly-Rechenmodell	7
2.1 Modellkomponenten	7
2.2 Punktkinetik	8
2.3 Energiebilanz	9
2.4 Bewegungsgleichungen	10
2.5 Zustandsgleichung	11
2.6 Schmelzwärme	15
2.7 Vereinfachende Annahmen bei der Druckberechnung	17
2.8 Reaktivitätsänderungen	18
3. Neutronenphysikalische Rechnungen	21
3.1 Allgemeines	21
3.2 Materialwerte	22
3.3 Doppler-Parameter	22
3.4 Kinetische Parameter	23
4. Rechnungen zur Predisassemblyphase	27
4.1 Das Modell	27
4.2 Rechenergebnisse	31
5. Ergebnisse der Disassemblyrechnungen (Basisfall)	34
5.1 Allgemeines	34
5.2 Ergebnisse	34
6. Parametervariationen	43
6.1 Allgemeines und Verschiedenes	43
6.2 Reaktivitätseinsatz und Leistungsniveau	45
6.3 Anfangstemperatur	49
6.4 Bewegungsunterdrückung in radialer Richtung	52
7. Schluß	55

Anhang A: Tabellen zu den vorbereitenden, neutronenphysikalischen Rechnungen	57
Anhang B: Tabellen zu den Predisassemblyrechnungen	77
Anhang C: KADIS-Ergebnisse für den Basisfall	83
Referenzen	93

Anerkennungen

Wir möchten einigen Kollegen von GfK/INR und KWU/RZR 2 unseren Dank aussprechen für ihre Mitarbeit an der hier berichteten Arbeit:

F. M. Fischer, D. Thiem, Ph. Schmuck (GfK),

D. Bittermann, K. Hassmann und K. Klein (KWU).

1. Einleitung

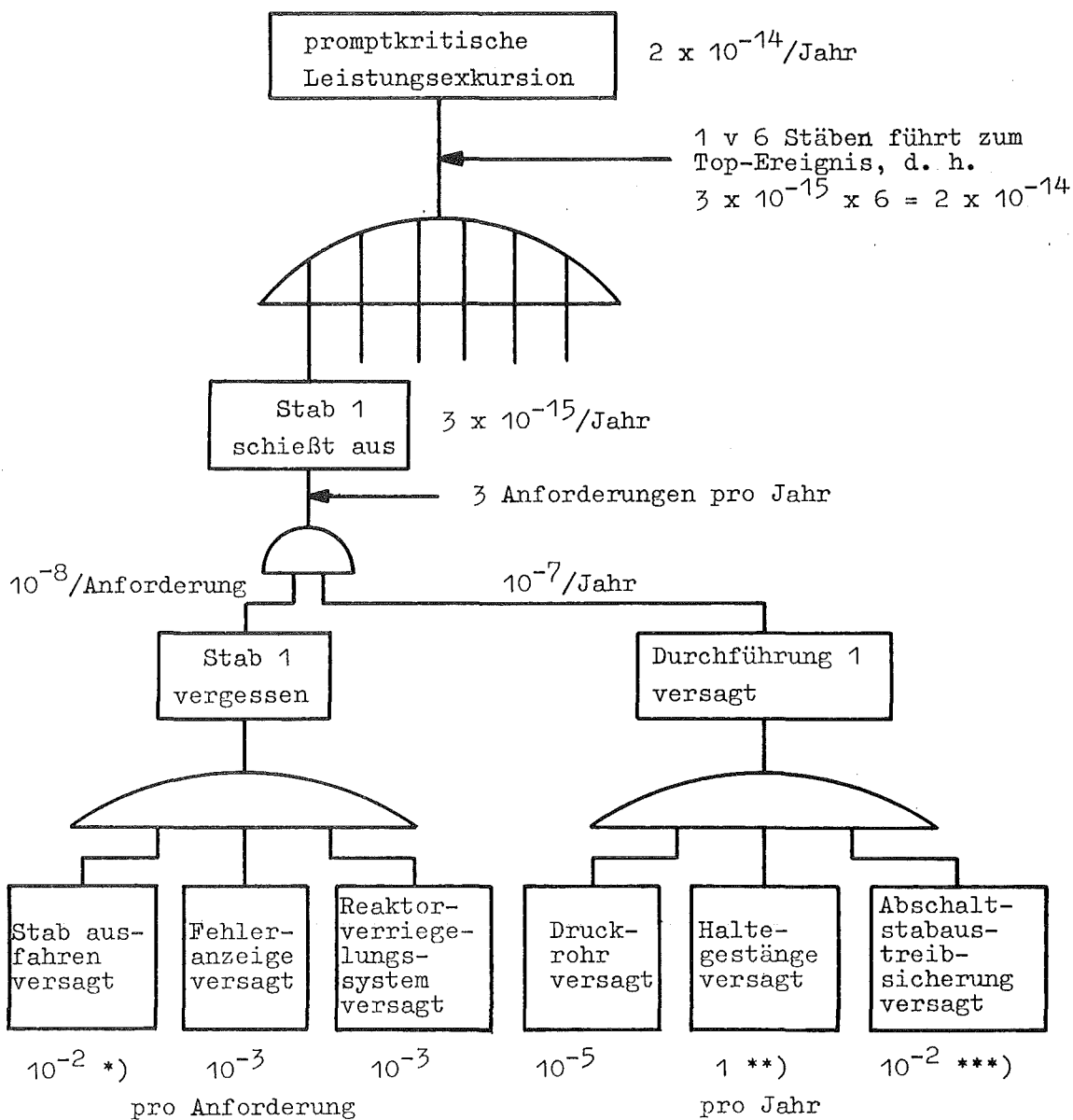
In diesem Bericht wird ein hypothetischer Störfall des im Entwurf befindlichen 1000 MW(e) - heliumgekühlten, schnellen Brutreaktors GSB-1 untersucht: die Ejektion eines Abschaltstabes, der beim Hochfahren des Reaktors auf volle Leistung irrtümlich im Kern verbleibt. Der Bericht enthält neben der Darstellung und Diskussion der Rechenergebnisse eine Beschreibung der verwendeten Modelle und im Anhang eine vollständige Aufstellung der benutzten Daten.

Hypothetische Störfälle werden für den Gasbrüter aus zwei Gründen betrachtet. Erstens, weil im Hinblick auf das Genehmigungsverfahren für den im Bau befindlichen natriumgekühlten schnellen Brutreaktor SNR 300 damit zu rechnen ist, daß auch für den Gasbrüter analoge Rechnungen durchzuführen sind, und zweitens deshalb, weil solche Rechnungen mithelfen, den Sicherheitsabstand aufzuzeigen, den das System im Normalbetrieb gegenüber den extremen Zuständen besitzt, welche die hypothetischen Störfälle charakterisieren.

Hinsichtlich des Begriffs "hypothetischer Störfall" schließen wir uns dem üblich gewordenen Sprachgebrauch an, demzufolge "hypothetisch" jene Reaktorstörfälle zu nennen sind, die zwar physikalisch möglich sind, denen aber eine äußerst geringe Eintrittswahrscheinlichkeit zugewiesen werden kann. Über die Kennzeichnung "äußerst gering" besteht noch keine einheitliche Auffassung, da dazu ein akzeptierbares Risiko definiert werden muß, was derzeit noch nicht möglich ist. In der Literatur /1971d/ werden Werte von 10^{-7} oder 10^{-8} per Reaktorjahr für die Eintrittswahrscheinlichkeit der Ereigniskombination "Bruch einer Kühlmittelleitung & Versagen der Notkühlung" bei

Leichtwasserreaktoren zitiert. Deshalb wird in der GSB-Referenz- und Sicherheitsstudie im Jahresbericht 1973 der KWU /1974b/ vorgeschlagen, Störfälle beim Gasbrüter dann als hypothetisch zu bezeichnen, wenn ihre Eintrittswahrscheinlichkeit kleiner als 10^{-8} pro Reaktorjahr eingeschätzt werden kann.

Hypothetische Störfälle, die zu überpromptkritischen Leistungsexkursionen führen, können bei schnellen Reaktoren im Prinzip durch Entfernung von Absorbermaterial oder Kühlmittel hervorgerufen werden. Ferner sind solche Exkursionen auch denkbar, wenn als Folge des vollständigen Ausfalls der Kernkühlung durch Schmelzen des Kerns Brennstoffkompaktionen im Kern auftreten. Im Fall des Gasbrüters GSB-1 kann der bloße Verlust des Kühlmittels nicht zu promptkritischen Bedingungen führen, da der langsame Reaktivitätsanstieg durch die Abschaltssysteme abgefangen werden kann. Da im Normalbetrieb des Reaktors nur Regelstäbe mit individuellen Reaktivitätswerten von weniger als 1 \$ im Kern eingetaucht sind, kann ein irrtümliches Ausfahren oder Ausgeschleudertwerden eines Regelstabes ebenfalls zu keiner überpromptkritischen Exkursion führen. Dagegen führt die in diesem Bericht behandelte Abschaltstabejektion zu einer überpromptkritischen Leistungsexkursion, da ein Abschaltstab der derzeitigen Auslegung einen Reaktivitätswert von 3,3 \$ hat. Wir beschränken unsere Rechnungen auf den Vollastfall, weil wir annehmen, daß bei niedrigeren Leistungsniveaus, speziell beim Anfahren des Reaktors, Leistungsexkursionen zwar denkbar, aber schwächer als bei Vollast sind. Was die Sekundärexkursionen durch Kernkompaktionen betrifft, so kommt die oben zitierte GSB-1-Studie /1974b/ zu dem Ergebnis, daß ihre Reaktivitätsrampen in allen Fällen geringer sind als bei der Primärexkursion durch Abschaltstabauswurf.



- *) Trotz unrealistisch hoher Ausfallwahrscheinlichkeiten ergibt sich eine sehr kleine Wahrscheinlichkeit für das TOP-Ereignis.
- **) Hier wird eine Abhängigkeit des Versagensmechanismus von Druckrohr und Haltegestänge postuliert.
- ***) Auch ohne Einbau einer zusätzlichen Austreibsicherung wäre das TOP-Ereignis als hypothetisch zu bezeichnen.

Abb. 1.1.1 Fehlerbaum zum Auswurf eines Abschaltstabes beim GSB-1

Der Auswurf eines "vergessenen" Abschaltstabes setzt folgende Ereigniskette voraus:

- der Reaktor wird auf Leistung gebracht, ohne daß zuvor alle Abschaltstäbe gezogen wurden, d. h. es wird angenommen, daß ein Abschaltstab irrtümlich im Kern verbleibt,
- das für diesen Fall vorgesehene Verriegelungssystem versagt bzw. wird vom Operateur irrtümlich überbrückt. Entsprechende Anzeigen werden nicht wahrgenommen,
- nach Erreichen der vollen Leistung versagt der Abschluß der Durchführung des "vergessenen" Abschaltstabes durch den Spannbetonbehälter schlagartig und vollständig,
- das im Behälterabschluß untergebrachte Antriebsgestänge versagt ebenfalls schlagartig und vollständig.

Erst nach Ablauf dieser Kette wird der Abschaltstab durch den im Inneren des Spannbetonbehälters anstehenden Druck aus dem Kern ausgetrieben. Aus dem einfachen Fehlerbaum /1974b/ in Abb. 1.1.1 ergibt sich für die Eintrittswahrscheinlichkeit des Top-Ereignisses trotz hoher Ausfallwahrscheinlichkeiten des Abschaltsystems ein sehr kleiner Wert: $2 \cdot 10^{-14}$ /Reaktorjahr. *)

Seit der richtungsweisenden Arbeit von Bethe und Tait /1956/ analysiert man schwere Leistungsexkursionen im allgemeinen in zwei aufeinanderfolgenden Phasen. Phänomene, wie Brennstab-Deformation, Hüllrohr-Dehnung, Spaltgasfreisetzung, Brennstabversagen, Schmelzen und Bewegung von Hüllrohrmaterial und Brennstoff werden in der sog. Pre-Disassembly untersucht, in der vor allem Wärmeübertragungsprobleme eine Rolle spielen. Druckaufbau und Auseinandertreiben des Kerns bis zur Unterkritikalität werden in der Disassemblyphase verfolgt, wo die Hydrodynamik

*) Nach der neuesten Konstruktion des Abschaltsystems ist dieser Wert sogar noch um 2 Zehnerpotenzen kleiner.

dominiert. Als wichtigstes Ergebnis der Berechnungen in der Disassemblyphase bekommen wir Schätzwerte für die während der Exkursion erzeugte Energie. Weitere Ergebnisse dieser Phase dienen einer anschließenden Analyse als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Belastung des Reaktorbehälters und seiner Einbauten.

Das Disassembly-Modell von Bethe und Tait, das ohne numerische Näherungen auskommt, besteht aus eindimensionaler, sphärischer Hydrodynamik; es verwendet Punktkinetik und Beschreibung der Neutronik und Störungstheorie erster Ordnung zur Erfassung der Reaktivitätsänderung infolge Materialbewegung. Es vernachlässigt Dichteänderungen, Druckwellenausbreitung und die Reaktivitätsänderung infolge des Dopplereffektes.

Ein wesentlich verbessertes Bethe-Tait-Modell stellt das Modell des im Argonne National Laboratory entwickelten Rechenprogramms VENUS /1970a/ dar. KADIS, das Karlsruher Disassemblyprogramm, mit dem die Disassembly-Berechnungen dieses Berichts gemacht wurden, ist aus einer frühen Version von VENUS entwickelt worden /1973d/ und ist jetzt vergleichbar mit VENUS-II /1972b/, einer verbesserten Version von VENUS. Die Hauptmerkmale des verwendeten Disassembly-Rechenmodells sind

- Punktkinetik und Störungstheorie erster Ordnung
- vollnumerische Lösung der zweidimensionalen Hydrodynamikgleichungen für azimuthalsymmetrische Lagrangesche Zylindergeometrie
- dichte- und energieabhängige Berechnung des inneren Druckes mittels einer Zustandsgleichung für Uran-dioxyd
- Reaktivitätsrückwirkungen infolge Temperaturerhöhung (Doppler-Effekt) und Materialbewegung

Den Rechnungen zur Pre-Disassemblyphase liegt folgendes Modell zugrunde:

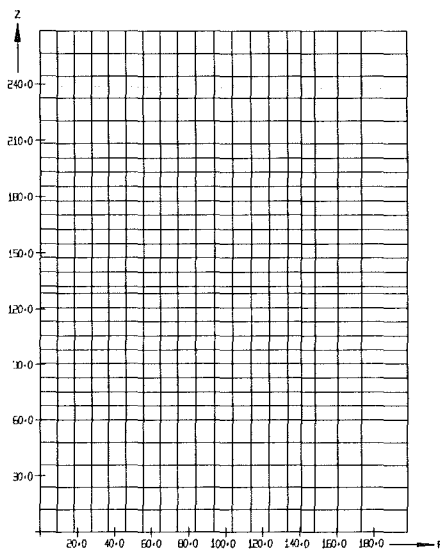
- Punktkinetik mit Dopplerrückwirkung
- in der Thermohydraulik Repräsentation des Kerns durch einen Brennstab mittlerer Leistung mit Kühlkanal
- Berechnung des Temperaturfeldes unter der Annahme einer sich nicht ändernden Leistungsverteilung beim Erreichen des promptkritischen Zustands.

Beide Modelle scheinen uns trotz einiger Unzulänglichkeiten, die bei der Modellbeschreibung noch präzisiert werden, für erste Untersuchungen des Abschaltstabauswurf-Störfalles ausreichend zu sein. Hauptsächlich deswegen, weil es sich wegen einer verhältnismäßig starken Reaktivitätszufuhr um eine sehr schnell ablaufende Exkursion handelt. Vom Beginn des Stabauswurfs bis zur nuklearen Abschaltung vergehen laut Rechnung nur etwa 100 ms.

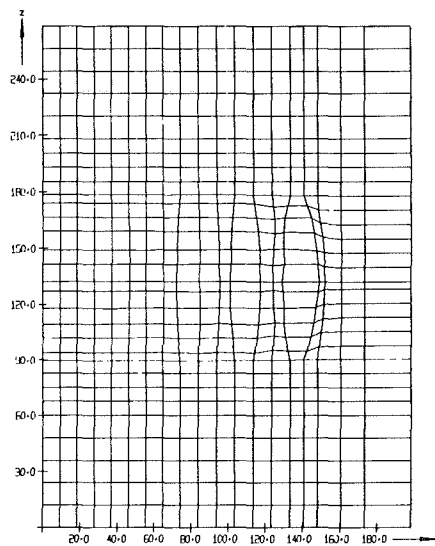
2. Das Disassembly-Rechenmodell

2.1 Modellkomponenten

Das Modell, das dem Disassembly-Rechenprogramm KADIS zugrunde liegt, unterscheidet zwei axialsymmetrische, zylindrische Koordinatensysteme, ein ortsfestes (r,z) -System, das Eulersche, und ein mitbewegtes (R,Z) -System, das Lagrangesche. Die Lagrangeschen Koordinaten sind definiert als die Eulerschen zu Beginn der Disassemblyphase, d. h. zur Zeit $t = 0$. Abb. 2.1.1 zeigt ein KADIS-Rechengitter in beiden Koordinatensystemen. Es wird angenommen, das Reaktormaterial gehorche den dynamischen Gleichungen einer kompressiblen, nichtviskosen Flüssigkeit, deren Dynamik durch Dichte $\rho(R,Z,t)$, Druck $P(R,Z,t)$, innere Energie $\epsilon(R,Z,t)$ und die Geschwindigkeiten $u(R,Z,t)$ und $v(R,Z,t)$ in radialer bzw. axialer Richtung charakterisiert ist. Zu den Erhaltungsgesetzen für Masse, Impuls und Energie der Hydrodynamik, die durch eine Zustandsgleichung für den Druck als Funktion der inneren Energie und Dichte ergänzt werden, treten die punktkinetischen Gleichungen der Neutronik,



Lagrangesches System



Eulersches System

Abb. 2.1.1 Ein KADIS-Gitter während der Disassemblyphase einer Leistungsexkursion im GSB-1.

in die die Reaktivitätsrückwirkungen infolge Materialverschiebung und Temperaturerhöhung eingehen. Abb. 2.1.2 zeigt, vereinfacht dargestellt, das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten des Modells, die im folgenden erläutert werden.

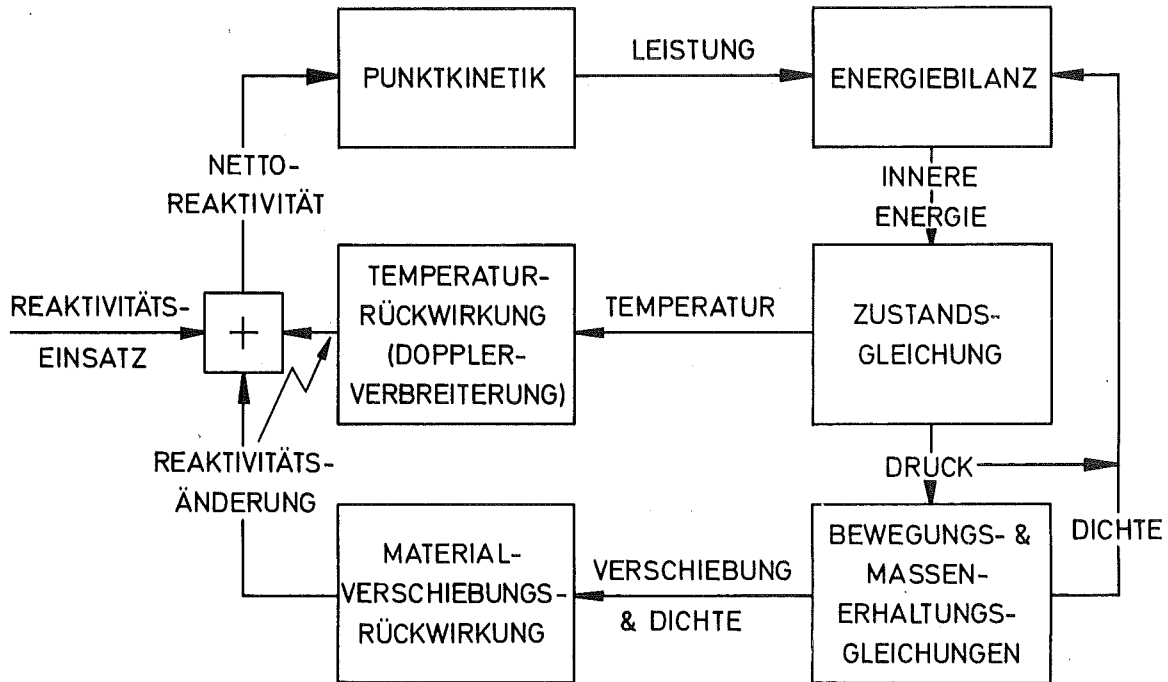


Abb. 2.1.2 Blockdiagramm des KADIS-Programms

2.2 Punktkinetik

Zur Berechnung der Leistungsdichteverteilung $L(R,Z,t)$ wird angenommen, sie setze sich zusammen aus einer zeitunabhängigen Formfunktion $H(R,Z)$ und einer zeitabhängigen Amplitude $n(t)$.

$$L(R,Z,t) = H(R,Z) \cdot n(t)$$

$H(R,Z)$ ist als relative Leistungsdichteverteilung vorgegeben ($1/\text{cm}^3$) und auf $\int V_{R_0} H dV = 1$ (V_{R_0} = unverzerrtes Reaktorvolumen) normiert. Die Gesamtleistung $n(t)$ gewinnen wir, ausgehend von einer Anfangsleistung n_0 zu Beginn der Disassemblyphase, d.h. zur Zeit $t = 0$, durch numerische Integration der punktkinetischen Gleichungen nach einer Methode von Kaganove /1960/:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{R-\beta}{\ell} n + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i \quad (2.2.1)$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{\beta_i n}{\ell} - \lambda_i C_i, \quad i = 1,6$$

t	Dauer der Disassemblyphase (s)
n	Gesamtleistung (W)
R	Reaktivität ()
ℓ	Lebensdauer der prompten Neutronen (s)
β_i	Anteil der verzögerten Neutronen der i -ten Gruppe
β	$= \sum_{i=1}^6 \beta_i$ Anteil verzögerter Neutronen
λ_i	Zerfallskonstanten der Mutterkerne verzögerter Neutronen der i -ten Gruppe (1/s)
C_i	Konzentration der Mutterkerne verzögerter Neutronen der i -ten Gruppe

Die Reaktivität R ist die Summe aus einer vorgegebenen Reaktivitätsrampe und negativen Reaktivitätsbeiträgen infolge Doppler-Verbreiterung und Materialverschiebung. Näheres im Abschnitt 2.8. Anzumerken ist hier, daß die Punktkinetik-Näherung problematisch wird, wenn Raum-Zeit-Effekte zum Tragen kommen, beispielsweise bei milden Exkursionen oder sehr großen Reaktoren.

2.3 Energiebilanz

Die Änderung der Dichte der inneren Energie $\epsilon(R,Z,t)$ infolge Freisetzung von nuklearer Energie $E = H \int_0^t n(t) dt$ ergibt sich entsprechend dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik aus folgender Energiebilanzgleichung:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = H n(t) \frac{\rho}{\rho_0} - P \frac{\partial \Psi}{\partial t} \rho \quad (2.3.1)$$

$\Psi = \frac{1}{\rho}$ spezifisches Volumen (cm³/g)

$\rho_0 = \rho(R, Z, 0)$ Anfangsdichte (g/cm³)

P Druck (μb)

2.4 Bewegungsgleichungen

Auf die Berechnung der Druckes P wird in 2.5 eingegangen. Zunächst zu den übrigen Gleichungen der Hydrodynamik, nämlich den Erhaltungsgleichungen für Masse und Impuls.

Die Massenerhaltungsgleichung reduziert sich in Lagrangeschen Koordinaten auf

$$\rho = \rho_0 \frac{dV_0}{dV} \quad (2.4.1)$$

worin dV_0 und dV Volumenelemente im Anfangs- und deformierten Zustand sind.

Die benötigten Volumenänderungen liefert die Impulserhaltungs- oder Bewegungsgleichung, die in Komponenten geschrieben

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r}, \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.4.2)$$

lautet, worin u und v die Materialgeschwindigkeiten in radialer bzw. axialer Richtung sind. Die Randbedingungen dieser Gleichungen sind:

- Auf der Achse sind nur axiale Materialbewegungen möglich, d.h. $u = 0$ für $r = 0$
- An den übrigen Rändern verschwindet der Druck.

Im Falle der Kompression, $\frac{\partial V}{\partial t} < 0$, wird der Druck P in den Gleichungen (2.4.2) ersetzt durch die Größe $P + Q$, worin Q ein künstlicher, sog. pseudo-viskoser Druck ist. Die verwendete Formel für den pseudo-viskosen Druck ist

$$Q = \frac{1,44 A \rho_o^2}{\nu} \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)^2,$$

worin A den Flächeninhalt des (r,z) -Querschnitts einer Gitterzelle bezeichnet. Diese von Richtmyer und von Neumann /1950/ stammende Technik hält die numerische Stabilität des Differenzenverfahrens auch bei der Anwesenheit von Schockwellen aufrecht. Die numerische Lösung der Bewegungsgleichungen geschieht mittels eines gewöhnlichen expliziten Differenzenverfahrens. Sie enthält aus Gründen der Stabilität und Effektivität eine automatische Anpassung der Zeitschrittlänge an den jeweiligen Rechenverlauf.

Das Modell kennt zwei Möglichkeiten zur Bewegungshemmung in radialer Richtung. Hiermit können unrealistische Materialbewegungen verhindert werden, wenn beispielsweise angenommen werden kann, daß die Brennelemente noch soweit intakt sind, daß sie Druckgradienten bis zu einem vorzugebenden Grenzwert standhalten können. Näheres in Abschnitt (6.4).

2.5 Zustandsgleichung

Die noch fehlende Gleichung zur eindeutigen Bestimmung der fünf hydrodynamischen Größen, r, z, ρ, P, ϵ ist eine Gleichung, die Druck zu Energie und Dichte in Beziehung setzt:

$$P = f(\epsilon, \rho) \quad (2.5.1)$$

Verwendet wird in unserem Modell eine Zustandsgleichung für Uran-dioxid-Brennstoff, die im wesentlichen von Menzies /1966a/ stammt. Menzies geht von folgender Dampfdruckbeziehung für flüssiges UO_2 aus.

$$P_v = \exp(-4,34 \ln T - 76800/T + 69,979), \quad (2.5.2)$$

T Temperatur (K),

P_v Dampfdruck (μb),

die eine Anpassung an alle bis 1960 bekannten Messungen darstellt.

Durch Vergleich mit den empirischen Beziehungen von Hougen u. a. /1959/, die Gebrauch machen vom Prinzip der korrespondierenden Zustände, gewinnt Menzies kritische Daten für UO_2 . Mit Hilfe dieser Daten und weiterer thermodynamischer Daten konstruiert er in einem iterativen Prozeß Druckwerte, die er durch einen analytischen Ausdruck anpaßt. Die Menziesschen Zustandsgleichungen wurden von Nicholson und Jackson /1970a, 1972b/ verbessert. Trotzdem sind sie möglicherweise nur recht grobe Näherungen, weil bisher nur sehr wenige Messungen vorliegen, die die Güte dieser theoretischen Extrapolationen bestätigen könnten.

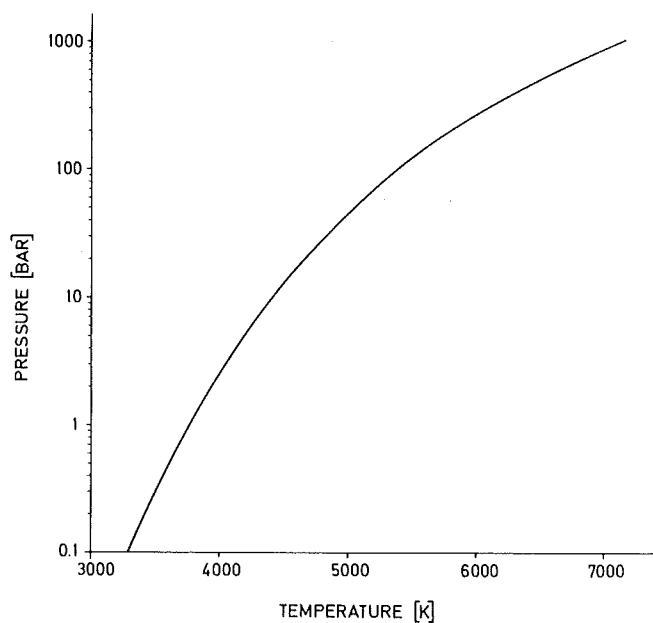


Abb. 2.5.3 Dampfdruck von Urandioxid nach Menzies

Die verwendete Satttdampfdruckkurve (2.5.2) von Menzies zeigt Abb. 2.5.3. Die Temperatur wird aus der inneren Energie in Abhängigkeit von der Dichte nach folgender Formel berechnet (siehe Abb. 2.5.8).

$$T = \begin{cases} \text{Max } (T_v, T_\ell (\Psi_r)), & \text{wenn } \Psi_r < 0,6 \\ \text{Max } [T_v, \text{Min } (T_\ell (\Psi_r), \hat{T}_\ell)], & \text{wenn } \Psi_r \geq 0,6 \end{cases} \quad (2.5.4)$$

mit

$$T_v = 237 + \frac{E}{0,437} \cdot 10^3, \quad (2.5.5)$$

$$T_\ell (\Psi_r) = (4272,5 - 1003 \Psi_r + 1699 \Psi_r^2) (E - 0,237 - 1,882 \Psi_r) \text{ und} \\ \hat{T}_\ell = T_\ell (0,6),$$

wo

E die spezifische innere Energie (kJ/g),

$\Psi_r = \rho_f^c / \rho_f$ das reduzierte spezifische Volumen und

ρ_f^c die kritische Dichte (g/cm³) bedeutet.

