

KfK 3873
Mai 1985

Eine probabilistische SSYST-3 Analyse eines DWR-Cores bei Kühlmittelverlust mit großem Leck

J. D. Schubert, W. Gulden, G. Jacobs, R. Meyder, W. Sengpiel
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik
Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3873

Eine probabilistische SSYST-3 Analyse eines DWR-Cores
bei Kühlmittelverlust mit großem Leck

J.D. Schubert*, W. Gulden, G. Jacobs, R. Meyder, W. Sengpiel

*Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Köln

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Das modulare Programmsystem SSYST dient zur Analyse des Verhaltens von Brennstäben und Brennstabsimulatoren unter Störfallbedingungen. Die Version SSYST-3 enthält sowohl deterministische Modelle zur Berechnung von Temperaturverteilung in Brennstoff bzw. Heizzone, Spalt und Hülle, von Wärmeübergang im Spalt, Deformation und Bersten der Hülle, Zirkon-Wasser-Reaktion, Wärmeübergang zwischen Hüllrohroberfläche und umgebendem Kühlkanal usw. als auch probabilistische Modelle zur Abschätzung des Umfangs möglicher Kühlkanalblockaden im gesamten Core eines DWR unter den Bedingungen eines Kühlmittelverlust-Störfalls mit großem Leck.

Der vorliegende Bericht zeigt am Beispiel eines 1300 MW-Druckwasserreaktors deutscher Bauart die Einsatzmöglichkeiten von SSYST-3.

Während eines Kühlmittelverluststörfalles ist das thermische und mechanische Verhalten der Brennstäbe von besonderer Bedeutung, da evtl. Geometrieänderungen großen Einfluß auf die Kühlbarkeit und Aktivitätsfreisetzung haben können. Bei früheren Untersuchungen zum Brennstabverhalten benutzte man konservative Modelle und Eingabegrößen, um Brennstabtemperaturen und Dehnungen und somit Kühlbedingungen abzuschätzen. Diese Vorgehensweise kann jedoch durch Kumulation konservativer Annahmen zu gegenüber dem wahrscheinlichen Ereignisablauf untypischen Ergebnissen führen. Deshalb wurden in einem weiteren Schritt sogenannte "best estimate"-Rechenprogramme entwickelt, die in ihren Modellen und Eingabegrößen möglichst alle physikalischen Phänomene detailliert erfassen sollen. Auch bei diesen Programmen treten Schwierigkeiten bezüglich der Festlegung der Eingabe- und Modellparameter auf, da diese teilweise nur innerhalb gewisser Grenzen bekannt oder statistischer Natur sind. Um auch statistisch verteilte Größen (z.B. die geometrischen Daten) und ihrem Werte nach unbekannte und somit unsichere Größen (z.B. die Nachzerfallswärme) berücksichtigen zu können, wurden mathematische Methoden und Rechenprogramme entwickelt, die bei gegebenen Verteilungen der Eingangsgrößen Verteilungen der Ausgangsgrößen eines deterministischen Programms abschätzen können. Als eine geeignete Methode zur Beantwortung probabilistischer Fragestellungen mit großen Rechenprogrammen hat sich die "Response Surface"-Methode erwiesen.

Der Bericht befaßt sich mit einer probabilistischen Analyse eines Druckwasserreaktorkerns bei Kühlmittelverlust mit großem Leck. Während der probabilistischen Analyse konnten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und Verteilungsfunktionen für die maximal im Kern auftretende Hüllrohrtemperatur und -umfangsdehnung abgeschätzt werden. Als wichtigste Einflußgrößen auf das Verhalten der Brennstäbe wurden die Leistung, die thermohydraulischen Randbedingungen, die im Stab gespeicherte Energie und der Spaltwärmeübergangskoeffizient ermittelt. Mit Hilfe der deterministischen SSYST-3-Einzelstabanalysen und den Ersatzfunktionen für die Temperatur und die Dehnung wurde ein zu erwartender Kernschaden von 2,9 % ermittelt ("best estimate"-Wert).

A probabilistic SSYST-3 analysis for a PWR-core during a Large Break LOCAAbstract

The modular program system SSYST enables the analysis of the behaviour of fuel rods and fuel rod simulators under off-normal conditions.

The version SSYST-3 contains both models for the deterministic analysis of the temperature distribution in fuel or heating zone, gap, and cladding, of heat transfer in the gap, deformation and burst of the cladding, oxidation of the cladding, heat transfer between the surface of the cladding and the adjacent cooling channel etc., and models for the probabilistic analysis of possibly blocked zones in the whole core under large break loss of coolant accident (LOCA) conditions.

This report demonstrates the SSYST-3 analysis and application for a German PWR of 1300 MW.

During a loss-of-coolant accident the thermal and mechanical behaviour of the fuel rods is of special importance, as any change in their geometry can influence the coolability of the core.

For the past examinations on fuel rod behaviour, conservative models and input data were used in order to estimate the fuel rod temperatures, circumferential expansion of the rods and the conditions of coolability. This process of cumulation of conservative assumptions can however lead to untypical results when compared with the probable behaviour. Therefore in a further step, the so-called best estimate codes have been developed for describing all physical phenomena with their models and input data.

Even with best estimate codes, difficulties related to the choice of input and model parameters are encountered, as these data are either statistical in nature or they are uncertain within a defined band width.

In order to consider statistically distributed (i.e. geometrical data) or uncertain variables (i.e. decay heat), mathematical methods and codes have been developed which can estimate the distributions of output data for the given distributions of input data of a deterministic code. As a proper

probabilistic method for the application of extensive codes, the Response Surface Method has been proven to be successful.

This report is concerned with the probabilistic analysis of a PWR core during a loss-of-coolant accident due to a large break. With the probabilistic analysis, the distribution functions of the maximum temperatures and cladding elongations occurring in the core can be calculated. Parameters like rod power, the thermohydraulic boundary conditions, stored energy in the fuel rods and the heat transfer coefficient were found to be the most important. The expected value of core damage was determined to be 2.9 % on the base of response surfaces for cladding temperature and strain deduced from SSYST-3 single rod results.

<u>INHALTSVERZEICHNIS</u>	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Kooperation GRS-KfK/PNS	2
3. Probabilistische Analyse eines 1300 MW Druckwasserreaktors	2
3.1 Verwendete Rechenprogramme	4
3.2 Randbedingungen und geometrische Daten	5
3.3 Aufbereiten der Randbedingungen für die probabilistische Analyse	7
3.4 Nodalisierung des Referenzreaktors	8
3.5 Programmablauf	12
3.6 Ergebnisse einer Einzelstabanalyse	13
3.7 Auswahl der Variablen und deren Verteilungen	14
3.8 Durchgeführte Rechnungen	15
3.9 Beurteilung einer Regressionsanalyse	16
4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	18
4.1 Temperaturanalyse	18
4.2 Dehnungsanalyse	21
4.3 Schätzung des Kernschadens	23
5. Schlußbetrachtung	26
6. Zusammenfassung	26
7. Literatur	29
8. Abbildungen	32
Anhang A: Eingabebeispiel einer SSYST-3-Analyse	69
Anhang B: Liste der verwendeten Moduln	88
Anhang C: Liste der für die probabilistischen Untersuchungen berücksichtigten unabhängigen Einflußgrößen	91
Anhang D: 1. RELAP4/MOD6 Code-Modifikationen	100
2. Primärsystem - Eingabemodell	105
3. Eingabe für RELAP4-Edit-Lauf	114

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 3.1.1: Ablaufdiagramm der "Response Surface"-Methode
- Abb. 3.2.1: Axiales Leistungsprofil für zwei Abbrandzustände von 0 bzw. 2.8 Tagen
- Abb. 3.2.2: Axiales Leistungsprofil für zwei Abbrandzustände von 4 bzw. 10 Tagen
- Abb. 3.2.3: Axiales Leistungsprofil für zwei Abbrandzustände von 35 bzw. 70 Tagen
- Abb. 3.2.4: Axiales Leistungsprofil für zwei Abbrandzustände von 140 bzw. 210 Tagen
- Abb. 3.2.5: Axiales Leistungsprofil für zwei Abbrandzustände von 280 bzw. 350 Tagen
- Abb. 3.2.6: Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 1, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.7: Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 2, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.8: Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 3, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.9: Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 4, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.10: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 1, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.11: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 2, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

- Abb. 3.2.12: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 3, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.13: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 4, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.14: Wärmeübergangskoeffizient (α) Brennstab-Kühlmittel, Zone 1, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.15: Wärmeübergangskoeffizient (α) Brennstab-Kühlmittel, Zone 2, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.16: Wärmeübergangskoeffizient (α) Brennstab-Kühlmittel, Zone 3, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.17: Wärmeübergangskoeffizient (α) Brennstab-Kühlmittel, Zone 4, als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase
- Abb. 3.2.18: Zeitliche Verläufe der Wärmeübergangszahlen Brennstab-Kühlmittel und Spaltwärmeübergangszahlen in einigen ausgewählten axialen Brennstabzonen während der Störfalltransiente
- Abb. 3.4.1: Nodalisierung der Primärkühlkreisläufe des Referenz-Druckwasserreaktors für Rechnungen mit RELAP4/MOD6
- Abb. 3.5.1: Ablaufschema einer Einzelstabanalyse für eine probabilistische Datenauswertung mit SSYST-3
- Abb. 3.6.1: Brennstaboberflächentemperaturen als Funktion der Zeit vom Störfallbeginn an bis in die Flutphase

