

KERNFORSCHUNGSZENTRUM

KARLSRUHE

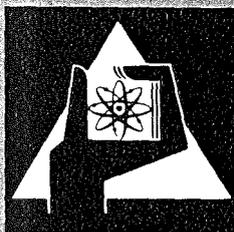
November 1977

KFK 2497

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Projekt Schneller Brüter

**KADIS: ein Computerprogramm zur Analyse der
Kernzerlegungsphase bei hypothetischen
Störfällen in schnellen, natriumgekühlten
Brutreaktoren**

P. Schmuck, G. Jacobs, G. Arnecke



**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 2497

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Projekt Schneller Brüter

KADIS: ein Computerprogramm
zur Analyse der Kernzerlegungsphase
bei hypothetischen Störfällen in
schnellen, natriumgekühlten Brutreaktoren.

P. Schmuck, G. Jacobs, G. Arnecke

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe

Zusammenfassung

Der Verlauf einer Kernzerlegungsphase, die bei heftigen Exkursionen in schnellen, natriumgekühlten Brutreaktoren modelliert werden muß, kann mit dem in diesem Bericht dargestellten Programm KADIS verfolgt werden. KADIS beruht auf einem 0-dimensionalen neutronenkinetischen Modell (Punktkinetik) und auf einer 2-dimensionalen hydrodynamischen Modellierung des Reaktorkerns. Der Kern wird als ideales, kompressibles Fluid dargestellt, welches während der Exkursion adiabatisch aufgeheizt wird. Die Grundzüge von KADIS entsprechen dabei dem VENUS Programm des Argonne National Laboratory. Dieses Grundmodell wurde wesentlich erweitert. Dieser Bericht gibt daher zuerst eine vollständige Beschreibung der verwendeten Modelle. Sodann wird die Ein/Ausgabe von KADIS ausführlich kommentiert dargestellt. Dabei wird besonders auf die Gesichtspunkte, die für den Benutzer des Programms von Bedeutung sind, näher eingegangen.

KADIS: A Program to Analyse the Disassembly Phase of Hypothetical Accidents in LMFBRs

Abstract:

The program KADIS models the disassembly phase during power excursions in LMFBR hypothetical accidents. KADIS is based on point kinetics in the neutronics part and on a 2-dimensional representation of the reactor core in the hydrodynamics part. The core is modeled as an ideal, compressible fluid which is heated up adiabatically during the excursion. KADIS was built up with the help of the VENUS program of Argonne National Laboratory. Several important features were added to the basic VENUS model. Therefore we give first a complete description of the mathematical models used. Secondly we provide the user with the necessary information to handle the input/output of KADIS.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Physikalisches Modell und mathematische Lösungsmethoden	3
2.1 Übersicht	3
2.2 Leistungsberechnung	8
2.2.1 Modellannahmen	8
2.2.2 Numerik	10
2.2.3 Zeitschrittkontrolle	11
2.3 Energiebilanzen und Temperaturbestimmung für Brennstoff und Natrium; Wärmeübertragung an das Natrium bei Brennstoff- Natrium-Reaktionen	13
2.3.1 Modellvorstellungen	13
2.3.2 Energiebilanz und Temperaturberechnung, wenn keine thermische Wechselwirkung mit Natrium stattfindet	14
2.3.3 Wärmeübertragung an das Natrium bei Brennstoff- Natrium-Reaktionen (BNR)	16
2.4 Der Druckaufbau im Reaktorkern während einer Exkursion	23
2.4.1 Druckaufbau im frischen Kern	23
2.4.2 Die ANL-Zustandsgleichung	26
2.4.3 Druckaufbau beim Modellieren von Brennstoff-Natrium- Reaktionen	32
2.4.4 Der Dampfdruck des Mischoxids	35
2.4.5 Der Druckaufbau durch Spaltprodukte	39
2.5 Hydrodynamik; Modellierung von Struktureffekten	48
2.5.1 Formulierung der Bewegungsgleichungen	48
2.5.2 Simulation von Struktureffekten	52
2.6 Reaktivitätsrückwirkungen	54
2.6.1 Doppler-Rückwirkung δR_D	54
2.6.2 Materialbewegungsrückwirkung	56
2.6.3 Normierung zum Zeitpunkt $t = 0$	57
2.7 Zeitdiskretisierung	59

	Seite
2.8 Auswertung von Disassemblyergebnissen	64
2.8.1 Berechnung der Energie im geschmolzenen Brennstoff	64
2.8.2 Konversion der thermischen Energie in mechanische Arbeit	
Berechnung der Menge verdampften Brennstoffs	66
2.8.3 Zusammenstellung der benötigten thermodynamischen Funktionen	73
2.9 Zusammenfassende Diskussion der Anwendbarkeit von KADIS	75
3. Ein/Ausgabe für das Programm KADIS	77
3.1 Übersicht	77
3.1.1 Geometrie und Maschennetz	79
3.1.2 Leistungsverteilung	80
3.1.3 Materialwertkurven	81
3.1.4 Temperatur-Verteilungen	81
3.1.5 Leistungsniveau und Konzentration der Vorläufer	81
3.1.6 Anfangszeitpunkte und Zeitschritt-Steuerung	82
3.1.7 Behandlung der Blanket-Regionen	83
3.1.8 Zustandsgleichung für den abgebrannten Kern ("EOS8")	83
3.1.9 Berechnung der Temperatur des Brennstoffs bei Ver- wendung von Brennstoffdampfdrücken oder Spaltgasdrücken	84
3.1.10 Bedingungen für die Beendigung der Rechnung	85
3.2 Vollständige Spezifikation der Eingabe- und Steuerdaten	87
3.2.1 Programmeingabe	87
3.2.2 Programmsteuerung	112
3.2.3 Overlay-Struktur und Übersicht über die verwendeten Funktionen und Routinen	116
3.3 Ausgabebeschreibung	121
3.3.1 Minimale Drucker-Ausgabe	121
3.3.2 Steuerbare Drucker-Ausgabe	122
3.3.3 Grafische Ausgabe	123
3.3.4 Ausgabe für Tankbelastungsrechnungen	126
3.3.5 Fehlernachrichten, Warnungen	129
3.4 Vollständiges Anwendungsbeispiel:	152
Leistungsstörfall im frischen SNR 300 Mark IA Core	
Dokumentation der Ein/Ausgabe	
Zeichnungen	

3.5 Anforderungen an die Computer Hardware	Seite 213
Kernspeicherplatzbedarf	
Externe Dateien	
Laufzeiten	
4. Literatur	216

1. Einleitung

Hypothetische Störfälle, die zu einer nuklearen Exkursion und zu einer Zerstörung des Reaktorkern durch "Disassembly" führen, spielen gegenwärtig eine große Rolle in der Sicherheitsanalyse schneller, natriumgekühlter Brutreaktoren. Obwohl durch viele vorbeugende Maßnahmen (Core-Design und Core-Instrumentierung) das Eintreten von Leistungsexkursionen äußerst unwahrscheinlich ist, ist es doch wünschenswert, den Verlauf und die Konsequenzen solcher Exkursionen zu studieren.

Die Disassemblyanalysen selbst gehen auf die fundamentale Arbeit von Bethe und Tait /Bet56/ aus dem Jahre 1956 zurück. Sie modellierten eine "Kernzerlegung" als die Bewegung eines homogenen Fluids unter der Einwirkung von innerem Druck. Zahlreiche Vereinfachungen (z.B. eindimensionales Modell; Drücke, die unabhängig von der Dichte sind) erlaubten eine analytische Lösung und die Berechnung der Energiefreisetzung.

Eine Weiterentwicklung der Vorstellungen von Bethe und Tait führte zu den Programmen Mars /Hir67/ und Venus /Sha70/. Dieses sind Programme, die eine zweidimensionale hydrodynamische Behandlung mit einem nulldimensionalen Neutronik-Teil (Punktkinetik) verbinden. Reaktivitätsrückwirkungen durch Materialverschiebung und Materialaufheizung (Doppler-Effekt) werden berücksichtigt. In VENUS /Sha70/ werden zum erstenmal energie- und dichteabhängige Drücke (d.h. auch einphasige Drücke) berücksichtigt. VENUS wurde schließlich zu VENUS II /Jac72/ weiterentwickelt. Als wesentliche Verbesserungen sind die Berücksichtigung von Brennstoff-Natrium-Reaktionen, die Verwendung eines Modells zur Beschreibung des Druckaufbaus durch Spaltgase und erweiterten Ausgabeprogramme zu nennen.

Der Karlsruher Disassembly-Code KADIS ist eine Fortentwicklung des amerikanischen Programms VENUS. Sein gegenwärtiger Stand läßt sich mit VENUS II vergleichen. Allerdings sind größere Abweichungen in einzelnen Modellen vorhanden. Diese gehen zum Teil darauf zurück, daß KADIS sehr eng mit dem Karlsruher Predisassemblyprogramm CAPRI2 /Str74/ gekoppelt wurde. Dabei wurde versucht, eine möglichst konsistente Beschreibung für die Predisassembly- und die Disassemblyphase zu entwickeln.

In diesem Report werden in Kapitel 2 die physikalischen Grundlagen und die mathematische Behandlungsweise dargestellt. Kapitel 3 stellt eine ausführliche Benutzeranleitung dar. In diesem Kapitel ist als Anwendungsbeispiel eine Disassemblyrechnung für das SNR 300 Mark 1A Core dargestellt. Die Plotausgaben erlauben eine rasche Übersicht über die Charakteristiken einer Exkursion. Wichtige Hinweise über Speicherplatzbedarf und Rechenzeit auf der IBM 370/168 finden sich ebenfalls in diesem Kapitel.

2. Physikalisches Modell und mathematische Lösungsmethoden

In diesem Kapitel werden wir die physikalischen Modellvorstellungen und die mathematischen Formulierungen diskutieren, auf denen unser Exkursionsprogramm KADIS beruht. Wie schon in der Einleitung besprochen, stützt sich die KADIS-Entwicklung im wesentlichen auf die erste Version des ANL-Programms VENUS /Sha 70/. Es wurden wesentliche Erweiterungen an VENUS vorgenommen, die sowohl die verwendeten Modelle als auch die Implementierungen betreffen. Eine Darstellung, die alle Aspekte von KADIS geschlossen darstellt, erscheint uns deshalb sinnvoll.

2.1 Übersicht

KADIS erlaubt die rechnerische Verfolgung "schneller" nuklearer Exkursionen in einem natriumgekühlten Brutreaktor während der sogenannten Disassemblyphase. Der Ausgangszustand ist dabei ein stark aufgeheizter Reaktorkern, dessen globale Geometrie noch erhalten ist (d.h. es können z.B. schon Brennstäbe defekt sein, nicht aber ganze Brennelemente). Man kann mit KADIS keineswegs den gesamten Unfall verfolgen. Vielmehr benötigt man für die Einleitungsphase des Unfalls sowie für die Tankbelastungsphase, die auf die Disassemblyphase folgt, eigene Rechenprogramme, die eine dem Problem angemessene räumliche und zeitliche Auflösung haben. In der Einleitungsphase müssen die Brennstäbe mit dem sie umgebenden Natrium sowie die Strukturen mit ihren thermischen, hydraulischen und nuklearen Eigenschaften modelliert werden. CAPRI-2 /Str 74/, SA2A /Dun 71/ sowie CARMEN 2 /Ren 73/ sind solche Programme, die den Reaktorkern mit Hilfe des Kühlkanalkonzeptes darstellen. KADIS übernimmt die Daten für die Disassemblyphase aus solchen Programmen. Eine besonders enge Kopplung wurde mit dem in Karlsruhe entwickelten Programm CAPRI-2 erreicht, das zusammen mit KADIS für viele Routineuntersuchungen /Frö 76/ eingesetzt wurde. Die von KADIS beschriebene kompressible Bewegung des gesamten Reaktorkerns bezeichnet man auch als Disassembly. KADIS arbeitet dabei in strikter Zylindergeometrie, nur durch geeignete und gelegentlich

trickreiche Homogenisierung lassen sich azimutale Effekte miterfassen. Für viele Reaktorkerne ist dies in ausreichender Näherung möglich, für die neuerdings zur Untersuchung ausstehenden heterogenen Kerne wird dies nicht immer voll befriedigen.

KADIS arbeitet in Lagrange-Koordinaten, auf die hier wegen ihrer grundsätzlichen Bedeutung kurz eingegangen wird. Dabei soll auch die in Kapitel 2 gebrauchte Nomenklatur für die Geometrie dargestellt werden. In Abb. 2.1-1 ist ein Längsschnitt durch einen Reaktorkern dargestellt. Wir können ein Volumenelement des (homogenisierten) Fluids im unverformten Zustand durch seine Abmessungen Δr und Δz und durch die Lage seines linken unteren Eckpunktes charakterisieren.

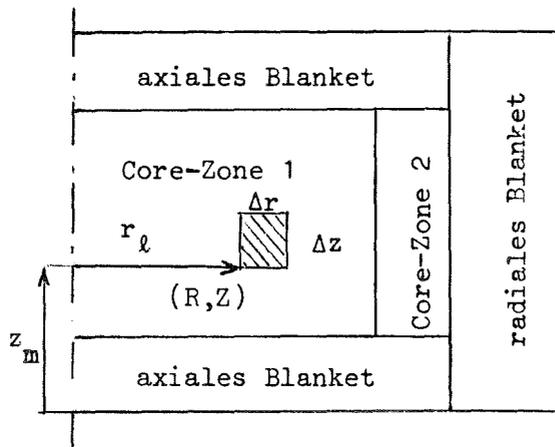


Abb. 2.1-1: Lagrange Koordinaten zur Darstellung des Reaktorkerns

Die Werte der Lagrange-Koordinaten (R, Z) sind durch die Distanzen (r_ℓ, z_m) im unverformten Kern gegeben. Statt (R, Z) werden wir auch oft nur (ℓ, m) schreiben: Dies genügt ja, um in dem verwendeten diskreten Maschennetz einen Punkt zu charakterisieren. Während des Disassemblyvorgangs wird sich die Lage der Eckpunkte verschieben, d.h. die Volumenelemente werden sich verformen. Dabei bleiben die Werte der Lagrange-Koordinaten sowie die Inhalte

(d.h. die Mengen an Brennstoff, Natrium und Stahl) für jedes Element über den gesamten Zeitraum erhalten. Die Lage des Mascheneckpunktes (ℓ, m) kann durch

$$r_{\ell, m} = r(R, Z, t)$$

$$z_{\ell, m} = z(R, Z, t)$$

dargestellt werden, d.h. in der Lagrange-Darstellung berechnet man die gesamte Bahnkurve von Fluidelementen.

Der Ablauf des in KADIS modellierten physikalischen Bilds einer Exkursion soll durch Abb. 2.1-2 verdeutlicht werden.

Der Kern erreicht die starke Aufheizung durch Zufuhr von Reaktivität (diese Zufuhr kann verschiedene physikalische Ursachen haben, z.B. Brennstoff-Slumpen, Natrium-Ejektion durch Natriumsieden oder Brennstoff-Natrium-Reaktionen). Diese Reaktivitätsfunktion wird während der KADIS-Rechnung vorgegeben und bildet die treibende Kraft für den Disassembly-Vorgang. Mit Hilfe der Neutronen-Kinetik, die hier in "0"-dimensionaler Näherung als Punktkinetik modelliert ist, berechnet man für einen vorgegebenen Zeitschritt Δt das Anwachsen der Leistung und damit den Energiezuwachs. Mit Hilfe einer Verteilungsfunktion wird jeder Masche des Kerns ein gewisser Teil des gesamten Energiezuwachses zugeteilt. Durch diese unterschiedliche Energiezuteilung kommt es zum Aufbau von Temperatur und Druckgradienten, selbst wenn zu Beginn der Brennstoff in jeder Masche des Reaktors die gleiche Temperatur hatte. Die Temperaturerhöhungen führen über den Dopplereffekt zu einer negativen Reaktivitätsrückwirkung. Die Druckgradienten haben eine Verschiebung des Kernmaterials zur Folge und führen normalerweise zu negativen Reaktivitätsrückwirkungen. Bei ungünstiger Materialverteilung kann es allerdings auch zu

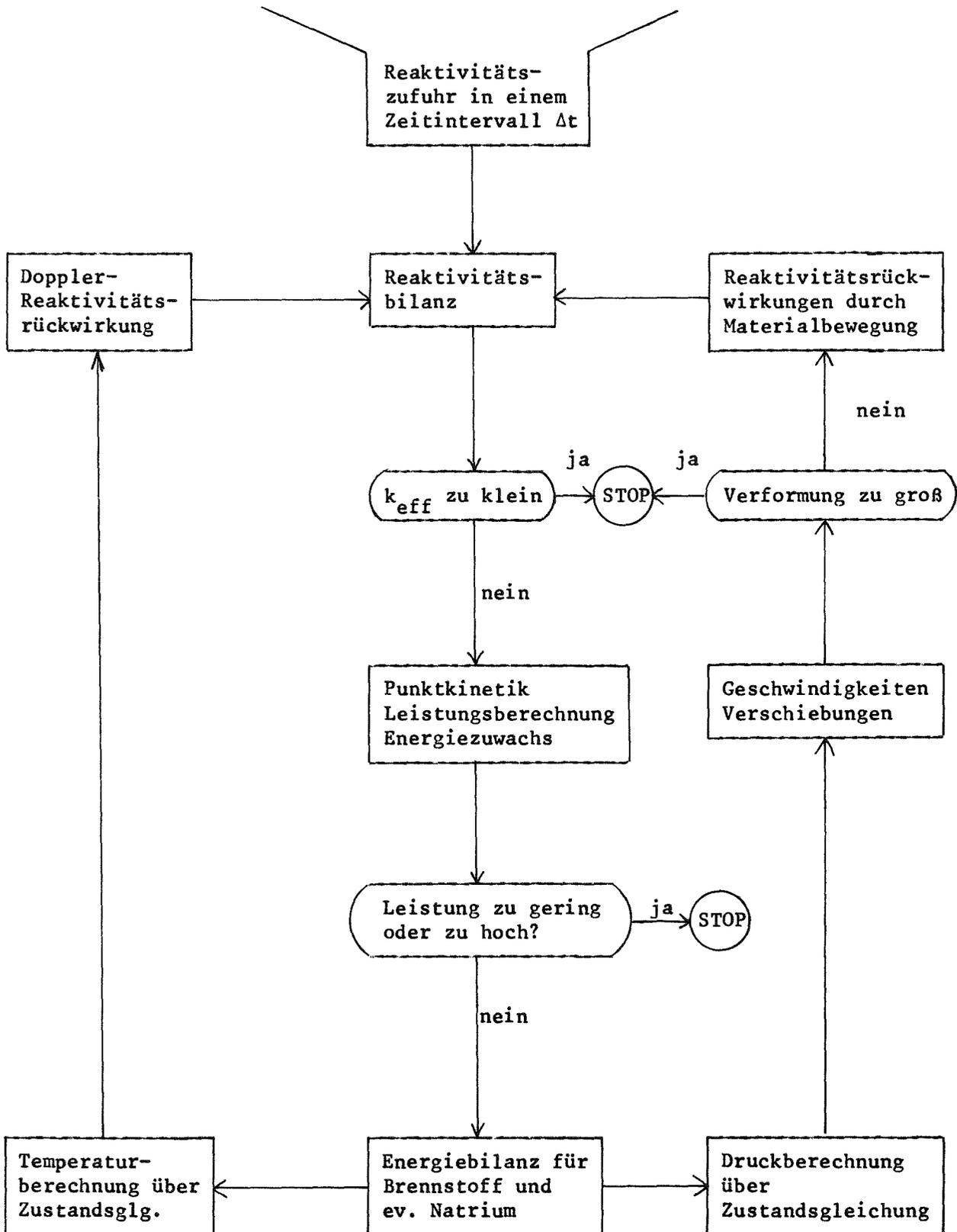


Abb. 2.1-2: Schematische Darstellung des Ablaufs einer KADIS-Rechnung

Kompaktionen kommen, die mit einer positiven Reaktivitätsrückwirkung verknüpft sind. Am Ende eines Zeitschrittes wird wieder eine Reaktivitätsbilanz durchgeführt. Mit einer Vorausschätzung über den Verlauf der Reaktivitätsrückwirkungen tritt man schließlich in den nächsten hydrodynamischen Zyklus ein.

Das Eintreten folgender physikalischer Ereignisse führt zu einer Beendigung der Disassembly-Rechnung (wobei Schwellwerte vorgegeben werden können):

- Unterkritikalität
(k_{eff} zu klein)
- Leistung zu klein (zu groß)
- Kerndeformation zu groß.

Gewöhnlich wählt man das Leistungskriterium: Wenn der Leistungspeak einer Exkursion wesentlich höher ist als der erreichte Endwert, hat man die Energetik einer Exkursion ausreichend genau erfaßt.

2.2 Leistungsberechnung

2.2.1 Modellannahmen

Es wird angenommen, daß sich in der Disassemblyphase die orts- und zeitabhängige Leistungsdichtefunktion $L(R,Z,t)$ als Produkt einer nur ortsabhängigen Leistungsform $H(R,Z)$ und einer nur zeitabhängigen Leistungsamplitude $n(t)$ darstellen läßt:

$$L(R,Z,t) = H(R,Z) \cdot n(t) \quad (2.2-1)$$

$H(R,Z)$ ist als Leistungsdichteverteilung vorzugeben. $H(R,Z)$ wird von KADIS vor Beginn der Rechnung auf

$$\int_{V_0} H(R,Z) dV = 1 \quad (V_0 \text{ Gesamtvolumen})$$

normiert, so daß $n(t)$ die Gesamtleistung darstellt. $n(t)$ wird, ausgehend von einer bekannten Anfangsleistung $n(0) = n^0$, durch numerische Integration der Standardgleichungen (2.2-2) und (2.2-3) der Punktkinetik mit maximal sechs Gruppen verzögerter Neutronen gewonnen:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{R(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum \lambda_i C_i(t) \quad (2.2-2)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i n(t)}{\Lambda} - \lambda_i C_i(t) \quad (2.2-3)$$

Hierin bedeutet:

t	[s]	Zeit vom Beginn der Disassemblyphase an
n(t)	[W]	Gesamtleistung
R(t)	[1]	Reaktivität
Λ	[s]	mittlere Neutronen-Generations-Dauer d. prompten Neutronen
β_i	[1]	Anteil der verzögerten Neutronen der i-ten Gruppe
$\beta = \sum \beta_i$		Gesamtanteil der verzögerten Neutronen
λ_i	[s ⁻¹]	Zerfallskonstanten der Mutterkerne verzögerter Neutronen der i-ten Gruppe
$C_i(t)$	[W]	Konzentration der Mutterkerne verzögerter Neutronen der i-ten Gruppe

Die Anfangskonzentrationen $C_i(0)$ der Mutterkerne sollten in einer Predisassemblyrechnung bestimmt worden sein. Liegen die Vorläuferkonzentrationen nicht vor, können eventuell die durch den stationären Zustand bestimmten Werte verwendet werden:

$$C_i(0) = \frac{\beta_i}{\lambda_i \Lambda} \cdot n^0 \quad (2.2-4)$$

berechnet werden.

Die Reaktivität $R(t)$ setzt sich additiv zusammen aus der programmierten Reaktivitätsfunktion und den negativen Reaktivitätsbeiträgen infolge Temperaturänderungen (Doppler-Rückwirkung) und Materialbewegungen, auf die im Abschnitt 2.6 näher eingegangen wird.

Die programmierte Reaktivitätsfunktion ist vorzugeben entweder als quadratische Funktion

$$\delta R(t) = R_0 + \begin{cases} At + Bt^2 & 0 \leq t \leq t_{\text{stop}} \\ At_{\text{stop}} + Bt_{\text{stop}}^2 & t > t_{\text{stop}} \end{cases} \quad (2.2-5)$$

mit der Anfangsreaktivität R_0 und den Parametern A, B und t_{stop} oder - das ist die andere Option - als Tabelle mit maximal 200 Stützstellen. Auf die wichtige Normierung von R_0 werden wir in Abschnitt 2.6 zurückkommen.

2.2.2 Numerik

Das verwendete numerische Verfahren zur Lösung der Punktkinetikgleichungen stammt von Kaganove /Kag60/. Im k-ten Zeitintervall $[t^k, t^{k+1}]$ wird $n(t)$ näherungsweise als quadratische Funktion

$$n(t^k + t') = n^k(t') = n_0^k + n_1^k t' + n_2^k t'^2 \quad (2.2-6)$$

$$(0 \leq t' \leq \Delta t^{k+1} = t^{k+1} - t^k)$$

approximiert. Hierin wird $n_0^k = n^k(0) = n^{k-1}(\Delta t^k)$ als bekannt aus dem vorigen Zeitintervall $[t^{k-1}, t^k]$ vorausgesetzt. Die Koeffizienten n_1^k und n_2^k werden aus den Punktkinetikgleichungen (2.2-2) und (2.2-3) wie folgt bestimmt. Durch Kombination beider Gleichungen und anschließender Integration über das k-te Zeitintervall erhält man

$$n^k(t') - n_0^k = \int_0^{t'} \frac{R(\tau)n^k(\tau)}{\Lambda} d\tau - \sum_i \left[C_i^k(t') - C_i^k(0) \right] \quad (2.2-7)$$

worin $C_i^k(t') = C_i(t^k+t')$ bedeutet.

Setzt man im zweiten Summanden auf der rechten Seite der letzten Gleichung die allgemeine Lösung von Gleichung (2.2-3) ein, erhält man

$$n^k(t') - n_0^k = \int_0^{t'} \frac{R(\tau)n^k(\tau)}{\Lambda} d\tau - \sum_i \frac{\beta_i}{\Lambda} \int_0^{t'} e^{-\lambda_i(t'-\tau)} n^k(\tau) d\tau + \sum_i C_i^k(0) (1 - e^{-\lambda_i t'}) \quad (2.2-8)$$

Die Bedingung, daß der quadratische Ansatz (2.2-6) von $n^k(t')$ der letzten Gleichung an zwei Stellen des Intervalls $[\bar{0}, \Delta t^{k+1}]$, nämlich für $t' = \Delta t^{k+1}$ und $t' = t^{k+1}/2$, genüge, führt auf zwei lineare Gleichungen mit den beiden Unbekannten n_1^k und n_2^k .

Für die Reaktivität $R(t)$ wird ebenfalls eine quadratische Approximation gemacht, so daß die Auswertung des ersten Integrals in Gleichung (2.2-8) keine Schwierigkeiten macht. Sind die Koeffizienten n_1^k und n_2^k berechnet, liefert die allgemeine Lösung von (2.2-3) die Vorläuferkonzentrationen C_i^{k+1} .

2.2.3 Zeitschrittkontrolle

Das Verfahren von Kaganove gestattet es, die Größe des Zeitschrittes Δt der Natur der Lösung anzupassen. Zu der nach dem oben beschriebenen Verfahren bestimmten Lösung

$$n^k(t') = n_0^k + n_1^k t' + n_2^k t'^2 \quad (2.2-9)$$

gewinnt man eine weitere Lösung

$$n^{*k}(t') = n_0^{*k} + n_1^{*k} t' + n_2^{*k} t'^2 \quad (2.2-10)$$

wenn man Gleichung (2.2-8) zusätzlich an der Stelle $t' = \Delta t^{k+1}/4$ auswertet. Die erste Lösung (2.2-9) stützt sich auf $t' = \Delta t^{k+1}/2$, Δt^{k+1} und die zweite Lösung (2.2-10) auf $t' = \Delta t^{k+1}/4$, $\Delta t^{k+1}/2$. Zum Vergleich der beiden Lösungen dient

die Zahl $E(\Delta t) = \left| \frac{n^k(\Delta t/2)}{n^{*k}(\Delta t/2)} - 1 \right|$. Je nach Lage von $E(\Delta t)$ zu einem vorge-

gebenen Fehlerintervall $[E_1, E_2]^*$ wird der augenblickliche Zeitschrittlänge korrigiert.

Der Zeitschritt Δt^{k+1} wird
beibehalten, wenn $E_1 \leq E(\Delta t) < E_2$,
halbiert, wenn $E_2 \leq E(\Delta t)$ und
verdoppelt, wenn $E(\Delta t) < E_1$.

Zu erwähnen ist noch, daß der Zeitschritt in der Punktkinetik kleiner ist als der Zeitschritt in der Hydrodynamik. Gestartet wird mit $1/64$ des hydrodynamischen Zeitschritts, so daß die oben beschriebene Kaganoveprozedur innerhalb eines hydrodynamischen Zeitintervalls mindestens 11mal durchlaufen werden muß.

*) Defaultwerte sind: $E_1 = 1 \cdot 10^{-6}$ $E_2 = 1 \cdot 10^{-5}$

2.3 Energiebilanzen und Temperaturbestimmung für Brennstoff und Natrium; Wärmeübertragung an das Natrium bei Brennstoff-Natrium-Reaktionen

2.3.1 Modellvorstellungen

In 2.2.1 wurde dargestellt, wie in punktkinetischer Näherung die Gesamtleistung berechnet und mit Hilfe der Leistungsverteilung auf den Brennstoff der einzelnen Maschen aufgeteilt wird. In diesem Abschnitt gehen wir näher auf die damit verbundene Erhöhung der inneren Energie des Brennstoffs und der Brennstofftemperatur ein. Wegen der kurzen Disassemblyzeiten (im "Normalfall" einige Millisekunden) werden die energetischen Betrachtungen primär adiabatisch durchgeführt. Die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Brennstoffs liefert hierfür eine zusätzliche Rechtfertigung. Wärmeübergänge von Brennstoff an Natrium und Stahl werden nur bei intensiver Vermischung eine Rolle spielen. Der heiße Brennstoff würde dann nach heutigen Vorstellungen fragmentieren und die entstehenden großen Oberflächen zu hohen Wärmeübergangsraten führen. Diese Möglichkeit wird bei dem in KADIS eingebrachten Brennstoff-Natrium-Reaktionsmodell erfaßt. Brennstoff-Stahl- und Natrium-Stahl-Wechselwirkungen sind dabei allerdings nicht berücksichtigt.

Für folgende Situationen - die lokal während der Exkursion auftreten - berechnet KADIS Energiewerte von Brennstoff und Natrium (Stahl wird dabei als isotherm angenommen):

- (1) Flüssiger (bzw. fester) Brennstoff und Brennstoffdampf sind im Volumen einer Masche im thermodynamischen Gleichgewicht.
Brennstoff, Natrium und Stahl sind nicht innig miteinander vermischt.
Es kommt zu keiner Fragmentierung des Brennstoffs und zu keiner Wärmeübertragung an Natrium und Stahl.

Es gilt

$$\frac{dQ_{\ell m}}{dt} = n(t) H_{\ell m} V_{\ell m}^0 \quad (2.3-2)$$

wobei die normierte Leistungsverteilung $H_{\ell m} [1/cm^3]$ und die Leistung $n(t) [\text{Watt}]$ bereits im Abschnitt 2.2.1 eingeführt wurden.

$V_{\ell m}^0 [cm^3]$ ist das Gesamtvolumen der Maschenzelle (ℓ, m)
zum Zeitpunkt $t = 0$

Die Normierung ist

$$\sum_{\ell, m} H_{\ell m} V_{\ell m}^0 = 1$$

und somit

$$n(t) = \sum_{\ell, m} \frac{dQ_{\ell m}}{dt} \quad (2.3-3)$$

In Gleichung (2.3-1) ist die Energiebilanz auf eine Masche bezogen; die in KADIS verwendete Form der Energiebilanz bezieht sich auf die Energie/Volumen einer Masche, wobei immer das aktuelle Volumen verwendet wird.

Integriert man zusätzlich die Gleichung (2.3-1) über einen hydrodynamischen Zyklus $[t^{n-1}, t^n]$, so bekommt man für den auf das aktuelle Volumen bezogenen Zuwachs der inneren Energie $\delta E_{\ell m}^n [J/cm^3]$:

$$\delta E_{\ell m}^n = \left(\frac{\delta q_{\ell m}^n}{\rho_{\ell m}^0} - P_{\ell m}^{n-1} \delta v_{\ell m}^n \cdot 10^{-7} \right) \rho_{\ell m}^n \quad (2.3-4)$$

Hierbei ist:

$$\delta q_{\ell m}^n = \int_{t^{n-1}}^{t^n} n(t) dt \quad [J] \quad \text{die im Intervall } [t^{n-1}, t^n] \text{ zugeführte}$$

nukleare Leistung

$$\rho_{\ell m}^n \quad [g/cm^3] \quad \text{Dichte des (homogenisierten) Materials}$$

zum Zeitpunkt t^n

$$\rho_{\ell m}^0 \quad [g/cm^3] \quad \text{Dichte des (homogenisierten) Materials}$$

zum Zeitpunkt 0

$$\delta v_{\ell m}^n \quad [cm^3/g] \quad \text{mittleres spezifisches Volumen des}$$

Materials in der Masche zum Zeitpunkt t^n

Die anderen Symbole wurden schon früher erklärt.

Mit Hilfe der Gleichung (2.3-4) kann nun der Zuwachs der inneren Energie für die Masche (ℓ, m) berechnet werden.

In der adiabatischen Näherung wird dieser gesamte Energiezuwachs in einem hydrodynamischen Zeitschritt dem Brennstoff der Masche zugeschlagen.

2.3.3 Wärmeübertragung an das Natrium bei Brennstoff-Natrium-Reaktionen (BNR)

Falls es zu einer innigen Durchmischung eines Teils des heißen Brennstoffs einer Masche mit dem Natrium kommt, muß selbst während der kurzen Disassembly-Zeit der Wärmeübergang an das viel kältere Natrium mitberücksichtigt werden. Die wesentlichen Vorstellungen, wie dieser Wärmeübergang vor sich geht, stammen von Cho und Wright /Cho 71/.

Die Modellannahmen wurden dann später von Caldarola verfeinert /Cal 72/ und von Fischer für den praktischen Gebrauch vereinfacht. Dieses Fischer-Caldarola-Modell für die BNR wird sowohl in der Einleitungsphase vom Predisassembly-Program CAPRI-2 als auch in der Disassemblyphase von KADIS verwendet. Für die Disassemblyphase wurde angestrebt, die BNR möglichst ähnlich wie in der Einleitungsphase zu modellieren. Die Modellierung des Wärmeübergangs kann dabei leichter den Verhältnissen in der Einleitungsphase angepaßt werden als die Modellierung des Druckaufbaus für die Hydrodynamik. Wir werden bei der Besprechung des Druckaufbaus (Abschnitt 2.4) noch einmal darauf zurückkommen.

Die detaillierten BNR-Größen (wie z.B. Partikelradius, Zeitpunkt für den "Mischungsprozeß", Brennstoff/Natrium-Massenverhältnis, Zeit seit Eintritt von BNR) sowie die Materialdaten (für Natrium und den wechselwirkenden Brennstoff) werden von CAPRI-2 übernommen und zur weiteren Berechnung der Wärmeübertragung vom Brennstoff an das Natrium verwendet.

Der Wärmeübergang selbst wird durch die folgenden Gleichungen beschrieben:

a) Berechnung der Natriumtemperaturen $T_{\ell,m}^{na}$

$$C_p^{na} \frac{dT_{\ell,m}^{na}}{dt_{\ell,m}} = (hA)_{\ell,m} (T_{\ell,m}^f - T_{\ell,m}^{na}) + 0.1 T_{\ell,m}^{na} v_{\ell,m}^{na} \alpha_p^{na} \frac{dP_{\ell,m}}{dt_{\ell,m}} \quad (2.3-5)$$

b) Berechnung der Brennstofftemperaturen $T_{\ell m}^f$

$$C_p^f W_{\ell m} \frac{dT_{\ell m}^f}{dt_{\ell m}} = - (hA)_{\ell m} (T_{\ell m}^f - T_{\ell m}^{na}) \quad (2.3-6)$$

Die verwendeten Größen haben dabei folgende Bedeutung:

(ℓm) ist der (RZ) Index der Lagrange Maschen, siehe Abschnitt (2.5)

C_p^{na} [J/gK] spez. Wärme des Natriums

C_p^f [J/gK] spez. Wärme des Brennstoffs

$T_{\ell m}^{na}$ [K] Temperatur des Natriums

$T_{\ell m}^f$ [K] Temperatur des mit Natrium wechselwirkenden Brennstoffs

$(hA)_{\ell m}$ [W/gK] Wärme-Übergangszahl $(hA)_{\ell m} = \frac{3k^f W_{\ell m}}{R_p^2 \rho^f} \left(1 + \sqrt{\frac{3\tau^f}{\pi t_{\ell m}}}\right) (1 - e^{-t_{\ell m}/t_m})$

k^f [W/cmK] Wärmeleitfähigkeit des Brennstoffs

R_p [cm] Brennstoffpartikelradius

ρ^f [g/cm³] Brennstoffdichte

τ^f [sec] = $R_p^2/3\alpha^f$ Zeitkonstante des Wärmeübergangs im Brennstoffpartikel

α^f [cm²/s] = $\frac{k^f}{C_p^f \rho^f}$ therm. Diffusivität des Brennstoffs

t_m [sec] Zeitkonstante für Mischung und Fragmentation

$v_{\ell m}^{na}$ [cm³/g] spez. Volumen des Natriums

α_p^{na} [1/K] therm. Ausdehnungskoeffizient des Natriums

$P_{\ell m}$	[bar]	Druck in der Masche (ℓm)
$W_{\ell m}$	[1]	Brennstoff/Na Massenverhältnis
$t_{\ell m}$	[sec]	Zeit seit BNR Beginn

Das BNR-Modell verwendet folgende thermodynamische Funktionen von Natrium /Gol 67/. T_{na} ist dabei die Temperatur des Natriums in K.

Spezifische Wärme von flüssigem Natrium:

$$c_p^{na} = c_p(T_{na}) = 1.6298 - 8.334 \cdot 10^{-4} T_{na} + 4.62729 \cdot 10^{-7} T_{na}^2 \quad [J/gK]$$

thermischer Ausdehnungskoeffizient von flüssigem Natrium:

$$\alpha_p^{na} = \alpha(T_{na}) = 0.21968 \cdot 10^{-3} + 0.81226 \cdot 10^{-7} T_{na} + 0.97135 \cdot 10^{-11} T_{na}^2 + 0.68998 \cdot 10^{-15} T_{na}^3 \quad [1/K]$$

Dampfdruck von Natrium:

$$P(T_{na}) = T_{na}^{-0.61344} \exp(15.397 - 12767.8/T_{na}) \quad [\text{bar}]$$

Die Temperaturen des Natriums $T_{\ell m}^{na}$ sowie des mit Natrium wechselwirkenden Brennstoffs $T_{\ell m}^f$ werden dabei lokal, d.h. maschenweise von CAPRI-2 übernommen. Außerdem werden das Brennstoff/Natrium-Massenverhältnis ($W_{\ell m}$) und die Zeit seit BNR-Beginn ($t_{\ell m}$) kanalweise angeliefert. Weitere globale Über-

gabewerte sind der Partikelradius des fragmentierten Brennstoffs (R_p) und die Mischungszeitkonstante (t_m). Sie werden für jede auch in der Disassemblyphase des Unfalls neu auftretende BNR verwendet.

Folgende physikalische Effekte der BNR werden durch die Gleichungen (2.3-5) und (2.3-6) erfaßt:

- Aufheizung des Natriums nach Initialisierung der BNR
- thermische Expansion des flüssigen Natriums
- die von Natrium durch Volumenausdehnung geleistete äußere Arbeit wird berücksichtigt, worauf der dP/dt -Term in Gl. (2.3-5) hinweist
- die Abkühlung des wechselwirkenden Brennstoffs wird durch Gl. (2.3-6) berechnet.

Die Gleichungen (2.3-5) und (2.3-6) werden in KADIS simultan mit den hydrodynamischen Gleichungen integriert. Wir werden darauf näher in Abschnitt 2.7 eingehen. In Gl. (2.3-5) ist auf der rechten Seite ein Arbeitsterm enthalten, der die Druckableitung dP/dt enthält und der gelegentlich auch oszillieren kann. Im allgemeinen ist aber dieser Term wesentlich kleiner als der erste, der die Temperaturdifferenzen enthält, und führt aus diesem Grunde zu keinen Oszillationen in der berechneten Natriumtemperatur.

In der Abschaltphase wird eine neue BNR initiiert, wenn die Brennstofftemperatur einer KADIS-Masche einen durch Eingabe spezifizierten Schwellwert überschreitet. Dieser Schwellwert ist so zu wählen, daß die BNR in der Predisassembly- und Disassemblyphase bei einem ähnlichen Energiezustand des Brennstoffs initialisiert wird.

Die Wärmeübertragung wird nicht nur durch die Wärmeübergangszahl (hA), sondern auch über den Voidanteil in einer Masche gesteuert. Dazu wird die mittlere Dichte des nicht-wechselwirkenden Brennstoffs (der in der Disassemblyphase weiter aufgeheizt wird) verwendet. Diese Steuerung über die Brennstoffdichte des nicht wechselwirkenden Brennstoffs wurde deshalb gewählt, weil im KADIS-Formalismus der Voidanteil nicht dem Natrium, sondern dem Brennstoffanteil der Masche zugeschlagen wird. Wenn nun die mittlere Brennstoffdichte unter 90 % der theoretischen Dichte sinkt, wird die Wärmeübertragung unterbrochen. Diese Maßnahme sichert, daß während der Disassemblyphase nicht zuviel Wärme an das Natrium übertragen und die Core-materialbewegung überschätzt wird. Das Kriterium beschreibt automatisch den mehrfachen Übergang vom ein- zum zweiphasigen Bereich und umgekehrt (ein Fall, der eintreten kann, wenn das Material einer Masche mehrfach von den Nachbarn zusammengedrückt wird und dann wieder expandiert).

Gewisse Phänomene, die mit der BNR zusammenhängen, werden sowohl in der Predisassembly- als auch in der Disassemblyphase nicht exakt behandelt bzw. vernachlässigt. Diese Phänomene sollen im folgenden aufgelistet und erläutert werden.

1. Rückwirkungen der Brennstoffabkühlung bei der BNR auf den Dopplereffekt ('fuel chilling') werden vernachlässigt. Für die Berechnung des Dopplereffektes wird nur die mittlere Temperatur des nicht wechselwirkenden Brennstoffs benutzt.
2. Ebenfalls vernachlässigt wird die Erwärmung der wechselwirkenden Brennstoffpartikel durch nukleare Spaltungen.

3. Die latente Wärme wird bei der Abkühlung des Brennstoffs nicht mitgenommen.

4. Für die Druckberechnung in KADIS wird immer die Temperatur des nicht wechselwirkenden Brennstoffs herangezogen. Die Temperaturen des wechselwirkenden Brennstoffs sind am Beginn der Disassemblyphase in den wichtigen Gebieten mit einphasigem Kühlmittel immer höher als die Temperaturen des nicht wechselwirkenden Brennstoffs. Eine Temperaturmittelung, die den wechselwirkenden Brennstoff berücksichtigt, würde daher zu höheren einphasigen Drücken in den wesentlichen ersten Millisekunden der Disassemblyphase führen.

Wie Rechnungen mit dem HOPE Code /Rum 74/ zeigen, kompensieren sich die unter 1 und 2 erwähnten Effekte weitgehend in Bezug auf die Dopplerrückwirkung, so daß das verwendete Verfahren nicht zu einer betragsmäßigen Überschätzung des Dopplereffekts führt. Die letzten beiden Vernachlässigungen führen in der Disassemblyphase zu einer Unterschätzung des Druckaufbaus und sind daher im Hinblick auf die Abschaltwirkung der BNR konservativ.

2.4 Der Druckaufbau im Reaktorkern während einer Exkursion

Bei einer prompt kritischen Reaktorexkursion wird der Brennstoff sehr rasch aufgeheizt, er schmilzt und entwickelt bei steigenden Temperaturen hohe Werte für die Dampfdrücke. Hohe einphasige Drücke werden dann entstehen, wenn kein freier Raum für die Dampfbildung zur Verfügung steht. Die Höhe dieser einphasigen Drücke hängt im wesentlichen von der Kompressibilität der Materialien einer Masche ab. So ist flüssiges Natrium wesentlich kompressibler als flüssiger Brennstoff oder flüssiger Stahl. Bei einer BNR, bei der das Natrium aufgeheizt wird, spielt der relativ große thermische Ausdehnungskoeffizient des Natriums eine wichtige Rolle. Hat man einen abgebrannten Reaktorkern zu untersuchen, so werden die bis zum Beginn der Disassemblyphase noch im Kern verbleibenden Spaltgase und Spaltprodukte einen wesentlichen Quellterm für den Druckaufbau darstellen.

Für den frischen wie den abgebrannten Kern stehen in KADIS Modelle für den Druckaufbau wie auch entsprechende Zustandsgleichungen zur Verfügung, die im folgenden näher diskutiert werden sollen.

2.4.1 Druckaufbau im frischen Kern

Zuerst soll auf die Zustandsgleichungen des Brennstoffs selbst eingegangen werden, bevor die Druckberechnung in einer hydrodynamischen Masche ausführlicher erklärt wird. Der thermodynamische Zustand von einphasigem, frischen Brennstoff kann durch die spezifische innere Energie U^f und durch die Dichte ρ^f charakterisiert werden. Der Druck wird dann aus der thermischen Zustandsgleichung

$$P = P(U^f, \rho^f) \quad (2.4-1)$$

die Temperatur aus der kalorischen Zustandsgleichung

$$T^f = T(U^f, \rho^f) \quad (2.4-2)$$

berechnet. Die primäre Variable, die in KADIS verwendet wird, ist die innere Energie pro Volumeneinheit, wie dies in Abschnitt 2.3 dargestellt wurde.

Der Zuwachs der spezifischen Energie $\delta U_{\ell m}^n$ errechnet sich durch (2.3-4)

für den Zyklus n:

$$\delta U_{\ell m}^n = \delta \tilde{E}_{\ell m}^n / \rho_{\ell m}^{f(n)} F_{\ell m}^{f(n)} \quad (2.4-3)$$

$\delta U_{\ell m}^n$ [J/g] Zuwachs an spezifischer innerer Brennstoff-
energie

$\rho_{\ell m}^{f(n)}$ [g/cm³] Dichte des Brennstoffs

$F_{\ell m}^{f(n)}$ [1] Volumenfraktion des Brennstoffs in der
Masche (ℓm)

Die Formulierung (2.4-3) sagt, daß der gesamte Zuwachs der inneren Energie einer Masche dem Brennstoff zugeteilt wird. (Durch diese Formulierung wird auch die mechanische Arbeit PdV - vgl. Gleichung (2.3-4) - dem Brennstoff zugeteilt!)

Kennt man die Dichte ρ^f und innere Energie U^f , so kann man aus (2.4-1) den Druck in einer Masche errechnen. Eine echte Dichteabhängigkeit in diesem Ausdruck ist allerdings nur dann gegeben, wenn man sich im einphasigen flüssigen (oder festen) Bereich bewegt. Falls genügend freier Raum zur Verfügung steht, ist der Druck nur von der spezifischen inneren Energie U^f abhängig: Man bewegt

sich in dem vorliegenden Modell (das thermisches Gleichgewicht voraussetzt zwischen flüssigem und verdampftem Brennstoff) dann nämlich auf der Gleichgewichts-Dampfdruck-Kurve. Befindet man sich im einphasigen Bereich, so hat man am Ende des Zyklus n (nachdem die Bestimmung der neuen Volumina der einzelnen Maschen durchgeführt wurde, vgl. auch Abschnitt 2.7) noch eine Iteration für die Volumensfraktionen und Dichten der einzelnen Komponenten bei festgehaltenem Volumen durchzuführen.

Dazu benötigen wir auch die Zustandsgleichungen für Stahl und Natrium. Da Natrium und Stahl in dampfförmigem Zustand vernachlässigt werden, benötigen wir nur Druck-Dichte-Relationen (mit adiabatischen Koeffizienten) für den flüssigen Zustand:

$$\rho_i^n = \rho_{i0} \left[P^n \frac{B_i'}{B_i} + 1 \right]^{1/B_i'} \quad (2.4-4)$$

$$i = \begin{cases} 1 & \text{für Natrium} \\ 2 & \text{für Stahl} \end{cases}$$

- ρ_i^n [g/cm³] Dichte von Material i unter Druck P^n
 ρ_{i0} [g/cm³] Dichte von Material i bei Druck 0
 B_i [bar] adiabatischer Kompressionsmodul von Material i
 B_i' [1] $B_i' = \frac{\partial B_i}{\partial p}$

Druck, Dichten und Volumenfraktionen werden nun im einphasigen Fall durch folgenden Algorithmus bestimmt: Mit dem Druckwert aus dem letzten Zeitschritt berechnet man eine Brennstoffdichte aus

$$\tilde{\rho}^f(n) = \frac{M^f}{V_T^n - \sum \frac{M_i}{\tilde{\rho}_i^n}} \quad (2.4-5)$$

M^f [g]	Brennstoffmasse einer Masche
V_T^n [cm ³]	Gesamtvolumen einer Masche am Ende des n-ten Zyklus
ρ_i^n [g/cm ³]	geschätzte Dichten von Natrium bzw. Stahl am Ende des n-ten Zyklus
M_i [g]	Masse von Natrium bzw. Stahl in einer Masche

Mit dieser Brennstoffdichte $\bar{\rho}^{f(n)}$ und der neuen inneren Energie U^n (vgl. 2.4-3) wird ein neuer Druckwert aus (2.4-1) berechnet. Mit diesem neuen Druck bestimmt man aus (2.4-4) neue Dichten für Natrium und Stahl, die wiederum einen neuen Dichtewert für den Brennstoff ergeben. Das so skizzierte Schema ist ziemlich trickreich aufgebaut, um extreme Druckspitzen, die bei einem solchen Verfahren auftreten können, zu vermeiden und um die Konvergenz des Iterationsverfahrens sicherzustellen.

2.4.2 Die ANL-Zustandsgleichung

Auf die ANL-Zustandsgleichung für Brennstoff, die in Argonne von Jackson und Nicholson entwickelt wurde /Jac 72/, werden wir in diesem Abschnitt näher eingehen, da sie sehr viel für Routineanalysen herangezogen wird (vgl. z.B. /Frö 76/). Sie bildet ferner die Basis für unser BNR Modell, das im nächsten Abschnitt näher beschrieben wird.

Für den Dampfdruck verwendet man in der ANL-Zustandsgleichung die Beziehung

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

T [K]	Temperatur	} des Brennstoffs	(2.4-6)
P_v [µb]	Dampfdruck		

die in Abb. 2.4-1 grafisch dargestellt ist. Diese Formulierung geht auf Menzies /Men 66/ zurück, ein Vergleich der Menzies-Dampfdrücke mit neueren

Messungen wurde in /Bog 76/ durchgeführt. Es ergibt sich, daß die Werte von Menzies niedriger sind als es neuere Messungen zeigen.

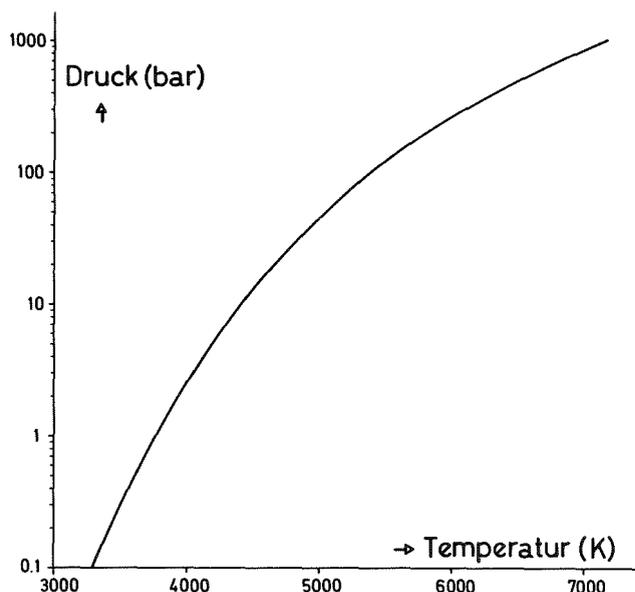


Abb. 2.4-1 Dampfdruck von Urandioxid nach Menzies /Men 66/

In die Menzies-Daten gehen folgende kritische Konstanten des Brennstoffs (der nach den Annahmen von Menzies u. Jackson/Nicholson in erster Näherung identische Eigenschaften wie UO_2 hat):

ρ_c^f	, kritische Dichte	: 3.0 g/cm ³
T_c^f	, kritische Temperatur	: 8000 K
p_c^f	, kritischer Druck	: 2000 b

Die Formel für dichteabhängigen Einphasendruck (thermische Zustandsgleichung) ist

$$P_g = \begin{cases} (U_1 - 3,59 + 0,119 v_r + \frac{0,0767}{v_r^3}) \cdot 1,554 \cdot 10^{12} \exp(-9,67 v_r + 4,45 v_r^2), & \text{wenn } v_r \leq 1 \\ (U_1 - 3,2213 - 0,173 v_r) \cdot 10^{10} / (1,9 v_r - 0,704), & \text{wenn } v_r > 1 \end{cases} \quad (2.4-7)$$

P_{ℓ} [μbar]	einphasiger Druck
U_1 [kJ/g]	modifizierte spezifische innere Energie
$U_1 = \begin{cases} U - H^f \\ U \end{cases}$	für $U < U_m + \hat{H}^f$ für $U \geq U_m + \hat{H}^f$
U [kJ/g]	innere Energie des Brennstoffs
U_m [kJ/g]	innere Energie des Brennstoffs bei Beginn des Schmelzens $U_m = (T_m - 273)/2287$
T_m [K]	Schmelztemperatur des Brennstoffs ($T_m \approx 3000$ K)
H^f [kJ/g]	Schmelzwärme des Brennstoffs (etwa 0.28 kJ/g)
\hat{H} [kJ/g]	modifizierte Schmelzwärme des Brennstoffs $\hat{H}^f = H^f + 0.000437$ (d.h. $H^f \approx \hat{H}^f$)
V_r [l]	reduziertes spezifisches Volumen $V_r = \rho_c^f / \rho^f$

Die gesamte innere Energie $\tilde{E}_{\ell m}^n$ pro Volumeneinheit (in kJ/cm^3) wird dabei mit Hilfe des Ausdrucks (2.3-4) berechnet. Für den Zyklus n gilt

$$\tilde{E}_{\ell m}^n = \frac{1}{V_{\ell m}^n} \left\{ V_{\ell m}^o \tilde{E}_{\ell m}^o + \sum_{n'=1}^n V_{\ell m}^{n'} \delta \tilde{E}_{\ell m}^{n'} \right\} \quad \text{für } U \leq U_m + \hat{H}^f$$

(2.4-8)

$$\tilde{E}_{\ell m}^n = \frac{1}{V_{\ell m}^n} \left\{ V_{\ell m}^o \tilde{E}_{\ell m}^o + \sum_{n'=1}^n V_{\ell m}^{n'} \delta \tilde{E}_{\ell m}^{n'} \right\} - \bar{H}^f \quad \text{für } U > U_m + \hat{H}^f$$

Dabei ist:

$V_{\ell m}^o$ [cm ³]	gesamtes Maschenvolumen zu Beginn
$V_{\ell m}^n$ [cm ³]	gesamtes Maschenvolumen am Ende des Zyklus n

$\tilde{E}_{\ell m}^o$ [J/cm³]

innere Energie pro Volumeneinheit zu Beginn

Diese Energie hat ihren Nullpunkt bei $T = 273 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$. Sie wird wie folgt initialisiert:

$$\tilde{E}_{\ell m}^o = \begin{cases} \frac{(T^{f(o)} - 273)}{2.287} \rho^{f(o)} F^{f(o)} & T_m + 1 < T^{f(o)} < T_m \\ \frac{(T^{f(o)} - 273)}{2.287} \rho^{f(o)} F^{f(o)} + (T^{f(o)} - T_m) H^f \cdot 10^3 \rho^{f(o)} F^{f(o)} & T_m \leq T^{f(o)} \leq T_m + 1 \end{cases} \quad (2.4-9)$$

$T^{f(o)}$ [k] Anfangstemperatur des Brennstoffs
(Maschenindizes weggelassen)

$\rho^{f(o)}$ [g/cm³] Anfangsdichte des Brennstoffs
(Maschenindizes weggelassen)

$F^{f(o)}$ [1] Anfangsvolumensfraktion des Brennstoffs
(Maschenindizes weggelassen)

$$\bar{H}^f = \rho^{f(o)} F^{f(o)} H^f$$

Aufschmelzen ist in dieser Formulierung ausdrücklich enthalten. Dabei macht man die Temperatur-Energie-Relation umkehrbar eindeutig, wie aus der Darstellung der kalorischen Zustandsgleichung klar werden wird.