In die Brennstoffdichte ρ_f ist der Raum, der vom Brennstoffdampf eingenommen wird, mit eingeschlossen.

E ergibt sich aus der Bilanzgleichung (2.3.1) durch Integration über die Zeit und adiabatische Umrechnung der Energiedichte ϵ einer Zelle in die spezifische Energie E des Brennstoffs. Die Anfangsenergie E_0 wird aus der Temperatur mittels (2.5.5) bestimmt. (2.5.4) enthält implizit eine temperaturabhängige spezifische Wärme.

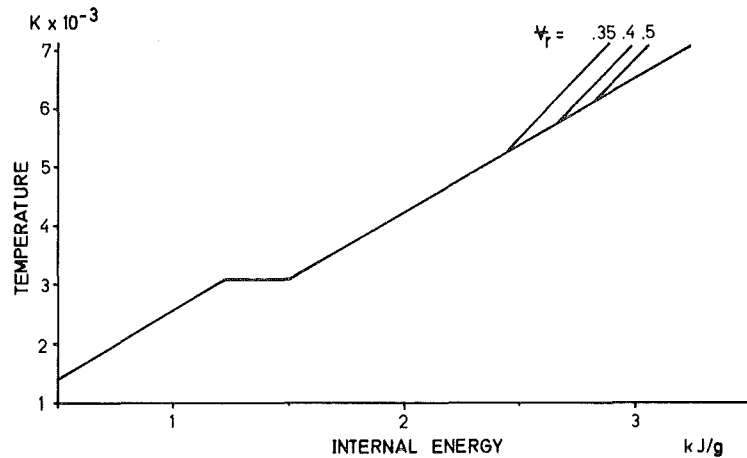


Abb. 2.5.8 Brennstofftemperatur laut Zustandsgleichung (Menzies-ANL)

Die Formel für dichteabhängigen Flüssigkeitsdruck ist

$$P_{\ell} = \begin{cases} (E - 3,59 + 0,119 \psi_r + \frac{0,0767}{\psi_r^3}) \cdot 1,554 \cdot 10^{12} \exp(-9,67 \psi_r + 4,45 \psi_r^2), & \text{wenn } \psi_r \leq 1 \\ (E - 3,2213 - 0,173 \psi_r) \cdot 10^{10} / (1,9 \psi_r - 0,704), & \text{wenn } \psi_r > 1 \end{cases} \quad (2.5.6)$$

P_{ℓ} einphasiger Druck (μb)

E spezifische innere Energie (kJ/g)

ψ_r reduziertes spezifisches Volumen

Abgesehen von der Berücksichtigung der Schmelzwärme, die im nächsten Absatz behandelt wird, lautet die verwendete Zustandsgleichung nun

$$P = \text{Max} (P_v, P_{\ell}) \quad (2.5.7)$$

Diese Dichteabhängigkeit des Druckes macht es unmöglich, daß in der Hydrodynamik bei der Kompression einer Lagrangezelle unrealistisch hohe oder sogar negative Dichten auftreten, die zu numerischen Unstabilitäten führen würden.

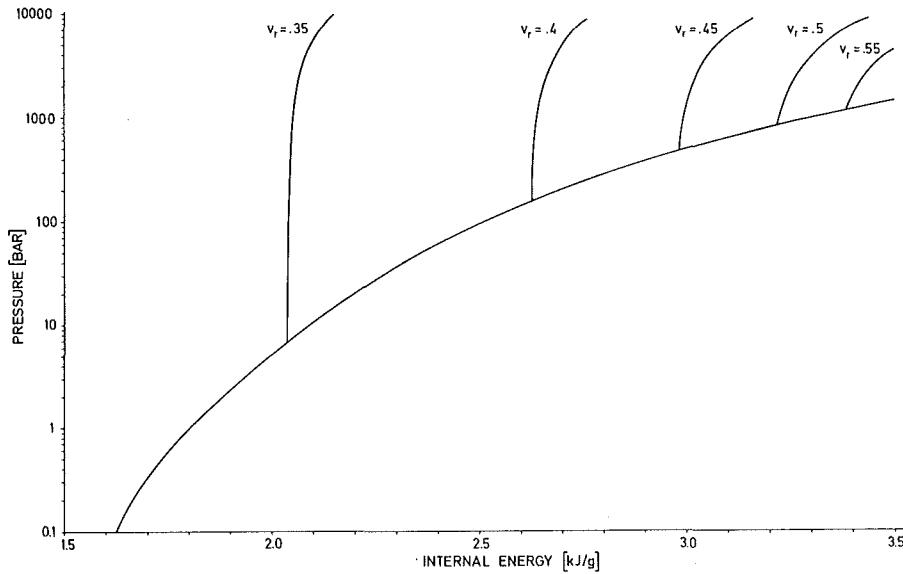


Abb. 2.5.9 Brennstoffdruck laut Zustandsgleichung (Menzies-ANL)

In Abb. 2.5.9 stellt die untere Kurve die Dampfdruckkurve (2.5.2) dar; die oberen Ansätze stellen die einphasigen Drücke (2.5.6) für einige Werte von v_r dar. Die Schmelzwärme ist dabei berücksichtigt.

Der Übergang in den einphasigen Bereich ist aus zwei Gründen möglich. Erstens durch Expansion, d.h. bei festgehaltenen v_r und steigender innerer Energie. Zweitens durch Kompression, d. h. bei festgehaltener innerer Energie E und abnehmendem spezifischen Volumen.

2.6 Schmelzwärme

Die Nichtberücksichtigung der Schmelzwärme würde zu höheren Temperaturen und damit zu höheren Drücken führen. Liegt die Anfangstemperatur unter dem Schmelzpunkt, so wird die Schmelzwärme beim Überschreiten des Schmelzpunktes von der inneren Energie E abgezogen. Im einzelnen wird wie folgt vorgegangen. In dem Temperaturintervall

$$\left[T_m, T_m + 1 \right] \quad (T_m : \text{Schmelzpunkt})$$

erhält die Temperatur in Ergänzung zu (2.5.4) den Wert

$$T = T_m + \frac{E - E_m}{H_m + 0,437} \cdot 10^3 \quad (2.6.1)$$

Dabei ist E_m die mittels (2.5.5) berechnete innere Energie zu Beginn des Schmelzens:

$$E_m = 0,437 (T_m - 273) \cdot 10^{-3}$$

Während dieses 1-Grad-Temperaturintervalls ist die Temperaturerhöhung gleich dem Bruchteil der 'adjustierten' Schmelzwärme $H_m + 0,437$ J/g, die zum Aufschmelzen verbraucht ist. Wenn die innere Energie um $H_m + 0,437$ gewachsen ist, ist die Temperatur demzufolge um 1 auf $T_m + 1$ gestiegen. Danach, d. h. für $T > T_m + 1$, wird die innere Energie E in den Formeln (2.5.4) und (2.5.6) durch $E - 10^{-3} H_m$ ersetzt.

Liegt die Anfangstemperatur T_o bereits im Schmelzbereich, d. h. ist $T_m < T_o < T_m + 1$, so wird bei der Initialisierung die innere Energie um den entsprechenden Betrag heraufgesetzt:

$$E_o = \{0,437 (T_o - 273) + (T_o - T_m) H_m\} \cdot 10^{-3}$$

Fortgefahren wird wie oben.

Bei den Kurven der Abb. (2.5.8) und (2.5.9) ist die beschriebene Modifizierung der inneren Energie zur Berücksichtigung der Schmelzwärme enthalten. Bei der Temperatur-Energie-Kurve in Abb. (2.5.8) ist der Schmelzübergang bei 1,22 bis 1,5 kJ/g deutlich zu sehen.

Die Temperaturberechnung (2.6.1) gestattet es, aus der Brennstofftemperatur unmittelbar den Anteil des aufgeschmolzenen Brennstoffs an der Brennstoffmasse einer Rechenzelle abzulesen. Unter der Energie des geschmolzenen Brennstoffs verstehen wir die Wärmeenergie, die beim momentanen Festwerden des geschmolzenen und des verdampften Brennstoffs frei werden würde. Wir berechnen sie aus der Brennstoff-

temperatur $T(K)$ unter Berücksichtigung der Schmelzwärme H_m (J/g):

$$E^*(J/g) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } T < T_m \\ H_m + 0,437 (T - T_m) & \text{wenn } T_m \leq T \leq T_m + 1 \\ H_m + 0,437 (T + 1 - T_m) & \text{wenn } T_m + 1 < T \end{cases} \quad (2.6.2)$$

Die Gesamtenergie $E^*(J)$ des geschmolzenen Brennstoffs ergibt sich durch Multiplikation mit der Brennstoffmasse der Rechenzelle und Summation über alle Zellen.

Über die in der verwendeten Zustandsgleichung benutzten Werte der thermodynamischen Konstanten von Urandioxid gibt die folgende Tabelle Auskunft:

Schmelzpunkt	$T_m = 3070 \text{ K}$
Schmelzwärme	$H_m = 280 \text{ J/g}$
Kritische Dichte	3.0 g/cm^3
Kritische Temperatur	8000 K
Kritischer Druck	2000 b

Tab. 2.6.1 Verwendete Thermodynamische Konstanten von Urandioxid

2.7 Vereinfachende Annahmen bei der Druckberechnung

Der beschriebenen Formel für die Druckberechnung liegen folgende vereinfachende Annahmen zugrunde:

- 2.7.1 Der Mischoxidbrennstoff (U, Pu) O_{2+y} wird als reines UO_2 betrachtet. Die Partialdrücke der einzelnen Komponenten des Gemisches in Abhängigkeit von der Pu-Anreicherung und des Sauerstoff/Metall-Verhältnisses werden nicht berücksichtigt /1974e/.
- 2.7.2 Die Aufheizung geschieht adiabatisch, d. h. Wärmeübergang von Brennstoff auf übriges Reaktormaterial findet nicht statt. Die Mitaufheizung von gelöstem und eingeschlossenem Helium im Brennstoff wird nicht berücksichtigt /1975a/.
- 2.7.3 Der berechnete Druck ist ein Gleichgewichtsdruck; bei einer hohen Verdampfungsrate haben wir es infolge erzwungener kongruenter Verdampfung jedoch mit einem Totaldampfdruck zu

tun, der stark von äußeren Bedingungen abhängt. Dieser Effekt wird nicht berücksichtigt /1975c/.

2.7.4 Der Brennstoff ist die einzige Druckquelle; stark volumenabhängige Drücke der Spaltedelgase Ar, Xe, Kr, die im nichtfrischen Brennstoff enthalten sind, werden nicht berücksichtigt /1974e/.

Untersuchungen, die einige der genannten Effekte berücksichtigen, sind im Gange. Erste Ergebnisse zeigen /1975a/, daß der Spaltgasdruckaufbau den Disassemblyvorgang stark beeinflusst und die Energiefreisetzung erheblich verringert.

2.8 Reaktivitätsänderungen

Temperaturerhöhung und Materialverschiebung verändern die Reaktivität. Die Nettoaktivität R in den punktkinetischen Gleichungen (2.2.1) setzt sich zusammen aus

$$R = R_0 + A \cdot t + \delta R_D + \delta R_M,$$

R_0 Anfangsreaktivität

$A \cdot t$ Reaktivitätsrampe

δR_D Reaktivitätsänderung aufgrund der Doppler-Rückwirkung

δR_M Reaktivitätsänderung aufgrund von Materialverschiebung

Die Reaktivitätseingabe $R_0 + A \cdot t$ wird aus der Pre-Disassembly-Rechnung gewonnen und stellt eine extrapolierte Schätzung dar, wie sich der Reaktivitätseinsatz in die Disassemblyphase fortsetzt. Die Reaktivitätsänderungen δR_D und δR_M werden während der Disassemblyrechnung vorausextrapoliert von den drei zuletzt berechneten Werten. Dadurch wird eine Iteration zwischen der Berechnung der Leistung und der Rückwirkungen vermieden.

Die folgenden Formeln (2.8.1) und (2.8.4) zur Berechnung der Reaktivitätsrückwirkungen δR_D und δR_M basieren auf der Annahme der Gültigkeit der Störungstheorie erster Ordnung.

Die Doppler-Rückwirkung setzt sich zusammen aus regionalen, gewichteten Beiträgen:

$$\delta R_D \approx \delta k_D(t) = \sum [k_D(t) - k_D(0)] w \quad (2.8.1)$$

wobei \sum Summation über alle Regionen bedeutet und $\sum w = 1$ ist. Die Wichtung w gibt die relative Doppler-Reaktivitätsänderung an, die sich aus derselben mittleren Temperaturänderung in jeder Region ergeben würde. Für die Temperaturabhängigkeit des Dopplerkoeffizienten $\frac{dk_D}{dT}$ wird folgendes Gesetz verwendet.

$$\frac{dk_D}{dT} = a_\ell \bar{T}_\ell^{-3/2} + b_\ell \bar{T}_\ell^{-1}, \quad (2.8.2)$$

worin \bar{T}_ℓ eine massengewichtete, mittlere Temperatur (K) der ℓ -ten Region ist, und a_ℓ , b_ℓ wie w_ℓ Eingabegrößen sind. $k_D(t)$ in (2.8.1) erhält man durch Integration von (2.8.2) :

$$k_D(t) = -2a (\bar{T}_\ell(t))^{-1/2} + b \ln (\bar{T}_\ell(t)) \quad (2.8.3)$$

Die Materialverschiebungsrückwirkung δR_M setzt sich zusammen aus einem radialen und einem axialen Anteil:

$$\delta R_M \approx \int_{V_R} \frac{\rho}{\rho_0} \left[\frac{\partial \psi_0}{\partial R} \Delta r + \frac{\partial \psi_0}{\partial Z} \Delta z \right] dV \quad (2.8.4)$$

V_R Reaktorvolumen (cm^3)

Δr = r-R Verschiebung in radialer Richtung (cm)

Δz = z-Z Verschiebung in axialer Richtung (cm)

ψ_0 = $\psi(R, Z)$ Materialreaktivitätswert ($1/\text{cm}^3$)

Die Materialwerte ψ , aus einer Störungsrechnung stammend, haben folgendes Aussehen:

$$\begin{aligned}
\psi = - & \left[\sum_g \delta D^g \nabla \phi_g \nabla \phi_g^* + \sum_g \delta \Sigma_{\text{rem}}^g \phi_g \phi_g^* \right. \\
& - \sum_{g < g'} \delta \Sigma_t^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^* - \frac{1}{k} \sum_{g, g'} \delta F^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^* \left. \right] \\
& / \int_{V_R} \sum_{g, g'} F^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^* dV
\end{aligned} \tag{2.8.5}$$

Es bedeutet:

δx x gestört - x ungestört

g, g' Energiegruppe

D^g Diffusionskoeffizient

Σ_{rem}^g Makroskopischer Removalquerschnitt

$\Sigma_t^{g' \leftarrow g}$ Totaler, makroskopischer Streuquerschnitt von Gruppe g in Gruppe g' .

$F^{g' \leftarrow g} = \chi^{g'} (\nu \Sigma_f)^g$ Transferkoeffizient

ϕ_g, ϕ_g^* realer bzw. adjungierter Neutronenfluß der Gruppe g .

k effektiver Multiplikationsfaktor.

Die Wertgradienten $\partial\psi/\partial R$ und $\partial\psi/\partial Z$ beziehen sich auf den Mittelpunkt einer Rechenzelle und werden mit dem Material bewegt. Die Näherung mittels Störungstheorie erster Ordnung kann nur für "kleine" Verschiebungen gelten. Die Störungstheorie überschätzt die Materialbewegungsrückwirkung bei größeren Verschiebungen, weil sie die durch die auswärts gerichtete Materialbewegung hervorgerufene Flußabflachung nicht berücksichtigen kann. Dagegen, so hat Boudreau /1972a/ nachgewiesen, fallen die Abweichungen in der Störungstheorie-Näherung bei der Doppler-Rückwirkung weniger ins Gewicht.

3. Neutronenphysikalische Rechnungen

3.1 Zur Gewinnung von Materialwertkurven, Doppler-Koeffizienten samt Wichtungsfaktoren, Punktkinetik-Parametern und einer Leistungsdichteverteilung für die KADIS-Eingabe wurden neutronenphysikalische Rechnungen mit dem NUSYS-System und dem DIXY-Diffusionsprogramm /1973b/ durchgeführt. Dabei wurde angestrebt, einen Satz von Eingabedaten für den GSB-1 zusammenzustellen, der im Hinblick auf Genauigkeitsanforderungen mit den entsprechenden KADIS-Eingabedaten für den SNR-300 vergleichbar ist.

Zugrundegelegt wird der GSB-1 Entwurf /1973c, 1974b/ im Betriebszustand. Dazu eine Datenliste im Anhang A, Tab. A1. Abb. 3.1.1 zeigt die Reaktorgeometrie mit KADIS-Rechengitter. Es besteht aus 18 radialen und 29 axialen Gitterlinien. Die acht Reaktorzonen - 4 Anreicherungszone im Kern, 2 Zonen im radialen Blanket, je ein Blanket oben und unten - sind in 20 Regionen aufgeteilt. Für die verschiedenen nuklearen Rechnungen werden feinere Gitter genommen mit etwa doppelter Anzahl von Gitterlinien.

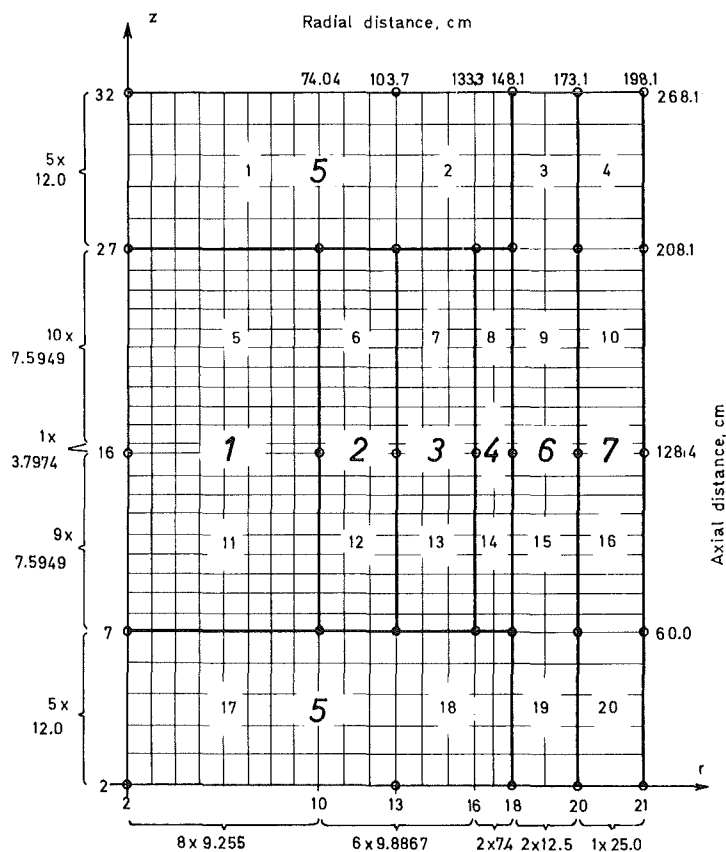


Abb. 3.1.1
KADIS-Rechengitter
für den GSB-1

Die Wirkungsquerschnitte stammen aus dem 26-Energiegruppensatz MOXTOT /1970c/. Die Materialverteilung und Teilchendichten findet man in Tab. A2.

3.2 Materialwerte

Die Materialreaktivitätswerte - siehe Abschnitt (2.8) - werden mittels einer Störungsrechnung bestimmt, basierend auf Störungstheorie erster Ordnung. Die Störungsrechnung liefert für jeden KADIS-Gitterpunkt und zusätzlichen Punkten in der Mitte zwischen zwei KADIS-Gitterpunkten einen lokalen Störungskoeffizienten $\delta(\frac{1}{k})/V$ (V: Volumen der Gitterzelle) und damit wegen $\delta(\frac{1}{k}) \approx -\delta R$ den geforderten Materialwert $\psi(R,Z)$. Im Anhang (Tab. A3) sind die Materialwerte für eine 10 %ige Dichtestörung tabelliert. Abb. 3.2.1 zeigt die Wertkurven an der Achse und an der Mittelebene. KADIS gewinnt aus den Werten für jeden Gitterpunkt die Materialwertgradienten $\partial\psi/\partial R$ und $\partial\psi/\partial Z$ durch dreifache, alternierende, quadratische Interpolation.

3.3 Doppler-Parameter

Die Parameter a und b aus dem zugrunde gelegten Temperaturngesetz

$$\frac{dk_D}{dT} = a/T^{3/2} + b/T \quad (3.3.1)$$

oder in integrierter Form

$$k_D(T_2) - k_D(T_1) = -2a \left[1/T_2^{1/2} - 1/T_1^{1/2} \right] + b \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} \quad (3.3.2)$$

und die Doppler-Wichtungsfaktoren aus Formel (2.8.1) werden nach zwei Methoden berechnet.

Methode 1: Aus Kritikalitätsrechnungen für verschiedene Brennstofftemperaturen bekommt man folgende Werte für k_{eff} :

k_{eff}	Temperatur (K)	
	Kern	Blanket
1.006519	1300	900
1.003654	2100	900
1.000377	3500	3500

Durch Einsetzen dieser Werte in (3.3.2) und Lösen des entstandenen linearen Gleichungspaares erhält man für die Doppler-Parameter a und b die Werte

$$a = 0,082$$

$$b = - 0,008 .$$

Die aus einer Störungsrechnung für eine Brennstofftemperatur von (2100 + 100) stammenden Störungskoeffizienten (siehe Tab. A4, Spalte 3) werden auf Summe = 1 normiert und als Wichtungsfaktoren verwendet. Siehe Tab. A4, Sp.7.

Methode 2: Aus den Störungskoeffizienten $\delta(\frac{1}{k})$ zweier Störungsrechnungen bei 2100 + 100 und 3000 + 100 Brennstofftemperatur werden für jede der 20 Regionen die Parameter a und b durch Einsetzen in (3.3.1) und Lösen des entstehenden linearen Gleichungspaares bestimmt. Siehe Tab. A4, Sp. 5 & 6.

3.4 Kinetische Parameter

Die Effektivwerte der Lebensdauer ℓ der prompten Neutronen und die Anteile β_i der verzögerten Neutronen der i-ten Gruppe, sowie die mittleren Zerfallskonstanten λ_i der Vorläufer der verzögerten Neutronen der i-ten Gruppe setzen die Berechnung des realen und adjungierten Neutronenflusses voraus.

Die effektive Lebensdauer ergibt sich aus:

$$\ell = k_{\text{eff}} \cdot \int_{V_{R_0}} \sum_i \frac{1}{v_i} \phi_i \phi_i^* dV_0 / N \quad (3.4.1)$$

k_{eff}	effektiver Multiplikationsfaktor
v_i	mittlere Neutronengeschwindigkeit in der i-ten Energiegruppe
V_R	Reaktorvolumen
$N =$	$\int_{V_R} \sum_{i,j} (\nu \Sigma_f)_i \chi_j \phi_i \phi_j^* dV_0$ Normierungsintegral
ϕ_i, ϕ_i^*	realer bzw. adjungierter Fluß der Gruppe i
$(\nu \Sigma_f)_i$	Makroskopischer Querschnitt Spaltneutronen x Spaltung der Gruppe i
χ_i	Spaltspektrum der prompten Neutronen

Die effektiven Anteile verzögerter Neutronen der k-ten Gruppe und m-ten Kernart ergeben sich aus:

$$\beta_{\text{eff}}^{m,k} = \int_{V_R} \sum_{i,j} (\nu \Sigma_f)_i^m \beta_{\text{eff}}^{m,k} \chi_j^k \phi_i \phi_j^* dV / N \quad (3.4.2)$$

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

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

Die experimentell bestimmten Anteile $\beta_{\text{eff}}^{m,k}$ sind dem Buch von Keepin /1965/ entnommen und in Tab. A5 aufgeführt. Für Pu²⁴¹ werden die Werte von Pu²³⁹ und für Pu²⁴² die von Pu²⁴⁰ genommen. Die Spektren χ_j^k für die Gruppen verzögerter Neutronen basieren auf Messungen von Fieg /1971/. Die Zerfallskonstanten ergeben sich aus:

$$\lambda^k = \sum_m \beta_{\text{eff}}^{m,k} \lambda^{m,k} / \beta_{\text{eff}}, \quad \bar{\lambda} = \sum_k \lambda^k \beta_{\text{eff}}^k / \beta_{\text{eff}} \quad (3.4.3)$$

Die Zerfallskonstanten $\lambda^{m,k}$ sind ebenfalls dem Buch von Keepin /1965/ entnommen und in Tab. A5 enthalten. In der folgenden Tabelle

(3.4.6) sind die nach (3.4.1) bis (3.4.3) ermittelten Kinetik-Parameter aufgeführt.

Index Gruppe verz.Neutr.	Zerfallskonstante λ^k (1/sec)	Anteil verz. Neutronen β_{eff}^k
1	0,01298	0,74969-4
2	0,03147	0,66137-3
3	0,13589	0,58468-3
4	0,34573	0,11893-2
5	1,36937	0,54820-3
6	3,80153	0,18244-3
	$\bar{\lambda} = 0,60368$	$\beta_{eff} = 0,003240959$
		$\rho = 0,48597-6$

Tab. 3.4.6 Kinetische Parameter

Die in Tab. A7 tabellierte Leistungsdichteverteilung gilt für den Zyklusbeginn des Gleichgewichtszyklus. Näheres in /1973c, 2.4/. Ihr axiales und radiales Profil entlang der Reaktorachse bzw. an der axialen Mittelebene zeigt Abb. 3.2.1.