- Abb. 3.6.2: Hüllrohrumfangsdehnungen $((r - r_0)/r_0)$ als Funktion der Zeit während der gesamten Störfalltransiente
- Abb. 3.6.3: Brennstabinnendruck als Funktion der Zeit während der gesamten Störfalltransiente
- Abb. 4.1.1: Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrtemperaturen (rechts). σ , γ und μ sind Standardabweichung, Schiefe und Erwartungswert, R ist der Korrelationskoeffizient
- Abb. 4.1.2: Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrtemperaturen einschließlich der entsprechenden Residuenverteilung
- Abb. 4.1.3: Beispiele einer Parameterstudie zur Untersuchung des Einflusses des "Dispersed Flow"-Koeffizienten (Parameter REEE entsprechend der Variablen V10, s. Anhang C) auf Temperaturen, Wärmeübergangszahlen und Quenchfrontverläufe im Kern (aus /15/)
- Abb. 4.1.4: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.0 bis 2.47
- Abb. 4.1.5: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.5 bis 2.47
- Abb. 4.1.6.: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.35 bis 2.47

- Abb. 4.1.7: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 17, Leistungsfaktor 1.0 bis 2.47
- Abb. 4.2.1: Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrumfangsdehnungen (rechts); die Werte der Umfangsdehnungen ϵ sind hier im logarithmischen Bereich $\ln \epsilon$ angegeben
- Abb. 4.2.2: Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrumfangsdehnungen (rechts); im Vergleich zu Abb. 4.2.1 sind die Umfangsdehnungen im Originalbereich angegeben
- Abb. 4.2.3: Test der Residuenhäufigkeit auf Normalverteilung für die "Response Surface"-Approximation der max. Hüllrohrumfangsdehnung $\ln \epsilon$
- Abb. 4.2.4: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrumfangsdehnung in Brennstabzone 16
- Abb. 4.3.1: Für die Abschätzung des Kernversagens zugrunde gelegter Verlauf der Hüllrohrenddehnung als Funktion der Temperatur mit $\pm 1 \sigma$ -Bereich

1. Einleitung

Bei einem Kühlmittelverluststörfall (KMVS) kommt dem Verhalten der Brennstäbe besondere Bedeutung zu, da eventuelle Geometrieänderungen durch thermische und mechanische Belastungen Einfluß auf eine ausreichende Kühlbarkeit des Reaktorkerns haben können. Ziel einer analytischen kernweiten Brennstabanalyse ist es, Aussagen über das Temperatur-, Bläh-, Berst- und Oxidationsverhalten der Brennstäbe zu machen, da mit Hilfe dieser Parameter Rückschlüsse auf die Kühlbarkeit des Kerns und auf die Freisetzungsrates des radioaktiven Inventars möglich sind.

Bei früheren Untersuchungen zum Brennstabverhalten benutzte man konservative Modelle und Eingabegrößen, um Brennstabtemperaturen, Hüllrohrumfangsdehnungen und somit Kühlbedingungen abzuschätzen. Diese Vorgehensweise kann jedoch durch Kumulation konservativer Annahmen zu gegenüber dem wahrscheinlichen Ereignisablauf untypischen Ergebnissen führen. Deshalb wurden in einem weiteren Schritt sogenannte "best-estimate"-Rechenprogramme entwickelt, die in ihren Modellen und Eingabegrößen möglichst alle physikalischen Phänomene detailliert erfassen sollen. Bei dem modularen Programmsystem SSYST handelt es sich um ein sogenanntes "best-estimate"-Rechenprogramm.

Aber auch bei diesen Programmen treten Schwierigkeiten bezüglich der Festlegung der Eingabe- und Modellparameter auf, da diese teilweise nur innerhalb gewisser Grenzen bekannt oder statistischer Natur sind. Um auch statistische (z.B. der geometrischen Daten) und unsichere (z.B. der Nachzerfallswärme) Größen berücksichtigen zu können, wurden mathematische Methoden und Rechenprogramme entwickelt, die bei gegebenen Verteilungen der Eingangsgrößen Verteilungen der Ausgangsgrößen eines deterministischen Programms abschätzen können.

Um diese Art der mathematischen Methoden wurde SSYST-3 u.a. gegenüber den Vorläuferprogrammen (SSYST-1, SSYST-2) erweitert. Sie wurden als neue Module dem System zugefügt. Als eine geeignete probabilistische Methode für Untersuchungen mit umfangreichen Rechenprogrammen hat sich die "Response Surface"-Methode erwiesen.

Dieser Bericht stellt eine probabilistische kernweite Analyse eines 1300 MW-Druckwasserreaktors vor. Während dieser Analysen kamen die Programmsysteme SSYST-3, RELAP4-MOD6 /5/ und COMETHE /6/ neben kleineren Auswertprogrammen zum Einsatz. Eine genauere Beschreibung der einzelnen Rechenprogramme erfolgt später in den jeweiligen Kapiteln, die sich mit der Anwendung dieser Programme beschäftigen.

2. Kooperation GRS-KfK/PNS

Die in diesem Bericht geschilderten Analysen sind von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) im Auftrag und in Zusammenarbeit mit dem Kernforschungszentrum Karlsruhe/Projekt Nukleare Sicherheit (KfK/PNS) durchgeführt worden.

Die Berechnung des stationären Zustandes des 1300 MW-Referenzreaktors und die der Thermohydraulik während der Druckentlastungsphase wurden vom KfK durchgeführt. Die Ergebnisse wurden der GRS auf Magnetbändern übergeben und konnten problemlos weiterverarbeitet werden.

Die Druckentlastungsphase sollte nur über die thermohydraulischen Randbedingungen mit in die Analyse einbezogen werden. Als Referenzrechnung und als Orientierungshilfe für die Festlegung von Streubreiten wurden 3 Rechnungen mit RELAP4-MOD6 von KfK durchgeführt.

Die für die Erledigung des Auftrages benötigte Literatur über das Programmsystem SSYST /2, 3, 4/ wurde der GRS vom KfK/PNS zugänglich gemacht.

Während der probabilistischen kernweiten Analyse konnten die mit dem Programmsystem SSYST-3 während der Vorausberechnung des REBEKA-6-Versuchs /7/ gemachten Erfahrungen einfließen und verwertet werden /8/.

3. Probabilistische Analyse eines 1300 MW-Druckwasserreaktors

Die während der Analyse verwendeten mathematischen Methoden sind schon mehrmals ausführlich dargestellt worden /4, 14, 16/. Sie sollen daher anhand der Abb. 3.1.1 nur kurz erläutert werden.

Um statistische Simulationsverfahren auf umfangreiche Rechenprogramme anwenden zu können, wurde die "Response Surface"-Methode (RSM) entwickelt. Bei ihr handelt es sich um ein Simulationsverfahren, d.h. es werden Spiele (Experimente) an einer Ersatzfunktion ("Response Surface") durchgeführt, die den funktionalen Zusammenhang des Originalprogramms approximiert. Die "Response Surface"-Methode gliedert sich in zwei Abschnitte, von denen jeder weiter unterteilt ist.

- Für einen z.B. durch ein Rechenprogramm gegebenen beliebig komplizierten funktionalen Zusammenhang $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ wird eine Ersatzfunktion der Form $\hat{Y} = \hat{Y}(x_1, \dots, x_m)$ mit $m \leq n$ aufgestellt, die den unbekanntem Zusammenhang zwischen den Eingabegrößen (x_1, \dots, x_n) und der Antwortgröße Y approximiert.
- Mit der Ersatzfunktion werden probabilistische Analysen durchgeführt (z.B. Monte Carlo-Rechnungen).

In einem ersten Schritt müssen die für das zu untersuchende Programm als statistisch oder unsicher geltenden Variablen ausgesucht und deren Streubreiten festgestellt werden. Dies geschieht durch Sensitivitätsstudien und durch die Auswertung von Meßergebnissen (z.B. bei geometrischen Größen).

Als erster Rechenschritt folgt dann das sogenannte "experimental design". Mit dem "experimental design" werden Datensätze festgelegt, die die Lage der Stützpunkte der Ersatzfunktion im n -dimensionalen Raum der Eingabedaten bestimmen. Dafür gibt es mehrere Methoden. Bei dieser Analyse wurde das in SSYST-3 implementierte "latin hypercube sampling", ein auf zufällige Auswahl der Eingabekombinationen beruhendes Verfahren, gewählt.