Die gesamte innere Energie aus (2.4-8) wird dem Brennstoff zugeschlagen, wie schon aus der Initialisierung, Gleichung (2.4-9), deutlich wird. (2.4-8) kann rekursiv auch folgendermaßen dargestellt werden:

$$\tilde{E}^n = \tilde{E}^{n-1} \frac{\rho^n}{\rho^{n-1}} + \delta \tilde{E}^n$$

ρ^n [g/cm³] mittlere Dichte
 (die Mittelung erfolgt über Brennstoff, Natrium
 und Stahl)
 am Ende des Zyklus n

Aus der Energie pro Volumeneinheit ergibt sich die innere Energie des Brennstoffs pro Masseneinheit aus:

$$U_{\ell m}^n \text{ [kJ/g]} = \tilde{E}_{\ell m}^n / (\rho^{f(n)} F^{f(n)} 10^3) \quad (2.4-10)$$

Der Druck berechnet sich nun als

$$P = \text{Max} (P_v, P_\ell) \quad (2.4-11)$$

Abb. 2.4-2 verdeutlicht die Druckberechnungsmethode.

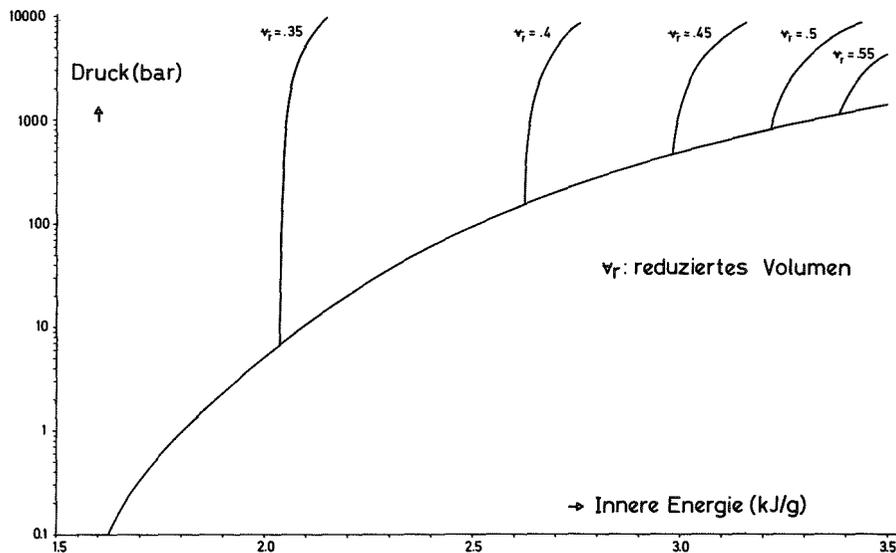


Abb. 2.4-2: Thermische Zustandsgleichung für UO₂ (Brennstoff)

Die untere Kurve stellt die Dampfdruckkurve dar; die oberen Ansätze stellen die einphasigen Drücke für ausgewählte Werte von Ψ_r dar. Gleichung (2.4-11) erlaubt bei vorgegebener innerer Energie U den Dampfdruck als Minimum (Grenze zum zweiphasigen Bereich). Im einphasigen Bereich werden, wenn man das reduzierte Volumen Ψ_r festhält und die innere Energie nur relativ wenig erhöht, sehr rasch sehr hohe Drücke erreicht.

In den ANL-Zustandsgleichungen wird die Brennstofftemperatur T^f wie folgt aus innerer Energie und Dichte berechnet (kalorische Zustandsgleichung):

$$T^f = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \text{MAX}(T_1, T_2), \text{ für } \Psi_r \leq 0.6 \\ \text{MAX}[\underline{T}_1, \text{MIN}(T_2, T_3)], \text{ für } \Psi_r > 0.6 \end{array} \right\} & \text{für } T^f < T_m, \text{ oder } T^f > T_m + 1, \\ T_m + \frac{(U - U_m)}{H^f + 0.000437} & \text{für } T_m \leq T^f \leq T_m + 1, \end{cases} \quad (2.4-12)$$

Dabei ist

T^f [K] Brennstofftemperatur

T_1, T_2, T_3 [K] "Hilfs"temperaturen; sind wie folgt definiert:

$$T_1 = 273 + 2287 U$$

$$T_2 = (4272.5 - 1003\Psi_r + 1699\Psi_r^2)(U - 0.237 - 1.882\Psi_r)$$

$$T_3 = 4282.34(U - 1.3662)$$

Auch hier ist das Aufschmelzen berücksichtigt worden. Wie man sieht, steigt die Temperatur während des Schmelzens um 1 K an. Damit wird es möglich, bei vorgegebener Temperatur, den Energieinhalt des Brennstoffs zu bestimmen.

Der Zusammenhang (2.4-12) ist noch einmal in Abb. 2.4-3 dargestellt.

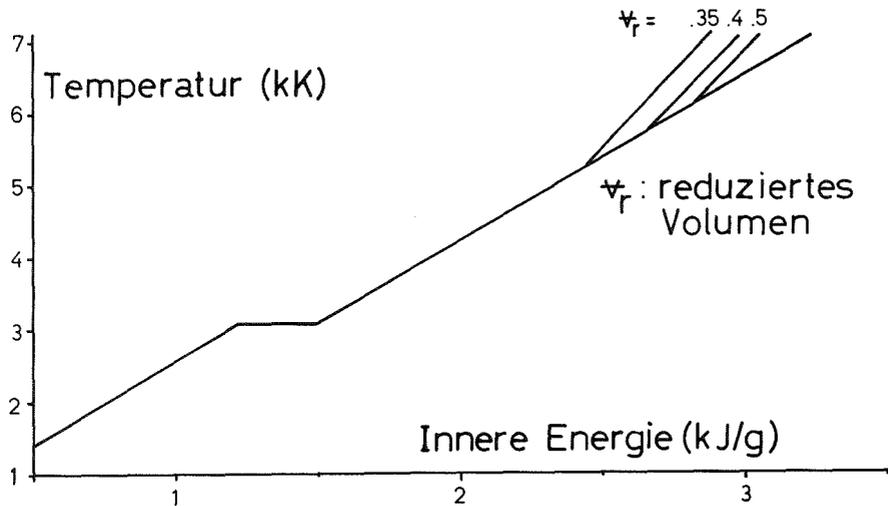


Abb. 2.4-3: Kalorische Zustandsgleichung für UO_2 (Brennstoff) nach /Jac 72/

2.4.3 Druckaufbau beim Modellieren von Brennstoff-Natrium-Reaktionen

Die Brennstoff-Natrium-Reaktion (BNR) führt in der Einleitungsphase wegen des hohen Druckaufbaus bei den üblichen BNR-Parametern zu raschem Voids der Kanäle nach dem Brennstabversagen. Die resultierenden Natriumejektionen führen zu starken Rückwirkungen und bedingen hohe Reaktivitätsrampen beim Einlaufen in die Disassemblyphase. In der Abschätzphase haben die von der BNR stammenden hohen, z.T. einphasigen Drücke zur Folge, daß Corematerial stärker beschleunigt wird und die nukleare Exkursion im allgemeinen durch die von der Materialbewegung herrührenden Reaktivitätsrückwirkungen schneller abgeschaltet wird.

Für die 2-d hydrodynamische Disassemblyrechnung mit KADIS wurde angestrebt, die BNR möglichst konsistent aus der Einleitungsphase, in welcher das von Fischer vereinfachte Calderola-Modell /Cal 72/ verwendet wird, zu übernehmen und weiterzuführen.

Eine Konsistenz der Modelle ist jedoch nur beschränkt möglich, da CAPRI-2 eine 1-d Austreibbewegung des Natriums, KADIS jedoch eine 2-dimensionale, voll kompressible Bewegungsform des gesamten Corematerials beschreibt.

Eine detaillierte Beschreibung des Wärmeübergangs von Brennstoff auf Natrium wurde in Abschnitt 2.3 gegeben. Im folgenden werden wir auf die Druckberechnung näher eingehen.

Die Druckberechnung erfolgt am Ende eines jeden hydrodynamischen Zeitschrittes. Bei dieser Rechnung ist das Gesamtvolumen einer Masche fixiert, ebenso sind die Temperaturen der einzelnen Komponenten (Brennstoff, Natrium, Stahl) festgelegt. Die Berechnung des Druckes erfolgt im einphasigen Bereich innerhalb des Systems der ANL-Zustandsgleichungen über die Kompressibilitäten von Brennstoff, Stahl und Natrium unter Verwendung einer Kompressibilitätsiteration. Da das Natrium während einer BNR stark aufgeheizt wird, ändert sich auch seine Kompressibilität während der Disassemblyphase (um etwa 50 % bei einer Aufheizung von 800K). Nach Durchlaufen der Iteration stehen die Volumenanteile von Brennstoff, Natrium und Stahl fest. Im zweiphasigen Bereich werden direkt die Dampfdrücke von Brennstoff und Natrium zur Corematerialbeschleunigung verwendet. Natriumdampfdruck wird jedoch erst oberhalb einer Schwellentemperatur T_p zum Druckaufbau herangezogen. Diese Schwelle kann einmal als eine gewisse Verzögerung der Wirksamkeit von Natriumdampfdrücken auf die Brennstoffbewegung interpretiert werden. Eine andere Interpretation geht von der Tatsache aus, daß der Brennstoff bei hoher Temperatur auch mobiler sein wird.

In der folgenden Tabelle 2.4-1 ist das Schema zur Berechnung des Druckaufbaus noch einmal zusammengefaßt:

Zustand in einer Masche	Druckberechnungsschema
1phasig	Kompressibilitätsiteration zwischen den 3 Komponenten; Druck hängt in entscheidender Weise vom Volumen der Masche, den Massen und Kompressibilitäten der beteiligten Komponenten (Brennstoff, Natrium, Stahl) ab
2phasig	$P_v^f(T^f) \qquad T^f < T_p$ $P_v^f(T^f) + P_v^{na}(T^{na}) \qquad T^f > T_p$ <p> $P_v^f(T^f)$ Brennstoffdampfdruck bei der Brennstofftemperatur T^f $P_v^{na}(T^{na})$ Natriumdampfdruck bei der Natriumtemperatur T^{na} T_p Schwellwert-Temperatur (durch Eingabe festgelegt) </p>

Tab. 2.4-1: Druckberechnung in der Disassemblyphase

Man kann diese Form der Druckberechnung als extremes Modell betrachten: Natriumverdampfung und Temperaturlausgleich werden ja immer eine gewisse Zeit benötigen, die in diesem Modell nicht berücksichtigt ist. Dafür wird andererseits der Dampfdruck des Natriums unterhalb der Schwelle (T_p) keine Wirksamkeit haben.

In vielen Fällen ist ein Parameter, der in der Tab. 2.4-1 nicht auftritt, wesentlich wichtiger: Der Beginn der Fragmentation und Wärmeübertragung, der ebenfalls - wie erwähnt - durch einen Schwellenwert der Brennstofftemperatur gesteuert wird (T_H). Wenn das Core noch teilweise mit Natrium gefüllt ist, trägt der einphasige Druckaufbau wesentlich zur Beschleunigung von Brennstoff, Natrium und Stahl bei. Bezüglich der Natriumdaten, insbesondere die Dampfdruckformel, sei auf Abschnitt 2.3.3 verwiesen, wo die wesentlichen Daten zusammengestellt sind.

2.4.4 Der Dampfdruck des Mischoxids

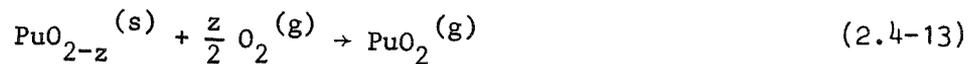
KADIS verfügt über ein Modell ("EOS 8") der Druckberechnung von Mischoxidbrennstoff. Diese Option kann anstelle der "ANL-EOS" benutzt werden, wenn der zusätzliche Druckaufbau durch Spaltprodukte oder der Mischoxid-Dampfdruck anstelle des Dampfdrucks von reinem Urandioxid berücksichtigt werden soll. Allerdings ist das Modell "EOS 8" als vorläufig anzusehen. Denn es beschreibt noch nicht die ganze Komplexität des Mehrkomponenten- und Mehrphasensystems. Außerdem entstammen die verwendeten, experimentellen thermodynamischen Daten einem Temperaturbereich unterhalb von 2500 K, was weite und damit unsichere Extrapolationen in den interessierenden Temperaturbereich oberhalb von 3000 K erfordert. Nach "EOS 8" setzt sich der Gesamtdruck zusammen aus erstens dem Mischoxiddampfdruck, zweitens dem Gesamtdruck der berücksichtigten Spaltprodukte mit Ausnahme des Gasdrucks der Spaltedelgase und des Restsauerstoffs, der als dritter Beitrag erscheint.

Die Berechnung des Mischoxid-Dampfdrucks folgt der Methode von Rand und Markin /Ran 67/. Es werden Gleichgewichtspartialdrücke aller vorkommenden gasförmigen Komponenten des Mischoxids $(U, Pu)O_{2+y}$ berechnet. Es sind dies die Elemente und Verbindungen UO_3 , UO_2 , UO , U , PuO , Pu , O_2 und O . Die Berechnungen von Rand und Markin stützen sich auf experimentelle Ergebnisse für Temperaturen unterhalb von 2500 K und einem Pu-Anteil bis 30 %.

Das unterstöchiometrische Mischoxid $U_{1-x}Pu_xO_{2-z}$ wird angesehen als feste Lösung von $x PuO_{2-z}$ in $(1-x)UO_2$, das überstöchiometrische Mischoxid $U_{1-x}Pu_xO_{2+(1-x)z}$ als feste Lösung von $x Pu O_2$ in $(1-x) UO_{2+z}$. Die Partialdrücke der einzelnen Verbindungen werden nach dem Massenwirkungsgesetz berechnet. Dabei wird angenommen, daß die obigen festen Lösungen ideal

sind. Die benötigten thermodynamischen Daten sind die Freien Standard-Reaktionsenergien der Dampfkomponenten über dem Mischoxid und des festen UO_{2+z} und PuO_{2-z} sowie das Sauerstoffpotential $\Delta \bar{G}[O_2]$ des U-Pu-O-Systems.

Am Beispiel der Reaktion



wird die Berechnung des Partialdrucks einer Komponenten, nämlich PuO_2 , im folgenden erläutert. (s) bezeichnet die feste Phase, (g) die Gasphase. Die Freie Standard-Reaktionsenergie von (2.4-13), ΔG_T^0 , zur Temperatur T wird aus den Freien Standard-Bildungsenergien $\Delta G_{f,T}^0$ der beteiligten Verbindungen berechnet:

$$\Delta G_T^0 = \Delta G_{f,T}^0 [PuO_2^{(g)}] - \Delta G_{f,T}^0 [PuO_{2-z}^{(s)}] \quad (2.4-14)$$

Die Gleichgewichtskonstante K_T , definiert durch

$$\Delta G_T^0 = -RT \ln K_T \quad (2.4-15)$$

(R: allgemeine Gaskonstante),

der Reaktion (2.4-13) ist näherungsweise unter der Annahme des Idealverhaltens der Lösung und des Dampfes

$$K_T = P[\text{PuO}_2] / x \cdot (P[\text{O}_2])^{z/2} \quad (2.4-16)$$

Der Partialdruck $P[\text{O}_2]$ des Sauerstoffs wird aus dem Sauerstoffpotential $\Delta\bar{G}[\text{O}_2]$ gewonnen:

$$\Delta\bar{G}_T[\text{O}_2] = - RT \ln(P[\text{O}_2]) \quad (2.4-17)$$

$\Delta\bar{G}_T[\text{O}_2]$ hängt nur von T und der Plutonium- oder Uranvalenz ab, nicht aber von dem Plutoniumanteil x. Durch Kombination der Gleichungen (2.4-14) bis (2.4-17) erhält man

$$\begin{aligned} & -\ln(P[\text{PuO}_2]) \\ & = \{ \Delta G_{f,T}^{\circ}[\text{PuO}_2^{(g)}] - \Delta G_{f,T}^{\circ}[\text{Pu O}_{2-z}^{(s)}] + \frac{z}{2} \Delta\bar{G}_T[\text{O}_2] \} / RT \\ & \quad + \ln x \end{aligned} \quad (2.4-18)$$

Damit kann der Partialdruck von PuO_2 als Funktion von x, z und T berechnet werden.

Ähnlich wie am Beispiel von PuO_2 gezeigt, werden mit Hilfe geeigneter Reaktionen die übrigen Partialdrücke bestimmt. Zur Berechnung dieser Partialdrücke und des Gesamtdrucks des Mischoxids wurde von E.A. Fischer und H.G. Bogensberger /Bog 73/ ein Rechenprogramm geschrieben, das außerdem eine analytische Anpassung der Form

$$-\log P = a + b/T + c \ln T \quad (2.4-19)$$

an den Gesamtdruck vornimmt. Die Anpassung wurde für fünf verschiedene Stöchiometrien und drei verschiedene Plutoniumanteile durchgeführt. Als Ergebnis dieser Rechnung liegt ein Satz von Anpassungsparametern {a,b,c} vor, der in KADIS weiter verwendet wird (siehe Tab. (2.4-2)).

y	x	a	b	c
1,95	0,10	-4,994	27685	-0,2887
	0,15	-4,6	27576	-0,3304
	0,20	-3,883	27438	-0,4141
1,98	0,10	-2,452	26652	-0,563
	0,15	-1,124	26420	-0,721
	0,20	0,387	26161	-0,901
2,00	0,10	31,34	14053	-4,268
	0,15	33,66	13621	-4,536
	0,20	35,6	13263	-4,767
2,02	0,10	33,5	7073	-4,337
	0,15	35,84	6602	-4,593
	0,20	37,85	6162	-4,835
2,05	0,10	19,1	10377	-2,716
	0,15	20,57	10105	-2,865
	0,20	21,8	9830	-3,016

Tab. 2.4-2: Anpassungsparameter der Funktion

$$-\log P = a + b/T + c \ln T$$

für den Gleichgewichtsdampfdruck des $U_{1-x}Pu_xO_y$ -Mischoxids nach E.A. Fischer und H.G. Bogensberger /Bog 73/.

Aus diesen Parametern interpoliert KADIS den Mischoxiddampfdruck in Abhängigkeit von x, dem Pu-Anteil im Brennstoff, und y, der Stöchiometrie. Die Interpolation geschieht in zwei Schritten:

1. Zunächst werden die Parameter a, b, c linear in x -Richtung interpoliert, und zwar für die beiden Stöchiometriewerte der Tabelle, in deren Intervall die vorgegebene Stöchiometrie liegt.
2. Mit Hilfe von Formel (2.4-19) werden für jede der beiden einschließenden Stöchiometrien Werte für $\ln P$ berechnet. Diese Werte werden dann linear in y -Richtung interpoliert und liefern schließlich den gesuchten Druck P .

Abb. 2.4-4 zeigt den in der oben beschriebenen Weise berechneten Gleichgewichtsdampfdruck für Mischoxid bei drei verschiedenen Stöchiometrien, nämlich $y=1,95$, $y=2,00$ und $y=2,04$. Außerdem ist der Sattdampfdruck von reinem UO_2 dargestellt, wie er mit Hilfe der ANL-Zustandsgleichung berechnet wird. Man sieht, der Mischoxiddruck ist stark stöchiometrieabhängig und liegt erheblich über dem Urandioxiddruck. Allerdings handelt es sich um Extrapolationen aus einem Temperaturgebiet heraus, das weit unterhalb des dargestellten liegt.

2.4.5 Der Druckaufbau durch Spaltprodukte

In einem stark vereinfachenden Vorgehen werden die Dampfdrücke der betrachteten Spaltprodukte für den reinen Zustand und deren Drücke nach dem Idealgasgesetz berechnet. Der kleinere der beiden Druckwerte wird als Partialdruck des betreffenden Stoffes angesehen. Es werden die folgenden 12 Elemente berücksichtigt:

$$\text{As, Se, Br, Kr, Sr, Rb, Cd, Te, J, Xe, Cs, O} \quad (2.4-20)$$

Für die Auswahl ist die Ausbeute und der reine Sattdampfdruck maßgebend. Außer diesen Elementen werden die Bromide und Jodide von Cs und Rb, sowie

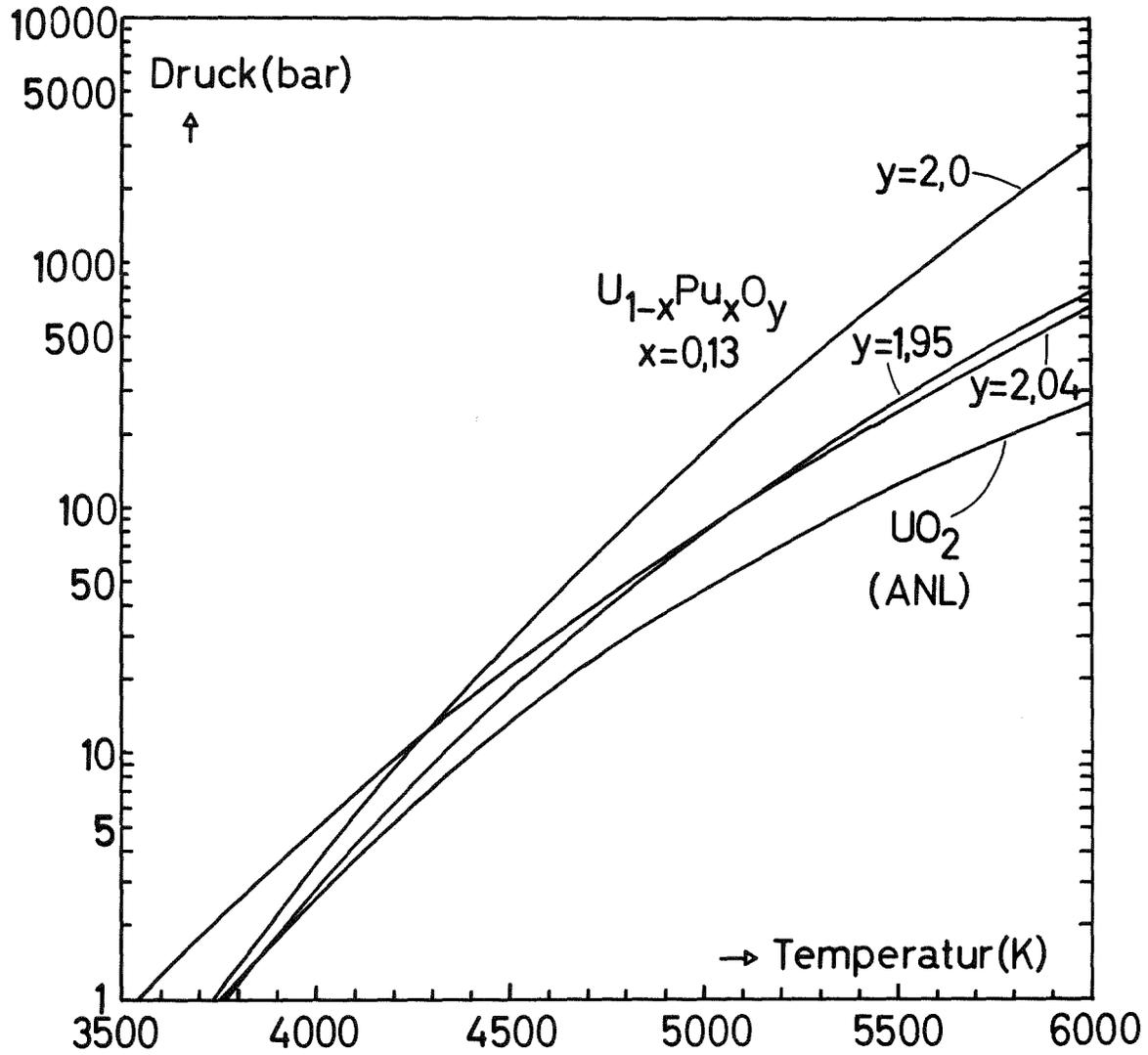


Abb. 2.4-4: Gleichgewichtsdampfdruck von $U_{1-x}Pu_xO_y$ -Mischoxid und UO_2 .

die Oxide von As, Cd und Cs berücksichtigt. Bei den Brennstofftemperaturen im normalen Leistungsbetrieb kommen freies Br und J praktisch nicht vor. Sie bilden mit Rb und Cs Bromide und Jodide mit ungefähr gleicher Häufigkeit. Die Produktion von Cs ist höher als die von Br und J zusammen. Der bei der Bromid- und Jodidbildung verbleibende Cs-Rest wird zu CsO_2 verwandelt. Da bei jeder Spaltung zwei Sauerstoffatome frei werden, ist die Ausbeute von O_2 am größten. Nach CsO_2 werden daher weitere Oxide mit As und Cd gebildet. Der Restsauerstoff wird als freies Gas behandelt, ebenso natürlich wie die Spaltedelgase Xe und Kr.

Die Ausbeute der Spaltprodukte ist bestimmt durch die Produktion bei der Spaltung und durch radioaktiven Zerfall, sowie durch (n,γ) -Reaktionen. Im stationären Reaktorbetrieb stellt sich ein dynamisches Gleichgewicht ein. Die Spaltausbeuten für die berücksichtigten Elemente (2.4-20) sind unter Zugrundelegung der Daten von P. Hofmann /Hof 70/ für ein schnelles Neutronenspektrum und einer mittleren Brennstoffbelastung von 150 W/g errechnet. Die Werte sind in Tab. 2.4-3 aufgeführt.

Element	U^{238} -Spaltung [Kerne pro Spaltung]	Pu^{239} -Spaltung
As	0,00034	—
Se	—	0,00055
Br	0,0016	0,00175
Kr	—	0,00893
Sr	0,0348	0,0141
Rb	0,017	0,0121
Cd	0,00199	0,00569
Te	0,0229	0,0416
J	0,0014	0,0138
Xe	0,2465	0,2348
Cs	0,055	—

Tab. 2.4-3: Spaltausbeuten im Gleichgewicht für einen schnellen Kern aus U^{238} - und Pu^{239} Spaltung nach P. Hofmann /Hof 70/.

Die Zahl der gespaltenen U- und Pu-Atome wird aus dem lokalen Abbrand und dem mittleren Pu-Anteil berechnet. Dabei wird angenommen, daß 5 % der Spaltungen U^{238} -Schnellspaltungen sind. Der lokale Abbrand wird proportional zur vorgegebenen Leistungsdichte (bezogen auf Brennstoffvolumen) aus dem mittleren Abbrand (als Brennstoffanteil anzugeben) ermittelt. Aus den Spaltausbeuten der Tab. 2.4-3 und den abgebrannten, d.h. gespaltenen U- bzw. Pu-Teilchenzahlen werden schließlich die Teilchenzahldichten der betrachteten Elemente und der erwähnten Verbindungen berechnet.

Die Bestimmung der Partialdrücke der Spaltprodukte geschieht dann folgendermaßen:

$$P_v = n \cdot k \cdot T \quad (2.4-21)$$

$$\log P_s = A + B \log(T/1000) \quad (2.4-22)$$

$$P[\text{Spaltgas}] = \min(P_v, P_s/760)$$

P_v [bar] Idealgasdruck

n [cm⁻³] Teilchenzahldichte

k [WsK⁻¹] Boltzmannkonstante x 10
= 1,38 · 10⁻²²

T [K] Temperatur

P_s [Torr] Sattdampfdruck der reinen Substanz

A [Torr] Anpassungsparameter für Dampfdruck-

B [K⁻¹] beziehung

Die Anpassungsparameter A und B (siehe Tab. 2.4-4) entsprechen den bisher gemessenen thermodynamischen Daten /Wea 71/.

Stoff	A [Torr]	B [K ⁻¹]
Se	4,4	9,52
Sr	5,38	2,0
Rb	1,36	10,0
CdO	4,1	7,57
Te	2,6	8,33
J	6,41	4,75
CsO ₂	3,98	7,01
RbJ, RbBr, CsJ, CsBr	1,53	10,8
As ₂ O ₃	2,64	12,1

Tab. 2.4-4: Anpassungsparameter für die Sattedampfdruckbeziehung

$$\log P_s = A + B \log (T/1000)$$

nach "Handbook of Chemistry and Physics" /Wea 71/.

Sobald der Brennstoff anfängt aufzuschmelzen, werden die Spaltprodukte freigesetzt und tragen zum Druckaufbau bei. Der größte Teil, etwa 90 %, der Spaltedelgase wird bereits vor dem Schmelzen des Brennstoffs freigesetzt. Bevor wir darauf näher eingehen, wollen wir erläutern, wie bei den kondensierbaren Spaltprodukten die Freisetzung simuliert wird. Der wirksame Druck der Spaltprodukte in einer KADIS-Masche hängt von der Schmelzfraction f_m und der Temperatur T ab und ist von außen noch beeinflussbar durch die Eingabeparameter g_1 und g_2 . Die Schmelzfraction f_m ist folgendermaßen definiert:

$$f_m = \begin{cases} 0 & \text{wenn } T \leq T_m \\ T - T_m & \text{wenn } T_m < T \leq T_m + 1 \\ 1 & \text{wenn } T > T_m \end{cases} \quad (2.4-24)$$

T [K] mittlere Brennstofftemperatur einer Masche

T_m [K] Schmelztemperatur des Brennstoffs

Der wirksame Druck ergibt sich aus dem mittels (2.4-23) berechneten durch Multiplikation mit einem Faktor g , der folgendermaßen zusammengesetzt ist:

$$g = \begin{cases} g_1 \cdot f_m & \text{wenn } f_m \leq 0,8 \\ g_1 \cdot f_m + g_2(5 \cdot f_m - 4) & \text{wenn } f_m > 0,8 \end{cases} \quad (2.4-25)$$

$$(g_1 + g_2 = 1)$$

(2.4-25) sagt, der Bruchteil g_1 des Drucks wird proportional zur Schmelzfraktion f_m wirksam, sofern die Schmelzfraktion noch unter 80 % liegt. Sobald die Schmelzfraktion größer als 80 % ist, wird zusätzlich der restliche Teil g_2 des Drucks wirksam und zwar proportional zum aufschmelzenden Bruchteil der restlichen 20 % des Brennstoffs, so daß bei vollständig geschmolzener Brennstoffmasse einer Masche der volle Druck von (2.4-23) wirkt. Mit der etwas verzögerten Freisetzung wird der Tatsache Rechnung getragen, daß eine Brennstofftablette von innen nach außen aufschmilzt und daß die Konzentration der Spaltprodukte von innen nach außen zunimmt.

Bei der Abschätzung des vor dem Brennstoffschmelzen freigesetzten Anteils der Spalteredelgase wird auf ein Modell von Ronchi und Matzke /Ron 72/ und Anwendungen dieses Modells auf die Schnellen Bestrahlungsexperimente DS1 & DS2 zurückgegriffen. Ronchi und Matzke gehen von folgender Bilanz aus:

$$\beta t = c + b + g \quad (2.4-26)$$

Hierbei ist

- β die Gaserzeugungsrate,
- t die Bestrahlungszeit (Standzeit) des Brennstoffs,
- c der Anteil des Gases in Lösung,
- b der Anteil des Gases in intragranularen Blasen,
- g der Anteil des Gases niedergeschlagen in Blasen an Korngrenzen.

Sie gewinnen ein System von linearen Differentialgleichungen zur Bestimmung der einzelnen Beiträge. Für KADIS wird eine Verifikation des Modells an den Schnellen Bestrahlungsexperimenten DS1 & DS2 verwendet und zwar der errechnete Anteil $g/\beta t$ des an Korngrenzen gesammelten Gases. Dieser Anteil wird als freigesetzt angesehen und kann frei aus dem Brennstoff hinausdiffundieren. Abb. 2.4-5 zeigt $g/\beta t$ als Funktion von t für verschiedene Betriebstemperaturen. Diese Kurven wurden von E.A. Fischer und H.G. Bogensberger /Bog 73/ analytisch angepaßt durch die Funktionen

$$\frac{g}{\beta t} = 1 - \frac{1}{a_0 + a_1(t/f) + a_2(t/f)^2 + a_3(t/f)^3} \quad (2.4-27)$$

mit

$$\ln f = 2,133 \left[\exp(4,65 \cdot 10^{-3}(1580 - T)) - 1 \right] \quad (2.4-28)$$

in drei Anpassungsbereichen mit den in Tab. 2.4-5 aufgeführten Parametern. Die Standzeit t [Tage] ist proportional zum mittleren Abbrand angesetzt. Der

Proportionalitätsfaktor hängt von der Brennstoffbelastung ab. Der Defaultwert ist $6,27 \cdot 10^3$, der einer mittleren Brennstoffbelastung von 150 Watt pro Gramm Brennstoff entspricht.

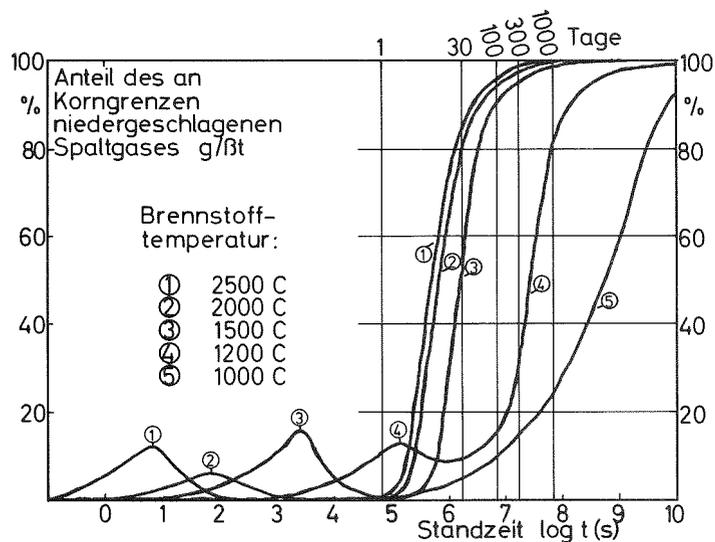


Abb. 2.4-5: Anteil des Spaltgases an Korngrenzen, g/βt, vom Bestrahlungsexperiment DS1 & DS2 nach Ronchi und Matzke /Ron 72/.

	$t/f < 45$	$45 \leq t/f < 460.8$	$460.8 \leq t/f$
a_0	1	0,159067	0,5318
a_1	$5,7875 \cdot 10^{-3}$	$2,62698 \cdot 10^{-2}$	$2,64156 \cdot 10^{-2}$
a_2	$-1,8733 \cdot 10^{-4}$	$6,9019 \cdot 10^{-6}$	$1,4118 \cdot 10^{-6}$
a_3	$5,2688 \cdot 10^{-6}$	$-0,7418 \cdot 10^{-8}$	0

Tab. 2.4-5: Anpassungsparameter für die Funktion (2.4-27)

Ein Teil des freigesetzten Spaltgases steht für die Druckentwicklung nicht mehr zur Verfügung, da es in die Blanket-Region und ins Spaltgasplenum diffundiert ist. Der im Kern verbleibende Restanteil α ist eine Eingabegröße und liegt erfahrungsgemäß bei 5 %. Der nach (2.4-21) berechnete Idealgasdruck ist daher nur teilweise wirksam. Der Gasanteil $(c+b)/\beta t$ wird proportional zur Schmelzfraktion frei, so daß sich als wirksamer Spaltgasdruck ergibt:

$$P [\text{Edelgas}] = \left[\alpha \cdot \left(\frac{g}{\beta t} \right) + f_m \left(1 - \frac{g}{\beta t} \right) \right] P_v \quad (2.4-29)$$

Als wirksamer Gesamtdruck der Masche ergibt sich schließlich

$$P [\text{gesamt}] = P [\text{Mischoxid}] + P [\text{Spaltgas}] + P [\text{Edelgas}] \quad (2.4-30)$$

Bemerkung:

Eine neuere Zustandsgleichung, die den Spaltgasdruck berücksichtigt, wurde im Verlauf der HOPE-KADIS Kopplung von E.A. Fischer und G. Arnecke erstellt. Diese Zustandsgleichung ermöglicht eine konsistente Behandlung der Spaltgase in der Einleitungs- und Disassembly-Phase. Sie wird in einem KFK Bericht ausführlich dokumentiert werden (KFK-2546).

2.5 Hydrodynamik; Modellierung von Struktureffekten

2.5.1 Formulierung der Bewegungsgleichungen

Der Berechnung von Bewegungsvorgängen der Reaktormaterialien (Brennstoff, Natrium, Stahl) liegt die Vorstellung zugrunde, daß man während der kurzen Zeit eines Disassemblyvorgangs den Reaktorkern als kompressible, homogene Flüssigkeit darstellen kann. "Homogen" bedeutet dabei, daß in jeder KADIS-Masche Brennstoff, Natrium und Stahl als vermischt angesehen werden. Der Druck wird in einer solchen Masche durch ein iteratives Verfahren errechnet, bei dem auch die Volumenanteile der Materialien bestimmt werden. Die kurzen Disassemblyzeiten ermöglichen auch, daß man Brennstoffaufheizung nur in adiabatischer Näherung zu betrachten hat. Wärmeaustauschvorgänge werden bei einer lokalen Brennstoff-Natrium Reaktion jedoch berücksichtigt.

Im folgenden beschränken wir uns auf Zylindersymmetrie und verwenden Lagrangesche Koordinaten zur Verfolgung der Kernmaterialbewegung. Wir bezeichnen mit r den Abstand von der Symmetrieachse und mit z den axialen Abstand (z.B. vom unteren Rand des Reaktorkerns). Die Lagrange Koordinaten eines Massenpunktes werden mit R und Z bezeichnet, definitionsgemäß sollen sie mit den Abständen r und z dieses Massenpunktes zum Zeitpunkt $t = 0$ zusammenfallen. Die Bewegung der Kernmaterialien wird charakterisiert durch die Dichte $\rho(R,Z,t)$, den Druck $\bar{P}(R,Z,t)$, die Temperatur $T(R,Z,t)$ und die Geschwindigkeitskomponenten in radiale Richtung $u(R,Z,t)$ und die axiale Richtung $v(R,Z,t)$.

Als Bewegungsgleichungen für das Kernmaterial ergeben sich:

$$\begin{aligned} \dot{u} &\equiv \ddot{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial r} \\ \dot{v} &\equiv \ddot{z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} \end{aligned} \tag{2.5-1}$$

Die Werte für $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial r}$ und $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z}$ werden dabei im verzerrten Maschennetz durch Differenzenapproximationen wie folgt ausgedrückt:

$$\begin{aligned}
 (\ddot{r})_{\ell m} = & - \left\{ 4 / (\rho_{\ell+1/2, m+1/2}^{+\rho} \rho_{\ell+1/2, m-1/2}^{+\rho} \rho_{\ell-1/2, m-1/2}^{+\rho} \rho_{\ell-1/2, m+1/2}^{+\rho}) \right\} \\
 & \left\{ (\bar{P}_{\ell+1/2, m+1/2}^{-\bar{P}} \bar{P}_{\ell-1/2, m-1/2}^{-\bar{P}}) (z_{\ell, m+1}^{-z} z_{\ell, m-1}^{-z} z_{\ell-1, m}^{-z} z_{\ell+1, m}^{-z}) \right. \\
 & \left. - (\bar{P}_{\ell-1/2, m+1/2}^{-\bar{P}} \bar{P}_{\ell+1/2, m-1/2}^{-\bar{P}}) (z_{\ell, m+1}^{-z} z_{\ell, m-1}^{-z} z_{\ell-1, m}^{-z} z_{\ell+1, m}^{-z}) \right\} \\
 & \left\{ (z_{\ell-1, m}^{-z} z_{\ell+1, m}^{-z}) (r_{\ell, m+1}^{-r} r_{\ell, m-1}^{-r}) - \right. \\
 & \left. (z_{\ell, m+1}^{-z} z_{\ell, m-1}^{-z}) (r_{\ell-1, m}^{-r} r_{\ell+1, m}^{-r}) \right\} \quad (2.5-2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (\ddot{z})_{\ell m} = & - \left\{ 4 / (\rho_{\ell+1/2, m+1/2}^{+\rho} \rho_{\ell-1/2, m+1/2}^{+\rho} \rho_{\ell+1/2, m-1/2}^{+\rho} \rho_{\ell-1/2, m-1/2}^{+\rho}) \right\} \\
 & \left\{ (\bar{P}_{\ell+1/2, m+1/2}^{-\bar{P}} \bar{P}_{\ell-1/2, m-1/2}^{-\bar{P}}) (r_{\ell, m+1}^{-r} r_{\ell, m-1}^{-r} r_{\ell-1, m}^{-r} r_{\ell+1, m}^{-r}) \right. \\
 & \left. - (\bar{P}_{\ell-1/2, m+1/2}^{-\bar{P}} \bar{P}_{\ell+1/2, m-1/2}^{-\bar{P}}) (r_{\ell, m+1}^{-r} r_{\ell, m-1}^{-r} r_{m-1, \ell}^{-r} r_{m+1, \ell}^{-r}) \right\} / \\
 & \left\{ (r_{\ell-1, m}^{-r} r_{\ell+1, m}^{-r}) (z_{\ell, m+1}^{-z} z_{\ell, m-1}^{-z}) - (r_{\ell, m+1}^{-r} r_{\ell, m-1}^{-r}) (z_{\ell-1, m}^{-z} z_{\ell+1, m}^{-z}) \right\}
 \end{aligned}$$

(ℓ, m) bezieht sich dabei auf den Eckpunkt einer Masche des Lagrangeschen (mit dem Material bewegten) Netzes. Geschwindigkeiten und Beschleunigungen werden dabei für die Mascheneckpunkte, Dichten und Drücke für die Koordinatenmittelpunkte berechnet. Die Werte für die Mittelpunkte werden dabei mit $\rho_{\ell+1/2, m+1/2}$ und $\bar{P}_{\ell+1/2, m+1/2}$ bezeichnet. Die Situation ist noch einmal in Abb. 2.5-1 ver-

deutlich. Man sieht, daß man zur Berechnung von $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial r}$, $\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial z}$ am Punkt (ℓ, m) die umgebenden vier Maschen mit ihren Lagen und Werten für Druck und Dichte herangezogen werden. Die Methode der zeitlichen Integration der Gleichungen 2.5-2 wird ausführlicher in Abschnitt 2.7 diskutiert.

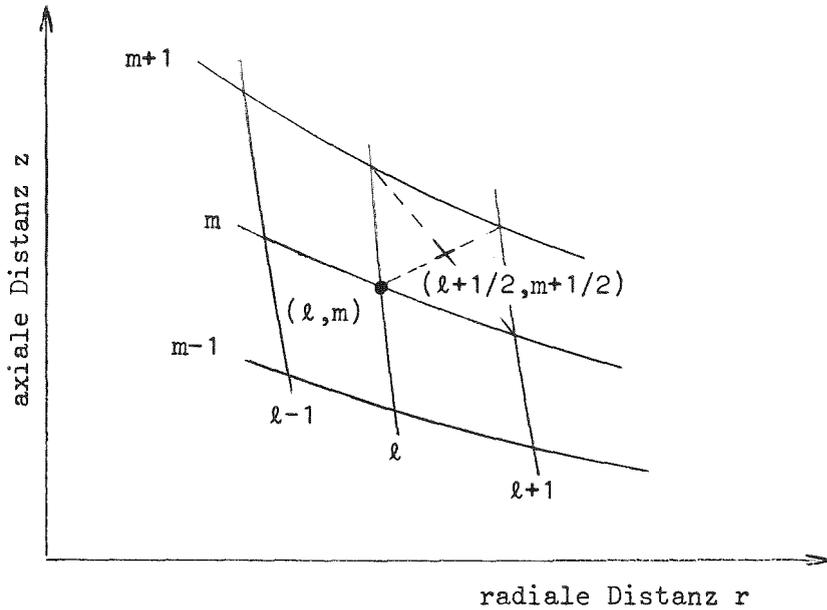


Abb. 2.5-1: Verwendung von Indizes im Lagrangeschen Maschennetz

Der Druck \bar{P} in den Gleichungen 2.5-1 setzt sich aus dem "physikalischen" Druck P , den die Zustandsgleichung bei einer bestimmten Temperatur und Dichte liefert und dem pseudoviskosen Anteil q zusammen.

$$\bar{P} = P + q$$

$$q = \begin{cases} \frac{1.44 A \rho_0^2}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial t} \right)^2 & \text{für } \frac{\partial V}{\partial t} < 0 \\ 0 & \text{für } \frac{\partial V}{\partial t} \geq 0 \end{cases} \quad (2.5-3)$$

V [cm^3/g] spezifisches Volumen

A [cm^2] Fläche der Masche in (r,z) -Ebene

ρ_0 [g/cm^3] Dichte zur Zeit $t=0$

Im Falle einer Kompression des Materials einer Zelle wird also zum Druck P noch ein Term hinzugefügt, der geschwindigkeitsabhängig ist. Dies hat zur Folge, daß ein hoher Druck rasch über mehrere Maschen verschmiert und das Integrationsverfahren stabilisiert wird. Schockwellen, die mit solch hohen Drücken verbunden sind, können bei heftigen Exkursionen auftreten. (Unter Schock verstehen wir dabei die Existenz einer Fläche, an denen Druck, Dichte, innere Energie und Geschwindigkeit eine Sprungstelle haben.) Das Verfahren, einen künstlichen, viskosen Term wie in Gleichung 2.5-3 zu verwenden, geht auf von Neumann und Richtmyer zurück /Neu 50/.

Massenbilanzen müssen bei Verwendung der Lagrangeschen Methode nicht gelöst werden. Im mit dem Material bewegten Lagrangeschen Maschennetz gilt ja die Massenerhaltung exakt. Für jede Masche ist also

$$m = \rho V = \rho_0 V_0 \quad (2.5-4)$$

ρ	Dichte	}	einer Masche
V	Volumen		
m	Gesamtmasse		
ρ_0	Dichte	}	einer Masche zum Zeitpunkt $t=0$
V_0	Volumen		

Auf die Energiebilanzen, die ja sehr wichtig für die verwendeten Drücke sind, wurde in Abschnitt 2.3 näher eingegangen.

Die Randbedingungen, für die die Bewegungsgleichungen (2.5-1) integriert werden, sind:

- Auf der Symmetrieachse ($r=0$) sind nur axiale Bewegungen möglich, d.h. $u=0$ für $r=0$
- Alle übrigen Ränder sind frei, d.h. der Druck an der Oberfläche ist 0.

2.5.2 Simulation von Struktureffekten

In KADIS sind zwei einfache Möglichkeiten einprogrammiert, um die Festigkeit von Material zu simulieren.

Einmal kann man vorschreiben, daß unterhalb einer vorgegebenen Druckschwelle überhaupt keine Bewegung stattfindet. Diese Option ist vor allem hilfreich, wenn anfangs die Temperaturen und Drücke noch gering sind und die Exkursion erst spät heftig wird. Auch geringe Drücke können ja erhebliche Verschiebungen herbeiführen, wenn sie über längere Zeit wirksam sind.

Mit der zweiten Option kann man radiale Festigkeit simulieren: Erst bei Überschreitung eines vorgeschriebenen Wertes für den radialen Druckgradienten werden dann Materialverschiebungen möglich. Diese Option ermöglicht es, die Festigkeit von Pins und Subassembly-Kästen zu berücksichtigen.

Es soll darauf hingewiesen werden, daß die erste Möglichkeit global für das ganze Gebiet, in dem Hydrodynamik betrieben wird, realisiert wurde, während zweite Möglichkeit lokal für jede Masche realisiert ist. Wird im globalen

Fall irgendwo die Druckschwelle überschritten, so wird die Hydrodynamik-Rechnung in allen Maschenpunkten initiiert. Im Gegensatz dazu werden beim lokalen Konzept nur dort lokale Bewegungen vorkommen, wo der radiale Druckgradient überschritten wird. Eine fundamentale Schwäche dieser Art von Festigkeits-simulation ist die folgende: Wenn sich das Lagrange-Gitter nur in Z-Richtung bewegt (weil der Druckgradient die Schwelle noch nicht erreicht hat), werden auch automatisch die benachbarten Maschen (die eventuell Material aus einem Nachbar-Subassembly enthalten) mitgezogen. Diese Schwäche kann zwar verringert werden, indem man radial eine möglichst feine Maschenaufteilung wählt. In der Praxis ist man bei dieser Verfeinerung wegen des steigenden Speicherplatzbedarfs und der größer werdenden Rechenzeit jedoch beschränkt.

2.6 Reaktivitätsrückwirkungen

Die Reaktivität $R(t)$ setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$R = \delta R_P(t) + \delta R_D(t) + \delta R_M(t) \quad (2.6-1)$$

$\delta R_P(t)$ programmierte Reaktivitätsfunktion
(siehe Abschnitt 2.2)

$\delta R_D(t)$ Reaktivitätsänderung aufgrund der
Doppler-Rückwirkung

$\delta R_M(t)$ Reaktivitätsänderung aufgrund von
Materialverschiebungen

Die Berechnung der Reaktivitätsänderungen δR_D und δR_M basiert auf der Annahme der Gültigkeit der Störungstheorie erster Ordnung.

2.6.1 Doppler-Rückwirkung δR_D

Für die Temperaturabhängigkeit des Dopplerkoeffizienten $\frac{dk_D}{dT}$ wird folgendes Gesetz verwendet.

$$\frac{dk_D(t)}{dT} = a \bar{T}(t)^{-3/2} + b \bar{T}(t)^{-1} + c \bar{T}(t)^{n-1} \quad (2.6-2)$$

oder in integrierter Form

$$k_D(t) = -2a \bar{T}(t)^{-1/2} + b \ln(\bar{T}(t)) + \frac{c}{n} \bar{T}(t)^n + \text{Konst.} \quad (2.6-3)$$

\bar{T} ist hierin eine über eine Region massengemittelte Temperatur des Brennstoffs in Kelvin, und a , b , c , n Eingabegrößen für jede KADIS-Region n .

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

$$\delta R_D = \sum_r \left[k_D^r(t) - k_D^r(0) \right] w^r \quad (2.6-4)$$

\sum_r bedeutet Summation über alle Regionen.

w sind regionale Wichtungsfaktoren, auf $\sum_r w^r = 1$ normiert.

Die Wichtung w^r gibt die relative Doppler-Reaktivitätsänderung an, die sich aus derselben mittleren Temperaturänderung in jeder Region ergeben würde.

Zur Gewinnung der vorzugebenden Parameter a , b , c , n und w empfehlen sich zwei Verfahren.

1. Durch Kritikalitätsrechnungen für verschiedene Brennstofftemperaturen errechnet man k_{eff} -Werte. Durch Einsetzen dieser k_{eff} -Werte in (2.6-3) entsteht ein Gleichungssystem mit den Lösungen a , b , c , n . Die aus einer zusätzlichen Störungsrechnung stammenden Störungskoeffizienten $\delta(1/k)$ für jede Region werden auf "Summe = 1" normiert und als Wichtung w^r verwendet.
2. Durch Störungsrechnungen bei verschiedenen Brennstofftemperaturen werden für jede Region Störungskoeffizienten $\delta(1/k)$ und daraus $\frac{dk_D}{dT}$ gewonnen. Indem man diese Koeffizienten in (2.6-2) einsetzt, erhält man für jede Region ein Gleichungssystem, aus dem a , b , c , n bestimmt werden müssen. Zusätzliche Wichtung entfällt.

In beiden Verfahren sind die zu lösenden Gleichungssysteme linear und damit einfacher lösbar, wenn c und n verschwinden.

2.6.2 Materialbewegungsrückwirkung

Die Materialreaktivitätswerte $\psi(R,Z)$ sind mittels einer Störungsrechnung zu bestimmen. Dabei ist eine feinere Diskretisation als im KADIS-Rechengitter erforderlich, da KADIS die Materialwertgradienten $\partial\psi/\partial R$ und $\partial\psi/\partial Z$ zu bilden hat. Das geschieht durch eine dreifache, in den beiden Richtungen R und Z alternierende, quadratische Interpolation. Die gesamte Materialverschiebungsrückwirkung $\delta R_M(t)$ setzt sich zusammen aus einem radialen und einem axialen Anteil:

$$\delta R_M(t) = \int_{V_0} \left[\frac{\partial\psi}{\partial R} \Delta r(t) + \frac{\partial\psi}{\partial Z} \Delta z(t) \right] dV \quad (2.6-5)$$

V_0 unverformtes Reaktorvolumen zum Zeitpunkt $t = 0$

$\Delta r(t)$ = r-R Verschiebung in radialer Richtung (gegen Zeitpunkt $t = 0$)

$\Delta z(t)$ = z-Z Verschiebung in axialer Richtung (gegen Zeitpunkt $t = 0$)

Die Materialwertgradienten beziehen sich auf den Mittelpunkt einer KADIS-Zelle und werden mit dem Material mitbewegt.

Die Materialwertreaktivität kann mit Störungstheorie erster Ordnung wie folgt dargestellt werden:

$$\begin{aligned} \psi = & - \left[\sum_g \delta D^g \nabla \phi_g \nabla \phi_g^\lambda + \sum_g \delta \Sigma_{rem}^g \phi_g \phi_g^\lambda \right. \\ & \left. - \sum_{g < g'} \delta \Sigma_t^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^\lambda - \frac{1}{k} \sum_{g, g'} \delta F^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^\lambda \right] \\ & / \int_{V_0} \sum_{g, g'} F^{g' \leftarrow g} \phi_g \phi_{g'}^\lambda dV_0 \end{aligned} \quad (2.6-6)$$

Es bedeutet:

δx	x gestört - x ungestört
g, g'	Energiegruppe
D^g	Diffusionskoeffizient
Σ_{rem}^g	Makroskopischer Removalquerschnitt
$\Sigma_t^{g'+g}$	Totaler, makroskopischer Streuquerschnitt von Gruppe g in Gruppe g' .
$F^{g'+g}$	$= \chi^{g'} (\nu \Sigma)_f^g$ Transferkoeffizient
ϕ_g, ϕ_g^*	ungestörter realer bzw. adjungierter Neutronenfluß der Gruppe g .
k	effektiver Multiplikationsfaktor.
V_0	unverformtes Reaktorvolumen

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 /Bou72/ nachgewiesen, fallen die Abweichungen in der Störungstheorie-Näherung bei der Doppler-Rückwirkung weniger ins Gewicht.

2.6.3 Normierung zum Zeitpunkt $t = 0$

Zum Zeitpunkt $t = 0$ sind die Reaktivitätsbeiträge δR_D und δR_M gleich Null, wie aus den Formeln (2.6-4) und (2.6-5) ersichtlich ist. Die Reaktivität wird daher allein durch $\delta R_P(0)$ bestimmt. Der Wert von $\delta R_P(0)$ (identisch mit R_0 ,

vgl. Gleichung (2.2-5)) wird noch bei Datenübergabe von einem Predisassemblyprogramm auch den Dopplerbeitrag enthalten, damit die Reaktivitätsbilanz stimmt !

2.7 Zeitdiskretisierung

Die Integration der punktkinetischen und hydrodynamischen Gleichung erfolgt explizit in bezug auf die Disassembly-Zeit. Die "richtige" Wahl des fundamentalen hydrodynamischen Zeitschritts ist daher sehr wichtig für die Konvergenz und Effizienz des Lösungsverfahrens. Die bei der Leistungsberechnung verwendeten Zeitschritte sind $1/64$ (min. $1/256$) der hydrodynamischen Zeitschritte. Eine Iteration zwischen Punktkinetik und Hydrodynamik erfolgt nicht, falls der vorgeschlagene hydrodynamische Zeitschritt sich nachträglich als zu "groß" (die Kriterien dafür werden später genannt) herausstellt. Durch einige Vorsichtsmaßnahmen wird daher verhindert, daß die verwendeten hydrodynamische Zeitschritte zu groß werden.

Abbildung 2.7-1 zeigt die physikalischen Größen, die in der Mitte ($t^{n-1/2}, t^{n+1/2} \dots$) bzw. an den Endpunkten ($t^{n-1}, t^n, t^{n+1} \dots$) eines Zeitschrittes zur Verfügung stehen. Die Maschenindizes (l, m) sind hier der Einfachheit halber weggelassen.