Als Vorläuferkonzentrationen (vergleiche Formel 2.2.1) werden vereinfachend stationäre Werte verwendet:

$$C_i = \frac{\beta_i}{\lambda \lambda_i} n_0,$$

n_0 : Gesamtleistung (th) zu Beginn der
Disassemblyphase

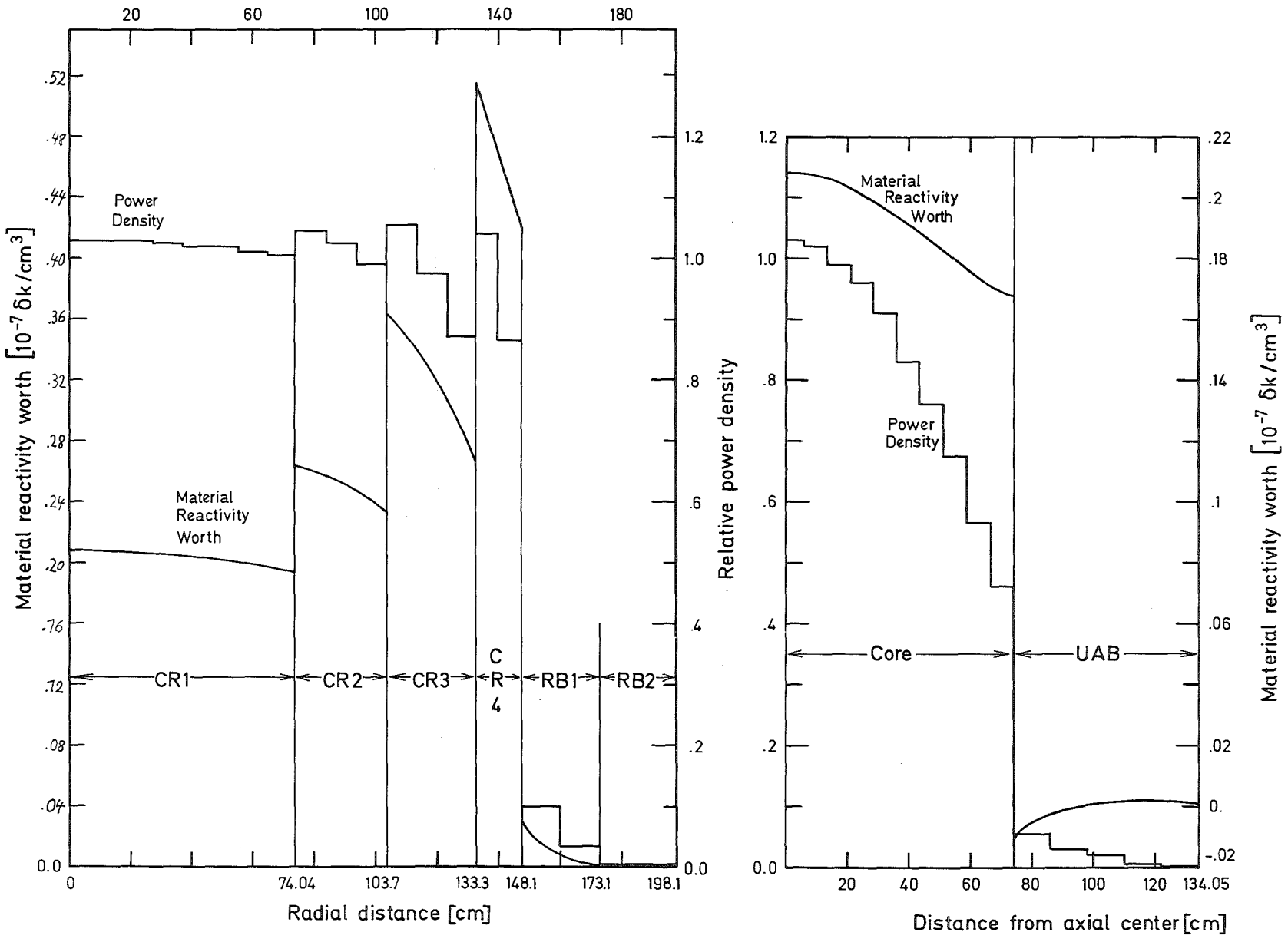


Abb. 3.2.1 Materialwert- und Leistungsdichteverteilung an der Achse und Mittelebene des GSB-Kerns

4. Rechnungen zur Pre-Disassembly-Phase

4.1 Das Modell

Das verwendete Modell zur Berechnung des zeitlichen Verlaufs von Leistung, Reaktivität und Brennstofftemperatur während der Einleitungsphase der hier untersuchten Leistungsexkursion ist in der GSB-Referenz- und Sicherheitsstudie 1972 /1973c/ ausführlich beschrieben. Hier nur das Wesentliche:

Die Kernleistung wird mit Hilfe der punktkinetischen Gleichungen für 6 Gruppen verzögerter Neutronen mit den in Tab. 3.4.6 angegebenen Kinetikparametern wie im Disassemblymodell (siehe Gleichungen (2.2.1)) berechnet. Die Gesamtreaktivität $R(t)$ setzt sich zusammen aus der durch die Abschaltstabbewegung freiwerdende Reaktivität $R_1(t)$ und den Reaktivitätsrückwirkungen infolge Temperaturerhöhung im Brennstoff (Doppler-Effekt), im Hüllrohr und im Kühlmittel:

$$R(t) = R_1(t) + \int_0^t \frac{1}{k} \left(\frac{\partial k}{\partial T_B} \frac{\partial T_B}{\partial t} + \frac{\partial k}{\partial T_H} \frac{\partial T_H}{\partial t} + \frac{\partial k}{\partial T_K} \frac{\partial T_K}{\partial t} \right) dt$$

T_B : mittlere Brennstofftemperatur (K)

T_H : mittlere Hüllrohrtemperatur (K)

T_K : mittlere Kühlmitteltemperatur (K)

Die benutzten Beziehungen für die Reaktivitätskoeffizienten findet man in Tab. A1 im Anhang.

Zur Bestimmung des zeitlichen Verlaufs mittlerer Temperaturen im Brennstab, Hüllrohr und Kühlkanal wird ein Brennstab mittlerer Leistung mit Kühlkanal betrachtet. Radial werden zwei volumengleiche Brennstoffzonen, eine Hüllrohrzone und eine Kühlkanalzone, - jeweils mit einer mittleren Temperatur - unterschieden. Ausgehend vom Betriebszustand (siehe Tab. 4.1.1) werden die Temperaturen mit Hilfe folgender Beziehungen berechnet.

- Wärmestrombilanz = Wärmekapazität x Temperaturänderung
in einer Zone
- Wärmestrom = Wärmeübergangszahl x Grenzfläche
x Temperaturgefälle
zwischen zwei Zonen und
- Wärmetransport = spezifische Wärme x Kühlmitteldurchsatz
x Aufheizspanne
im Kühlkanal.

Dabei wird angenommen, daß sich die Gesamtleistung des Stabes auf die beiden Brennstoffzonen je zur Hälfte verteilt und der Wärmestrom vom Hüllrohr im Kühlmittel vollständig vom Kühlmittelstrom abgeführt und nicht gespeichert wird.

Temp. der inneren Brennstoffzone	1778 K
Temp. der äußeren Brennstoffzone	1219 K
Hüllrohrtemperatur	765 K
Kerneintrittstemperatur	546 K
Leistung pro Stab	46,2 kW
Kühlmitteldurchsatz pro Kanal	31,62 g/s

Tab. 4.1.1 Thermohydraulische Daten eines Brennstabes mittlerer Leistung mit Kühlkanal im Betriebszustand

Für die spezifischen Wärmen des Brennstoffs beider Zonen und des Hüllrohrmaterials werden folgende Beziehungen verwendet.

$$\text{Brennstoff: } c_p = 0,05275 \cdot T_B + 263,6 \quad \text{J/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{Hüllmaterial: } c_p = 0,3349 \cdot T_H + 327,3 \quad \text{J/kg} \cdot \text{K}$$

Die Berechnung des Wärmestroms zwischen Hüllrohr und Kühlmittel wird mit der Wärmeübergangszahl

$$\alpha(t) = \frac{2 \cdot 0,023 \cdot Pr^{0,4}}{F^{0,8} \cdot d_h^{0,2}} \cdot \lambda \cdot \left(\frac{\dot{m}(t)}{\mu} \right)^{0,8} \quad (\text{W/cm}^2 \cdot \text{K})$$

durchgeführt. Dabei ist:

- F: Freier Strömungsquerschnitt um den Brennstab (cm^2)
- d_h : hydraulischer Durchmesser des Kanals (cm)
- $\dot{m}(t)$: Kühlmitteldurchsatz pro Kanal (kg/s)
- λ : Wärmeleitfähigkeit des Kühlmittels
 $= 2,92 \cdot 10^{-6} T_k + 6,9 \cdot 10^{-4}$
- μ : dynamische Zähigkeit des Kühlmittels ($\text{kg/cm} \cdot \text{s}$)
 $= 0,0413 \cdot 10^{-7} T_k^{0,68} \text{ kg/cm} \cdot \text{s}$
- Pr: Prandtlzahl des Kühlmittels
 $= 0,667$

Die Bestimmung der Temperaturverteilung zum Disassembly-Umschalt-
 punkt erfordert eine Korrelation zwischen der Temperatur des oben
 betrachteten Brennstabes mittlerer Leistung und der Temperatur
 im höchstbelasteten Brennstab, weil in ihm zuerst die Umschalt-
 temperatur von 3500 K erreicht wird. Dort wird entsprechend der
 Temperatur $T_0 = 3500 \text{ K}$ der Enthalpiezuwachs ΔW nach folgender
 Formel berechnet.

$$\Delta W = \int_T^{T_m} c_p(T) dT + H_m + \int_{T_m}^{T_0} c_p(T) dt \quad (4.1.2)$$

- T mittlere Brennstofftemperatur im Normalbetrieb
- T_m Schmelzpunkt
- H_m Schmelzwärme
- c_p spezifische Wärme
- } des Brennstoffs

Wir nehmen dabei an, daß die Aufheizung adiabatisch geschieht, d. h.
 daß sich nur der Brennstoff aufheizt und Kühlmittel und Hülle ihre
 Temperatur nicht ändern. Dieser so ermittelte Wert liefert, ge-
 wichtet mit der Leistungsdichteverteilung für Normalbetrieb, eine
 Enthalpiedichteverteilung, die wie (4.1.2) zusammengesetzt ist.
 Ausgehend von einer Temperaturverteilung T für Normalbetrieb
 (siehe Tab. B1 im Anhang B) wird aus dieser Verteilung die gesuchte
 Brennstofftemperaturverteilung T_0 numerisch mit Hilfe (4.1.2) be-

stimmt. Angenommen wird hier, daß sich die Leistungsdichteverteilung während der Transiente auch über den promptkritischen Zustand hinaus nicht ändert. Berücksichtigt wird der Verbrauch von Schmelzwärme und eine temperaturabhängige spezifische Wärme. Oberhalb des Schmelzpunktes wird der Wert

$$c_p = 520 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

und unterhalb des Schmelzpunktes die in Abb. (4.1.3) dargestellte Beziehung verwendet. Für den Schmelzpunkt und die Schmelzwärme werden dieselben Werte wie in der Brennstoffzustandsgleichung (siehe Tab. 2.6.1) verwendet.

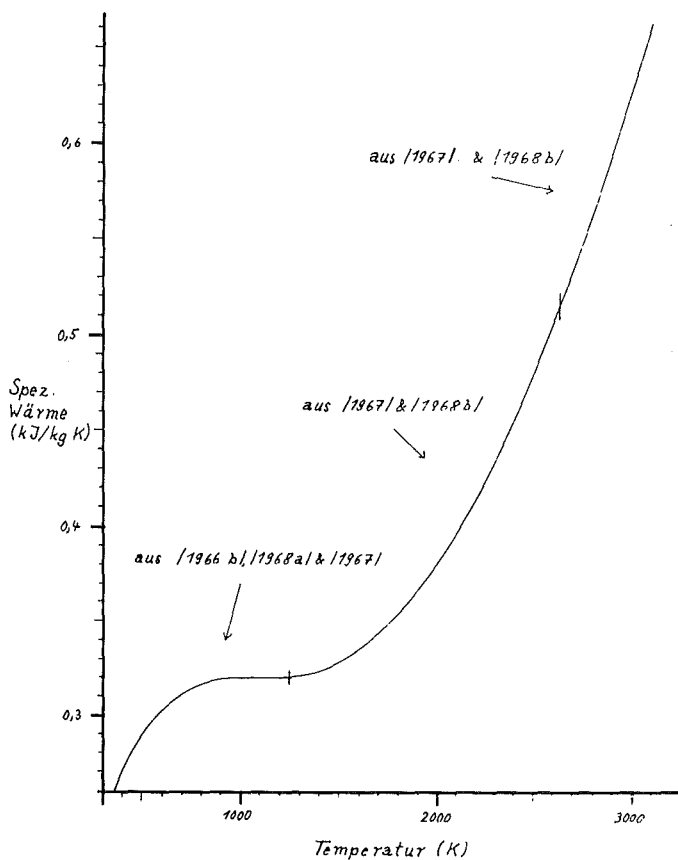


Abb. 4.1.3 Spezifische Wärme von $(U_{0,8} P_{0,2})O_2$

Der Einsatz dieses punktkinetischen Einkanalmodells ist nur für erste Orientierungsrechnungen gerechtfertigt. Die Bereitstellung eines Predisassembly-Rechenprogramms speziell für Gasbrüter durch Anpassung von geeigneten Programmen der Natriumlinie ist von uns für 1976/77 geplant.

4.2 Rechenergebnisse

Die Ergebnisse der punktkinetischen Rechnung sind in Abb. 4.2.1 dargestellt. Die Abbildung zeigt als Funktionen der Zeit die durch die Abschaltstabbewegung hervorgerufene Reaktivitätszufuhr, die verzögert einsetzende Dopplerrückwirkung, die resultierende Nettoaktivität sowie die sich einstellenden Leistungsschwingungen. Der promptkritische Zustand wird 78 ms nach Beginn der Stabbeschleunigung erreicht. Der maximale Wert der Leistung beträgt etwa das 750 fache der Nennleistung.

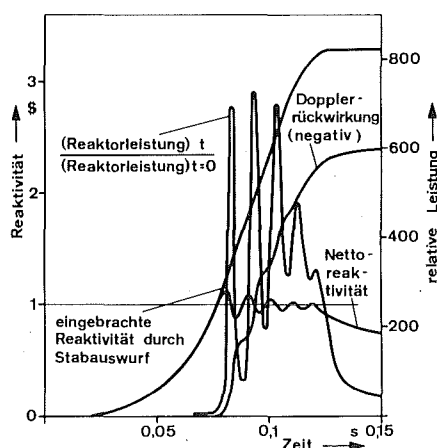


Abb. 4.2.1 Reaktivitäten und Leistung in der Predisassemblyphase eines Abschaltstabauswurfstörfalls

Abb. 4.2.2 zeigt als Ergebnis der Einkanalrechnung, umgerechnet auf den höchstbelasteten Brennstab, die Änderungen der mittleren Temperaturen in Brennstab, Hülle und Kühlmittel. Man sieht: Die Temperatur in Hülle und Kühlgas ändert sich praktisch nicht, d. h. die Aufheizung erfolgt adiabatisch. Bei 98 ms wird im höchstbelasteten Stab eine Brennstofftemperatur von 3500 K erreicht, der ein Sättigungsdampfdruck von Brennstoff von nahezu 1 b entspricht. Da dieser Druck das Kriterium (siehe Abschnitt 5) für die Umschaltung auf die Disassemblyphase erfüllt, ist 98 ms nach Beginn des Auswurfs die Pre-Disassemblyphase beendet.

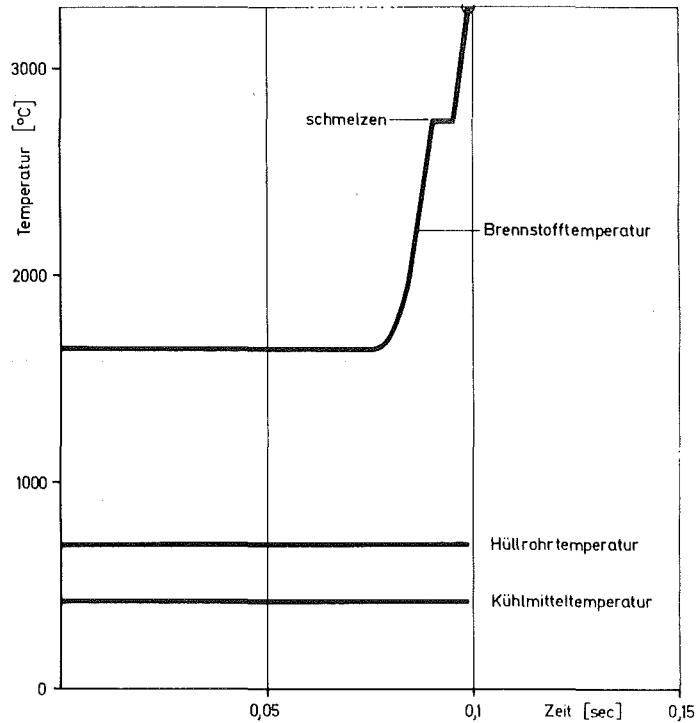


Abb. 4.2.2 Mittlere Temperaturen im höchstbelasteten Brennstab mit Kühlkanal in der Predisassemblyphase eines Abschaltstabauswurfstörfalls.

Zu diesem Zeitpunkt beträgt die zugeführte Reaktivität 2,3 \$, die Dopplerrückwirkung - 1,2 \$ - sie entspricht einer mittleren Kerntemperatur von ca. 2370 K - so daß sich eine Nettoreaktivität von 1,034 \$ ergibt. Die Exkursionsenergie bis dahin ist etwa 16 000 MJ.

Die übrigen Ergebnisse der Pre-Disassembly-Rechnungen findet man im Anhang B: Mittlere Brennstofftemperaturen des Kerns und der Brutmäntel zum Disassembly-Umschalt-punkt für die KADIS-Rechenzellen. Außerdem die Dichten und Volumenanteile des Brennstoffs, die diesen Temperaturen entsprechen. Abb. 4.2.3 zeigt eine axiale und eine radiale Traverse im Kernzentrum bzw. in der Mittelebene durch die Brennstofftemperaturverteilung.

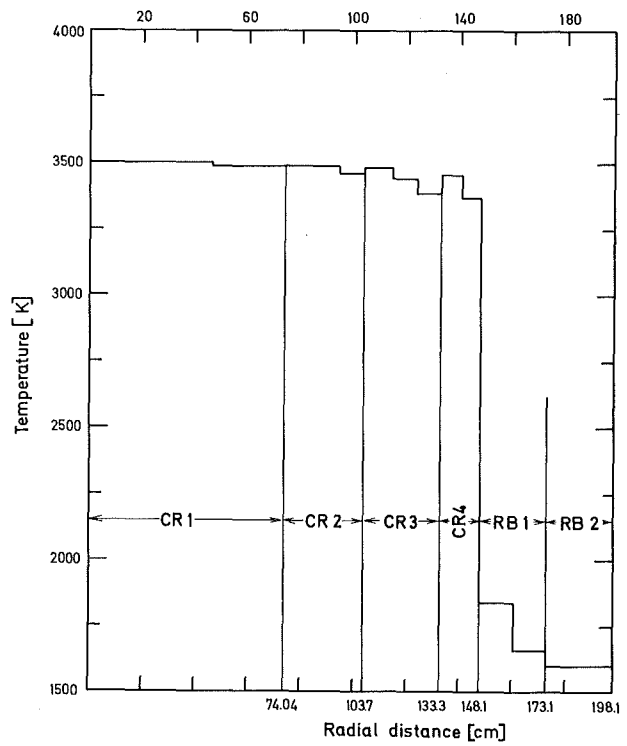
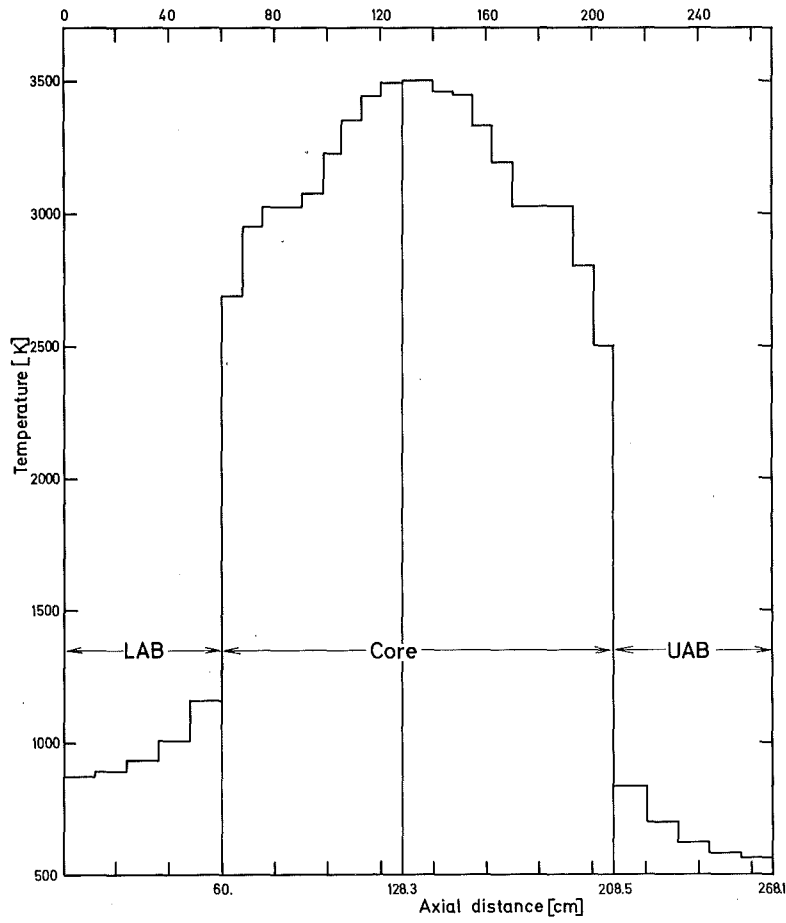


Abb. 4.2.3 Brennstoff-temperaturprofil am Anfang der Disassemblyphase axial im Zentrum und radial in der Mittel-ebene

5. Ergebnisse der Disassembly-Rechnungen (Basisfall)

5.1 In diesem Abschnitt werden die KADIS-Ergebnisse zunächst für einen Basisfall, im nächsten Abschnitt dann für eine Reihe von Fällen, dargestellt, in denen Eingangsparameter im Sinne einer Sensitivitätsstudie variiert werden. Dabei beschränken sich die Parametervariationen auf die Disassemblyphase. Das Eingabepaket für die Disassemblyrechnungen, wie in den beiden vorangehenden Abschnitten zusammengestellt, entspricht dem Stabauswurf bei Vollast mit einer Leistungsverteilung am Zyklusanfang (Gleichgewichtszyklus). Im allgemeinen schaltet man um von der Predisassembly- auf die Disassemblyphase in dem Augenblick des Exkursionsgeschehens, wenn sich der Kern so aufgeheizt hat, daß ein merklicher Druckaufbau einsetzt. In unserem Fall wird als Umschalttemperatur 3500 K gewählt. Genauer: die Disassemblyrechnung beginnt, wenn die mittlere Brennstofftemperatur im heißesten Brennstab in der Kernmittelebene 3500 K beträgt. Wie aus der Abb. 2.5.3 (Druck versus Brennstofftemperatur) abgelesen werden kann, entspricht dieser Temperatur ein Brennstoffdampfdruck von etwa 1 b. Der Zeitpunkt für die Beendigung der Disassemblyrechnung ist dort zu suchen, wo die Energieerzeugung so langsam zunimmt, daß etwa 99 % der anhand des Leistungsverlaufs zu vermutenden Endenergie erreicht sind. In unseren Rechnungen ist diese Bedingung im allgemeinen erfüllt, wenn die Leistung unter 500 000 MW(th) absinkt.

5.2 Ergebnisse

Nach den Ausführungen im letzten Abschnitt liegt zum Umschaltzeitpunkt, 98 ms nach Beginn des Stabauswurfes, etwa folgende Anfangssituation für die Disassemblyphase vor:

Anfangsleistung	n_0 : 833400 MW (= 300 fache Nennleistung (th))
Anfangsreaktivität	R_0 : 1,034 β
Reaktivitätsrampe	A: 61,7 β/s

Tab. 5.2.1 Disassembly-Anfangswerte (Basisfall)

Diese Anfangswerte ^{*)} zusammen mit den Daten aus den Abschnitten 3 und 4 - Dopplerkoeffizienten berechnet nach Methode 2 - definieren den Basisfall.

Die Ergebnisse der Disassemblyrechnungen für den Basisfall sind in den Abbildungen 5.2.2 bis 5.2.9 und Tab. 5.2.10 dargestellt. Die Gesamtleistung, in zeitlichem Verlauf zusammen mit der Energie in Abb. 5.2.2 gezeigt, erhöht sich, steil ansteigend, auf das 9fache der Anfangsleistung n_0 , bevor die Dopplerrückwirkung die Leistung in ein Maximum bei 1,7 ms zwingt und sie anschließend zunächst steil, dann flacher abfallen läßt. Bis zum Erreichen der Stopbedingung, $n(t) < 500\ 000\ MW$, werden während der Disassemblyphase an nuklearer Energie etwa 21000 MJ erzeugt.

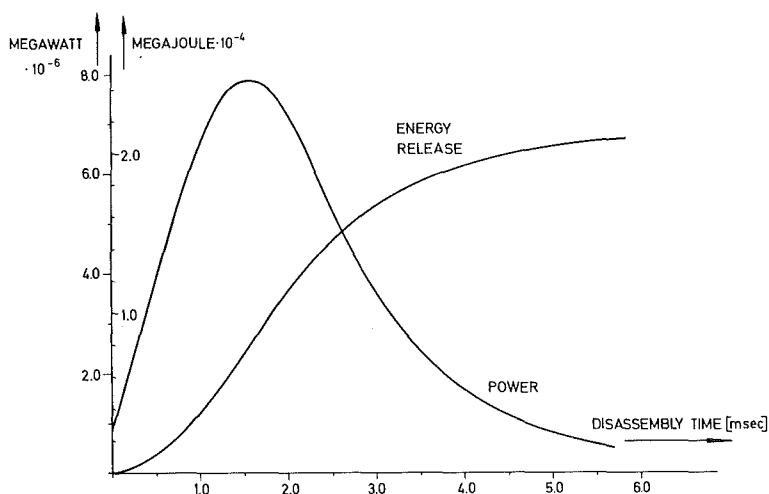


Abb. 5.2.2
Leistung und
Energie (Basisfall)

Die Zeitgeschichte der verschiedenen Reaktivitätsbeiträge enthält Abb. 5.2.3. Der Dopplereffekt dominiert bis etwa 4 ms, wo bereits über 90 % der während der Kernzerlegungsphase erzeugten Energie freigesetzt sind. Die anschließend stark zurückwirkende Materialverschiebung schaltet den Reaktor bei 4,8 ms ab; sie verteilt sich im übrigen zu gleichen Teilen auf die radiale und axiale Richtung.

^{*)} In der Disassemblyphase beginnt die Zeitrechnung wieder bei $t = 0$. "Anfangs-" bedeutet den Anfang der Disassemblyphase.

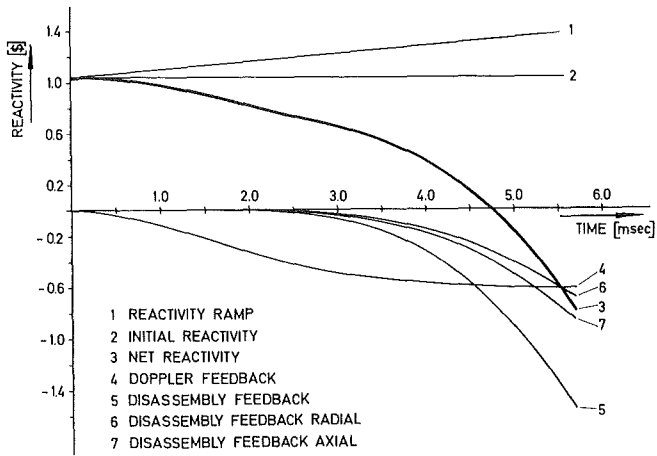


Abb. 5.2.3 Netto-Reaktivität und Reaktivitätsrückwirkungen (Basisfall)

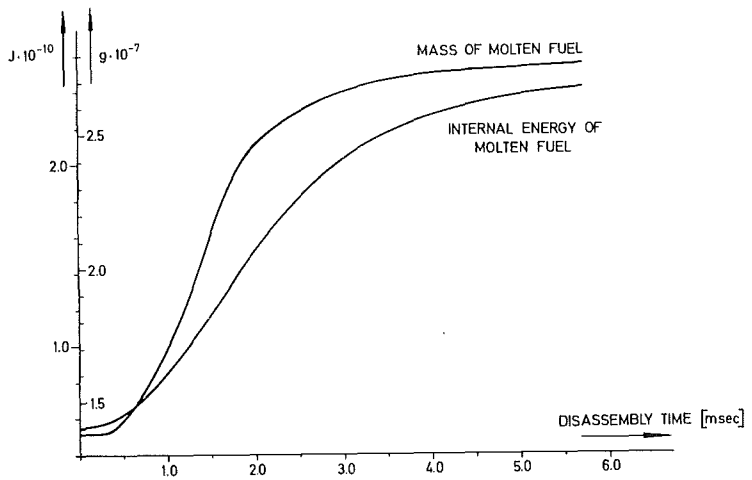


Abb. 5.2.4 Masse und Energie des geschmolzenen Brennstoffs (Basisfall)

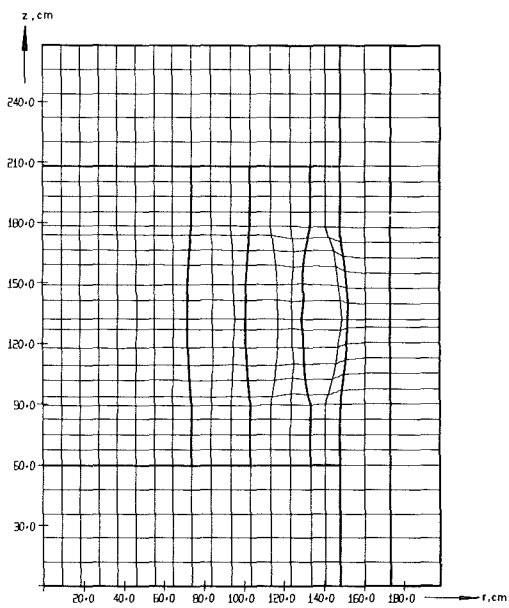


Abb. 5.2.5 Materialverschiebungen am Ende der Disassembly-Rechnung (Basisfall)

Die Nettoaktivität nimmt nach einem kaum erkennbaren Maximum bei 0,1 ms monoton ab. Die Marken 'prompt kritisch' und 'kritisch' liegen bei 0,7 bzw. 4,7 ms.