Das Ergebnis des "experimental design" ist eine Matrix, deren Spaltenzahl der Anzahl der Variablen entspricht, und deren Zeilenzahl die Anzahl der mit dem Rechenprogramm ("Black Box") durchzuführenden Rechnungen angibt. Durch wiederholtes Starten des Programms erzeugt man als nächstes einen Vektor mit Ergebnissen, die für die folgende Regressionsanalyse als Stützstellen dienen. Während dieses Schrittes soll der funktionale Zusammenhang (das Programm) $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ durch einen einfacheren Ausdruck $\hat{Y} = \hat{Y}(x_1, \dots, x_m)$ approximiert werden. Für die Beurteilung der Güte der Approximationsfunktion stehen mehrere noch zu erläuternde Verfahren zur Verfügung. Hat man eine

Funktion $\hat{Y} = \hat{Y}(x_1, \dots, x_m)$ gefunden, die die Funktion $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ befriedigend nachbildet, so können mit dieser Ersatzfunktion statistische Analysen durchgeführt werden, die mit der Originalfunktion (dem Programm) zu aufwendig wären. Im vorliegenden Fall wurden mit der Funktion Standard-Monte Carlo-Analysen vorgenommen.

3.1 Verwendete Rechenprogramme

Eine deterministische Analyse eines Einzelstabes läßt sich in Zeitphasen einteilen, die von verschiedenen Programmsystemen nachgebildet werden können. Die in dem hier vorgestellten Beispiel zugrundegelegte Einteilung ist in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Phase	Programm	Modul(Physik)	Rechnung durchgeführt bei
stationärer Zustand Abbrand u. Leistungsverhalten	COMETHE	-	KfK / PNS
Druckentlastungsphase, Thermohydraulik	RELAP 4/ MOD 6	-	KfK / PNS
Druckentlastungsphase, Brennstabverhalten	SSYST-3	URGAP, ZIRKOX, PIPRE, STADEF ZET-1D	GRS
Wiederauffüllung Flutung	SSYST-3	REFLOS /20/	GRS
Wiederauffüllung Flutung, Brennstabverhalten	SSYST-3	URGAP, ZIRKOX, PIPRE, STADEF ZET-1D	GRS

Der Ablauf der einzelnen Abschnitte ist in /4/ ausführlich behandelt. Für die kernweite probabilistische Analyse sind folgende zusätzliche Schritte nötig:

Schritt	Programm	Modul	Rechnung durchgeführt bei
Erstellen der Designmatrix	SSYST-3	DESIGN	GRS
Regressionsanalyse	SSYST-3	REGRESS	GRS
statistische Analyse	SSYST-3	MOCA	GRS

Die Primärsystemanalyse der Blowdown-Phase für den Referenzreaktor wurde mit dem Programm RELAP4/MOD6/004, /5/, durchgeführt. Verwendet wurde die im KfK 1978 implementierte Programmversion /9/, die sich von der Originalversion im wesentlichen unterscheidet durch Anpassungen an die KfK-Rechenanlage und Code-Korrekturen gemäß RELAP-News Edition 28 (Sec. 6.20), sowie durch Modifikationen zwecks Datenübergabe an das Programm SSYST-3 /10/. Die den Datentransfer an SSYST betreffenden Code-Änderungen sind im Anhang D1 abgedruckt.

Neben den oben aufgeführten Programmen und Modulen kamen noch ca. 30 SSYST-3-Modulen zum Einsatz (Anhang B), die hauptsächlich der Datenaufbereitung, dem Datentransfer zwischen den Programmen und der Datenausgabe dienten. Im Anhang A ist eine vollständige Einzelstabanalyse (das Spiel Nr.80) angeführt.

3.2 Randbedingungen und geometrische Daten

Die wichtigsten verwendeten "kalten" Eingabedaten für die Analyse des Referenzreaktors waren folgende:

Anzahl der Stäbe	45528	/ - /
Gesamtleistung des Reaktors (106 %)	3956	/MW/
Stabdurchmesser	1.075	/cm/
Gesamtlänge eines Stabes	440.7	/cm/
aktive Länge	390	/cm/
unteres Plenum	31.7	/cm/
+ Al ₂ O ₃ - Pellet		
oberes Plenum	19	/cm/
+ Al ₂ O ₃ - Pellet(8 cm)		
Plenum Volumina - oben	8.09	/cm ³ /
Plenum Volumina - unten	16.7	/cm ³ /
Abbrand EOC1 = BOC2	13.9	/MWd/kgU/
Anfangsgasdruck, kalt	22.5	/bar/
Spaltweite	105 * 10 ⁻⁶	/m/
Pitch	14.3	/cm/
Porosität	94.5	/%/
dish-Volumen	15.77	/mm ³ /
Pellethöhe	11	/cm/
Hüllrohrwandstärke	0.715	/mm/

Um eine Temperatur- und Dehnungsanalyse mit SSYST-3 durchführen zu können, werden folgende Randbedingungen benötigt:

- Wärmequellichten
- Kühlmitteltemperaturen
- Kühlmitteldruck
- Wärmeübergangskoeffizienten Hülle/Fluid

Wärmequellichten

Für die Blowdown-Analyse mit RELAP4 wurde in konservativer Weise 106 % der nominellen Reaktorleistung zugrundegelegt. Die eigentlichen Brennstabanalysen mit COMETHE und SSYST wurde auf 100 % Reaktorleistung bezogen. Der axiale Verlauf der Leistung wurde gemäß Abb. 3.2.1 bis Abb. 3.2.5 in Anlehnung an /11/ gewählt. Dabei war die Abbrandgeschichte Eingabe für COMETHE und der resultierende axiale Leistungsverlauf bei 350 Tagen der nominelle Verlauf für alle folgenden Brennstabverhaltensanalysen. Für die probabilistische Analyse wurden über diesen nominellen Verlauf mit den Leistungs-

formfaktoren P_{MAX} und FRAD (s. Anhang A) Streubreiten gelegt. Die Nachzerfallsleistung wurde nach DIN 25463 bestimmt.

Kühlmitteltemperaturen

Die Kühlmitteltemperaturen in der Druckentlastungsphase wurden mit RELAP4/MOD6 und in der Wiederauffüll- und Flut-Phase mit dem S_{SYST}-3-Modul REFLOS ermittelt. Die Abbildungen 3.2.6 - 3.2.9 zeigen die Kühlmitteltemperaturen als Funktion der Zeit während der Druckentlastungsphase aus 2 Rechnungen und die daraus berechneten mittleren Temperaturen.

Kühlmitteldruck

Die Kühlmitteldrücke in der Druckentlastungsphase wurden mit RELAP4/MOD6 und in der Wiederauffüll- und Flutphase mit dem S_{SYST}-3 Modul REFLOS ermittelt. Die Bilder 3.2.10 - 3.2.13 zeigen die Kühlmitteldrücke als Funktion der Zeit während der Druckentlastungsphase aus 2 Rechnungen und die daraus berechneten mittleren Drücke.

Wärmeübergangskoeffizienten

Die Wärmeübergangskoeffizienten wurden analog zu den Kühlmitteltemperaturen und Drücken ermittelt (Bild 3.2.14 - 3.2.17).

3.3 Aufbereiten der Randbedingungen für die probabilistische Analyse

Die Vorgehensweise bei der Aufbereitung der Randbedingungen und Anfangswerte war bei den einzelnen Programmen unterschiedlich.

Mit dem Programm COMETHE, das den stationären Zustand des Referenzreaktors bestimmt, wurde eine Rechnung mit den in Abschnitt 3.2 genannten Daten durchgeführt. Über die Ergebnisse wurden anschließend Streubänder gelegt (s.u.).

Die Ergebnisse des Moduls REFLOS brauchten nicht aufbereitet zu werden, denn aufgrund seines relativ geringen Rechenaufwandes wurde er vollständig in die probabilistische Analyse mit einbezogen. Bei ihm wurde also ein Teil seiner Eingangsdaten als statistisch verteilt bzw. unsicher angesehen und deshalb variiert. Zu jeder der durchgeführten Einzelstabrechnungen wurde somit eine spezielle Thermohydraulik der Wiederauffüll- und Flutphase gerechnet.

In /12/ wurde durch Sensitivitätsstudien festgestellt, daß die Wahl der Wärmeübergangskorrelation in RELAP4/MOD6 entscheidenden Einfluß auf den Verlauf der berechneten Wärmeübergangskoeffizienten hat. In dem Programm sind alternativ 3 unterschiedliche Wärmeübergangsmodelle wählbar (HTS1, HTS2 und HTS3). Um die durch die Modelle verursachten Streuungen erfassen zu können, wurden 3 Rechnungen mit unveränderten Eingabedaten nach Abschnitt 3.4, aber unterschiedlichen Wärmeübergangsmodellen durchgeführt. Mit dem HTS3, dessen Benutzung von den Autoren nicht empfohlen wird, konnte wegen auftretender Programmfehler die Rechnung nicht zu Ende geführt werden. Deshalb wurden für die weitere Auswertung nur die Wärmeübergangsmodelle HTS1 und HTS2 berücksichtigt. Als Basiskurve aus beiden Rechnungen, über die die Unsicherheitsbänder gelegt wurden, wurde eine aus beiden gemittelte Kurve gewählt.

Das Bild 3.2.18 zeigt für eine Heißstabanalyse (Leistungsfaktor 2.5) den Verlauf der Wärmeübergangskoeffizienten Brennstabhülle/Fluid an verschiedenen axialen Positionen während des ganzen Störfalls. Weiterhin ist der Verlauf des Wärmeübergangs im Spalt eingezeichnet.

3.4 Nodalisierung des Referenzreaktors

Aus programmtechnischen Gründen mußten COMETHE, RELAP und SSYST unterschiedlich nodalisiert werden.