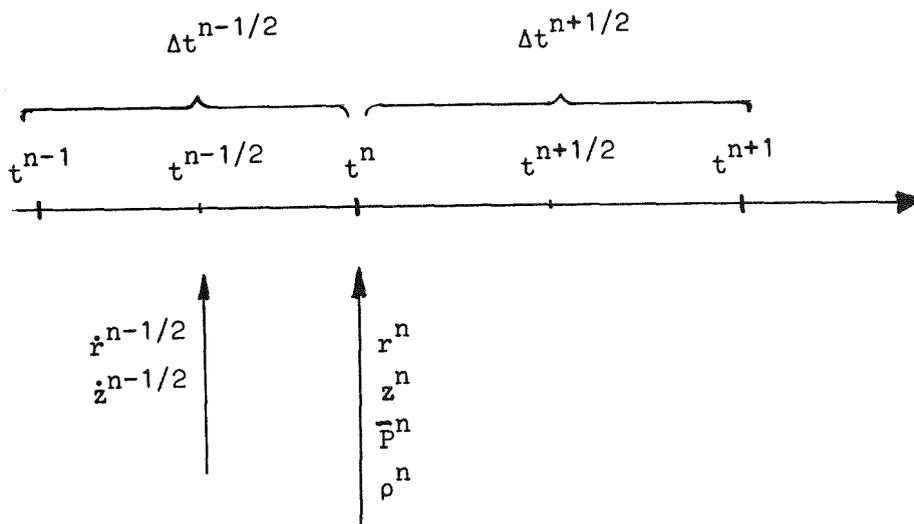


Abb. 2.7-1: Hydrodynamisches Zeitschrittschema: Physikalische Größen, die nach Vollendung des Zyklus n (zum Zeitpunkt t^n) zur Verfügung stehen

Die Beschleunigung \ddot{r}_n, \ddot{z}_n können aus r^n, z^n, \bar{P}^n und ρ^n berechnet werden (Gl. 2.5-1). Die Berechnung der Druckgradienten $\frac{\partial \bar{P}}{\partial r}, \frac{\partial \bar{P}}{\partial z}$ mit einer Differenzenmethode wurde ebenfalls in Abschnitt 2.5 kurz dargestellt. Damit erhält man für die Geschwindigkeiten

$$\left. \begin{aligned} \dot{r}^{n+1/2} &= \dot{r}^{n-1/2} + \ddot{r}^n \overline{\Delta t} \\ \dot{z}^{n+1/2} &= \dot{z}^{n-1/2} + \ddot{z}^n \overline{\Delta t} \end{aligned} \right\} \quad (2.7-1)$$

mit

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{2} (\Delta t^{n-1/2} + \Delta t^{n+1/2}).$$

Die neuen Lagen der Maschenpunkte ergeben sich zu

$$\left. \begin{aligned} r^{n+1} &= r^n + \dot{r}^{n+1/2} \Delta t^{n+1/2} \\ z^{n+1} &= z^n + \dot{z}^{n+1/2} \Delta t^{n+1/2} \end{aligned} \right\} \quad (2.7-2)$$

Mit Hilfe dieser neuen Positionen können dann die neuen Dichten und Drücke berechnet werden. Wird eine einphasige Zustandsgleichung zur Druckberechnung herangezogen, so wird bei festem Volumen ein Wert P^{n+1} für den Druck ausiteriert. Dabei werden sich die Volumenverhältnisse (Brennstoff:Natrium:Stahl) zwangsläufig verschieben.

Die Wahl des Wertes für den hydrodynamischen Zeitschritt für den folgenden Zyklus wird mit Hilfe des Whiteschen Stabilitätskriteriums getroffen. Dieses Kriterium wurde im Zusammenhang mit der Pseudoviskositätsmethode /Neu 50/ entwickelt. Es verwendet die folgende Whitesche Stabilitätszahl W :

$$W = \left[\underbrace{\frac{c^2 (\Delta t)^2}{A}} + \underbrace{4a^2 \left| \frac{\Delta v}{v} \right|} \right]^{1/2} \quad (2.7-3)$$

Dieser Term berücksichtigt die Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) Bedingung

Dieser Term berücksichtigt die großen Volumenänderungen bei Schockwellen

Die Symbole in (2.7.3) bedeuten:

c [cm/s]	Lokale Schallgeschwindigkeit
Δt [s]	Größe des zu bestimmenden Zeitschritts
A [cm ²]	Fläche einer Masche ($\Delta r \times \Delta z$)
a [1]	Konstante, die mit der Schockverschmierung zusammenhängt (Sie tritt auch im pseudoviskosen Druckterm auf, vgl. Gl. (2.5-3) und ist dort 1.2 gesetzt)
Δv [cm ³ /g]	Änderung des spezifischen Volumens während des letzten Zeitschritts

Aus W bildet man die Hilfsgröße \hat{W}

$$\hat{W} = \left(\frac{W}{1.2} \right)^2 = \frac{c^2}{A} \left(\frac{\Delta t}{1.2} \right)^2 + 4 \left| \frac{\Delta v}{v} \right| \quad (2.7-4)$$

Für die Schockkonstante a wurde dabei ebenfalls der Wert 1.2 eingesetzt.

\hat{W} wird nach Beendigung eines Zyklus für jede Masche berechnet. Der maximale Wert \hat{W}_{\max} dient zur Berechnung des nächsten hydrodynamischen Zeitschritts.

Hierbei wird der folgende Algorithmus verwendet:

1. Falls $L_l < \hat{W}_{\max} < L_u$

wird nichts unternommen, der Zeitschritt bleibt wie beim letzten Zyklus.

2. Falls $\hat{W}_{\max} > L_u$

wird Δt sukzessive mit 0.75 und \hat{W}_{\max} mit $(0.75)^2$ multipliziert, bis $\hat{W}_{\max} < L_u$ gilt.

3. Falls $\hat{W}_{\max} < L_l$

wird Δt mit 1.25 multipliziert.

Für $L_l = 0.04$ und $L_u = 0.2$ wurden befriedigende Resultate für eine Reihe von Exkursionsrechnungen erzielt. Der wesentliche Rechenaufwand bei der obigen Methode besteht in der Bereitstellung der Schallgeschwindigkeiten für ein und zweiphasige Zustände. Für die ANL-Zustandsgleichung und die Dampfdruck-Zustandsgleichungen wurden analytische Formeln für die Schallgeschwindigkeiten hergeleitet / Jac 72 /.

Die hydrodynamische Zeitschrittweite Δt wird auch dann verringert, wenn die Leistung im letzten Zeitschritt zu stark angewachsen oder zu stark abgefallen ist. Folgender Algorithmus wird dabei zur Bestimmung des Zeitschritts herangezogen:

1. Für fallende Leistung ($n_{t^n} < n_{t^{n-1}}$):

$$\text{Falls } \frac{|n_{t^n} - n_{t^{n-1}}|}{n_{t^n}} > \epsilon_3$$

wird Δt mit 0.75 multipliziert.

2. Für ansteigende Leistung ($n_{t^n} > n_{t^{n-1}}$):

$$\text{Falls } \frac{|n_{t^n} - n_{t^{n-1}}|}{n_{t^n}} > \epsilon_4$$

wird ebenfalls Δt mit 0.75 multipliziert.

Dabei ist

n_{t^n} Leistung zur Zeit t^n

$n_{t^{n-1}}$ Leistung zur Zeit t^{n-1}

Die Parameter ϵ_3 und ϵ_4 werden durch Eingabe festgelegt.

2.8 Auswertung von Disassemblyergebnissen

Am Ende der Disassembly-Phase liegt der Brennstoff des aktiven Core-bereiches in verdampfter, geschmolzener und fester Form vor. Die von KADIS berechneten thermodynamischen Daten bestimmen nun die jeweiligen Phasen-Anteile. Eine signifikante Größe ist die Energie im geschmolzenen Brennstoff. Diese Energie kann z.B. auf das Natrium übertragen werden, falls ein direkter Kontakt möglich ist. Andererseits gibt sie bei Brennstoff-Expansion wegen des abfallenden Drucks Anlaß zu weiterer Brennstoffverdampfung. In den folgenden Abschnitten wird insbesondere auf die Berechnung der Energie und der Menge des geschmolzenen Brennstoffs sowie der geleisteten Arbeit bei Expansion des heißen Brennstoffs näher eingegangen.

2.8.1 Berechnung der Energie im geschmolzenen Brennstoff

Zuerst soll daran erinnert werden, daß in KADIS die Energie als primäre Größe verwendet wird - vgl. Abschnitt 2.3. Die Temperatur ist eine über die Zustandsgleichungen abgeleitete Größe. Bei der Berechnung der Energie im geschmolzenen Brennstoff wird die Temperatur verwendet, man muß daher mit den gewählten Zustandsgleichungen konsistente thermodynamische Funktionen wählen.

Die Energie E des geschmolzenen Brennstoffs wird folgendermaßen berechnet (Summation über alle KADIS-Maschen):

$$E = \sum_{\ell m} e_{\ell m} m_{\ell m}^f \quad (2.8-1)$$

$$e_{\ell m} = \begin{cases} 0 & T_{\ell m}^f < T_{\text{melt}} \\ (T_{\ell m}^f - T_{\text{melt}}) \cdot \hat{H}_{\text{melt}}^f & T_{\text{melt}} \leq T_{\ell m}^f \leq T_{\text{melt}} + 1 \\ \hat{H}_{\text{melt}}^f + c_1^f (T_{\ell m}^f - T_{\text{melt}} - 1) & T_{\ell m}^f > T_{\text{melt}} + 1 \end{cases} \quad (2.8-2)$$

$T_{\ell m}^f$ [K] Brennstofftemperatur in der Masche (ℓm)

T_{melt} [K] Schmelztemperatur des Brennstoffs

\hat{H}_{melt}^f [J/g] = $H_{\text{melt}} + 0.437$

H_{melt}^f [J/g] Schmelzwärme des Brennstoffs *

$m_{\ell m}^f$ [g] Masse des geschmolzenen Brennstoffs in der KADIS-Masche (ℓm)

Die drei verschiedenen Ausdrücke in Gleichung (2.8-2) entsprechen dabei dem festen, dem schmelzenden und dem flüssigen Bereich. Wie bei den Zustandsgleichungen (vgl. Abschnitt 2.4.1) wird hier das Aufschmelzen aus technischen Gründen über 1 K verschmiert. Dies entspricht der Annahme, daß das Aufschmelzen des binären Gemisches UO_2/PuO_2 bei einer praktisch festen Schmelztemperatur T_{melt} und Schmelzwärme H_{melt} erfolgt, die von der Anreicherung in einer Region abhängen können. Die spezifische Wärme des flüssigen Brennstoffs c_1^f wird als temperaturunabhängig angenommen, da es nur wenige Messungen dieser Größe oberhalb des Schmelzpunktes gibt, die überdies mit großen Fehlern behaftet sind.

* Die verwendeten Energien sind hier in J angegeben, im Gegensatz zu Abschnitt 2.4, wo kJ verwendet werden.

2.8.2 Konversion der thermischen Energie in mechanische Arbeit;
Berechnung der Menge verdampften Brennstoffs

Während der Einleitungs- und Disassemblyphase wird thermische Energie im Brennstoff angesammelt, die wegen der kurzen Zeiten nur zum geringen Teil in mechanische Energie (Verformungsarbeit und kinetische Energie) umgewandelt wird. Nach der Disassemblyphase sind verschiedene Konversionsmechanismen denkbar. (Eine genauere Berechnung der Energieverteilung wird durch Programme wie z.B. ARES /Dör72/ möglich.) Wir beschränken uns hier auf die adiabatische Ausdehnung des aufgeheizten Brennstoffs auf einen Umgebungsdruck p^f . Die Berechnung der Arbeit, die bei dieser Expansion geleistet wird, wird für den Brennstoff jeder Lagrange-Masche unabhängig durchgeführt.

Die mechanische Arbeit pro Gramm Brennstoff ist definiert durch

$$W: = \int_i^f p dv \quad (2.8-3)$$

p Druck

dv Differential des spezifischen Volumens

$\left. \begin{matrix} i \\ f \end{matrix} \right\}$ bezeichnet den $\left\{ \begin{matrix} \text{Anfangszustand} \\ \text{Endzustand} \end{matrix} \right.$

Ausgangspunkt ist der Zustand des Brennstoffs am Ende der Disassemblyphase. Der Brennstoff kann am Ende der Disassemblyphase im komprimierten Flüssigkeitsbereich (unterkühlte Flüssigkeit) oder im Zweiphasenbereich liegen. In Abb. 2.8-1 zeigen wir im p-v-Diagramm den Weg, über den wir das Integral(2.8-3) berechnen.

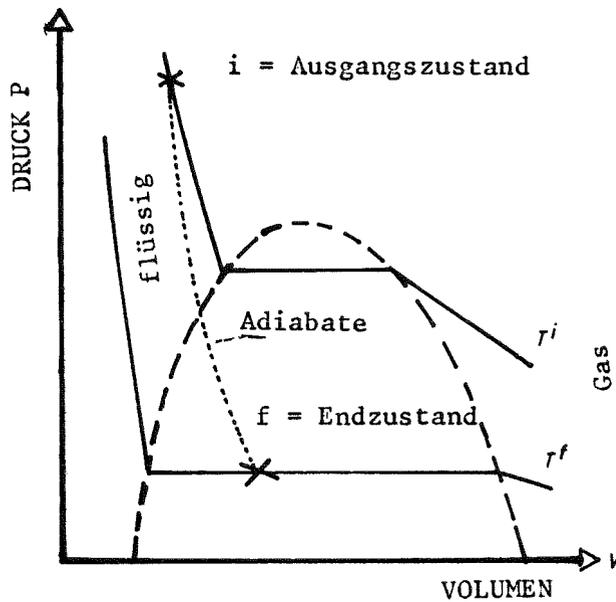


Abb. 2.8-1: Weg für die Berechnung $\int p dv$

Auf der Adiabate gilt

$$\delta s := \frac{\delta q}{T} = \frac{\delta u + p \delta v}{T} = 0 \quad (2.8-4)$$

s Entropie

T Temperatur

u innere Energie

q Wärmemenge

Daher können wir schreiben

$$\int_i^f \delta u = u^f - u^i = - \int_i^f p dv$$

oder

$$W := \int_i^f p dv = u^i - u^f \quad (2.8-5)$$

Wir drücken W also durch die Zustandsfunktion u aus, deren Differenzen leicht wegunabhängig berechnet werden können. Wir unterscheiden je nach Anfangszustand zwischen den zwei in Abb. 2.8-2 dargestellten Fällen:

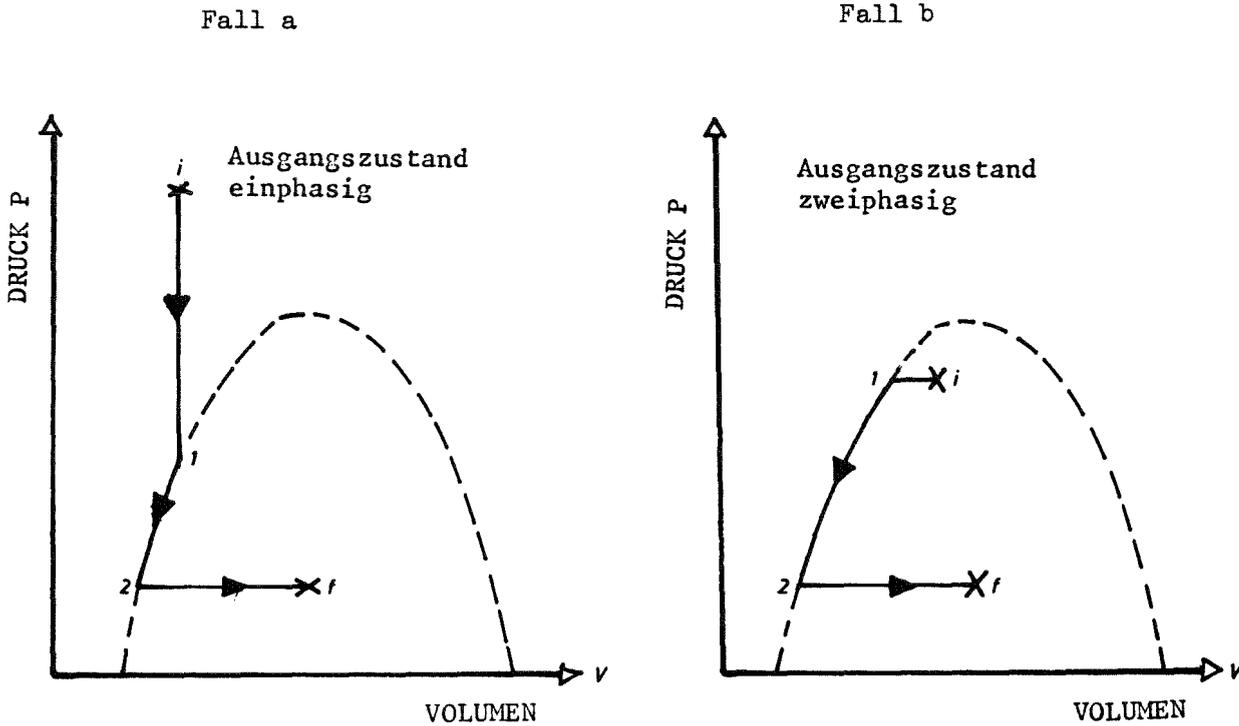


Abb. 2.8-2: Schematische Darstellung der Wege für die Berechnung der Differenzen der inneren Energie für 1- und 2-phasigen Ausgangszustand

Folgende Funktionen, die im einzelnen später dargestellt werden sollen, werden wir benötigen:

$p(T)$ [bar]	Brennstoffdampfdruck
$\frac{dp}{dT}(T)$ [bar/K]	Ableitung des Brennstoffdampfdrucks nach der Temperatur
$v_g(T)$ [cm ³ /g]	spezifisches Volumen des gesättigten Dampfes
$v_l(T)$ [cm ³ /g]	spezifisches Volumen der gesättigten Flüssigkeit
$u_l(T)$ [J/g]	spezifische innere Energie der Flüssigkeit
$s_l(T)$ [J/g.K]	spezifische Entropie der gesättigten Flüssigkeit
$s_g(T)$ [J/g.K]	spezifische Entropie des gesättigten Dampfes

Im folgenden wollen wir die Rechnung für die Fälle a und b getrennt darstellen. Zuerst entscheidet man mit Hilfe der Dampfqualität x^i

$$x^i = \frac{v^i - v_l^i}{v_{lg}^i} \quad (2.8-6)$$

v^i [cm³/g] spezifisches Volumen am Ausgangszustand (wird direkt aus KADIS entnommen)

$$v_{lg}^i = v_g^i - v_l^i \quad [\text{cm}^3/\text{g}]$$

ob man sich im ein- oder zweiphasigen Bereich befindet. Für $x^i < 0$ liegt Fall a, für $x^i > 0$ Fall b vor.

Fall a (einphasiger Ausgangszustand):

Zuerst bestimmt man die Entropie für den Anfangszustand i

$$s^i = s_1(T_1) + c_v \ln \frac{T^i}{T_1} \quad (2.8-7)$$

T^i [K] Temperatur des Brennstoffs am Punkt 1

c_v [J/g K] Spezifische Wärme des Brennstoffs bei konstantem Volumen

T_1 berechnen wir aus der für die Dichte-Temperaturrelation der gesättigten Flüssigkeit

$$T_1 = (10.9277 + 1.7169 \cdot 10^{-4} \cdot T_m^{-\rho^i}) / (6.8182 \cdot 10^{-4}) \quad (2.8-8)$$

$$\rho^i = 1/v^i$$

T_1 muß dabei größer als 0 sein, andernfalls ist der isochore Abkühlungsprozess $i \rightarrow f$ nicht möglich (das ist praktisch immer der Fall). Die Entropie s^i bleibt während des adiabatischen Ausdehnungsprozesses erhalten, d.h. die Entropie des Endzustandes $s^f = s^i$. Die gesamte Differenz der inneren Energie - vgl. Glg. 2.8-5 - setzt sich nun aus 3 Beiträgen zusammen:

$$u^f - u^i = \Delta u_{i \rightarrow 1} + \Delta u_{1 \rightarrow 2} + \Delta u_{2 \rightarrow f}$$

wobei die drei Beiträge von den drei Wegstücken $i \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow f$ stammen, vgl. Abb. 2.8-2. Es ist

$$\Delta u_{i \rightarrow 1} = c_v (T_1 - T^i) \quad (2.8-10)$$

$$\Delta u_{1 \rightarrow 2} = u_1(T_2) - u_1(T_1) \quad (2.8-11)$$

$$\Delta u_{2 \rightarrow f} = (v^f - v_2) \left\{ T \frac{\partial p}{\partial T} - p \right\} \Bigg|_{T = T^f} \quad (2.8-12)$$

$$v^f = (1 - x^f) v_1(T^f) + x^f v_g(T^f) \quad (2.8-13)$$

$$x^f = \frac{s^f - s_1(T^f)}{s_g(T^f) - s_1(T^f)} \quad (2.8-14)$$

T_2 [K] Temperatur des Brennstoffs am Punkt 2

v_2 [cm³/g] spezifisches Volumen des Brennstoffs am Punkt 2

Die Endtemperatur T^f wird dabei aus dem vorgegebenen Enddruck p^f durch eine Umkehrung der Dampfdruckkurve $p(T)$ errechnet. Falls $x^f < 0$ gilt, ist man am Ende nicht im zweiphasigen Bereich, d. h. aber auch, daß eine wesentliche Expansion des Brennstoffs nicht stattgefunden hat. In diesem Fall wird $\int pdv$ gleich 0 gesetzt.

Fall b (zweiphasiger Ausgangszustand):

Zuerst wird die Endtemperatur T^f aus dem vorgegebenen Druck p^f berechnet. Sodann bekommen wir für die Entropie

$$s^i = s^f = s_1(T^i) + x^i s_{1g}(T^i) \quad (2.8-15)$$

Die Dampfqualität am Ende der Expansion auf den Druck p^f wird wie früher durch

$$x^f = \frac{s^f - s_1(T^f)}{s_{1g}(T^f)}$$

berechnet. Für die drei Wegstücke $i \rightarrow 1$, $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow f$ (vgl.

Abb. 2.8-2) bekommt man folgende Beiträge:

$$\Delta u_{i \rightarrow 1} = (v_1 - v^i) \left(T \frac{\partial p}{\partial T} - p \right) \quad \left| \quad T = T^i \quad (2.8-16)$$

$$\Delta u_{1 \rightarrow 2} = u_1(T^f) - u_1(T^i) \quad (2.8-17)$$

$$\Delta u_{2 \rightarrow f} = (v^f - v_2) \left(T \frac{\partial p}{\partial T} - p \right) \quad \left| \quad T = T^f \quad (2.8-18)$$

$$v^f = (1 - x^f) v_1(T^f) + x^f v_g(T^f) \quad (2.8-19)$$

Wieder stellt man W als Summe dieser Beiträge dar:

$$W = \int_i^f p dv = - (\Delta u_{i \rightarrow 1} + \Delta u_{1 \rightarrow 2} + \Delta u_{2 \rightarrow f})$$

Für die Berechnung der gesamten Arbeit und der verdampften Brennstoffmengen müssen die hier berechneten Werte mit der Brennstoffmasse einer Masche multipliziert und über alle Maschen des Reaktors aufsummiert werden.

Bemerkungen zum Wert des Enddruckes p^f :

Früher wurde oft ein Wert von 1 atm für den Enddruck zur Berechnung der "mechanischen Energiefreisetzung" verwendet. Bei Vergleichsrechnungen mit Hilfe strukturdynamischer Codes /Mar 76/ wurde jedoch deutlich, daß ein solcher Energiewert nur eine obere Grenze ohne direkte physikalische Bedeutung für die Belastung des Reaktortanks darstellt. Die Belastung des Tankdeckels kann durch das $\int p dv$ charakterisiert werden, wenn die Ausdehnung der Brennstoff-Blase nur bis zum Schutzgasvolumen erfolgt /Mar 76, Sch 77/. Es wurde daher eine Druckerausgabe in KADIS vorgesehen, die für Enddrücke zwischen 200 und 1 bar eine Tabelle für $\int p dv$ liefert. In diese Tabelle ist auch das Endvolumen der Brennstoff-Blase eingetragen, so daß für das aktuelle Schutzgasvolumen sehr leicht die Werte für die mechanische Energiefreisetzung und die Menge verdampften Brennstoffs interpoliert werden können.

2.8.3 Zusammenstellung der benötigten thermodynamischen Funktionen

Die thermodynamischen Funktionen wurden von Reynolds u.a. /Rey 75/ konsistent zu den ANL Zustandsgleichungen erstellt.

Folgende thermodynamische Größen werden als Funktionen der Brennstofftemperatur T (in K) dargestellt.

1. Dampfdruckkurve

$$p(T) = \exp (A \ln T + B/T + C) \quad \left[\text{dyn/cm}^2 \right]$$

$$\frac{dp}{dT} = p(T) \times \left(\frac{A}{T} - \frac{B}{T^2} \right)$$

$$A = - 4.34$$

$$B = - 76 \ 800$$

$$C = 69.97$$

2. Spezifisches Volumen des Dampfes

$$v_g(T) = \exp (46.4564 - 1.85322 \cdot 10^{-2} + 2.6899 \cdot 10^{-6} T^2 - 1.39106 \cdot 10^{-10} T^3) \quad \left[\text{cm}^3/\text{g} \right]$$

3. Spezifisches Volumen und Dichte der Flüssigkeit

$$v_1(T) = 1/\rho_1(T) \quad [\text{cm}^3/\text{g}]$$

$$\rho_1(T) = 10.9277 + 1.7169 \cdot 10^{-4} T_{\text{melt}} - 6.8122 \cdot 10^{-4} T \quad [\text{g/cm}^3]$$

T_{melt} Schmelztemperatur

4. Innere Energie der Flüssigkeit

$$u_1(T) = - 1219.19 + 1.26545 T - 1.96246 \cdot 10^{-4} T^2 + 1.394 \cdot 10^{-8} T^3 \quad [\text{J} / \text{g}]$$

5. Spezifische Entropie der Flüssigkeit

$$s_1(T) = - 9.24268 + 1.26545 \ln T - 3.90498 \cdot 10^{-4} T + 2.0703 \cdot 10^{-8} T^2 + 1.42267 \cdot 10^{-14} T^3 \quad [\text{J/gK}]$$

6. Spezifische Entropie des Dampfes

$$s_g(T) = \frac{dp}{dT} (v_g(T) - v_1(T)) + s_1(T) \quad [\text{J/gK}]$$

Diese thermodynamischen Daten können bis etwa 6500 K verwendet werden.

2.9 Zusammenfassende Diskussion der Anwendbarkeit von KADIS

KADIS wurde für eine große Anzahl von Untersuchungen von Exkursionen im Bereich des Kerns /Frö 76/ und des externen Kernrückhaltesystems /Pen 76/ verwendet. Bei den Exkursionen im Kern wurden dabei Leistungsstörfälle und Kühlmitteldurchsatzstörfälle, bei den Exkursionen im Kernrückhaltesystem das Aufeinanderstürzen von zwei kompakten Partnern näher untersucht. Bei solchen Anwendungsrechnungen ist es äußerst wichtig zu wissen, wann der Gültigkeitsbereich der KADIS Modelle verlassen wird. Wir stellen daher im folgenden die wichtigsten verwendeten Annahmen noch einmal zusammen. (Der Nachweis, wie gut eine bestimmte Annahme für eine betrachtete Exkursion als erfüllt anzusehen ist, wird im allgemeinen nicht einfach zu führen sein.)

1. Der Reaktor kann durch ein Zylindermodell dargestellt werden.
2. Die Reaktormaterialien verhalten sich wie eine homogene Mischung; diese Mischung hat die Eigenschaften eines isotropen*, nichtviskosen Fluids.
3. Die Leistung kann durch Punktkinetik beschrieben werden, die räumliche Leistungsverteilung bleibt konstant und wird von dem sich verformenden Material mitgenommen.
4. Reaktivitätsänderungen durch die Materialverschiebung können mit Störungstheorie erster Ordnung bestimmt werden. Die Gradienten der Wertkurven werden als konstant angenommen und wandern mit dem Material mit.
5. Wärmeleitphänomene zwischen Nachbarzellen werden während der kurzen Disassembly-Zeit total vernachlässigt. Wärmeübertragungsphänomene bei einer heftigen Brennstoff-Natrium-Reaktion können berücksichtigt werden, nicht jedoch Wärmeübergänge bei einer Brennstoff-Stahl-Reaktion.

* Radiale Nichtisotropien können jedoch simuliert werden.

6. Brennstoff- und Natriumdampfdrücke sowie einphasige Drücke, die in diesen Materialien wegen der adiabatischen Aufheizung entstehen, sind die treibenden Druckquellen bei frischen Cores. Bei abgebrannten Cores können als Druckquellen auch Spalt-Edelgase sowie verdampfte Spaltprodukte berücksichtigt werden. Dissipative Kräfte werden nur für die Schockdämpfung berücksichtigt.

Für "schnelle" Exkursionen wird i.a. die Annahme 1, 4 und 5 gut erfüllt sein. Die Annahmen 2 und 3 sind ziemlich unabhängig vom Typ der Exkursion. Sie hängen im wesentlichen mit der Größe der Materialverschiebung zusammen, die nötig ist um eine Exkursion zu beenden. Faktoren wie: Reaktivitätsrampen, Doppler-Koeffizienten, der Zustand des Cores bei Disassembly-Beginn sind wichtige Einflußgrößen für die für nukleares Abschalten nötigen Verschiebungen. Ein wesentlicher Faktor ist jedoch auch die Größe des Cores selbst, da dadurch die "Wertigkeit" eines Gramms Brennstoff bestimmt wird. Es muß daher erwartet werden, daß mit der Größe des Reaktors die Ungenauigkeit aus den Näherungen, die unter Punkt 2 und 3 beschrieben wurden, erheblich ansteigt. Studien über die Anwendung von Störungstheorie erster Ordnung für den SNR300 / Mas 75 / zeigten jedoch, daß diese Näherungen zumindest für einen Reaktor solcher Größenordnung ausreichend sind.

3. Ein/Ausgabe für das Programm KADIS

Dieses Kapitel gibt eine vollständige Beschreibung der Ein- und Ausgabe von KADIS. Zuerst geben wir aus physikalischer Sicht einen Überblick über die Eingabegrößen. Danach werden alle Eingabedaten (Karten) spezifiziert. Auch die Steuersprache der IBM 370/168 ist genau angegeben. Bei der Beschreibung der Ausgabe wird auf die Ausgabe auf dem Drucker, dem Plotter und für das Programm ARES /Dör72/ näher eingegangen.

An einem SNR 300 Mark 1A Eingabebeispiel werden die Möglichkeiten der Ein/Ausgabe demonstriert. Schließlich werden die Anforderungen an die Computer Hardware diskutiert.

3.1 Übersicht

Die Eingabedaten kann man in drei Klassen aufteilen. Die erste Klasse umfaßt die Modellierungsdaten des untersuchten Reaktors.

Hierunter fallen:

1. Reaktorgeometrie und Einteilung für Hydrodynamik (Maschen) und Neutronik (Regionen),
2. Die Zuweisung einer Zustandsgleichung für jede Maschenposition,
3. Die räumliche Leistungsverteilung,
4. die totalen Materialwertkurven,

5. die relativen Doppler-Wichtungs-Faktoren und Dopplerkoeffizienten für jede Region,
6. die Punktkinetik-Parameter (Anteil der verzögerten Neutronen, Generationsdauer der prompten Neutronen,
7. Stoffwerte für Brennstoff, Natrium Stahl; (z.B. die Schmelzwärme und die Schmelztemperatur des Brennstoffs, die Kompressibilität von Stahl und Natrium usw.).

Die Daten der zweiten Klasse werden normalerweise von einem Predisassembly-Programm, wie z.B. CAPRI 2, erzeugt. Sie sind zeitabhängig und beziehen sich auf den Endzeitpunkt der Predisassemblyphase:

1. Die Dichten und Volumsfraktionen von Brennstoff, Natrium und Stahl (enthalten die Natrium-Void-Verteilung!),
2. die Leistung und die Konzentrationen der Vorläufer der verzögerten Neutronen,
3. das Reaktivitätsniveau und die Reaktivitäts-Zeit-Funktion während der Abschaltphase,
4. die Temperaturverteilungen von Brennstoff, Natrium und Stahl.

Die dritte Klasse von Daten besteht aus denjenigen Parametern, die den Ablauf des Programms steuern. Hierunter fallen:

1. die Größen des Anfangszeitritttes sowie der minimalen und maximalen Zeitschritte,
2. Bedingungen für das Ende einer Rechnung,
3. Wahl von verschiedenen Ausgaben,
4. Verschiedene Konvergenz- und sonstige Steuerparameter.

3.1.1 Geometrie und Maschennetz

Der zu untersuchende Reaktorkern wird in 2D r-z Geometrie dargestellt. Ein typisches Maschennetz ist in Abschnitt 3.4 dargestellt. Die Indizierung des Maschennetzes beginnt in der linken unteren Ecke mit den Werten (2,2). Die Nomenklatur für Maschen und Eckpunkte ist noch einmal in Abb. 3.1-1 erläutert.

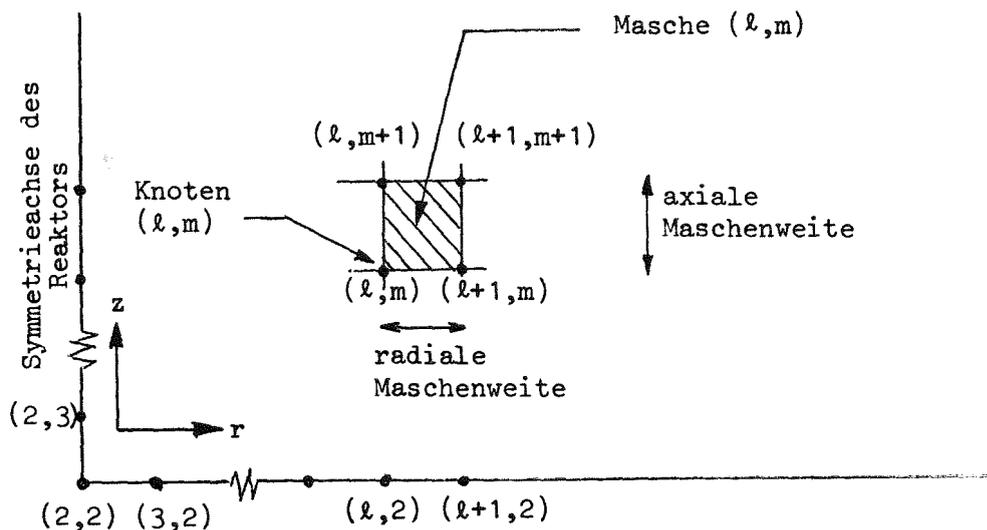


Abb. 3.1-1: Indizierung des Maschennetzes.
(Der linke untere Knoten beginnt mit (2,2)).

In der Einleitungsphase wird der Kern durch eine Anzahl von Brennelementringen dargestellt. Diese radiale Einteilung kann in KADIS übernommen werden, man kommt dann zu einer Maschenweite von etwa 10 cm. Diese Einteilung kann aber auch verfeinert werden, normalerweise ist eine 10 cm Einteilung jedoch ausreichend /Cah 74/.

Gewisse Größen sind mit den Maschenmittelpunkten, andere mit den Mascheneckpunkten verknüpft. Die Lagen, Beschleunigungen und Geschwindigkeiten beziehen sich dabei auf die Eckpunkte. Die meisten anderen Daten, wie z.B. Dichten, Temperaturen und Drücke beziehen sich auf die Mittelpunkte der Maschen.

Eine Anzahl von räumlichen Regionen (rechteckige Bereiche, die eine ganzzahlige Anzahl von Maschen enthalten) werden ebenfalls in der Eingabe spezifiziert. Die Reaktivitätswertkurven können an den Regionengrenzen Unstetigkeiten haben, während sie im Innern glatt verlaufen müssen. Dies erlaubt eine Berücksichtigung von Bereichen mit verschiedener Anreicherung. Wie erwähnt, werden auch die Dopplerkoeffizienten und Wichtungsfaktoren regionenweise eingegeben.

Viele andere Daten können ebenfalls regionenweise eingelesen werden, falls sie in einer Region konstant sind. Dadurch kann das Volumen der Eingabedaten erheblich vermindert werden.

3.1.2 Leistungsverteilung

Die relative Leistungsverteilung (Leistung pro cm^3 Reaktormaterial) muß für jeden Maschemittelpunkt vorgegeben werden. Diese Daten können maschenweise oder aber auch als getrennte radiale und axiale Verteilung eingelesen

werden. Im letzteren Fall wird die gesamte Verteilung als Produkt der axialen und radialen Komponenten berechnet. In beiden Fällen werden nur relative Werte für die Eingabe benötigt, da KADIS intern die Verteilung richtig normiert.

3.1.3 Materialwertkurven

Die totalen Materialwerte werden an den Punkten eines separaten Netzes angegeben, das für jede Region in der Eingabe zu spezifizieren ist. Dieses Netz muß nicht mit dem hydrodynamischen Netz übereinstimmen, da KADIS die Materialwerte selbst für die hydrodynamischen Maschen interpoliert. Die eingelesenen Daten beziehen sich auf Materialwerte einer (in einer Region) homogenen Material-Mischung in Einheiten $\delta K/cm^3$. An den Regionengrenzen können die Materialwerte Unstetigkeiten aufweisen.

3.1.4 Temperatur-Verteilungen

Die Temperaturverteilungen von Brennstoff, Natrium und Stahl können maschenweise oder regionenweise eingegeben werden. Die Brennstoff- und Natriumtemperaturen werden in KADIS selbst maschenweise berechnet, während die Stahltemperaturen nur regionenweise verwendet und während der Disassembly-Phase nicht neu berechnet werden.

3.1.5 Leistungsniveau und Konzentration der Vorläufer

Das Leistungsniveau und die Konzentrationen der Vorläufer werden i.a. aus der Einleitungsphase übernommen. Zusammen mit der Leistungsverteilung bestimmt das Leistungsniveau die Energieerzeugung in jeder Masche. Falls das Leistungsniveau auch die Leistung in den Blankets enthält, sollte auch eine konsistente Leistungsverteilung für die Blankets spezifiziert werden. Falls eine KADIS Rechnung beim stationären Zustand beginnt, kann

man durch eine Code Option die stationären Werte aus (2.2-3),

$$C_i^0 = \frac{\beta_i \cdot n^0}{\lambda_i \Lambda}$$

bestimmen. Will man die Vorläufer Konzentrationen mit dieser Formel bei einer Exkursion für den Beginn der Disassemblyphase abschätzen, so muß man dies mit der Hand tun. n^0 wird in KADIS ja als Leistung zu Beginn der Disassembly eingesetzt. Wegen der kurzen Zeiten hoher Leistung in der Einleitungsphase werden die Konzentrationen C_i^0 aber oft noch gut durch die stationären Werte beschrieben.

3.1.6 Anfangszeitsschritte und Zeitschritt-Steuerung

Neben der automatischen Zeitschritt-Steuerung (sie wurde in Abschnitt 2.7 näher erläutert) ist es manchmal von Vorteil, den Zeitschritt durch Eingabe zu ändern. Es gibt eine Option bei zwei vorgegebenen Zyklenzahlen den Zeitschritt und den maximalen Zeitschritt neu vorzugeben.

Die Wahl von geeigneten Anfangszeitsschritten sowie der maximalen und minimalen Zeitschritte hängen von einer Reihe von Faktoren ab. Wesentliche Teilfaktoren sind:

- die Art (Heftigkeit) der Exkursion;
- die Tatsache, ob größere Bereiche bereits gevoidet sind;
- die verwendeten Zustandsgleichungen;
- die Maschengröße.

Im allgemeinen sind Zeitschritte in der Größe von einigen 100 μ s ausreichend, falls keine einphasigen Drücke auftreten. Beim Auftreten von einphasigen Drücken kommt man mit den Zeitschritten etwa in die Größenordnung von 10 μ s.

Im Normalfall startet man eine Exkursion im zweiphasigen Bereich. Erst im Verlauf der Exkursion werden durch die thermische Expansion des Brennstoffs einphasige Drücke auftreten. Beim Phasen-Übergang wird der Zeitschritt automatisch verkleinert. Dieser reduzierte Zeitschritt wird allerdings erst im darauffolgenden hydrodynamischen Zyklus verwendet. Ein (nicht korrigierter) Fehler entsteht also durch die Verwendung eines zu großen Zeitschrittes für einen Zyklus. Man sollte daher zu Beginn in der zweiphasigen Rechnung mit nicht zu großen Zeitschritten arbeiten, damit der Phasenübergangsfehler nicht zu groß wird. I.a. erwiesen sich Anfangs- und maximale Zeitschritte von 50 - 100 μ s und Minimalzeitschritte von 5 - 10 μ s als ausreichend.

3.1.7 Behandlung der Blanket-Regionen

Falls man die Blanket-Regionen genauer beschreiben will, kann man für diese Bereiche dieselben Zustandsgleichungen wie für die Regionen im Kern verwenden. In vielen Fällen wird die Brennstofftemperatur im Blanket während der Exkursion niedrig bleiben. Der Brennstoff-Dampfdruck kann dann vernachlässigt werden, der Druck im Blanket wird dann nur mit der Blanket-Zustandsgleichung ("EOS4") berechnet.

3.1.8 Zustandsgleichung für den abgebrannten Kern ("EOS8")

Um das Verhalten eines abgebrannten Kern studieren zu können, wurde ein Modell in KADIS eingebracht, das

(1) den Spaltgas- und Spaltproduktgehalt am Beginn
der Disassemblyphase

(2) die Freisetzung von Spaltgasen und Produkten
während der Disassemblyphase

beschreibt. Dieses Modell ist insofern vorläufig, als Punkt (1) eigentlich durch einen Predisassembly-Code beschrieben werden müßte. (Ein solcher stand aber zur Zeit der Entwicklung nicht zur Verfügung.) Für Punkt (1) müssen daher einige Reaktordaten, die sich auf den Betriebszustand beziehen, eingegeben werden, z.B. Betriebstemperaturen und Abbrand. Da große Unsicherheiten über die Freisetzungsraten während der Disassemblyphase bestehen, müssen einige Freisetzungparameter eingegeben werden (vgl. Abschnitt 2.4-4).

3.1.9 Berechnung der Temperatur des Brennstoffs bei Verwendung von Brennstoffdampfdrücken oder Spaltgasdrücken

Die Temperaturberechnung des Brennstoffs erfolgt grundsätzlich über eine kalorische Zustandsgleichung, wie sie in Abschnitt 2.4 näher dargestellt wurde. Falls Dampfdrücke des Brennstoffs oder Spaltgasdrücke verwendet werden, erfolgt die Temperaturberechnung vereinfacht mit temperaturabhängigen spezifischen Wärmen (c_p^f) des Brennstoffs. Diese werden wie folgt dargestellt:

$$c_p^f = \begin{cases} c_p^0 + c_p^1 T^f + c_p^2 (T^f)^2 & T^f \leq T_m \\ H_f & T_m < T^f \leq T_m + 1 \\ c_p^3 + c_p^4 T^f + c_p^5 (T^f)^2 & T^f > T_m \end{cases}$$

Dabei ist

c_p^i ($i=0,5$) Entwicklungskoeffizient der spezifischen Wärme

c_p^f spezifische Wärme des Brennstoffs in J/gK

H^f Schmelzwärme des Brennstoffs J/g

T^f Temperatur des Brennstoffs in K

T_m Schmelztemperatur des Brennstoffs in K

Wie man sieht, ist die Schmelzwärme in dieser Formulierung enthalten, das Aufschmelzen wird über 1K verschmiert. Normalerweise wird für flüssigen Brennstoff eine konstante spezifische Wärme angesetzt ($c_p^4 = c_p^5 = 0$), da nur wenig experimentelle Information über die spezifische Wärme des flüssigen Brennstoffs vorliegt.

3.1.10 Bedingungen für die Beendigung der Rechnung

Verschiedene Optionen beenden den Lauf einer Rechnung. Es gibt in KADIS:

1. eine Beschränkung der Anzahl der hydrodynamischen Zyklen (Zeitschritte);
2. eine Beschränkung der Verzerrung eines Maschennetzes;
3. eine Beschränkung der Problemzeit;
4. eine untere Schranke für k_{eff} ;
5. obere und untere Schranken für das Leistungsniveau.

In den meisten Anwendungsfällen wird eine untere Schranke für die Leistung verwendet. Nachdem der Leistungspeak bei einer Exkursion überschritten ist, erreicht man sehr bald ein Leistungsniveau, von dem kein (wesentlicher) Energiezuwachs mehr erfolgt. Von diesem Zeitpunkt an ist die Rechnung mehr vom hydrodynamischen als vom energetischen Standpunkt interessant.

Natürlich hat man auch darauf zu achten, daß der Reaktor unterkritisch wird nach einer Exkursion ($k_{\text{eff}} < 1$). Vom energetischen Standpunkt aus ist es aber oft unnötig, die Rechnung so lange laufen zu lassen.

Allgemeine Bemerkung: In diesem Bericht wurden nicht alle Aspekte des Programms VENUS (vgl. /Sha 70, Jac 72/, aus dem KADIS hervorging, ausführlich dargestellt. So findet man z.B. keine allgemeine Diskussion der Dampfdruck-, der BNWL- und der Blanket-Zustandsgleichungen. Will man diese auch in KADIS vorhandenen Möglichkeiten benutzen, sollte man auf die beiden Argonne-Berichte zurückgreifen.

3.2 Vollständige Spezifikation der Eingabe- und Steuerdaten

3.2.1 Programmeingabe

a. Programmeingabe

Die Programmeingabe wird über die Einheit 5 (d.h. mit der DD-Karte //G.SYSIN DD *) eingelesen. Die Sätze müssen im Kartenformat aufgebaut sein. Für den Data-Control-Block (DCB) gelten die Parameter:

Blocksize (BLKSIZE):	n * 80 Bytes	n = 1,2,3,...
Logical Record Length (LRECL):	80 Bytes	
Record Format (RECFM):	Fixed (F) oder Fixed Blocked (FB)	

b. Einlesen der Dampfdrucktabelle

Das Einlesen der Dampfdrucktabelle erfolgt über die Einheit 8 unformatiert. Es werden 4 Sätze eingelesen:

1. Satz: (TEXT(I),I=1,10) Feld TEXT mit Wortlänge 8 Bytes, wird als Überschrift benutzt
2. Satz: INUM Zählvariable der Länge 4 Bytes (Integer) für die folgenden Temperatur- und Dampffelder
3. Satz: (TE(I),I=1,INUM) Temperaturfeld mit der Wortlänge 8 Bytes (Real)
4. Satz: (PRES(I),I=1,INUM) Druckfeld mit der Wortlänge 8 Bytes (Real)

c. Einlesen der Reaktivitätstabelle

Die Sätze der Reaktivitätstabelle werden von der Einheit 20 unformatiert gelesen. Der erste Satz dient zur Beschriftung:

1. Satz: (TEXT(I),I=1,20),NROW Das Feld TEXT mit der Wortlänge 4 Bytes enthält Beschriftungstext. Die Integervariable NROW der Länge 4 zeigt die Anzahl der Worte der folgenden Sätze an. NROW hat den Maximalwert 10.

2. Satz: (TABLE(I),I=1,NROW)	}	Sätze der Reaktivitätstabelle (max. 200 Sätze)
.		
.		
.		
n. Satz		

d. Spezifikation der Programmeingabe

Alle Karten werden formatiert eingelesen, die Formatangabe erfolgt jeweils nach der Kartenummer in Klammern.

	Karte 1	(10A8)	
	(TITLE(I),I=1,10)		= Titeltkarte zur Bezeichnung des gerechneten Falles

	Karte 2	(12I6)	
	IMAX		= Anzahl der radialen Maschen
	JMAX		= Anzahl der axialen Maschen
	NOREG		= Anzahl der Regionen (für Materialwertkurven und Dopplerkoeffizienten)
	MRIN		= Maximale Zahl der radialen Maschen für die Wertkurven in einer Region
	MZIN		= Maximale Zahl der axialen Maschen für die Wertkurven in einer Region

	Karte 3	(12I6)	
	INDEX		= 1 Die Variable VALUE von Karte 14 gibt die maximale Anzahl der hydrodynamischen Zeitschritte als ein Abbruchkriterium an.
			= 2 Die Variable VALUE von Karte 14 enthält die maximale Größe der Verzerrung der Maschen als Abbruchkriterium
	IOUTA		= 0 Keine ausführliche Druckausgabe mit hoher Genauigkeit

- = 1 Druckerausgabe hoher Genauigkeit nur bei ausgewählten Zeitschritten
- = 2 Unterdrückung der ausführlichen Druckerausgabe der Eingabe
- ICYCLA = Falls IOUTA=1 gilt, erfolgt alle ICYCLA Zeitschritte eine ausführliche Druckerausgabe mit hoher Genauigkeit
- INUMBA = Maximale Zahl der Zeitschritte, bei denen die Druckerausgabe mit hoher Genauigkeit erfolgen soll
- IOUTB = 0 Keine ausführliche Druckerausgabe mit begrenzter Genauigkeit
- = 1 Ausführliche Druckerausgabe mit begrenzter Genauigkeit bei ausgewählten Zeitschritten
- ICYCLB = Falls IOUTB=1 gilt, erfolgt alle ICYCLB Zeitschritte eine ausführliche Druckerausgabe mit begrenzter Genauigkeit

Anmerkung: Die ausführliche Druckerausgabe mit beschränkter Genauigkeit liefert die wichtigsten hydrodynamischen Größen in einer zweidimensionalen Darstellung.

- IOTCRT = 0 Keine Plots des Lagrangeschen Maschennetzes
- = 1 Plots des Lagrangeschen Maschennetzes für alle ICYCLT Zeitschritte
- ICYCLT = Falls IOTCRT=1, erfolgt für alle ICYCLT Zeitschritte ein Plot des Lagrangeschen Maschennetzes
- IFLPWR = 1 Leistungsverteilung wird radienweise eingelesen. Die Leistungsverteilung wird aus einem radialen Beitrag und einem axialen Beitrag (entlang den Mittellinien) zusammengesetzt.
- = 2 Leistungsverteilung wird maschenweise eingelesen
- IFLTHT = 1 Anfangstemperaturen werden regionenweise eingelesen (REGTEM(K))
- = 2 Anfangstemperaturen werden maschenweise eingelesen (THETA(I,J))

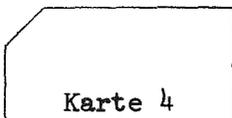
- = 3 Anfangstemperaturen werden aus einer mittleren Temperatur AVTEMP (Karte 58) berechnet
- = 4 Die Anfangstemperatur wird für jede Region K, in der REGTEM(K)=0, maschenweise eingegeben. Dort, wo REGTEM(K)≠0 gilt, wird direkt die regionenweise Temperatur verwendet
- = 5 Die Temperaturen in den Core-Regionen sind proportional zu den Leistungsdichten und werden aus der mittleren Temperatur AVTEMP berechnet (REGTEM(K)=0 in den Core-Regionen); die Temperaturen im Blanket werden regionenweise eingegeben (REGTEM(K)≠0)

IFLKT

- = 1 Zustandsgleichung wird regionenweise eingegeben (IREGKT(K), Karte 29)
- = 2 Zustandsgleichung wird maschenweise eingegeben (KT(I,J), Karte 48)
- = 3 Zustandsgleichung wird in jeder Region maschenweise eingegeben, in der IREGKT(K)=0 gilt. Falls IREGKT(K)≠0, wird für die Region K IREGKT(K) genommen.

IFLVF

- = 1 Eingabe der Volumenfraktionen und Dichten erfolgt regionenweise
- = 2 Eingabe der Volumenfraktionen und Dichten erfolgt maschenweise
- = 3 Eingabe der Volumenfraktionen und Dichten erfolgt maschenweise für das Core (RHOREG(K)=0), regionenweise für das Blanket (RHOREG(K)≠0)



Karte 4

(12I6)

ISTEP2

- = 1 Nach jedem Zeitschritt werden die folgenden zeitabhängigen Größen auf die Einheit 28 geschrieben: Nukleare Leistung, totale freigesetzte Energie, Netto-, Doppler-, Disassembly-Reaktivitäten, ferner radiale und axiale Anteile der Disassembly-Reaktivität

	mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs,	} wenn IFLMOL=2 (Karte 5)
	Masse des geschmolzenen Brennstoffs,	
	Energie des geschmolzenen Brennstoffs,	
	Temperaturen für max. 10 Maschen (IFLTMP=1)	
	Drücke für max. 10 Maschen (IFLPRS=1),	
	mittlere Temperatur für max. 10 Regionen (IFLTR=2, Karte 5) und die Eingabereaktivität	
	= 2 Keine Ausgabe der zeitabhängigen Größen	
IFLTMP	= 1 Temperatur-Zeit-Plot für mindestens eine Masche	
	‡ 1 Kein Temperatur-Zeit-Plot	
IFLPRS	= 1 Druck-Zeit-Plot für mindestens eine Masche	
	‡ 1 Kein Druck-Zeit-Plot	
NTMPPT	= Zahl der Maschen, für die Temperatur-Zeit-Plots verlangt werden (max. 10)	
NPRSPT	= Zahl der Maschen, für die Druck-Zeit-Plots verlangt werden (max. 10)	
KTVAPP	= 1 MARS Dampfdruckbeziehung	
	= 2 Menzies Dampfdruckbeziehung	
	= 3 BNWL Dampfdruckbeziehung	
	= 4 APDA Zustandsgleichung; falls KT(I,J)=8 gilt, wird eine Rechnung für das abgebrannte Core mit der Zustandsgleichung von Fischer durchgeführt	
IFLC	= 1 Anfangskonzentrationen der Vorläufer der verzögerten Neutronen werden aus der Gleichgewichtsbedingung berechnet.	
	= 2 Anfangskonzentrationen der Vorläufer der verzögerten Neutronen werden eingelesen.	
IFLXKF	= 1 Anfangsreaktivitätskoeffizienten werden in der Routine ITERAT berechnet	
	= 2 Reaktivitäts-Feedbackkoeffizienten werden zu Beginn durch eingelesene (Karte 26) Feedback-Reaktivitätswerte für 3 Zeitschritte determiniert.	
IFLDUM	DUMMY-Variable	
IFLDIS	= 0 Kein Ausdruck der Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung	
	= 1 Ausdruck der Reaktivitätsrückwirkung durch Materialverschiebung für jeden Zeitschritt	

IFLCAP = 0 Option nicht wirksam
= 1 Natrium- und Stahltemperaturen werden maschenweise eingelesen

Karte 5 (12I6)

IFLRMC = 0 Keine Behinderung der radialen Bewegung
= 1 Radiale Bewegungsbehinderung, gesteuert durch ein radiales Druckdifferenzkriterium (PRDIF)
= 2 Radiale Bewegungsbehinderung, gesteuert durch ein für alle Maschen verwendetes Druckkriterium (PMIN)

IFLFCI = 0 Keine Brennstoff-Natrium-Wechselwirkung
= 1 Brennstoff-Natrium-Wechselwirkung, falls Versagenskriterien erfüllt sind (Karte 12)

IARES = 0 Keine Ausgabe auf ein Band für das Programm ARES
= 1 Magnetbandausgabe der Leistungsverteilung zu jedem Zeitschritt und einer Reihe von Anfangsgrößen für ARES
= 2 Magnetbandausgabe wie bei IARES=1 und zusätzlich Maschenpositionen, Geschwindigkeiten, Drücke, Dichten, Volumenanteile und Temperaturen am Ende der Exkursion
>2 Magnetbandausgabe der Leistungsverteilung alle IARES-Zeitschritte und zusätzlich einer Reihe von Anfangsgrößen für ARES

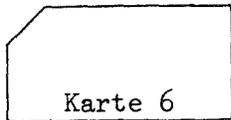
IFLMOL = 0 Option nicht wirksam
= 1 Drucker-Ausgabe der mittleren Temperatur, der Energie und der Masse des geschmolzenen Brennstoffs für jeden Zyklus
= 2 Drucker- und Plot-Ausgabe der mittleren Temperatur, der Energie und der Masse des geschmolzenen Brennstoffs für jeden Zyklus

IFLRDP = 0 Option nicht wirksam
= 1 Druckerausgabe der Dopplerrückwirkungen regionenweise

IFLTRA = 0 Option nicht wirksam
= 1 Ausdruck der mittleren Temperatur regionenweise
= 2 Ausdruck wie bei IFLTRA=1, zusätzlich Plotausgabe der mittleren Temperatur

IFLZ = Zahl der Regionen, für die die mittlere Temperatur ausgedruckt (und geplottet) werden soll (max. 10)

IPLTEX ≠ 1 Option nicht wirksam
= 1 Ausgabe für gemeinsame Plots von CAPRI-2 und KADIS auf der Einheit 19



Karte 6 (12I6)

(ITRA(I), I=1, IFLZ)

= Indizes der Regionen für die die mittlere Temperatur gedruckt und geplottet werden soll (max.10)

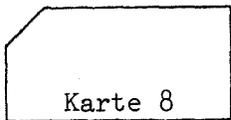
Achtung: Die Karte 6 wird nicht gelesen, wenn IFLTRA=0



Karte 7 (12I6)

((ITMPPT(I), JTMPPT(I), I=1, NTMPPT) = Radiale und axiale Indizes der Maschen für den Temperatur-Zeit-Plot (max.10)

Achtung: Die Karte 7 wird nur gelesen, wenn ISTEP2=1 und IFLTMP=1



Karte 8 (12I6)

((IPRSPT(I), JPRSPT(I), I=1, NPRSPT) = Radiale und axiale Indizes der Maschen für den Druck-Zeit-Plot (max.10)

Achtung: Die Karte 8 wird nur gelesen, wenn ISTEP2=1 und IFLPRS=1



Karte 9 (12I6)

(ICOR1(I), I=1, 24)

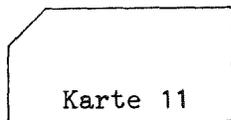
= Indizes der Regionen in Corezone 1. Für diese Regionen wird die Brennstoffmasse aufsummiert (max. 24 Regionen)



Karte 10 (12I6)

(ICOR2(I), I=1, 24)

= Indizes der Regionen in Corezone 2. Für diese Regionen wird die Brennstoffmasse aufsummiert (max. 24 Regionen)



Karte 11 (6E12.5)

PMIN

= Druckschwelle für Einsetzen von Bewegung [dyn/cm²]

PRDIF

= Radiale Druckschwelle für Einsetzen von Bewegung [dyn/cm²]

Achtung: Die Karte 11 wird nur gelesen, wenn IFLRMC≠0

Karte 12 (6E12.5)

TMIX	= Mischungszeitkonstante [s]
RPART	= Brennstoff-Partikelradius [cm]
ALFAF	= Thermische Diffusivität des Brennstoffs [cm ² /s]
COALF	= Wärmeleitfähigkeit des Brennstoffs [$\frac{J}{cm \ s \ K}$]
FAKTOR	= Wert, mit dem der Wärmeübergangskoeffizient multipliziert wird (gewöhnlich FAKTOR=1)
TGRENZ	= Schwellwerttemperatur [K], ab der Wärme- übertragung von Brennstoff an Natrium ein- setzt

Achtung: Karte 12 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 13 (6E12.5)

SORAM(10)	= Schwellwert der Temperatur [K], ab dem die Natrium-Dampfdrücke wirksam werden
-----------	--

Achtung: Karte 13 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 14 (6E12.5)

VALUE	= Maximale Zahl der hydrodynamischen Zeitschritte, wenn INDEX=1 (Karte 3) gesetzt wurde. Maximale Maschenverzerrung, wenn INDEX=2 gesetzt wurde
DELT	= Anfangszeitritt [s]
DELTMX	= maximaler Zeitschritt [s]
DELTMN	= minimaler Zeitschritt [s]
TSTOP	= Zeitpunkt, bei dem die programmierte Reaktivitätsfunktion (Karte 23) einen stationären Wert annimmt [s]
TMAX	= Maximale Zeit der Exkursion [s]

Karte 15 (6E12.5)
(R(I,2),I=2,IMAX+2)

= radiale Distanzen [cm] der Knoten vom Zentrum, beginnend vom Zentrum des Reaktorkerns (I=2,R(2,2)=0) bis zur äußeren Begrenzung (I=IMAX+2)

Karte 16 (6E12.5)
(Z(2,I),I=2,JMAX+2)

= axiale Distanz [cm] der Knoten, beginnend von der unteren (J=2) bis zur oberen Grenze (J=JMAX+2)

Karte 17 (6E12.5)

((H(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Leistungsdichten [$1/\text{cm}^3$] in jeder Masche, beginnend in der linken unteren Ecke (2,2) radial bis zur äußeren Begrenzung laufend (IMAX+2,2), dann aufsteigend zur nächsten Ebene (I,3). Diese Prozedur wird wiederholt, bis die äußere obere rechte Ecke des Maschennetzes erreicht ist.