Abb. 5.2.4 zeigt, daß zu Beginn der Disassemblyphase schon fast 14000 kg Brennstoff, das sind 50 % der Brennstoffmasse des Kerns geschmolzen und die Energie des geschmolzenen Brennstoffs ~ 5000 MJ beträgt. Im weiteren Verlauf der Exkursion wird der Kern fast vollständig aufgeschmolzen und auf eine mittlere Temperatur von über 4400 K gebracht. Die Energie des geschmolzenen Brennstoffs (siehe Formel 2.6.2) beträgt am Ende etwa 24000 MJ. Im Unterschied zur berechneten Energieausbeute von 21000 MJ ist in dem Wert der Energie des geschmolzenen Brennstoffs kraft Formel (2.6.2) die Pre-Disassemblyphase berücksichtigt.

In Abb. 5.2.5 ist das Lagrange-Gitter, das den KADIS-Bedingungen zugrunde liegt, am Ende der Rechnung gezeichnet. Die größten Deformationen treten in der 4. Anreicherungszone auf.

Eine genauere Betrachtung der Ergebnisse im Anhang C (C1-C4) zeigt, daß die größten radialen Geschwindigkeiten und Verschiebungen in den äußeren Kernzonen vorkommen. An den Innengrenzen der 2., 3. und 4. Anreicherungszone treten sogar nach innen gerichtete Bewegungen auf. Die geringsten Geschwindigkeiten und Verschiebungen ergeben sich für die 1. Anreicherungszone.

Als Ursache hierfür ist die Form der Leistungsverteilung in radialer Richtung anzusehen. Im Inneren des Kerns, besonders in der 1. Anreicherungszone, ist die Leistungsdichteverteilung sehr flach, so daß sich da nur geringe Leistungs- und damit Druckgradienten ergeben. In den äußeren Anreicherungszone sind wesentlich größere Leistungsgradienten vorhanden, so daß dort durch die entsprechenden Druckgradienten die Bewegung leichter eingeleitet werden kann. Die an inneren Grenzen auftretenden nach innen gerichteten Bewegungen sind mit den an den Grenzen der Anreicherungszone auftretenden Leistungssprüngen erklärbar.

Die axialen Bewegungen erreichen ihre größten Werte im oberen und unteren Viertel des Kerns. Auch hier ist die zunächst ziemlich flache Leistungsdichteverteilung in der Kernmitte und der sich anschließende Leistungsdichteabfall als Ursache anzusehen.

Die Kurven (5.2.6) bis (5.2.9) zeigen den zeitlichen Verlauf von Temperatur und Druck an einigen ausgewählten Stellen des Kerns. Die Positionen sind in folgender Tabelle spezifiziert:

Gitterzelle	R, cm	Z, cm	Lage
(2,17)	0.0	136	Kernzentrum
(15,17)	128	136	Zwischen 3. & 4. Anreicherungszone
(16,17)	137	136	4. Anreicherungszone
(16,25)	137	197	4. Anreicherungszone am oberen Brutmantel

Im Kernzentrum (Abb. 5.2.6) haben wir zwischen Druck und Temperatur genau die Dampfdruckbeziehung (2.5.2) (vergleiche Abb. (2.5.3)); am Ende herrscht dort entsprechend der Temperatur von nahezu 5600 K ein Brennstoffpartialdampfdruck von 143 b. Aus der nächsten Abb. (2.5.7) ersehen wir dagegen, daß zwischen den beiden äußeren Anreicherungszone gegen Ende der Rechnung ein einphasiger Druck von etwa 4000 b infolge starker Kompression auftritt, der jedoch sehr schnell wieder verschwindet. Alle gezeichneten Druckkurven sind Totaldruckkurven, die den fiktiven pseudo-viskosen Druck enthalten. Normalerweise ist dieser um Größenordnungen kleiner als der eigentliche Druck, anders ist es bei extrem großer Kompressionsgeschwindigkeit. Dann nimmt er Werte an, die mit dem eigentlichen Druck vergleichbar sind. Das letztere trifft auf die Zelle (15, 17) zu; vor der Spitze des einphasigen Druckes liegt der Totaldruck deutlich höher als nach der Spitze. Die Druck- und Temperaturkurve im Zentrum der 4. Anreicherungszone (Abb.(2.5.8)) bietet einen ähn-

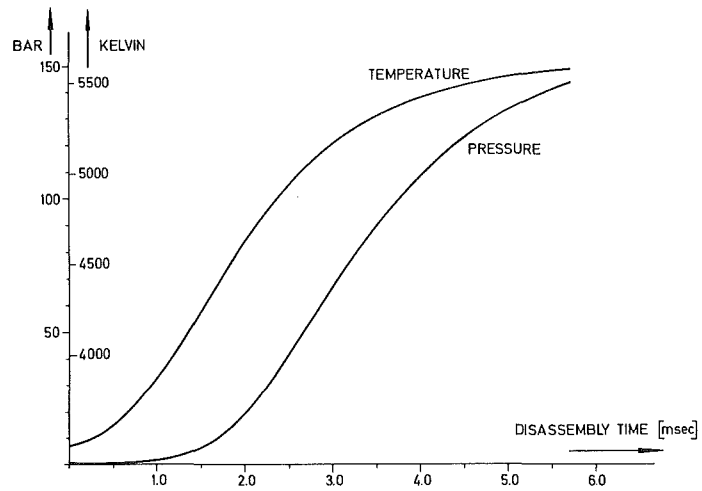


Abb. 2.5.6 Temperatur- und Druckverlauf im Kernzentrum

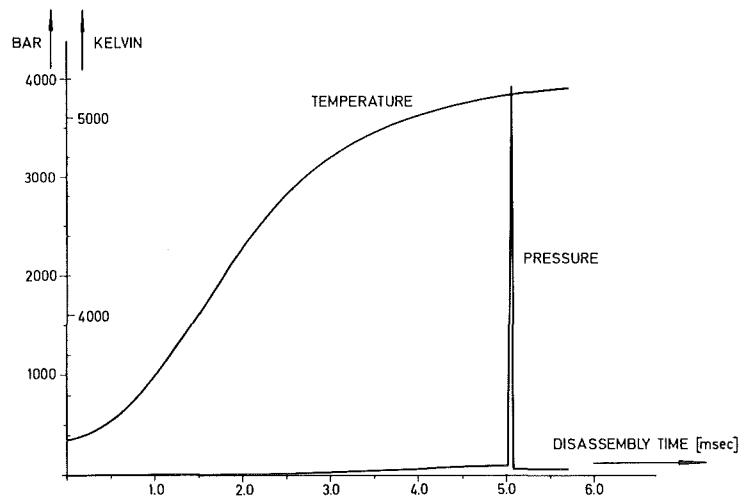


Abb. 2.5.7 Temperatur- und Druckverlauf zwischen 3. und 4. Anreicherungszone

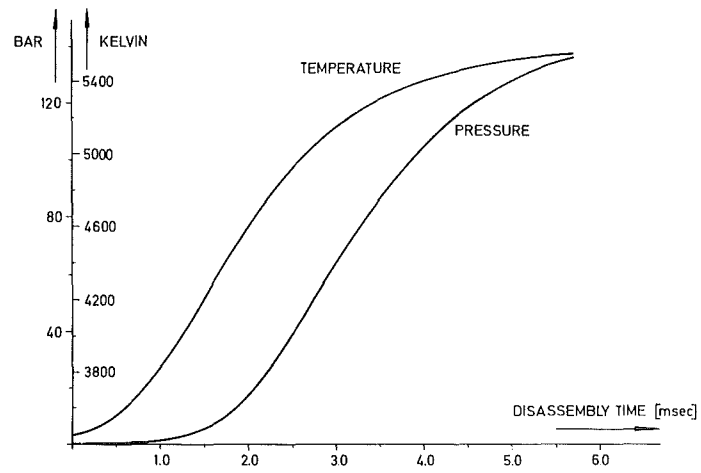


Abb. 2.5.8 Temperatur- und Druckverlauf in
4. Anreicherungszone

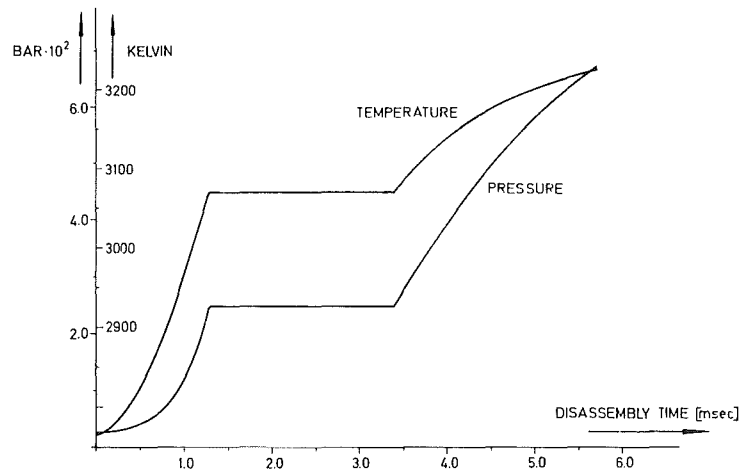


Abb. 2.5.9 Temperatur- und Druckverlauf in
4. Anreicherungszone am oberen Brutmantel

lichen Verlauf wie im Kernzentrum. In der Zelle (16, 25) liegt die Anfangstemperatur unter dem Schmelzpunkt, weswegen wir in Abb. 2.5.9 einen deutlichen Schmelzbereich sehen, wo Druck und Temperatur stagnieren bis aller Brennstoff der Zelle aufgeschmolzen ist. Die heißeste Stelle mit dem höchsten Druck ist (13, 17) und liegt genau da, wo die Leistungsverteilung ihr Maximum hat (vergleiche Tab. C8 mit Tab. A7). Die wesentlichen Ergebniszahlen der Rechnung des Basisfalles sind noch einmal in folgender Tabelle zusammengefaßt:

5,7 ms	Disassemblydauer (Leistung \geq 500 000 MW)
329	Anzahl der Zeitschritte
20 869 MJ	Energiefreisetzung während der Kernzerlegung
24 153 MJ	Energieinhalt des geschmolzenen Brennstoffs
27 608 kg	Masse des geschmolzenen Brennstoffs
4430 K *	Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs
5611 K	Maximale Temperatur
1910 b *	Maximaler Druck
47 m/s *	Maximale radiale Geschwindigkeit
37 m/s *	Maximale axiale Geschwindigkeit
9 cm	Maximale radiale Verschiebung
4 cm	Maximale axiale Verschiebung
7 881 357 MW	Maximale Gesamtleistung
4457 b	Maximaler Druck

* im letzten Rechenzyklus

Tab. 5.2.10 Ergebnisse-Basisfall

Während bei KADIS der zu berechnende Bereich nur Kern und Brutmantel umfaßt, berechnet das Tankbelastungsprogramm ARES /1974b/ die Druckwellenausbreitung im gesamten Spannbetonbehälter unter Beachtung der elastisch-plastischen Eigenschaften des 'Liners' und der Außenschale. Dazu geht ARES von denselben Anfangsbedingungen für die geometrischen und thermodynamischen Größen aus. Es rechnet die Disassemblyphase noch einmal und benützt den in KADIS

berechneten Leistungsverlauf als Energiequelle für den Druckaufbau.

Verschiedene ARES-Rechnungen ergeben, daß für die Stahlstrukturen der elastische Bereich des Spannungs-Dehnungs-Diagramms nur unwesentlich verlassen wird und daß infolge der geringen Dehnungen (0,3 %) eines fiktiven Außentanks, der die Spannkabel simulieren soll, auch für den Beton Beschädigungen bei dieser Leistungsexkursion nicht zu erwarten sind. Die Schwere der Exkursion ist durch eine andere Zahl charakterisiert: 24153 MJ in 27608 kg geschmolzenem Brennstoff (= 0,87 MJ/kg), *) eine Kernschmelze mit einer mittleren Temperatur von 4430 K, die durch passive Sicherheitseinrichtungen beherrscht sein will.

Zur numerischen Stabilität der KADIS-Rechnung noch folgendes: Wie der Tabelle zu entnehmen ist, beträgt die mittlere Zeitschrittlänge 17 μ s. Nach genauerer Einsicht des Rechenprotokolls stellt man fest, daß fast während der ganzen Rechnung (von 0,3 bis 4,9 ms) mit der als Maximum vorgegebenen Zeitschrittlänge von 20 μ s gerechnet wird. Nur am Anfang, infolge des sehr steilen Leistungsgradienten und gegen Ende wegen merklicher Gitterverzerrung, sind kürzere Zeitschritte notwendig, jedoch nicht kleinere als 5 μ s.

*) Ähnliche Werte (zwischen 0,64 und 0,90 MJ/kg) wurden bei der Analyse von vergleichbaren Rampenunfällen beim Natriumbrüter SNR 300 für den Mark Ia-Kern gefunden /1974f/.

6. Parametervariationen

6.1 Gehen wir davon aus, daß Leistungs- und Reaktivitätsverlauf während der Einleitungsphase der Exkursion und der Umschaltpunkt zur Diassemblyphase nur grob bestimmt werden können, dann ergibt sich daraus eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Anfangsbedingungen für die Kernzerlegungsphase. Deshalb ist es nützlich, mit Intervallen zu rechnen, d. h. die betreffenden Eingangsparameter zu variieren. Ohne Rücksicht auf die Tatsache, daß sich die Diassemblyanfangsbedingungen in komplexer Weise aus dem Geschehen in der Predisassemblyphase ergeben, werden die Parameter unabhängig von ihrer Vorgeschichte und deren Einfluß auf andere Größen der Exkursion nur für die KADIS-Rechnung variiert. Eine Sensitivitätsstudie, die die Variationen vom Unfallbeginn bis zu den Behälterbelastungsrechnungen konsistent durchzieht, wäre wünschenswert, kann aber zur Zeit noch nicht durchgeführt werden. Bei unseren wenigen Parametervariationen erkennt man aber doch schon, welche Eingangsgrößen besonders einflußreich sind und bei ihrer Wertzuweisung besondere Sorgfalt erfordern. Bevor wir zu den Variationen der Anfangsbedingungen kommen, sollen noch KADIS-Ergebnisse mitgeteilt werden, die die Dopplerkoeffizienten und die Zustandsgleichung betreffen.

Wie im Abschnitt 3.3 näher beschrieben, haben wir zwei Doppler-Parametersätze zur Verfügung, nach Methode 1 ein globales Temperatargesetz mit regionalen Wichtungsfaktoren und nach Methode 2 regional verschiedene Temperatargesetze mit einheitlicher Wichtung. Bei den Rechenfällen mit variiertem Reaktivitätseinsatz wurde der erste Satz verwendet, alle übrigen Rechnungen wurden mit dem 2. Satz ausgeführt. Der Basisfall wurde mit beiden Sätzen gerechnet, um bei den Variationen mit den entsprechenden Ergebniswerten vergleichen zu können. Die Hauptergebnisse dieser beiden Rechnungen erscheinen in der folgenden Tabelle als Relativwerte bezogen auf den Wert, der mit dem 2. Satz errechnet wurde. Die Bezeichnungen sind in Abb. 6.2.2 erklärt.

t	0,939	\dot{T}	1,027
n_{\max}	1,118	\dot{P}	1,298
E	1,071	u_{\max}	1,156
E^*	1,058	v_{\max}	1,205
M^*	1,012	Δr_{\max}	0,941
\bar{T}^*	1,021	Δz_{\max}	0,931
T_{\max}	1,027		

Tabelle 6.1.1: Vergleich der beiden Doppler-Parametersätze für den Basisfall

Die Ergebnistabelle weist deutliche Unterschiede aus, die auf die im ganzen schwächere Doppler-Rückwirkung im Falle der Verwendung des 1. Satzes zurückzuführen ist (siehe Abb. 6.1.2). In der Energiefreisetzung ergibt sich ein Unterschied von $\sim 7\%$.

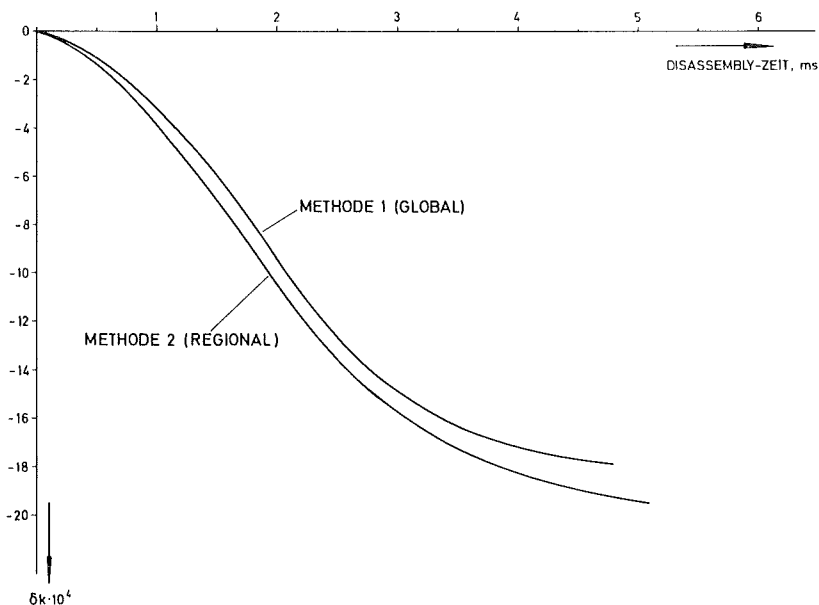


Abb. 6.1.2 Vergleich zweier Doppler-Parametersätze (Basisfall)

Was schließlich die Zustandsgleichung angeht, so wurden alle Rechnungen mit der normalen, dichteabhängigen Zustandsgleichung, wie sie im Abschnitt 2.5 beschrieben ist, gerechnet. Für den Basisfall erbrachte eine Vergleichsrechnung, die die Dampfdruckbeziehung (2.5.2) anstelle von (2.5.6) verwendet, nahezu identische Ergebnisse. Daraus folgt, daß für die betrachtete Exkursion, die einphasigen Flüssigkeitsdrücke keine Rolle spielen, was auch aufgrund des relativ hohen Heliumvolumenanteils, der als Leervolumenanteil in der vorgenommenen Modellierung verwendet wird, des Kerns verständlich ist.

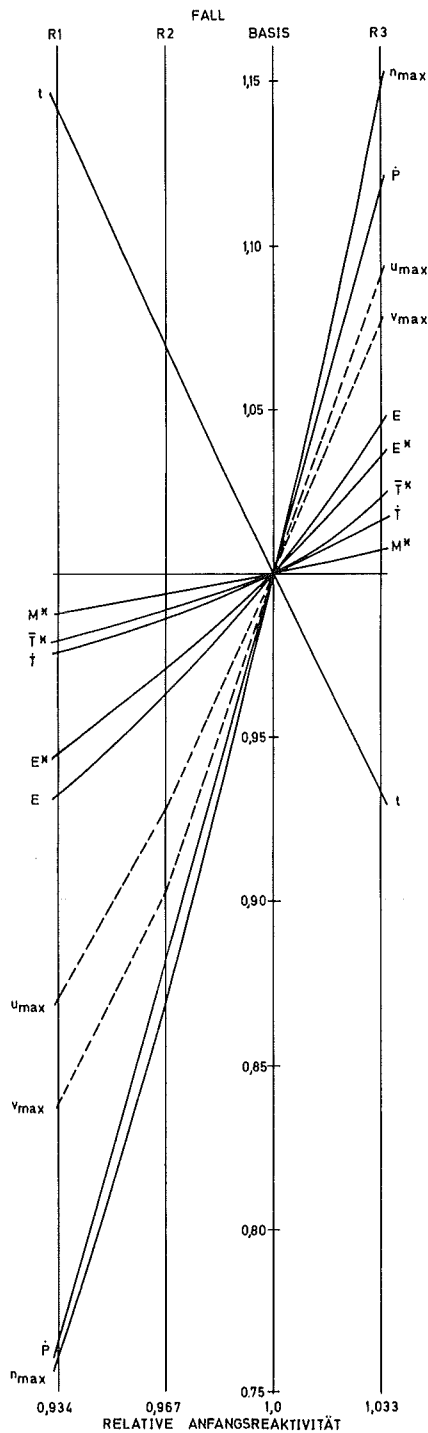
6.2 Reaktivitätseinsatz und Leistungsniveau

Wir beginnen mit den Variationen der Eingangsgrößen, Anfangsreaktivität R_0 , Rampensteilheit A und Anfangsleistungsniveau n_0 . Das zeitliche Verhalten von Leistung, Energie, Reaktivität, Druck und Temperatur stellt sich in diesen Fällen als qualitativ gleich wie im Basisfall heraus. Deshalb verzichten wir auf die zeitabhängigen Kurven und beschränken uns auf den Vergleich der Schlüsselergebnisse, die in Tab. 6.2.1 und den Abbn. 6.2.2 bis 6.2.4 grafisch dargestellt sind. Die angegebenen Zahlen sind Relativwerte bezogen auf die Werte des Basisfalles (siehe Tab. 5.2.10). Am durchschlagendsten ist mit Abstand die Veränderung der Anfangsreaktivität.* Dann folgen die Variationen der Leistung und der Rampensteilheit. Man entnimmt den Grafiken, daß aus 3,5 % mehr Reaktivität, einer 20 %- höheren Leistung oder einer 30 %- steileren Rampe als beim Basisfall jeweils ein 5 ziger Zuwachs der Energiefreisetzung E resultiert. Die Zuwachsraten von E und E^* , der Energie im geschmolzenen Brennstoff, liegen dicht beieinander. E wächst stärker als E^* , weil die PdV-Arbeit stärker als E zunimmt, sichtbar an den gestrichelten Δr_{\max} - und Δz_{\max} -Geradenstücken. Abgesehen von den Geschwindigkeitsmaxima u_{\max} , v_{\max} am Ende der Rechnung, die stark von den auftretenden, einphasigen Drücken abhängen, sprechen von den ausgewählten Größen die maximale Leistung n_{\max} und der Druck \dot{P} im Kernzentrum am stärksten, die Masse M^* des geschmolzenen Brennstoffs am schwächsten auf die Wertverände-

*) Man beachte, daß hier nicht die prompte Reaktivität $R-\beta$ gemeint ist.

Variation	der Anfangs- reaktivität R_0			der Rampen- steilheit A		der Anfangsleistung n_0					
R_0	0,934	0,967	1,033	1	1	1	1	1	1	1	1
A	1	1	1	0,5	2,0	1	1	1	1	1	1
n_0	1	1	1	1	1	0,667	1,333	1,667	2,00	2,333	2,667
\bar{T}_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
t	1,141	1,069	0,933	1,071	0,861	1,017	0,966	0,948	0,948	0,931	0,914
n_{\max}	0,760	0,870	1,149	0,856	1,414	0,843	1,148	1,288	1,420	1,548	1,670
E	0,932	0,963	1,046	0,913	1,201	0,919	1,070	1,131	1,187	1,237	1,283
E^*	0,945	0,971	1,036	0,913	1,167	0,934	1,057	1,107	1,152	1,193	1,233
M^*	0,988	0,994	1,007	0,985	1,023	0,987	1,011	1,020	1,026	1,031	1,035
\bar{T}^*	0,979	0,989	1,023	0,973	1,063	0,971	1,021	1,039	1,056	1,071	1,086
T_{\max}	0,974	0,986	1,016	0,966	1,076	0,970	1,016	1,048	1,068	1,086	1,104
\dot{T}	0,976	0,986	1,016	0,965	1,076	0,970	1,027	1,050	1,070	1,088	1,105
\dot{P}	0,765	0,882	1,118	0,706	1,882	0,733	1,267	1,533	1,800	2,067	2,333
u_{\max}	0,870	0,928	1,081	0,810	1,447	0,809	0,860	0,823	0,872	0,940	1,111
v_{\max}	0,838	0,903	1,077	0,772	1,695	0,546	1,114	1,374	1,382	1,965	2,052
Δr_{\max}	-	-	-	0,688	1,063	0,723	1,202	1,351	1,457	1,585	1,691
Δz_{\max}	-	-	-	0,704	1,111	0,823	1,294	1,494	1,667	1,922	2,176
Fallbez.	R1	R2	R3	A1	A2	N2	N4	N5	N6	N7	N8

Tab. 6.2.1: Variation der Anfangsbedingungen - Ergebnisse



- R_0 Anfangsreaktivität
- A Reaktivitätsrampensteilheit
- n_0 Anfangsleistung
- \bar{T}_0 Mittlere Anfangstemperatur
- t Dauer der Disassemblyphase laut Rechnung
- n_{max} Leistungsmaximum
- E Energie, freigesetzt während der Disassemblyphase
- E^* Energie im geschmolzenen Brennstoff +
- M^* Masse des geschmolzenen Brennstoffs +
- $\frac{E^*}{M^*}$ $\frac{E^*}{M^*}$ { zu Beginn der Disassemblyphase
- \bar{T}^* Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs +
- T_{max} Maximale Temperatur des Brennstoffs +
- T Temperatur im Kernzentrum +
- P Gesamtdruck im Kernzentrum +
- $\left. \begin{matrix} u_{max} \\ v_{max} \\ \Delta r_{max} \\ \Delta z_{max} \end{matrix} \right\}$ maximale { Radialgeschwindig. +
Axialgeschwindig. +
Radialverschiebg. +
Axialverschiebg. +

+ am Ende der Disassembly-Rechnung

Abb. 6.2.2 Variation der Anfangsreaktivität

rung der drei Eingabegrößen an. \dot{P} steigt stärker als n_{\max} genau dann, wenn die dem Druck entsprechende Temperatur \dot{T} stärker als die mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs \bar{T}^* zunimmt.

Wir wollen weitere Deutungen der Grafiken dem Leser überlassen und stellen zusammenfassend zu diesen Variationen fest: Nehmen wir als Unsicherheit 3 μ Reaktivität, 30 $\$/s$ Rampensteilheit und den Faktor 2 bei der Leistung sowie eine vollständige Unabhängigkeit der Eingangsgrößen voneinander an, so bleibt der Zuwachs der in der Disassemblyphase freigesetzten Energie unter 5 %, 10 % respektive 20 %.