SSYST-3:

In SSYST-3 wird der Brennstab als Matrix modelliert. In axialer Richtung wurden 20 Knoten gewählt, von denen 16 im Brennstoff, je einer im oberen und unteren Plenum des Stabes lagen und je einer den Stab oben und unten abschlossen. Da in COMETHE die Al_2O_3 -Pellets am oberen und unteren Ende der Brennstoffsäule nicht berücksichtigt wurden und sonst auch keine stationären Werte (Temperaturen, Spaltwärmeübergangskoeffizienten) an diesen Stellen vorliegen, wurden diese auch in SSYST nicht berücksichtigt. Die Abmessungen des Brennstabes wurden dahin korrigiert, daß die Lage der Brennstoffsäule und die Gasvolumina korrekt waren.

Durch die feine axiale Aufteilung wurde erreicht, daß bei einer Verformung der Brennstabhülle die axiale Ausdehnung der Deformation realistisch ist,

und daß nicht durch zu starke Volumenzunahme der Innendruck zu sehr abfällt.

In radialer Richtung wurden 12 Knoten gewählt, 10 davon im Brennstoff. Eine azimutale Auflösung wurde nicht vorgenommen.

COMETHE:

In COMETHE wurde der Brennstab in 14 axiale und 12 radiale Knoten unterteilt. Eine Anpassung dieser Matrix an die Nodalisierung von SSYST geschah mit dem Modul UGRID durch Wiederholung der Maschenwerte bzw. durch Interpolation zwischen ihnen (siehe Anhang A).

RELAP:

Der Eingabesatz für die Primärsystemrechnung mit RELAP4/MOD6/004 ist aus einer Eingabe hervorgegangen, die schon in /4/ für die seinerzeit verwendete ältere Version RELAP4/MOD2 (KfK) verwendet wurde. Das ursprüngliche Eingabemodell wurde etwas erweitert und auf die verbesserten Möglichkeiten von RELAP4/MOD6 soweit möglich abgestimmt. Die Nodalisierung (siehe Abb. 3.4.1) ist einfach gehalten und besteht aus 2 Kreisläufen mit insgesamt 38 Volumen, 45 Verbindungen und 4 Wärmestrukturen. Folgende allgemeine RELAP4-Modelloptionen wurden gewählt:

1. Inkompressible Strömung¹⁾ ohne Impulsflußterm
2. Trägheitsfaktoren und Form-Loss-Koeffizienten wurden vom Programm berechnet
3. Reibungsverluste nach Fanning bei glatten Wänden wurden mit 2-Phasen-Korrekturfaktoren berechnet
4. Phasenschlupf nur in Stapelvolumen außerhalb des Reaktorkessels
5. Kritische Strömung nach Henry-Fauske mit Ausströmfaktor 1.0
6. In allen Volumina homogenes Modell, wenn nicht anders angegeben
7. Zeitschrittkontrolle mit einem maximalen Zeitschritt von 0.01 s
8. Für konvektiven Wärmeübergang wurden alternativ die Blowdown-Korrelationen von MOD5 (HTS1) und MOD6(HTS2) angewandt.

¹⁾ Die an sich üblicherweise verwendete Impulsgleichung mit kompressibler Strömung und Impulsflußterm führte in der Rechnung auf Probleme.

Die einzelnen Systemkomponenten wurden wie folgt modelliert (Abb. 3.4.1):

Reaktorkessel

Der Reaktorkessel wurde insgesamt mit 10 Volumen dargestellt. Davon entfallen 4 Volumen auf den Kern. Jedes der Kernvolumen ist an einen Brennstababschnitt gekoppelt, der in 11 radiale Knoten unterteilt ist. Der Eintrittsringraum und der Downcomer werden durch je ein Volumen abgebildet. Das untere Plenum wurde mit einem, das obere Plenum mit zwei Volumen modelliert. Für die Kernumgehung wurde ein Volumen verwendet. Für die Beschreibung des Fluids wurde im oberen Plenum das Blasenauftiegsmodell nach Wilson verwendet.

Kreisläufe

Von den vier Primärkreisläufen wurden nur zwei mit je 10 Volumen modelliert, wobei einer die drei intakten, der andere den gebrochenen repräsentiert. An den gebrochenen Kreislauf war der Druckhalter angeschlossen. Der Druckhalter und die Rohrleitung zwischen Dampferzeuger und Pumpe wurde mit je einem Volumen dargestellt. Die Pumpencharakteristik wurde eingegeben. Im Druckhalter wurde das Blasenauftiegsmodell nach Wilson verwendet.

Dampferzeuger

Von den 10 Volumen eines Primärkreislaufes repräsentieren 6 die Primärseite des Dampferzeugers. Die Temperatur auf der Sekundärseite war Eingabegröße. Der Wärmetransport zwischen Primär- und Sekundärseite wurde ohne Wärmeleitung modelliert. In den Eintritts- und Austrittskammern wurde das Wilson-Blasenauftiegsmodell angewendet und Schlupf zwischen den Phasen wurde am Ein- und Austritt der Rohrbündel zugelassen.

Sicherheitseinspeisung

Für jeden modellierten Kreislauf wurde ein Druckspeicher mit einer kaltseitigen und einer heißseitigen Einspeisung berücksichtigt. Der Ansprechdruck des Druckspeichers war 26 bar, die Entspannung des Luftpolsters erfolgte polytrop.

Die Anfangs- und Randbedingungen für die Primärsystemrechnung sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. Als Leistungsverteilung dient die Kurve mit einem Abbrand von 350 Tagen in Abb. 3.2.5.

		KWU /13/	Modellierung mit RELAP4
Gesamtwärmeleistung	Reaktor	3733 MW	3956 MW (106%)
	Dampferzeuger	3752 MW	3982 MW
Kühlmitteldurchsatz		20 000 kg/s	19 994 kg/s
Kühlmitteldruck Reaktorausritt		15.5 MPa	15.45 MPa
Kühlmitteltemp. Reaktoreintritt		563.3 K	559.1 K
Aufheizspanne Kern		32.8 K	35.5 K
Gesamtdruckverlust		0.67 MPa	0.68 Mpa
Pumpendrehzahl		1490 U/Min	1493 U/Min
Dampferzeuger Sekundärdruck		5.4 MPa	-
Druckhalter Wasservolumen		62 %	66 %
Notkühlmittel-Temperatur		-	303.2 K

3.5 Programmablauf

Der Ablauf einer Einzelstabanalyse mit SSYST-3 unterteilt sich in mehrere Abschnitte, die in einem Rechenlauf abgearbeitet werden können. Im folgenden soll skizziert werden, wie eine vollständige Rechnung für eine probabilistische Analyse aufgebaut sein kann (Anhang A, Spiel 80). Als nützlich erwies sich dabei die Verwendung des Moduls VARIO, der es u.a. ermöglicht, Werte aus einer Datenmatrix einer Variablen zuzuweisen. Dadurch wird die Durchführung einer Sensitivitätsstudie oder einer probabilistischen Untersuchung erleichtert, da bei solchen Rechnungen wiederholt Änderungen an mehreren Stellen des Eingabekartendecks vorgenommen werden müssen. Durch die Einführung von Variablen bewirkt man, daß die Modifikationen der Eingabe nur noch an einer Stelle durchzuführen sind. Vereinigt man die Werte der Variablen in einer Matrix, so hat man eine weitgehende Automatisierung des Rechenablaufs während einer umfangreichen Analyse erreicht.

Der Rechenablauf beginnt mit der Vereinbarung des allgemeinen Steuerblocks. Anschließend werden die für die Probabilistik benötigten Blöcke festgelegt. Dieser Abschnitt endet mit der Erstellung der Design-Matrix durch den Modul DESIGN (In Anhang A auf Kommentar gesetzt, da die Matrix aus Kostengründen nur einmal erstellt wurde; bei den weiteren Rechnungen wurde sie von einer Platte zum System dazugeladen).

Mit der Vereinbarung der Variablen beginnt die eigentliche Einzelstabanalyse. Die später benötigten Stoffdaten werden in das System von einer Datei eingefügt und durch die ersten Variablen modifiziert. Um Schnittstellen-schwierigkeiten zwischen den Programmen COMETHE und SSYST-3 zu vermeiden, sollte mit SSYST vor Eintritt in die Transiente die stationäre Rechnung von COMETHE kurz fortgesetzt werden. Dafür werden die von COMETHE berechneten Startwerte zugefügt und aufbereitet. Von SSYST zusätzlich benötigte Datenblöcke werden eingegeben und die stationäre Rechnung wird ausgeführt. Die für den weiteren Rechenablauf nicht mehr benötigten Daten werden als nächstes gelöscht. Die Ergebnisse der Primärsystemrechnung werden, soweit sie als Randbedingungen für SSYST-3 in Frage kommen, von RELAP4 in einem EDIT-Lauf auf ein Datenfile geschrieben und können dann von dem SSYST-Modul RELBIB gelesen und weiterverarbeitet werden. In einem EDIT kann RELAP4 nicht mehr als 9 Größen ausgeben. Daher sind mehrere solcher EDITS erforderlich, die aber in einem RELAP-Lauf abgearbeitet werden können. Die

Eingabe für einen EDIT-Lauf zur Übergabe von Kühlmitteltemperatur, Kühlmitteldruck und Wärmeübergangskoeffizient für die vier Kernzonen (siehe auch Abb. 3.2.6 bis 3.2.17) befindet sich in Anhang D. Nach der Berechnung der Blowdownphase wiederholt sich der eben beschriebene Ablauf: Löschen von nicht mehr benötigten Daten, Berechnung der Thermohydraulik durch REFLOS, Aufbereiten der Daten, Berechnung der Wiederauffüll- und Flutphase. In einem letzten Schritt werden die Ergebnisse, die später weiterverarbeitet und ausgewertet werden sollen, in einer Matrix gespeichert und auf Platte ausgelagert. Abb. 3.5.1 zeigt diesen Ablauf schematisch.