Achtung: Karte 17 wird nur gelesen, wenn IFLPWR=2

Karte 18 (6E12.5)
(RADPSP(I),I=2,IMAX+1)

= Radiale Leistungsverteilung in der Mittelebene, beginnend vom Zentrum des Reaktorkerns bis zur äußeren Begrenzung

Achtung: Karte 18 wird nur gelesen, wenn IFLPWR=2

Karte 19 (6E12.5)
(AXPSHP(I),I=2,JMAX+1)

= Axiale Leistungsverteilung entlang der Zylinderachse, beginnend von unten bis zur oberen Begrenzung

Achtung: Die Karte 19 wird nur gelesen, wenn IFLPWR=2

Karte 20 (8I6,2E12.5)

NDELAY

= Anzahl der Gruppen der verzögerten Neutronen
(max. 6)

ISP(1)

≠ 0 Anzahl der Zeitschritte, bei denen die
erste Zeitschrittmodifikation erfolgt

ISP(2)

≠ 0 Anzahl der Zeitschritte, bei denen die
zweite Zeitschrittmodifikation erfolgt

ISP(3)

≠ 0 Die Parameter, die in den ANL-Zustands-
gleichungen in der Druckiteration be-
nutzt werden, werden durch Eingabe
festgelegt

Bemerkung:

ISP(1) = 0

ISP(2) = 0

ISP(3) = 0

} Keine Zeitschrittmodifikation

Die Default-Werte für die Druckiteration
(SP(3)=0.5) und für das Konvergenzkriterium
des Drucks (SP(4)=0.01) werden benutzt

ISP(4)

= 0 Option nicht wirksam

≠ 0 Die eingegebene Voidverteilung (VFNA(I,J) wird
modifiziert unter Berücksichtigung der thermischen
Expansion des Brennstoffs. Eingabe von SP(6)
und SP(7) notwendig.

ISP(5)

= 0 Anwendung der Default-Werte für WMAX

≠ 0 WMAX wird durch Eingabe festgelegt

ISP(49)

= Maximale Ordnung des Interpolationspolynoms,
mit welchem in der Reaktivitätstabelle inter-
poliert wird

ISP(50)

= 0 Die Reaktivitätstabelle wird nicht einge-
lesen, als Reaktivitätsfunktion wird ein
Polynom zweiter Ordnung verwendet

≠ 0 Anzahl der Punkte in der Reaktivitätstabelle
(≤ 100)

SP(6)

= Temperaturdifferenz $\Delta T [K]$ für die Berechnung
der modifizierten Voidverteilung

SP(7)

= Temperatur $T_l [K]$ für die Berechnung der
modifizierten Voidverteilung

Bemerkung: Die Default-Werte für SP(6) und SP(7) sind 0.0.

Karte 21

(6E12.5)

SP(9)

= L_u , der obere Grenzwert, der für die Zeitschrittsteuerung verwendet wird (Default-Wert

$L_u = 0.2$)

SP(10)

= L_l , der untere Grenzwert, der für die Zeitschrittsteuerung verwendet wird (Default-Wert

$L_l = 0.04$)

Achtung: Karte 21 wird nur gelesen, wenn $ISP(5) \neq 0$

Karte 22

(6E12.5)

BETA(I)

= Anteil der verzögerten Neutronen in der Gruppe i

ALAM(I)

= Zerfallskonstante der Vorläufergruppe i der verzögerten Neutronen [1/s]

C(I)

= Vorläuferkonzentration der i-ten Gruppe [W].

Diese Information wird nicht verwendet, wenn

IFLC=1 (Karte 4)

Achtung: Die Karte 22 wird NDELAY-mal eingelesen ($NDELAY \leq 6$, Karte 20), für jede verzögerte Neutronengruppe eine Karte.

Karte 23

(6E12.5)

DELKO

= Anfangsüberschuß des Neutronenmultiplikationsfaktors ($\Delta k_{eff} = k_{eff}^{-1}$)

AK }
BK }

= Koeffizienten zur Reaktivitätsberechnung während des Disassembly

EL

= mittlere Generationsdauer der prompten Neutronen [s]

XKLIM

= Untere Grenze des effektiven Neutronenmultiplikationsfaktors (Abbruchbedingung)

TCAPRI

= Umschaltzeit [s] der Predisassembly-Phase zur Disassembly-Phase

Karte 24

(6E12.5)

PPSUP

= Obere Grenze der Reaktorleistung [W] (Abbruchbedingung)

PZERO

= Anfangsleistung des Reaktors [W] zu Disassemblybeginn

- PFINAL = Untere Grenze der Reaktorleistung [W]
(Abbruchbedingung)
- RHOVRT = Kritische Brennstoffdichte [g/cm³]. Diese
Größe wird in den dichteabhängigen Zustands-
gleichungen verwendet (empfohlener Wert:
3 g/cm³)
- SP(1) = Erste Zeitschrittmodifikation; Δt und Δt_{\max}
werden SP(1) gleichgesetzt bei der Zeit-
schrittzahl ISP(1) (falls ISP(1) ≠ 0)
- SP(2) = Zweite Zeitschrittmodifikation; Δt und Δt_{\max}
werden SP(2) gleichgesetzt bei der Zeit-
schrittzahl ISP(2) (falls ISP(2) ≠ 0)

Achtung: Wenn ISP(1)=0, wird SP(1) und SP(2) nicht eingegeben.

Karte 25 (6E12.5)

- ESP1 { = Fehlerschranken für die Punktkinetik
ESP2 { werden vom Programm gesetzt
- EPS3 = Obere Grenze der relativen Abnahme der Lei-
stung in einem Zeitschritt, ohne daß der
Zeitschritt reduziert wird
- EPS4 = Obere Grenze der Zunahme der relativen Lei-
stung in einem Zeitschritt, ohne daß der
Zeitschritt reduziert wird

Bemerkung:

Werte für EPS3 und EPS4 im Bereich von 0.05 bis 0.1 sind in den
meisten Fällen ausreichend.

- SP(3) = Parameter der Druckiteration in der ANL-Zu-
standsgleichung
- SP(4) = Konvergenzparameter der Druckiteration in der
ANL-Zustandsgleichung

Bemerkung:

Wenn ISP(3)=0, werden SP(3)=0.5 und SP(4)=0.01 gesetzt.

Karte 26 (6E12.5)
TM(1)
TM(2)
TM(3)

= Die letzten drei Zeitpunkte in der Predisassembly-Phase, für die Reaktivitäts-Feedbackwerte übergeben werden. TM(3) bezeichnet den Beginn der Disassembly-Phase, daher TM(3) = 0.0; TM(1) und TM(2) haben negative Werte (weil alle Zeiten auf den Beginn der Disassembly-Phase bezogen werden.)

XKDIS(1)
XKDIS(2)
XKDIS(3)

= Drei Werte für die Disassembly-Reaktivitätsrückwirkung, die sich auf die drei Zeitpunkte TM(1), TM(2) und TM(3) beziehen. Diese Rückwirkung ist so zu normieren, daß zu Disassembly-Beginn XKDIS(3) = 0.0 ist.

XKDOP(1)
XKDOP(2)
XKDOP(3)

= Drei Werte für die Dopplerrückwirkung, die sich auf die Zeiten TM(1), TM(2) und TM(3) beziehen. Die Normierung ist dieselbe wie für XKDIS

Achtung: Karte 26 wird nur gelesen, wenn IFLXKF=2

Karte 27 (12I6)
JJFCI

= 1 Gemeinsamer Plot für CAPRI-2/KADIS beim Leistungsstörfall

= 0 Kein Plot beim Leistungsstörfall

JFCROW

= Länge des Plotvektors für Leistungsstörfall

JJSLB

= 1 Gemeinsamer Plot für CAPRI-2/KADIS beim Kühlmitteldurchsatzstörfall

= 0 Kein Plot beim Kühlmitteldurchsatzstörfall

JSCROW

= Länge des Plotvektors für Kühlmitteldurchsatzstörfall

Achtung: Karte 27 wird nur gelesen, wenn IPLTEX=1

Karte 28 (6E12.5)
DUMMY
SSPOWR
ENNORM

= DUMMY-Variable

= Stationäre Leistung $[\bar{W}]$

= Normierte Energie $[s]$ am Beginn der Disassembly-Phase

Berechnung:
$$E_N = \int \frac{P(t)}{P_o} dt$$

$P(t)$ = zeitabhängige Leistung

P_0 = stationäre Leistung

CAPD = Dopplerreaktivitätswert aus CAPRI-2 [\$]

Achtung: Karte 28 wird nur gelesen, wenn IPLTEX=1

* Anfang der regionenweise Eingabe *

(Die folgenden Karten werden für jede Region gelesen)

Karte 29 (12I6)

I1(K)

J1(K)

I2(K)

J2(K)

I3(K)

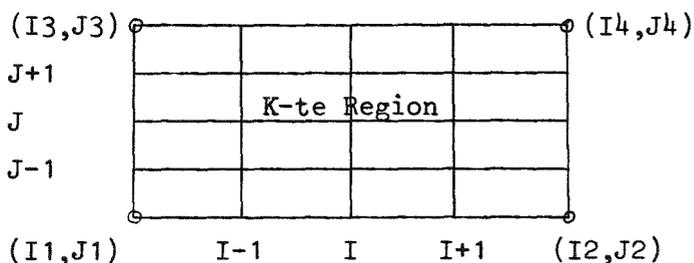
J3(K)

I4(K)

J4(K)

= Indizes der Eckpunkte der K-ten Region.

Der linke untere Eckpunkt beginnt mit (2,2).



IREGKT(K)

= Index der Zustandsgleichung für die K-te Region.

Dieser Parameter wird nur benutzt, wenn IFLKT=1 oder IFLKT=3 gilt. Falls IFLKT=3, muß IREGKT(K) in jenen Regionen null gesetzt werden, in denen die Indizes maschenweise eingelesen werden sollen.

1 = Dampfdrücke werden gemäß KTVAPP (Karte 4) berechnet

2 = Zustandsgleichung von Stratton

3 = ANL-Zustandsgleichung

4 = Blanket- (oder Reflektor-) Zustandsgleichung

5 = BNWL-Zustandsgleichung ohne Natrium

- 6 = BNWL-Zustandsgleichung (Natrium wird inkompressibel behandelt)
- 7 = BNWL-Zustandsgleichung (Natrium wird kompressibel behandelt)
- 8 = Zustandsgleichung für abgebrannten Brennstoff von Fischer-Bogensberger. (Es muß KTVAPP=4 gesetzt werden.)

Karte 30 (12I6)
NRIN

= Zahl der radialen Positionen, an denen Materialreaktivitätswerte für die Region K eingelesen werden

NZIN

= Zahl der axialen Positionen, an denen Materialreaktivitätswerte für die Region K eingelesen werden

NR

= Zahl der radialen Maschen der hydrodynamischen Rechnung in der Region K

NZ

= Zahl der axialen Maschen der hydrodynamischen Rechnung in der Region K

Karte 31 (6E12.5)
ZUP

= Axialer Abstand vom unteren Rand bis zur oberen Grenze der Region K [cm]

ZDN

= Axialer Abstand vom unteren Rand bis zur unteren Grenze der Region K [cm]

RINB

= Radialer Abstand von der Achse bis zum inneren Radius der Region K [cm]

ROUT

= Radialer Abstand von der Achse bis zum äußeren Radius der Region K [cm]

Karte 32 (6E12.5)
(RIN(I),I=1,NRIN)

= Radialer Abstand [cm] der Positionen der Region K, an denen die Materialwerte eingelesen werden

Karte 33 (6E12.5)
 (ZIN(I),I=1,NZIN)

= Axialer Abstand [cm] der Positionen der Region K, an denen die Materialwerte eingelesen werden

Karte 34 (6E12.5)
 WORTH(I,J)

Neubeginn für neue Zeile

= Totale Materialreaktivitätswerte der Masche (I,J) in $\frac{\delta K}{K} / \text{cm}^3$ (die Masche (I,J) befindet sich in der Region K).

Die Werte verlaufen von der linken unteren Ecke der Region K radial bis zum äußeren Rand. Diese Prozedur wird sukzessive für höhere axiale Positionen wiederholt, bis man die rechte obere Ecke der Region erreicht.

Es wird nach folgendem Schema gelesen:

```
DO 50 I=1,NZIN
50 READ ( ) (WORTH(I,J),J=1,NRIN)
```

Karte 35 (6E12.5)

CP0(K)
 CP1(K)
 CP2(K)

= C_p^0
 = C_p^1
 = C_p^2 } Koeffizienten der spezifischen Wärme des Brennstoffs unterhalb des Schmelzpunktes in der Region K

CP3(K)
 CP4(K)
 CP5(K)

= C_p^3
 = C_p^4
 = C_p^5 } Koeffizienten der spezifischen Wärme des Brennstoffs oberhalb des Schmelzpunktes in der Region K

Bemerkung: Die obigen Koeffizienten der spezifischen Wärme werden in allen Zustandsgleichungen außer der ANL-Zustandsgleichung verwendet. Für die ANL-Zustandsgleichung werden die Koeffizienten der Karte 35 nicht verwendet.

Karte 36 (6E12.5)

PRA(K)
PRB(K)
PRC(K)

= } Koeffizienten der BNWL, MARS und Stratton-
= } Zustandsgleichungen in der Region K. Wenn
= } eine andere Zustandsgleichung als die von BNWL,
MARS oder Stratton angelaufen wird, werden
die Koeffizienten nicht verwendet.

TMELT(K)
HFUSE(K)
TOTWO(K)

= Schmelztemperatur des Brennstoffs [K]
= Schmelzwärme des Brennstoffs [J/g]
= Totaler Materialreaktivitätswert der
Region K. Falls TOTWO(K) ungleich 0 ist,
werden die Reaktivitätswerte so normiert,
daß der über die Region integrierte Wert
gleich TOTWO(K) wird.
= 0 Keine Normierung der Materialwerte

Karte 37 (6E12.5)

DOPLA(K)
DOPLB(K)
DOPLC(K)
DOPLN(K)

= a }
= b } Doppler-Feedback-Koeffizienten
= c } $\frac{dk_d}{dT} = a T^{-3/2} + b T^{-1} + c T^{(n-1)}$
= n }

WT(K)

≠ 0 Statischer Wichtungsfaktor der Doppler-
koeffizienten der Region K
= 0 WT(K) wird vom Programm berechnet als
Verhältnis des Regionen-Volumens zum
gesamten Reaktorvolumen

Karte 38 (6E12.5)

RRHOU(K)
RRHONA(K)
RRHOSS(K)
RVFU(K)

= Brennstoffdichte in der Region K [g/cm³]
= Natriumdichte in der Region K [g/cm³]
= Stahldichte in der Region K [g/cm³]
= Brennstoff-Volumenfraktion in der Region K

RVFNA(K) = Natrium-Volumenfraktion in der Region K
RVFSS(K) = Stahl-Volumenfraktion in der Region K

Bemerkung: Alle Dichten sind g Material pro cm³ Material und nicht pro cm³ Maschenvolumen.

Achtung: Karte 38 wird nur gelesen, wenn IFLVF#2

Karte 39 (6E12.5)

TEMPNA(K) = Temperatur des Natriums in der Region K. Der Wert wird nur benutzt, wenn die ANL-Zustandsgleichung verwendet wird
TEMPSS(K) = Temperatur des Stahls in der Region K. Der Wert wird nur bei Verwendung der ANL-Zustandsgleichung benutzt
REGTEM(K) = Mittlere Brennstofftemperatur der Region K [K]
RHOREG(K) = Dichte des Brennstoffs der Region K [g/cm³]
EPSI10(K) = Voidfraktion in der Region K. Wird nur in der Blanket- oder Reflektor-Zustandsgleichung benutzt (KT=4)

Karte 40 (36I2)

((KT(I,J),I=I1(K),I2(K)-1),J=J1(K),J3(K)-1) = Maschenweiser Index der Zustandsgleichung in Region K

Achtung: Die Karte 40 wird nur gelesen, wenn IFLKT=3 und IREGKT(K)=0

Karte 41 (6E12.5)

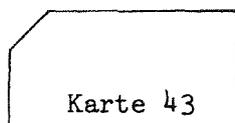
RHOU(I,J) = Maschenweise Brennstoffdichten in der Region K [g/cm³]

Achtung: Die Karte 41 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0

Karte 42 (6E12.5)

RHONA(I,J) = Maschenweise Natriumdichte in der Region K [g/cm³]

Achtung: Die Karte 42 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0

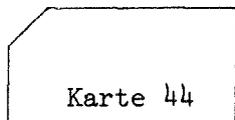


Karte 43 (6E12.5)

RHOSS(I,J)

= Maschenweise Dichte des Stahls in der Region K
[g/cm³]

Achtung: Die Karte 43 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0

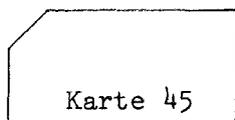


Karte 44 (6E12.5)

VFU(I,J)

= Maschenweise Volumenfraktionen des Brennstoffs
in der Region K

Achtung: Die Karte 44 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0

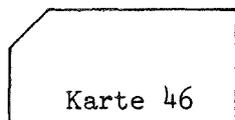


Karte 45 (6E12.5)

VFNA(I,J)

= Maschenweise Volumenfraktion des Natriums

Achtung: Die Karte 45 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0



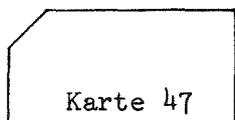
Karte 46 (6E12.5)

VFSS(I,J)

= Maschenweise Volumenfraktionen des Struktur-
materials in der Region K

Bemerkung: Bei den Karten 41-46 läuft der Index I von I=I1(K) bis I2(K)-1
und der Index J von J=J1(K) bis J3(K)-1.

Achtung: Die Karte 46 wird nur gelesen, wenn IFLVF=3 und RHOREG(K)=0



Karte 47 (6E12.5)

EA(K) = 42870.0
EB(K) = 5958.0
EC(K) = 4356.0
ED(K) = 99.2
EE(K) = 1271.0
EF(K) = 163.4
EG(K) = - 466.0

} Koeffizienten der BNWL-Zustandsgleichung
(Empfohlene Werte, siehe /Sha 70/)

EH(K) = - 10730.0
EI(K) = 49740.0
EJ(K) = - 49830.0
EAA(K) = 55.455
EBB(K) = - 78847.0
ECC(K) = - 4.2808
EGG(K) = 0.666
EHH(K) = 0.048
EII(K) = 2.4877

} Koeffizienten der BNWL-Zustandsgleichung
(Empfohlene Werte, siehe /Sha 70/,
Appendix A)

Achtung: Die Karte 47 wird nur gelesen, wenn $5 \leq KT(I,J) \leq 7$ für irgendein
(I,J) in der Region K gilt

* Ende der regionenweisen Eingabe *

Karte 48 (36I2)

((KT(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Eingabe der Indizes für
die Zustandsgleichungen

Achtung: Karte 48 wird nur gelesen, wenn IFLTHT=2

Karte 49 (6E12.5)

((THETA(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Eingabe der Brennstoff-
temperatur [K]

Achtung: Karte 49 wird nur gelesen, wenn IFLTHT=2

Karte 50 (6E12.5)

((TCOOL(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Eingabe der Natrium-
temperaturen [K]

Achtung: Karte 50 wird nur gelesen, wenn IFLCAP=1

Karte 51 (6E12.5)

((TBET(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Eingabe der Stahl-
temperaturen [K]

Achtung: Karte 51 wird nur gelesen, wenn IFLCAP=1

Karte 52

(6E12.5)

((RHOU(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Dichten des Brennstoffs
[g/cm³]

Achtung: Karte 52 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 53

(6E12.5)

((RHONA(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Dichten des Natriums
[g/cm³]

Achtung: Karte 53 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 54

(6E12.5)

((RHOS(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Dichten des Stahls
[g/cm³]

Achtung: Karte 54 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 55

(6E12.5)

((VFU(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Volumenfraktionen des
Brennstoffs

Achtung: Karte 55 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 56

(6E12.5)

((VFNA(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Volumenfraktionen des
Natriums

Achtung: Karte 56 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 57

(6E12.5)

((VFSS(I,J),I=2,IMAX+1),J=2,JMAX+1) = Maschenweise Volumenfraktionen des
Strukturmaterials

Achtung: Karte 57 wird nur gelesen, wenn IFLVF=2

Karte 58

(6E12.5)

AVTEMP = Massengemittelte Anfangstemperatur des
Brennstoffs im Reaktorkern [K]

Achtung: Karte 58 wird nur gelesen, wenn IFLTHT=3 oder IFLTHT=5

Karte 59

(6E12.5)

((THETA(I,J),I=I1(K), I2(K)-1),J=J1(K),J3(K)-1) = Maschenweise Brennstoff-
temperaturen in der Region K
[K]

Achtung: Karte 59 wird nur gelesen, wenn REGTEM(K)=0 und IFLTHT=4

Karte 60

(6E12.5)

- EPMAX = 600.0
- EVRMIN = 0.315
- EVRMAX = 0.5
- EM = 270.0
- EVC = 88.614
- ERHOST = 8.74
- EALPH = $1.05 \cdot 10^{-4}$
- ETSTAR = 3070.0
- EPPRIM = 2000.0
- EBETAS = $3.0 \cdot 10^{-5}$
- EPSTAR = $1.0 \cdot 10^5$
- EROMIN = 2.99
- EROMAX = 8.74

Koeffizienten, die benutzt werden, wenn
die BNWL-Zustandsgleichung angesteuert
wird. Die Karte wird nicht gelesen,
wenn eine andere Zustandsgleichung an-
gesteuert wird.
(Empfohlene Werte, siehe /Sha 70/,
Appendix A)

** Eingabe für abgebranntes Core **

Karte 61

(6E12.5)

(AFIS(I),I=2,IMAX+1) = Spaltgasgehalt für jeden Kanal

Achtung: Karte 61 wird nur gelesen, wenn KT(I,J)=8 und KTVAPP=4

Karte 62

(6E12.5)

(PUFRAC(I),I=2,IMAX+1) = Plutoniumanteil für jeden Kanal

Achtung: Karte 62 wird nur gelesen, wenn KT(I,J)=8 und KTVAPP=4

Karte 63 (6E12.5)

((TBET(I,J),I=2,IMAX+2),J=2,JMAX+2) = Brennstofftemperatur [K] bei Vollast
(Betriebstemperatur)

Achtung: Karte 6³ wird nur gelesen, wenn KT(I,J)=8 und KTVAPP=4

Karte 64 (6E12.5)

SORAM(31) = Stöchiometrie des Brennstoffs (SORAM(31)=1.98
im Normalfall)

BUAVG = Mittlerer Abbrand (3 % entspricht BUAVG=0.03)

SORAM(32) = Wirksamer Anteil des Dampfdruckes der Spalt-
produkte, die proportional zur Brennstoff-
Schmelzfraction freigesetzt werden

$$0 \leq \text{SORAM}(32) \leq 1$$

SORAM(33) = Wirksamer Anteil des Dampfdruckes der Spalt-
produkte, wenn die Freisetzung erst bei 80 %
Brennstoff-Schmelzfraction beginnt und bei
100 % abgeschlossen ist.

$$0 \leq \text{SORAM}(33) \leq 1$$

Bemerkung: Für ein "vernünftiges" Modell gilt
entweder SORAM(32)≠0, SORAM(33)=0
oder SORAM(33)≠0, SORAM(32)=0

SORAM(34) = Wirksamer Anteil des Spaltdelgasdruckes
 $0 \leq \text{SORAM}(34) \leq 1$

Bemerkung: Die in der Brennstoffmatrix gelösten Edelgase sowie diejenigen
Edelgasanteile, die in Blasen vorhanden sind, werden proportional
zum Brennstoffschmelzanteil freigesetzt.

Achtung: Karte 64 wird nur gelesen, wenn KT(I,J)=8 und KTVAPP=4

** Ende der Eingabe für abgebranntes Core **

** Eingabe für Brennstoff-Natrium-Reaktionen (BNR) **

Karte 65

(12I6)

(IFAS(I),I=2,IMAX+1)

= Phasenkennzeichnung der BNR in den Kanälen:

0 = keine BNR

1 = BNR in Phase 1

2 = BNR in Phase 2

Achtung: Karte 65 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 66

(12I6)

(IUN(I),I=2,IMAX+1)

= IUN(I)+1 ist die untere Grenz-
masche zum flüssigen Natrium

Achtung: Karte 66 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 67

(12I6)

(ION(I),I=2,IMAX+1)

= ION(I)+1 ist die obere Grenzmasche zum
flüssigen Natrium

Achtung: Karte 67 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 68

(6E12.5)

(TIMFCI(I,1),I=2,IMAX+1)

= BNR-Zeit der Kanäle [s]

Achtung: Karte 68 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

Karte 69

(6E12.5)

(TUFC(I,1),I=2,IMAX+1)

= Brennstofftemperatur in den Kanälen mit
BNR [K]

Achtung: Karte 69 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

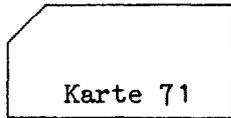
Karte 70

(6E12.5)

(WUN AFC(I),I=2,IMAX+1)

= Brennstoff zu Natrium Massenverhältnis in
den Kanälen mit BNR

Achtung: Karte 70 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1



Karte 71 (6E12.5)

(DPDTFC(I), I=2, IMAX+1)

= Druckänderungsrate (dp/dt) am Umschaltpunkt
in den Kanälen mit BNR [dyn/cm²s]

Achtung: Karte 71 wird nur gelesen, wenn IFLFCI=1

**** Ende der Eingabe der Brennstoff-Natrium-Reaktionsparameter ****

3.2.2 Programmsteuerung

Erläuterungen

KADIS-Rechenlauf

```
// JOB Karte
// * MAIN LINES=....
// EXEC FHG,LIB=KADBIB,NAME=KADIS76
//G.FT08FOO1 DD UNIT=3330,VOL=SER=KAPROS,           Dampfdrucktemperaturtabelle
// DSN=SCHMUCK.TEMP.DRUCK,
// DISP=SHR
//G.FT11FOO1 DD UNIT=TAPE7,VOL=SER=...,           Ausgabe für ARES
// DISP=(,PASS),DSN=...,LABEL=(1,NL),
// DCB=(BLKSIZE=3400,LRECL=136,RECFM=FB,TRTCH=ET,DEN=1)
//G.F19FOO1 DD UNIT=...,VOL=SER=...,           File für gemeinsame CAPRI-2/
// DISP=(,KEEP),DSN=...,           KADIS Plotausgabe
// DCB=(RECFM=VBS,BLKSIZE=6500),SPACE=(TRK,(5,5),RLSE)
//G.FT20FOO1 DD UNIT=TAPEX,VOL=SER=...,           Reaktivitätstabelle
// DSN=...,DISP=(OLD,PASS),
// LABEL=(...,SL,,IN)
//G.FT28FOO1 DD UNIT=3330,VOL=SER=TSTLIB,           Plotdaten für Temperaturen,
// DISP=(,KEEP),DSN=PL1.INRXXX,           Druck etc. (XXX = Benutzer-
                                           nummer)
// DCB=(RECFM=VBS,BLKSIZE=4000),SPACE=(TRK,(5,5),RLSE)
//G.FT30FOO1 DD UNIT=3330,VOL=SER=TSTLIB,           Plotdaten des Maschennetzes
// DISP=(,KEEP),DSN=PL2.INRXXX,           (XXX = Benutzernummer)
// DCB=(RECFM=VBS,BLKSIZE=4000),SPACE=(TRK,(5,5),RLSE)
//G.FT31FOO1 DD UNIT=3330,VOL=SER=TSTLIB,           Steuereingabe für das Plot-
// DISP=(,KEEP),DSN=CON.INRXXX,           programm PLOTCP
// DCB=(RECFM=F,LRECL=80,BLKSIZE=80),SPACE=(TRK,(1,2),RLSE)
//G.SYSIN DD *
```

KADIS-Eingabe-File gemäß KADIS-Eingabebeschreibung (Abschnitt 3.2.1)

```
/ *
//
```

JCL des Plotlaufs

```
//-JOB-Karte
// EXEC EBCDIC,PARM.S=NOCO,REGION=2OK
//S.LISTE DD SYSOUT=A
//S.SYSIN DD UNIT=...,VOL=SER=...,DSN=...,DISP=SHR

                STATOS
// EXEC PLOTCP,PLOT=  CALCOMP ,
                XYNETICS

//L.SYSLIN DD UNIT=3330,VOL=SER=KAPROS,DSN=ARNE.KADI.OBJ,DISP=SHR
//G.FT30FOO1 DD UNIT=...,VOL=SER=...,DSN=...,DISP=SHR
//G.FT28FOO1 DD UNIT=...,VOL=SER=...,DSN=...,DISP=SHR
//G.PLOTTAPE DD UNIT=TAPE9,LABEL=(,NL),DCB=DEN=2,VOL=SER=WXXXYZ
//G.SYSIN DD DSN= &EBCDIC,DISP=(OLD,DELETE)
/*
//                                                    //
```

Anmerkungen zur JCL des Rechenlaufes

Erläuterungen

Stationäre DD-Karte

FT08FOO1

Zustandsdaten der Dampfdruck-Temperatur-
tabelle. Wird in jedem Lauf gelesen.

Nicht stationäre DD-Karten

FT11FOO1

Auf die Einheit dieser DD-Karte wird die
ARES-Ausgabe geschrieben, wenn auf Eingabe-
karte 5 (3. Größe) IARES > 0

Erläuterungen

- FT19FO01 File für gemeinsame CAPRI-2/KADIS Plot-
ausgabe. Diese DD-Karte wird nur be-
nötigt, wenn auf Eingabekarte 5 (8. Größe)
IPLTEX = 1
- FT20FO01 File für Reaktivitätstabelle. DD-Karte
wird benötigt, wenn ISP(50) \neq 0 auf
Eingabekarte 20 (8. Größe)
- FT28FO01 File für Plotkarten der Drücke, Temperaturen
u.a. Die DD-Karte wird benötigt, wenn
ISTEP2 = 1 auf Eingabekarte 4 (1. Größe)
- FT30FO01 File für Maschennetzplot. Die DD-Karte
wird benötigt, wenn IOTCRT = 1 auf Ein-
gabekarte 3 (7. Größe)
- FT31FO01 File für Steuereingabe des PLOTCP-Programms.
Diese DD-Karte wird immer benötigt, wenn
ISTEP2 = 1 oder IOTCRT = 1 (s.o.)

Anmerkungen zur JCL des Plotlaufs

Die Zeichenkette WXXXYZ auf der DD-Karte für das Plotband hat folgendes
Aussehen:

- | | | | |
|-----|---|---|--|
| W | { | S | Statos-Plotter |
| | | P | Calcomp-Plotter |
| | | X | XYNETICS-Plotter |
| XXX | | | Benutzernummer aus Jobnamen |
| YZ | | | Alphanumerische Kennung der letzten
beiden Zeichen des Jobnamen |

EBCDIC-Step

SYSIN-Karte

Eingabe zur Steuerung des PLOTCP-Programms.
Dieser Datensatz wird im KADIS-Lauf auf
FT31F001 geschrieben.

PLOTCP-Step

FT28F001

Datensatz für Temperaturen, Drücke u.a. vom
KADIS-Lauf.

FT30F001

Datensatz für Maschennetzplot vom KADIS-Lauf.

SYSIN-Karte

Dieser Datensatz wurde im EBCDIC-Step (s.o.)
erstellt und enthält die unveränderte Steuer-
eingabe für das PLOTCP-Programm.

SYSLIN-Karte

Für die meisten KADIS-Läufe ist die Dimen-
sionierung in dem Dataset ARNE. KADI. OBJ
ausreichend. Bei einer notwendigen Erweiterung
wird nach der Beschreibung des PLOTCP-Pro-
gramms /Zim 75/ verfahren.

3.2.3 Overlay-Struktur und Übersicht über die verwendeten Funktionen und Routinen

Im folgenden wird die Eingabe für den Linkage Editor beschrieben sowie eine kurz kommentierte Übersicht über die verwendeten Funktionen und Routinen gegeben.

Linkage Editor Eingabe-Karten

OVERLAY A

INSERT INPUT,BURNUP,DDTEST,FCIN,FDEN,FISSI,FORM,INTERP,MASCAL,RTAB
INSERT DDDRU,WRIT1,WRIT2,WRIT3,WRIT4

OVERLAY A1

INSERT CUTWAY,HOLLER

OVERLAY A1

INSERT RETEST

OVERLAY A1

INSERT DATEST

OVERLAY A

INSERT INTEGR,DOP,EQUSTA,FITZ,GAS,HYDRO,ITERAT,MOLTU,PKTETS,PLOTDY
INSERT PLSET,PLORA

OVERLAY A

INSERT MECENG,YPPER\$\$
ENTRY MAIN

Übersicht über verwendete Funktionen und Routinen

Segment 1 (Rootsegment)

MAIN	Anlegen dynamisch dimensionierter Felder
AITKEN	Interpolation nach AITKEN (beliebige Ordnung)
CONTR	Steuerprogramm
CONVY	Konvertieren von interner Zahlendarstellung in alphanumerische Darstellung
DATUM	Zugriff auf Datum und Uhrzeit
DISPLY	Druckprogramm zur zweidimensionalen Darstellung von Größen (Genauigkeit auf 3 Stellen begrenzt)
EOS5	BNWL-Zustandsgleichung ohne Natrium
EOS67	BNWL-Zustandsgleichung mit Berücksichtigung von Natrium (inkompressibel bzw. kompressibel)
JOBNAM	Zugriff auf Jobnamen
PRIDIS	Drucken der Eingabegrößen
REGION	Zugriff auf Regionparameter der Jobkarte
XTAREA	Bereitstellen von Arbeitspuffern

Labeled Common Bereiche

HYDRAN
TOTAL
SP1



Diese Common-Bereiche stehen auch in den anderen
Segmenten zur Verfügung und werden dort von vielen
Routinen benützt

Segment 2

BURNUP	Berechnung des Abbrands gemäß der Leistungs- verteilung
DDDRU	Druckprogramm für die Routine DDTEST, wenn DD-Karten in der ICL fehlen
DDTEST	Programm zum Abfragen auf vorhandene Datensteuer- karten im laufenden Job
FCIN	Einlesen der FCI-Eingabe
FDEN	Berechnung von neuen Volumsfraktionen des Natriums, die den Void einer Masche für eine vorgegebene Brennstofftemperatur eliminieren
FISSI	Berechnung des Spaltgases an den Korngrenzen
FORM	Ausdrucken von zweidimensionalen Eingabefeldern mit hoher Genauigkeit (variables Format)
INPUT	Einlesen der Eingabe
INTERP	Berechnung der Wertkurvengradienten, Normierung der Leistungsverteilung und der Materialwerte
MASCAL	Berechnung der Brennstoffmassen für zwei ver- schiedene Core-Bereiche
RTAB	Einlesen der Reaktivitätstabelle
WRIT1,WRIT2, WRIT3,WRIT4	Druckprogramme zur Ausgabe der Eingabedaten

Segment 3

CUTWAY Programm zum Drucken eines Core-Längsschnitts,
in dem die Regionen eingetragen sind

HOLLER Umsetzen einer Zahl in interner Darstellung
in alphanumerische Darstellung

Segment 4

RETEST (mit Entry TEST3)
Überprüfen der regionenweisen Eingabe

Segment 5

DATEST (mit Entries TEST1 und TEST2)
Überprüfen von Eingabedaten

Segment 6

DOP Berechnung der Dopplerrückwirkung mit massen-
gemittelten Brennstofftemperaturen

EQUSTA Enthält die Zustandsgleichungen mit Nr. 1-4
(vgl. Abschnitt 3.2.1) falls BNWL-Zustandsgleichungen
oder die Zustandsgleichungen für abgebrannten Brenn-
stoff verwendet werden, ruft EQUSTA spezielle Unter-
programme auf

FITZ Berechnung von Polynomkoeffizienten zweiter Ordnung
für die Punktkinetik

GAS	Berechnung von Spaltgas und Spaltprodukt- Drucken
ITERAT	Initialisierung der Punktkinetik, falls der Verlauf der Reaktivität nicht für den ersten Zeitschritt extrapoliert werden kann
INTEGR	Berechnung der Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung
MOLTU	Berechnung der Masse und mittleren Temperaturen des geschmolzenen Brennstoffs
PKFETS	Lösung der punktkinetischen Gleichungen
PLORA	Plot des Lagrange'schen Gitter
PLOTDY	Programm zum Erstellen der unformatierten Eingabesätze der zeitabhängigen Größen
PLSET	Programm zum Erstellen der formatierten Steuer- eingabe für den Maschennetzplot

Segment 7

MECENG	Berechnung der mechanischen Energiefreisetzung und der Menge verdampften Brennstoffs
PLOWR	Erstellung der formatierten Steuereingabe der zeitabhängigen Plotgrößen
YPER\$\$	Ausdrucken von integralen Ergebnisgrößen am Ende einer KADIS-Rechnung

3.3 Ausgabebeschreibung

In diesem Abschnitt wird lediglich ein Überblick gegeben, da die KADIS-Ausgabe größtenteils selbsterklärend ist. Wird nichts anderes vermerkt, sind Temperatur, Leistung und Energie in Kelvin, Watt bzw. Joule und die übrigen Größen im CGS-Einheitensystem angegeben. Zunächst die Drucker-Ausgabe, die der KADIS-Benutzer in jedem Falle erhält:

3.3.1 Minimale Drucker-Ausgabe

Die Druckerausgabe beginnt mit einer Reproduktion der Eingabe. Es folgt eine Angabe zur Größe der benutzten Computer-REGION, außerdem ein Diagramm der Reaktorregionen. Das sich anschließende Rechenprotokoll informiert über den zeitlichen Verlauf von Leistung, Energie, k_{eff} , Doppler-Rückwirkung, Materialverschiebungsrückwirkung mit radialem und axialem Anteil sowie Indizes zur Gitterverzerrung und numerischer Stabilität. Im Rechenprotokoll erscheint eine Nachricht, falls der Stabilitätsindex den Wert 1,0 übersteigt, oder wie die Zeitschrittlänge geändert wurde, oder falls die Druck-Kompressibilitäts-Iteration bei der Druckberechnung nicht konvergiert.

Nach dem Protokoll erscheinen Wertetafeln, die mit begrenzter Genauigkeit die Verschiebungen, Geschwindigkeiten, Drücke, Dichten und Temperaturen in jeder Gitterzelle am Ende der Disassemblyrechnung enthalten. Die ausgedruckten Werte sind auf drei Ziffern begrenzt. Der angegebene Maximalwert legt die Größenordnung fest. Werte, die um mehr als drei Größenordnungen kleiner sind als der Maximalwert erscheinen als Nullen. Danach findet sich ein Hinweis auf die Gesamtzahl der durchgeführten Druckiterationen.

In einer mit 'KADIS SELECTED RESULTS' überschriebenen Liste sind dann die wichtigsten Ergebniszahlen zusammengefaßt. Darunter findet man die Energie und die Masse des geschmolzenen Brennstoffs, die Maximalwerte von Druck, Temperatur und Leistung sowie die radialen und axialen Verschiebungen und Geschwindigkeiten. Am Schluß der Normalausgabe stehen die Ergebnisse der Berechnungen zur Umwandlung in mechanische Energie und Menge des verdampften Brennstoffs bei Entspannung des Dampfes auf 1 Bar.

3.3.2 Steuerbare Drucker-Ausgabe

Der KADIS-Benutzer erhält zusätzliche Informationen zur Minimalausgabe durch entsprechende Wahl der Steuerparameter im Kopf der Eingabe. Die steuerbare Drucker-Ausgabe ist so umfangreich, daß davor zu warnen ist, sie für jede Rechnung zu verlangen.

Durch die Spezifikation IOUTA = 2 erhält man zunächst eine selbsterklärende Ausgabe der Eingabedaten in aufbereitender Form einschließlich der Materialwertgradienten.

Die folgenden vier Angaben werden nach jedem Zeitschritt gemacht und erscheinen im Rechenprotokoll.

- (1) (IFLDIS \neq 0): Radialer und axialer Anteil der Bewegungsrückwirkung in jeder Region. Die Summe dieser Anteile ist meistens etwas verschieden von XADISP, weil XKDISP bereits ein extrapoliertes Wert ist, während die Anteile aus der aktuellen Bewegung während des laufenden Zeitintervalls bestimmt werden.
- (2) (IFLRDP \neq 0): Anteile der Doppler-Rückwirkung für jede Region. Für die Summe der Anteile gilt dasselbe wie bei (1).
- (3) (IFLMOL \neq 0): Energie, massengewichtete, mittlere Temperatur und Masse des geschmolzenen Brennstoffs.
- (4) (IFLTRA \neq 0): Massengewichtete, mittlere Temperaturen in ausgewählten (ITRA(I)) Regionen.

Die folgenden zwei Ausgaben erscheinen in einem vorgebbaren Zyklus. Es werden jeweils die neuesten Werte der Materialverschiebungen und -geschwindigkeiten, der totalen und pseudoviskosen Drücke, der Gesamtdichte und der Brennstofftemperaturen für jeden Gitterpunkt bzw. jede -zelle ausgedruckt.

(5) (IOUTB \neq 0): Dreistellige Festkommawerte mit Maximalwert. Zyklus der Ausgabe durch ICYCLB zu bestimmen.

(6) (IOUTA = 1): Siebenstellige Gleitkommawerte. Zyklus der Ausgabe durch ICYCLA zu bestimmen. Die Ausgabe kann durch Vorgabe der Maximalzahl der Ausgaben (INUMBA) begrenzt werden.

Bei der Ansteuerung der Zustandsgleichung Nr. 8 für abgebrannten Mischoxidbrennstoff (KTVAPP = 4; KT(I,J)=8) oder bei Einschaltung der Brennstoff-Natrium-Wechselwirkung (IFLFCI = 1) erhält man eine Ausgabe der bei diesen Optionen zusätzlichen Eingabeparameter.

3.3.3 Grafische Ausgabe

Die grafische Ausgabe wird nicht von KADIS erzeugt, sondern von einem speziellen PLOT-Programm (PLOTCP) /Zim 75/. Dies macht die Datenübertragung von KADIS an PLOTCP erforderlich. Ferner verlangt das PLOT-Programm eine zusätzliche Steuereingabe, die auf der Einheit 31 bereitgestellt wird. Auf eine Erläuterung dieser Steuereingabe für PLOTCP wird hier aus Platzgründen verzichtet.

Für die grafische Ausgabe stehen folgende Optionen zur Verfügung:

(1) (IOTCRT \neq 0) Plot des Lagrange-Gitters in einem bestimmten Zyklus (ICYCLT)

(2) (ISTEP2 = 1) Plots des zeitlichen Verlaufs folgender Größen: Gesamtleistung, Energie = integrierte Leistung, Doppler-Reaktivität, Materialbewegungsreaktivität mit radialem und axialem Anteil.

(3) (IFLMOL = 2) Zusätzlich zu Option (2) Plots des zeitlichen Verlaufs der Energie, Masse und mittleren Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs.

(4) (IFLTMP = 1, IFLPRS = 1) Plots des zeitlichen Verlaufs von Temperatur und Druck an maximal 10 (NTMPT, NPRST) frei wählbaren (ITMPPT(I), JTMPPT(I), IPRSPT(I), JPRSPT(I)) Gitterpositionen.

(5) (IFLTRA = 2) Zusätzlich zu (4) Plots des zeitlichen Verlaufs der mittleren Temperatur bestimmter Regionen (ITRA(I)).

Die Daten des Lagrange-Netzes werden für jeden spezifizierten Zeitschritt unformatiert auf die Einheit 30 geschrieben. Die übrigen zeitabhängigen Größen werden auf der Einheit 28 übergeben, ebenfalls unformatiert. Im folgenden wird der Aufbau dieser Dateien eingehender beschrieben. Im Sinne von IBM System /370-FORTRAN IV haben alle vorkommenden Variablen Standardlänge, nämlich 4 Bytes. Der jeweilige Typ ist durch I für INTEGER oder R für REAL gekennzeichnet. Ein logischer Satz ist durch eine READ/WRITE-Liste definiert.

Unformatierte KADIS-Ausgabe zum Plotten des Lagrange-Maschennetzes

	Logischer Satz	Variablentyp	Bedeutung der Variablen
1	IOTCRT,	I	Steuervariable. Wenn IOTCRT \neq 0, wird eine Maschennetzausgabe erzeugt
	ICYCLT,	I	Frequenz der Maschennetz-Ausgabe
	NCYCLE	I	Laufende Zyklus-Nummer
<i>Wenn NCYCLE = 0, folgt Satz 2, sonst Satz 3</i>			
2	(TEXT(I),I=1,20),	R	Textfeld
	KZE	I	Länge des folgenden Datenvektors; hier KZE = 2
<i>Wenn NCYCLE = 0, erscheint Satz 3 insgesamt (IMAX+1+JMAX+1)mal, sonst $\lfloor (IMAX+1) * (JMAX+1) \rfloor$ mal.</i>			
3	X, Y	R	Koordinatenpaar [cm] für das Maschennetz
<i>Dateiende</i>			

Unformatierte KADIS-Ausgabe zum Plotten zeitabhängiger Größen

	Logischer Satz	Variablen- typ	Bedeutung der Variablen
1	(A(I),I=1,20), KZ	I I	Textfeld Anzahl der 4 Bytes-Worte des folgenden logischen Satzes
<i>Der folgende Satz wird für jeden hydrodynamischen Zyklus erstellt.</i>			
2	T1, PZER1, Y1, XK1, XKDOP1, XKDIS1, XDKIS2, XKDIS3, AVTEMP, } XMSU, } <i>Nur,</i> EGSU, } <i>wenn</i> <i>IFLMOL=2</i>	R R R R R R R R R R R	Zykluszeit [ms] Nukleare Leistung [MW] Erzeugte Energie [MWs] Netto-Reaktivität [§] Doppler-Reaktivität [§] Disassembly-Reaktivität [§] Radialer Anteil der Disassembly-Reaktivität [§] Axialer Anteil der Disassembly-Reaktivität [§] Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs [K] Masse [kg] und Energie [MWs] des geschmolzenen Brennstoffs
	(SUBTH1(I),I=1,NTMPPT) <i>Nur, wenn IFLTMP=1</i>	R	Brennstofftemperatur [K] in NTMPPT ausgewählten Maschen
	(SUBPRI(I),I=1,NPRSPT) <i>Nur, wenn IFLPRS=1</i>	R	Druck [bar] in NPRSPT ausgewählten Maschen
	(THBAR1(I),I=1,IFLZ), <i>Nur, wenn IFLTRA=2</i>	R	Mittlere Brennstofftemperatur [K] in IFLZ ausgewählten Regionen
	XREAC	R	Reaktivitätseinsatz [§] (Rampe)

3.3.4 Ausgabe für Tankbelastungsrechnungen

Soll mit den Ergebnissen von KADIS weitergerechnet werden, um die Reaktorbehälterbelastung zu bestimmen, ist es möglich (IARES \neq 0), die relevanten Daten auf der Einheit 11 zu übergeben. Ursprünglich war diese Datenübergabe für das ARES-Programm /Doe 72/ bestimmt. Eine Weiterverarbeitung dieser Datei durch andere Programme und für andere Zwecke ist denkbar. Deshalb wird diese Ausgabe im folgenden ausführlich beschrieben.

Es stehen drei Ausgabe-Optionen zur Auswahl:

- (1) (IARES=1) Koordinaten des KADIS-Maschennetzes, Dichte, Volumenanteile und Temperatur von Brennstoff, Kühlmittel und Strukturmaterial in jeder Masche zu Beginn der KADIS-Rechnung. Gesamtleistung und Leistungsverteilung für jeden Zeitschritt.
- (2) (IARES=2) Wie (1) und zusätzlich dieselben Größen am Ende der KADIS-Rechnung.
- (3) (IARES>2) Wie (1), jedoch nicht für jeden Zeitschritt, sondern mit der Frequenz IARES.

Die Datei ist sequenziell aus formatgebundenen FORTRAN-Sätzen aufgebaut. Ein FORTRAN-Satz ist durch die Formate 10A8 für Text, 16I5 für ganze Zahlen oder 5D16.9 für Gleitkommazahlen festgelegt, besteht also in jedem Fall aus 80 Zeichen. Ein logischer Satz ist i.a. umfassender und ist im Sinne von FORTRAN durch eine READ/WRITE-Liste definiert. In der folgenden Dateibeschreibung sind diese logischen Sätze in der Reihenfolge ihrer Ausgabe durchnumeriert.

Formatierte ARES-Ausgabe

	logischer Satz	FORTTRAN- Format	Bedeutung der Variablen
1	NT	16I5	Länge des folgenden Kommentars, d.h. Anzahl der Zeichen geteilt durch 8
2	(TEXT(I),I=1,NT)	10A8	Kommentar
3	(DIMT(I),I=1,2), (DIMX(I),I=1,2), (DIMV(I),I=1,2), (DIMP(I),I=1,2), (DIMRHO(I),I=1,2), (DIMVOL(I),I=1,2), (DIMTEMP(I),I=1,2), (DIMW(I),I=1,2), (DIMWT(I),I=1,2)	10A8	Physikalische Dimension der Zeit TT,T der Koordinaten R und Z der Geschwindigkeiten VR und VZ des Druckes P der Dichte RHO der Volumenanteile VOL der Temperatur TEMP der spezifischen Leistung W der Gesamtleistung WT
4	TT	5D16.9	Anfangs- oder Endzeitpunkt
5	IM, KM, IA	16I5 " "	Anzahl Gitterpunkte in radialer Richtung Anzahl Gitterpunkte in axialer Richtung Ausgabeindikator IA=IARES-1 1 :: Ausgabe der Daten R,Z,VR,VZ,P, RHO,VOL und TEMP zum Endzeitpunkt ≠1 :: Keine Ausgabe zum Endzeitpunkt
6	((R(I,K),I=1,IM), K=1,KM)	5D16.9	R-Koordinate für jeden Gitterpunkt
7	((Z(I,K),I=1,IM), K=1,KM)	"	Z-Koordinate für jeden Gitterpunkt
8	((VR(I,K),I=1,IM), K=1,KM)	" "	radiale Geschwindigkeit für jeden Gitterpunkt
9	((VZ(I,K),I=1,IM), K=1,KM)	"	axiale Geschwindigkeit für jeden Gitterpunkt
10	((P(I,K),I=1,IM+1), K=1, KM+1)	"	Druck in jedem Volumenelement, wobei (P(1,K),P(IM+1,K),K=1,KM+1) und (P(I,1).P(1,KM+1),I=1,IM+1) die Drücke auf dem Rande sind

	logischer Satz	FORTRAN- Format	Bedeutung der Variablen
11	((RHO(I,K),I=2,IM), K=2,KM)	5D16.9	Dichte von Brennstoff
12	" "	"	Natrium und
13	" "	"	Stahl in jedem Volumenelement
14	((VOL(I,K),I=2,IM) K=2,KM)	"	Volumenanteil von Brennstoff
15	" "	"	Natrium und
16	" "	"	Stahl in jedem Volumenelement
17	((TEMP(I,K),I=2,IM) K=2,KM)	"	Temperatur von Brennstoff
18	" "	"	und Natrium in jedem Volumenelement
<i>Dateiende, falls TT (Satz 4) der Endzeitpunkt ist.</i>			
19	T,	5D16.9	Zeitpunkt mit berechneter Leistungs- verteilung
	WT	"	Gesamtleistung zur Zeit T
<i>Falls letztes T (Satz 19) negativ und IA=1 (Satz 5) werden Sätze 4 bis 18 für den Endzeitpunkt wiederholt.</i>			
<i>Falls letztes T negativ und IA ≠ 1: Dateiende.</i>			
<i>Falls letztes T positiv, folgt</i>			
20	((W(I,K),I=2,IM), K=2,KM)	5D16.9	spezifische Leistung in jedem Volumenelement zur Zeit T
<i>Die Sätze 19 und 20 werden solange wiederholt, bis der Endzeitpunkt erreicht ist. Dann wird in Satz 19 ein negatives T geschrieben.</i>			

3.3.5 Fehlernachrichten, Warnungen

Der größte Teil der Fehlermeldungen, die in der Schnelldrucker-Ausgabe erscheinen, wird von den speziellen Eingabeprüfroutinen von KADIS ausgegeben. Jeder Eingabegröße ist ein bestimmter Wertebereich zugeordnet. Wird festgestellt, daß eine Eingabedate nicht in ihrem Wertebereich liegt, erscheint eine entsprechende Meldung mit der Bezeichnung 'WARNING:'. Mit großer Wahrscheinlichkeit liegt dann ein Eingabefehler vor. Korrigierende Maßnahmen unternimmt KADIS allerdings nicht.