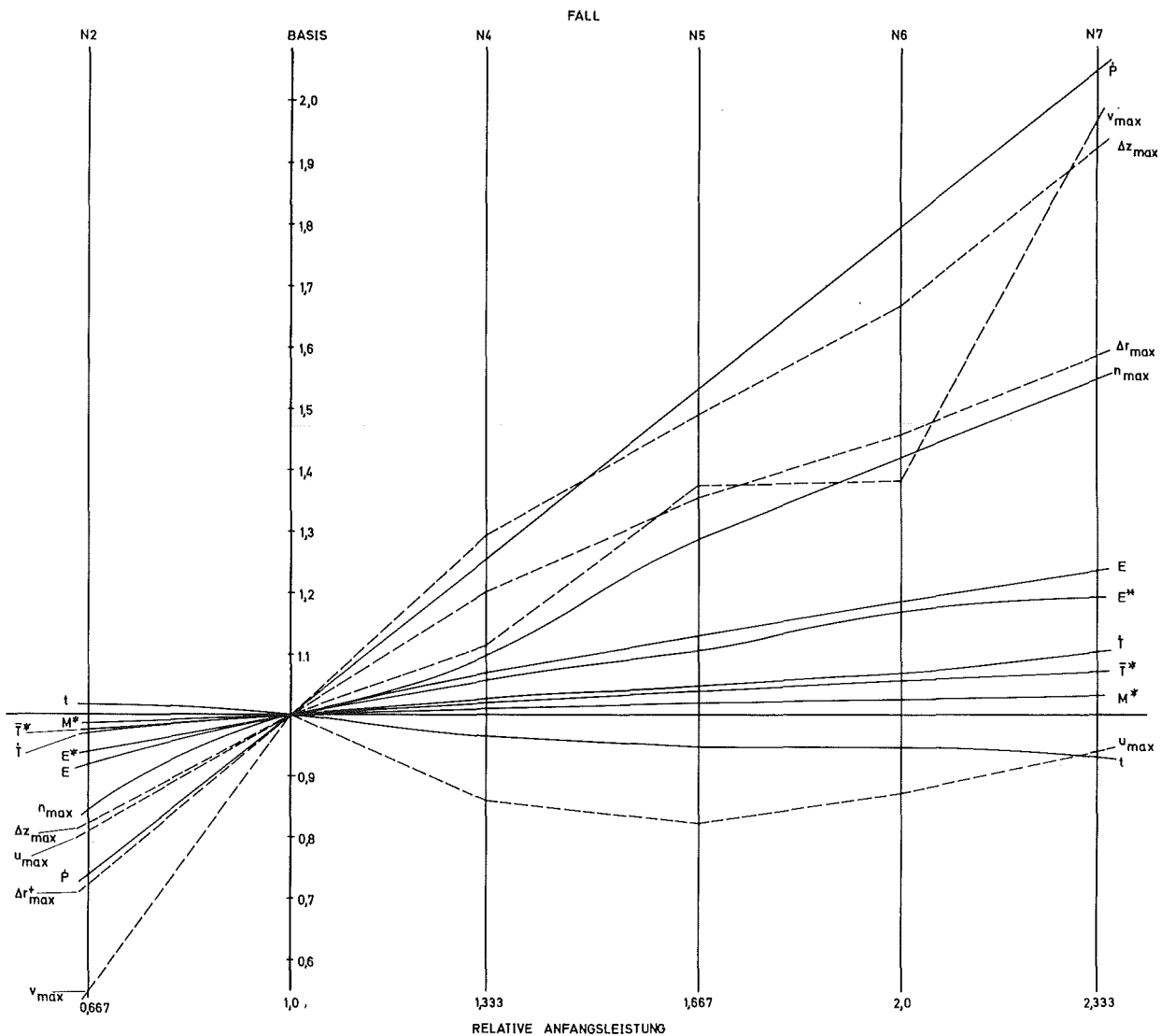


Abb. 6.2.3 Variation der Anfangsleistung

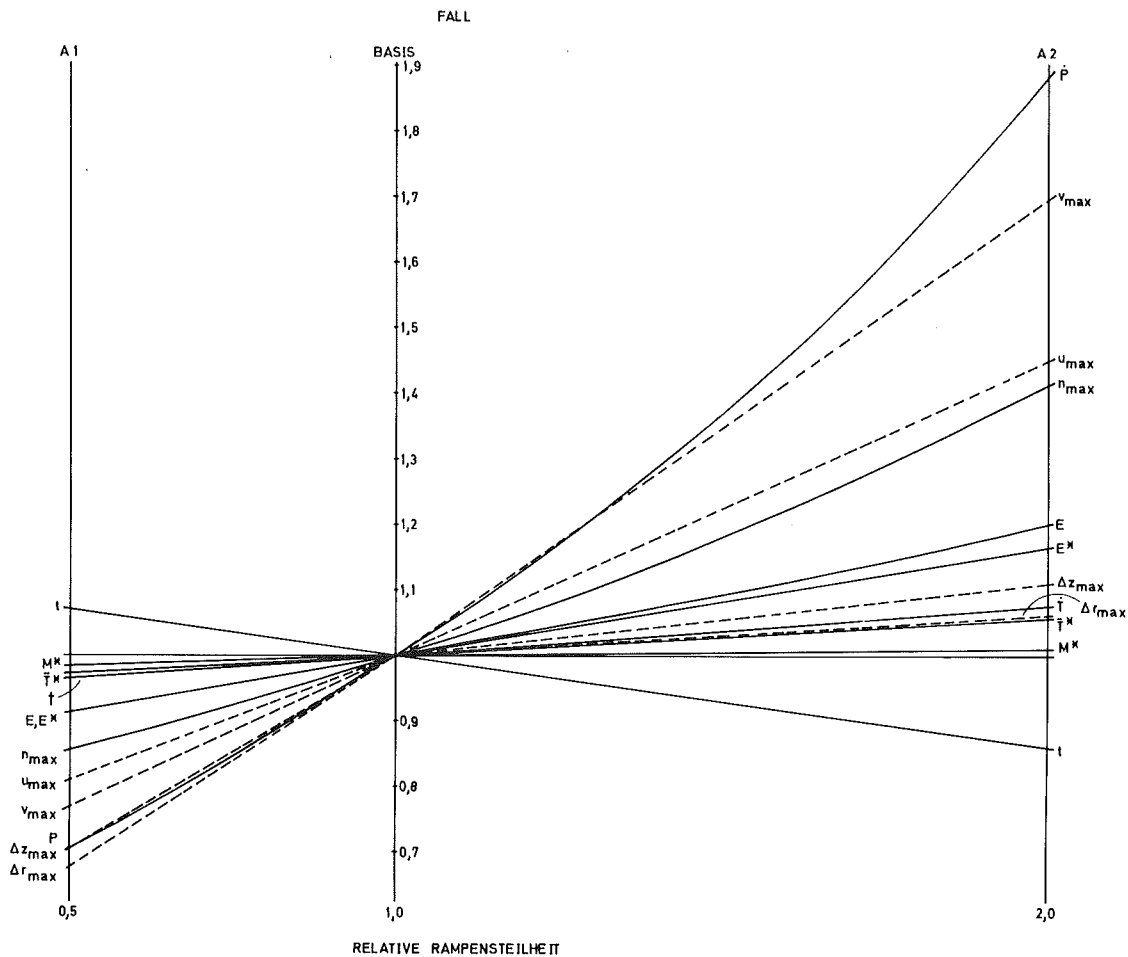


Abb. 6.2.4 Variation der Rampensteilheit

6.3 Anfangstemperatur

Ähnlich wie bei der Leistung variieren wir nur das Temperaturniveau, d.h. die mittlere Anfangstemperatur. Die Form der Temperaturverteilung wird dabei nicht verändert. Die Variation besteht darin, daß das Temperaturfeld mit einem Faktor multipliziert wird. Die Faktoren werden so justiert, daß die Anfangstemperatur im Kernzentrum die Werte 3300, 3400, 3450, 3550, 3600 und 3700 K annimmt. In den Variationen T1 bis T4 mit erniedrigter Anfangstemperatur lassen sich die Ergebnisse erklären (siehe Tab. 6.3.1 und Abb. 6.3.2) mit der veränderten Doppler-Rückwirkung. Der Dopplerkoeffizient $\frac{dk}{dT}$ (vergleiche Formel (2.8.1)) ist bei niedrigerer Temperatur größer.

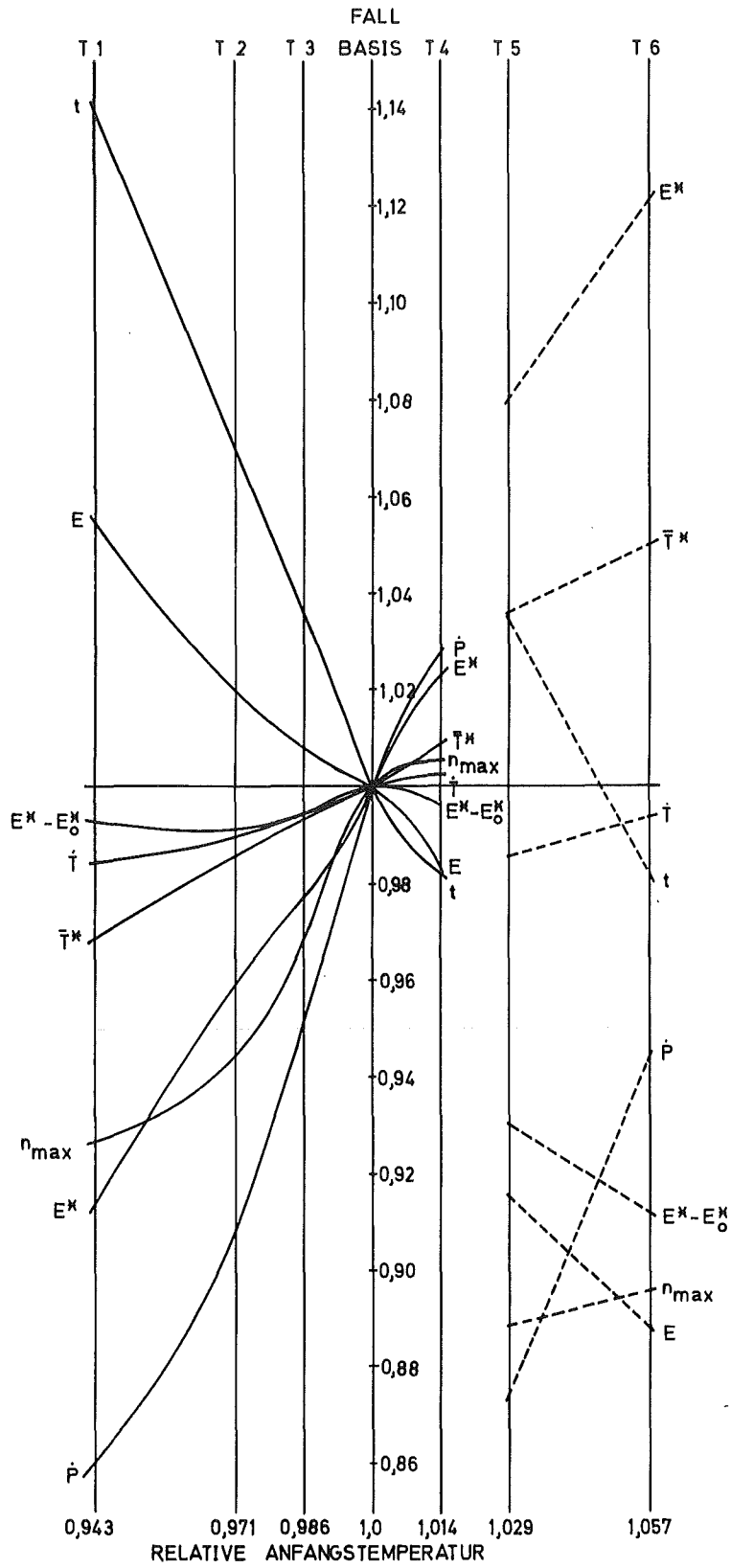


Abb. 6.3.2 Variation der Anfangstemperatur

Das führt bei niedrigerer Anfangstemperatur zu einer stärkeren Doppler-Rückwirkung und damit zu einer niedrigeren Leistungsspitze (siehe Abb. 6.3.3) und geringeren Drücken. Dies verlängert die Disassemblyzeit und vergrößert die Energieausbeute. Die Energie des geschmolzenen Brennstoffs ist jedoch kleiner, weil bei niedrigerer Temperatur abgeschaltet wird.

Die Fälle T5 und T6 sind gesondert zu betrachten, weil beim Übergang von 3550 zu 3600 K Zentraltemperatur, d.h. von Fall T4 zu T5, ein etwa 50%-iger Sprung in der Masse des geschmolzenen Brennstoffs eintritt. Die Nichtbeachtung des Verbrauchs von Schmelzwärme bei der

\bar{T}_O	0,943	0,971	0,986	1,014	1,029	1,057
t	1,140	1,070	1,035	0,982	1,035	0,982
n_{\max}	0,927	0,945	0,969	1,005	0,889	0,896
E	1,055	1,020	1,008	0,983	0,915	0,888
E^*	0,914	0,959	0,978	1,023	1,080	1,121
M^*	0,981	0,989	0,994	1,004	1,000	1,010
$E^* - E_O^*$	0,993	0,991	0,994	0,996	0,930	0,912
$M^* - M_O^*$	1,199	1,050	1,023	0,922	0,354	0,277
\bar{T}^*	0,969	0,986	0,993	1,009	1,036	1,050
T_{\max}	0,986	0,990	0,994	1,002	0,986	0,993
\dot{T}	0,985	0,990	0,994	1,003	0,986	0,994
\dot{P}	0,867	0,909	0,951	1,028	0,874	0,944
u_{\max}	0,760	0,920	0,985	1,079	0,983	1,017
v_{\max}	1,073	0,992	1,022	1,030	0,886	0,878
Δr_{\max}	1,024	1,012	1,000	1,000	0,976	0,953
Δz_{\max}	1,500	1,340	1,068	1,000	1,000	1,000
E^*	0,643	0,848	0,924	1,115	1,589	1,827
M_O^*	0,761	0,929	0,966	1,086	1,648	1,744
Fallbez.	T1	T2	T3	T4	T5	T6

Tab. 6.3.1: Variation der Anfangstemperatur - Ergebnisse

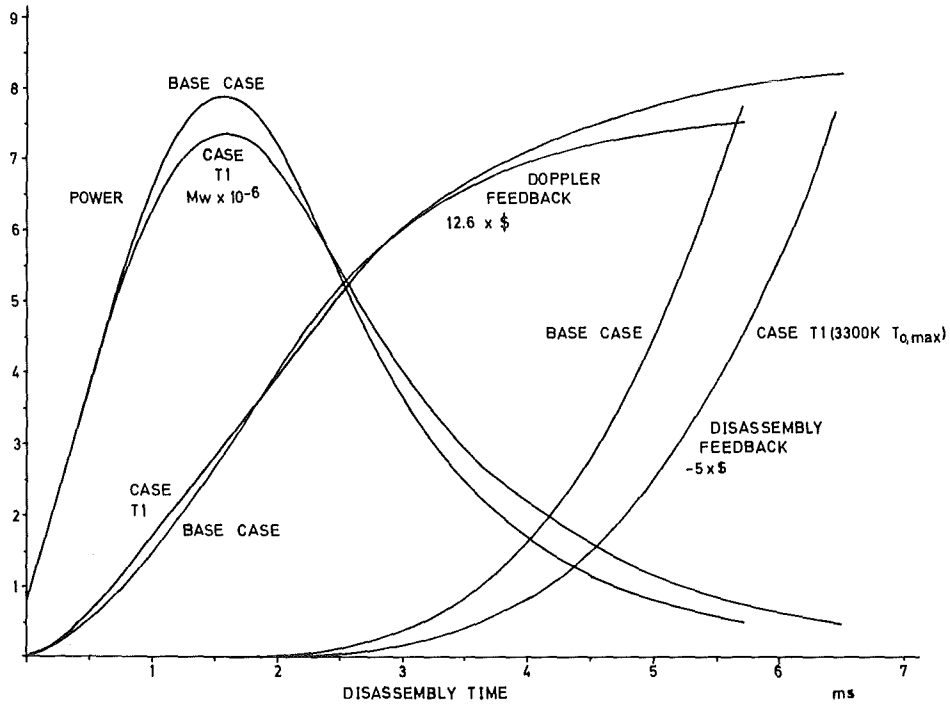


Abb. 6.3.3 Reaktivitätsrückwirkungen und Leistungsverlauf bei niedrigerer Anfangstemperatur

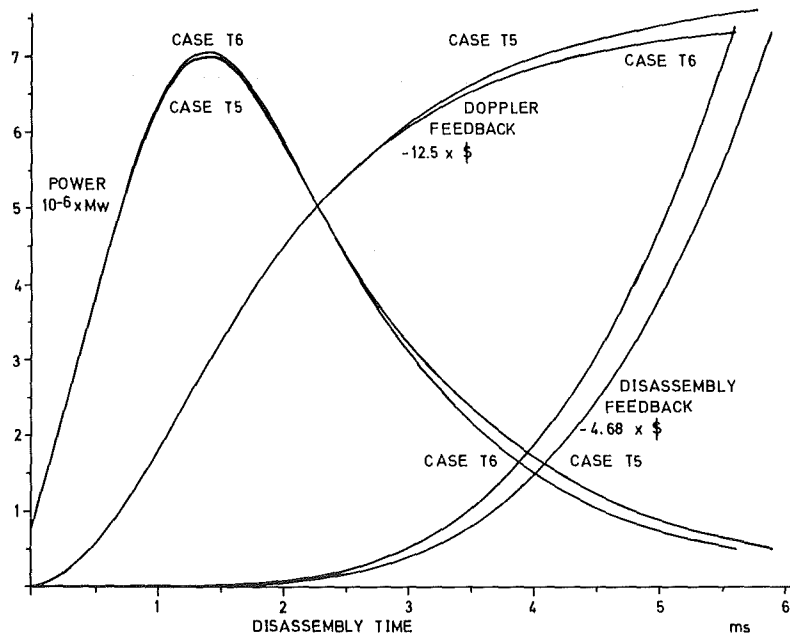


Abb. 6.3.4 Reaktivitätsrückwirkungen und Leistungsverlauf bei höherer Anfangstemperatur

Heraufsetzung der Anfangstemperatur hat zur Folge, daß die Leistungs- und Temperaturverteilung nicht mehr zusammenpassen.

Die Ergebnisse für T5 und T6 zeigen, für sich betrachtet, etwa dieselbe Tendenz wie bei den bereits betrachteten Fällen T1 bis T4, aber aus anderen Gründen. Die Temperaturabhängigkeit des Dopplerkoeffizienten ist bei der höheren Temperatur schwächer und fällt weniger ins Gewicht. Dagegen sind die Druckgradientenunterschiede schon zu Anfang höher infolge der höheren Temperaturniveaus.

Folglich läuft die Zerlegungsphase schneller ab (siehe Abb. 6.3.4) und es wird weniger Energie freigesetzt. Abschließend ist zu sagen: Die Energieerzeugung nimmt mit steigender Anfangstemperatur ab, und zwar nahezu im gleichen Verhältnis. Die mittlere Temperatur der Schmelze nimmt leicht zu und entsprechend deutlicher die Energie der Schmelze, in der die sich stark ändernde Anfangsenergie E_0^* natürlich enthalten ist. Die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Temperaturvariation nimmt mit steigender Anfangstemperatur ab.

6.4 Bewegungsunterdrückung in radialer Richtung

Wie schon erwähnt, gestattet KADIS, eine Hemmung radialer Bewegungen aufgrund teilweise intakter Subassembly-Strukturen zu simulieren. Dies erreicht das Programm dadurch, daß es die radiale Bewegung eines Gitterzellenrandes solange zurückhält, bis die Druckdifferenz quer zu diesem Rand einen global vorgebbaren Schwellenwert übersteigt. Nach dem dies geschehen ist, kann sich der Zellenrand für den Rest der Rechnung frei bewegen. Die folgende Tabelle enthält die Relativergebnisse für eine 20b-Schwelle und die totale Unterdrückung radialer Bewegung.

Man erkennt, daß diese Modellvariante keinen großen Einfluß auf die Ergebnisse hat. Selbst bei totaler Unterdrückung radialer Bewegungen bleibt der Zuwachs an freigesetzter Energie unter 8 %.

Druckschwelle	20b	∞
t	1,004	1,136
n_{\max}	1,005	1,002
E	1,024	1,076
E^*	1,019	1,062
M^*	1,004	1,012
\bar{T}^*	1,007	1,022
T_{\max}	1,009	1,029
u_{\max}	1,065	0
v_{\max}	1,045	1,455
Δr_{\max}	1,000	0
Δz_{\max}	1,000	1,263
Fallbez.	P1	P2

Tab. 6.4.1: Hemmung radialer Bewegung - Vergleich mit dem Basisfall

Zur Erklärung dieses geringen Zuwachses erinnern wir an die im Abschnitt (5.2) nachgewiesene Tatsache, daß 90 % der Energie schon freigesetzt sind, bevor die Bewegungsrückwirkungen überhaupt eine Rolle spielen. Der Energiezuwachs entsteht also an der fallenden Flanke des Leistungsverlaufs. Hinzu kommt noch, daß der axiale Anteil der Disassembly-Rückwirkung verhältnismäßig groß ist, etwas größer als der radiale Anteil im Basisfall.

7. Schluß

Die in diesem Bericht untersuchte überpromptkritische Leistungsexkursion im GSB-1, hervorgerufen durch den extrem unwahrscheinlichen Auswurf eines vergessenen Abschaltstabes, wird laut Rechnung 102,7 ms nach Beginn des Stabauswurfs durch Erreichen der Unterkritikalität beendet. Die Umschaltung von der Pre-Disassemblyphase auf die Disassemblyphase erfolgt nach 98 ms, bei einer Temperatur von 3500 K im heißesten Brennstab. 1,7 ms nach der Umschaltung schnellt die Gesamtleitung auf das 2700-fache der Nennleistung, bevor die Reaktivitätsrückwirkungen die durch den ausschließenden Abschaltstab verursachte Rampe von etwa 60 $\$/s$ kompensieren. Die gesamte Exkursionsenergie beträgt etwa 37 000 MJ, davon entfallen 21000 MJ auf die nur 5,7 ms dauernde Disassemblyphase. Am Ende der Rechnung sind 97 % des Kerninventars geschmolzen. Die Energie des geschmolzenen Brennstoffs beträgt 24 000 MJ, was einer mittleren, spezifischen Energie der Brennstoffschmelze von 0,87 MJ/kg entspricht. Rechnungen mit dem Tankbelastungsprogramm ARES ergeben, daß diese Energiefreisetzung nur zu einer 0,3 %igen Dehnung der Spannkabel führt. Es kann ausgeschlossen werden, daß der Spannbetonbehälter durch diese Exkursion schwer beschädigt wird.

Die Disassemblyrechnungen zeigen: Die Dopplerrückwirkung begrenzt die Energieausbeute, während die Materialbewegungsrückwirkung für die nukleare Abschaltung sorgt. Im übrigen beeinflußt die Dopplerrückwirkung die Energieausbeute relativ stark. Die Hemmung radialer Materialbewegungen zur Simulation intakter Subassemblystrukturen hat nur geringen Einfluß auf die Energieausbeute.

Die Parametervariationen beschränken sich auf einige Anfangsbedingungen der Disassemblyphase: Leistungsniveau, Nettoreaktivität, Reaktivitätsrampe und mittlere Temperatur zum Umschaltpunkt. Obwohl die Empfindlichkeit der Disassembly-Ergebnisse gegen die Anfangsreaktivität groß ist, ist hier eine große Fehlerquelle - eine Bestimmung der Anfangsreaktivität auf wenige $\%$ genau einmal angenommen - nicht zu befürchten. Die Sensitivität gegen die Anfangsleistung und Rampensteilheit ist zwar viel geringer, dafür sind diese Größen in der Einleitungsphase

aber weniger genau bestimmbar, was dann insgesamt größere Unsicherheiten zur Folge hat. Nimmt die Energieausbeute mit größeren Anfangswerten für Reaktivität, Leistung und Rampensteilheit zu, so ist es bei der Temperatur umgekehrt. Ihr Einfluß ist im übrigen gering.

Die den verwendeten Rechenprogrammen zugrunde liegenden physikalischen Modelle sind relativ einfach, aber für den Abschaltstabauswurfstörfall noch ausreichend. Für weitergehende Untersuchungen und im Hinblick auf andere Anwendungen, z. B. Kühlungsstörungen, sind die Modelle verbesserungsbedürftig. Betroffen ist vor allem die Pre-Disassemblyphase. Dort ist eine Mehrkanaldarstellung mit ortsabhängiger Neutronik notwendig. In beiden Phasen ist der Abbrandzustand der Brennstäbe zu berücksichtigen, was sich in der Disassemblyphase besonders auf die Druckberechnung auswirkt. Im Falle des Abschaltstabauswurfs beispielsweise ergeben KADIS-Rechnungen unter Berücksichtigung von Spaltprodukt-, insbesondere Spaltedelgasdrücken, eine Reduzierung der Energieausbeute um 40 % bei einem mittleren Abbrand von 5 %. Bei künftigen Modellverbesserungen wird es allerdings nicht immer leicht sein, die richtigen Stellen herauszufinden, wo die Modelle zu detaillieren sind, um eine gleichmäßige Annäherung an die physikalische Wirklichkeit zu erreichen.

Anhang A

Tabellen zu den vorbereitenden neutronenphysikalischen Rechnungen

- A1 Referenzreaktor GSB-1 im Gleichgewichtszyklus
- A2 Teilchendichten für Gleichgewichtszyklus am Zyklus-
anfang
- A3 Material-Reaktivitätswerte
- A4 Doppler-Parameter
- A5 Zerfallskonstanten und Anteile verzögerter Neutronen
aus Schnellspaltung
- A6 Spektren verzögerter Neutronen
- A7 Normierte Leistungsdichteverteilung

Tab. A1 Referenzreaktor GSB-1 im Gleichgewichtszyklus

Reaktorgeometrie:

Radien der Anreicherungs-zonen:

$R_1 = 14,04 \text{ cm}$

$R_2 = 103,7 \text{ cm}$

$R_3 = 133,3 \text{ cm}$

$R_4 = 148,1 \text{ cm}$

$\frac{\text{Kernhöhe}}{\text{Kerndurchmesser}} = 0,5$

Brutmanteldicken:

Radialer Brutmantel 50 cm

Axialer Brutmantel 60 cm

Anreicherung Pu spaltbar:

1. Zone 10,34 %

2. Zone 11,02 %

3. Zone 12,56 %

4. Zone 18,20 %

Mittlere Anreicherung 12,71 %

Leistung:Thermische Gesamt-
leistung 2778 MWKernleistung 2643,8 MW^{*)}

Spaltstoffbelastung 0,733 MW/kg

Schwermetallbelastung 0,093 MW/kg

Leistungsdichte Kern 259,1 W/cm³

Stableistung maximal 430 W/cm

Volumenanteile:

Kern und axialer Brutmantel:

Brennstoff 0,34649

Strukturmaterial 0,16909

Helium 0,48442

Radialer Brutmantel:

Brutstoff 0,576

Strukturmaterial 0,183

Helium 0,241

Schwermetallinventar:Spaltstoff (Pu 39 &
Pu 41), Kern 3609 kg ^{*)}Spaltstoff, gesamt 3980 kg ^{*)}

Schwermetall, Kern 28398 kg

Schwermetall,
radialer Brutmantel 73270 kgSchwermetall,
axialer Brutmantel 24998 kg

Schwermetall, gesamt 126666 kg

Isotopenvektor:

Pu 39, 40, 41, 42 frisch:

0,7787 / 0,1863 / 0,0278 / 0,0072

U 35, 38 frisch:

0,002 / 0,998

*) Zyklus anfang

Tab.A1

Brutraten:

Kern	0,885
axialer Brutmantel	0,195
radialer Brutmantel	0,310
Gesamt	1,39

Reaktivitäten:

Reaktivitätshub per Zyklus	- 0,4 \$
Heliumverlustreaktivität	1,25 \$
Reaktivitätsbedarf für Regelstabsystem	9,0 \$
Regelstäbe 12 x	0,83 \$
Abschaltstäbe 2 x 3 x	3,3 \$
Dopplerkoeff.	- 0,0064 $\left(\frac{T}{k} \frac{\partial k}{\partial T}\right)$
Heliumdichtekoeff.	+2,86 $\left(\frac{T^2}{k} \frac{\partial k}{\partial T}\right)$
Kernausdehnungskoeff.	-4,6 · 10 ⁻⁶ $\left(\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial T}\right)$

Brennelement:

Anzahl der Brennelemente	205
Schlüsselweite	18,9 cm
Wandstärke	0,4 cm
Anzahl der Brennstäbe	271
Spalt zwischen den Kästen	0,8 cm

Kühlung:

Maximaler Kühlmitteldruck	120 bar
Kühlmitteldurchsatz, Kern	1730 kg/sec
Gesamtdruckverlust im Primärkreislauf	6 bar
Gebläseleistung	136 MW

Temperaturen:

Reaktoreintrittstemp.	546 K
Aufheizspanne Kern	281 K
Aufheizspanne, axialer Brutmantel	14 K
Maximale Temperatur in Hüllrohrmitte, nominell	903 K
Maximale Brennstofftemperatur, nominell	2773 K

Brennstab:

Außendurchmesser	0,82 cm
Hüllrohrwandstärke	0,053 cm
Durchmesser der Brennstoff-Pellets	0,7 cm
Pelletdichte in % der theoret. Dichte	89
Schmierdichte in % der theoret. Dichte	83

Tab. A2 Teilchendichten für Gleichgewichtszyklus am
Zyklusbeginn (in 10^{24} Atome pro cm^3)

Isotope	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
B 10		.1289-5 ^{†)}			.1289-5	.1395-5	
B 11		.47499-5			.47499-5	.5141-5	
C 12		.6785-4			.6785-4	.7344-4	
Cr 52		.2351-2			.2351-2	.2545-2	
Fe 56		.9886-2			.9886-2	.1069-1	
He 4		.57605-3			.57605-3	.2866-3	
Mo 96		.1019-3			.1019-3	.1103-3	
Ni 59		.2082-2			.2082-2	.2254-2	
O 16		.1415-1			.1415-1	.2352-1	
Si 28		.1451-3			.1451-3	.1570-3	
Ti 48		.7657-4			.7657-4	.8287-4	
Pu 239	.7000-3	.74608-3	.85040-3	.12324-2	.44529-4	.68377-4	.13326-4
Pu 240	.16677-3	.17775-3	.20260-3	.29361-3	.16792-6	.3121-6	.1460-7
Pu 241	.2478-4	.2641-4	.3011-4	.4363-4	.4137-9	.8349-9	.3753-11
Pu 242	.6391-5	.6811-5	.7764-5	.1125-4	0	.7719-9	0
U 235	.12433-4	.1231-4	.1204-4	.1104-4	.1549-4	.2575-4	.2575-4
U 238	.6126-2	.6067-2	.5932-2	.5441-2	.7589-2	.1262-1	.1267-1
SSP P *)	.16304-3	.15970-3	.14717-3	.14217-3	.26053-5	.51327-5	.34322-6