3.6 Ergebnisse einer Einzelstabanalyse

Die Abb. 3.6.1 - 3.6.3 zeigen die Ergebnisse einer Analyse eines Heißstabes mit SSYST-3. Die dazugehörigen thermohydraulischen Randbedingungen wurden schon in den Abb. 3.2.5 bis 3.2.18 vorgestellt. Die in Abb. 3.6.1 dargestellten Temperaturen zeigen den erwarteten Verlauf (vergl. /4/). Deutlich ist der Einfluß der Dehnung auf die Hüllrohrtemperatur an der axialen Position 17 (3.5 m) zu sehen, also am oberen Hüllrohrende. In diesem Bereich liegt auch nach Abb. 3.2.5 die maximale Stabileistung. In diesem Testbeispiel tritt Bersten nach 85 Sekunden mit einer Berstdehnung von 80 % (Abb. 3.6.2) ein. Derart hohe Enddehnungen sind in einem Stabbündel selten zu beobachten, sie führen in jedem Fall zu Kontakt mit Nachbarstäben. Sie treten bei Einzelstabanalysen mit hinreichend hohen Leistungen und entsprechenden Kühlbedingungen am Ende der α -Phase des Zirkaloy bzw. am Anfang der α/β -Mischkristallphase auf.

Aus Abb. 3.6.1 läßt sich auch der Einfluß des Verlaufs der Wärmeübergangskoeffizienten auf den Temperaturverlauf entnehmen. Die in Abb. 3.2.18 zu beobachtenden Schwingungen lassen sich in gedämpfter Form auch bei den Temperaturen feststellen. Da der Temperaturverlauf das Dehnverhalten von Zirkaloyhüllrohren stark beeinflusst, dieser wiederum hauptsächlich von der Leistung und von den Wärmeübergangsbedingungen Hülle/Fluid abhängt, ist zu vermuten, daß die Leistung und die Wärmeübergangsbedingungen maßgeblich das Dehn- und Berstverhalten beeinflussen. Diese Vermutung soll durch die spätere probabilistische Untersuchung bestätigt werden.

Abb. 3.6.3 zeigt den Verlauf des Hüllrohrinnendruckes als Funktion der Zeit. Da während der Druckentlastungsphase die Temperaturen des Kühlmittels

(Abb. 3.2.6 - 3.2.9) größtenteils der Sättigungstemperatur folgen (Überhitzungen nur im Bereich weniger Sekunden), sinken auch die Temperaturen im oberen und unteren Stabplenum. Dadurch verringert sich der Brennstabinnen- druck. Die Überhitzungen kann man am Innendruckverlauf als Peak nach ca. 10 Sekunden beobachten.

Während der Refillzeit steigt der Innendruck, da die Kühlmitteltemperaturen und die Brennstabtemperaturen steigen. Mit Einsetzen der Dehnung vergrößert sich das Gasvolumen im Stab; der Innendruck sinkt wieder. Mit dem Bersten des Hüllrohres fällt der Brennstabdruck auf den Kühlmitteldruck ab.

3.7 Auswahl der Variablen und deren Verteilungen

Die Auswahl der Variablen erfolgte unter Berücksichtigung der in /4/ angeführten Tabelle. Weiterhin wurden die Erfahrungen, die mit dem Programm REFLOS während der in /14/ geschilderten Untersuchung gemacht wurden, ausgewertet, was zu einer Reduzierung der Anzahl der Einflußgrößen führte. Zur Festlegung der Streubreiten der REFLOS-Variablen wurde auch /15/ herangezogen.

Der Anhang C gibt eine Liste der verwendeten Variablen, deren Bedeutung, die minimalen und maximalen Werte der Variablen, die Parameter der Beta-Verteilung und deren Definition wieder. Es ist ersichtlich, daß 23 Variablen in der Untersuchung berücksichtigt wurden. Alle wurden als Beta-verteilt angenommen. Ausführliche Erläuterungen über diese Verteilung und ihre Eigenschaften sind in /4, 14, 16/ gegeben. Die Verteilungen sind so festgelegt worden, daß auch sogenannte konservative Werte, wie sie im Genehmigungsverfahren zum Einsatz kommen, mit berücksichtigt wurden.

Dies sei an zwei Beispielen erläutert:

Die Leistung setzt sich aus den Faktoren PMAX (Variable 1) und FRAD (Variable 3) zusammen. PMAX vereinigt die Größen mittlere Stableistung, axialer Leistungsfaktor, Betriebsleistung des Reaktors, Wasserspaltfaktor und Leistung-Sicherheitsfaktor. FRAD ist der radiale Leistungsfaktor. Die Aufspaltung der Leistung in Faktoren war u.a. für REFLOS notwendig. Die Streubreiten beider Faktoren wurden so gewählt, daß Stableistungen von 209 W/cm bis 517 W/cm (Leistungsfaktor 1 - 2.47) berücksichtigt wurden.

Der Mittelwert des Verlaufs der Wärmeübergangskoeffizienten während der Druckentlastungsphase wurde, wie zuvor beschrieben, aus 2 RELAP4/MOD6-Rechnungen bestimmt. Die Variable 18 ist der Faktor, mit dem der Verlauf variiert wurde. Die Festlegung der Grenzwerte erfolgte analog zu /17/. Dort wird vorgeschlagen, die mit einem eindimensionalen Rechenprogramm wie RELAP ermittelten Durchsatzwerte mit einem Reduktionsfaktor von 0.8 zu versehen.

$$\dot{m}_{\text{Red}} = \dot{m}_{\text{RELAP}} * 0.8$$

Für den Wärmeübergangskoeffizienten gilt dann

$$\alpha_{\text{Red}} \sim (\dot{m}_{\text{Red}})^{0.8}$$

Daraus wurde die Streubreite der Variablen 18 bestimmt, indem als unterer Grenzwert der 80 %-Wert des konservativen und als oberer Grenzwert der 120 %-Wert des mittleren Wertes genommen wurde.

Die hier geschilderte Vorgehensweise bei der Behandlung der RELAP-Randbedingungen stellt gegenüber der in /4/ geschilderten Methode eine Vereinfachung dar, da die Thermohydraulik der Druckentlastungsphase nur indirekt - durch Faktoren - im "experimental design" berücksichtigt wurde. Dadurch konnten die Rechenkosten aber erheblich verringert werden, denn die vollständige Einbeziehung von RELAP in die Anwendung der Response-Surface-Methode (RSM) benötigt große Rechenzeiten. Die Vereinfachung schien aber gerechtfertigt, da während der Druckentlastungsphase Stabversagen noch nicht zu erwarten ist. Die Thermohydraulik der anderen Störfallphasen wurden vollständig in die RSM integriert.

3.8 Durchgeführte Rechnungen

Bei früheren Untersuchungen /4, 14, 16/ hat man die Erfahrung gewonnen, daß für eine zuverlässige Regressionsanalyse die Anzahl der Stützstellen (= Anzahl der Rechnungen) ca. das Dreifache der Anzahl der Variablen betragen sollte. Die Anzahl der Variablen betrug 23. Aus programminternen Gründen muß die Zeilenzahl der Designmatrix (Anzahl der Rechnungen) der Gleichung

$$z = 5 * 2^j; j = 1, 2, \dots,$$

genügen. Die angestrebte Anzahl der Rechnungen sollte deshalb 80 betragen.

Da der während des "experimental design" bestimmte Eingabevektor in einigen Fällen für den Modul REFLOS unverträglich war und da es deshalb zum Programmabbruch kam, betrug die tatsächliche Anzahl der Stützstellen 69.

In 9 Rechenfällen stellte der Modul STADEF Bersten des Hüllrohres fest, davon achtmal am Knoten 16, einmal am Knoten 17. Zur späteren Auswertung wurden insgesamt 23 Ergebnisse einer jeden Analyse abgespeichert, die im folgenden aufgelistet sind:

Ergebnis

- 1 - 5 maximale Temperatur des ersten Peaks, Knoten 14-18
- 6 - 10 maximale Temperatur des zweiten Peaks, Knoten 14-18
- 11 - 15 maximale Temperatur der gesamten Transiente, Knoten 14-18
- 16 - 20 maximale Dehnung, Knoten 14-16
- 21 Berstdruck bzw. Druck am Ende der Transiente
- 22 Berstzeit, bzw. Endzeit der Transiente
- 23 Lage der Berststelle

3.9 Beurteilung einer Regressionsanalyse

Während des "experimental design" sind für ein Rechenprogramm Eingabevektoren durch eine zufällige Auswahl von unabhängigen Einflußvariablen ausgewählt worden. In einem weiteren Schritt sind damit Rechenergebnisse, die der Regression als Stützstellen dienen sollen, erzeugt worden. Mit diesen "experimentellen" Ergebnissen soll nun während der Regressionsanalyse der funktionale Zusammenhang $Y = f(x_1, \dots, x_n)$ durch eine Approximationsfunktion von der Form

$$\hat{Y} = a_0 + \sum_{i=1}^q a_i * z_i \quad ; \quad z_i = f(x_1, \dots, x_m), m \leq n$$

ersetzt werden. Die Anzahl der Stützstellen sei p. So muß gelten: $p > q + 1$.