Weitere Meldungen betreffen den Rechenablauf: Wird der Zeitschritt durch die automatische Zeitschrittanpassung verkleinert oder vergrößert, wird dies mit Angabe des Grundes mitgeteilt. Ferner erscheint eine Meldung, wenn die Kompressibilitätsiteration bei der Druckberechnung schlecht oder gar nicht konvergiert. Schließlich wird noch gemeldet, welches Abbruchkriterium zur Beendigung der Rechnung geführt hat.

Die folgende Aufstellung enthält die Meldungen in lexigrafischer Anordnung. Da die Mitteilungen zum großen Teil selbsterklärend sind, sind die zusätzlichen Erläuterungen bewußt knapp gehalten. Nach dem Text der Meldung ist in der nächsten Zeile vor den Erläuterungen zunächst die Routine angegeben, von der die Meldung ausgegeben wird und ob die Rechnung abgebrochen wird. Bei den Meldungen der Eingabeprüfroutinen folgt nach der Angabe des Absenders der gültige Wertebereich. Die Variablennamen entsprechen der Spezifikation der Programmeingabe in Abschnitt 3.2.1.

AT MESH POINT ij RED.VOL.=redvol VOL.FRAC.=vfn NO OF ITERATIONS=m

u theta pold pavg p iflag

(EQUSTA)

Die Kompressibilitätsiteration bei der Druckberechnung konvergiert schlecht für die Masche ij.

redvol: reduziertes Brennstoffvolumen

vfu: Brennstoff-Volumenanteil

m: Iterationsnummer, ≥ 98

u: innere Energie

theta: Temperatur

pold: pavg von vorheriger Iteration

pavg: letzter iterierter Druckwert

p: vorletzter Druckwert

iflag: $\begin{cases} 1 & \text{falls einphasiger Druck herrscht} \\ 2 & \text{sonst} \end{cases}$

Das Konvergenzkriterium ist

$$|p-pavg|/pavg \leq SP(4) (=0,01=Defaultwert)$$

BURN(I,J).LT.0 FOR I,J = ij

(FISSI)

Der aus dem mittleren Abbrand und der Leistungsverteilung berechnete Abbrand ist in der Masche ij negativ.

DDKARTE FEHLT

(DDTEST) Abbruch!

ERROR: 1. RADIUS NE 0

(*CUTWAY*) Abbruch!

Beim Drucken der Zoneneinteilung wird festgestellt, daß der in R(2,2) gespeicherte Wert nicht null ist.

ERROR: n K BYTES FOR DYNAMIC ALLOCATION MISSING - CHECK REGION FOR BUFFER

(*MAIN*) Abbruch!

Es wird mehr Schnellspeicherplatz benötigt.

ERROR: KZ = n IFLTMP = ... IFLPRS = ... IFLMOL = ... IFLTRA = ...

(*PLOTDY*) Abbruch!

Beim Beschreiben des Plotbandes wird eine Inkonsistenz bei den Steuergrößen für die zeitabhängigen Plots festgestellt. n: Gesamtzahl der Plots.

ERROR: NPRSPT GLEICH ODER KLEINER 0

(*PLOTDY*) Abbruch!

Beim Beschreiben des Plotbandes (File 28) wird Inkonsistenz der Steuergrößen für Druck-Zeit-Plot festgestellt.

ERROR: NTMPPT GLEICH ODER KLEINER 0

(*PLOTDY*) Abbruch!

Beim Beschreiben des Plotbandes (File 28) wird Inkonsistenz der Steuergrößen für Temperatur-Zeit-Plot festgestellt.

ERROR: SUBDIVIDE THE k REGION IN 2 ZONES

(*INPUT*) Abbruch!

Beim Anlegen der variabel dimensionierten Felder treten Schwierigkeiten auf. Anzahl der Wertkurven-Knoten in der k-ten Region zu groß.

INCREASE DELTA T WMAX = W DELT NOW = t

(CONTR)

Meldung der automatischen Zeitschrittanpassung. Der Zeitschritt wird um 25 % vergrößert, da der maximale Wert des Stabilitätsindex w (vgl. (2.7-4)) kleiner als die vorgegebene untere Schranke $L_l = (0,04 \text{ Defaultwert})$ ist.
t: neuer Zeitschritt.

INITIAL WMAX = w DELT NOW = t

(CONTR)

Meldung der automatischen Zeitschrittanpassung. Der Zeitschritt wird um 25 % verkleinert, da der maximale Wert des Stabilitätsindex w größer als die vorgegebene obere Schranke $L_u = (0,2 \text{ Defaultwert})$ ist (vgl. (2.7-4)).
t ist der neue Zeitschritt.

INPUT ERROR. NRIN(NR) GT MRIN OR NZIN(NZ) GT MZIN

(INPUT) Abbruch!

Eingabefehler. In einer Region wird die maximale Anzahl der Wertkurven-Knoten MRIN oder MZIN (vgl. Karte 2 und 30) überschritten.

NOT CONVERGED IN 100 ITERATIONS

(EQUSTA)

Die Kompressibilitätsiteration bei der Druckberechnung wird in einer Masche nach 100 Iterations abgebrochen. Als neuer Druckwert wird das arithmetische Mittel der letzten beiden Iterierten genommen.

POWER CHANGE LIMIT EXCEEDED REDUCE DELTA T DELT NOW = ...

(CONTR)

Nachricht der automatischen Zeitschrittanpassung. Der Betrag der relativen Änderung der Gesamtleistung ist größer als EPS3 im Falle fallender oder größer als EPS4 im Falle steigender Leistung.

REDUCE DELTA T WMAX = ... DELT NOW = ...

(CONTR)

Meldung der automatischen Zeitschrittanpassung. Bedeutung wie bei Meldung

'INITIAL WMAX = ... DELT NOW = ...

STOP KEFF LESS THAN KEFF LIMIT

(CONTR) Abbruch!

STOP POWER GREAT THAN THE MAX. POWER

(CONTR) Abbruch!

STOP POWER LESS THAN THE MIN. POWER

(CONTR) Abbruch!

THE TIME t_{CAPRI} DOES NOT FIT INTO THE TABLE RANGE

THE SEC. ORDER REACTIVITY POLYNOMIAL IS USED

(RTAB)

Im Falle, daß die Predisassemblyzeit t nicht im Zeitintervall der Reaktivitätstabelle liegt, wird auf die programmierte Reaktivitätsfunktion

(Karte 23) zurückgegriffen.

WARNING FOR THE 2. RECORD CARD INPUT:

IMAX = ... JMAX = ... NOREG = ... MRIN = ... MZIN = ...

(DATEST(TEST1))

Eine der angegebenen Größen, die ausschlaggebend für die Größe des Arbeitsspeichers sind, hat einen Wert größer als 1000.

WARNING: ABS(WORTH(..., ...)) = ...

RETEST

$| \text{WORTH}(I, J) | < 1$

WARNING: AK = ...

DATEST(TEST2)

$| \text{AK} | < 100\ 000$

WARNING: ALAM(...) = ...

DATEST(TEST2)

$\text{ALAM}(I) \geq 0$

WARNING: ALFAF = ...

DATEST(TEST2)

$\text{ALFAF} \geq 0$

WARNING: AVTEMP = ...

RETEST(TEST3)

$1000 \leq \text{AVTEMP} \leq 2000$

WARNING: AXPSHP(...) = ...

DATEST(TEST2)

$\text{AXPSHP}(J) \geq 0$

WARNING: BETA(...) = ...

DATEST(TEST2)

$\text{BETA}(I) \geq 0$

WARNING: BK = ...

DATEST(TEST2)

$|BK| < 100\ 000$

WARNING: C(...) = ...

DATEST(TEST2)

$C(I) \geq 0$

WARNING: COALF = ...

DATEST(TEST2)

$COALF \geq 0$

WARNING: CPO(...) = ...

RETEST

$CPO(K) \geq 0$

WARNING: CP3(...) = ...

RETEST

$CP3(K) \geq 0$

WARNING: DELKO = ...

DATEST(TEST2)

$|DELKO| < 100\ 000$

WARNING: DELT = ...

DATEST(TEST2)

$DELT \geq 0$

WARNING: DELTMN = ...

DATEST(TEST2)

DELMN \geq 0

WARNING: DELTMX = ...

DATEST(TEST2)

DELMX \geq 0

WARNING: EL = ...

DATEST(TEST2)

EL > 0

WARNING: EPS1 = ...

DATEST(TEST2)

0 \leq EPS1 \leq 1

WARNING: EPS2 = ...

DATEST(TEST2)

0 \leq EPS2 \leq 1

WARNING: EPS3 = ...

DATEST(TEST2)

0 \leq EPS3 \leq 1

WARNING: EPS4 = ...

DATEST(TEST2)

0 \leq EPS4 \leq 1

WARNING: EPSI10(...) = MUST GT 0. IF IREGKT(...) = ...

RETEST

WARNING: FAKTOR = ...

DATEST(TEST2)

FAKTOR \geq 0

WARNING: H(..., ...) = ...

DATEST(TEST2)

H(I, J) \geq 0

WARNING: HFUSE(...) = ...

RETEST

100 < HFUSE(K) < 500

WARNING: I1(...) = ... OR GE I2(...)

RETEST

I1(K) \geq 2; I2(K) > I1(K)

WARNING: I2(...) = ...

RETEST

2 \leq I2(K) \leq 500

WARNING: I3(...) = ... OR NE I1(...)

RETEST

I3(K) \geq 2; I3(K) = I1(K)

WARNING: I4(...) = ... OR NE I2(...)

RETEST

$I4(K) \geq 2; I4(K) = I2(K)$

WARNING: IARES = ...

DATEST

$0 \leq IARES \leq 10000$

WARNING: IFLC = ...

DATEST

$1 \leq IFLC \leq 2$

WARNING: IFLCAP = ...

DATEST

$0 \leq IFLCAP \leq 1$

WARNING: IFLDIS = ...

DATEST

$0 \leq IFLDIS \leq 1$

WARNING: IFLFCI = ...

DATEST

$0 \leq IFLFCI \leq 1$

WARNING: IFLKT = ...

DATEST

$1 \leq IFLKT \leq 3$

WARNING: IFLMOL = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLMOL} \leq 2$

WARNING: IFLPRS = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLPRS} \leq 1$

WARNING: IFLPWR = ...

DATEST

$1 \leq \text{IFLPWR} \leq 2$

WARNING: IFLRDP = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLRDP} \leq 1$

WARNING: IFLRMC = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLRMC} \leq 1$

WARNING: IFLTHT = ...

DATEST

$1 \leq \text{IFLTHT} \leq 5$

WARNING: IFLTMP = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLTMP} \leq 1$

WARNING: IFLTRA = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLTRA} \leq 2$

WARNING: IFLVF = ...

DATEST

$1 \leq \text{IFLVF} \leq 3$

WARNING: IFLXKF = ...

DATEST

$1 \leq \text{IFLXKF} \leq 2$

WARNING: IFLZ = ...

DATEST

$0 \leq \text{IFLZ} \leq 10$

WARNING: ICYCLA = ...

DATEST

$1 \leq \text{ICYCLA} \leq 10000$

WARNING: ICYCLB = ...

DATEST

$1 \leq \text{ICYCLB} \leq 10000$

WARNING: ICYCLT = ...

DATEST

$1 \leq \text{ICYCLT} \leq 10000$

WARNING: INDEX = ...

DATEST

$1 \leq \text{INDEX} \leq 2$

WARNING: INUMBA = ...

DATEST

$0 \leq \text{INUMBA} \leq 10000$

WARNING: IOTCRT = ...

DATEST

$0 \leq \text{IOTCRT} \leq 1$

WARNING: IOUTA = ...

DATEST

$0 \leq \text{IOUTA} \leq 2$

WARNING: IOUTB = ...

DATEST

$0 \leq \text{IOUTB} \leq 1$

WARNING: IPRSPT(...) = ...

DATEST

$2 \leq \text{IPRSPT} \leq 3000$

WARNING: IREGKT(...) = ...

RETEST

$0 < \text{IREGKT}(K) \leq 8$

WARNING: ISP(1) = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq \text{ISP}(1) < 10000$

WARNING: ISP_2) = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq \text{ISP}(2) < 10000$

WARNING: ISTEP2 = ...

DATEST

$1 \leq \text{ISTEP2} \leq 2$

WARNING: ITMPPT(...) = ...

DATEST

$2 \leq \text{ITMPPT}(I) \leq 3000$

WARNING: J1(...) = ... OR NE J2(...)

RETEST

$J1(K) \geq 2; J1(K) = J2(K)$

WARNING: J2(...) = ...

RETEST

$2 \leq J2(K) \leq 500$

WARNING: J3(...) = ... OR NE J4(...)

RETEST

$J3(K) \geq 2; J3(K) = J4(K)$

WARNING: J4(...) = ...

RETEST

$2 \leq J4(K) \leq 500$

WARNING: JPRSPT(...) = ...

DATEST

$2 \leq JPRSPT \leq 3000$

WARNING: JTMPPT(...) = ...

DATEST

$2 \leq JTMPPT \leq 3000$

WARNING: KT(..., ...) = ...

RETEST

$0 < KT(I, J) \leq 8$

WARNING: KTVAPP = ...

DATEST

$1 \leq KTVAPP \leq 4$

WARNING: NDELAY = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq NDELAY \leq 6$

WARNING: NOREG = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq NOREG < 1000$

WARNING: NPRSPT = ...

DATEST

$0 \leq \text{NPRSPT} \leq 10$

WARNING: NR = ...

RETEST

$0 < \text{NR} \leq 100$

WARNING: NRIN = ...

RETEST

$0 < \text{NRIN} \leq 100$

WARNING: NTMPPT = ...

DATEST

$0 \leq \text{NTMPPT} \leq 10$

WARNING: NZ = ...

RETEST

$0 < \text{NZ} \leq 100$

WARNING: NZIN = ...

RETEST

$0 < \text{NZIN} \leq 100$

WARNING: PFINAL = ...

DATEST(TEST2)

$0 < \text{PFINAL} < 10^{25}$

WARNING: PMIN = ...

DATEST(TEST2)

$\text{PMIN} \geq 0$

WARNING: PPSUP = ...

DATEST(TEST2)

$0 < \text{PPSUP} < 10^{27}$

WARNING: PRDIF = ...

DATEST(TEST2)

$\text{PRDIF} \geq 0$

WARNING: PZERO = ...

DATEST(TEST2)

$0 < \text{PZERO} < 10^{25}$

WARNING: R(...,2) = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq \text{R(I,2)} \leq 1000; \text{R(2,2)} = 0$

WARNING: RADPSP(...) = ...

DATEST(TEST2)

$\text{RADPSP(I)} \geq 0$

WARNING: RHOCRT = ...

DATEST(TEST2)

$0 < \text{RHOCRT} < 30$

WARNING: RHONA(..., ...) = ...

RETEST

$0 < \text{RHONA}(i, J) < 20$

WARNING: RHOSS (... , ...) = ...

RETEST

$0 < \text{RHOSS}(I, J) < 20$

WARNING: RHOU(..., ...) = ...

RETEST

$0 < \text{RHOU}(I, J) < 20$

WARNING: RIN(...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{RIN}(I) \leq 1000$

WARNING: RINB = ...

RETEST

$0 \leq \text{RINB} \leq 1000$

WARNING: ROUT = ...

RETEST

$0 \leq \text{ROUT} \leq 1000$

WARNING: RPART = ...

DATEST(TEST2)

$\text{RPART} \geq 0$

WARNING: RRHONA(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RRHONA}}(K) < 20$

WARNING: RRHOSS(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RRHOSS}}(K) < 20$

WARNING: RRHOU(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RRHOU}}(K) < 20$

WARNING: RVFNA(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RVFNA}}(K) < 1$

WARNING: RVFSS(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RVFSS}}(K) < 1$

WARNING: RVFU(...) = ...

RETEST

$0 \leq \underline{\text{RVFU}}(K) < 1$

WARNING: SP(1) = -..

DATEST(TEST2)

$0 \leq \underline{\text{SP}}(1) \leq 1$

WARNING: SP(2) = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq \text{SP}(2) \leq 1$

WARNING: TEMPNA(...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{TEMPNA}(K) < 5000$

WARNING: TEMPSS(...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{TEMPSS}(K) < 5000$

WARNING: TGRENZ = ...

DATEST(TEST2)

$\text{TRENZ} \geq 0$

WARNING: THETA(..., ...) = ...

RETEST(TEST3)

$0 \leq \text{THETA}(I, J) \leq 5000$

WARNING: TM(...) = ...

DATEST(TEST2)

$|\text{TM}(I)| < 1$

WARNING: TMAX = ...

DATEST(TEST2)

$\text{TMAX} \geq 0$

WARNING: TMELT(...) = ...

RETEST

$2900 < \text{TMELT}(K) < 3500$

WARNING: TMIX = ...

DATEST(TEST2)

$\text{TMIX} \geq 0$

WARNING: TSTOP = ...

DATEST(TEST2)

$\text{TSTOP} \geq 0$

WARNING: VALUE = ...

DATEST(TEST2)

$\text{VALUE} \geq 0$

WARNING: VFNA(..., ...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{VFNA}(I, J) \leq 1$

WARNING: VFSS(..., ...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{VFSS}(I, J) \leq 1$

WARNING: VFU(..., ...) = ...

RETEST

$0 \leq \text{VFU}(I, J) \leq 1$

WARNING: WMAX GREATER THAN 1.0

CONTR

Die numerische Stabilität ist in Gefahr, denn der Whitesche Stabilitätsindex liegt deutlich über den zulässigen Werten.

WARNING: WT(...) = ...

RETEST

$WT(K) \geq 0$

WARNING: XKDIS(...) = ...

DATEST(TEST2)

$|XKDIS(I)| < 1$

WARNING: XKDOP(...) = ...

DATEST(TEST2)

$|XKDOP(I)| < 1$

WARNING: XKLIM = ...

DATEST(TEST2)

$XKLIM > 0$

WARNING: Z(2,...) = ...

DATEST(TEST2)

$0 \leq Z(2,I) \leq 1000$

WARNING: ZDN = ...

RETEST

$0 \leq ZDN < 1000$

WARNING: ZIN(...) = ...

RETEST

$0 \leq ZIN(I) < 1000$

WARNING: ZUP = ...

RETEST

$0 < ZUP < 1000$

xxxWARNING: THE ANL-EOS IS NOT USED. BE CAREFUL

IN INTERPRETING PLOTS FOR AVER. TEMP., ENERGY

AND MASS OF MOLTU**xxx**

WRIT2

Möglicherweise werden unterschiedliche Werte für die spezifische Wärme
des Brennstoffs verwendet (vgl. 2.8-2).

3.4 Vollständiges Anwendungsbeispiel:

Leistungsstörfall im frischen SNR 300 Mark IA Core

Der hier dargestellte Leistungsstörfall für das frische SNR 300 Mark IA Core wird in /Frö 76/ ausführlich beschrieben.

In Abb. 3.4-1 ist ein Längsschnitt durch den Reaktorkern zu sehen, in den das verwendete hydrodynamische Maschennetz eingetragen ist. In Tab. 3.4-1 sind die kinetischen Parameter, in Tab. 3.4-2 einige wichtige Parameter am Beginn der Disassembly-Rechnung zusammengestellt.

Als Einleitungsrampe wurde ein Wert von $15 \text{ } \frac{\text{t}}{\text{sec}}$ gewählt. Die Einleitungsphase wurde mit CAPRI 2 / Str74/verfolgt. Die Reaktorleistung steigt nach Beginn des Störfalls entsprechend der Einleitungsrampe exponentiell an. Die resultierende Erhöhung der Brennstoff- und Kühlmitteltemperaturen führt zunächst zu negativen Doppler bzw. geringfügig positiven Kühlmitteldichterückwirkungen, die den Anstieg der Nettoaktivität und damit den weiteren Leistungsanstieg abflachen. Die Brennstäbe des zentralen heißesten Brennelements versagen nach 6.7 sec (60% des Pinquerschnitts im heißesten Segment geschmolzen). Entsprechend den Modellannahmen sollen beim Brennstabversagen 30% des in der Schmelzzone des Pins vorhandenen Brennstoffs instantan in den Kühlkanal gelangen und mit dem Natrium aus dem Bereich der Rißzone reagieren. Die sich ergebende thermische Brennstoff-Natrium Reaktion

führt zu raschem Austreiben des Kühlmittels aus dem Kühlkanal und damit zu hohen Reaktivitätsrampen. Nach dem zentralen Element versagen nacheinander vier weitere Kanäle bis zum Eintritt von Core-Disassembly. Die Versagensfolge entspricht dabei der radialen Verteilung der Kanalleistung. Core Disassembly beginnt 83 msec nach dem Versagen des ersten Brennelements bei der 400-fachen normierten Reaktorleistung (Normierung erfolgt auf die stationäre Leistung). Die maximale über den Brennstabquerschnitt gemittelte Brennstofftemperatur beträgt dabei etwa 3380 K. Das Core ist zu diesem Zeitpunkt in den ersten drei Kanälen und im höchstbelasteten Kanal der zweiten Core Zone teilweise gevoidet.

Abb. 3.4-1 zeigt das in der Disassembly-Phase verwendete hydrodynamische Maschennetz. Die zwei Core-Zonen und die Blanketbereiche werden für die Neutronik-Rechnungen in 41 Regionen unterteilt, die bei den Computerausdrucken dieses Beispiels (Abb. 3.4-8) gezeigt werden. Je eine radiale und axiale Traverse durch die Leistungsverteilung (für die jeweiligen Mittellinien) sind in Abb. 3.4-2 und 3.4-3 dargestellt. Die radiale Traverse zeigt deutlich die hohe Belastung im ersten Ring der äußeren Corezone. Das Maximum der axialen Leistungsverteilung liegt etwas unterhalb der Mittellinie. Dies ist erklärlich, denn die Regelstäbe sind im frischen Core von oben bis zur Mitte eingefahren. Die Leistungsverteilung bleibt während der Disassemblyphase konstant, sie determiniert die Materialbewegung. Die Reaktivitäts-Rückwirkung durch Materialbewegung ergibt sich aus den Gradienten der totalen Materialwertkurven. Je eine charakteristische

Traverse in radialer und axialer Richtung (für die jeweilige Mitte) wird in Abb. 3.4-4 und 3.4-5 gezeigt.

Man sieht auch hier deutlich, daß in der axialen Verteilung das Maximum etwas unterhalb der Mittelebene liegt. Die Erklärung ist dieselbe wie für die Deformation der Leistungsverteilung. Zwei den dargestellten Traversen entsprechende Kurven für die Temperaturverteilung werden in den Abbildungen 3.4-6 und 3.4-7 gezeigt. Die axiale Verteilung ist wieder etwas nach unten verschoben, die radiale Verteilung zeigt die höchsten Temperaturen in den Zentren der ersten und zweiten Core-Zone. Auch der steile Temperaturabfall von den Corezonen zu den Blankets ist deutlich zu erkennen. Ein Teil der Druckerausgabe für dieses Beispiel ist in der Abb. 3.4-8 dargestellt. Diese Darstellung läuft über viele Seiten. Zuerst werden die Kartenbilder der Eingabe reproduziert, sodann folgt eine Skizze aller Regionen. Die formatierte Ausgabe der Eingabe wird hier nicht reproduziert, da die für 41 Regionen aufbereiteten Daten viel Platz benötigen würden. Sodann werden in Abb. 3.4-8 für den nullten und den letzten Zyklus (Zyklusnr. 166) ortsabhängige physikalische Daten in zweidimensionaler (verkürzter) Darstellung gezeigt. Für die Zwischenzeiten ist die zeitliche Entwicklung der Reaktivitäten, Leistungen und anderen wichtigen Größen wiedergegeben. Die Leistungsexkursion endet, da die aktuelle Leistung die vorgegebene Schranke von 10^{10} MW unterschreitet. Der Unfallverlauf ist noch einmal in Abb. 3.4-9 verdeutlicht. Hier sind zeitabhängige globale (z.B. Leistung, Reaktivität) und lokale (z.B. Drücke, Temperaturen) dargestellt. Auch das Lagrangesche Maschennetz am Anfang und Ende der Exkursion ist dargestellt. Wie man sieht, sind die Materialverschiebungen in diesem Fall nicht sehr groß (maximal etwa 1,6 cm).

Anteil der verzögerten Neutronen β_i und Zerfallskonstanten der Mutterkerne der verzögerten Neutronen λ_i der i-ten Gruppe

i	β_i	λ_i [s^{-1}]
1	$7.4520 \cdot 10^{-5}$	$1.2905 \cdot 10^{-2}$
2	$6.6569 \cdot 10^{-4}$	$3.1333 \cdot 10^{-2}$
3	$5.5505 \cdot 10^{-4}$	$1.3495 \cdot 10^{-1}$
4	$1.0819 \cdot 10^{-3}$	$3.4415 \cdot 10^{-1}$
5	$4.5677 \cdot 10^{-4}$	1.3721
6	$1.5050 \cdot 10^{-4}$	3.7724

Gesamtanteil der verzögerten Neutronen: $\beta = \sum \beta_i = 2.9744 \cdot 10^{-3}$

Generationsdauer der prompten Neutronen: $\Lambda = 3.793 \cdot 10^{-7} s$

Neutronenausbeute: $\bar{\nu} = 2.944$ n/sp

Tabelle 3.4-1: Kinetik-Parameter für SNR 300 Mark IA Core

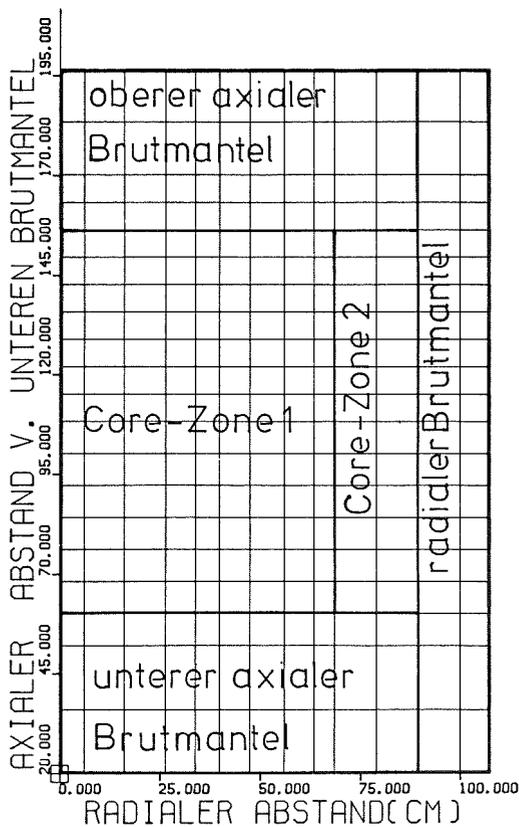


Abb. 3.4-1:
Hydrodynamisches Maschennetz
für SNR 300 Mark IA Kern

Vorläuferkonzentrationen der verzögerten Neutronen C_i

Gruppe i	C_i
1	$1.3069 \cdot 10^{13}$
2	$5.5542 \cdot 10^{13}$
3	$1.7554 \cdot 10^{13}$
4	$2.0450 \cdot 10^{13}$
5	$3.7509 \cdot 10^{12}$
6	$6.6943 \cdot 10^{11}$

Leistung	$3.0381 \cdot 10^{11}$
Reaktivität	1.08 β
Reaktivitätsrampe	41.7 β /s
max. gemittelte Temperatur	3380 K

Tabelle 3.4-2: Einige wichtige Größen am Beginn von Disassembly (SNR 300 M1A-Kern, 15 β /s-Störfall)

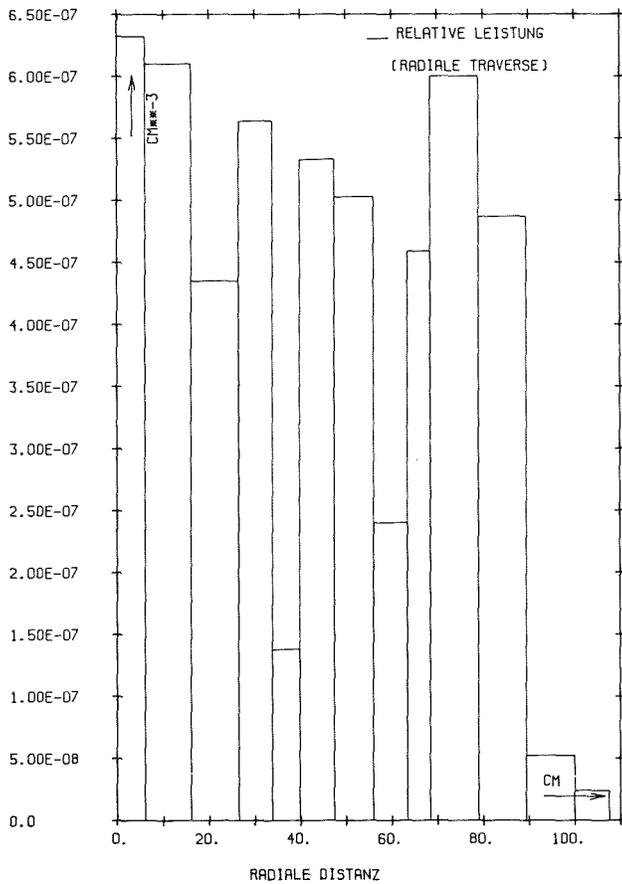


Abb. 3.4-2: Radiale Leistungsverteilung (SNR 300 M1A-Kern)

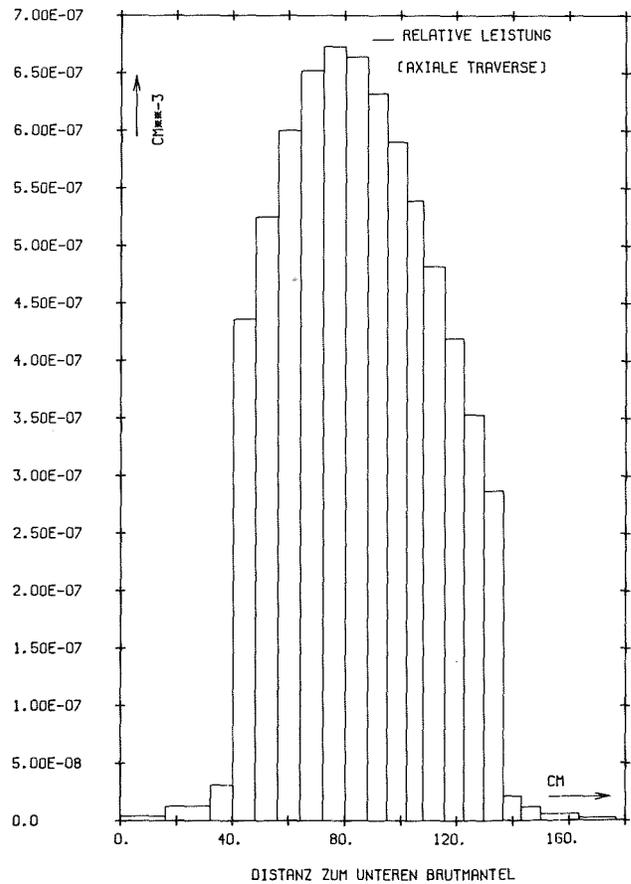


Abb. 3.4-3: Axiale Leistungsverteilung (SNR 300 M1A-Kern)

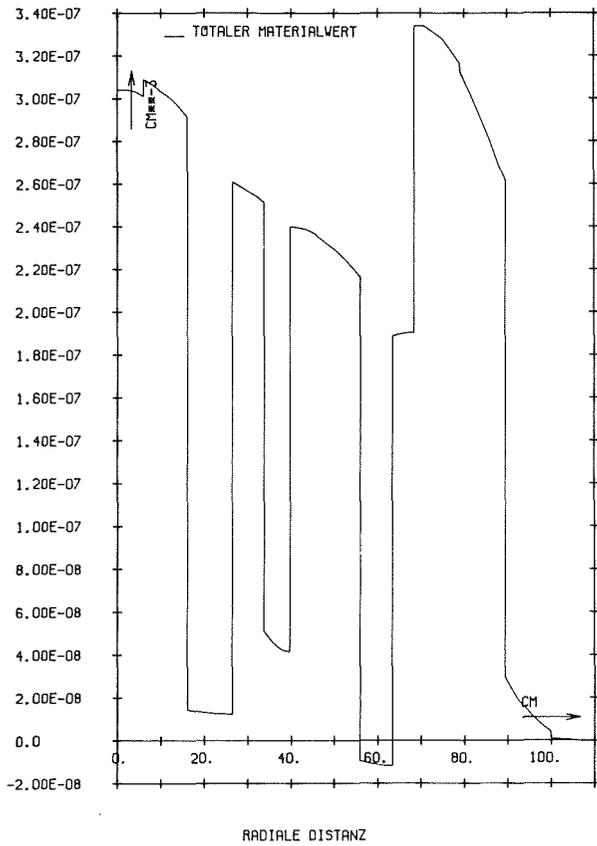


Abb.3.4-4: Radiale Materialwertverteilung (SNR 300 M1A-Kern)

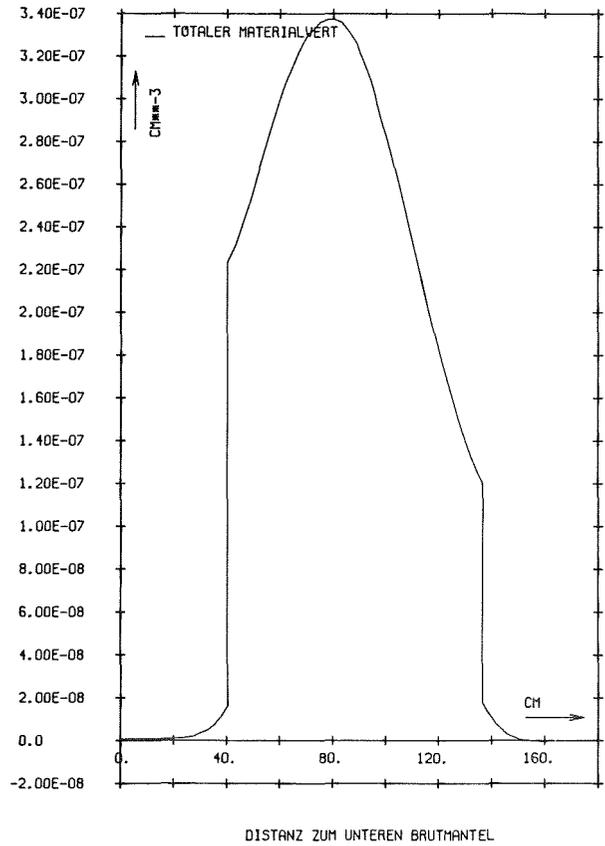


Abb.3.4-5: Axiale Materialwertverteilung (SNR 300 M1A-Kern)

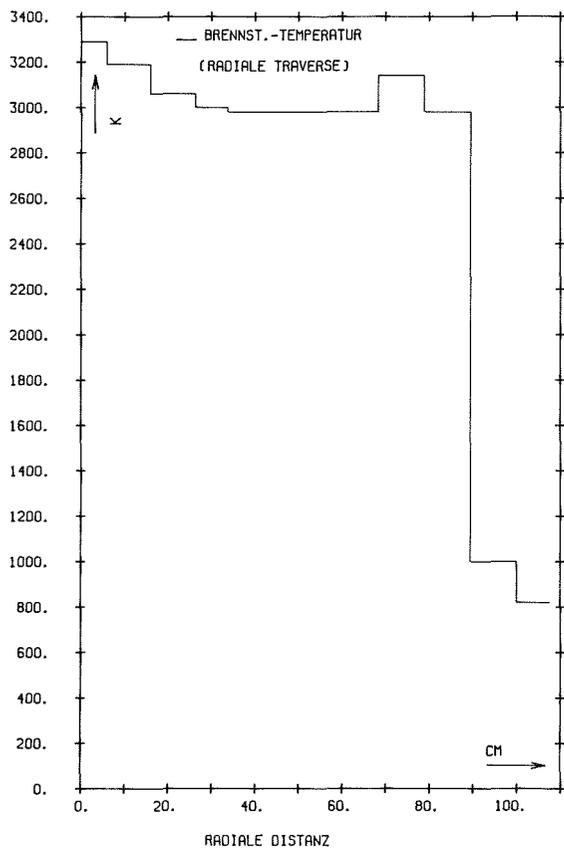


Abb.3.4-6: Radiale Brennstoff-Temperaturverteilung (SNR 300 M1A-Kern, 15 d/S-Störfall)

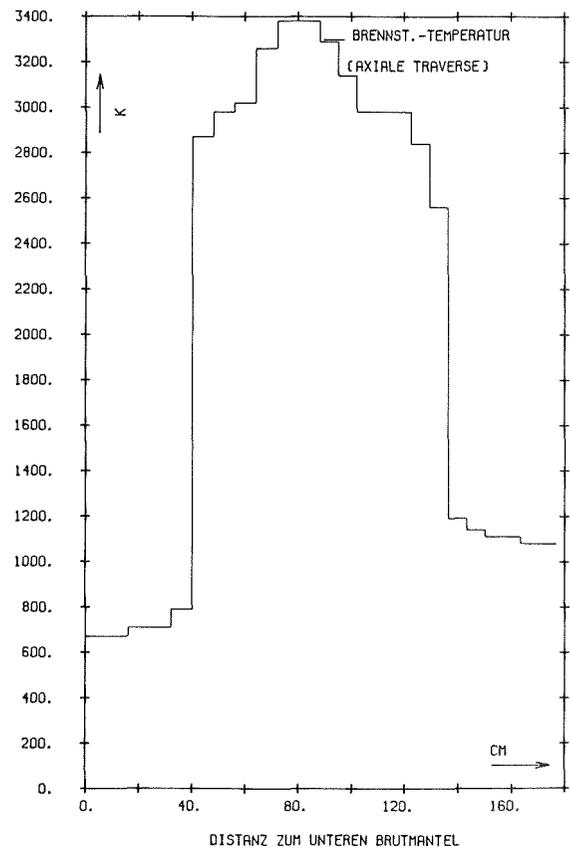


Abb. 3.4-7: Axiale Brennstoff-Temperaturverteilung (SNR 300 M1A-Kern, 15 d/S-Störfall)

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.80658E-03	0.65713E-03	0.65850E-03	0.52430E-03	0.68599E-03	0.17113E-03	66		
0.53044E-03	0.57050E-03	0.29322E-03	0.50536E-03	0.42353E-03	0.31987E-03	57		
0.46457E-03	0.37502E-03					68		
5	0	0	0	2	10	59		
0.74520E-04	0.12005E-01	0.13059E+14				70		
0.66569E-03	0.31333E-01	0.55542E+14				71		
0.55505E-03	0.13495E+00	0.17554E+14				72		
0.10319E-02	0.34415E+00	0.20450E+14				73		
0.45577E-03	0.13721E+01	0.37509E+13				74		
0.15050E-03	0.37724E+01	0.55743E+12				75		
0.32272E-02	0.12434E+00	0.24933E+02	0.37930E-06	0.95000E+00	5.7775859	76		
0.10000E+26	0.30331E+12	0.10000E+11	0.30000E+01			77		
0.50000E-06	0.50000E-05	0.50000E-01	0.50000E-01	0.0	0.0	78		
-0.291760-03	-0.14459-03	0.0	0.0	0.0	0.0	79		
0.20793E-04	0.10352E-04	0.0				80		
1	219	0	129			81		
0.57775E+01	0.75200E+09	0.15972E+02	0.72552E+00			82		
2	5	3	5	2	13	3	18	83
4	40	1	13					84
156.5	50.13	0.0	5.075					85
0.0	2.025	4.050	6.075					86
60.18	62.35	65.53	68.20	70.88	73.55			87
76.23	78.90	81.58	84.25	86.92	89.60			88
92.27	94.95	97.62	100.3	103.0	105.6			89
108.3	110.5	112.9	115.2	117.5	119.8			90
122.1	124.4	126.7	129.0	131.2	133.5			91
135.8	139.1	140.4	142.7	145.0	147.3			92
149.6	151.9	154.2	156.5					93
.222594E-06	.222397E-06	.221467E-06	.219924E-06					94
.229909E-06	.229592E-06	.228662E-06	.227109E-06					95
.239771E-06	.239455E-06	.238514E-06	.236940E-06					96
.250451E-06	.250134E-06	.249184E-06	.247620E-06					97
.261612E-06	.261295E-06	.260354E-06	.258801E-06					98
.272925E-06	.272608E-06	.271668E-06	.270104E-06					99
.284044E-06	.283738E-06	.282787E-06	.281224E-06					100
.294594E-06	.294377E-06	.293416E-06	.291832E-06					101
.304576E-06	.304249E-06	.303278E-06	.301574E-06					102
.313468E-06	.313141E-06	.312149E-06	.310524E-06					103
.321163E-06	.320836E-06	.319825E-06	.318169E-06					104
.327520E-06	.327183E-06	.326161E-06	.324475E-06					105
.332405E-06	.332058E-06	.331016E-06	.329309E-06					106
.335727E-06	.335380E-06	.334327E-06	.332589E-06					107
.337424E-06	.337076E-06	.336013E-06	.334276E-06					108
.337424E-06	.337076E-06	.336023E-06	.334296E-06					109
.335666E-06	.335318E-06	.334286E-06	.332600E-06					110
.332048E-06	.331721E-06	.330719E-06	.329084E-06					111
.326774E-06	.326457E-06	.325497E-06	.323943E-06					112
.320285E-06	.319958E-06	.318976E-06	.317372E-06					113
.312742E-06	.312405E-06	.311393E-06	.309727E-06					114
.304045E-06	.303637E-06	.302635E-06	.300987E-06					115
.294377E-06	.294019E-06	.292926E-06	.291096E-06					116
.283973E-06	.283595E-06	.282471E-06	.280580E-06					117
.272997E-06	.272618E-06	.271484E-06	.269563E-06					118
.261642E-06	.261254E-06	.260119E-06	.258198E-06					119
.250032E-06	.249654E-06	.248530E-06	.246639E-06					120
.238290E-06	.237922E-06	.236828E-06	.234978E-06					121
.226537E-06	.226189E-06	.225116E-06	.223338E-06					122
.214865E-06	.214518E-06	.213496E-06	.211779E-06					123
.203347E-06	.203020E-06	.202039E-06	.200394E-06					124
.192085E-06	.191778E-06	.190838E-06	.189274E-06					125
.181160E-06	.180853E-06	.179964E-06	.178472E-06					126
.170633E-06	.170347E-06	.169499E-06	.168078E-06					127
.160587E-06	.160321E-06	.159514E-06	.158175E-06					128
.151103E-06	.150857E-06	.150091E-06	.148824E-06					129
.142262E-06	.142017E-06	.141291E-06	.140096E-06					130
.134097E-06	.133872E-06	.133187E-06	.132053E-06					131

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

.276684E-06	.274492E-06	.271754E-06	.268460E-06	.264589E-06	.260100E-06	198			
.254834E-06						199			
.265019E-06	.262837E-06	.260389E-06	.256795E-06	.252924E-06	.248456E-06	200			
.243232E-06						201			
.253155E-06	.250994E-06	.248288E-06	.245036E-06	.241239E-06	.236864E-06	202			
.231766E-06						203			
.241186E-06	.239078E-06	.236445E-06	.233287E-06	.229595E-06	.225346E-06	204			
.220437E-06						205			
.229238E-06	.227192E-06	.224643E-06	.221591E-06	.218035E-06	.213965E-06	206			
.209255E-06						207			
.217374E-06	.215412E-06	.212957E-06	.210041E-06	.206632E-06	.202740E-06	208			
.198261E-06						209			
.205688E-06	.203910E-06	.201471E-06	.198691E-06	.195439E-06	.191736E-06	210			
.187477E-06						211			
.194275E-06	.192481E-06	.190257E-06	.187603E-06	.184519E-06	.181005E-06	212			
.176977E-06						213			
.183187E-06	.181497E-06	.179379E-06	.176861E-06	.173945E-06	.170620E-06	214			
.166812E-06						215			
.172529E-06	.170914E-06	.168910E-06	.166529E-06	.163770E-06	.160633E-06	216			
.157056E-06						217			
.162354E-06	.160822E-06	.158934E-06	.156679E-06	.154077E-06	.151129E-06	218			
.147752E-06						219			
.152755E-06	.151308E-06	.149514E-06	.147384E-06	.144930E-06	.142150E-06	220			
.138992E-06						221			
.143797E-06	.142423E-06	.140734E-06	.138720E-06	.136401E-06	.133779E-06	222			
.130810E-06						223			
.135541E-06	.134241E-06	.132636E-06	.130737E-06	.128534E-06	.126058E-06	224			
.123247E-06						225			
.128041E-06	.126824E-06	.125303E-06	.123488E-06	.121390E-06	.119009E-06	226			
.116292E-06						227			
.121736E-06	.120572E-06	.119114E-06	.117362E-06	.115306E-06	.112935E-06	228			
.110218E-06						229			
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548			230			
			2977.3	280.0		231			
-0.17927E-02	-0.41309E-04			1.0		232			
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10		233			
4	11	5	11	4	18	5	18	3	234
4	22	1	7						235
156.5	108.3	16.07	26.48						236
16.07	19.54	23.01	26.48						237
108.3	110.6	112.9	115.2	117.5	119.8				238
122.1	124.4	126.7	129.0	131.2	133.5				239
135.8	138.1	140.4	142.7	145.0	147.3				240
149.6	151.9	154.2	156.5						241
-.599319E-07	-.539315E-07	-.543821E-07	-.626799E-07						242
-.512662E-07	-.481247E-07	-.494276E-07	-.555124E-07						243
-.458677E-07	-.449171E-07	-.460989E-07	-.502386E-07						244
-.416141E-07	-.418013E-07	-.428766E-07	-.459117E-07						245
-.379772E-07	-.387625E-07	-.397424E-07	-.421132E-07						246
-.346360E-07	-.357267E-07	-.366277E-07	-.385717E-07						247
-.314086E-07	-.326531E-07	-.334840E-07	-.351292E-07						248
-.282069E-07	-.295204E-07	-.302892E-07	-.317154E-07						249
-.249909E-07	-.263253E-07	-.270402E-07	-.282961E-07						250
-.217481E-07	-.230770E-07	-.237449E-07	-.248631E-07						251
-.184814E-07	-.197901E-07	-.204184E-07	-.214225E-07						252
-.152030E-07	-.164842E-07	-.170798E-07	-.179889E-07						253
-.119293E-07	-.131801E-07	-.137504E-07	-.145802E-07						254
-.867955E-08	-.989946E-08	-.104518E-07	-.112177E-07						255
-.547380E-08	-.666399E-08	-.720568E-08	-.792280E-08						256
-.233210E-08	-.349443E-08	-.403223E-08	-.471595E-08						257
.726880E-09	.409535E-09	.949099E-09	.161433E-08						258
.368615E-08	.257337E-08	.202914E-08	.137192E-08						259
.653040E-08	.543821E-08	.489211E-08	.424068E-08						260
.924950E-08	.816942E-08	.763287E-08	.700750E-08						261
.118409E-07	.107483E-07	.102455E-07	.971155E-08						262
.144547E-07	.133052E-07	.128648E-07	.125176E-07						263

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548								264
		2977.3							280.0	265
-0.90888E-03-0.45425E-04									1.0	266
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10				267
	4	5	5	4	11	5	11	3		268
	4	19	1	6						269
108.3	60.18	16.07	26.48							270
16.07	19.54	23.01	26.48							271
60.18	62.85	65.53	68.20			70.88		73.55		272
76.23	78.90	81.58	84.25			86.92		89.60		273
92.27	94.95	97.62	100.3			103.0		105.6		274
108.3										275
.177628E-06	.170252E-06	.165034E-06	.161306E-06							276
.180222E-06	.173274E-06	.167767E-06	.163175E-06							277
.183900E-06	.177240E-06	.171525E-06	.166316E-06							278
.187379E-06	.180858E-06	.175043E-06	.169626E-06							279
.190759E-06	.184278E-06	.178433E-06	.172956E-06							280
.194009E-06	.187518E-06	.181663E-06	.176196E-06							281
.197070E-06	.190550E-06	.184695E-06	.179248E-06							282
.199893E-06	.193333E-06	.187468E-06	.182041E-06							283
.202398E-06	.195788E-06	.189924E-06	.184526E-06							284
.204525E-06	.197886E-06	.192011E-06	.186643E-06							285
.206245E-06	.199545E-06	.193681E-06	.188343E-06							286
.207497E-06	.200758E-06	.194894E-06	.189605E-06							287
.208273E-06	.201484E-06	.195629E-06	.190381E-06							288
.208581E-06	.201752E-06	.195878E-06	.190649E-06							289
.208491E-06	.201613E-06	.195679E-06	.190421E-06							290
.208114E-06	.201235E-06	.195202E-06	.189774E-06							291
.207746E-06	.201036E-06	.194854E-06	.188930E-06							292
.208074E-06	.202269E-06	.195769E-06	.188611E-06							293
.210271E-06	.204764E-06	.198045E-06	.190212E-06							294
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548								295
		2977.3							280.0	296
-0.14064E-02-0.74834E-04									1.0	297
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10				298
	5	5	6	5	18	6	18	3		299
	4	40	1	13						300
156.5	60.18	26.48	33.83							301
26.48	28.93	31.38	33.83							302
60.18	62.85	65.53	68.20			70.88		73.55		303
76.23	78.90	81.58	84.25			86.92		89.60		304
92.27	94.95	97.62	100.3			103.0		105.6		305
108.3	110.6	112.9	115.2			117.5		119.8		306
122.1	124.4	126.7	129.0			131.2		133.5		307
135.8	138.1	140.4	142.7			145.0		147.3		308
149.6	151.9	154.2	156.5							309
.183603E-06	.179640E-06	.173352E-06	.164640E-06							310
.190471E-06	.186314E-06	.180679E-06	.173729E-06							311
.199704E-06	.195332E-06	.190003E-06	.184011E-06							312
.209731E-06	.205339E-06	.200172E-06	.194466E-06							313
.220114E-06	.215732E-06	.210607E-06	.204921E-06							314
.230508E-06	.226136E-06	.220991E-06	.215233E-06							315
.240637E-06	.236265E-06	.231079E-06	.225230E-06							316
.250266E-06	.245885E-06	.240657E-06	.234716E-06							317
.259172E-06	.254901E-06	.249543E-06	.243531E-06							318
.267172E-06	.262320E-06	.257552E-06	.251510E-06							319
.274101E-06	.269790E-06	.264543E-06	.258480E-06							320
.279807E-06	.275548E-06	.270351E-06	.264329E-06							321
.284179E-06	.280001E-06	.274885E-06	.268934E-06							322
.287144E-06	.283048E-06	.278044E-06	.272205E-06							323
.288662E-06	.284658E-06	.279777E-06	.274070E-06							324
.288785E-06	.284800E-06	.280042E-06	.274498E-06							325
.287725E-06	.283567E-06	.278939E-06	.273459E-06							326
.286156E-06	.281050E-06	.276210E-06	.270942E-06							327
.285605E-06	.277922E-06	.272409E-06	.267121E-06							328
.279216E-06	.272593E-06	.267355E-06	.262443E-06							329

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

.134051E-06	.131815E-06	.130498E-06	.130046E-06									396
.142684E-06	.140530E-06	.139279E-06	.138874E-06									397
.150786E-06	.148686E-06	.147491E-06	.147147E-06									398
.158150E-06	.156070E-06	.154930E-06	.154674E-06									399
.164527E-06	.162409E-06	.161329E-06	.161225E-06									400
.169605E-06	.167326E-06	.166328E-06	.166525E-06									401
.172988E-06	.170264E-06	.169386E-06	.170232E-06									402
.174237E-06	.170311E-06	.169628E-06	.171979E-06									403
.174265E-06	.168652E-06	.168322E-06	.172923E-06									404
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548									405
			2977.3						280.0			406
-0.17793E-03	0.58361E-04								1.0			407
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10						408
	7	5	8	5	7	18	8					409
	4	40	1	13							3	410
156.5	60.18	39.84	47.45									411
39.84	42.38	44.91	47.45									412
60.18	62.85	65.53	68.20					70.88		73.55		413
76.23	78.90	81.58	84.25					86.92		89.60		414
92.27	94.95	97.62	100.3					103.0		105.6		415
108.3	110.6	112.9	115.2					117.5		119.8		416
122.1	124.4	126.7	129.0					131.2		133.5		417
135.8	138.1	140.4	142.7					145.0		147.3		418
149.6	151.9	154.2	156.5									419
.158517E-06	.159082E-06	.156792E-06	.152602E-06									420
.165080E-06	.164710E-06	.162502E-06	.158713E-06									421
.173779E-06	.172577E-06	.170215E-06	.166600E-06									422
.182981E-06	.181409E-06	.178842E-06	.175216E-06									423
.192378E-06	.190632E-06	.187910E-06	.184203E-06									424
.201723E-06	.199906E-06	.197081E-06	.193261E-06									425
.210833E-06	.208994E-06	.206088E-06	.202165E-06									426
.219542E-06	.217693E-06	.214725E-06	.210699E-06									427
.227686E-06	.225827E-06	.222318E-06	.218710E-06									428
.235111E-06	.233263E-06	.230202E-06	.226022E-06									429
.241694E-06	.239846E-06	.236765E-06	.232513E-06									430
.247302E-06	.245463E-06	.242362E-06	.238069E-06									431
.251851E-06	.250023E-06	.246911E-06	.242588E-06									432
.255261E-06	.253453E-06	.250352E-06	.246008E-06									433
.257448E-06	.255682E-06	.252611E-06	.248288E-06									434
.258393E-06	.256678E-06	.253679E-06	.249417E-06									435
.258034E-06	.256411E-06	.253515E-06	.249386E-06									436
.256360E-06	.254340E-06	.252118E-06	.248175E-06									437
.253433E-06	.252057E-06	.249530E-06	.245833E-06									438
.249746E-06	.248493E-06	.246121E-06	.242608E-06									439
.245237E-06	.244087E-06	.241858E-06	.238500E-06									440
.239876E-06	.238819E-06	.236703E-06	.233447E-06									441
.233766E-06	.232730E-06	.230736E-06	.227563E-06									442
.226977E-06	.226053E-06	.224081E-06	.220959E-06									443
.219624E-06	.218751E-06	.216831E-06	.213770E-06									444
.211788E-06	.210966E-06	.209107E-06	.206109E-06									445
.203572E-06	.202302E-06	.200984E-06	.198067E-06									446
.195058E-06	.194329E-06	.192573E-06	.189738E-06									447
.186329E-06	.185641E-06	.183956E-06	.181214E-06									448
.177476E-06	.176829E-06	.175216E-06	.172577E-06									449
.168572E-06	.167966E-06	.166436E-06	.163909E-06									450
.159688E-06	.159134E-06	.157675E-06	.155272E-06									451
.150887E-06	.150394E-06	.149028E-06	.146748E-06									452
.142260E-06	.141819E-06	.140565E-06	.138419E-06									453
.133849E-06	.133489E-06	.132349E-06	.130347E-06									454
.125715E-06	.125479E-06	.124483E-06	.122624E-06									455
.117920E-06	.117889E-06	.117078E-06	.115342E-06									456
.110536E-06	.110365E-06	.110259E-06	.108605E-06									457
.103676E-06	.104631E-06	.104220E-06	.102545E-06									458
.979861E-07	.996724E-07	.993130E-07	.974941E-07									459
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548									460
			2977.3						280.0			461