*) Spaltprodukte aus Spaltung von Pu 239

†) Schreibweise: .1289-5 = $0,1289 \cdot 10^{-5}$

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 3

0.119580-08	0.661170-09	0.355040-09	0.194240-09	0.111720-09	0.699470-10
0.334380-10					
0.470360-09	0.294080-09	0.177400-09	0.105530-09	0.646250-10	0.423280-10
0.220760-10					
0.163370-09	0.123730-09	0.816390-10	0.526150-10	0.345220-10	0.238910-10
0.135910-10					
0.590280-10	0.528530-10	0.372130-10	0.256260-10	0.178790-10	0.130290-10
0.798340-11					
0.246090-10	0.247280-10	0.179900-10	0.129140-10	0.939460-11	0.709320-11
0.459350-11					
0.140940-10	0.138260-10	0.995680-11	0.716960-11	0.525410-11	0.398950-11
0.266050-11					
0.113900-10	0.967220-11	0.666560-11	0.463110-11	0.328160-11	0.240680-11
0.159910-11					
0.110480-10	0.815330-11	0.536140-11	0.353450-11	0.235820-11	0.161360-11
0.103170-11					
0.113570-10	0.772990-11	0.491380-11	0.308940-11	0.193780-11	0.122370-11
0.736670-12					
0.119210-10	0.793880-11	0.487680-11	0.294210-11	0.175800-11	0.103990-11
0.590900-12					
0.110800-10	0.742940-11	0.441070-11	0.259540-11	0.151330-11	0.866380-12
0.477380-12					

R LATTICE (CM)

0.14810+03 0.15230+03 0.15640+03 0.16060+03 0.16480+03 0.16890+03 0.17310+03

Z LATTICE (CM)

0.20810+03 0.21410+03 0.22010+03 0.22610+03 0.23210+03 0.23810+03 0.24410+03 0.25010+03 0.25610+03 0.26210+03
0.26810+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 4

-0.811720-11	0.133670-10	0.776220-11	0.305590-11
-0.393060-11	0.847980-11	0.509180-11	0.211150-11
-0.183110-11	0.506820-11	0.317770-11	0.139560-11
-0.797910-12	0.290690-11	0.189880-11	0.881070-12
-0.255710-12	0.163080-11	0.109390-11	0.531020-12
0.584780-13	0.914760-12	0.611270-12	0.305020-12
0.253440-12	0.527640-12	0.332910-12	0.165800-12
0.377150-12	0.324060-12	0.177400-12	0.835620-13
0.454520-12	0.215780-12	0.933640-13	0.370620-13
0.499720-12	0.168900-12	0.506370-13	0.126310-13
0.467630-12	0.134380-12	0.303040-13	0.238390-14

R LATTICE (CM)

0.17310+03 0.18140+03 0.19980+03 0.19810+03

Z LATTICE (CM)

0.20810+03 0.21410+03 0.22010+03 0.22610+03 0.23210+03 0.23810+03 0.24410+03 0.25010+03 0.25610+03 0.26210+03
0.26810+03

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 6

0.263250-C7	0.260820-07	0.257320-07	0.252750-07	0.247200-07	0.240770-07
0.233700-C7					
0.264240-C7	0.261800-07	0.258290-07	0.253720-07	0.248160-07	0.241700-07
0.234630-07					
0.264350-C7	0.261910-07	0.258400-07	0.253830-07	0.248270-07	0.241810-07
0.234730-07					
0.263580-C7	0.261140-07	0.257650-07	0.253080-07	0.247530-07	0.241090-07
0.234030-07					
0.261950-C7	0.259520-07	0.256040-07	0.251490-07	0.245970-07	0.239550-07
0.232520-C7					
0.259470-07	0.257060-07	0.253600-07	0.249090-07	0.243600-07	0.237230-07
0.230240-C7					
0.256200-07	0.253820-07	0.250390-07	0.245910-07	0.240470-07	0.234150-07
0.227210-07					
0.252190-C7	0.249830-07	0.246430-07	0.242010-07	0.236620-07	0.230370-07
0.223500-07					
0.247490-C7	0.245160-07	0.241810-07	0.237430-07	0.232120-07	0.225940-07
0.219140-07					
0.242180-07	0.239890-07	0.236580-07	0.232270-07	0.227030-07	0.220940-07
0.214230-07					
0.236350-C7	0.234090-07	0.230830-07	0.226590-07	0.221430-07	0.215430-07
0.208820-C7					
0.230080-07	0.227860-07	0.224650-07	0.220480-07	0.215410-07	0.209510-07
0.202990-07					
0.223470-C7	0.221290-07	0.218130-07	0.214040-07	0.209060-07	0.203260-07
0.196850-07					
0.216630-C7	0.214470-07	0.211380-07	0.207350-07	0.202470-07	0.196780-07
0.190470-07					
0.209650-07	0.207520-07	0.204480-07	0.200530-07	0.195740-07	0.190160-07
0.183940-07					
0.202640-07	0.200540-07	0.197540-07	0.193670-07	0.188970-07	0.183490-07
0.177370-07					
0.195710-07	0.193630-07	0.190680-07	0.186870-07	0.182250-07	0.176870-07
0.170850-C7					
0.188970-C7	0.186900-07	0.183980-07	0.180230-07	0.175680-07	0.170400-07
0.164480-07					
0.182520-C7	0.180460-07	0.177560-07	0.173830-07	0.169340-07	0.164150-07
0.158330-07					
0.176480-C7	0.174430-07	0.171520-07	0.167780-07	0.163310-07	0.158190-07
0.152510-C7					
0.170940-C7	0.168950-07	0.165970-07	0.162160-07	0.157640-07	0.152550-07
0.147120-07					
0.167230-C7	0.165270-07	0.162150-07	0.158190-07	0.153540-07	0.148410-07
0.143290-C7					

R LATTICE (CM)

0.74040+02 0.78980+02 0.83930+02 0.88870+02 0.93810+02 0.98760+02 0.10370+03

Z LATTICE (CM)

0.12830+03 0.13210+03 0.13590+03 0.13970+03 0.14350+03 0.14730+03 0.15110+03 0.15490+03 0.15870+03 0.16250+03
0.16630+03 0.17010+03 0.17390+03 0.17770+03 0.18150+03 0.18530+03 0.18910+03 0.19290+03 0.19670+03 0.20050+03
0.20430+03 0.20810+03

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 11

0.164320-07	0.164280-07	0.164130-07	0.163900-07	0.163570-07	0.163150-07
0.162630-07	0.162010-07	0.161290-07	0.160470-07	0.159540-07	0.158510-07
0.157370-07	0.156130-07	0.154790-07	0.153420-07	0.152220-07	
0.165250-07	0.165200-07	0.165060-07	0.164830-07	0.164510-07	0.164100-07
0.163590-07	0.162990-07	0.162290-07	0.161500-07	0.160620-07	0.159640-07
0.158560-07	0.157380-07	0.156130-07	0.154820-07	0.153530-07	
0.167710-07	0.167670-07	0.167530-07	0.167300-07	0.166980-07	0.166570-07
0.166070-07	0.165480-07	0.164900-07	0.164020-07	0.163160-07	0.162210-07
0.161170-07	0.160040-07	0.158840-07	0.157560-07	0.156200-07	
0.170440-07	0.170400-07	0.170260-07	0.170030-07	0.169710-07	0.169300-07
0.168810-07	0.168220-07	0.167550-07	0.166780-07	0.165930-07	0.165000-07
0.163980-07	0.162880-07	0.161700-07	0.160430-07	0.159050-07	
0.173370-07	0.173330-07	0.173190-07	0.172960-07	0.172640-07	0.172240-07
0.171140-07	0.171160-07	0.170480-07	0.169730-07	0.168880-07	0.167950-07
0.166950-07	0.165850-07	0.164680-07	0.163410-07	0.162030-07	
0.176450-07	0.176400-07	0.176270-07	0.176030-07	0.175720-07	0.175310-07
0.174810-07	0.174230-07	0.173550-07	0.172790-07	0.171950-07	0.171020-07
0.170010-07	0.168920-07	0.167740-07	0.166470-07	0.165100-07	
0.179620-07	0.179570-07	0.179430-07	0.179200-07	0.178880-07	0.178470-07
0.177970-07	0.177380-07	0.176700-07	0.175940-07	0.175090-07	0.174160-07
0.173140-07	0.172040-07	0.170850-07	0.169570-07	0.168200-07	
0.182820-07	0.182770-07	0.182630-07	0.182400-07	0.182080-07	0.181660-07
0.181160-07	0.180560-07	0.179880-07	0.179110-07	0.178250-07	0.177310-07
0.176280-07	0.175170-07	0.173960-07	0.172670-07	0.171300-07	
0.186010-07	0.185960-07	0.185820-07	0.185590-07	0.185260-07	0.184840-07
0.184330-07	0.183720-07	0.183030-07	0.182250-07	0.181380-07	0.180430-07
0.179380-07	0.178250-07	0.177040-07	0.175730-07	0.174360-07	
0.189130-07	0.189080-07	0.188940-07	0.188700-07	0.188370-07	0.187940-07
0.187430-07	0.186820-07	0.186110-07	0.185320-07	0.184440-07	0.183470-07
0.182410-07	0.181260-07	0.180030-07	0.178710-07	0.177320-07	
0.192140-07	0.192090-07	0.191950-07	0.191710-07	0.191370-07	0.190940-07
0.190420-07	0.189800-07	0.189080-07	0.188280-07	0.187390-07	0.186400-07
0.185320-07	0.184160-07	0.182910-07	0.181570-07	0.180170-07	
0.195000-07	0.194950-07	0.194800-07	0.194560-07	0.194220-07	0.193780-07
0.193240-07	0.192620-07	0.191890-07	0.191080-07	0.190170-07	0.189170-07
0.188080-07	0.186900-07	0.185630-07	0.184270-07	0.182860-07	
0.197650-07	0.197600-07	0.197450-07	0.197210-07	0.196860-07	0.196410-07
0.195870-07	0.195240-07	0.194500-07	0.193680-07	0.192750-07	0.191740-07
0.190630-07	0.189430-07	0.188150-07	0.186770-07	0.185350-07	
0.200060-07	0.200010-07	0.199860-07	0.199610-07	0.199260-07	0.198810-07
0.198260-07	0.197620-07	0.196880-07	0.196040-07	0.195100-07	0.194070-07
0.192950-07	0.191740-07	0.190430-07	0.189040-07	0.187600-07	
0.202200-07	0.202150-07	0.202000-07	0.201740-07	0.201390-07	0.200940-07
0.200380-07	0.199730-07	0.198980-07	0.198130-07	0.197180-07	0.196140-07
0.195010-07	0.193780-07	0.192460-07	0.191050-07	0.189600-07	
0.204040-07	0.203990-07	0.203840-07	0.203580-07	0.203220-07	0.202770-07
0.202210-07	0.201550-07	0.200790-07	0.199930-07	0.198970-07	0.197920-07
0.196770-07	0.195530-07	0.194200-07	0.192780-07	0.191310-07	
0.205550-07	0.205500-07	0.205340-07	0.205080-07	0.204720-07	0.204260-07
0.203700-07	0.203030-07	0.202260-07	0.201400-07	0.200440-07	0.199380-07
0.198220-07	0.196970-07	0.195620-07	0.194200-07	0.192720-07	
0.206710-07	0.206650-07	0.206500-07	0.206240-07	0.205870-07	0.205410-07
0.204840-07	0.204170-07	0.203400-07	0.202530-07	0.201560-07	0.200490-07
0.199330-07	0.198070-07	0.196720-07	0.195280-07	0.193800-07	
0.207500-07	0.207450-07	0.207290-07	0.207030-07	0.206660-07	0.206200-07
0.205630-07	0.204960-07	0.204180-07	0.203310-07	0.202340-07	0.201260-07
0.200000-07	0.198830-07	0.197470-07	0.196030-07	0.194540-07	

R LATTICE (CM)

0.0	0.46300+01	0.92500+01	0.13880+02	0.18510+02	0.23140+02	0.27760+02	0.32390+02	0.37020+02	0.41650+02
0.46270+02	0.50900+02	0.55530+02	0.60160+02	0.64780+02	0.69410+02	0.74040+02			

Z LATTICE (CM)

0.60000+02	0.63800+02	0.67590+02	0.71390+02	0.75190+02	0.78990+02	0.82780+02	0.86580+02	0.90380+02	0.94170+02
0.97970+02	0.10180+03	0.10560+03	0.10940+03	0.11320+03	0.11700+03	0.12080+03	0.12450+03	0.12830+03	

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 12

0.163040-07 0.161090-07 0.158010-07 0.154110-07 0.149540-07 0.144500-07
 0.139470-07 0.166940-07 0.162010-07 0.158250-07 0.153800-07 0.148790-07
 0.143450-07 0.172630-07 0.167700-07 0.164010-07 0.159600-07 0.154550-07
 0.148970-07 0.178840-07 0.176790-07 0.173910-07 0.170220-07 0.165790-07 0.160660-07
 0.154920-07 0.185480-07 0.183410-07 0.180520-07 0.176790-07 0.172290-07 0.167080-07
 0.161220-07 0.192420-07 0.190340-07 0.187410-07 0.183630-07 0.179050-07 0.173730-07
 0.167770-07 0.199570-07 0.197470-07 0.194480-07 0.190640-07 0.185970-07 0.180540-07
 0.174480-07 0.206800-07 0.204670-07 0.201640-07 0.197710-07 0.192950-07 0.187410-07
 0.181250-07 0.214010-07 0.211850-07 0.208760-07 0.204760-07 0.199900-07 0.194250-07
 0.187970-07 0.221090-07 0.218890-07 0.215750-07 0.211670-07 0.206710-07 0.200950-07
 0.194560-07 0.227930-07 0.225700-07 0.222500-07 0.218340-07 0.213290-07 0.207420-07
 0.200930-07 0.234440-07 0.232180-07 0.228920-07 0.224690-07 0.219540-07 0.213560-07
 0.206970-07 0.240510-07 0.238210-07 0.234900-07 0.230600-07 0.225360-07 0.219290-07
 0.212600-07 0.246050-07 0.243710-07 0.240360-07 0.235990-07 0.230680-07 0.224520-07
 0.217740-07 0.250970-07 0.248610-07 0.245210-07 0.240790-07 0.235410-07 0.229170-07
 0.222300-07 0.255210-07 0.252820-07 0.249390-07 0.244920-07 0.239480-07 0.233170-07
 0.226250-07 0.258710-07 0.256300-07 0.252840-07 0.248320-07 0.242840-07 0.236470-07
 0.229480-07 0.261400-07 0.258970-07 0.255490-07 0.250950-07 0.245420-07 0.239010-07
 0.231980-07 0.263250-07 0.260820-07 0.257320-07 0.252750-07 0.247200-07 0.240770-07
 0.233700-07

R LATTICE (CM)

0.74040+02 0.79980+02 0.83930+02 0.88870+02 0.93810+02 0.98760+02 0.10370+03

Z LATTICE (CM)

0.60000+02 0.63800+02 0.67590+02 0.71390+02 0.75190+02 0.78990+02 0.82780+02 0.86580+02 0.90380+02 0.94170+02
 0.97970+02 0.10180+03 0.10560+03 0.10940+03 0.11320+03 0.11700+03 0.12080+03 0.12450+03 0.12830+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 13

0.158950-07 0.152010-07 0.142900-07 0.132390-07 0.121000-07 0.109380-07
 0.986570-08 0.167790-07 0.160690-07 0.151650-07 0.141110-07 0.129540-07 0.117370-07
 0.105340-07 0.178950-07 0.171610-07 0.162460-07 0.151730-07 0.139820-07 0.127080-07
 0.114040-07 0.191210-07 0.183660-07 0.174290-07 0.163270-07 0.150950-07 0.137650-07
 0.123920-07 0.204350-07 0.196600-07 0.186970-07 0.175600-07 0.162830-07 0.149010-07
 0.134730-07 0.218180-07 0.210210-07 0.200290-07 0.188540-07 0.175320-07 0.160980-07
 0.146210-07 0.232460-07 0.224260-07 0.214040-07 0.201920-07 0.188240-07 0.173390-07
 0.158140-07 0.246980-07 0.238550-07 0.228030-07 0.215510-07 0.201380-07 0.186030-07
 0.170290-07 0.261510-07 0.252850-07 0.242020-07 0.229120-07 0.214530-07 0.198690-07
 0.182470-07 0.275820-07 0.266920-07 0.255800-07 0.242520-07 0.227500-07 0.211160-07
 0.194460-07 0.289690-07 0.280570-07 0.269160-07 0.255520-07 0.240070-07 0.223260-07
 0.206090-07 0.302910-07 0.293570-07 0.281880-07 0.267910-07 0.252050-07 0.234790-07
 0.217180-07 0.315260-07 0.305730-07 0.293780-07 0.279490-07 0.263260-07 0.245580-07
 0.227540-07 0.326560-07 0.316840-07 0.304670-07 0.290080-07 0.273510-07 0.255440-07
 0.237020-07 0.336640-07 0.326750-07 0.314370-07 0.299520-07 0.282650-07 0.264230-07
 0.245460-07 0.345320-07 0.335290-07 0.322740-07 0.307670-07 0.290530-07 0.271820-07
 0.252760-07 0.352490-07 0.342350-07 0.329650-07 0.314390-07 0.297040-07 0.278080-07
 0.258770-07 0.358020-07 0.347790-07 0.334980-07 0.319580-07 0.302060-07 0.282920-07
 0.263420-07 0.361840-07 0.351550-07 0.338660-07 0.323170-07 0.305530-07 0.286260-07
 0.266630-07

R LATTICE (CM)

0.10370+03 0.10860+03 0.11360+03 0.11850+03 0.12340+03 0.12840+03 0.13330+03

Z LATTICE (CM)

0.60000+02 0.63800+02 0.67590+02 0.71390+02 0.75190+02 0.78990+02 0.82780+02 0.86580+02 0.90380+02 0.94170+02
 0.97970+02 0.10180+03 0.10560+03 0.10940+03 0.11320+03 0.11700+03 0.12080+03 0.12450+03 0.12830+03

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 14

0.133900-C7	0.122370-07	0.109030-07	0.948820-08	0.807610-08
0.149950-07	0.137950-07	0.124570-07	0.110700-07	0.974650-08
0.165520-07	0.156940-07	0.143300-07	0.129010-07	0.115860-07
0.191680-07	0.178460-07	0.164260-07	0.149360-07	0.135820-07
0.215830-07	0.201930-07	0.187040-07	0.171360-07	0.157200-07
0.241470-07	0.226850-07	0.211180-07	0.194610-07	0.179740-07
0.268140-07	0.252750-07	0.236270-07	0.218740-07	0.203120-07
0.295370-07	0.279200-07	0.261860-07	0.243360-07	0.226980-07
0.322720-07	0.305740-07	0.287550-07	0.268070-07	0.250930-07
0.349710-07	0.331950-07	0.312920-07	0.292470-07	0.274600-07
0.375940-07	0.357400-07	0.337550-07	0.316190-07	0.297590-07
0.400960-07	0.381680-07	0.361060-07	0.338820-07	0.319560-07
0.424380-07	0.404410-07	0.383060-07	0.360010-07	0.340140-07
0.445820-07	0.425230-07	0.403220-07	0.379420-07	0.358990-07
0.464970-07	0.443800-07	0.421210-07	0.396750-07	0.375810-07
0.481480-07	0.459840-07	0.436740-07	0.411710-07	0.390350-07
0.495130-07	0.473090-07	0.449580-07	0.424080-07	0.402370-07
0.505670-07	0.483330-07	0.459500-07	0.433640-07	0.411660-07
0.512970-07	0.490410-07	0.466360-07	0.440250-07	0.418080-07

R LATTICE (CM)

0.13330+03 0.13700+03 0.14070+03 0.14440+03 0.14810+03

Z LATTICE (CM)

0.60000+02 0.63800+02 0.67590+02 0.71390+02 0.75190+02 0.78990+02 0.82780+02 0.86580+02 0.90380+02 0.94170+02
0.97970+02 0.10180+03 0.10560+03 0.10940+03 0.11320+03 0.11700+03 0.12080+03 0.12450+03 0.12830+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 15

0.115980-C8	0.641640-09	0.344600-09	0.188550-09	0.108430-09	0.678580-10
0.324300-10					
0.167150-C8	0.920250-C9	0.472960-09	0.252060-09	0.142500-09	0.882160-10
0.404590-10					
0.191290-08	0.110270-C8	0.581060-09	0.312350-09	0.177190-09	0.109990-09
0.490110-10					
0.209910-C8	0.123400-08	0.667210-09	0.365370-09	0.210260-09	0.132090-09
0.578150-10					
0.222730-C8	0.133510-08	0.735960-09	0.410750-09	0.240660-09	0.153780-09
0.665730-10					
0.233950-C8	0.141710-08	0.792090-09	0.449520-09	0.268310-09	0.174660-09
0.751140-10					
0.243470-C9	0.148670-08	0.839280-09	0.483160-09	0.293460-09	0.194640-09
0.832880-10					
0.251710-C8	0.154760-08	0.880210-09	0.512830-09	0.316530-09	0.213660-09
0.910940-10					
0.259060-C8	0.160270-08	0.916570-09	0.539550-09	0.337820-09	0.231730-09
0.984440-10					
0.265630-C8	0.165300-08	0.949610-09	0.563930-09	0.357610-09	0.248840-09
0.105400-09					
0.271730-C8	0.169900-08	0.979930-09	0.586410-09	0.376020-09	0.265010-09
0.111900-09					
0.277190-C8	0.174180-08	0.100790-08	0.607120-09	0.393120-09	0.280110-09
0.117980-C9					
0.282200-C8	0.178140-09	0.103350-08	0.626110-09	0.408810-09	0.294100-09
0.123540-C9					
0.286710-C9	0.181690-08	0.105680-08	0.643310-09	0.423060-09	0.306780-09
0.128600-09					
0.290750-C8	0.184920-08	0.107740-08	0.658610-09	0.435690-09	0.318070-09
0.133070-09					
0.294160-C9	0.187670-08	0.109540-08	0.671810-09	0.446570-09	0.327770-09
0.136950-C9					
0.297040-C8	0.189940-09	0.111060-08	0.682770-09	0.455580-09	0.335800-09
0.140120-09					
0.299290-C8	0.191750-08	0.112230-08	0.691310-09	0.462610-09	0.342040-09
0.142600-09					
0.300960-C8	0.193050-08	0.113060-08	0.697350-09	0.467490-09	0.346380-09
0.144300-C9					

R LATTICE (CM)

0.14810+03 0.15230+03 0.15640+03 0.16060+03 0.16480+03 0.16890+03 0.17310+03

Z LATTICE (CM)

0.60000+02 0.63800+02 0.67590+02 0.71390+02 0.75190+02 0.78990+02 0.82780+02 0.86580+02 0.90380+02 0.94170+02
0.97970+02 0.10180+03 0.10560+03 0.10940+03 0.11320+03 0.11700+03 0.12080+03 0.12450+03 0.12830+03

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 16

-0.781380-11 0.129680-10 0.751440-11 0.295730-11
 -0.119770-10 0.166860-10 0.954280-11 0.365860-11
 -0.176660-10 0.208790-10 0.118630-10 0.445540-11
 -0.249760-10 0.254380-10 0.144440-10 0.534370-11
 -0.338380-10 0.302450-10 0.172420-10 0.631580-11
 -0.440720-10 0.351920-10 0.202100-10 0.735900-11
 -0.554050-10 0.401900-10 0.232910-10 0.845740-11
 -0.675280-10 0.451610-10 0.264330-10 0.959200-11
 -0.801080-10 0.500400-10 0.295800-10 0.107420-10
 -0.928290-10 0.547700-10 0.326810-10 0.118870-10
 -0.105380-C9 0.592950-10 0.356960-10 0.130060-10
 -0.117490-C9 0.635650-10 0.385480-10 0.140770-10
 -0.128910-C9 0.675310-10 0.412230-10 0.150840-10
 -0.139410-C9 0.711420-10 0.436700-10 0.160070-10
 -0.148810-C9 0.743520-10 0.458500-10 0.168320-10
 -0.156910-C9 0.771180-10 0.477320-10 0.175450-10
 -0.163620-C9 0.794010-10 0.492860-10 0.181340-10
 -0.168810-C9 0.811660-10 0.504880-10 0.185900-10
 -0.172380-C9 0.823910-10 0.513200-10 0.189060-10

R LATTICE (CM)

0.17310+03 0.18140+03 0.18980+03 0.19810+03

Z LATTICE (CM)

0.60000+02 0.63800+02 0.67590+02 0.71390+02 0.75190+02 0.78990+02 0.82780+02 0.86580+02 0.90380+02 0.94170+02
 0.97970+02 0.10180+03 0.10560+03 0.10940+03 0.11320+03 0.11700+03 0.12080+03 0.12450+03 0.12830+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 17

0.120220-09 0.120180-09 0.120040-09 0.119810-09 0.119480-09 0.119050-09
 0.118510-09 0.117850-09 0.117060-09 0.116140-09 0.115040-09 0.113770-09
 0.112290-C9 0.110560-C9 0.108570-09 0.106260-09 0.103610-09 0.100360-09
 0.966160-10 0.923520-10 0.875330-10 0.821470-10 0.762000-10
 0.132230-C9 0.132180-09 0.132040-09 0.131800-09 0.131460-09 0.131020-09
 0.130470-09 0.129800-09 0.129010-09 0.128080-09 0.126980-09 0.125710-09
 0.124240-09 0.122530-09 0.120550-09 0.118250-09 0.115590-09 0.112310-09
 0.109520-C9 0.104150-09 0.991860-10 0.935860-10 0.873450-10
 0.127740-C9 0.127700-09 0.127570-09 0.127370-09 0.127080-09 0.126700-09
 0.126240-09 0.125680-09 0.125030-09 0.124270-09 0.123390-09 0.122370-09
 0.121200-C9 0.119850-C9 0.118280-09 0.116460-09 0.114330-09 0.111670-09
 0.106560-C9 0.104930-09 0.100730-09 0.959310-10 0.904990-10
 0.118920-C9 0.118890-09 0.118910-09 0.118660-09 0.118460-09 0.118200-09
 0.117890-C9 0.117530-C9 0.117130-09 0.116680-09 0.116200-09 0.115660-09
 0.115700-C9 0.114400-09 0.113630-09 0.112720-09 0.111620-09 0.110190-09
 0.108410-C9 0.106230-09 0.103570-09 0.100380-09 0.965830-10
 0.102390-09 0.102380-09 0.102350-09 0.102310-09 0.102250-09 0.102190-09
 0.102140-C9 0.102130-09 0.102160-09 0.102270-09 0.102460-09 0.102770-09
 0.103220-C9 0.103790-09 0.104500-09 0.105290-09 0.106120-09 0.106980-09
 0.107720-C9 0.108270-09 0.108560-09 0.108470-09 0.107880-09
 0.722510-10 0.722650-10 0.723360-10 0.724400-10 0.726290-10 0.729000-10
 0.732820-10 0.738110-10 0.745630-10 0.755720-10 0.769330-10 0.786810-10
 0.809400-10 0.837210-10 0.870820-10 0.909870-10 0.953670-10 0.100440-09
 0.105920-C9 0.111420-09 0.117160-09 0.122970-09 0.128540-09
 0.186140-10 0.186970-10 0.188940-10 0.192790-10 0.198070-10 0.206000-10
 0.216650-10 0.230880-10 0.249640-10 0.274580-10 0.306750-10 0.348400-10
 0.401130-10 0.467240-10 0.547720-10 0.642990-10 0.751490-10 0.879220-10
 0.101630-C9 0.116290-C9 0.132020-09 0.148770-09 0.166030-09
 -0.734820-10 -0.733450-10 -0.728970-10 -0.721580-10 -0.710210-10 -0.694710-10
 -0.673570-10 -0.645950-10 -0.609450-10 -0.562220-10 -0.500670-10 -0.421260-10
 -0.318940-10 -0.189440-10 -0.280200-11 0.167340-10 0.394210-10 0.660460-10
 0.943480-10 0.124660-09 0.157860-09 0.194450-09 0.233730-09
 -0.225250-C9 -0.224990-09 -0.224200-09 -0.222840-09 -0.220860-09 -0.218110-09
 -0.214470-C9 -0.209670-09 -0.203430-09 -0.195340-09 -0.184840-09 -0.171210-09
 -0.153470-09 -0.130490-C9 -0.100980-09 -0.638980-10 -0.192550-10 0.326490-10
 0.854950-10 0.141200-09 0.203190-09 0.274520-09 0.355460-09
 -0.461540-C9 -0.461140-C9 -0.459810-09 -0.457590-09 -0.454300-09 -0.449840-09
 -0.443830-C9 -0.436130-09 -0.426110-09 -0.413260-09 -0.396530-09 -0.374810-09
 -0.346430-C9 -0.309020-09 -0.259390-09 -0.193270-09 -0.105340-09 -0.559660-11
 0.858990-10 0.178840-09 0.283350-09 0.410500-09 0.573580-09
 -0.110410-C8 -0.110360-08 -0.110100-08 -0.109760-08 -0.109150-08 -0.108400-08
 -0.107360-C8 -0.106090-08 -0.104410-08 -0.102300-08 -0.995610-09 -0.960830-09
 -0.515290-09 -0.855150-09 -0.774110-09 -0.662970-09 -0.503510-09 -0.323300-09
 -0.167950-C9 -0.141820-10 0.158960-09 0.373760-09 0.675900-09