Die z_i in der obigen Gleichung sind stetige Funktionen der unabhängigen Variablen. Aufgabe des Regressionsprogramms ist es nun, die im Ansatz linearen Koeffizienten a_i derart zu bestimmen, daß die Summe der Fehlerquadrate

$$S = \sum_{l=1}^p d_l^2 \rightarrow \text{Min}; \quad d_l^2 = (Y_l - (a_0 + \sum_{i=1}^q a_i * z_i^l))^2$$

ein Minimum wird. Hierfür wurde das Verfahren der schrittweisen Regression (in /4/ näher erläutert) gewählt.

Bei der Erstellung einer Näherungsfunktion mit Hilfe der schrittweisen Regression handelt es sich also um ein iteratives Verfahren.

- Der Benutzer gibt einen Approximationsansatz vor
- Er erhält eine Antwortfunktion
- Er muß die Güte der Regression prüfen
- Er wählt gegebenenfalls einen neuen Näherungsansatz.

Bei der Beurteilung der Güte der Approximationsfunktion stehen verschiedene Möglichkeiten offen.

Für diese Kriterien benötigt man den Begriff der Residuen, die folgendermaßen definiert sind.

$$R_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad ; \quad i = 1, \dots, \text{NSP}$$

NSP = Anzahl der Rechnungen (= Spiele)

Y_i = "wahre" Werte

\hat{Y}_i = approximierete Werte

Die Beurteilungskriterien sind die folgenden:

- der Mittelwert der Residuenverteilung sollte bei Null liegen (vgl. /16/)
- die Standardabweichung sollte gering sein (vgl. /4/)
- die Schiefe und der Exzeß sollten Null sein (vgl. /16/)
- die Vorzeichen der Regressionskoeffizienten sollten physikalisch sinnvoll sein (vgl. /4/)

Die Beurteilung von Regressionsanalysen kann auch durch grafische Auswertung der "wahren" Werte, der Approximationswerte und der Residuen erleichtert werden. Beispiele hierfür folgen bei der Vorstellung der Ergebnisse.

4. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

Ziel dieser probabilistischen Analyse eines 1300 MW-Druckwasserreaktor bei Kühlmittelverlust mit großem Leck war es, folgende Fragen zu beantworten:

- Welche Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktionen der Temperaturen im Reaktorkern bzw. in Kernbereichen sind zu erwarten?
- Welche Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktionen der Hüllrohrdehnungen sind zu erwarten?
- Welche Rückschlüsse lassen sich aus der Beantwortung der obigen Fragen auf den zu erwartenden Kernschaden ziehen?

4.1 Temperaturanalyse

Die Abb. 4.1.1 und 4.1.2 zeigen die Ergebnisse einer Regressionsanalyse für die maximale Hüllrohrtemperatur am Knoten 16. Die Standardabweichung σ der Residuen beträgt 35 K, ihr Erwartungswert μ 0.1 K und die Schiefe γ 0.5. Aus dem rechten Teil der Abb. 4.1.1 ist ersichtlich, daß das gesamte von SSYST-3 berechnete Temperaturintervall von 825 K bis 1220 K gut approximiert wird. Dies wird auch durch den Korrelationskoeffizienten von 0.96 bestätigt. In Abb. 4.1.2 sind die Residuen als "Türme" eingetragen, deren Größe mit dem Abstand von der Diagonalen der Fläche zunimmt.

Zu berücksichtigen ist bei dieser Regressionsanalyse, daß neben den brennstabsspezifischen Modulen auch der Modul für die Thermohydraulik der Wiederauffüllung und Flutung nachgebildet werden mußte. Eine Verbesserung der Ansatzfunktion hätte erheblich mehr Aufwand erfordert, da mit zunehmender Komplexität des funktionalen Zusammenhanges der Aufwand, eine noch geeignetere Funktion zu finden, zunimmt. Deshalb wurde mit der Erstellung dieser Funktion der zuvor beschriebene iterative Vorgang abgebrochen.

Die beim letzten Iterationsschritt gewonnenen Terme der Ersatzfunktion, sowie deren einfacher (RE) und partieller Korrelationskoeffizient (RP) sind in der unteren Tabelle angegeben (Bedeutung der Variablen in Anhang C). Die Rangfolge der partiellen Korrelationskoeffizienten gibt qualitativ die Einflüsse auf die maximale Hüllrohrtemperatur an, sie entspricht der Rangfolge der Aufnahme in die Regressionsgleichung im Rahmen des schrittweisen Regressionsverfahrens.

Nr. Term	RE	RP
1. $(P_{MAX} \cdot FRAD)^2 / ABLO$	+ .523	-
2. $(P_{MAX} \cdot FRAD)^2 / REEE$	+ .384	+ .238
3. $RADI / RADP$	+ .152	+ .193
4. CRF^2	+ .057	+ .172
5. $GAPX$	- .052	- .164
6. $LAMU$	- .156 E-2	- .166
7. $LAMG^4$	+ .088	+ .156
8. $(P_{MAX} \cdot FRAD)^3 / CCC^2$	+ .303	+ .103
9. $TQOP^2$	- .72 E-4	- .106
10. $\ln(PIND)$	- .05	- .103

Die folgende Tabelle gibt die Standardabweichungen der Residuenverteilungen während des schrittweisen Aufbaus der Ersatzfunktion und deren relative Verbesserung an:

Schritt Nr.	Term	$\sigma \cdot 100$ (K)	$(\sigma_0 - \sigma_i) / \sigma_0 \cdot 100$ (%)
0	KONSTANTE	88.6	
1	$(P_{MAX} \cdot FRAD)^2 / ABLO$	61.6	30.47
2	$(P_{MAX} \cdot FRAD)^2 / REEE$	55.2	37.6
3	$RADI / RADP$	48.0	45.8
4	CRF^2	44.2	50.11
5	$GAPX$	42.0	52.0
6	$LAMU$	39.6	53.3
7	$LAMG^4$	38.3	56.8
8	$(P_{MAX} \cdot FRAD)^3 / CCC^2$	37.1	58.1
9	$TQOP^2$	36.2	59.14
10	$\ln(PIND)$	35.3	60.15

(vgl. Abb. 4.1.1)

Aus den einfachen Korrelationskoeffizienten der ersten Tabelle ist ersichtlich, daß Kombinationen aus den leistungsbeschreibenden Variablen mit den für den Wärmeübergang Hülle/Fluid verantwortlichen einzeln die beste Approximation der maximalen Hüllrohrtemperatur ergeben (vgl. Abb. 4.1.3). Großen Einfluß hat auch noch der dritte Term, der die stationäre Spaltweite charakterisiert, also über den Spaltwärmeübergangskoeffizienten ein Maß für die im Stab gespeicherte Energie ist. Ähnliches läßt sich auch aus der letzten Spalte der zweiten Tabelle ablesen. Durch Hinzunahme der ersten drei Terme in die Regressionsgleichung nimmt die Standardabweichung der Residuenverteilung stark ab. Die weiteren Terme führen nur noch zu graduellen Verbesserungen. Später sollen diese Ergebnisse in Hinblick auf Versuchsauslegung und Auswertung erörtert werden.

Die Abb. 4.1.4 - 4.1.7 zeigen die mit Hilfe der Monte Carlo-Methode geschätzten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und Verteilungsfunktionen der maximalen Hüllrohrtemperatur (50000 Rechnungen). Die einzelnen Abbildungen unterscheiden sich durch unterschiedliche Leistungsfaktoren und durch unterschiedliche axiale Positionen. In Abb. 4.1.4 wurden Leistungsfaktoren von 1 bis 2.47 berücksichtigt. Der Erwartungswert der maximalen Hüllrohrtemperatur für die axiale Brennstabzone 16 liegt bei 902 K, die Standardabweichung bei 50 K. Da die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten von 1000 K, bezogen auf den ganzen Kern, nur einige Prozent beträgt, und da Hüllrohrdehnungen erst bei diesen Temperaturen beginnen, kann aus diesem Bild schon geschlossen werden, daß die coreweiten Kernschäden sich auch nur im Bereich weniger Prozent bewegen können.

Betrachtet man dagegen Brennstäbe mit höheren Leistungen (Abb. 4.1.5 und 4.1.6), so steigt der Erwartungswert der maximalen Hüllrohrtemperatur merklich. Da die Standardabweichung nahezu konstant bleibt, kann man - unter Vernachlässigung der anderen Momente der Verteilungen - folgern, daß sie sich zu höheren Temperaturen bei Beibehaltung ihrer Form verschiebt. Die Abb. 4.1.5 und 4.1.6 unterscheiden sich durch ihre radialen Leistungsfaktoren (1.4 bzw. 1.25); hier sind dann auch Unterschiede im Dehnverhalten zu erwarten.