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

-0.18060E-02-0.34127E-03							1.0	462
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10			463	
8	5	9	5	8	18	9	18	3
5	40	1	13					
156.5	60.18	47.45	56.01					466
47.45	49.59	51.73	53.87	56.01				467
60.18	62.85	65.53	68.20	70.88	73.55			468
76.23	78.90	81.58	84.25	86.92	89.60			469
92.27	94.95	97.62	100.3	103.0	105.6			470
108.3	110.6	112.9	115.2	117.5	119.8			471
122.1	124.4	126.7	129.0	131.2	133.5			472
135.8	138.1	140.4	142.7	145.0	147.3			473
149.6	151.9	154.2	156.5					474
.152464E-06	.147959E-06	.142778E-06	.137710E-06	.134591E-06				475
.158538E-06	.154495E-06	.149909E-06	.145261E-06	.141301E-06				476
.166417E-06	.162631E-06	.158332E-06	.153838E-06	.149293E-06				477
.175036E-06	.171301E-06	.167043E-06	.162447E-06	.157563E-06				478
.184013E-06	.180237E-06	.175897E-06	.171127E-06	.165945E-06				479
.193073E-06	.189205E-06	.184731E-06	.179776E-06	.174297E-06				480
.201968E-06	.197997E-06	.193380E-06	.188230E-06	.182495E-06				481
.210504E-06	.206431E-06	.201681E-06	.196346E-06	.190385E-06				482
.218507E-06	.214331E-06	.209458E-06	.203959E-06	.197803E-06				483
.225823E-06	.221554E-06	.216558E-06	.210915E-06	.204595E-06				484
.232307E-06	.227957E-06	.222857E-06	.217091E-06	.210597E-06				485
.237847E-06	.233425E-06	.228234E-06	.222334E-06	.215706E-06				486
.242362E-06	.237868E-06	.232584E-06	.226572E-06	.219790E-06				487
.245778E-06	.241233E-06	.235857E-06	.229721E-06	.222786E-06				488
.248056E-06	.243480E-06	.238032E-06	.231763E-06	.224653E-06				489
.249185E-06	.244609E-06	.239130E-06	.232738E-06	.225453E-06				490
.249154E-06	.244660E-06	.239253E-06	.232820E-06	.225422E-06				491
.247953E-06	.243675E-06	.238504E-06	.232307E-06	.225186E-06				492
.245594E-06	.241715E-06	.237098E-06	.231866E-06	.226202E-06				493
.242351E-06	.238781E-06	.234626E-06	.230409E-06	.225976E-06				494
.238237E-06	.234851E-06	.230860E-06	.226654E-06	.221719E-06				495
.233200E-06	.229875E-06	.225864E-06	.221401E-06	.215973E-06				496
.227321E-06	.223996E-06	.219923E-06	.215245E-06	.209489E-06				497
.220734E-06	.217399E-06	.213275E-06	.208463E-06	.202543E-06				498
.213552E-06	.210227E-06	.206093E-06	.201229E-06	.195268E-06				499
.205898E-06	.202594E-06	.198490E-06	.193647E-06	.187737E-06				500
.197864E-06	.194612E-06	.190579E-06	.185798E-06	.179991E-06				501
.189543E-06	.186373E-06	.182423E-06	.177754E-06	.172101E-06				502
.181027E-06	.177949E-06	.174112E-06	.169577E-06	.164109E-06				503
.172399E-06	.169423E-06	.165720E-06	.161338E-06	.156085E-06				504
.163739E-06	.160877E-06	.157317E-06	.153110E-06	.148072E-06				505
.155111E-06	.152371E-06	.148975E-06	.144964E-06	.140162E-06				506
.146595E-06	.143989E-06	.140757E-06	.136940E-06	.132395E-06				507
.138264E-06	.135801E-06	.132734E-06	.129122E-06	.124833E-06				508
.130199E-06	.127870E-06	.124967E-06	.121560E-06	.117539E-06				509
.122484E-06	.120278E-06	.117518E-06	.114307E-06	.110551E-06				510
.115210E-06	.113036E-06	.110449E-06	.107402E-06	.103903E-06				511
.108479E-06	.106386E-06	.103780E-06	.100850E-06	.976044E-07				512
.102421E-06	.100251E-06	.975285E-07	.945449E-07	.916905E-07				513
.973930E-07	.950220E-07	.929065E-07	.887634E-07	.863738E-07				514
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06		0.548					515
			2977.3	280.0				516
-0.24785E-02-0.33200E-03							1.0	517
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10			518	
9	11	10	9	18	10	18	3	519
4	22	1	7					520
156.5	108.3	56.01	63.43					521
56.01	58.48	60.96	63.43					522
108.3	110.6	112.9	115.2	117.5	119.8			523
122.1	124.4	126.7	129.0	131.2	133.5			524
135.8	138.1	140.4	142.7	145.0	147.3			525
149.6	151.9	154.2	156.5					526
-.322016E-06-.308764E-06-.306630E-06-.313191E-06								527

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

149.6	151.9	154.2	156.5						594
.125985E-06	.125723E-06	.127070E-06							595
.131910E-06	.131353E-06	.131467E-06							596
.138730E-06	.138262E-06	.137668E-06							597
.145491E-06	.145160E-06	.144383E-06							598
.152286E-06	.152149E-06	.151395E-06							599
.159115E-06	.159183E-06	.158532E-06							600
.165987E-06	.166127E-06	.165624E-06							601
.172465E-06	.172976E-06	.172522E-06							602
.178712E-06	.179283E-06	.179054E-06							603
.184490E-06	.185187E-06	.185107E-06							604
.189663E-06	.190486E-06	.190520E-06							605
.194117E-06	.195042E-06	.195179E-06							606
.197726E-06	.198754E-06	.198993E-06							607
.200398E-06	.201529E-06	.201871E-06							608
.202054E-06	.203299E-06	.203721E-06							609
.202682E-06	.204030E-06	.204521E-06							610
.202351E-06	.203721E-06	.204247E-06							611
.201415E-06	.202465E-06	.202922E-06							612
.201026E-06	.200706E-06	.200615E-06							613
.198354E-06	.197897E-06	.197520E-06							614
.193638E-06	.194071E-06	.193900E-06							615
.188521E-06	.189561E-06	.189709E-06							616
.183188E-06	.184616E-06	.185027E-06							617
.177661E-06	.179328E-06	.179945E-06							618
.171928E-06	.173755E-06	.174498E-06							619
.166013E-06	.167908E-06	.168742E-06							620
.159903E-06	.161844E-06	.162735E-06							621
.153633E-06	.155586E-06	.156500E-06							622
.147249E-06	.149191E-06	.150116E-06							623
.140786E-06	.142693E-06	.143607E-06							624
.134299E-06	.136161E-06	.137051E-06							625
.127847E-06	.129651E-06	.130496E-06							626
.121497E-06	.123222E-06	.124021E-06							627
.115285E-06	.116913E-06	.117660E-06							628
.109264E-06	.110800E-06	.111489E-06							629
.103481E-06	.104910E-06	.105560E-06							630
.979379E-07	.992626E-07	.999227E-07							631
.925819E-07	.938244E-07	.946193E-07							632
.872671E-07	.884422E-07	.896813E-07							633
.822834E-07	.835202E-07	.855598E-07							634
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06							635
			0.548						636
			2977.3			280.0			637
						1.0			638
-0.17917E-02	-0.14133E-03								639
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					640
	11	5	12	5	11	18	12	18	3
	6	40	1	13					
156.5	60.18	68.47	78.98						641
68.47	70.57	72.67	74.77			76.88	78.98		642
60.18	62.85	65.53	68.20			70.88	73.55		643
76.23	78.90	81.58	84.25			86.92	89.60		644
92.27	94.95	97.62	100.3			103.0	105.6		645
108.3	110.6	112.9	115.2			117.5	119.8		646
122.1	124.4	126.7	129.0			131.2	133.5		647
135.8	138.1	140.4	142.7			145.0	147.3		648
149.6	151.9	154.2	156.5						649
.166714E-06	.165153E-06	.161383E-06	.155812E-06	.148773E-06	.140678E-06				650
.178769E-06	.177061E-06	.173558E-06	.168281E-06	.161431E-06	.153593E-06				651
.193860E-06	.191880E-06	.188398E-06	.183230E-06	.176550E-06	.168760E-06				652
.210289E-06	.208221E-06	.204685E-06	.199539E-06	.192870E-06	.185134E-06				653
.227523E-06	.225444E-06	.221398E-06	.216719E-06	.210028E-06	.202292E-06				654
.245105E-06	.243070E-06	.239523E-06	.234333E-06	.227599E-06	.219809E-06				655
.262643E-06	.260563E-06	.257138E-06	.251916E-06	.245137E-06	.237293E-06				656
.279725E-06	.277810E-06	.274317E-06	.269084E-06	.262241E-06	.254342E-06				657
.296001E-06	.294152E-06	.290681E-06	.285448E-06	.278561E-06	.270607E-06				658
.311114E-06	.309329E-06	.305902E-06	.300669E-06	.293749E-06	.285741E-06				659

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

.324746E-06	.323038E-06	.319654E-06	.314432E-06	.307491E-06	.299439E-06	660				
.336638E-06	.334984E-06	.331655E-06	.326454E-06	.319502E-06	.311451E-06	661				
.346517E-06	.344929E-06	.341654E-06	.336497E-06	.329577E-06	.321526E-06	662				
.354188E-06	.352675E-06	.349466E-06	.344374E-06	.337487E-06	.329501E-06	663				
.359486E-06	.358750E-06	.354916E-06	.349912E-06	.343123E-06	.335213E-06	664				
.362315E-06	.360966E-06	.357919E-06	.353023E-06	.346354E-06	.338575E-06	665				
.362620E-06	.361347E-06	.358420E-06	.353676E-06	.347170E-06	.339576E-06	666				
.360411E-06	.359214E-06	.356429E-06	.351870E-06	.345592E-06	.338216E-06	667				
.355896E-06	.354732E-06	.352099E-06	.347768E-06	.341719E-06	.334625E-06	668				
.349966E-06	.348987E-06	.346550E-06	.342448E-06	.336649E-06	.329805E-06	669				
.342655E-06	.341850E-06	.339597E-06	.335713E-06	.330154E-06	.323549E-06	670				
.334060E-06	.333428E-06	.331350E-06	.327651E-06	.322320E-06	.315944E-06	671				
.324355E-06	.323876E-06	.321939E-06	.318414E-06	.313279E-06	.307121E-06	672				
.313670E-06	.313300E-06	.311494E-06	.308122E-06	.303160E-06	.297198E-06	673				
.302116E-06	.301844E-06	.300136E-06	.296883E-06	.292095E-06	.286296E-06	674				
.289821E-06	.289604E-06	.287972E-06	.284838E-06	.280193E-06	.274557E-06	675				
.276885E-06	.276700E-06	.275133E-06	.272087E-06	.267582E-06	.262088E-06	676				
.263416E-06	.263263E-06	.261740E-06	.258781E-06	.254396E-06	.249032E-06	677				
.249565E-06	.249424E-06	.247933E-06	.245039E-06	.240764E-06	.235530E-06	678				
.235432E-06	.235291E-06	.233833E-06	.231004E-06	.226826E-06	.221702E-06	679				
.221180E-06	.221016E-06	.219580E-06	.216795E-06	.212715E-06	.207699E-06	680				
.206927E-06	.206742E-06	.205316E-06	.202575E-06	.198571E-06	.193653E-06	681				
.192815E-06	.192609E-06	.191183E-06	.188485E-06	.184557E-06	.179727E-06	682				
.178987E-06	.178758E-06	.177333E-06	.174668E-06	.170805E-06	.166040E-06	683				
.165583E-06	.165332E-06	.163907E-06	.161285E-06	.157466E-06	.152766E-06	684				
.152744E-06	.152483E-06	.151080E-06	.148479E-06	.144715E-06	.140047E-06	685				
.140602E-06	.140363E-06	.138992E-06	.136413E-06	.132692E-06	.128036E-06	686				
.129287E-06	.129156E-06	.127829E-06	.125272E-06	.121540E-06	.116884E-06	687				
.118951E-06	.119082E-06	.117787E-06	.115187E-06	.111411E-06	.106732E-06	688				
.110160E-06	.110606E-06	.109279E-06	.106579E-06	.102733E-06	.979996E-07	689				
0.84165E+00	0.55394E-03	0.16393E-06	0.548	280.0		690				
			2977.3	1.0		691				
-0.35936E-02	-0.33056E-03					692				
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10		693				
12	5	13	5	12	18	13	18	3		694
6	40	1	13							695
156.5	60.18	78.98	89.50							696
78.98	81.08	83.19	85.29	87.39	89.50					697
60.18	62.85	65.53	68.20	70.88	73.55					698
76.23	78.90	81.58	84.25	86.92	89.60					699
92.27	94.95	97.62	100.3	103.0	105.6					700
108.3	110.6	112.9	115.2	117.5	119.8					701
122.1	124.4	126.7	129.0	131.2	133.5					702
135.8	138.1	140.4	142.7	145.0	147.3					703
149.6	151.9	154.2	156.5							704
.139267E-06	.130155E-06	.120549E-06	.110619E-06	.100673E-06	.912445E-07					705
.152040E-06	.142972E-06	.133408E-06	.123489E-06	.113580E-06	.104455E-06					706
.167053E-06	.157953E-06	.148324E-06	.138308E-06	.128238E-06	.119084E-06					707
.183262E-06	.174765E-06	.164350E-06	.154183E-06	.143898E-06	.134571E-06					708
.200247E-06	.190931E-06	.181076E-06	.170704E-06	.160128E-06	.150565E-06					709
.217608E-06	.208119E-06	.198093E-06	.187484E-06	.176574E-06	.166741E-06					710
.234915E-06	.225255E-06	.215034E-06	.204156E-06	.192901E-06	.182799E-06					711
.251803E-06	.241948E-06	.231533E-06	.220387E-06	.208809E-06	.198437E-06					712
.267904E-06	.257877E-06	.247258E-06	.235874E-06	.223973E-06	.213364E-06					713
.282885E-06	.272696E-06	.261916E-06	.250295E-06	.238125E-06	.227312E-06					714
.296455E-06	.286137E-06	.275206E-06	.263402E-06	.251006E-06	.240009E-06					715
.308345E-06	.297941E-06	.286902E-06	.274947E-06	.262357E-06	.251243E-06					716
.318329E-06	.307871E-06	.296767E-06	.284726E-06	.272007E-06	.260817E-06					717
.326213E-06	.315755E-06	.304651E-06	.292567E-06	.279783E-06	.268561E-06					718
.331878E-06	.321463E-06	.310402E-06	.298340E-06	.285545E-06	.274355E-06					719
.335216E-06	.324909E-06	.313945E-06	.301969E-06	.289239E-06	.278124E-06					720
.336196E-06	.326062E-06	.315259E-06	.303423E-06	.293331E-06	.279837E-06					721
.334861E-06	.324942E-06	.314344E-06	.302712E-06	.292352E-06	.279492E-06					722
.331296E-06	.321625E-06	.311296E-06	.299901E-06	.272729E-06	.277134E-06					723
.326514E-06	.317112E-06	.307020E-06	.295884E-06	.283940E-06	.273558E-06					724
.320321E-06	.311167E-06	.301345E-06	.290467E-06	.278792E-06	.268636E-06					725

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

.312793E-06	.303908E-06	.294355E-06	.283757E-06	.272363E-06	.262443E-06	726			
.304048E-06	.295443E-06	.286159E-06	.275841E-06	.264737E-06	.255377E-06	727			
.294226E-06	.285979E-06	.276864E-06	.266938E-06	.256046E-06	.246633E-06	728			
.283445E-06	.275357E-06	.266601E-06	.256864E-06	.246385E-06	.237220E-06	729			
.271813E-06	.263973E-06	.255475E-06	.246030E-06	.235874E-06	.226967E-06	730			
.259482E-06	.251878E-06	.243639E-06	.234484E-06	.224641E-06	.215992E-06	731			
.246558E-06	.239202E-06	.231200E-06	.222325E-06	.212804E-06	.204415E-06	732			
.233181E-06	.226052E-06	.218297E-06	.209713E-06	.200505E-06	.192374E-06	733			
.219493E-06	.212589E-06	.205061E-06	.196757E-06	.187872E-06	.179988E-06	734			
.205632E-06	.198933E-06	.191631E-06	.183596E-06	.175034E-06	.167387E-06	735			
.191728E-06	.185222E-06	.178147E-06	.170371E-06	.162110E-06	.154722E-06	736			
.177931E-06	.171620E-06	.164727E-06	.157210E-06	.149251E-06	.142099E-06	737			
.164383E-06	.158244E-06	.151534E-06	.144243E-06	.136574E-06	.129649E-06	738			
.151232E-06	.145244E-06	.138696E-06	.131620E-06	.124210E-06	.117511E-06	739			
.138642E-06	.132773E-06	.126364E-06	.119461E-06	.112288E-06	.105778E-06	740			
.126741E-06	.120979E-06	.114668E-06	.107915E-06	.100942E-06	.945800E-07	741			
.115702E-06	.110016E-06	.103782E-06	.971282E-07	.903064E-07	.840318E-07	742			
.105556E-06	.100015E-06	.939465E-07	.872779E-07	.805596E-07	.742807E-07	743			
.970086E-07	.913899E-07	.852521E-07	.787158E-07	.720125E-07	.655570E-07	744			
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548	2977.3	280.0	745			
					1.0	746			
-0.71309E-02	0.23762E-03					747			
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10		748			
13	2	14	2	13	22	14	22	3	749
5	60	1	20						750
196.6	20.0	89.50	100.0						751
89.50	92.13	94.75	97.38	100.0					752
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44	46.80				753
52.16	54.83	57.51	60.18	62.85	65.53				754
68.20	70.88	73.55	76.23	78.90	81.58				755
84.25	86.92	89.60	92.27	94.95	97.62				756
100.3	103.0	105.6	108.3	110.6	112.9				757
115.2	117.5	119.8	122.1	124.4	126.7				758
129.0	131.2	133.5	135.8	138.1	140.4				759
142.7	145.0	147.3	149.6	151.9	154.2				760
156.5	158.8	161.1	163.3	165.6	167.9				761
170.2	174.6	179.0	183.4	190.0	196.6				762
.636105E-10	.348922E-10	.161332E-10	.325065E-11	.611972E-11					763
.124560E-09	.841200E-10	.525630E-10	.290175E-10	.109035E-10					764
.194280E-09	.142552E-09	.974625E-10	.609877E-10	.313027E-10					765
.369405E-09	.280725E-09	.200842E-09	.133335E-09	.769375E-10					766
.789525E-09	.605602E-09	.440602E-09	.298980E-09	.181432E-09					767
.178575E-08	.135555E-08	.982875E-09	.666795E-09	.411532E-09					768
.413512E-08	.303962E-08	.215182E-08	.143265E-08	.875325E-09					769
.642780E-08	.457860E-08	.316785E-08	.206887E-08	.123780E-08					770
.101250E-07	.677587E-08	.452205E-08	.288217E-08	.167430E-08					771
.151462E-07	.970725E-08	.616732E-08	.393370E-08	.215265E-08					772
.188347E-07	.122947E-07	.777000E-08	.480292E-08	.264172E-08					773
.211642E-07	.141967E-07	.913200E-08	.569100E-08	.311265E-08					774
.231765E-07	.157612E-07	.102840E-07	.647182E-08	.354060E-08					775
.249720E-07	.171135E-07	.112733E-07	.714862E-08	.391327E-08					776
.265905E-07	.183052E-07	.121305E-07	.773175E-08	.422827E-08					777
.280493E-07	.193597E-07	.128760E-07	.823200E-08	.448807E-08					778
.293535E-07	.202897E-07	.135217E-07	.865725E-08	.469725E-08					779
.305040E-07	.211005E-07	.140752E-07	.901425E-08	.486112E-08					780
.314977E-07	.217927E-07	.145402E-07	.930825E-08	.498465E-08					781
.323302E-07	.223672E-07	.149212E-07	.954300E-08	.507255E-08					782
.329955E-07	.228225E-07	.152182E-07	.972075E-08	.512880E-08					783
.334905E-07	.231562E-07	.154327E-07	.984450E-08	.515700E-08					784
.338107E-07	.233692E-07	.155655E-07	.991575E-08	.516045E-08					785
.339555E-07	.234607E-07	.156195E-07	.993825E-08	.514200E-08					786
.339285E-07	.234353E-07	.155970E-07	.991350E-08	.510450E-08					787
.337350E-07	.232965E-07	.155010E-07	.984525E-08	.505057E-08					788
.333855E-07	.230520E-07	.153382E-07	.973725E-08	.498263E-08					789
.328950E-07	.227122E-07	.151147E-07	.959400E-08	.490365E-08					790
.323685E-07	.223500E-07	.148777E-07	.944400E-08	.482767E-08					791

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

				2977.3		280.0		924		
-0.23928E-04	-0.44400E-06					1.0		925		
0.00	0.0		1.0	E 101.0		E 10		926		
	3	18	4	18	3	22	4	22	3	927
	7	12	1	4						928
196.6	156.5		6.075		16.07					929
6.075	7.742		9.408		11.07		12.74		14.41	930
16.07										931
156.5	158.8		161.1		163.3		165.6		167.9	932
170.2	174.6		179.0		183.4		190.0		196.6	933
.184543E-07	.179932E-07	.174244E-07	.167469E-07	.159379E-07	.149227E-07					934
.134238E-07										935
.132958E-07	.129060E-07	.124301E-07	.118761E-07	.112411E-07	.104966E-07					936
.957759E-08										937
.897087E-08	.863822E-08	.824122E-08	.779425E-08	.731136E-08	.680729E-08					938
.631432E-08										939
.576255E-08	.547500E-08	.513883E-08	.477390E-08	.440431E-08	.405909E-08					940
.376836E-08										941
.345599E-08	.319744E-08	.289719E-08	.257622E-08	.226453E-08	.200337E-08					942
.182662E-08										943
.186412E-08	.162132E-08	.133445E-08	.101956E-08	.708204E-09	.457947E-09					944
.356113E-09										945
.831577E-09	.600229E-09	.315869E-09	.180385E-10	.392369E-09	.783515E-09					946
-.112099E-08										947
-.917843E-10	.262550E-09	.478885E-09	.746171E-09	.107253E-08	.147120E-08					948
-.196451E-08										949
-.192599E-09	.280565E-09	.387293E-09	.510360E-09	.645345E-09	.784478E-09					950
-.915079E-09										951
-.237726E-10	.609475E-10	.104313E-09	.151561E-09	.199612E-09	.244399E-09					952
-.281381E-09										953
.205787E-09	.200700E-09	.195556E-09	.191160E-09	.188384E-09	.188169E-09					954
.191296E-09										955
.155232E-09	.161305E-09	.169044E-09	.178493E-09	.189553E-09	.202365E-09					956
.216290E-09										957
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							958
			2977.3			280.0				959
-0.12946E-03	-0.28742E-05					1.0				960
0.00	0.0		1.0	E 101.0		E 10				961
	4	20	5	20	4	22	5	22	3	962
	4	6	1	2						963
196.6	170.2		16.07		26.48					964
16.07	19.54		23.01		26.48					965
170.2	174.6		179.0		183.4		190.0		196.6	966
.346558E-09	.934241E-09	.628685E-09	.130661E-08							967
.735510E-09	.213034E-09	.343129E-09	.113048E-08							968
.796015E-09	.659310E-09	.740182E-09	.102621E-08							969
.768372E-09	.742369E-09	.794395E-09	.917661E-09							970
.664777E-09	.678942E-09	.709796E-09	.754118E-09							971
.407759E-09	.426197E-09	.443354E-09	.456783E-09							972
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							973
			2977.3			280.0				974
-0.34230E-04	-0.46265E-05					1.0				975
0.00	0.0		1.0	E 101.0		E 10				976
	4	18	5	18	4	20	5	20	3	977
	4	7	1	2						978
170.2	156.5		16.07		26.48					979
16.07	19.54		23.01		26.48					980
156.5	158.8		161.1		163.3		165.6		167.9	981
170.2										982
-.108214E-07	-.113869E-07	-.118761E-07	-.127903E-07							983
-.888544E-08	-.923445E-08	-.963632E-08	-.105241E-07							984
-.736129E-08	-.755469E-08	-.788243E-08	-.869937E-08							985
-.614064E-08	-.624083E-08	-.650140E-08	-.719577E-08							986
-.518865E-08	-.523095E-08	-.543674E-08	-.600926E-08							987
-.447593E-08	-.448584E-08	-.465906E-08	-.513066E-08							988
-.405572E-08	-.405095E-08	-.422087E-08	-.462347E-08							989

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							990
		2977.3						280.0	991
-0.55148E-04-0.82116E-05								1.0	992
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10			993
	5 18 6 18	5 22	6 22					3	994
	4 12 1 4								995
196.6	156.5	26.48	33.83						996
26.48	28.93	31.38	33.83						997
156.5	158.8	161.1	163.3			165.6	167.9		998
170.2	174.6	179.0	183.4			190.0	196.6		999
.108519E-07	.884622E-08	.557919E-08	.107621E-09						1000
.804233E-08	.610745E-08	.362409E-08	.280126E-09						1001
.555309E-08	.386420E-08	.212245E-08	.355636E-09						1002
.363404E-08	.235015E-08	.121948E-08	.268110E-09						1003
.212331E-08	.122954E-08	.564468E-09	.908184E-10						1004
.875388E-09	.327677E-09	.494821E-10	.970511E-10						1005
-.540553E-09	-.463866E-09	-.341084E-09	-.237765E-09						1006
-.160061E-08	-.976503E-09	-.568844E-09	-.290291E-09						1007
-.740504E-09	-.498898E-09	-.281282E-09	-.101234E-09						1008
-.188063E-09	-.794496E-10	.284770E-10	.126196E-09						1009
.235229E-09	.272401E-09	.309134E-09	.340228E-09						1010
.239733E-09	.248390E-09	.253001E-09	.247898E-09						1011
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1012
		2977.3						280.0	1013
-0.73178E-04-0.13641E-04								1.0	1014
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10			1015
	6 18 7 18	6 22	7 22					3	1016
	4 12 1 4								1017
196.6	156.5	33.83	39.84						1018
33.83	35.83	37.83	39.84						1019
156.5	158.8	161.1	163.3			165.6	167.9		1020
170.2	174.6	179.0	183.4			190.0	196.6		1021
.177875E-06	.166523E-06	.165763E-06	.178987E-06						1022
.152423E-06	.146585E-06	.147139E-06	.153715E-06						1023
.128529E-06	.126255E-06	.126810E-06	.129946E-06						1024
.106487E-06	.105609E-06	.106122E-06	.107853E-06						1025
.868409E-07	.866357E-07	.871295E-07	.882035E-07						1026
.698940E-07	.700864E-07	.705833E-07	.713111E-07						1027
.557010E-07	.561403E-07	.566372E-07	.571662E-07						1028
.356796E-07	.362150E-07	.366093E-07	.368786E-07						1029
.230114E-07	.233567E-07	.235833E-07	.236904E-07						1030
.150288E-07	.152179E-07	.153282E-07	.153532E-07						1031
.816504E-08	.819902E-08	.825289E-08	.832181E-08						1032
.384015E-08	.376032E-08	.383662E-08	.407002E-08						1033
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1034
		2977.3						280.0	1035
-0.68724E-05-0.18631E-05								1.0	1036
0.00	0.0	1.0	E 101.0			E 10			1037
	7 18 8 18	7 22	8 22					3	1038
	4 12 1 4								1039
196.6	156.5	39.84	47.45						1040
39.84	42.38	44.91	47.45						1041
156.5	158.8	161.1	163.3			165.6	167.9		1042
170.2	174.6	179.0	183.4			190.0	196.6		1043
.667422E-09	.662246E-08	.968657E-08	.113326E-07						1044
.122325E-08	.470305E-08	.677197E-08	.791668E-08						1045
.132730E-08	.313141E-08	.443971E-08	.518542E-08						1046
.118041E-08	.214914E-08	.291763E-08	.336577E-08						1047
.948108E-09	.148354E-08	.191415E-08	.215922E-08						1048
.723996E-09	.102466E-08	.125013E-08	.135618E-08						1049
.549832E-09	.717853E-09	.818874E-09	.828072E-09						1050
.365473E-09	.402906E-09	.389330E-09	.317520E-09						1051
.350742E-09	.339769E-09	.301088E-09	.235945E-09						1052
.408586E-09	.382169E-09	.344158E-09	.297318E-09						1053
.479745E-09	.448308E-09	.414550E-09	.381801E-09						1054
.329763E-09	.305550E-09	.281263E-09	.260694E-09						1055

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1056
		2977.3				280.0			1057
-0.11525E-03-0.18391E-04						1.0			1058
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10				1059
	8 18 9 18	8 22 9 22				3			1060
	5 12 1 4								1061
196.6	156.5	47.45	56.01						1062
47.45	49.59	51.73	53.87		56.01				1063
156.5	158.8	161.1	163.3		165.6	167.9			1064
170.2	174.6	179.0	183.4		190.0	196.6			1065
.113587E-07	.120674E-07	.121632E-07	.114430E-07	.821129E-08					1066
.796563E-08	.840631E-08	.830817E-08	.744997E-08	.531744E-08					1067
.523067E-08	.548676E-08	.535924E-08	.480958E-08	.396549E-08					1068
.339814E-08	.355503E-08	.349965E-08	.328178E-08	.305833E-08					1069
.217950E-08	.226848E-08	.225942E-08	.223236E-08	.230670E-08					1070
.136774E-08	.139101E-08	.137058E-08	.140544E-08	.167416E-08					1071
.834460E-09	.785475E-09	.688809E-09	.606728E-09	.670371E-09					1072
.321765E-09	.204156E-09	.265461E-10	.235440E-09	.607950E-09					1073
.238062E-09	.160667E-09	.671761E-10	.376079E-10	.134795E-09					1074
.298799E-09	.254963E-09	.210105E-09	.169164E-09	.140038E-09					1075
.383218E-09	.359041E-09	.337676E-09	.320333E-09	.307529E-09					1076
.261734E-09	.248382E-09	.237072E-09	.226521E-09	.214275E-09					1077
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1078
		2977.3				280.0			1079
-0.16021E-03-0.17627E-04						1.0			1080
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10				1081
	9 20 10 20	9 22 10 22				3			1082
	4 6 1 2								1083
196.6	170.2	56.01	63.43						1084
56.01	58.48	60.96	63.43						1085
170.2	174.6	179.0	183.4		190.0	196.6			1086
.302365E-08	.231540E-08	.223458E-08	.272020E-08						1087
.219053E-08	.197111E-08	.198301E-08	.220403E-08						1088
.157289E-08	.153290E-08	.154978E-08	.161779E-08						1089
.111574E-08	.110808E-08	.111632E-08	.113754E-08						1090
.666609E-09	.665293E-09	.666494E-09	.669755E-09						1091
.327619E-09	.329867E-09	.334603E-09	.343578E-09						1092
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1093
		2977.3				280.0			1094
-0.61484E-04-0.52553E-05						1.0			1095
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10				1096
	9 18 10 18	9 20 10 20				3			1097
	4 7 1 2								1098
170.2	156.5	56.01	63.43						1099
56.01	58.48	60.96	63.43						1100
156.5	158.8	161.1	163.3		165.6	167.9			1101
170.2									1102
-.108743E-07	-.179865E-07	-.183521E-07	-.123637E-07						1103
-.102553E-07	-.132342E-07	-.130245E-07	-.973658E-08						1104
-.847097E-08	-.929206E-08	-.890639E-08	-.729250E-08						1105
-.678182E-08	-.680215E-08	-.641257E-08	-.556484E-08						1106
-.548197E-08	-.520497E-08	-.488304E-08	-.446275E-08						1107
-.458256E-08	-.420644E-08	-.397342E-08	-.388396E-08						1108
-.422435E-08	-.379487E-08	-.363331E-08	-.383849E-08						1109
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1110
		2977.3				280.0			1111
-0.10984E-03-0.94696E-05						1.0			1112
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10				1113
	10 18 11 18	10 22 11 22				3			1114
	3 12 1 4								1115
196.6	156.5	63.43	68.47						1116
63.43	65.95	68.47							1117
156.5	158.8	161.1	163.3		165.6	167.9			1118
170.2	174.6	179.0	183.4		190.0	196.6			1119
.510525E-08	.132046E-07	.185262E-07							1120
.455449E-08	.979903E-08	.136838E-07							1121

Abb.3.4-8 (Fortsetzung)

.419638E-08	.714061E-08	.975630E-08								1122
.353687E-08	.525528E-08	.696729E-08								1123
.269608E-08	.375582E-08	.492516E-08								1124
.177200E-08	.250790E-08	.341207E-08								1125
.569535E-09	.145069E-08	.232480E-08								1126
-.125781E-09	.635715E-09	.117498E-08								1127
.348859E-09	.590923E-09	.800084E-09								1128
.494544E-09	.569125E-09	.635896E-09								1129
.507181E-09	.494846E-09	.482474E-09								1130
.326469E-09	.291358E-09	.260543E-09								1131
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06			0.548					1132
					2977.3			280.0		1133
-0.16313E-03	-0.11266E-04							1.0		1134
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10						1135
	11 18 12 18	11 22	12	22	3					1136
	6 12 1 4									1137
196.6	156.5	68.47	78.98							1138
68.47	70.57	72.67	74.77	76.88	78.98					1139
156.5	158.8	161.1	163.3	165.6	167.9					1140
170.2	174.6	179.0	183.4	190.0	196.6					1141
.170244E-07	.207861E-07	.233755E-07	.251516E-07	.262662E-07	.268668E-07					1142
.126113E-07	.153004E-07	.172582E-07	.186499E-07	.195351E-07	.200005E-07					1143
.900328E-08	.108851E-07	.123531E-07	.134356E-07	.141414E-07	.145126E-07					1144
.643316E-08	.775090E-08	.882489E-08	.964326E-08	.101873E-07	.104772E-07					1145
.454967E-08	.549590E-08	.628967E-08	.690506E-08	.732056E-08	.754537E-08					1146
.315082E-08	.387202E-08	.447599E-08	.494412E-08	.526145E-08	.543507E-08					1147
.213046E-08	.271959E-08	.319503E-08	.355502E-08	.379678E-08	.392875E-08					1148
.109141E-08	.144849E-08	.172028E-08	.192116E-08	.205456E-08	.212570E-08					1149
.741241E-09	.900239E-09	.102332E-08	.111454E-08	.117337E-08	.120041E-08					1150
.586675E-09	.643216E-09	.685464E-09	.714582E-09	.729286E-09	.728865E-09					1151
.443931E-09	.439377E-09	.432198E-09	.422558E-09	.409617E-09	.392631E-09					1152
.239539E-09	.220714E-09	.203850E-09	.188703E-09	.174676E-09	.161203E-09					1153
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1154
			2977.3		280.0					1155
-0.29234E-03	-0.22168E-04							1.0		1156
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10						1157
	12 18 13 18	12 22	13	22	3					1158
	6 12 1 4									1159
196.6	156.5	78.98	89.50							1160
78.98	81.08	83.19	85.29	87.39	89.50					1161
156.5	158.8	161.1	163.3	165.6	167.9					1162
170.2	174.6	179.0	183.4	190.0	196.6					1163
.265118E-07	.264429E-07	.259555E-07	.249783E-07	.234558E-07	.212425E-07					1164
.197440E-07	.196696E-07	.192401E-07	.183843E-07	.170311E-07	.152911E-07					1165
.143314E-07	.142790E-07	.139390E-07	.132668E-07	.122547E-07	.111071E-07					1166
.103486E-07	.103186E-07	.100704E-07	.958452E-08	.888161E-08	.812329E-08					1167
.745328E-08	.744267E-08	.727206E-08	.693552E-08	.645886E-08	.595357E-08					1168
.536882E-08	.537133E-08	.525744E-08	.502813E-08	.470590E-08	.436500E-08					1169
.388059E-08	.388900E-08	.381249E-08	.365510E-08	.343453E-08	.320030E-08					1170
.209987E-08	.210872E-08	.207222E-08	.199483E-08	.188641E-08	.176924E-08					1171
.118569E-08	.118383E-08	.115947E-08	.111311E-08	.105258E-08	.987012E-09					1172
.719795E-09	.706941E-09	.682644E-09	.648969E-09	.608276E-09	.565048E-09					1173
.387578E-09	.367915E-09	.345049E-09	.319779E-09	.292858E-09	.265741E-09					1174
.159075E-09	.146473E-09	.134177E-09	.122361E-09	.111333E-09	.101476E-09					1175
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1176
			2977.3		280.0					1177
-0.49562E-03	-0.14910E-04							1.0		1178
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10						1179
	2 2 3 2	2 5	3	5	3					1180
	4 10 1 3									1181
60.18	20.0	0.0	6.075							1182
0.0	2.025	4.350	6.075							1183
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44	46.80					1184
52.16	54.83	57.51	60.18							1185
.739566E-09	.739836E-09	.740634E-09	.741942E-09							1186
.987974E-09	.987204E-09	.984896E-09	.980951E-09							1187

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

.934612E-09	.932322E-09	.925463E-09	.914140E-09						1188	
.938133E-09	.932986E-09	.917719E-09	.892919E-09						1199	
.116306E-08	.115123E-08	.111630E-08	.106703E-08						1190	
.204175E-08	.201395E-08	.193112E-08	.179663E-08						1191	
.460923E-08	.454862E-08	.436681E-08	.406512E-08						1192	
.714285E-08	.705964E-08	.680894E-08	.638797E-08						1193	
.110640E-07	.109572E-07	.106368E-07	.100933E-07						1194	
.164194E-07	.162895E-07	.158980E-07	.152285E-07						1195	
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1196	
			2977.3					280.0	1197	
-0.64510E-04	-0.12123E-05							1.0	1198	
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					1199	
	3	2	4	2	3	5	4	5	3	1200
	7	10	1	3						1201
60.18	20.0	6.075	16.07							1202
6.075	7.742	9.408	11.07	12.74	14.41					1203
16.07										1204
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44	46.80					1205
52.16	54.83	57.51	60.18							1206
.744256E-09	.745655E-09	.747257E-09	.748898E-09	.750278E-09	.750895E-09					1207
.749863E-09										1208
.984010E-09	.979669E-09	.973974E-09	.967026E-09	.958399E-09	.947862E-09					1209
.934805E-09										1210
.916991E-09	.904369E-09	.888852E-09	.870459E-09	.849161E-09	.824834E-09					1211
.797244E-09										1212
.895703E-09	.868770E-09	.836684E-09	.800217E-09	.760198E-09	.717420E-09					1213
.672586E-09										1214
.106333E-08	.100283E-08	.932074E-09	.853784E-09	.771305E-09	.688421E-09					1215
.609262E-09										1216
.180223E-08	.165575E-08	.148263E-08	.128885E-08	.108331E-08	.876722E-09					1217
.682998E-09										1218
.407770E-08	.373341E-08	.332250E-08	.283623E-08	.229294E-08	.171645E-08					1219
.114989E-08										1220
.640789E-08	.592578E-08	.532169E-08	.459369E-08	.374652E-08	.280043E-08					1221
.182182E-08										1222
.101248E-07	.949280E-08	.868336E-08	.767387E-08	.643230E-08	.490944E-08					1223
.305365E-08										1224
.152759E-07	.144904E-07	.134685E-07	.121619E-07	.104876E-07	.828694E-08					1225
.523300E-08										1226
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1227
			2977.3					280.0		1228
-0.36508E-03	-0.81991E-05							1.0		1229
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10						1230
	4	2	5	2	4	5	5	5	3	1231
	4	10	1	3						1232
60.18	20.0	16.07	26.48							1233
16.07	19.54	23.01	26.48							1234
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44	46.80					1235
52.16	54.83	57.51	60.18							1236
.131168E-08	.129051E-08	.125512E-08	.121020E-08							1237
.204788E-08	.199709E-08	.197570E-08	.179709E-08							1238
.281978E-08	.273509E-08	.260229E-08	.241333E-08							1239
.432758E-08	.421317E-08	.406973E-08	.389191E-08							1240
.704289E-08	.688444E-08	.677779E-08	.674190E-08							1241
.115811E-07	.112282E-07	.110920E-07	.112322E-07							1242
.187031E-07	.176316E-07	.171137E-07	.170620E-07							1243
.235667E-07	.217269E-07	.208531E-07	.206454E-07							1244
.294552E-07	.262983E-07	.250309E-07	.251965E-07							1245
.364271E-07	.314422E-07	.296570E-07	.302574E-07							1246
0.84165E+00	-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548							1247
			2977.3					280.0		1248
-0.14328E-03	-0.27741E-04							1.0		1249
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10						1250
	5	2	6	2	5	5	6	5	3	1251
	4	10	1	3						1252
60.18	20.0	26.48	33.83							1253

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

26.48	28.93	31.38	33.83						1254
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44		46.80			1255
52.16	54.83	57.51	60.18						1256
.676738E-09	.633343E-09	.591419E-09	.539776E-09						1257
.764081E-09	.665674E-09	.567945E-09	.474756E-09						1258
.567616E-09	.391546E-09	.181374E-09	.822219E-10						1259
.578196E-09	.442105E-09	.290419E-09	.116489E-09						1260
.896620E-09	.973130E-09	.112607E-08	.136043E-08						1261
.129305E-08	.169758E-08	.244343E-08	.373987E-08						1262
.110575E-08	.118202E-08	.137475E-08	.194723E-08						1263
.971388E-09	.715120E-09	.312383E-10	.912485E-09						1264
.127457E-08	.123023E-08	.294930E-09	.344840E-08						1265
.196330E-08	.276345E-08	.634292E-09	.519022E-08						1266
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1267
			2977.3			280.0			1268
-0.12570E-03	-0.31930E-04					1.0			1269
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					1270
	6 4 7 4 6 5 7 5 3								1271
	4 4 1 1								1272
60.18	52.16	33.83	39.84						1273
33.83	35.83	37.83	39.84						1274
52.16	54.83	57.51	60.18						1275
.753284E-07	.761270E-07	.759422E-07	.752783E-07						1276
.874566E-07	.867544E-07	.865022E-07	.867715E-07						1277
.100470E-06	.968326E-07	.963560E-07	.987809E-07						1278
.114756E-06	.106516E-06	.105221E-06	.110390E-06						1279
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1280
			2977.3			280.0			1281
-0.10891E-04	-0.39346E-05					1.0			1282
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					1283
	6 3 7 3 6 4 7 4 3								1284
	4 4 1 1								1285
52.16	36.08	33.83	39.84						1286
33.83	35.83	37.83	39.84						1287
36.08	41.44	46.80	52.16						1288
-.670742E-10	-.803354E-11	-.158603E-10	-.818483E-10						1289
.105857E-08	.114438E-08	.113223E-08	.102863E-08						1290
.154162E-08	.200580E-08	.203168E-08	.165411E-08						1291
-.932180E-08	.474421E-09	.768021E-09	.386928E-10						1292
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1293
			2977.3			280.0			1294
-0.57361E-05	-0.20754E-05					1.0			1295
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					1296
	6 2 7 2 6 3 7 3 3								1297
	4 4 1 1								1298
36.08	20.0	33.83	39.84						1299
33.83	35.83	37.83	39.84						1300
20.00	25.36	30.72	36.08						1301
.330370E-08	.324113E-08	.331386E-08	.353126E-08						1302
.545398E-08	.537319E-08	.537095E-08	.544342E-08						1303
.819694E-08	.793465E-08	.786654E-08	.797148E-08						1304
.116052E-07	.107987E-07	.105803E-07	.108973E-07						1305
0.84165E+00	0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1306
			2977.3			280.0			1307
-0.94792E-06	-0.34345E-06					1.0			1308
0.00	0.0	1.0	E 101.0	E 10					1309
	7 2 8 2 7 5 8 5 3								1310
	4 10 1 3								1311
60.18	20.0	39.84	47.45						1312
39.84	42.38	44.91	47.45						1313
20.00	25.36	30.72	36.08	41.44		46.80			1314
52.16	54.83	57.51	60.18						1315
.760564E-09	.688294E-09	.633803E-09	.596749E-09						1316
.719992E-09	.704515E-09	.695862E-09	.690013E-09						1317
.188397E-09	.369106E-09	.468531E-09	.524298E-09						1318
.130630E-09	.296797E-09	.389809E-09	.434150E-09						1319

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1386
		2977.3			280.0			1387
-0.27550E-03-0.23594E-04					1.0			1388
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10			1389
11	2	12	2	11	5	12	5	1390
6	10	1	3				3	1391
60.18	20.0	68.47		78.98				1392
68.47	70.57	72.67		74.77	76.88	78.98		1393
20.00	25.36	30.72		36.08	41.44	46.80		1394
52.16	54.83	57.51		60.18				1395
.556172E-09	.505335E-09	.458984E-09	.416456E-09	.376908E-09	.339635E-09			1396
.842556E-09	.792456E-09	.742847E-09	.694275E-09	.645958E-09	.597119E-09			1397
.108872E-08	.106587E-08	.103709E-08	.100381E-08	.964863E-09	.919099E-09			1398
.155949E-08	.160339E-08	.162902E-08	.163810E-08	.162742E-08	.159484E-08			1399
.241667E-08	.263689E-08	.280734E-08	.293038E-08	.299766E-08	.300578E-08			1400
.392415E-08	.460831E-08	.515470E-08	.556855E-08	.583384E-08	.594972E-08			1401
.661113E-08	.846977E-08	.992311E-08	.110079E-07	.117170E-07	.120812E-07			1402
.873774E-08	.116339E-07	.139363E-07	.155864E-07	.166629E-07	.172429E-07			1403
.121560E-07	.166661E-07	.199481E-07	.222785E-07	.237844E-07	.246238E-07			1404
.166106E-07	.232546E-07	.278983E-07	.310756E-07	.331059E-07	.342796E-07			1405
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1406
		2977.3			280.0			1407
-0.57794E-03-0.58815E-04					1.0			1408
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10			1409
12	2	13	2	12	5	13	5	1410
6	10	1	3				3	1411
60.18	20.0	78.98		89.50				1412
78.98	81.08	83.19		85.29	87.39	89.50		1413
20.00	25.36	30.72		36.08	41.44	46.80		1414
52.16	54.83	57.51		60.18				1415
.337462E-09	.302873E-09	.270406E-09	.240454E-09	.213643E-09	.190831E-09			1416
.593470E-09	.545216E-09	.496888E-09	.449015E-09	.402077E-09	.357408E-09			1417
.913733E-09	.863092E-09	.807336E-09	.747708E-09	.685639E-09	.624261E-09			1418
.158609E-08	.153399E-08	.146471E-08	.138089E-08	.128646E-08	.119087E-08			1419
.299032E-08	.293971E-08	.284199E-08	.270194E-08	.253006E-08	.235202E-08			1420
.592091E-08	.587783E-08	.571571E-08	.544113E-08	.507837E-08	.469768E-08			1421
.120233E-07	.119989E-07	.116986E-07	.111161E-07	.102869E-07	.939431E-07			1422
.171553E-07	.171670E-07	.167861E-07	.159808E-07	.147649E-07	.133972E-07			1423
.244847E-07	.245441E-07	.240911E-07	.230577E-07	.213791E-07	.192444E-07			1424
.340655E-07	.342162E-07	.337430E-07	.325833E-07	.306990E-07	.279998E-07			1425
0.84165E+00-0.55894E-03	0.16393E-06	0.548						1426
		2977.3			280.0			1427
-0.78301E-03-0.27581E-04					1.0			1428
0.00	0.0	1.0	E 101.0		E 10			1429
0.66815E+03	0.66818E+03	0.66820E+03	0.66679E+03	0.66609E+03	0.66508E+03			1430
0.66457E+03	0.66470E+03	0.66265E+03	0.66039E+03	0.65763E+03	0.66360E+03			1431
0.66076E+03	0.70652E+03	0.70619E+03	0.70567E+03	0.70089E+03	0.70633E+03			1432
0.69586E+03	0.69477E+03	0.69601E+03	0.69071E+03	0.68476E+03	0.67556E+03			1433
0.69143E+03	0.67789E+03	0.78868E+03	0.78578E+03	0.78165E+03	0.77056E+03			1434
0.76557E+03	0.75961E+03	0.75581E+03	0.75686E+03	0.74944E+03	0.74126E+03			1435
0.71732E+03	0.74405E+03	0.70311E+03	0.28703E+04	0.28470E+04	0.28097E+04			1436
0.26589E+04	0.25700E+04	0.24595E+04	0.23399E+04	0.22640E+04	0.21225E+04			1437
0.25544E+04	0.21236E+04	0.80653E+03	0.72737E+03	0.29778E+04	0.29777E+04			1438
0.29776E+04	0.29773E+04	0.29102E+04	0.28265E+04	0.27245E+04	0.26578E+04			1439
0.25202E+04	0.29321E+04	0.25404E+04	0.86679E+03	0.75235E+03	0.30201E+04			1440
0.29783E+04	0.29782E+04	0.29778E+04	0.29777E+04	0.29775E+04	0.29741E+04			1441
0.29289E+04	0.28138E+04	0.29778E+04	0.28385E+04	0.91621E+03	0.77454E+03			1442
0.32578E+04	0.32099E+04	0.31424E+04	0.29782E+04	0.29780E+04	0.29779E+04			1443
0.29777E+04	0.29776E+04	0.29773E+04	0.29782E+04	0.29774E+04	0.95458E+03			1444
0.79252E+03	0.33849E+04	0.33305E+04	0.32591E+04	0.30723E+04	0.29783E+04			1445
0.29781E+04	0.29779E+04	0.29778E+04	0.29775E+04	0.31073E+04	0.29776E+04			1446
0.98166E+03	0.80572E+03	0.33848E+04	0.33145E+04	0.32314E+04	0.30830E+04			1447
0.29949E+04	0.29782E+04	0.29779E+04	0.29778E+04	0.29776E+04	0.31672E+04			1448
0.29777E+04	0.99722E+03	0.81388E+03	0.32862E+04	0.31870E+04	0.30620E+04			1449
0.29990E+04	0.29782E+04	0.29781E+04	0.29779E+04	0.29777E+04	0.29775E+04			1450
0.31382E+04	0.29777E+04	0.10015E+04	0.81691E+03	0.31409E+04	0.30334E+04			1451

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.29782E+04	0.29781E+04	0.29781E+04	0.29779E+04	0.29777E+04	0.29775E+04	1452
0.29774E+04	0.30502E+04	0.29776E+04	0.99703E+03	0.81586E+03	0.29783E+04	1453
0.29781E+04	0.29779E+04	0.29778E+04	0.29778E+04	0.29777E+04	0.29775E+04	1454
0.29773E+04	0.29331E+04	0.29782E+04	0.29774E+04	0.99494E+03	0.81128E+03	1455
0.29779E+04	0.29777E+04	0.29775E+04	0.29774E+04	0.29775E+04	0.29774E+04	1456
0.29427E+04	0.28747E+04	0.28100E+04	0.29779E+04	0.29294E+04	0.96568E+03	1457
0.80339E+03	0.29775E+04	0.29773E+04	0.29137E+04	0.29262E+04	0.29176E+04	1458
0.28762E+04	0.27802E+04	0.27010E+04	0.26304E+04	0.29774E+04	0.27642E+04	1459
0.93946E+03	0.79236E+03	0.28431E+04	0.27720E+04	0.26901E+04	0.27190E+04	1460
0.27162E+04	0.26676E+04	0.25529E+04	0.24559E+04	0.23854E+04	0.28303E+04	1461
0.25271E+04	0.90611E+03	0.77854E+03	0.25590E+04	0.24758E+04	0.23908E+04	1462
0.24482E+04	0.24583E+04	0.24050E+04	0.22802E+04	0.21889E+04	0.21288E+04	1463
0.25407E+04	0.22471E+04	0.86543E+03	0.76272E+03	0.11922E+04	0.11775E+04	1464
0.11503E+04	0.11731E+04	0.11645E+04	0.11668E+04	0.11483E+04	0.11459E+04	1465
0.11227E+04	0.11467E+04	0.10991E+04	0.82241E+03	0.74683E+03	0.11438E+04	1466
0.11315E+04	0.11170E+04	0.11305E+04	0.11231E+04	0.11247E+04	0.11070E+04	1467
0.11049E+04	0.10815E+04	0.11050E+04	0.10654E+04	0.79091E+03	0.73332E+03	1468
0.11082E+04	0.10977E+04	0.10850E+04	0.10962E+04	0.10880E+04	0.10902E+04	1469
0.10741E+04	0.10720E+04	0.10494E+04	0.10746E+04	0.10393E+04	0.76590E+03	1470
0.71995E+03	0.10823E+04	0.10724E+04	0.10599E+04	0.10693E+04	0.10606E+04	1471
0.10630E+04	0.10480E+04	0.10455E+04	0.10245E+04	0.10523E+04	0.10184E+04	1472
0.74969E+03	0.70994E+03					1473
0.17238E+04	0.17773E+04	0.65332E+03	0.65067E+03	0.65068E+03	0.65063E+03	1474
0.65063E+03	0.65070E+03	0.65057E+03	0.65045E+03	0.65037E+03	0.65108E+03	1475
0.65102E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.68519E+03	0.65278E+03	0.65308E+03	1476
0.65262E+03	0.65262E+03	0.65290E+03	0.65241E+03	0.65178E+03	0.65145E+03	1477
0.65454E+03	0.65390E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.73453E+03	0.65623E+03	1478
0.65700E+03	0.65593E+03	0.65588E+03	0.65661E+03	0.65557E+03	0.65508E+03	1479
0.65340E+03	0.65999E+03	0.65779E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.79489E+03	1480
0.68511E+03	0.70817E+03	0.68342E+03	0.68231E+03	0.69538E+03	0.68014E+03	1481
0.67992E+03	0.67579E+03	0.66763E+03	0.66227E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	1482
0.12316E+04	0.73851E+03	0.75430E+03	0.73448E+03	0.73147E+03	0.74171E+03	1483
0.72587E+03	0.72695E+03	0.71894E+03	0.67842E+03	0.66822E+03	0.17238E+04	1484
0.17773E+04	0.14329E+04	0.79624E+03	0.80490E+03	0.79049E+03	0.78580E+03	1485
0.79191E+03	0.77682E+03	0.77946E+03	0.76749E+03	0.69140E+03	0.67535E+03	1486
0.17238E+04	0.17773E+04	0.14575E+04	0.85816E+03	0.85806E+03	0.85119E+03	1487
0.84522E+03	0.84871E+03	0.83328E+03	0.83647E+03	0.82149E+03	0.70565E+03	1488
0.68306E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.14818E+04	0.92091E+03	0.91126E+03	1489
0.91309E+03	0.90505E+03	0.90663E+03	0.89187E+03	0.89419E+03	0.87786E+03	1490
0.72038E+03	0.69100E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.15042E+04	0.98262E+03	1491
0.96237E+03	0.97450E+03	0.96630E+03	0.96313E+03	0.95021E+03	0.11354E+04	1492
0.93456E+03	0.73481E+03	0.69873E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.15223E+04	1493
0.10363E+04	0.10067E+04	0.10287E+04	0.10193E+04	0.10117E+04	0.10015E+04	1494
0.11394E+04	0.98546E+03	0.74746E+03	0.70542E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	1495
0.15371E+04	0.10819E+04	0.10440E+04	0.10753E+04	0.10648E+04	0.10525E+04	1496
0.10453E+04	0.10545E+04	0.10299E+04	0.75796E+03	0.71096E+03	0.17238E+04	1497
0.17773E+04	0.15503E+04	0.11234E+04	0.10772E+04	0.11177E+04	0.11060E+04	1498
0.10390E+04	0.10847E+04	0.10906E+04	0.10706E+04	0.76703E+03	0.71574E+03	1499
0.17238E+04	0.17773E+04	0.15616E+04	0.11597E+04	0.11059E+04	0.11554E+04	1500
0.11424E+04	0.11203E+04	0.11189E+04	0.11285E+04	0.11068E+04	0.77453E+03	1501
0.71957E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.12752E+04	0.11907E+04	0.11292E+04	1502
0.11873E+04	0.11726E+04	0.11455E+04	0.11470E+04	0.11617E+04	0.11371E+04	1503
0.78021E+03	0.72239E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.10723E+04	0.12160E+04	1504
0.11469E+04	0.12127E+04	0.11963E+04	0.11546E+04	0.11686E+04	0.11891E+04	1505
0.11608E+04	0.78379E+03	0.72408E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.11048E+04	1506
0.12346E+04	0.11594E+04	0.12314E+04	0.12134E+04	0.11775E+04	0.11838E+04	1507
0.12096E+04	0.11780E+04	0.78505E+03	0.72456E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	1508
0.11273E+04	0.12351E+04	0.11421E+04	0.12317E+04	0.12129E+04	0.11546E+04	1509
0.11827E+04	0.12130E+04	0.11779E+04	0.78402E+03	0.72403E+03	0.17238E+04	1510
0.17773E+04	0.11494E+04	0.12238E+04	0.11337E+04	0.12198E+04	0.12009E+04	1511
0.11443E+04	0.11107E+04	0.12036E+04	0.11661E+04	0.78121E+03	0.72261E+03	1512
0.17238E+04	0.17773E+04	0.11723E+04	0.12093E+04	0.11216E+04	0.12043E+04	1513
0.11852E+04	0.11299E+04	0.11548E+04	0.11903E+04	0.11509E+04	0.77534E+03	1514
0.71954E+03	0.17238E+04	0.17773E+04	0.11806E+04	0.11900E+04	0.11057E+04	1515
0.11838E+04	0.11645E+04	0.11111E+04	0.11338E+04	0.11729E+04	0.11312E+04	1516
0.76730E+03	0.71516E+03					1517