R LATTICE (CM)

0.0 0.46300+01 0.92500+01 0.13880+02 0.18510+02 0.23140+02 0.27760+02 0.32390+02 0.37020+02 0.41650+02
 0.46270+02 0.50900+02 0.55530+02 0.60160+02 0.64780+02 0.69410+02 0.74040+02 0.78980+02 0.83930+02 0.88870+02
 0.93810+02 0.98760+02 0.10370+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.60000+01 0.12000+02 0.18000+02 0.24000+02 0.30000+02 0.36000+02 0.42000+02 0.48000+02 0.54000+02
 0.60000+02

Tab. A3 Material-Reaktivitätswerte (Fortsetzung)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 18

0.762000-10	0.697370-10	0.628100-10	0.555170-10	0.479870-10	0.403860-10
0.329070-10	0.275230-10	0.225180-10	0.183300-10	0.160030-10	
0.873450-10	0.804990-10	0.730910-10	0.652140-10	0.570090-10	0.486600-10
0.404020-10	0.344470-10	0.288620-10	0.238590-10	0.198780-10	
0.904990-10	0.844410-10	0.777740-10	0.705670-10	0.629290-10	0.550330-10
0.470940-10	0.412840-10	0.357240-10	0.305230-10	0.258140-10	
0.965830-10	0.921360-10	0.870020-10	0.811840-10	0.747340-10	0.677510-10
0.604020-10	0.547900-10	0.492080-10	0.437680-10	0.387330-10	
0.107880-C9	0.106620-09	0.104540-09	0.101540-09	0.975200-10	0.924550-10
0.863590-10	0.811950-10	0.756340-10	0.698450-10	0.643910-10	
0.128540-09	0.133470-09	0.137400-09	0.139980-09	0.140930-09	0.139920-09
0.136610-09	0.132470-09	0.127000-09	0.120440-09	0.114040-09	
0.166030-C9	0.182830-09	0.198250-09	0.211670-09	0.222550-09	0.230100-09
0.233100-C9	0.231410-09	0.226110-09	0.217580-09	0.208650-09	
0.233730-C9	0.272930-09	0.309620-09	0.343000-09	0.372940-09	0.398420-09
0.416340-C9	0.421060-09	0.416400-09	0.402620-09	0.386660-09	
0.355460-C9	0.436980-09	0.511140-09	0.578650-09	0.642250-09	0.703530-09
0.758610-09	0.782390-09	0.781620-09	0.754650-09	0.718370-09	
0.573580-09	0.738240-09	0.873220-09	0.991090-09	0.110470-08	0.122800-08
0.137920-08	0.146870-08	0.148850-08	0.143480-08	0.133760-08	
0.675900-08	0.992470-08	0.124110-08	0.145060-08	0.164980-08	0.186610-08
0.219160-C8	0.245340-08	0.259110-08	0.257770-08	0.246620-08	

R LATTICE (CM)

0.10370+03 0.10860+03 0.11360+03 0.11850+03 0.12340+03 0.12840+03 0.13330+03 0.13700+03 0.14070+03 0.14440+03
0.14810+03

Z LATTICE (CM)

0.0 C.60000+01 0.12000+02 0.18000+02 0.24000+02 0.30000+02 0.36000+02 0.42000+02 0.48000+02 0.54000+02
0.60000+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 19

0.106840-10	0.715930-11	0.424770-11	0.249820-11	0.145590-11	0.833100-12
0.458940-12					
0.115060-10	0.765840-11	0.470190-11	0.283500-11	0.169320-11	0.100110-11
0.568550-12					
0.105830-10	0.747130-11	0.474660-11	0.298260-11	0.186970-11	0.117990-11
0.709740-12					
0.107230-10	0.790690-11	0.519540-11	0.342220-11	0.228110-11	0.155910-11
0.995550-12					
0.111210-10	0.942040-11	0.648350-11	0.449820-11	0.318230-11	0.232990-11
0.154510-11					
0.138460-10	0.135130-10	0.971130-11	0.697870-11	0.510350-11	0.386660-11
0.257330-11					
0.241090-10	0.241800-10	0.175530-10	0.125760-10	0.912900-11	0.687860-11
0.444570-11					
0.577770-10	0.515890-10	0.362650-10	0.249370-10	0.173710-10	0.126360-10
0.773070-11					
0.159200-C9	0.120480-09	0.794190-10	0.511460-10	0.335250-10	0.231710-10
0.131650-10					
0.456910-09	0.285770-09	0.172330-09	0.102480-09	0.627330-10	0.410540-10
0.213980-10					
0.115980-C9	0.641640-09	0.344600-09	0.188550-09	0.108430-09	0.678580-10
0.324300-10					

R LATTICE (CM)

0.14810+03 0.15230+03 0.15640+03 0.16060+03 0.16480+03 0.16890+03 0.17310+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.60000+01 0.12000+02 0.18000+02 0.24000+02 0.30000+02 0.36000+02 0.42000+02 0.48000+02 0.54000+02
0.60000+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 20

0.449460-12	0.129080-12	0.290950-13	0.228670-14
0.480680-12	0.162390-12	0.486560-13	0.121240-13
0.437720-12	0.211530-12	0.897690-13	0.355890-13
0.364230-12	0.312260-12	0.170690-12	0.802850-13
0.246800-12	0.509000-12	0.320530-12	0.159410-12
0.614340-13	0.883170-12	0.588960-12	0.293480-12
-0.237510-12	0.157560-11	0.105480-11	0.511390-12
-0.755100-12	0.281010-11	0.183250-11	0.849340-12
-0.174550-11	0.490230-11	0.306950-11	0.134690-11
-0.376790-11	0.820740-11	0.492340-11	0.204040-11
-0.781380-11	0.129680-10	0.751440-11	0.295730-11

R LATTICE (CM)

0.17310+03 0.18140+03 0.18980+03 0.19810+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.60000+01 0.12000+02 0.18000+02 0.24000+02 0.30000+02 0.36000+02 0.42000+02 0.48000+02 0.54000+02
0.60000+02

Tab. A4 Doppler - Parameter

Zonen- index	Region- index	Störungskoeffizienten $10^7 \cdot \delta(1/k)$		Koeffizienten a, b aus: $\frac{1}{k} \frac{dk}{dT} = aT^{-3/2} + bT^{-1}$ (Methode 2)		Wichtungen für $\frac{1}{k} \frac{dk}{dT} = 0,082 T^{-3/2} - 0,008 T^{-1}$ (Methode 1)
		Temperatur		$10^4 \cdot a$	$10^4 \cdot b$	
		Kern 2100+100 K Blanket 900+100K	Kern Blanket }3000+100K			
1	5	5,6340	3,8007	120,4	9,204	0,1552
	11	4,3991	2,9688	93,09	7,207	0,1212
2	6	4,4335	2,9815	102,7	7,069	0,1222
	12	3,4571	2,3258	79,28	5,529	0,0953
3	7	3,6743	2,4569	96,89	5,602	0,1012
	13	2,8604	1,9135	74,74	4,376	0,0788
4	8	0,9202	0,6135	25,74	1,371	0,0254
	14	0,7141	0,4763	19,82	1,067	0,197
5	1	1,1417	0,4397	464,8	-7,167	0,0390
	2	0,6848	0,2113	225,6	-3,485	0,0189
	17	1,3767	0,4273	451,5	-6,961	0,0379
	18	0,6636	0,2049	218,6	-3,376	0,0183
6	3	0,1013	0,0326	32,22	-0,4904	0,0028
	9	3,1851	0,9644	1065,0	-16,55	0,0254
	15	2,4674	0,7477	824,4	-12,81	0,0680
	19	0,0980	0,0315	31,17	-0,4744	0,0027
7	4	0,0041	0,0014	1,259	-0,01876	0,0001
	10	0,1105	0,0362	34,61	-0,5232	0,0030
	16	0,0855	0,0281	26,79	-0,4048	0,0024
	20	0,0040	0,0014	1,216	-0,01813	0,0001

1

2

3

4

5

6

7

Tab. A5 Zerfallskonstanten λ und Anteile β verzögerter Neutronen aus Schnellspaltung aus Keepin /1965/

Gruppen- index i	U^{235}		U^{238}		Pu^{239}		Pu^{240}	
	λ_i	β_i	λ_i	β_i	λ_i	β_i	λ_i	β_i
1	0,0127	2,43-4 ^{†)}	0,0132	1,92-4	0,0129	7,6-5	0,0129	7,28-5
2	0,0317	1,36-3	0,0321	2,03-3	0,0311	5,6-4	0,0313	7,1-4
3	0,115	1,2-3	0,139	2,4-3	0,134	4,32-4	0,135	4,99-4
4	0,311	2,6-3	0,358	5,74-3	0,331	6,56-4	0,333	9,1-4
5	1,40	8,2-4	1,41	3,33-3	1,26	2,06-4	1,36	3,33-4
6	3,87	1,66-4	4,02	1,11-3	3,21	7,0-5	4,04	9,1-5

†) Schreibweise: 2,43-4 = 2,43 · 10⁻⁴

Tab. A6 Spektren verzögerter Neutronen basierend auf Messungen von Fieg /1971/

Index Gruppe verz.Neutr.	Energie- gruppen- index											
		1-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13-26
1		0,0	0,0	0,06	0,17	0,23	0,27	0,16	0,08	0,02	0,01	0,0
2		0,0	0,0	0,14	0,38	0,28	0,11	0,06	0,03	0,01	0,0	0,0
3		0,0	0,0	0,09	0,35	0,25	0,16	0,09	0,04	0,01	0,0	0,0
4		0,0	0,07	0,16	0,31	0,22	0,15	0,06	0,03	0,01	0,0	0,0
5		0,0	0,04	0,14	0,36	0,26	0,14	0,05	0,01	0,0	0,0	0,0
6		0,0	0,04	0,14	0,36	0,26	0,14	0,05	0,01	0,0	0,0	0,0

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	0.2800-09	0.2800-09	0.2800-09	0.2780-09	0.2770-09	0.2740-09	0.2720-09	0.2670-09	0.2600-09	
3	0.9340-09	0.9360-09	0.9330-09	0.9300-09	0.9250-09	0.9190-09	0.9090-09	0.8940-09	0.8730-09	
4	0.1930-08	0.1930-08	0.1920-08	0.1920-08	0.1910-08	0.1890-08	0.1880-08	0.1860-08	0.1810-08	
5	0.3680-08	0.3680-08	0.3680-08	0.3660-08	0.3650-08	0.3630-08	0.3600-08	0.3580-08	0.3520-08	
6	0.7050-08	0.7050-08	0.7040-08	0.7030-08	0.7000-08	0.6980-08	0.6940-08	0.6910-08	0.6840-08	
7	0.5400-07	0.5400-07	0.5390-07	0.5380-07	0.5360-07	0.5340-07	0.5300-07	0.5270-07	0.5470-07	
8	0.6660-07	0.6660-07	0.6650-07	0.6640-07	0.6610-07	0.6590-07	0.6550-07	0.6500-07	0.6760-07	
9	0.7860-07	0.7860-07	0.7850-07	0.7840-07	0.7820-07	0.7780-07	0.7740-07	0.7690-07	0.8000-07	
10	0.8970-07	0.8960-07	0.8960-07	0.8930-07	0.8910-07	0.8880-07	0.8830-07	0.8770-07	0.9140-07	
11	0.9940-07	0.9940-07	0.9930-07	0.9900-07	0.9880-07	0.9850-07	0.9810-07	0.9740-07	0.1010-06	
12	0.1080-06	0.1080-06	0.1080-06	0.1070-06	0.1070-06	0.1070-06	0.1060-06	0.1060-06	0.1100-06	
13	0.1140-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1130-06	0.1130-06	0.1120-06	0.1170-06	
14	0.1190-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1180-06	0.1180-06	0.1170-06	0.1230-06	
15	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1210-06	0.1210-06	0.1200-06	0.1250-06	
16	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1210-06	0.1260-06	
17	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1240-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1210-06	0.1260-06	
18	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1230-06	0.1210-06	0.1210-06	0.1210-06	0.1250-06	
19	0.1200-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1190-06	0.1180-06	0.1180-06	0.1170-06	0.1210-06	
20	0.1150-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1140-06	0.1130-06	0.1130-06	0.1120-06	0.1170-06	
21	0.1080-06	0.1080-06	0.1080-06	0.1070-06	0.1070-06	0.1070-06	0.1060-06	0.1060-06	0.1100-06	
22	0.9950-07	0.9940-07	0.9930-07	0.9910-07	0.9890-07	0.9850-07	0.9810-07	0.9740-07	0.1010-06	
23	0.8970-07	0.8970-07	0.8960-07	0.8940-07	0.8920-07	0.8880-07	0.8850-07	0.8790-07	0.9140-07	
24	0.7880-07	0.7860-07	0.7850-07	0.7840-07	0.7820-07	0.7790-07	0.7750-07	0.7690-07	0.8010-07	
25	0.6670-07	0.6660-07	0.6660-07	0.6640-07	0.6630-07	0.6600-07	0.6570-07	0.6520-07	0.6770-07	
26	0.5410-07	0.5400-07	0.5400-07	0.5390-07	0.5360-07	0.5340-07	0.5320-07	0.5270-07	0.5470-07	
27	0.7050-08	0.7050-08	0.7040-08	0.7030-08	0.7000-08	0.6980-08	0.6940-08	0.6910-08	0.6840-08	
28	0.3680-08	0.3680-08	0.3680-08	0.3660-08	0.3650-08	0.3630-08	0.3600-08	0.3580-08	0.3520-08	
29	0.1930-08	0.1930-08	0.1920-08	0.1920-08	0.1910-08	0.1890-08	0.1880-08	0.1860-08	0.1810-08	
30	0.9340-09	0.9360-09	0.9330-09	0.9300-09	0.9250-09	0.9190-09	0.9090-09	0.8940-09	0.8730-09	
31	0.2800-09	0.2800-09	0.2800-09	0.2780-09	0.2770-09	0.2740-09	0.2720-09	0.2670-09	0.2600-09	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0.2510-09	0.2380-09	0.2200-09	0.1980-09	0.1710-09	0.1430-09	0.1150-09	0.1190-09	0.6670-10	0.2350-10
3	0.8450-09	0.8050-09	0.7480-09	0.6740-09	0.5820-09	0.4880-09	0.3990-09	0.3150-09	0.2150-09	0.7230-09
4	0.1770-08	0.1690-08	0.1580-08	0.1430-08	0.1250-08	0.1040-08	0.8370-09	0.8340-09	0.4130-09	0.1300-09
5	0.3430-08	0.3310-08	0.3130-08	0.2860-08	0.2510-08	0.2120-08	0.1690-08	0.1530-08	0.7240-09	0.2120-09
6	0.6720-08	0.6530-08	0.6250-08	0.5790-08	0.5160-08	0.4430-08	0.3480-08	0.3090-08	0.1230-08	0.3310-09
7	0.5340-07	0.5160-07	0.5450-07	0.5000-07	0.4430-07	0.5280-07	0.4360-07	0.5080-08	0.1810-08	0.4640-09
8	0.6610-07	0.6400-07	0.6770-07	0.6240-07	0.5530-07	0.6590-07	0.5450-07	0.6710-08	0.2290-08	0.5750-09
9	0.7830-07	0.7580-07	0.8020-07	0.7400-07	0.6590-07	0.7840-07	0.6490-07	0.8150-08	0.2740-08	0.6820-09
10	0.8940-07	0.8660-07	0.9190-07	0.8480-07	0.7560-07	0.8990-07	0.7440-07	0.9430-08	0.3160-08	0.7790-09
11	0.9940-07	0.9640-07	0.1020-06	0.9430-07	0.8410-07	0.1000-06	0.8290-07	0.1050-07	0.3520-08	0.8660-09
12	0.1080-06	0.1040-06	0.1110-06	0.1020-06	0.9140-07	0.1080-06	0.9000-07	0.1140-07	0.3830-08	0.9420-09
13	0.1150-06	0.1110-06	0.1180-06	0.1090-06	0.9720-07	0.1160-06	0.9590-07	0.1230-07	0.4090-08	0.1000-08
14	0.1200-06	0.1160-06	0.1240-06	0.1140-06	0.1020-06	0.1200-06	0.1000-06	0.1270-07	0.4270-08	0.1050-08
15	0.1230-06	0.1190-06	0.1260-06	0.1170-06	0.1040-06	0.1230-06	0.1030-06	0.1310-07	0.4390-08	0.1080-08
16	0.1250-06	0.1210-06	0.1270-06	0.1180-06	0.1060-06	0.1260-06	0.1040-06	0.1320-07	0.4440-08	0.1090-08
17	0.1250-06	0.1210-06	0.1270-06	0.1180-06	0.1060-06	0.1260-06	0.1040-06	0.1320-07	0.4440-08	0.1090-08
18	0.1230-06	0.1190-06	0.1260-06	0.1170-06	0.1040-06	0.1240-06	0.1030-06	0.1310-07	0.4390-08	0.1080-08
19	0.1200-06	0.1160-06	0.1230-06	0.1140-06	0.1020-06	0.1210-06	0.1000-06	0.1270-07	0.4270-08	0.1050-08
20	0.1150-06	0.1110-06	0.1180-06	0.1090-06	0.9720-07	0.1160-06	0.9590-07	0.1230-07	0.4080-08	0.1000-08
21	0.1080-06	0.1050-06	0.1110-06	0.1020-06	0.9140-07	0.1080-06	0.9000-07	0.1150-07	0.3830-08	0.9420-09
22	0.9940-07	0.9640-07	0.1020-06	0.9440-07	0.8410-07	0.1000-06	0.8290-07	0.1050-07	0.3520-08	0.8660-09
23	0.8960-07	0.8680-07	0.9190-07	0.8480-07	0.7560-07	0.8990-07	0.7450-07	0.9430-08	0.3160-08	0.7790-09
24	0.7840-07	0.7580-07	0.8030-07	0.7410-07	0.6590-07	0.7840-07	0.6490-07	0.8150-08	0.2750-08	0.6830-09
25	0.6630-07	0.6400-07	0.6770-07	0.6240-07	0.5550-07	0.6590-07	0.5450-07	0.6720-08	0.2290-08	0.5760-09
26	0.5340-07	0.5160-07	0.5450-07	0.5010-07	0.4430-07	0.5280-07	0.4360-07	0.5080-08	0.1810-08	0.4640-09
27	0.6720-08	0.6530-08	0.6250-08	0.5790-08	0.5160-08	0.4430-08	0.3480-08	0.3090-08	0.1230-08	0.3310-09
28	0.3430-08	0.3310-08	0.3130-08	0.2860-08	0.2510-08	0.2120-08	0.1690-08	0.1530-08	0.7240-09	0.2120-09
29	0.1770-08	0.1690-08	0.1580-08	0.1430-08	0.1250-08	0.1040-08	0.8370-09	0.8340-09	0.4130-09	0.1300-09
30	0.8450-09	0.8050-09	0.7480-09	0.6740-09	0.5820-09	0.4880-09	0.3990-09	0.3150-09	0.2150-09	0.7230-10
31	0.2510-09	0.2380-09	0.2200-09	0.1980-09	0.1710-09	0.1430-09	0.1150-09	0.1190-09	0.6670-10	0.2350-10

Tab. A7 Normierte Leistungsdichteverteilung
für GSB-1 im Gleichgewichtszyklus am
Zyklusanfang. Indizes beziehen sich auf
KADIS-Rechengitter, siehe Abb.(3.1.1).

Anhang B

Tabellen zu den Predisassembly-Rechnungen

B1 Temperaturen im Betriebszustand

B2 Temperaturen ⁺

B3 Brennstoffdichten ⁺

B4 Brennstoff-Volumenanteile ⁺

⁺ zum Umschaltpunkt

		2	3	4	5	6	7	8	9	10		
		2	875.480	875.470	875.470	875.470	875.450	875.440	875.420	875.450		
		3	894.460	894.450	894.440	894.430	894.410	894.400	894.370	894.390		
		4	932.320	932.310	932.290	932.260	932.230	932.200	932.150	932.190		
		5	1007.900	1007.800	1007.800	1007.700	1007.700	1007.600	1006.500	1006.400		
		6	1159.300	1159.300	1159.200	1159.100	1158.000	1157.900	1157.700	1156.500		
		7	2691.300	2690.700	2688.900	2687.600	2685.200	2683.300	2679.600	2676.400		
		8	2947.900	2946.900	2945.300	2943.300	2941.200	2938.600	2934.900	2930.700		
		9	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000		
		10	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000		
		11	3068.600	3067.400	3065.500	3063.500	3060.400	3057.200	3052.800	3047.800		
		12	3225.100	3223.800	3221.900	3219.400	3216.200	3213.200	3208.200	3203.100		
		13	3349.100	3347.200	3345.300	3342.700	3339.400	3335.700	3330.500	3324.800		
		14	3437.600	3436.300	3433.700	3431.100	3427.300	3424.000	3418.300	3412.500		
		15	3490.000	3488.700	3486.100	3483.500	3479.600	3475.800	3470.600	3464.300		
		16	3500.000	3500.000	3500.000	3498.200	3494.900	3491.100	3485.400	3479.600		
		17	3499.400	3498.000	3495.500	3492.900	3489.100	3485.300	3479.600	3474.000		
		18	3459.400	3457.600	3455.700	3452.800	3449.500	3445.800	3440.100	3433.800		
		19	3444.000	3442.700	3440.700	3437.500	3434.200	3430.300	3424.400	3418.600		
		20	3330.200	3328.900	3326.900	3323.800	3320.800	3317.900	3311.900	3306.100		
		21	3181.900	3180.600	3178.700	3176.100	3172.900	3169.200	3164.200	3159.100		
		22	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000		
		23	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000		
		24	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000		
		25	2799.700	2798.900	2797.100	2795.200	2792.600	2790.000	2786.100	2781.900		
		26	2500.700	2499.800	2498.400	2496.900	2494.600	2492.600	2489.300	2485.600		
		27	851.640	850.980	850.900	850.900	850.680	850.550	849.750	849.540		
		28	699.860	699.840	699.800	699.750	699.690	699.620	699.530	698.810		
		29	623.110	623.090	623.070	623.050	623.020	622.990	622.940	622.880		
		30	584.450	584.450	584.440	584.420	584.410	584.390	584.370	584.340		
		31	565.040	565.040	565.030	565.030	565.020	565.010	565.000	565.010		
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		2	875.440	875.380	875.420	875.330	875.220	875.360	875.200	844.480	733.500	733.240
		3	894.370	894.250	894.340	894.160	892.950	894.230	892.900	856.970	744.850	743.770
		4	932.150	930.920	932.080	930.750	929.330	930.880	929.220	882.220	767.830	765.100
		5	1006.500	1006.100	1006.400	1004.700	1001.900	1005.000	1001.700	932.750	813.780	808.320
		6	1157.700	1154.800	1156.500	1153.200	1147.600	1153.700	1146.200	1036.300	907.310	895.910
		7	2679.600	2663.800	2675.200	2653.000	2625.100	2660.700	2618.000	1131.400	992.910	976.250
		8	2934.900	2916.400	2929.700	2904.100	2873.100	2913.200	2865.700	1278.700	1124.200	1099.100
		9	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	1414.700	1245.800	1213.400
		10	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	1535.500	1355.500	1315.700
		11	3052.800	3028.200	3046.500	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	1637.300	1450.200	1404.800
		12	3208.200	3184.200	3201.800	3166.900	3111.700	3179.800	3058.400	1720.100	1528.400	1478.400
		13	3330.500	3305.400	3323.600	3287.200	3233.300	3300.400	3219.300	1780.400	1588.500	1534.400
		14	3418.300	3391.800	3411.200	3373.500	3319.700	3386.800	3305.200	1819.800	1629.700	1573.400
		15	3470.600	3443.500	3463.000	3424.600	3370.400	3438.400	3355.400	1838.200	1652.500	1594.800
		16	3485.400	3458.300	3477.800	3438.800	3383.900	3452.700	3368.700	1837.900	1657.000	1598.900
		17	3479.600	3452.600	3472.200	3433.200	3376.000	3447.500	3361.000	1825.300	1650.500	1592.700
		18	3440.100	3412.500	3432.600	3393.800	3333.600	3407.500	3318.900	1789.500	1624.600	1568.400
		19	3424.400	3397.600	3417.300	3378.400	3323.700	3352.500	3309.100	1732.600	1579.900	1527.100
		20	3311.900	3285.800	3304.800	3267.500	3207.400	3280.700	3193.500	1656.200	1516.600	1466.600
		21	3164.200	3136.100	3157.900	3113.200	3055.200	3130.000	3040.700	1560.100	1436.900	1390.500
		22	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	1445.700	1340.500	1299.500
		23	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	3023.000	1316.000	1229.400	1194.400
		24	3023.000	3010.600	3023.000	2996.200	2960.500	3006.700	2952.000	1174.700	1107.200	1079.200
		25	2786.100	2767.400	2781.100	2754.300	2723.100	2763.800	2715.500	1025.200	976.210	955.360
		26	2489.300	2473.200	2484.700	2462.500	2434.700	2470.300	2428.000	869.890	837.270	823.430
		27	849.750	847.590	849.490	846.310	842.780	847.410	841.760	763.640	743.650	734.030
		28	699.530	698.440	698.780	697.490	695.400	697.730	695.200	653.740	643.600	638.970
		29	622.940	622.060	622.870	621.890	620.820	622.010	620.710	598.740	594.310	591.970
		30	584.370	584.240	584.330	584.160	583.290	584.220	583.240	571.760	565.930	568.760
		31	565.000	564.940	564.980	564.890	564.780	564.930	564.750	558.730	557.560	557.300

Tab. B2 Temperaturverteilung im GSB-1-Kern
98 ms nach Beginn des Abschaltstabsauswurfs
in Kelvin. Indizes beziehen sich auf
KADIS-Rechengitter.