Abb. 4.1.7 zeigt die Dichte- und Verteilungsfunktion der max. Hüllrohrtemperaturen im Knoten 17, also eine axiale Masche höher als die Abb. 4.1.4 - 4.1.6. Es werden Leistungsfaktoren von 1 - 2.47 berücksichtigt (vgl. Abb.

4.1.4). Der Erwartungswert dieser Funktion ist nur 4 K geringer, hohe Temperaturen treten jedoch seltener auf als im Vergleichsfall. Die Dichtefunktionen sind sich zwar sehr ähnlich, haben jedoch neben dem Unterschied im Erwartungswert auch geringe Abweichungen in anderen Kenngrößen (Standardabweichung, Schiefe, Exzeß) voneinander. Schon während der Durchführung der Rechnungen zur Erzeugung der Stützstellen wurde beobachtet, daß auch am Knoten 17 (vgl. 3.8) Brennstabversagen auftreten kann, also hier in einzelnen Fällen höhere Temperaturen auftreten können als in Knoten 16, was in erster Linie auf das Verhalten der Thermohydraulik (REFLOS) zurückzuführen ist. Deshalb ist die Ähnlichkeit der beiden Dichtefunktionen der Hüllrohrtemperaturen an den beiden axialen Höhen verständlich und spricht für die Güte der benutzten Form des Approximationsansatzes. Bei beiden Monte Carlo-Analysen war die Form der Näherungsfunktion gleich, die Koeffizienten jedoch waren unterschiedlich.

4.2 Dehnungsanalyse

Die Abb. 4.2.1 - 4.2.3 zeigen die Ergebnisse einer Regressionsanalyse für die maximale Hüllrohrdehnung am Knoten 16. Da die Dehngeschwindigkeit und damit auch die Dehnung sehr sensitiv auf die Temperatur reagieren - im allgemeinen wird ein exponentieller Zusammenhang zwischen Dehngeschwindigkeit und Temperatur angenommen - , wurde die Regressionsanalyse nicht für die maximale Dehnung selbst, sondern für den Logarithmus der Dehnungen durchgeführt. Abb. 4.2.1 zeigt die Ergebnisse im Bildbereich, Abb. 4.2.2 im Originalbereich. Große Dehnungen ($\epsilon > 50\%$) sind im Originalbereich relativ stark fehlerbehaftet.

Hierfür gibt es verschiedene Ursachen:

- Große Dehnungen traten bei den SSYST-3 Rechnungen selten auf.
- Durch die Form des Transformationsansatzes werden Fehler bei kleinen Dehnungen im Bildbereich im Originalbereich gedämpft, bei großen Dehnungen kehrt sich dieser Effekt um (Rücktransformation geschieht durch Exponentialfunktion)
- Die große Sensitivität der Dehnungen auf Eingabeparameter.

Eine Abhilfe dieses Fehlerverhaltens scheint bei dem vorgegebenen Regressionsmodell (linear in den Koeffizienten, vgl. /4/) durch eine Aufteilung der gesamten "response surface" in Teilflächen möglich. Dies erhöht den Rechenaufwand stark, da dann sowohl mehr SSYST-3 Rechnungen als auch Regressionsanalysen durchgeführt werden müßten.

Abb. 4.2.3 zeigt eine weitere Möglichkeit, Regressionsfunktionen zu testen. Hier wird sowohl rechnerisch als auch optisch ein Vergleich der Residuenverteilung mit einer entsprechenden Normalverteilung durchgeführt.

Die folgende Tabelle gibt die Terme der Regressionsgleichung und die Verbesserung der Standardabweichung der Residuenverteilung durch Hinzunahme eines jeden Terms wieder.

Term	$(\sigma_0 - \sigma_i) / \sigma_0 * 100$ (%)
1. $(P_{MAX} * FRAD * CRFF)^2 / REEE$	25.8
2. $P_{MAX}^3 * LAMG$	41.4
3. $TQOP * CRFF$	46.9
4. $RADI / RADP$	50.7
5. $RADI - RADA / RADP$	54.3

Man sieht, daß der Aufbau dieser Gleichung dem der maximalen Hüllrohrtemperatur ähnelt. Dies war wegen der erwarteten Sensitivität der Dehnung auf die Temperatur auch zu erwarten. Wieder sind die Leistung, die thermohydraulischen Randbedingungen und die gespeicherte Energie dominierend.

Die Abb. 4.2.4 zeigt die Wahrscheinlichkeitsdichte- und die Verteilungsfunktion der maximalen Hüllrohrdehnung. Berücksichtigt werden Kernbereiche mit Leistungsfaktoren von 1.5 bis 2.47. Bei diesen Leistungen beträgt der Erwartungswert für die maximale Dehnung 6 %, die Standardabweichung 13 %. Kontakt zwischen Hüllrohren wird ab einer Dehnung von 33 % möglich. Die Wahrscheinlichkeit hierfür beträgt 3.2 %. Berührung zwischen Hüllrohren muß bei spätestens 66 % Dehnung auftreten. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine Dehnung von 66 % überschritten wird, beträgt 0.8 %.

4.3 Schätzung des Kernschadens

Die Vorgehensweise bei der Schätzung des Kernschadens war die folgende: Zunächst wurden mit einem Monte Carlo-Lauf 50000 zusammengehörige Wertepaare von Dehnungen und Temperaturen mit Hilfe der Ersatzfunktionen erzeugt. Anschließend wurden die Wertepaare in ca. 200 Temperaturklassen einsortiert - die Klassenbreite war nicht immer konstant, da mindestens 20 Wertepaare pro Klasse aufgenommen wurden - und die Erwartungswerte und Standardabweichungen der Dehnungen für jede Temperaturklasse berechnet. Für ca. jede zehnte Klassenmitte sind die Erwartungswerte und Standardabweichungen der Dehnungen über der Temperatur in Abb. 4.3.1 eingezeichnet. Durch die Erwartungswerte der Dehnungen wurde eine Ausgleichskurve (Methode der kleinsten Fehlerquadrate) gelegt. Während der Durchführung der Rechnungen mit SSYST-3 zeigte der Modul STADEF bei 8 Eingabebeispielen am Knoten 16 Bersten an. Diese 8 Temperatur-Dehnung-Wertepaare sind ebenfalls in die Abb. 4.3.1 eingezeichnet.

Die Abschätzung der Anzahl der geborstenen Stäbe geschah auf folgende Art: Die 8 Berstdehnungen sind von SSYST-3 unter der Annahme konzentrischer Dehnungen vom Modul STADEF ermittelt worden. Dies erklärt auch die relativ hohen Berstdehnungen, die meist nur bei Einzelstabexperimenten auftreten. Bei der Ermittlung des Kernschadens müssen aber auch azimutale Temperaturgradienten, die sich in Bündelgeometrien fast immer ausbilden, berücksichtigt werden. Sie können verschiedene Ursachen haben, so z.B. kann die thermische Umgebung um einen betrachteten Stab diesen Gradienten verursachen, oder ein im Hüllrohr exzentrisch positioniertes Pellet kann azimutale Temperaturverteilungen begünstigen. Da die Dehnung - wie oben erwähnt - sehr sensitiv auf die Temperatur reagiert, bildet sich aufgrund der azimutalen Temperaturverteilung auch eine Dehnungsverteilung auf dem Hüllrohrumfang aus. Dies hat zur Folge, daß die mittlere Umfangsdehnung eines derart beanspruchten Hüllrohres geringer ist, als bei konzentrischer Dehnungsverteilung.

Um das oben beschriebene Dehnverhalten von druck- und temperaturbelasteten Hüllrohren in Bündelgeometrien berücksichtigen zu können, gibt es in SSYST-3 den Modul AZI.

Der Modul AZI wurde für die hier vorgestellte probabilistische Analyse jedoch aus folgenden Gründen nicht verwendet:

- Er erhöht den Rechenaufwand während der Durchführung der Spiele (hier: 80 Rechnungen)
- je komplizierter der funktionale Zusammenhang - in erster Linie zwischen Temperatur und Dehnung - ist, desto aufwendiger sind geeignete Ersatzfunktionen für die Dehnung zu finden.
- AZI ermöglicht zwar die thermische Umgebung mit zu berücksichtigen; sie ist jedoch unbekannt.