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.65201E+03	0.65166E+03	0.65112E+03	0.65103E+03	0.65076E+03	0.65095E+03	1511
0.65095E+03	0.65037E+03	0.65084E+03	0.65064E+03	0.65053E+03	0.65141E+03	1519
0.65128E+03	0.65587E+03	0.65581E+03	0.65418E+03	0.65386E+03	0.65330E+03	1520
0.65358E+03	0.65356E+03	0.65341E+03	0.65327E+03	0.65246E+03	0.65198E+03	1521
0.65552E+03	0.65452E+03	0.66639E+03	0.66637E+03	0.65979E+03	0.65888E+03	1522
0.65759E+03	0.65834E+03	0.65819E+03	0.65781E+03	0.65770E+03	0.65603E+03	1523
0.65479E+03	0.66227E+03	0.65896E+03	0.82159E+03	0.78752E+03	0.74064E+03	1524
0.72900E+03	0.71730E+03	0.72283E+03	0.71927E+03	0.70995E+03	0.71251E+03	1525
0.71780E+03	0.70645E+03	0.67133E+03	0.66392E+03	0.89146E+03	0.85135E+03	1526
0.79548E+03	0.78326E+03	0.76489E+03	0.77469E+03	0.76924E+03	0.75577E+03	1527
0.75955E+03	0.76712E+03	0.75092E+03	0.68318E+03	0.67027E+03	0.96094E+03	1528
0.91634E+03	0.84564E+03	0.84108E+03	0.81671E+03	0.83097E+03	0.32405E+03	1529
0.80553E+03	0.81113E+03	0.82064E+03	0.80018E+03	0.69675E+03	0.67759E+03	1530
0.10315E+04	0.98239E+03	0.90381E+03	0.90052E+03	0.87056E+03	0.88910E+03	1531
0.88110E+04	0.85929E+03	0.86571E+03	0.86571E+03	0.85253E+03	0.71120E+03	1532
0.68531E+03	0.10936E+04	0.10434E+04	0.96087E+03	0.95913E+03	0.92411E+03	1533
0.94697E+03	0.93782E+03	0.91327E+03	0.92035E+03	0.93241E+03	0.90532E+03	1534
0.72567E+03	0.69315E+03	0.11470E+04	0.10964E+04	0.10123E+04	0.10142E+04	1535
0.97517E+03	0.10023E+04	0.99193E+03	0.96478E+03	0.97258E+03	0.98685E+03	1536
0.95673E+03	0.73960E+03	0.70061E+03	0.11881E+04	0.11354E+04	0.10453E+04	1537
0.10602E+04	0.10192E+04	0.10499E+04	0.10381E+04	0.10066E+04	0.10170E+04	1538
0.10334E+04	0.10019E+04	0.75155E+03	0.70695E+03	0.12151E+04	0.11647E+04	1539
0.10782E+04	0.10985E+04	0.10560E+04	0.10896E+04	0.10766E+04	0.10424E+04	1540
0.10539E+04	0.10721E+04	0.10402E+04	0.76125E+03	0.71213E+03	0.12385E+04	1541
0.11917E+04	0.11074E+04	0.11325E+04	0.10887E+04	0.11247E+04	0.11105E+04	1542
0.10740E+04	0.10860E+04	0.11070E+04	0.10742E+04	0.76945E+03	0.71650E+03	1543
0.12573E+04	0.12132E+04	0.11321E+04	0.11595E+04	0.11165E+04	0.11544E+04	1544
0.11389E+04	0.11002E+04	0.11123E+04	0.11370E+04	0.11027E+04	0.77600E+03	1545
0.71989E+03	0.12692E+04	0.12281E+04	0.11512E+04	0.11834E+04	0.11388E+04	1546
0.11778E+04	0.11607E+04	0.11205E+04	0.11325E+04	0.11615E+04	0.11248E+04	1547
0.78064E+03	0.72225E+03	0.12716E+04	0.12346E+04	0.11642E+04	0.11996E+04	1548
0.11553E+04	0.11944E+04	0.11759E+04	0.11351E+04	0.11466E+04	0.11791E+04	1549
0.11406E+04	0.78310E+03	0.72345E+03	0.12666E+04	0.12348E+04	0.11714E+04	1550
0.12098E+04	0.11664E+04	0.12052E+04	0.11855E+04	0.11442E+04	0.11551E+04	1551
0.11898E+04	0.11506E+04	0.78321E+03	0.72352E+03	0.11816E+04	0.11731E+04	1552
0.11426E+04	0.11806E+04	0.11380E+04	0.11767E+04	0.11588E+04	0.11293E+04	1553
0.11308E+04	0.11610E+04	0.11256E+04	0.78112E+03	0.72262E+03	0.11711E+04	1554
0.11635E+04	0.11345E+04	0.11710E+04	0.11297E+04	0.11665E+04	0.11486E+04	1555
0.11198E+04	0.11206E+04	0.11523E+04	0.11159E+04	0.77768E+03	0.72093E+03	1556
0.11579E+04	0.11508E+04	0.11268E+04	0.11576E+04	0.11176E+04	0.11523E+04	1557
0.11343E+04	0.11092E+04	0.11062E+04	0.11400E+04	0.11024E+04	0.77160E+03	1558
0.71778E+03	0.11418E+04	0.11349E+04	0.11120E+04	0.11403E+04	0.11018E+04	1559
0.11339E+04	0.11159E+04	0.10914E+04	0.10879E+04	0.11244E+04	0.10851E+04	1560
0.76383E+03	0.71353E+03					1561
0.95644E+01	0.95644E+01	0.95645E+01	0.95651E+01	0.95652E+01	0.95653E+01	1562
0.95654E+01	0.95654E+01	0.95657E+01	0.95660E+01	0.95664E+01	0.99093E+01	1563
0.99097E+01	0.95572E+01	0.95573E+01	0.95578E+01	0.95596E+01	0.95588E+01	1564
0.95603E+01	0.95605E+01	0.95603E+01	0.95611E+01	0.95620E+01	0.95636E+01	1565
0.99041E+01	0.99063E+01	0.95413E+01	0.95421E+01	0.95439E+01	0.95481E+01	1566
0.95488E+01	0.95498E+01	0.95504E+01	0.95502E+01	0.95515E+01	0.95526E+01	1567
0.95570E+01	0.98942E+01	0.99012E+01	0.81517E+01	0.81654E+01	0.81940E+01	1568
0.82935E+01	0.83482E+01	0.83920E+01	0.84320E+01	0.84556E+01	0.85020E+01	1569
0.83391E+01	0.85032E+01	0.98816E+01	0.98960E+01	0.85948E+01	0.85943E+01	1570
0.86061E+01	0.86060E+01	0.81794E+01	0.82002E+01	0.82559E+01	0.82816E+01	1571
0.83668E+01	0.81606E+01	0.83574E+01	0.98678E+01	0.98901E+01	0.86811E+01	1572
0.86785E+01	0.86927E+01	0.87073E+01	0.86535E+01	0.86202E+01	0.81444E+01	1573
0.81669E+01	0.82012E+01	0.86607E+01	0.81864E+01	0.98547E+01	0.98842E+01	1574
0.87530E+01	0.87510E+01	0.87633E+01	0.87636E+01	0.87188E+01	0.86888E+01	1575
0.86337E+01	0.86114E+01	0.85707E+01	0.87459E+01	0.85909E+01	0.98429E+01	1576
0.98787E+01	0.87820E+01	0.87533E+01	0.87971E+01	0.87809E+01	0.87466E+01	1577
0.87044E+01	0.86730E+01	0.86329E+01	0.85907E+01	0.87790E+01	0.86144E+01	1578
0.98329E+01	0.98737E+01	0.87559E+01	0.87243E+01	0.87360E+01	0.87573E+01	1579
0.87324E+01	0.86949E+01	0.86561E+01	0.86367E+01	0.85796E+01	0.88031E+01	1580
0.86149E+01	0.98249E+01	0.98698E+01	0.86860E+01	0.86719E+01	0.86636E+01	1581
0.87047E+01	0.86904E+01	0.86541E+01	0.86203E+01	0.85709E+01	0.85465E+01	1582
0.87394E+01	0.85922E+01	0.98197E+01	0.98669E+01	0.86203E+01	0.85923E+01	1583

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.85813E+01	0.86361E+01	0.86285E+01	0.86052E+01	0.85536E+01	0.85216E+01	1594
0.85027E+01	0.86919E+01	0.85525E+01	0.98169E+01	0.98651E+01	0.85410E+01	1585
0.85154E+01	0.85124E+01	0.85723E+01	0.85536E+01	0.85305E+01	0.84985E+01	1586
0.84621E+01	0.80561E+01	0.86199E+01	0.85048E+01	0.98159E+01	0.98642E+01	1587
0.84613E+01	0.84506E+01	0.84449E+01	0.84689E+01	0.84851E+01	0.84626E+01	1588
0.80414E+01	0.80613E+01	0.80960E+01	0.85308E+01	0.80602E+01	0.98168E+01	1589
0.98642E+01	0.84045E+01	0.84041E+01	0.80133E+01	0.80297E+01	0.80336E+01	1590
0.80485E+01	0.81072E+01	0.81456E+01	0.81959E+01	0.84486E+01	0.81288E+01	1591
0.98195E+01	0.98650E+01	0.80253E+01	0.80688E+01	0.81208E+01	0.81229E+01	1592
0.81280E+01	0.81556E+01	0.82047E+01	0.82286E+01	0.82613E+01	0.80662E+01	1593
0.82168E+01	0.98242E+01	0.98666E+01	0.81364E+01	0.81733E+01	0.82179E+01	1594
0.82182E+01	0.82189E+01	0.82334E+01	0.82800E+01	0.83074E+01	0.83346E+01	1595
0.81859E+01	0.83025E+01	0.98307E+01	0.98689E+01	0.92603E+01	0.92676E+01	1596
0.92770E+01	0.92686E+01	0.92746E+01	0.92711E+01	0.92821E+01	0.92833E+01	1597
0.92987E+01	0.92815E+01	0.93051E+01	0.98383E+01	0.98716E+01	0.92746E+01	1598
0.92811E+01	0.92896E+01	0.92809E+01	0.92867E+01	0.92836E+01	0.92944E+01	1599
0.92957E+01	0.93108E+01	0.92935E+01	0.93156E+01	0.98444E+01	0.98741E+01	1600
0.92873E+01	0.92933E+01	0.93011E+01	0.92931E+01	0.92989E+01	0.92962E+01	1601
0.93066E+01	0.93083E+01	0.93230E+01	0.93045E+01	0.93262E+01	0.98504E+01	1602
0.98772E+01	0.92993E+01	0.93051E+01	0.93126E+01	0.93056E+01	0.93113E+01	1603
0.93092E+01	0.93194E+01	0.93214E+01	0.93354E+01	0.93154E+01	0.93375E+01	1604
0.98558E+01	0.98802E+01					1605
0.86157E+00	0.86165E+00	0.86159E+00	0.86162E+00	0.86163E+00	0.86146E+00	1606
0.86148E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.85359E+00	0.86106E+00	0.85750E+00	1607
0.86110E+00	0.86110E+00	0.86147E+00	0.86115E+00	0.86130E+00	0.86138E+00	1608
0.86064E+00	0.86079E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.84216E+00	0.86024E+00	1609
0.86145E+00	0.86031E+00	0.86032E+00	0.86117E+00	0.86039E+00	0.86051E+00	1610
0.86091E+00	0.85934E+00	0.85986E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.83316E+00	1611
0.85334E+00	0.84642E+00	0.85375E+00	0.85401E+00	0.85488E+00	0.85453E+00	1612
0.85458E+00	0.85557E+00	0.85752E+00	0.85880E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	1613
0.73728E+00	0.84056E+00	0.84453E+00	0.84153E+00	0.84225E+00	0.84949E+00	1614
0.84359E+00	0.84333E+00	0.84525E+00	0.84594E+00	0.85738E+00	0.60324E+00	1615
0.59062E+00	0.68212E+00	0.82670E+00	0.84249E+00	0.82809E+00	0.82922E+00	1616
0.83272E+00	0.83137E+00	0.83073E+00	0.83361E+00	0.85184E+00	0.85568E+00	1617
0.60324E+00	0.59062E+00	0.68232E+00	0.81180E+00	0.84029E+00	0.81348E+00	1618
0.81492E+00	0.82444E+00	0.81779E+00	0.81702E+00	0.82063E+00	0.84843E+00	1619
0.85383E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.68252E+00	0.79665E+00	0.83806E+00	1620
0.79854E+00	0.80024E+00	0.81592E+00	0.80367E+00	0.80310E+00	0.80705E+00	1621
0.84491E+00	0.85194E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.68270E+00	0.78173E+00	1622
0.83586E+00	0.78370E+00	0.78568E+00	0.80751E+00	0.78957E+00	0.74733E+00	1623
0.79336E+00	0.84145E+00	0.85009E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.68270E+00	1624
0.76875E+00	0.83392E+00	0.77058E+00	0.77286E+00	0.80017E+00	0.77716E+00	1625
0.74733E+00	0.78105E+00	0.83842E+00	0.84849E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	1626
0.68282E+00	0.75768E+00	0.83226E+00	0.75928E+00	0.76184E+00	0.79396E+00	1627
0.76655E+00	0.76451E+00	0.77029E+00	0.83590E+00	0.84716E+00	0.60324E+00	1628
0.59062E+00	0.68294E+00	0.74764E+00	0.83075E+00	0.74901E+00	0.75186E+00	1629
0.78839E+00	0.75701E+00	0.75559E+00	0.76042E+00	0.83372E+00	0.84602E+00	1630
0.60324E+00	0.59062E+00	0.68304E+00	0.73884E+00	0.82940E+00	0.73988E+00	1631
0.74304E+00	0.78353E+00	0.74872E+00	0.74639E+00	0.75166E+00	0.83192E+00	1632
0.84510E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.73475E+00	0.73133E+00	0.82826E+00	1633
0.73214E+00	0.73570E+00	0.77953E+00	0.74192E+00	0.73835E+00	0.74432E+00	1634
0.83056E+00	0.84443E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.78163E+00	0.72519E+00	1635
0.82734E+00	0.72598E+00	0.72996E+00	0.77646E+00	0.73668E+00	0.73172E+00	1636
0.73856E+00	0.82970E+00	0.84402E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.77424E+00	1637
0.72069E+00	0.82665E+00	0.72145E+00	0.72583E+00	0.77431E+00	0.73299E+00	1638
0.72673E+00	0.73440E+00	0.82940E+00	0.84391E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	1639
0.76758E+00	0.72055E+00	0.83924E+00	0.72138E+00	0.72593E+00	0.79979E+00	1640
0.73325E+00	0.72591E+00	0.73443E+00	0.92964E+00	0.84403E+00	0.60324E+00	1641
0.59062E+00	0.76179E+00	0.72330E+00	0.83967E+00	0.72427E+00	0.72884E+00	1642
0.90105E+00	0.73616E+00	0.72819E+00	0.73727E+00	0.83032E+00	0.84437E+00	1643
0.60324E+00	0.59062E+00	0.75565E+00	0.72681E+00	0.84022E+00	0.72802E+00	1644
0.73265E+00	0.80273E+00	0.74003E+00	0.73143E+00	0.74096E+00	0.83173E+00	1645
0.84511E+00	0.60324E+00	0.59062E+00	0.75285E+00	0.73148E+00	0.84055E+00	1646
0.73300E+00	0.73767E+00	0.80492E+00	0.74512E+00	0.73563E+00	0.74575E+00	1647
0.83366E+00	0.84616E+00					1648

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

0.77545E+01	0.77548E+01	0.77639E+01	0.77553E+01	0.77884E+01	0.77554E+01	1650
0.77554E+01	0.77741E+01	0.77555E+01	0.77556E+01	0.77556E+01	0.77552E+01	1651
0.77553E+01	0.77513E+01	0.77522E+01	0.77625E+01	0.77539E+01	0.77622E+01	1652
0.77540E+01	0.77540E+01	0.77733E+01	0.77542E+01	0.77546E+01	0.77549E+01	1653
0.77533E+01	0.77538E+01	0.77448E+01	0.77472E+01	0.77598E+01	0.77512E+01	1654
0.77873E+01	0.77515E+01	0.77516E+01	0.77718E+01	0.77518E+01	0.77526E+01	1655
0.77533E+01	0.77501E+01	0.77518E+01	0.76299E+01	0.76621E+01	0.77200E+01	1656
0.77145E+01	0.77560E+01	0.77178E+01	0.77196E+01	0.77350E+01	0.77229E+01	1657
0.77188E+01	0.77250E+01	0.77459E+01	0.77495E+01	0.75856E+01	0.76246E+01	1658
0.76957E+01	0.76866E+01	0.77465E+01	0.76912E+01	0.76941E+01	0.77267E+01	1659
0.76993E+01	0.76932E+01	0.77023E+01	0.77405E+01	0.77466E+01	0.75429E+01	1660
0.75871E+01	0.76934E+01	0.76571E+01	0.77363E+01	0.76622E+01	0.76658E+01	1661
0.77188E+01	0.76727E+01	0.76656E+01	0.76767E+01	0.77343E+01	0.77433E+01	1662
0.74986E+01	0.75486E+01	0.76633E+01	0.76263E+01	0.77257E+01	0.76321E+01	1663
0.76362E+01	0.77105E+01	0.76443E+01	0.76368E+01	0.76495E+01	0.77277E+01	1664
0.77397E+01	0.74619E+01	0.75139E+01	0.76433E+01	0.75956E+01	0.77151E+01	1665
0.76018E+01	0.76066E+01	0.77022E+01	0.76157E+01	0.76074E+01	0.76219E+01	1666
0.77211E+01	0.77362E+01	0.74321E+01	0.74849E+01	0.76257E+01	0.75664E+01	1667
0.77048E+01	0.75725E+01	0.75779E+01	0.76942E+01	0.75880E+01	0.75785E+01	1668
0.75947E+01	0.77147E+01	0.77329E+01	0.74108E+01	0.74654E+01	0.76287E+01	1669
0.75418E+01	0.76958E+01	0.75469E+01	0.75531E+01	0.76900E+01	0.75642E+01	1670
0.75537E+01	0.75707E+01	0.77092E+01	0.77300E+01	0.74006E+01	0.74523E+01	1671
0.76194E+01	0.75209E+01	0.76882E+01	0.75254E+01	0.75322E+01	0.76849E+01	1672
0.75443E+01	0.75332E+01	0.75502E+01	0.77048E+01	0.77277E+01	0.73920E+01	1673
0.74395E+01	0.76112E+01	0.75023E+01	0.76914E+01	0.75062E+01	0.75137E+01	1674
0.76804E+01	0.75269E+01	0.75145E+01	0.75318E+01	0.77011E+01	0.77257E+01	1675
0.73860E+01	0.74301E+01	0.76042E+01	0.74874E+01	0.76756E+01	0.74898E+01	1676
0.74982E+01	0.76767E+01	0.75126E+01	0.74982E+01	0.75165E+01	0.76982E+01	1677
0.77242E+01	0.73846E+01	0.74252E+01	0.75992E+01	0.74743E+01	0.76710E+01	1678
0.74770E+01	0.74864E+01	0.76739E+01	0.75020E+01	0.7485CE+01	0.75048E+01	1679
0.76961E+01	0.77232E+01	0.73909E+01	0.74264E+01	0.75965E+01	0.74657E+01	1680
0.76678E+01	0.74682E+01	0.74784E+01	0.76720E+01	0.74948E+01	0.74759E+01	1681
0.74969E+01	0.76951E+01	0.77227E+01	0.74023E+01	0.74315E+01	0.75955E+01	1682
0.74606E+01	0.76658E+01	0.74629E+01	0.74737E+01	0.76710E+01	0.74908E+01	1683
0.74709E+01	0.74922E+01	0.76952E+01	0.77228E+01	0.74821E+01	0.74861E+01	1684
0.76097E+01	0.74801E+01	0.77159E+01	0.74819E+01	0.74916E+01	0.76568E+01	1685
0.75707E+01	0.74913E+01	0.75098E+01	0.76964E+01	0.77233E+01	0.74892E+01	1686
0.74923E+01	0.76125E+01	0.74859E+01	0.77175E+01	0.74881E+01	0.74978E+01	1687
0.76592E+01	0.75132E+01	0.74966E+01	0.75157E+01	0.76981E+01	0.77241E+01	1688
0.74974E+01	0.74999E+01	0.75982E+01	0.74938E+01	0.77196E+01	0.74964E+01	1689
0.75962E+01	0.76527E+01	0.75216E+01	0.75037E+01	0.75236E+01	0.77010E+01	1690
0.77256E+01	0.75067E+01	0.75091E+01	0.76038E+01	0.75037E+01	0.77223E+01	1691
0.75070E+01	0.75167E+01	0.76576E+01	0.75322E+01	0.75126E+01	0.75335E+01	1692
0.77047E+01	0.77276E+01					1693
0.31345E+00	0.31345E+00	0.23509E+00	0.31345E+00	0.78363E-01	0.31345E+00	1694
0.31345E+00	0.15673E+00	0.31345E+00	0.31345E+00	0.31345E+00	0.46255E+00	1695
0.46255E+00	0.31349E+00	0.31349E+00	0.23512E+00	0.31349E+00	0.78374E-01	1696
0.31349E+00	0.31349E+00	0.15675E+00	0.31348E+00	0.31347E+00	0.31346E+00	1697
0.46263E+00	0.46261E+00	0.31356E+00	0.31356E+00	0.23517E+00	0.31356E+00	1698
0.78390E-01	0.31356E+00	0.31355E+00	0.15678E+00	0.31355E+00	0.31352E+00	1699
0.31351E+00	0.46275E+00	0.46269E+00	0.31445E+00	0.31445E+00	0.23587E+00	1700
0.31454E+00	0.78623E-01	0.31445E+00	0.31440E+00	0.15719E+00	0.31431E+00	1701
0.31440E+00	0.31426E+00	0.46291E+00	0.46277E+00	0.31516E+00	0.31516E+00	1702
0.23641E+00	0.31528E+00	0.78800E-01	0.31516E+00	0.31508E+00	0.15753E+00	1703
0.31494E+00	0.31507E+00	0.31486E+00	0.46313E+00	0.46289E+00	0.31552E+00	1704
0.31591E+00	0.23698E+00	0.31607E+00	0.78990E-01	0.31593E+00	0.31583E+00	1705
0.15791E+00	0.31565E+00	0.31580E+00	0.31554E+00	0.46337E+00	0.46302E+00	1706
0.31674E+00	0.31672E+00	0.23758E+00	0.31689E+00	0.79187E-01	0.31673E+00	1707
0.31662E+00	0.15831E+00	0.31641E+00	0.31656E+00	0.31627E+00	0.46363E+00	1708
0.46315E+00	0.31756E+00	0.31754E+00	0.23820E+00	0.31771E+00	0.79384E-01	1709
0.31754E+00	0.31741E+00	0.15872E+00	0.31717E+00	0.31734E+00	0.31701E+00	1710
0.46389E+00	0.46330E+00	0.31835E+00	0.31832E+00	0.23876E+00	0.31845E+00	1711
0.79574E-01	0.31833E+00	0.31818E+00	0.15911E+00	0.31791E+00	0.31911E+00	1712
0.31773E+00	0.46414E+00	0.46343E+00	0.31903E+00	0.31896E+00	0.23920E+00	1713
0.31915E+00	0.79740E-01	0.31901E+00	0.31884E+00	0.15943E+00	0.31854E+00	1714
0.31877E+00	0.31837E+00	0.46435E+00	0.46354E+00	0.31956E+00	0.31948E+00	1715

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

SNR-MARKIA EISASSEMBLY TABELLE FUER FALL

R1

ICAP = 7

TIME (SEC)	REACTIVITY DELK/K
-0.905582450-03	0.528867540-02
-0.746866880-03	0.531318780-02
-0.593928150-03	0.532953440-02
-0.442102780-03	0.534387680-02
-0.291895820-03	0.536121060-02
-0.144763380-03	0.537737750-02
0.0	0.539532680-02
0.142408530-03	0.541384520-02
0.282227760-03	0.543254610-02
0.419837660-03	0.545271490-02
0.554537640-03	0.547032800-02
0.679257560-03	0.548743460-02
0.794150670-03	0.550350170-02
0.900628510-03	0.551881640-02
0.100062830-02	0.553407150-02
0.110062820-02	0.554747130-02
0.120062800-02	0.556202230-02
0.130062780-02	0.557709860-02
0.140062770-02	0.559339300-02
0.150062750-02	0.561117010-02
0.160062730-02	0.563078370-02
0.170062720-02	0.565242020-02
0.180062700-02	0.567554310-02
0.190062680-02	0.569906460-02
0.200062660-02	0.572294740-02
0.210062650-02	0.574839490-02
0.220062630-02	0.577596200-02
0.230062610-02	0.580337270-02
0.240062600-02	0.583156200-02
0.250062580-02	0.586220620-02
0.260062560-02	0.589045140-02
0.270062550-02	0.591968740-02
0.280062530-02	0.594379010-02
0.290062510-02	0.597655400-02
0.300062150-02	0.600982080-02
0.310061940-02	0.604077800-02
0.320061740-02	0.607451800-02
0.330061540-02	0.610947240-02
0.340061330-02	0.614527990-02
0.350061130-02	0.618187710-02
0.360060930-02	0.621922690-02
0.370060720-02	0.625732170-02
0.380060520-02	0.629612430-02
0.390060320-02	0.633566830-02
0.400060110-02	0.637533890-02
0.410059910-02	0.641579550-02
0.420059710-02	0.645747410-02
0.430059500-02	0.650061290-02
0.440059300-02	0.654497370-02
0.450059100-02	0.659034400-02
0.460058890-02	0.663646310-02
0.470058690-02	0.668341670-02
0.480058490-02	0.673263150-02
0.490058280-02	0.677505140-02
0.500058080-02	0.682621450-02
0.510057880-02	0.687484440-02
0.520057670-02	0.692532580-02
0.530057470-02	0.697690620-02
0.540057270-02	0.703517350-02
0.550057060-02	0.709446150-02
0.560056860-02	0.716385250-02
0.570056660-02	0.722412770-02
0.580056450-02	0.728520380-02
0.590056250-02	0.735155120-02
0.600056050-02	0.741880390-02
0.610055840-02	0.748435040-02
0.620055640-02	0.755863640-02
0.630055440-02	0.763132420-02
0.640055230-02	0.770549850-02

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

FCRIPA 0.15%/S TOP STORFALL IM SNR300 MARKIA CORE

0000010

RACIAL DISTANCE

0.0	6.075	16.074	26.482	33.826	39.839	47.450	56.012
63.429	68.466	78.980	89.496	100.010	107.480		

AXIAL DISTANCE

20.000	36.080	52.160	60.183	68.207	76.230	84.253	92.276
100.300	108.323	115.203	122.080	128.960	135.840	142.720	149.600
156.480	163.360	170.240	183.450	196.660			

FUEL MASS OF CORE ZONE 1: 0.308860+07

FUEL MASS OF CORE ZONE 2: 0.270400+07

NUMBER OF RADIAL ZONES = 13 NUMBER OF AXIAL ZONES = 20

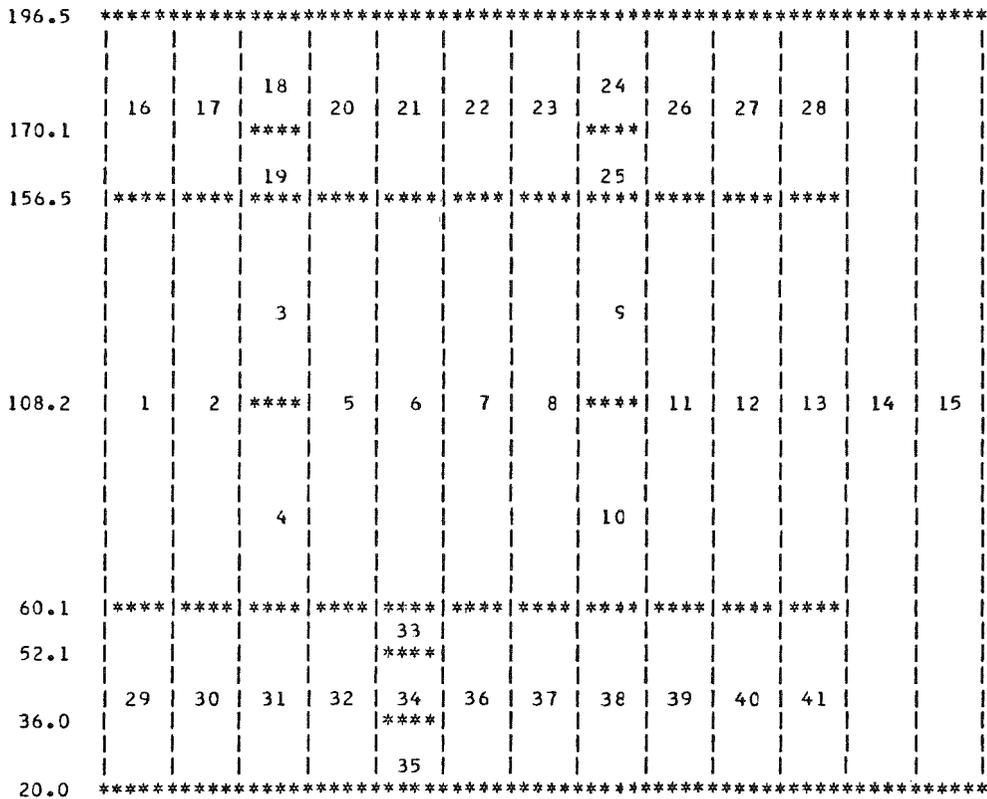
STOP CONDITIONS ARE;

MAX. TIME = 0.100000+01 MAX. CYCLE = 1500 MAX. DISTORTION = 0.100000+04
 MAX. POWER = 0.100000+26 MIN. POWER = 0.100000+11 K-EFF-LIMIT = 0.950000+00

EPS1 = 0.500000-06 EPS2 = 0.500000-05 EPS3 = 0.500000-01 EPS4 = 0.500000-01
 DELT = 0.250000-04 DELTMX = 0.250000-04 DELTMN = 0.100000-05 RHGCRT = 0.300000+01

OUTPUT PARAMETERS 1 0 0 1 50 1 100

WMAX LIMITS FOR TIME STEP CONTROL 0.20000 0.04000



		1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	1	1
0	6	6	6	3	9	7	6	3	8	8	9	0	7
.
0	0	0	4	8	8	4	0	4	4	9	5	0	5

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

FCRIPA	0.15%/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARKIA CORE															0000010
	AXIAL POSITION OF MESH POINTS AT TIME =0.0															MAXIMUM VALUE OF Z =
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	0.19666000D+03	
22*	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197	197		
21*	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183	183		
20*	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170		
19*	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163	163		
18*	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156		
17*	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150		
16*	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143	143		
15*	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136	136		
14*	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129		
13*	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122		
12*	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115		
11*	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108		
10*	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
9*	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92		
8*	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84		
7*	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76		
6*	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68		
5*	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60		
4*	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52		
3*	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36		
2*	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		

FCRIPA	0.15%/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARKIA CORE															0000010
	RADIAL POSITION OF MESH POINTS AT TIME =0.0															MAXIMUM VALUE OF R =
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	0.10748000D+03	
22*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
21*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
20*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
19*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
18*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
17*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
16*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
15*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
14*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
13*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
12*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
11*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
10*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
9*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
8*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
7*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
6*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
5*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
4*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
3*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		
2*	0	6	16	26	34	40	47	56	63	68	79	89	100	107		


```

AT CYCLE 1 TIME =0.000025 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00000 AT ZONE 2 10
POWER = 0.309D+12 ENERGY = 0.766D+07 XK = 1.0032390 XKDOPL = -0.0000020 XKDISP = 0.0
XKDISR = 0.0 XKDISZ = 0.0
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30361D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18181D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.55601D+09

AT CYCLE 2 TIME =0.000050 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00000 AT ZONE 2 10
POWER = 0.315D+12 ENERGY = 0.155D+08 XK = 1.0032416 XKDOPL = -0.0000027 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30372D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18314D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.56093D+09

AT CYCLE 3 TIME =0.000075 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00000 AT ZONE 2 10
POWER = 0.320D+12 ENERGY = 0.234D+08 XK = 1.0032433 XKDOPL = -0.0000042 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30382D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18450D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.56594D+09

AT CYCLE 4 TIME =0.000100 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00001 AT ZONE 2 10
POWER = 0.326D+12 ENERGY = 0.315D+08 XK = 1.0032452 XKDOPL = -0.0000057 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30393D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18588D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.57104D+09

AT CYCLE 5 TIME =0.000125 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00001 AT ZONE 2 10
POWER = 0.332D+12 ENERGY = 0.397D+08 XK = 1.0032470 XKDOPL = -0.0000072 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30404D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18728D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.57624D+09

AT CYCLE 6 TIME =0.000150 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00001 AT ZONE 2 10
POWER = 0.338D+12 ENERGY = 0.481D+08 XK = 1.0032486 XKDOPL = -0.0000087 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30415D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.18871D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.58153D+09

AT CYCLE 7 TIME =0.000175 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00001 AT ZONE 2 10
POWER = 0.344D+12 ENERGY = 0.566D+08 XK = 1.0032505 XKDOPL = -0.0000102 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30425D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19017D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.58691D+09

AT CYCLE 8 TIME =0.000200 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00001 AT ZONE 2 10
POWER = 0.351D+12 ENERGY = 0.653D+08 XK = 1.0032525 XKDOPL = -0.0000118 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30436D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19165D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.59240D+09

AT CYCLE 9 TIME =0.000225 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.00002 AT ZONE 2 10
POWER = 0.357D+12 ENERGY = 0.742D+08 XK = 1.0032544 XKDOPL = -0.0000134 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30447D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19316D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.59798D+09

AT CYCLE 10 TIME =0.000250 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.08525 AT ZONE 11 10
POWER = 0.364D+12 ENERGY = 0.832D+08 XK = 1.0032554 XKDOPL = -0.0000150 XKDISP = -0.0000000
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30458D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19470D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.60368D+09

AT CYCLE 11 TIME =0.000275 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.25001 AT ZONE 6 10
POWER = 0.371D+12 ENERGY = 0.924D+08 XK = 1.0032573 XKDOPL = -0.0000167 XKDISP = -0.0000001
XKDISR = -0.0000000 XKDISZ = -C.0000000
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30469D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19626D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.60947D+09

REDUCE DELTA T WMAX =0.14063 DELT NOW =0.0000187

AT CYCLE 12 TIME =0.000294 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14069 AT ZONE 6 10
POWER = 0.376D+12 ENERGY = 0.994D+08 XK = 1.0032584 XKDOPL = -0.0000179 XKDISP = -0.0000003
XKDISR = -0.0000001 XKDISZ = -0.0000001
AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30477D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.19746D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.61390D+09

AT CYCLE 13 TIME =0.000312 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14116 AT ZONE 6 10
POWER = 0.381D+12 ENERGY = 1.06D+09 XK = 1.0032590 XKDOPL = -0.0000192 XKDISP = -0.0000010

```

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

AT CYCLE 26 TIME =0.000567 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.01803 AT ZONE 11 12
 POWER = 0.4550D+12 ENERGY = 0.2130D+09 XK = 1.0032079 XKDOPL = -0.0000384 XKDISP = -0.0000679
 XKDISR = -0.0000369 XKDISZ = -C.0000310
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30649D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.21693D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.69069D+09

AT CYCLE 27 TIME =0.000592 DELT =0.000025 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.25270 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4620D+12 ENERGY = 0.2250D+09 XK = 1.0032005 XKDOPL = -0.0000405 XKDISP = -0.0000766
 XKDISR = -C.0000417 XKDISZ = -C.0000349
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30667D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.21886D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.69861D+09
 REDUCE DELTA T WMAX =0.14215 DELT NOW =0.0000187

AT CYCLE 28 TIME =0.000611 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14508 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4670D+12 ENERGY = 0.2330D+09 XK = 1.0031949 XKDOPL = -0.0000421 XKDISP = -0.0000832
 XKDISR = -0.0000453 XKDISZ = -C.0000379
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30681D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22032D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.70463D+09

AT CYCLE 29 TIME =0.000630 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14155 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4720D+12 ENERGY = 0.2420D+09 XK = 1.0031888 XKDOPL = -0.0000437 XKDISP = -0.0000903
 XKDISR = -0.0000492 XKDISZ = -C.0000411
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30695D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22181D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.71071D+09

AT CYCLE 30 TIME =0.000648 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.13552 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4770D+12 ENERGY = 0.2510D+09 XK = 1.0031821 XKDOPL = -0.0000453 XKDISP = -0.0000979
 XKDISR = -0.0000534 XKDISZ = -C.0000445
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30709D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22330D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.71686D+09

AT CYCLE 31 TIME =0.000667 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.13882 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4820D+12 ENERGY = 0.2600D+09 XK = 1.0031748 XKDOPL = -0.0000469 XKDISP = -0.0001061
 XKDISR = -0.0000581 XKDISZ = -C.0000481
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30723D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22482D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.72306D+09

AT CYCLE 32 TIME =0.000686 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14309 AT ZONE 10 11
 POWER = 0.4860D+12 ENERGY = 0.2690D+09 XK = 1.0031668 XKDOPL = -0.0000485 XKDISP = -0.0001145
 XKDISR = -0.0000630 XKDISZ = -C.0000519
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30736D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22634D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.72933D+09

AT CYCLE 33 TIME =0.000705 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16579 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.4910D+12 ENERGY = 0.2780D+09 XK = 1.0031585 XKDOPL = -0.0000502 XKDISP = -0.0001241
 XKDISR = -0.0000682 XKDISZ = -C.0000559
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30750D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22789D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.73565D+09

AT CYCLE 34 TIME =0.000723 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16599 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.4950D+12 ENERGY = 0.2870D+09 XK = 1.0031500 XKDOPL = -0.0000519 XKDISP = -0.0001336
 XKDISR = -0.0000736 XKDISZ = -C.0000600
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30764D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.22943D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.74204D+09

AT CYCLE 35 TIME =0.000742 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16499 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.4990D+12 ENERGY = 0.2970D+09 XK = 1.0031411 XKDOPL = -0.0000536 XKDISP = -0.0001433
 XKDISR = -0.0000792 XKDISZ = -C.0000642
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30779D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23094D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.74848D+09

AT CYCLE 36 TIME =0.000761 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16477 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.5030D+12 ENERGY = 0.3060D+09 XK = 1.0031318 XKDOPL = -0.0000555 XKDISP = -0.0001533
 XKDISR = -0.0000849 XKDISZ = -C.0000684
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30795D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23244D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.75497D+09

AT CYCLE 37 TIME =0.000780 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16699 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.5070D+12 ENERGY = 0.3160D+09 XK = 1.0031224 XKDOPL = -0.0000574 XKDISP = -0.0001635
 XKDISR = -0.0000967 XKDISZ = -C.0000727
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30811D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23397D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.76158D+09

AT CYCLE 38 TIME =0.000798 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16904 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.5100D+12 ENERGY = 0.3250D+09 XK = 1.0031129 XKDOPL = -0.0000591 XKDISP = -0.0001737
 XKDISR = -0.0000966 XKDISZ = -C.0000771
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30827D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23552D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.76825D+09

AT CYCLE 39 TIME =0.000817 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.17054 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.513D+12 ENERGY = 0.335D+09 XK = 1.0031035 XKDOPL = -0.0000610 XKDISP = -0.0001839
 XKDISR = -0.0001025 XKDISZ = -C.0000814
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30843D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23708D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.77497D+09

AT CYCLE 40 TIME =0.000836 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.17121 AT ZONE 6 11
 POWER = 0.516D+12 ENERGY = 0.344D+09 XK = 1.0030942 XKDOPL = -0.0000628 XKDISP = -0.0001941
 XKDISR = -0.0001084 XKDISZ = -C.0000857
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30859D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.23865D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.78174D+09

AT CYCLE 41 TIME =0.000855 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.13916 AT ZONE 6 9
 POWER = 0.519D+12 ENERGY = 0.354D+09 XK = 1.0030848 XKDOPL = -0.0000647 XKDISP = -0.0002044
 XKDISR = -0.0001143 XKDISZ = -C.0000901
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30874D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24024D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.78856D+09

AT CYCLE 42 TIME =0.000873 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14018 AT ZONE 6 9
 POWER = 0.522D+12 ENERGY = 0.364D+09 XK = 1.0030753 XKDOPL = -0.0000665 XKDISP = -0.0002148
 XKDISR = -0.0001203 XKDISZ = -C.0000945
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30889D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24184D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.79542D+09

AT CYCLE 43 TIME =0.000892 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16747 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.524D+12 ENERGY = 0.374D+09 XK = 1.0030655 XKDOPL = -0.0000684 XKDISP = -0.0002253
 XKDISR = -0.0001264 XKDISZ = -C.0000989
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30905D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24344D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.80231D+09

AT CYCLE 44 TIME =0.000911 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16677 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.526D+12 ENERGY = 0.383D+09 XK = 1.0030550 XKDOPL = -0.0000702 XKDISP = -0.0002362
 XKDISR = -0.0001327 XKDISZ = -C.0001035
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30920D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24509D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.80936D+09

AT CYCLE 45 TIME =0.000930 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16529 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.528D+12 ENERGY = 0.393D+09 XK = 1.0030446 XKDOPL = -0.0000720 XKDISP = -0.0002474
 XKDISR = -0.0001392 XKDISZ = -C.0001082
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30934D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24677D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.81648D+09

AT CYCLE 46 TIME =0.000948 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16651 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.530D+12 ENERGY = 0.403D+09 XK = 1.0030340 XKDOPL = -0.0000739 XKDISP = -0.0002589
 XKDISR = -0.0001459 XKDISZ = -C.0001130
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30949D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.24846D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.82364D+09

AT CYCLE 47 TIME =0.000967 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16837 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.531D+12 ENERGY = 0.413D+09 XK = 1.0030239 XKDOPL = -0.0000757 XKDISP = -0.0002705
 XKDISR = -0.0001526 XKDISZ = -C.0001179
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30963D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.25017D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.83086D+09

AT CYCLE 48 TIME =0.000986 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.16985 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.532D+12 ENERGY = 0.423D+09 XK = 1.0030132 XKDOPL = -0.0000775 XKDISP = -0.0002822
 XKDISR = -0.0001594 XKDISZ = -C.0001229
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30977D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.25189D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.83812D+09

AT CYCLE 49 TIME =0.001005 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.17070 AT ZONE 6 12
 POWER = 0.533D+12 ENERGY = 0.433D+09 XK = 1.0030022 XKDOPL = -0.0000793 XKDISP = -0.0002940
 XKDISR = -0.0001662 XKDISZ = -C.0001278
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.30991D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.25361D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.84538D+09

AT CYCLE 50 TIME =0.001023 DELT =0.000019 DISTRT = 3.192 WMAX = 0.14371 AT ZONE 6 8
 POWER = 0.533D+12 ENERGY = 0.443D+09 XK = 1.0029909 XKDOPL = -0.0000811 XKDISP = -0.0003060
 XKDISR = -0.0001731 XKDISZ = -C.0001329
 AVER.TEMP. OF MOLT. FUEL= 0.31005D+04 MASS OF MOLT.FUEL= 0.25533D+07 ENERG. OF MOLT. FUEL= 0.85267D+09

FCRIPA 0.15%/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARKIA CORE													00000010			
RADIAL VELOCITY OF MESH POINTS AT TIME =0.002671													MAXIMUM VALUE OF ROOT =			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	0.13914988D+04	
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
22*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17*	0	0	0	-1	-23	21	0	-21	26	1	1	0	C	0	0	0
16*	0	0	0	-21	-40	16	-4	-12	26	-4	27	1	C	0	0	0
15*	0	0	-2	-56	-1	-79	24	-10	47	-13	34	20	1	0	0	0
14*	0	0	-4	-74	-65	-48	12	4	32	35	3	49	1	1	0	0
13*	0	0	-10	-118	-128	24	4	28	13	-4	67	32	24	1	0	0
12*	0	21	12	-139	-103	-18	-3	56	-30	-30	109	22	42	37	0	0
11*	0	17	56	-110	-131	-75	5	47	-48	-22	120	34	47	38	0	0
10*	0	-9	79	-116	-60	-123	20	20	-14	-6	121	15	65	3	0	0
9*	0	-6	75	-126	-29	-68	-23	32	-4	39	68	8	61	2	0	0
8*	0	2	29	-99	-57	-44	-21	41	1	30	40	34	25	0	0	0
7*	0	1	-6	-67	-26	-73	-18	56	-35	32	46	29	1	0	0	0
6*	0	0	-1	-24	-60	13	-10	22	-17	10	37	1	C	0	0	0
5*	0	0	0	-1	-51	50	-1	1	1	0	0	0	C	0	0	0
4*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	C	0	0	0
3*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	C	0	0	0
2*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	C	0	0	0

FCRIPA 0.15%/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARKIA CORE													00000010			
AXIAL VELOCITY OF MESH POINTS AT TIME =0.002671													MAXIMUM VALUE OF ZDOT =			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	0.13645776D+04	
	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
22*	C	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17*	0	C	0	1	26	27	4	28	29	4	2	1	C	0	0	0
16*	C	C	1	26	62	83	88	53	41	75	41	1	C	0	0	0
15*	0	0	1	25	25	65	65	59	49	10	42	31	1	0	0	0
14*	1	0	3	12	115	107	54	54	59	59	19	18	C	0	0	0
13*	7	7	11	68	119	114	70	48	34	100	93	23	25	0	0	0
12*	136	113	47	-2	-29	-7	50	47	67	78	56	57	32	0	0	0
11*	40	63	61	16	6	57	21	22	26	33	28	-20	-22	0	0	0
10*	2	5	3	20	-10	-81	-21	-13	-18	-61	-78	3	8	0	0	0
9*	-45	-51	-47	-50	-37	-36	-56	-34	-49	-58	-29	-23	-15	0	0	0
8*	-109	-110	-62	-30	-68	-60	-33	-67	-65	-50	-37	-34	-26	0	0	0
7*	-6	-5	-9	-39	-88	-95	-67	-54	-39	-23	-47	-35	C	0	0	0
6*	0	0	-1	-27	-23	-63	-119	-113	-107	-110	-53	-2	C	0	0	0
5*	0	0	0	-1	-46	-47	-3	-3	-2	-1	-1	0	C	0	0	0
4*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0
3*	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0
2*	C	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0

Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

```

FCR1PA      0.15$/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARK1A CORE      00000010
COOLANT TEMPERATURE AT TIME =0.002671  MAX. VALUE OF TCOOL = 0.19601723D+04
  2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14
  ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
22*  172 178 118 119 111 118 116 111 113 117 113  77  72
21*  172 178 117 121 112 120 119 113 115 119 115  78  72
20*  172 178 115 122 113 122 120 114 117 120 117  78  72
19*  172 178 113 124 114 123 121 115 118 121 118  78  72
18*  172 178 110 123 116 123 121 118 118 121 118  79  72
17*  172 178 107 122 115 121 120 116 117 119 116  78  72
16*  172 178 128 119 113 119 117 115 115 116 114  78  72
15*  172 178 156 116 111 116 114 112 112 123 111  77  72
14*  172 178 155 122 118 112 111 109 108 130 107  77  72
13*  172 178 154 142 126 128 106 105 105 192 103  76  71
12*  172 178 152 148 125 138 123 101 100 196  99  75  71
11*  172 178 150 155 151 142 119 104  95 196  93  73  70
10*  172 178 148 150 132 130 114  98  89 153  88  72  69
 9*  172 178 146 134 118 110  85  85  83 136  82  71  68
 8*  172 178 143  97  80  79  79  79  78  96  77  69  68
 7*  172 178 123  74  75  73  73  74  73  73  72  68  67
 6*  172 178  79  69  71  68  68  70  68  68  68  67  66
 5*  172 178  73  66  66  66  66  66  66  66  65  66  66
 4*  172 178  69  65  65  65  65  65  65  65  65  65  65
 3*  172 178  65  65  65  65  65  65  65  65  65  65  65
 2*

```

```

FCR1PA      C.15$/S TOP STOERFALL IM SNR300 MARK1A CORE      00000010
TEMPERATURE OF FUEL INTERACTING AT TIME=0.002671  MAX. VALUE OF TUFC = 0.31692101D+04
  2   3   4   5   6   7   8   9  10  11  12  13  14
  ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
22*  251 273 106 107 106 106 105 105 102 105 102  75  71
21*  251 273 108 110 109 109 107 107 105 107 104  77  72
20*  251 273 112 113 112 112 111 110 108 110 107  79  73
19*  251 273 116 117 116 117 115 115 112 115 110  82  75
18*  251 273 239 245 246 240 228 219 213 254 225  87  76
17*  251 273 269 272 272 267 255 246 239 283 253  91  78
16*  251 273 306 293 292 288 278 270 263 298 276  94  79
15*  251 273 306 298 298 298 294 287 281 293 293  97  80
14*  251 273 306 293 293 298 298 298 293 288 298  98  81
13*  251 273 306 281 287 288 298 298 298 316 298 100  82
12*  251 273 306 277 286 280 288 298 298 317 298 100  82
11*  251 273 306 279 272 275 287 294 298 317 298 100  81
10*  251 273 306 278 278 279 286 294 298 281 298  98  81
 9*  251 273 306 274 282 286 298 298 298 274 298  95  79
 8*  251 273 306 290 298 298 297 293 281 290 284  92  77
 7*  251 273 306 298 291 283 272 266 252 293 254  87  75
 6*  251 273 281 266 257 246 234 226 212 255 212  81  73
 5*  251 273  78  77  77  76  76  76  75  74  72  74  70
 4*  251 273  71  70  71  70  69  70  69  68  68  69  68
 3*  251 273  67  67  67  67  66  66  66  66  66  66  66
 2*

```


Abb. 3.4-8 (Fortsetzung)

K A D I S S E L E C T E D R E S U L T S

DATE: 19.07.77

IFCR1PA C.15\$/S TOP STORFALL IM SNR300 MARK1A CORE

IFCR1PA PROBLEM IDENTIFICATION

INPUT VALUES

C.416629D+C2 REACTIVITY RAMP RATE (\$/S)
C.108135D+C1 INITIAL REACTIVITY (\$)
0.303810D+C6 INITIAL POWER (MW)
C.33849CC+C4 INITIAL MAXIMAL FUEL TEMPERATURE (K)
-0.001 T**3/2
-C.000 T**1 DOPPLER COEFFICIENTS

VALUES AT END OF DISASSEMBLY CALCULATION

C.267133D+C1 DURATION (MS)
C.873290D+C3 ENERGY RELEASED DURING DISASSEMBLY (MWS)
0.118196D+C4 ENERGY OF MOLTEN FUEL (MWS)
C.327598D+C4 MASS OF MOLTEN FUEL (KG)
0.316195D+C4 MEAN TEMPERATURE OF MOLTEN FUEL (K)
C.386696D+C4 MAXIMAL TEMPERATURE OF MOLTEN FUEL (K)
0.355111D+C3 MAXIMAL PRESSURE (BAR)
0.139150D+C2 MAXIMAL RADIAL VELOCITY (M/S)
0.136458D+C2 MAXIMAL AXIAL VELOCITY (M/S)
0.158695D+C1 MAXIMAL RADIAL DISPLACEMENT (CM)
0.132030D+C1 MAXIMAL AXIAL DISPLACEMENT (CM)

MAXIMAL VALUES DURING DISASSEMBLY

5.336306D+C5 POWER (MW)
6.55377CD+C2 PRESSURE (BAR)
1.088520D+C0 REACTIVITY (\$)

TERMINATION CRITERION

POWER LESS THAN 0.100000D+05 MW

COMMENTS

TOTAL NUMBER OF SUBSTITUTIONS INTO THE ANL EQUATION OF STATE = 72706.
PRI = 0.500000 PRESSURE ITERATION CONVERGENCE CRITERION = 0.01000

Abb. 3.4-9: Plots für einen Leistungsstörfall im SNR Mark 1A Kern mit einer Einleitungsrampe von 15 ϕ /sec.