2	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725
3	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719	9.719
4	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708	9.708
5	9.686	9.686	9.686	9.686	9.686	9.686	9.686	9.687	9.686	9.686
6	9.642	9.642	9.642	9.642	9.642	9.642	9.642	9.642	9.643	9.642
7	9.217	9.217	9.218	9.218	9.219	9.219	9.220	9.221	9.219	9.219
8	9.149	9.150	9.150	9.151	9.151	9.152	9.153	9.154	9.152	9.152
9	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144
10	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144
11	10.131	10.131	10.132	10.133	10.133	10.134	10.136	10.137	10.135	10.135
12	10.086	10.087	10.087	10.088	10.089	10.090	10.091	10.092	10.090	10.090
13	10.051	10.051	10.052	10.053	10.054	10.055	10.056	10.058	10.055	10.055
14	10.026	10.026	10.027	10.028	10.029	10.030	10.031	10.033	10.030	10.030
15	10.011	10.011	10.012	10.013	10.014	10.015	10.017	10.018	10.015	10.015
16	10.008	10.008	10.008	10.009	10.010	10.011	10.012	10.014	10.014	10.011
17	10.008	10.009	10.009	10.010	10.011	10.012	10.014	10.016	10.016	10.013
18	10.020	10.020	10.021	10.022	10.022	10.024	10.025	10.027	10.027	10.024
19	10.024	10.024	10.025	10.026	10.027	10.028	10.030	10.031	10.031	10.028
20	10.056	10.057	10.057	10.058	10.059	10.060	10.061	10.063	10.063	10.060
21	10.099	10.099	10.099	10.100	10.101	10.102	10.104	10.105	10.102	10.102
22	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144
23	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144
24	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144
25	9.188	9.188	9.189	9.190	9.190	9.191	9.192	9.193	9.191	9.191
26	9.268	9.268	9.268	9.269	9.269	9.270	9.271	9.272	9.270	9.270
27	9.732	9.732	9.732	9.732	9.732	9.732	9.733	9.733	9.732	9.732
28	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777	9.777
29	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800
30	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812
31	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817	9.817
2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	9.725	10.275	10.310	10.310
4	9.719	9.719	9.719	9.720	9.720	9.719	9.720	10.271	10.306	10.306
5	9.708	9.709	9.708	9.709	9.709	9.709	9.709	10.263	10.299	10.300
6	9.686	9.687	9.687	9.687	9.688	9.687	9.688	10.247	10.285	10.286
7	9.642	9.643	9.643	9.644	9.645	9.643	9.646	10.215	10.255	10.259
8	9.220	9.224	9.221	9.227	9.234	9.225	9.236	10.186	10.229	10.234
9	9.153	9.158	9.154	9.161	9.169	9.159	9.171	10.141	10.188	10.196
10	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.100	10.151	10.161
11	10.136	10.143	10.137	10.144	10.144	10.144	10.144	10.064	10.118	10.130
12	10.091	10.098	10.093	10.103	10.119	10.099	10.123	10.009	10.066	10.081
13	10.056	10.063	10.058	10.066	10.084	10.065	10.088	9.991	10.048	10.064
14	10.031	10.039	10.033	10.044	10.059	10.040	10.063	9.979	10.035	10.052
15	10.017	10.024	10.019	10.029	10.045	10.026	10.049	9.974	10.029	10.046
16	10.012	10.020	10.014	10.025	10.041	10.022	10.045	9.974	10.027	10.045
17	10.014	10.022	10.016	10.027	10.043	10.023	10.048	9.978	10.029	10.047
18	10.025	10.033	10.027	10.038	10.055	10.034	10.059	9.988	10.037	10.054
19	10.030	10.037	10.032	10.043	10.058	10.039	10.062	10.005	10.050	10.066
20	10.061	10.069	10.063	10.074	10.091	10.070	10.095	10.028	10.069	10.084
21	10.104	10.112	10.105	10.118	10.135	10.113	10.139	10.056	10.093	10.107
22	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.091	10.122	10.135
23	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.144	10.130	10.156	10.167
24	10.144	9.133	10.144	9.137	9.146	9.134	9.148	10.173	10.194	10.202
25	9.192	9.197	9.193	9.200	9.208	9.198	9.210	10.219	10.234	10.240
26	9.271	9.275	9.272	9.278	9.286	9.276	9.287	10.267	10.277	10.281
27	9.733	9.733	9.733	9.734	9.735	9.733	9.735	10.300	10.306	10.310
28	9.777	9.778	9.777	9.778	9.778	9.778	9.778	10.335	10.338	10.339
29	9.800	9.800	9.800	9.800	9.801	9.800	9.801	10.352	10.354	10.354
30	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	9.812	10.361	10.361	10.362
31	9.817	9.817	9.817	9.817	9.818	9.817	9.818	10.365	10.365	10.365

Tab. B3 Brennstoffdichteverteilung im GSB-1-Kern beim Abschaltstabauswurfstorfall zum Umschaltpunkt (g/cm³). Indizes beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299
3	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299
4	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299
5	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299
6	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
7	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.309	0.309	0.310
8	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311
9	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
10	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
11	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281
12	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.281	0.281	0.281	0.281
13	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282
14	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
15	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
16	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
17	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
18	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
19	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283	0.283
20	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282
21	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281
22	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
23	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
24	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280
25	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
26	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308
27	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298
28	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
29	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
30	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
31	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.552	0.551
3	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.552	0.551
4	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.553	0.551
5	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.299	0.553	0.552
6	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.554	0.553
7	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.309	0.555	0.554
8	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.311	0.557	0.555
9	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.559	0.556
10	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.560	0.557
11	0.281	0.280	0.281	0.280	0.280	0.280	0.280	0.561	0.558
12	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.562	0.559
13	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.563	0.560
14	0.283	0.282	0.283	0.282	0.282	0.282	0.282	0.563	0.560
15	0.283	0.283	0.283	0.283	0.282	0.283	0.282	0.563	0.561
16	0.283	0.283	0.283	0.283	0.282	0.283	0.282	0.563	0.561
17	0.283	0.283	0.283	0.283	0.282	0.283	0.282	0.563	0.561
18	0.283	0.283	0.283	0.283	0.282	0.283	0.282	0.563	0.560
19	0.283	0.282	0.283	0.282	0.282	0.282	0.282	0.562	0.560
20	0.282	0.282	0.282	0.282	0.281	0.282	0.281	0.561	0.559
21	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.281	0.560	0.558
22	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.559	0.557
23	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.558	0.556
24	0.280	0.312	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.558	0.555
25	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310	0.554	0.553
26	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.308	0.552	0.552
27	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.298	0.551	0.551
28	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.550	0.550
29	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.549	0.549
30	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.549	0.549
31	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297	0.549	0.549

Tab. B4 Brennstoffvolumenanteile im
 GSB-I-Kern beim Abschaltstabauswurfstör-
 fall zum Umschaltpunkt. Indizes beziehen
 sich auf KADIS-Rechengitter.

Anhang C

KADIS-Ergebnisse für den Basisfall

- C1 Radiale Verschiebung der Gitterpunkte
- C2 Axiale Verschiebung der Gitterpunkte
- C3 Radiale Geschwindigkeit der Gitterpunkte
- C4 Axiale Geschwindigkeit der Gitterpunkte
- C5 Gesamtdruck in den Zellen
- C6 Viskoser Druck in den Zellen
- C7 Gesamtdichte in den Zellen
- C8 Temperatur in den Zellen

am Ende der Disassembly-Rechnung

	2 **	3 **	4 **	5 **	6 **	7 **	8 **	9 **	10 **	11 **	12 **	13 **	14 **	15 **	16 **	17 **	18 **	19 **	20 **	21 **
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25*	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1	1	1	-2	2	1	0	0	0
24*	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	1	1	-2	3	3	-5	7	2	0	0	0
23*	0	0	1	1	1	1	2	-2	-4	3	1	1	13	3	6	5	10	0	0	0
22*	0	1	2	4	5	6	8	2	-36	19	28	-41	82	86-128	183	29	2	0	0	0
21*	0	3	5	9	9	12	16	11	-86	46	70-115	180	149-289	402	127	5	0	0	0	0
20*	0	6	8	13	14	18	25	23-128	59	116-177	271	164-373	557	261	10	0	0	0	0	0
19*	0	6	7	11	12	36	26	26-153	75	130-211	323	101-353	674	334	17	0	0	0	0	0
18*	0	4	6	8	10	53	19	36-176	73	146-224	350	42-338	756	384	22	0	0	0	0	0
17*	0	2	4	7	11	58	16	57-205	59	195-259	375	75-417	854	401	24	0	0	0	0	0
16*	0	2	4	6	11	57	20	48-197	78	171-254	375	77-375	793	387	23	0	0	0	0	0
15*	0	5	7	10	14	37	25	32-179	95	132-233	349	99-324	654	345	18	0	0	0	0	0
14*	0	6	6	11	14	17	24	22-146	77	108-188	284	143-332	538	260	12	0	0	0	0	0
13*	0	5	5	6	10	12	17	15	-94	49	75-123	190	127-271	384	167	6	0	0	0	0
12*	0	2	3	3	5	6	9	5	-40	21	32	-46	83	56	-99	156	70	2	0	0
11*	0	0	1	1	1	1	2	-2	-5	3	2	1	11	4	6	10	11	1	0	0
10*	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	1	1	-2	3	3	-5	7	2	0	0	0
9*	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1	1	1	-2	2	1	0	0	0
8*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C1 Radiale Verschiebung der Lagrange-Gitterpunkte am Ende der Disassembly-Rechnung für einen Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall) des GSB-1.

Tabellenwert = Δr (cm) $\cdot 10^2$, Maximalwert:
 $\Delta r_{\max} = 8,54$ cm bei (17,17). Indizes
 beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2 **	3 **	4 **	5 **	6 **	7 **	8 **	9 **	10 **	11 **	12 **	13 **	14 **	15 **	16 **	17 **	18 **	19 **	20 **	21 **
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
25*	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	3	3	3	0	0	0	0
24*	10	10	10	10	10	10	9	9	10	11	10	10	9	6	6	6	1	0	0	0
23*	80	80	79	78	76	74	71	71	77	78	75	73	57	44	32	22	9	0	0	0
22*	389	389	387	382	377	370	361	346	376	396	336	366	361	169	242	243	23	3	0	0
21*	398	356	392	388	393	377	370	360	388	404	361	385	370	308	375	364	113	1	0	0
20*	440	438	436	431	427	420	411	388	406	437	380	396	407	278	341	324	81	6	0	0
19*	168	170	173	180	189	175	160	167	187	180	170	198	184	215	256	159	50	6	0	0
18*	184	184	183	182	181	177	177	159	166	215	183	168	186	115	158	175	36	1	0	0
17*	2	6	14	21	24	24	24	20	20	25	9	9	14	-22	-16	-7	-10	3	0	0
16*	-117	-120	-129	-136	-138	-137	-140	-124	-125	-181	-148	-120	-138	-78	-156	-171	-18	-6	0	0
15*	-289	-291	-292	-295	-303	-285	-267	-261	-265	-275	-255	-264	-264	-238	-279	-230	-62	-3	0	0
14*	-383	-383	-382	-379	-373	-367	-360	-342	-379	-405	-339	-377	-380	-274	-319	-276	-75	-5	0	0
13*	-376	-374	-371	-368	-364	-358	-350	-341	-371	-387	-345	-370	-354	-248	-308	-295	-74	-4	0	0
12*	-429	-427	-424	-420	-416	-409	-401	-382	-413	-437	-371	-404	-398	-241	-321	-327	-68	-1	0	0
11*	-96	-95	-94	-93	-91	-88	-85	-84	-91	-92	-88	-85	-72	-60	-47	-34	-13	-1	0	0
10*	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-10	-10	-11	-12	-11	-11	-10	-6	-6	-5	-1	0	0	0
9*	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-5	-5	-4	-5	-5	-3	-3	-3	-1	0	0	0
8*	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0
7*	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C2 Axiale Verschiebung der Lagrange-Gitterpunkte am Ende der Disassembly-Rechnung für einen Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall) des GSB-1.

Tabellenwert = Δz (cm) $\cdot 10^2$, Maximalwert:
 $\Delta z_{\max} = 4,395$ cm bei (2,20). Indizes
beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2 **	3 **	4 **	5 **	6 **	7 **	8 **	9 **	10 **	11 **	12 **	13 **	14 **	15 **	16 **	17 **	18 **	19 **	20 **	21 **
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	2	0	0	0	0	0
24*	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	3	3	-4	6	1	0	0	0
23*	0	0	1	1	1	1	2	-2	-4	2	1	1	12	4	8	3	11	0	0	0
22*	0	1	2	3	3	4	6	0	-25	14	17	-25	59	49	-69	110	32	3	0	0
21*	0	2	4	6	6	8	11	4	-57	32	39	-71	120	76-160	240	103	8	0	0	0
20*	0	4	5	9	9	13	18	13	-87	42	69-111	180	-57	-86	336	187	15	0	0	0
19*	0	4	4	7	8	25	17	13-101	52	72-127	196-173	7	312	322	24	0	0	0	0	0
18*	0	3	4	5	6	36	13	17-113	49	76-128	193-110	-41	237	453	29	0	0	0	0	0
17*	0	1	2	4	7	41	11	35-138	41	112-155	208	-69-100	389	319	68	0	0	0	0	0
16*	0	1	2	4	7	40	14	29-133	54	97-152	215	-91	-60	466	206	67	0	0	0	0
15*	0	3	4	7	9	26	18	17-119	66	70-138	209-150	13	387	235	24	0	0	0	0	0
14*	0	4	4	7	10	12	17	10	-97	54	60-115	181	-30	-79	327	181	17	0	0	0
13*	0	3	4	4	7	9	12	7	-64	34	44	-77	127	71-157	241	123	8	0	0	0
12*	0	2	2	3	4	5	7	2	-28	16	20	-29	60	32	-57	104	56	3	0	0
11*	0	0	1	1	1	1	2	-2	-5	3	1	1	10	4	6	8	12	1	0	0
10*	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	-1	3	3	-3	6	2	0	0	0
9*	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	1	1	-2	2	1	0	0	0
8*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C3 Radiale Geschwindigkeit der
Lagrange-Gitterpunkte am Ende der
Disassembly-Rechnung für einen Abschalt-
stabauswurfstörfall (Basisfall) des
GSB-1.

Tabellenwert = u (m/s) \cdot 10, Maximalwert:
 $u_{\max} = 46,6$ m/s bei (17,16). Indizes
beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25*	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	2	3	3	0	0	0
24*	12	12	12	12	12	11	11	11	12	12	12	11	9	6	6	5	1	0	0
23*	80	80	79	78	77	75	72	72	78	80	76	75	63	49	37	28	12	0	0
22*	238	238	237	235	231	228	223	213	233	246	207	231	233	116	175	182	27	5	0
21*	266	264	262	259	256	252	247	239	261	274	241	262	256	201	255	251	79	2	0
20*	285	284	282	280	277	273	267	246	261	290	240	256	279	303	370	214	59	8	0
19*	114	114	117	121	128	118	108	115	130	125	118	140	144	103	92	233	122	7	0
18*	117	117	116	116	116	113	113	98	103	142	114	106	132	68	89	124	50	3	1
17*	1	3	8	12	14	14	14	8	8	15	-2	-2	-5	-40	-33-186	-58	69	-1	
16*	-77	-79	-84	-88	-90	-89	-91	-76	-78-121	-88	-71	-92	-10	-48-111	-73	-74	1		
15*	-188-189-190-193-199-187-174-167-173-183-165-174-190-135-140-162	-48	-5	-1															
14*	-252-251-251-249-245-242-237-220-249-273-219-250-263-282-338-191	-56	-7	0															
13*	-251-249-247-245-243-239-234-227-251-263-232-254-251-173-217-211	-57	-6	0															
12*	-259-258-256-254-251-248-243-230-251-267-224-249-249-149-213-224	-49	-2	0															
11*	-92	-92	-91	-90	-88	-86	-83	-82	-89	-91	-86	-85	-75	-62	-53	-42	-17	-1	0
10*	-15	-15	-14	-14	-14	-13	-13	-13	-14	-15	-14	-13	-11	-8	-6	-5	-1	0	0
9*	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-4	-4	-4	-4	-4	-2	-3	-3	-1	0	0
8*	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
7*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C4 Axiale Geschwindigkeit der
Lagrange-Gitterpunkte am Ende der
Disassembly-Rechnung für einen Abschalt-
stabauswurfstörfall (Basisfall) des
GSB-1.

Tabellenwert = v (m/s) \cdot 10, Maximalwert:
 $v_{\max} = 36,99$ m/s bei (16,20). Indizes
beziehen sich auf KADIS-Gitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24*	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23*	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0
22*	5	5	5	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	3	4	3	1	0	0
21*	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8	5	7	5	1	0	0
20*	11	11	11	11	11	11	11	10	12	11	10	12	10	5	11	6	5	0	0
19*	13	13	13	13	13	12	12	12	13	12	12	14	15	6	12	126	6	0	0
18*	14	14	14	14	14	14	13	13	15	14	14	15	14	6	14	191	6	1	0
17*	14	14	14	14	14	14	13	13	15	14	14	15	13	7	14	9	0	0	0
16*	14	14	14	13	13	13	13	13	14	13	13	14	14	6	12	9	3	1	0
15*	11	11	11	11	11	11	10	10	12	11	11	12	10	5	10	6	2	0	0
14*	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8	9	8	6	8	5	1	0	0
13*	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	3	1	0	0
12*	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	0	0	0
11*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C5 Gesamtdruck in den Lagrange-Zellen
am Ende der Disassembly-Rechnung für einen
Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall)
des GSB-1.

Tabellenwert = $P(b) \cdot 10^{-1}$, Maximalwert:
 $P_{\max} = 1910$ b bei (17,17). Indizes
beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
32*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23*	34	33	33	32	30	29	29	31	32	34	33	23	20	11	4	1	1	0	0
22*	183	183	181	177	173	169	161	171	190	177	175	180	136	126	75	95	7	0	0
21*	4	4	4	4	4	3	6	28	0	6	59	0	51	235	0	241	62	0	0
20*	2	2	2	3	2	2	2	37	0	0	92	0	200	216	0	222	107	1	0
19*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	87	0	140	0	0	96	484	2	0
18*	0	0	0	0	0	1	0	58	0	0	165	0	523	0	0	0	611	3	0
17*	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	190	0	267	0	0	0	592	60	0
16*	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	138	0	234	1	0	171	0	0	0
15*	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	180	0	394	0	0	308	323	58	0
14*	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	122	0	171	0	0	176	203	2	0
13*	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	94	0	174	231	0	169	120	1	0
12*	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	44	0	24	151	0	133	56	0	0
11*	202	200	199	196	193	189	179	188	211	196	193	198	161	152	129	122	20	0	0
10*	44	43	42	41	40	37	37	40	42	43	42	33	29	21	8	4	2	0	0
9*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. C6 Pseudoviskoser Druck in den Lagrange-Zellen am Ende der Disassembly-Rechnung für einen Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall) des GSB-1.

Tabellenwert = $Q(b) \cdot 10$, Maximalwert:
 $Q_{\max} = 61,1$ b bei (18,18). Indizes
 beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
32*	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	427	704	704	704
31*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	704	704	704
30*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	704	704	704
29*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	704	704	704
28*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	703	703	703
27*	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	703	703	703
26*	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	423	422	422	423	421	422	702	702	702
25*	422	422	422	422	422	422	422	423	421	422	423	420	422	424	417	422	702	701	701
24*	462	462	461	460	455	458	458	460	458	460	459	449	447	440	428	426	707	701	701
23*	706	705	702	696	690	683	671	690	686	676	685	647	592	605	484	565	717	702	700
22*	422	421	420	422	421	422	427	462	389	421	497	352	473	775	300	760	790	700	700
21*	439	441	440	443	441	440	439	503	375	414	565	313	449	810	190	705	808	705	699
20*	305	308	310	315	311	315	318	399	265	300	488	218	415	779	154	662	879	706	699
19*	422	423	419	415	400	432	416	526	343	401	649	262	528	652	161	803	936	707	699
18*	336	339	342	344	329	361	339	479	275	301	591	212	495	633	129	801	949	711	699
17*	315	308	299	293	277	304	285	421	227	250	550	185	462	651	111	796	958	703	698
16*	339	341	343	342	332	361	348	475	286	342	601	219	478	646	151	768	927	710	699
15*	368	372	373	377	374	375	373	471	290	351	560	236	467	742	175	686	891	705	699
14*	418	423	423	422	422	420	422	500	361	408	561	305	481	781	204	653	832	704	699
13*	389	391	391	391	391	391	396	436	359	391	470	325	432	588	251	560	773	702	699
12*	745	743	739	735	729	720	707	728	722	711	724	680	645	651	570	596	747	700	700
11*	471	471	470	469	468	466	466	468	467	469	467	458	456	449	435	432	708	700	700
10*	424	424	424	423	423	423	423	424	423	423	424	421	422	424	416	422	701	700	701
9*	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	422	421	422	422	420	421	701	701	701
8*	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	421	701	702	702
7*	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	702	702	702
6*	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	702	703	703
5*	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	425	702	703	703
4*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	703	703	703
3*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	703	703	703
2*	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	426	703	703	703

Tab. C7 Gesamtdichte in den Lagrange-Zellen am Ende der Disassembly-Rechnung für einen Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall) des GSB-I.

Tabellenwert = ρ (g/cm³) · 10², Maximalwert: ρ_{\max} = 9,58 g/cm³ bei (18,16).

Indizes beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
32*		57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	56	56	56	
31*		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	59	59	59	58	57	57
30*		65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	64	64	63	61	60	59	
29*		76	76	76	76	76	76	76	76	76	75	75	74	74	73	72	67	65	64	
28*		97	97	97	97	97	96	96	96	96	95	95	94	93	92	90	79	75	74	
27*		307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	91	85	83	
26*		328	327	327	327	326	325	324	323	328	325	320	327	316	307	323	307	108	100	96
25*		370	370	370	370	369	369	368	367	373	370	364	373	360	343	368	340	124	113	108
24*		389	389	389	388	388	387	387	386	392	389	384	392	381	365	389	363	140	126	120
23*		405	405	405	405	404	404	403	402	408	405	400	410	397	379	406	377	153	137	131
22*		499	499	499	498	497	495	493	502	498	489	502	483	395	495	391	166	147	140	
21*		526	525	525	524	524	523	521	520	528	524	516	529	510	484	522	481	176	155	148
20*		545	545	545	544	543	542	541	539	547	544	535	547	530	503	541	499	184	162	154
19*		552	552	552	552	551	549	548	546	555	550	542	555	537	509	548	505	190	166	158
18*		558	558	558	558	557	555	554	552	561	558	549	561	543	515	555	511	194	169	160
17*		558	558	558	558	558	555	555	552	561	558	549	561	543	516	555	513	195	169	161
16*		555	555	555	555	554	552	551	549	558	553	545	558	540	513	549	509	195	169	160
15*		545	544	544	543	543	542	540	539	548	543	535	549	529	503	539	499	193	167	158
14*		527	527	527	526	525	524	523	521	530	526	518	531	512	487	524	483	188	162	154
13*		504	503	503	502	502	501	499	498	506	502	494	506	489	465	500	461	182	156	149
12*		410	410	409	409	408	407	406	404	412	408	400	412	396	379	406	377	173	148	141
11*		389	389	389	388	388	387	386	385	392	388	384	392	381	365	389	363	162	138	132
10*		370	370	370	370	369	369	368	367	372	370	366	373	362	349	370	347	148	127	122
9*		342	342	342	342	341	340	339	338	343	340	335	342	331	316	338	314	134	114	110
8*		307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	307	117	101	98
7*		128	128	128	127	127	127	127	127	127	127	126	126	125	123	123	120	106	92	90
6*		107	107	107	107	107	107	107	107	107	106	106	106	105	104	104	103	95	82	81
5*		96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	95	95	95	94	89	77	77
4*		91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	90	90	90	86	75	74
3*		88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	85	73	73
2*																				

Tab. C8 Brennstofftemperatur in den Lagrange-Zellen am Ende der Disassembly-Rechnung für einen Abschaltstabauswurfstörfall (Basisfall) des GSB-1.

Tabellenwert = $T(k) \cdot 10^{-1}$, Maximalwert:
 $T_{\max} = 5611$ K bei (10,17). Indizes beziehen sich auf KADIS-Rechengitter.

Referenzen:

- 1950 J. von Neumann und R.D. Richtmyer
A Method for the Numerical Calculation of Hydrodynamic Shocks, J.Appl.Phys. 21(3), 232 (1950)
- 1956 H.A. Bethe and J.H. Tait
An Estimate of the Order of Magnitude of the Explosion When the Core of a Fast Reactor Collapses,
UKAEA - RHM (56)/113 (1956)
- 1959 O.A. Hougen, K.M. Watson and R.A. Ragatz
Chemical Process Principles, Part II Thermodynamics,
2nd Edition, New York (1959)
- 1960 J.J. Kaganove
Numerical Solution of the One-group Space-independent Reactor Kinetics Equations for Neutron Density Given the Excess Reactivity, ANL-6132 (1960)
- 1965 G.R. Keepin
Physics of Nuclear Kinetics, Reading (Massachusetts) 1965
- 1966 a D.C. Menzies
The Equation of State of Uranium Dioxide at High Temperatures and Pressures, TRG Report-1119, UKAEA (1966)
- 1966b T.G. Godfrey, J.A. Woodley and J.M. Leitnaker
Thermodynamic Functions of Nuclear Material:
UC, UC₂, UO₂, ThO₂, and UN, ORNL-TM-1596
(Rev) Dec. 1966
- 1967 F.L. Oetting
The Chemical Thermodynamic Properties of Pu Compounds, Chem. Rev., 67, 261-97 (1967)

- 1968a R.L. Gibby
The Thermal Diffusivity and Thermal Conductivity of Stoichiometric $(U_{0.8} P_{0.2}) O_{2.00}$, BNWL-704, May 1968
- 1968b R.A. Hein, P.N. Flagella and J.B. Conway
High-Temperature Enthalpy and Heat of Fusion of UO_2 , J. Am. Ceramics Soc., 51, 291 (1968)
- 1970a W.T. Sha and T.H. Hughes
VENUS: A Two-dimensional Coupled Neutronics-Hydrodynamics Computer Program for Fast-reactor Power Excursions, ANL-7701
- 1970b J.F. Jackson and W.E. Kastenberg
Space-Time Effects in Fast Reactor Dynamics, Nucl.Sci.Eng. 42, 278 (1970)
- 1970c Evaluation of Fast Critical Experiments Using Recent Methods and Data, compiled by E. Kiefhaber and J.J. Schmidt, KFK-969, 1970
- 1971a G. Fieg
Messung der Spektren verzögerter Spaltneutronen von U-235, U-238 and Pu-239 mit Protonenrückstoß-Proportionalitätszählrohren, KFK-Ext. 4/71-31
- 1971b H.P. Tschirky
A Gas-Cooled Fast Reactor Core Model for the Analysis of Severe Accidents with Applicability to LMFBRs, Nucl. Eng. Design 16, 358 (1971)
- 1971c F.E. Dunn et al.
The SAS2A LMFBR Accident Analysis Code, Proceedings Conf. Reactor Math. and Appl. Idaho Falls, March 1971

- 1971d A. Birkhofer et al.
Reactor Safety in the Federal Republic of Germany,
A/CONF 49/P/364, April 1971
- 1972a J.E. Boudreau
Autocatalysis During Fast Reactor Disassembly, Ph.D.thesis,
UCLA, Los Angeles, Cal. (1972)
- 1972b J.F. Jackson and R.B. Nicholson
VENUS-II: An LMFBR Disassembly Program, ANL-7951 (1972)
- 1973a J.E. Boudreau and R.C. Erdmann
An Autocatalysis During Fast Reactor Disassembly
Nucl.Sci.Eng., 51, 206 (1973)
- 1973b K. Wirtz
Lectures on Fast Reactors, S.64-82,
Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe 1973
- 1973c 1000 MWe - Gasgekühlter Schneller Brüter -
Referenz- und Sicherheitsstudie, Jahresbericht 1972,
Siemens TB-1/73-RT92, Erlangen 1973
- 1973d P. Schmuck, G. Arnecke, R. Fröhlich, G. Jacobs
Untersuchungen und Programmentwicklungen zu Disassembly-
Vorgängen in natriumgekühlten Schnellen Reaktoren in
4.PSB-Vierteljahresbericht 1972, KFK-1272/4 (1973)
- 1973e Progress in Fast Reactor Physics in the Federal Republic
of Germany, compiled by H.Küsters, KFK-1632,
EACRP-U-46 (1973)
- 1974a G. Jacobs, M. Schatz
Some Preliminary Analyses of a Hypothetical Rod Ejection
Accident for a 1000 MWe GCFR, NEA-GCFR Safety Specialist
Meeting, Karlsruhe Febr. 1974
- 1974b 1000 MWe - Gasgekühlter Schneller Brüter
Referenz- und Sicherheitsstudie, Jahresbericht 1973,
herausgegeben von Kraftwerk Union, Erlangen 1974

- 1974c D. Struwe
CAPRI - A Computer Code for the Analysis of Hypothetical
Core Disruptive Accidents in the Predisassembly-Phase
ANS Topical Conf. on Fast Reactor Safety, April 1974
- 1974d E. Eisemann
Neutron Streaming in GCFR - Lattices: Theory and Results,
Conf. on Advanced Reactors; Physics, Design and Economics,
Sept. 1974, Atlanta, Georgia
- 1974e H.G. Bogensberger, E.A. Fischer and P. Schmuck
On the Equation of State of Mixed Oxide Fuel for the
Analysis of Fast Reactor Disassembly Accidents,
ANS Topical Meeting on Fast Reactor Safety, Los Angeles 1974
- 1974f R. Düsing u.a.
Untersuchungen schwerer hypothetischer Störfälle für den
Kern Mark Ia des SNR 300
PSB-Vierteljahresbericht 2/74, KFK 1274/2
- 1975a G. Jacobs
Disassembly-Rechnungen zur Analyse hypothetischer Un-
fälle des 1000 MW(e) Helium gekühlten Schnellen Brut-
reaktors GSB, in 4. PSB-Vierteljahresbericht 1974,
KFK 1274/4
- 1975b P.B. Bleiweis, W.E. Kastenbergh and D. Okrent
Computational Models for the Study of Azimuthally
Dependent Disassembly of Liquid-Metal Fast Breeder
Reactors, Nucl.Sci.Eng. 56(2), 152 (1975)
- 1975c M. Bober, W. Breitung, H.U. Karow, K. Schretzmann
Dampfdruck über Oxidbrennstoff unter Störfallbedingungen
(3000 5000 K), Atomwirtschaft Bd. 20 (1975) S. 175