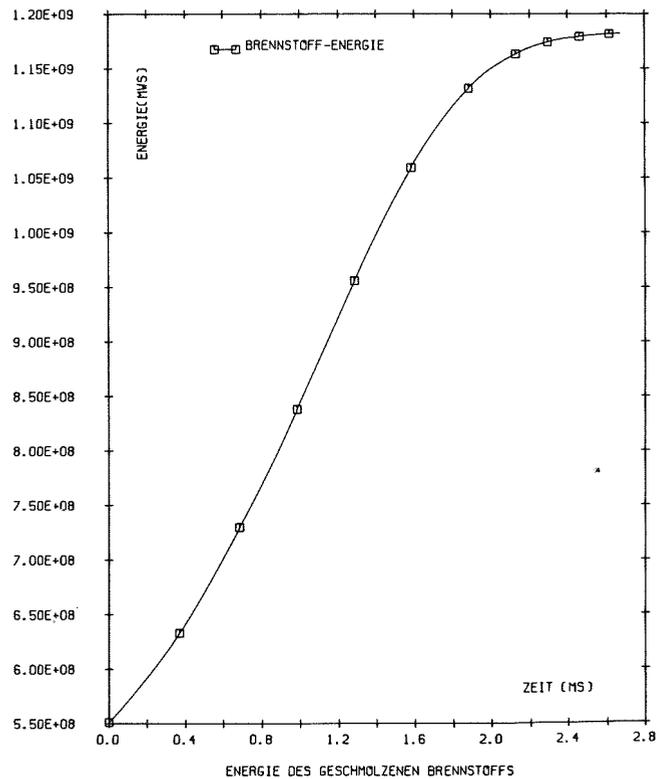
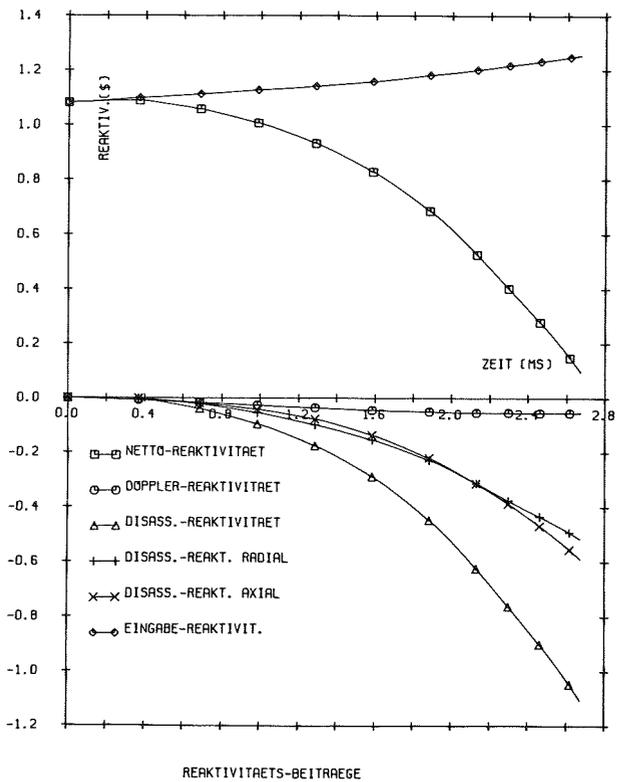
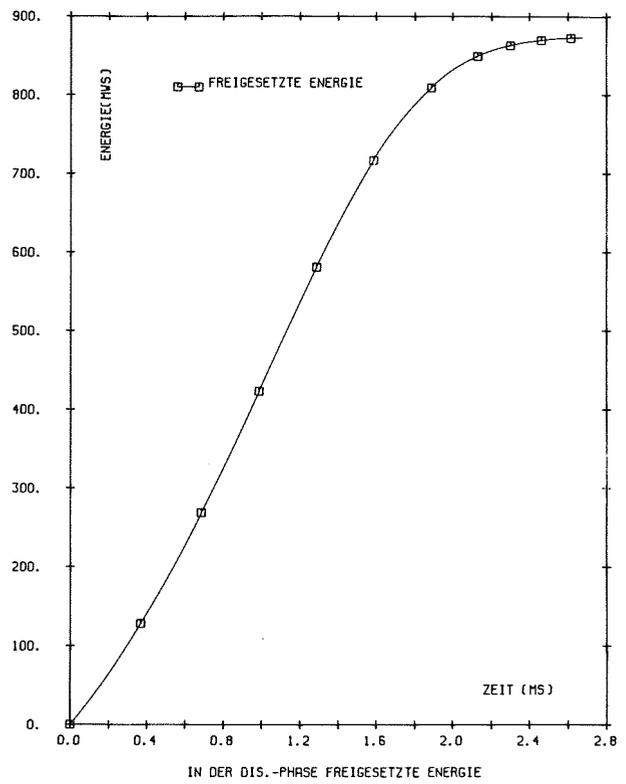
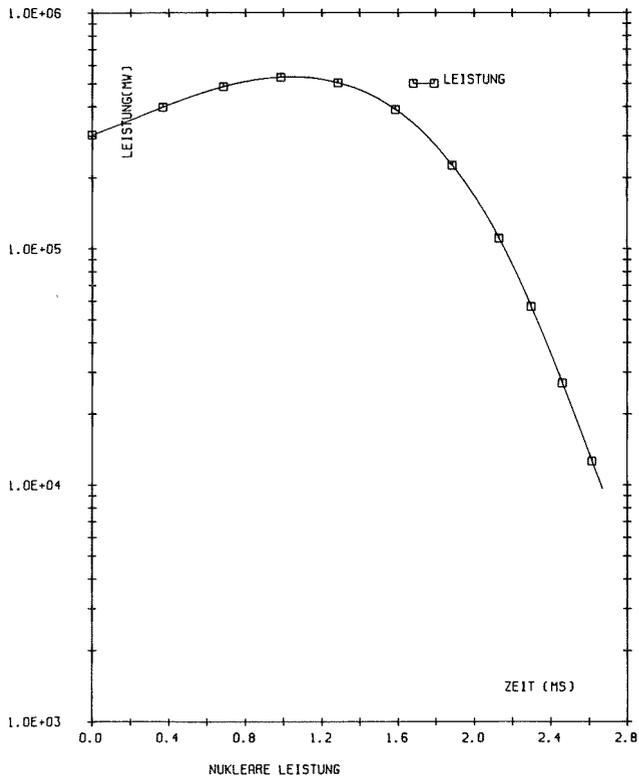


Abb. 3.4-9 (Fortsetzung)

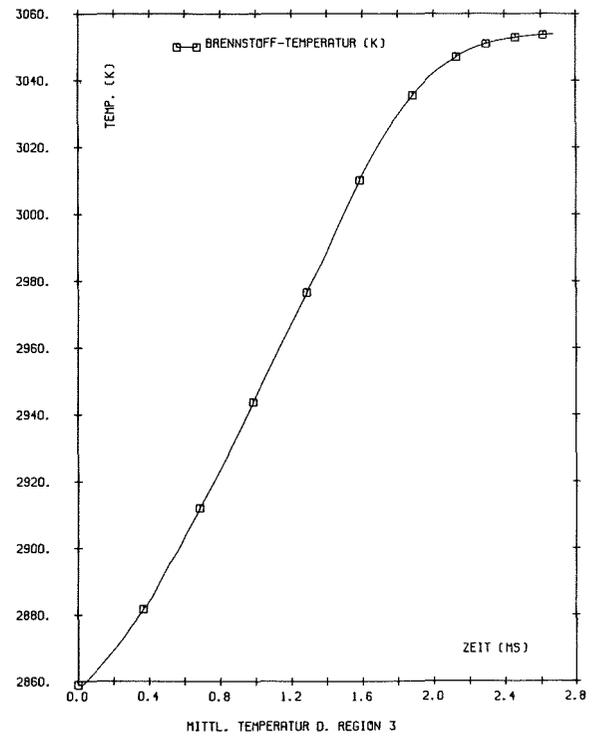
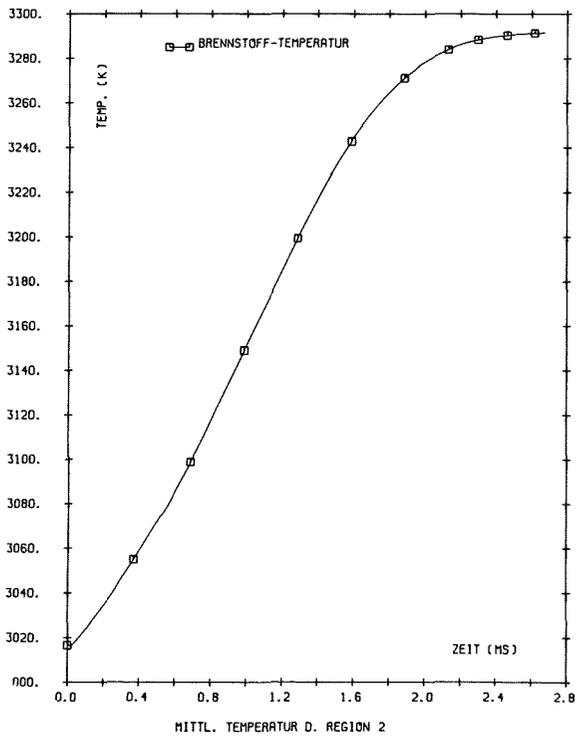
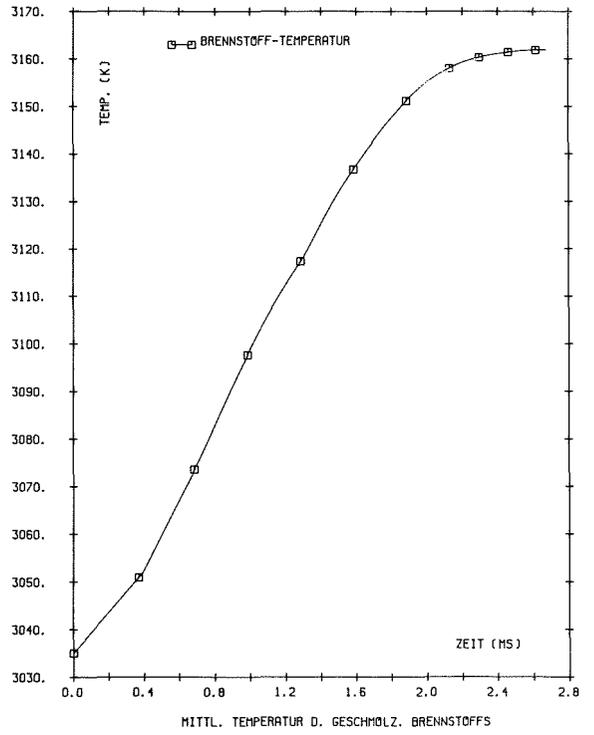
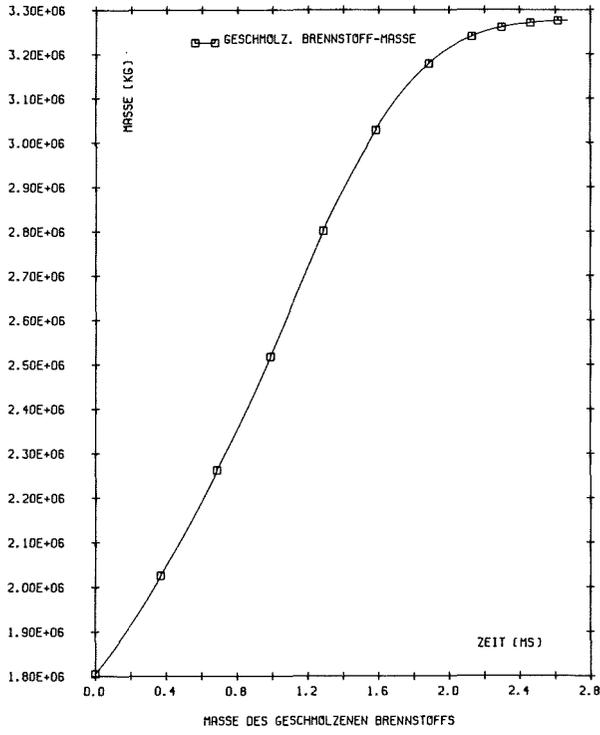
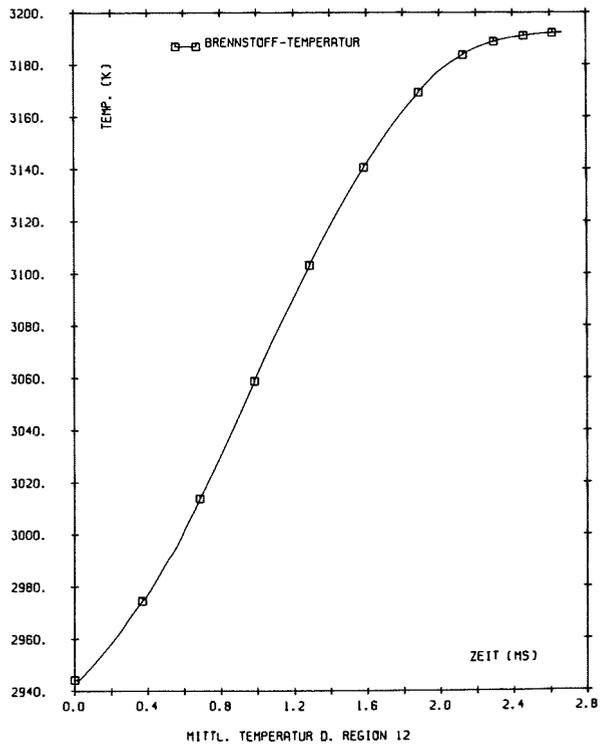
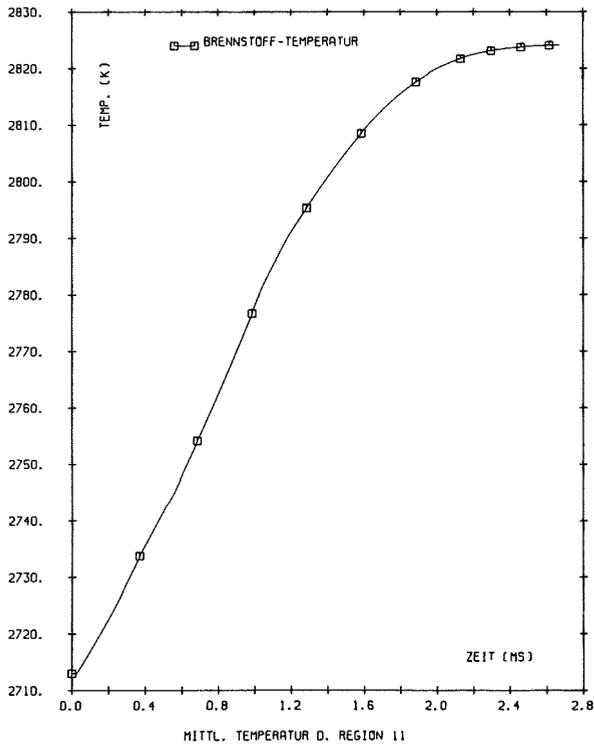
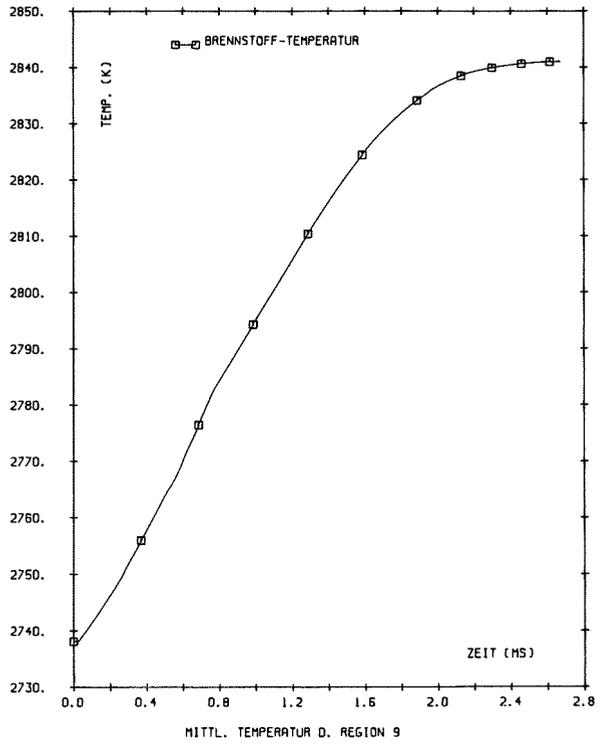
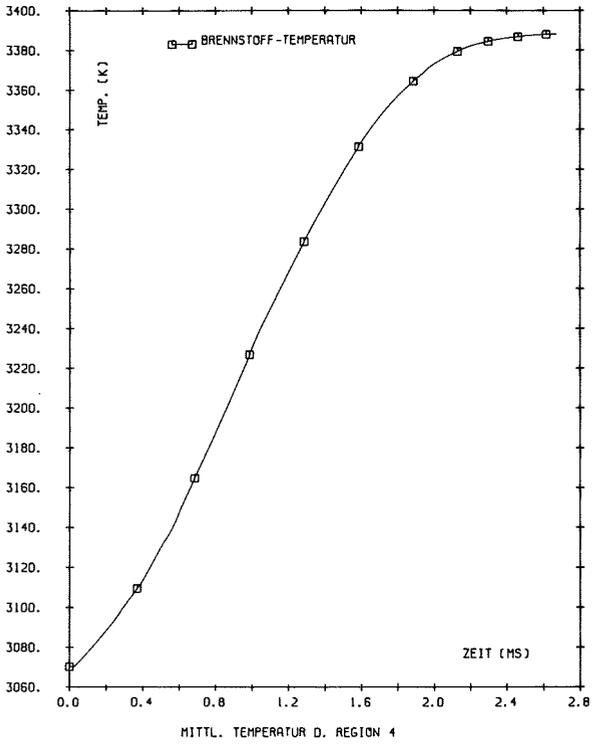


Abb. 3.4-9 (Fortsetzung)



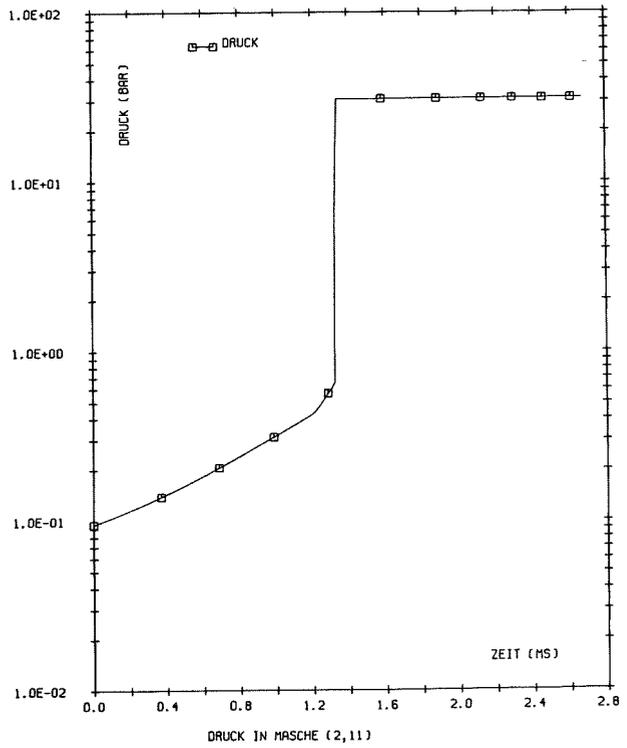
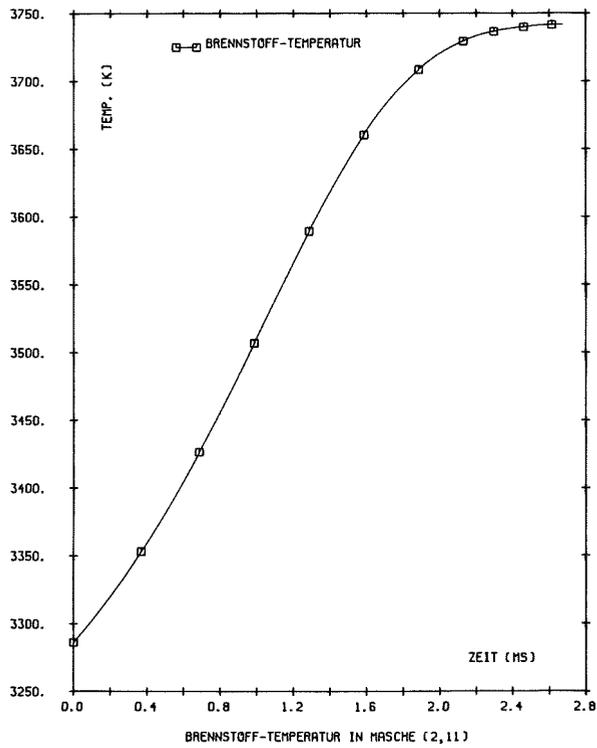
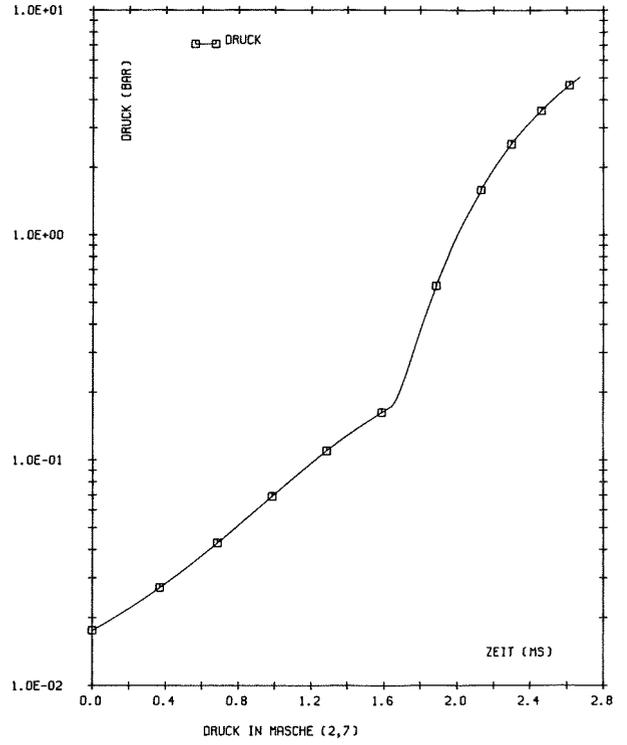
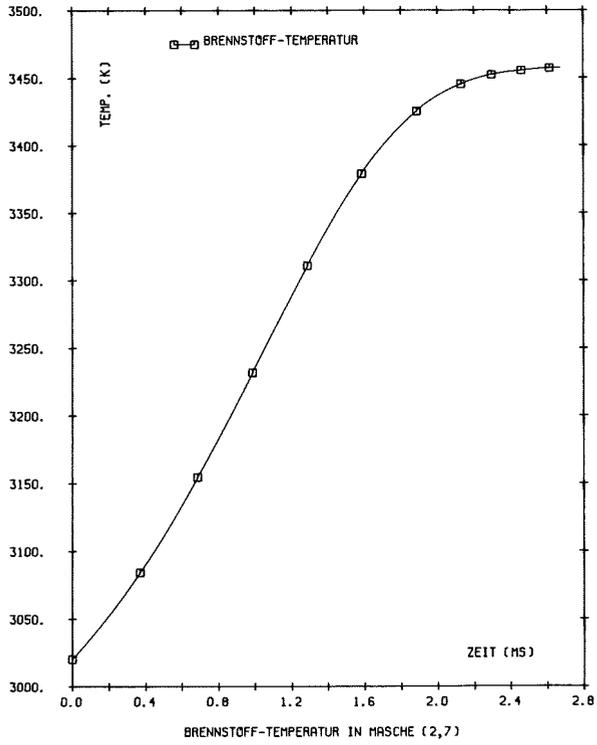


Abb. 3.4-9 (Fortsetzung)

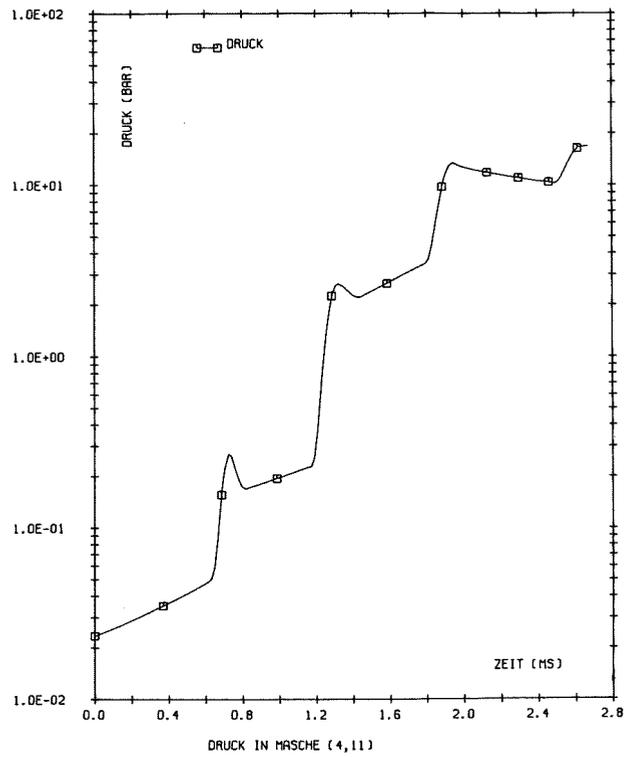
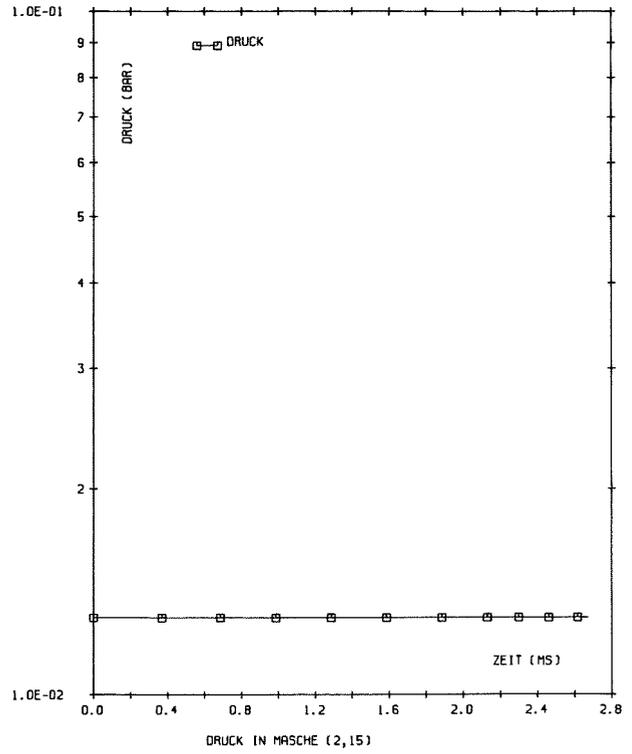
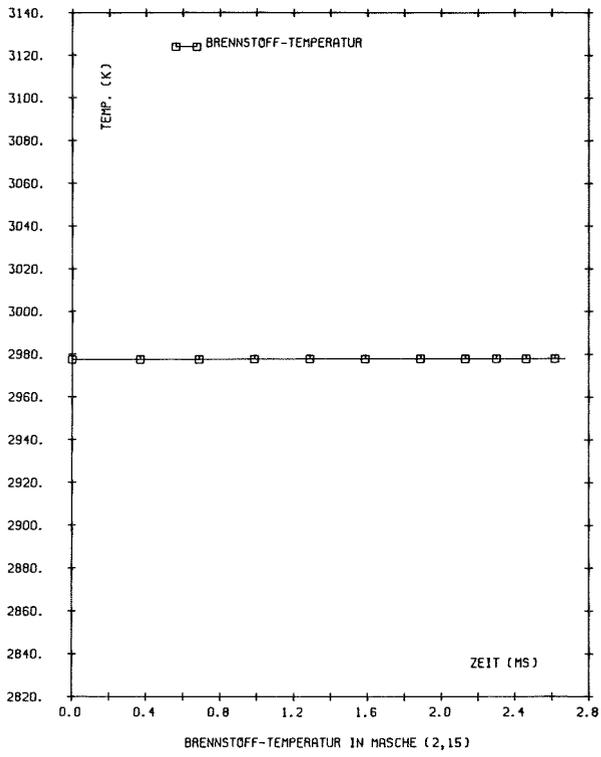
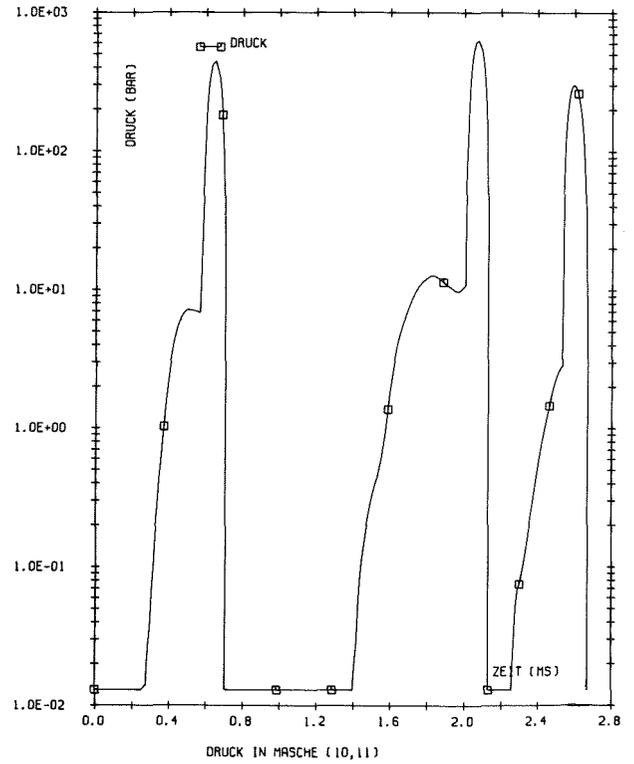
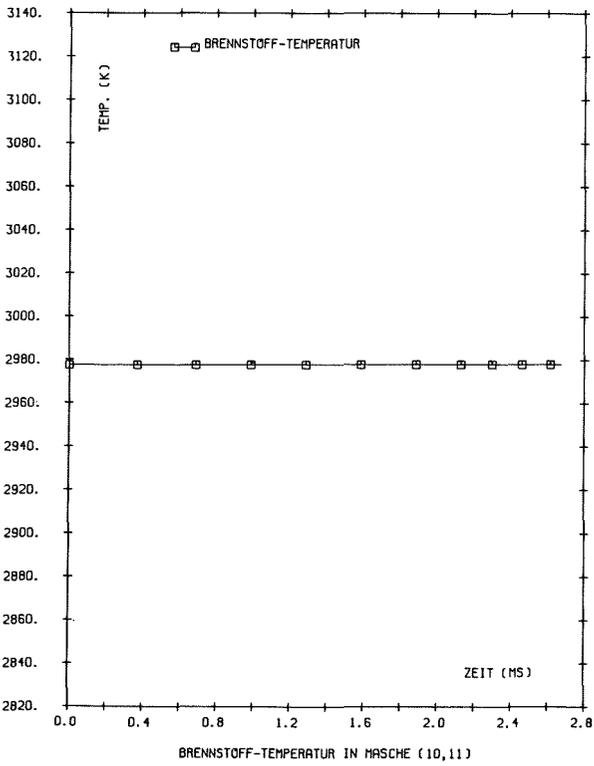
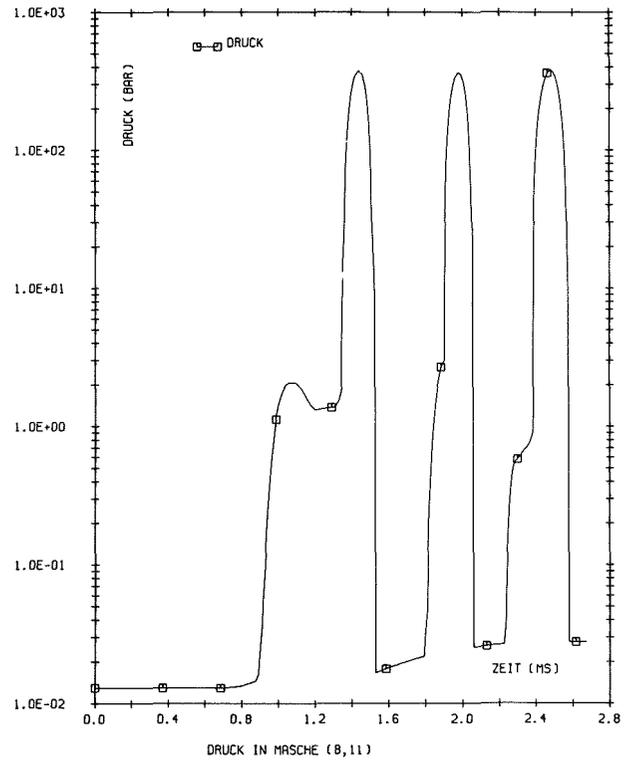
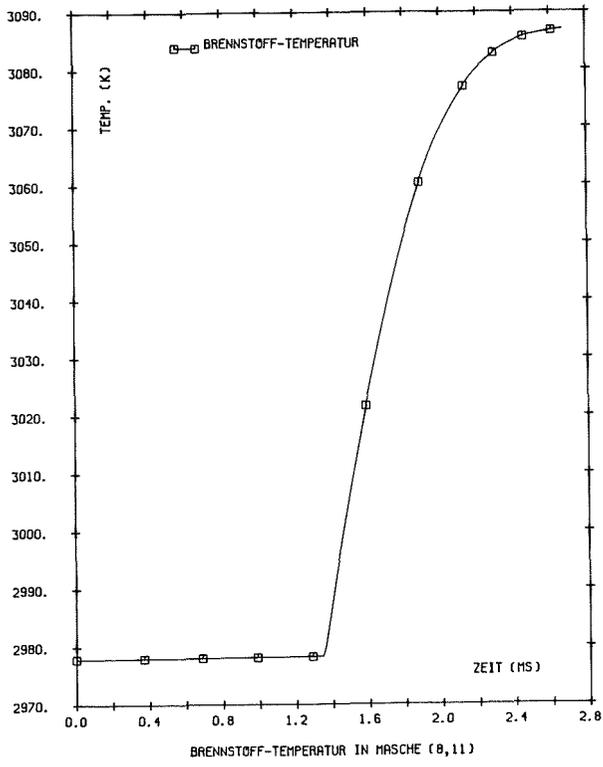


Abb. 3.4-9 (Fortsetzung)



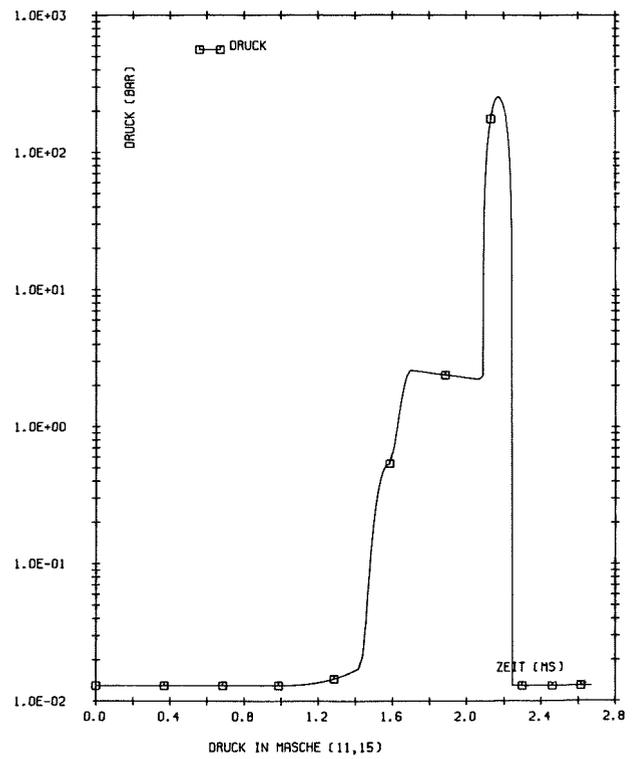
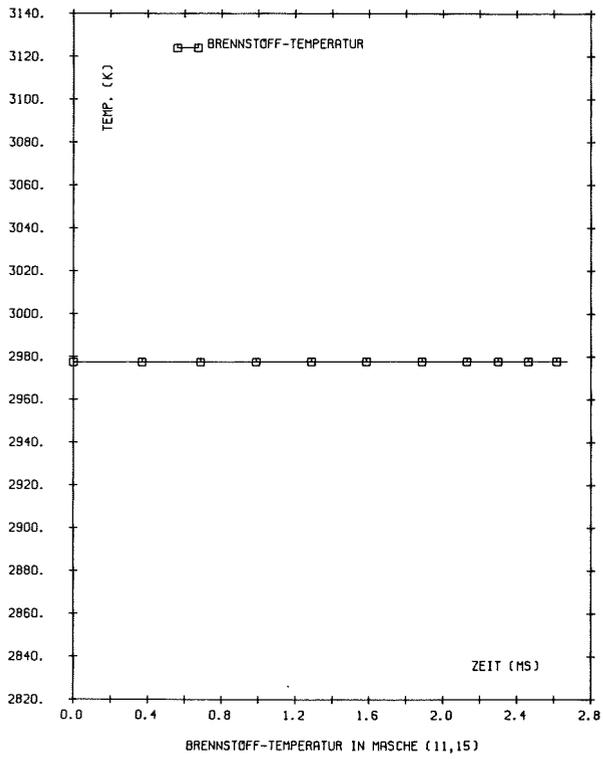
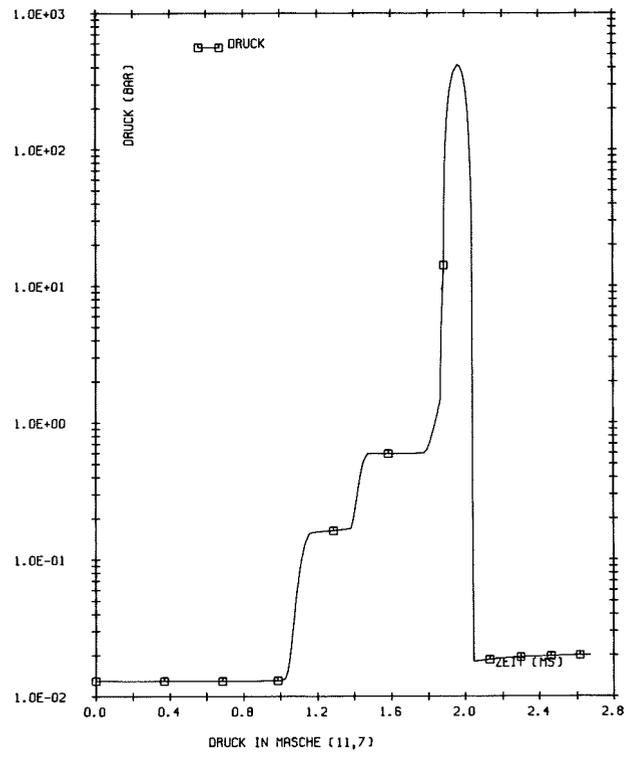
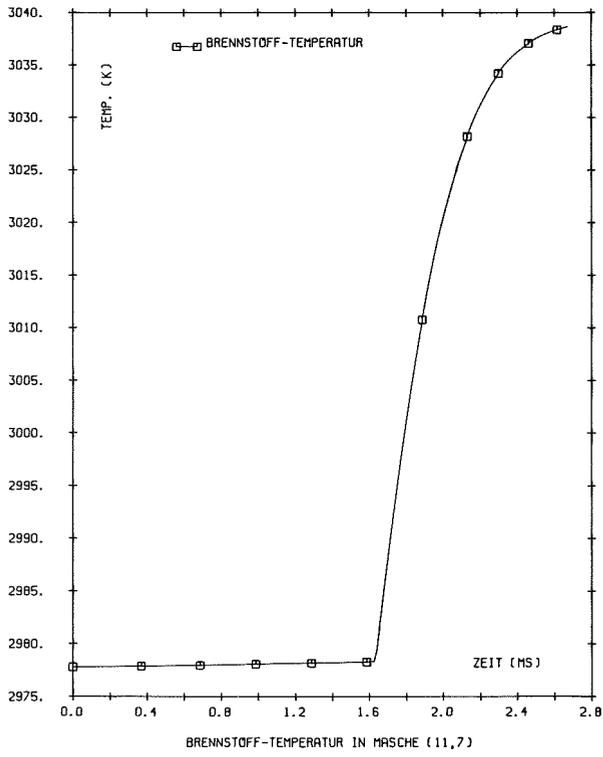
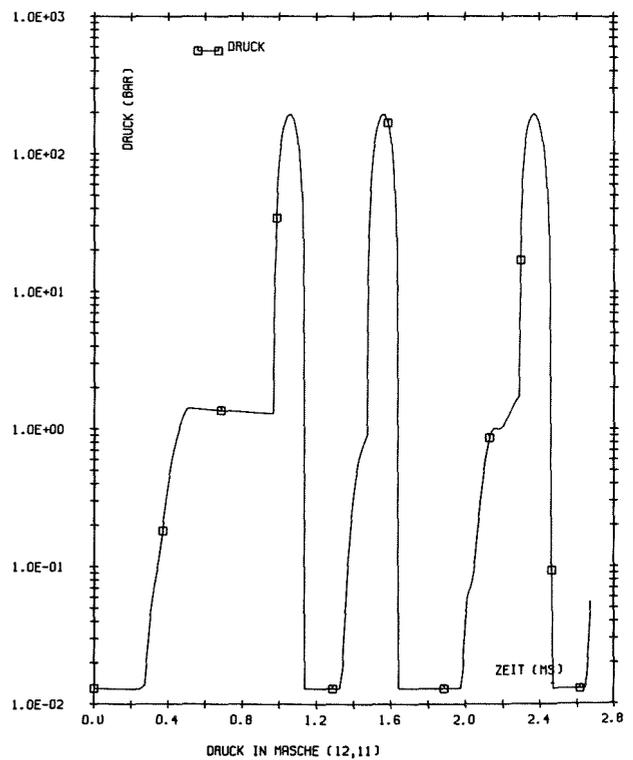
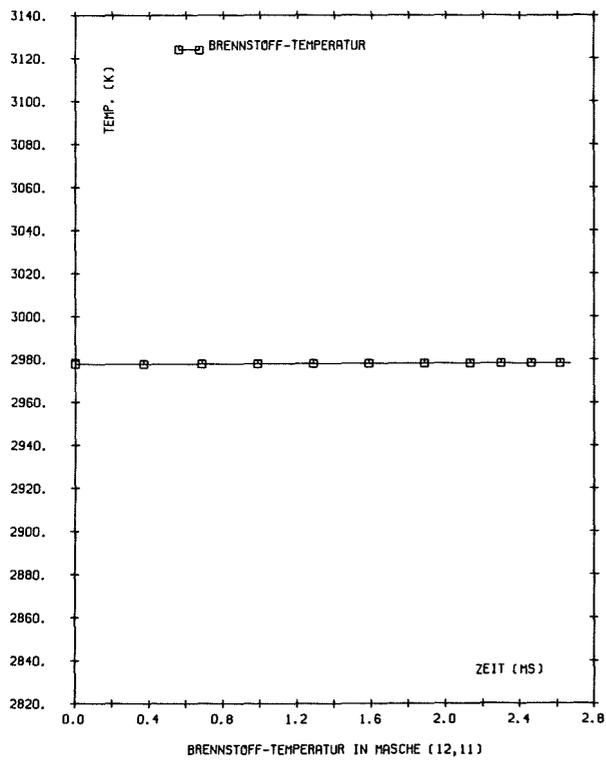
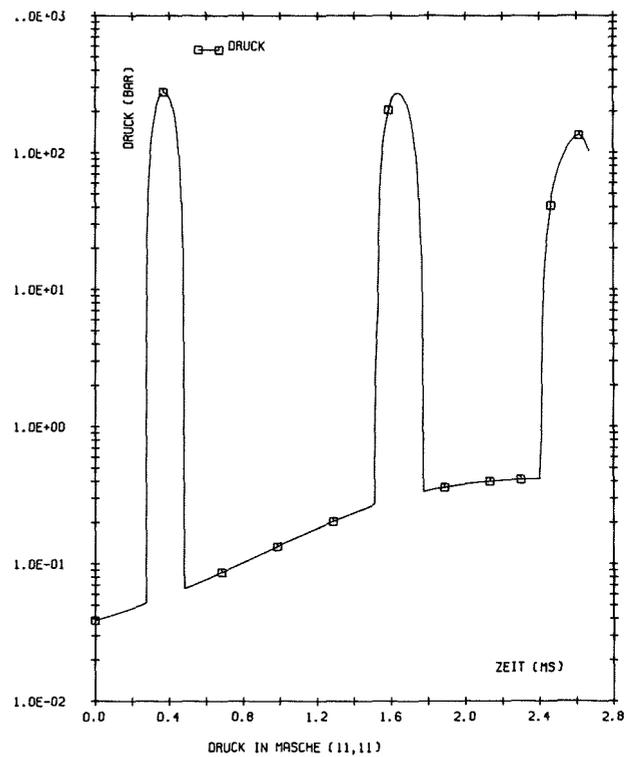
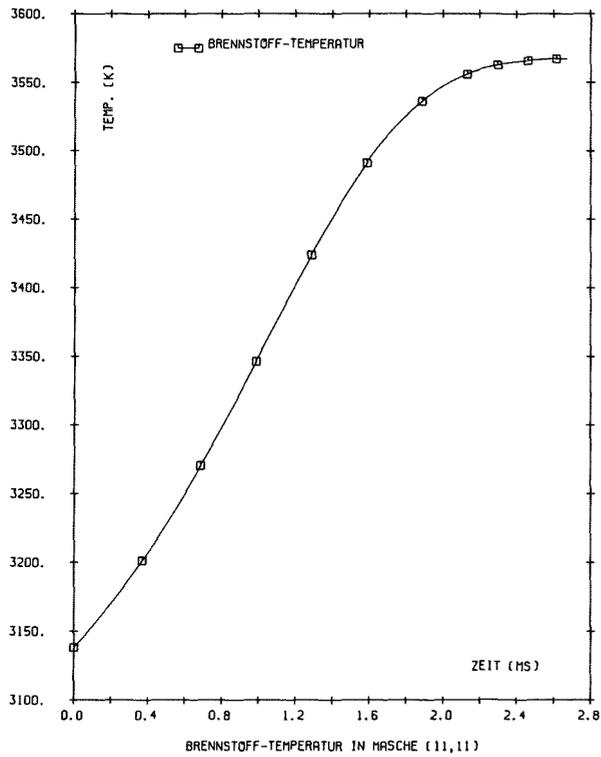
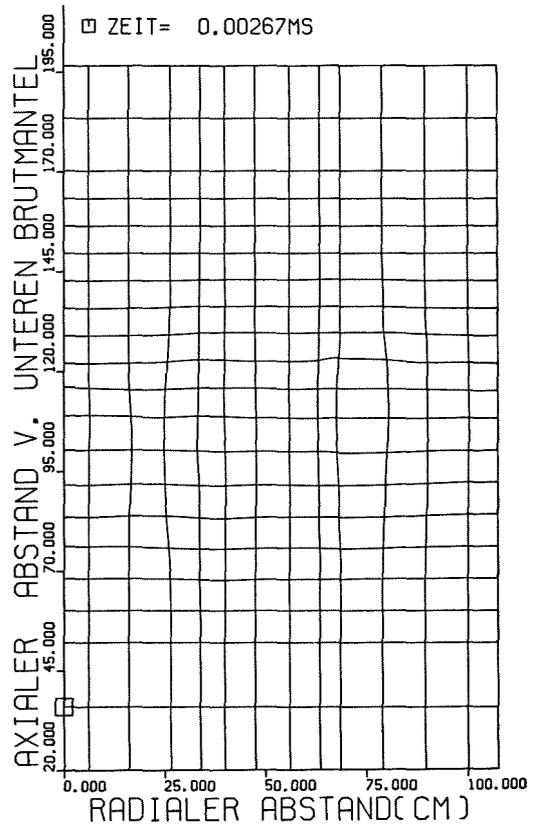
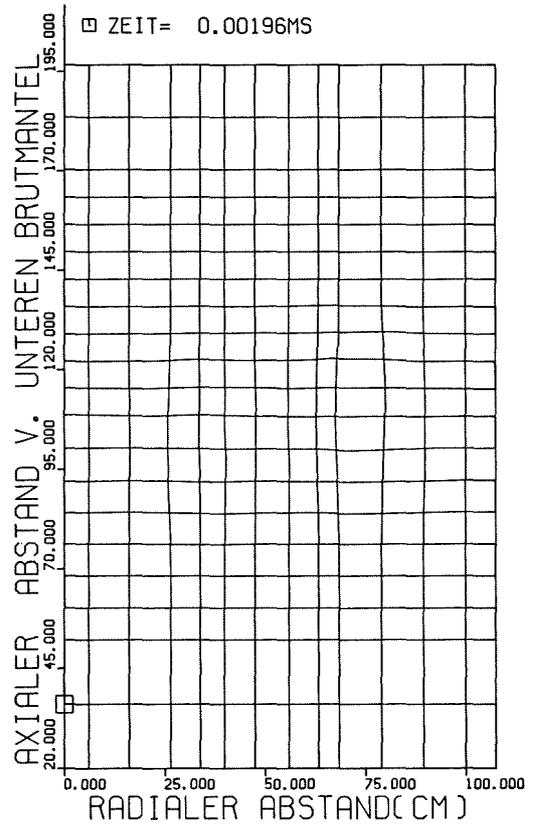
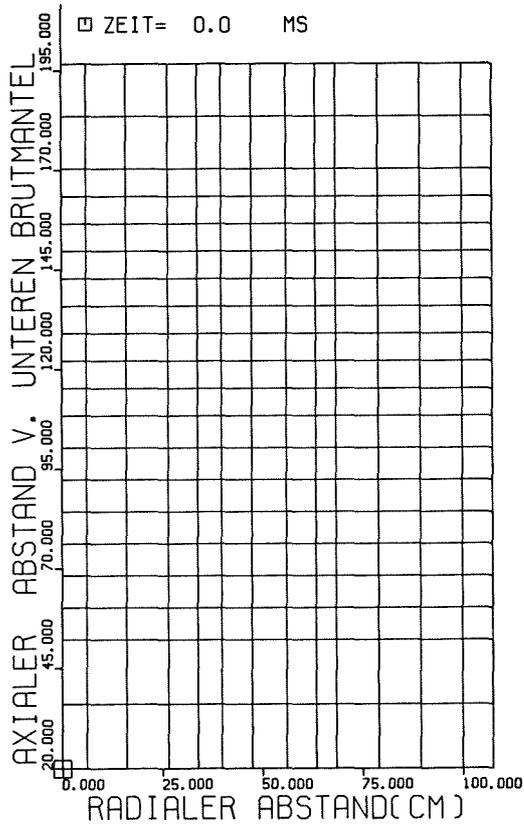


Abb. 3.4-9 (Fortsetzung)





3.5 Anforderungen an die Computer Hardware

Kernspeicherplatzbedarf

Der von KADIS beanspruchte Kernspeicherplatz ist nicht konstant, sondern hängt ab von der Größe des Rechenfalles und von der Zahl und Länge der benötigten Ein- und Ausgabepuffer sowie von der Overlay-Struktur. In K Bytes (= 1024 Bytes) ausgedrückt, beträgt der notwendige Kernspeicherplatz

$$M = 180 + 0,27 * IP + 0,06 * IP^2 + 0,47 * NOREG + 0,02 * IMAX \quad (3.5-1)$$

Die Pauschale von 180 K umfaßt die Länge des ausführbaren Programms mit der in 3.2.3 spezifizierten Overlay-Struktur und die Datenfelder fester Länge, sowie 26 K für die Ein- und Ausgabepuffer. Werden größere Puffer als die in 3.2.2 vereinbarten gewünscht, ist die Pauschale entsprechend zu erhöhen. Die weiteren Summanden in der Formel werden von der Größe der variabel dimensionierten Datenfelder bestimmt, d.h. durch die Anzahl der hydrodynamischen Zellen und die Anzahl der Regionen für die Wertkurven, sowie deren Unterteilung.

Im einzelnen ist

- IP = (IMAX+3) * (JMAX+3)
- IMAX = Anzahl der radialen Maschen
- JMAX = Anzahl der axialen Maschen
- IP1 = MAX(IP, MRIN * MZIN)

- MRIN = Maximale Anzahl der radialen Maschen in einer Region für die Wertkurven
- MZIN = Maximale Anzahl der axialen Maschen in einer Region für die Eingabe der Wertkurven
- NOREG = Anzahl der Regionen für die Eingabe der Materialwertkurven und Dopplerkoeffizienten

Externe Dateien

Neben den Einheiten 5 und 6 (Kartenleser und Drucker) werden noch maximal 7 sequentielle, externe Dateien verwendet. Ihre Verwendung ist in Abschnitt 3.2.2 näher erläutert.

Laufzeiten

Bei vielen Rechnungen mit der ANL-Zustandsgleichung wurde für KADIS der folgende CPU Zeitbedarf festgestellt.

$$T_{M,Z} = \frac{T_{CPU}}{Z_M * Z_{CYC} * I_{itm}} \approx 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$T_{M,Z}$ = Zeit pro Zyclus und pro Masche und pro mittlere Iterationszahl [s]

T_{CPU} = CPU-Zeit der Rechnung [s]

Z_M = Zahl der physikalischen Maschen (=IMAX* JMAX)

Z_{CYC} = Zahl der gerechneten Zyklen

I_{itm} = mittlere Iterationszahl der ANL-Zustandsgleichung
(für Dampfdrucke Zustandsgleichungen ist $I_{itm} = 1$)

In einem Zyklus werden alle Rechnungen für einen hydrodynamischen Zeitschritt durchlaufen. Der hydrodynamische Zeitschritt wird für die Punktkinetik in maximal 256 gleich große Schritte unterteilt. Für einen Lauf mit 13 radialen (IMAX) und 20 axialen (JMAX) Maschenintervallen mit 41 Regionen (NOREG) benötigt das Programm auf der IBM 370/168 (unter MVT) eine CPU-Zeit von 57 sec für 166 Zyklen. Aus den Rechnungen ergibt sich eine mittlere Iterationszahl (I_{itm}) für die ANL-Zustandsgleichung von ca. 1,6 pro Masche und Zyklus.

4. Literaturverzeichnis

- Bet 56: 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, AERE Harwell, (1956)
- Bog 73: H.G. Bogensberger, E.A. Fischer: (1973) unveröffentlicht
- Bog 76: H.G. Bogensberger, E.A. Fischer: Vapor Pressure Measurements to 7000 K and Equation of State of Oxide Fuels for Fast Reactor Safety Analysis, KFK 2272 (1976)
- Bou 72: J.E. Boudreau: Autocatalysis During Fast Reactor Disassembly, Ph. D. thesis, UCLA, Los Angeles, CA (1972)
- Cah 74: J. Cahalan, (1974) unveröffentlicht
- Cal 72: L. Caldarola: A Theoretical Model for the Molten Fuel Sodium Interaction in a Nuclear Fast Reactor, Nucl. Eng. Design, 22, p. 175 (1972)
- Cho 71: D. H. Cho, R. O. Irwins and R. W. Wright: Pressure Generation under LMFBR Accident Conditions, Proc. Conf. On New Developments in Reactor Mathematics and Applications, Idaho Falls (March 1971)
- Dör 72: K. Dörbecker: ARES - Ein zweidimensionales Rechenprogramm zur Berechnung der kurzzeitigen Auswirkungen einer hypothetischen, unkontrollierten nuklearen Exkursion auf Reaktortank, Drehdeckel und Tankeinbauten, gezeigt am Beispiel des SNR-300, Reaktortagung 1972, Hamburg
- Dun 71: F. E. Dunn, G.E. Fischer et al.: The SAS2A LMFBR Accident Analysis Code, Proc. Conf. on New Developments in Reactor Mathematics and Applications, Idaho Falls (March 1971)
- Frö 76: R. Fröhlich, P. Royl, P. Schmuck et al.: Analyse schwerer hypothetischer Störfälle für den SNR 300 Mark IA Reaktorkern, KFK 2310 (1976)
- Gol 67: G. H. Golden and J. V. Tokar: Thermophysical Properties of Sodium, ANL-7323 (1967)

- Hir 67: N. Hirakawa: MARS - A Two Dimensional Excursion Code, APDA - 198, Atomic Power Development Association (1967)
- Hof 70: P. Hofmann: Spaltproduktausbeute bei der Spaltung von U-235, U-238, Pu-239 und Pu-240 mit Neutronen verschiedener Energien, KFK-Ext. 6/70-2 (1970)
- Jac 72: J.F. Jackson and R.B. Nicholson: VENUS-II: An LMFBR Disassembly Program, ANL 7951 (1972)
- Kag 60: J.J. Kaganove: Numerical Solution of the one-group Space-independent Reactor Kinetics Equation for Neutron Density given the Excess Reactivity, ANL-6132 (1960)
- Mar 76: J. Marchaterre, T. Marziniak, J. Bratis et al.: Work Energy Characterization for Core-Disruptive Accidents, Proc. of the International Meeting on Fast Reactor Safety and Related Physics, Chicago, Oct. 1976
- Mas 75: W. Maschek, D. Thiem: Eindimensionale Studien zur Reaktivitätsrückwirkung von Materialbewegungen im Rahmen des KADIS-Modells, KFK 1275/3 (1975)
- Men 66: D.C. Menzies, The Equation of State of Uranium Dioxide at High Temperatures and Pressures, TRG Report-1119, UKAEA (1966)
- Neu 50: J. v. Neumann and R.D. Richtmyer: A Method for the Numerical Calculations of Shocks, J. Appl. Phys. 21, 232 (1950)
- Pen 76: J. Pena, R. Fröhlich, P. Schmuck: Critical Configurations and Secondary Excursions for High Temperature Fuel/Steel Mixtures Proc. of the International Meeting on Fast Reactor Safety and Related Physics, Chicago, Oct. 1976
- Ran 67: M.H. Rand, T.L. Markin: Some Thermodynamic Aspects of (U, Pu) O₂ Solid Solutions and their Use as Nuclear Fuels, UKAEA, AERE R 5560 (1967)
- Ren 73: A. Renard, R. Kunzi: CARMEN 2 - A Multichannel Computer Code for the Dynamic Analysis of Accidents in a Na-cooled Fast Reactor, BN 7310-03 (1973)
- Rey 75: A.B. Reynolds, C.A. Erdman, M. Kirbiyik: Fuel Vapor Generation in LMFBR Core Disruptive Accidents, Nuclear Technology, vol. 26, p. 165 (1975)

- Ron 72: C. Ronchi, H. Matzke: Calculations on the In-Pile Behaviour of Fission Gas in Oxide Fuels, EUR 4877e (1972)
- Rum 74: E.T. Rumble, W.E. Kastenber, W.E. Okrent et al.: Fuel Movement Investigations During LMFBR Overpower Excursions Using a New Model, International Meeting on Fast Reactor Safety, Beverly Hills, CA, April 1974
- Sch 77: P. Schmuck und C. Essig: Berechnung der mechanischen Energiefreisetzungen und verdampften Brennstoffmengen nach einem hypothetischen Kühlmitteldurchsatzstörfall in einem natriumgekühlten schnellen Brutreaktor, Reaktortagung des Deutschen Atomforums, Mannheim (1977)
- Sha 70 W.T. Sha and T.H. Hughes: VENUS: A Two Dimensional Coupled Neutronics-Hydrodynamics Computer Program for Fast Reactor Power Excursion, ANL-7701 (1970)
- Str 74: D. Struwe, P. Royl, P. Wirtz et al.: CAPRI - A computer Code for the Analysis of Hypothetical Core Disruptive Accidents in the Predisassembly Phase, International Meeting on Fast Reactor Safety, Beverly Hills, CA, April 1974
- Wea 71: R.C. Weast: Handbook of Chemistry and Physics, 52nd Edition (1971-72)
- Zim 75: W. Zimmerer: PLOTCP - Ein Fortran IV-Programm zur Erzeugung von Calcomp-Plot-Zeichnungen, KFK 2081 (1975)