Deshalb wurde der Umstand, daß Hüllrohre in Bündelgeometrien geringere mittlere Enddehnungen aufweisen als konzentrisch dehnende Einzelstäbe, vereinfacht abgeschätzt. Es wurde folgender Ansatz gemacht.

$$E = \beta * E_{sym} = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} E(\varphi) d\varphi$$

β = Faktor, $0 < \beta < 1$

E = mittlere Dehnung

E_{sym} = Dehnung bei symmetrischer Anordnung Pellet/Hülle

$E(\varphi)$ = lokale Dehnung

Mit der Annahme, daß die Dehnung an der Heißstelle am größten ist, ihr gegenüber nahezu verschwindet, auf dem Umfang aber kontinuierlich zunimmt, kann man folgenden Ansatz machen.

$$E(\varphi) = \frac{E_{sym}}{2} (1 + \cos(\varphi))$$

In die obige Gleichung eingesetzt und nach β aufgelöst, erhält man:

$$\beta = \frac{1}{4\pi} \left(\int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} d\varphi + \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \cos(\varphi) d\varphi \right)$$

nach durchgeführter Integration.

$$\beta = 0.5$$

Als Berstkurve für die folgende Auswertung wurde deshalb ein Kurvenverlauf gewählt, der durch die 50 %-Werte der SSYST-3 Ergebnisse führt (vgl. Abb. 4.3.1).

Zur Auswertung des Schadensausmaßes wurden alle 50000 Dehnungen und Temperaturen benutzt. Lag eine Dehnung oberhalb der Berstkurve, so wurde Hüllrohrbersten angenommen. Das Schadensausmaß berechnet sich dann wie folgt:

$$P_g = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} W_i$$

P_g = Bruchteil der geborstenen Brennstäbe

N_g = 50000

W_i = 1 wenn Stab geborsten

= 0 wenn Stab nicht geborsten

Die numerische Auswertung ergab ein Kernversagen von 2.9 %, das sind 1.320 Brennstäbe.

In den RSK-Leitlinien /17/ ist vorgeschrieben, in einem Genehmigungsverfahren für Kernkraftwerke nachzuweisen, daß bei einem Störfall mit LOCA-Bedingungen weniger als 10 % der Stäbe bersten. Diese Vorschrift soll die Freisetzung des radioaktiven Inventars ins Kühlmedium beschränken. Der bei der vorliegenden Untersuchung ermittelte Wert beträgt also weniger als ein Drittel des Leitlinienwertes, der für die radiologischen Analysen verwendet wird, obwohl bei der Wahl der Streubreiten und Verteilungen der Einflußparameter konservative Annahmen berücksichtigt wurden (vgl. 3.7).

Bei einer früheren Untersuchung /18, 19/ wurde mit einem einfachen, konservativen Rechenprogramm ein Kernversagen von 7 % ermittelt. Dieser höhere Wert läßt sich aus den in jenem Programm getroffenen Modellannahmen erklären. So gab es z.B. keine Rückkoppelung zwischen der Dehnung und dem Brennstabinnendruck, der Innendruck behielt konstant den hohen Anfangswert.

Aus Abb. 4.2.4 ist ersichtlich, daß bei der Auswertung der Monte Carlo-Rechnungen, die durchgeführt wurden mit einer Approximationsfunktion für

konzentrisches Dehnen, größere Dehnungen sehr selten auftreten. Blockaden sind deshalb kaum zu erwarten.

5. Schlußbetrachtung

Während der Auswertung der Regressionsanalysen haben sich folgende physikalischen Größen als dominierend sowohl für das Temperaturverhalten als auch für das Dehnverhalten erwiesen:

- Leistung
- Thermohydraulische Randbedingungen in der Blowdown- und Flutphase
- Im Stab gespeicherte Energie
- Wärmeübergang im Spalt

Weiterhin hat es sich gezeigt, das die Dehnung sehr sensitiv auf die Temperatur reagiert. Die Hüllrohrtemperatur wird hauptsächlich von der Stableistung und der Stabkühlung bestimmt. Während die Leistung sowohl im Reaktor als auch bei Simulatoren sehr genau berechenbar bzw. meßbar ist, ist die Bestimmung von thermohydraulischen Größen (Wärmeübergangskoeffizienten, Massenströme, Enthalpien etc.) äußerst schwierig und daher mit großen Unsicherheiten behaftet. Reine Brennstabversuche, die hauptsächlich zur Bestimmung bzw. Verifikation von Kriechgesetzparametern dienen, sollten deshalb mit möglichst einfachen thermohydraulischen Randbedingungen durchgeführt werden, da sonst nur integrale Aussagen über das Verhalten der Brennstäbe möglich sind. Treten Abweichungen zwischen analytischen Vorhersagen und Meßergebnissen auf, so ist es bei komplizierter Thermohydraulik (mehrere Phasen des Kühlmediums, Strömungsumkehr etc.) kaum möglich, den Einfluß dieser Randbedingungen auf das Ergebnis von dem des Kriechgesetzes zu trennen.

6. Zusammenfassung

In diesem Bericht sind Ergebnisse dargestellt, die bei einer kernweiten probabilistischen Analyse mit SSSYST-3 gewonnen wurden. Diese Rechnungen sollen als Beitrag zur Verifikation des Programmsystems dienen.

Nachdem SSYST-3 problemlos auf der Rechenanlage der GRS implementiert worden ist, wurde damit begonnen, eine vollständige Eingabe für eine probabilistische kernweite Analyse zu erstellen. Gut geeignet erwiesen sich hierbei die Modell- und Eingabebeschreibungen des Systems /1, 2, 3/. Da ein Eingabekartendeck aus mehreren hundert Karten besteht, ist diese Arbeit mit großem Aufwand verbunden, der noch vergrößert wird durch den Einsatz des Moduls VARIO, der sich jedoch bei der weiteren Handhabung als sehr nützlich erwies. Er verbessert die ohnehin schon beachtenswerte Flexibilität des Systems und er ermöglicht auch wenig geübten SSYST-Benutzern Änderungen in der Eingabe kurzfristig durchzuführen. Weiterhin erwies sich der Modul VARIO als ein sehr geeignetes Hilfsmittel bei der Durchführung der Rechnungen für die probabilistische Analyse. Denn mit ihm ist es möglich, Variablen in ein Eingabekartendeck einzuführen, deren Werte einer Matrix entnommen werden können. Dadurch ist es nicht nötig, für jede neue Rechnung die gesamte Eingabe von Hand abzuändern, das besorgt der Modul.

Bei der kernweiten probabilistischen Analyse wich die Vorgehensweise teilweise von der in /4/ geschilderten ab. So wurde die Thermohydraulik der Druckentlastungsphase nicht voll in die statistische Betrachtung mit einbezogen, sondern es wurden den Ergebnissen von RELAP-Rechnungen Streubreiten zugeordnet. Früher durchgeführte Untersuchungen hatten gezeigt, daß der Einfluß der Druckentlastungsphase im Vergleich zu den Phasen der Wiederauffüllung und Flutung von geringerer Bedeutung war. Wegen des komplexen Ereignisablaufs mit mehrfachem Richtungswechsel des Kernmassenstroms sind zwar starke örtliche und zeitliche Differenzen zu erwarten, die sich jedoch nicht in dem Maß in einer Unsicherheit bezüglich des Zustands gegen Ende der Druckentlastungsphase auswirken. Daher wurde von den RELAP-Analysen der zeitliche Verlauf der Wärmeübergangskoeffizienten übernommen und mit einem Streuband versehen. Bei der Festlegung dieser Streubreiten und den dazugehörigen Verteilungen wurden Erfahrungen aus früheren Analysen und Genehmigungsverfahren berücksichtigt. Die Umrechnung von konzentrischen Einzelstabdehnungen auf exzentrische Dehnungen, wie sie im Stabbündel auftreten können, erfolgte nicht mit dem Modul AZI, sondern durch eine Handabschätzung.

Diese Vorgehensweise wurde gewählt, um die Rechenzeiten und -kosten einzuschränken.

Während der probabilistischen Analyse konnten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und Verteilungsfunktionen für die maximal im Kern auftretende Hüllrohrtemperatur und Dehnung abgeschätzt werden. Diese Funktionen zeigen große Ähnlichkeit mit Funktionen aus früheren Untersuchungen (z.B. /4/). Mit Hilfe der deterministischen SSYST-3-Ergebnisse und den Ersatzfunktionen für die Temperatur und die Dehnung wurde ein zu erwartender Kernschaden von 2.9 % bestimmt, der unter dem in den RSK-Leitlinien angegebenen Höchstwert liegt und in der Größenordnung mit den Werten vergleichbar ist, die bisher in Genehmigungsverfahren ermittelt wurden.

7. Literatur

- /1/ H. Borgwaldt, W. Gulden
SSYST, a Code-System for Analysing Transient LWR Fuel Rod
Behaviour under Off-Normal Conditions. KfK 3359, Juni 1982
- /2/ R. Meyder
SSYST-3 Eingabebeschreibung und Handhabung
KfK 3654, Dezember 1983
- /3/ R. Meyder
unveröffentlicht
- /4/ W. Sengpiel
Probabilistische Untersuchungen des Brennstabverhaltens
an einem Brennelement eines DWR bei einem hypothetischen
Kühlmittelverluststörfall
KfK 2965, 1980
- /5/ RELAP4/MOD 6 - A Computer Program for Transient Thermal-Hydraulic
Analysis of Nuclear Reactors and Related Systems, Users's Manual,
EG&G Idaho, USA, 1978 (CDAP TR 003)
- /6/ E de Meulemeester
COMETHE III 3 for Fuel Rod Behaviour Predictions
BN 771002, October 1977
- /7/ K. Wiehr
unveröffentlicht, Juli 1983
- /8/ J.-D. Schubert
Vorausberechnung des REBEKA-6 Versuchs (DSP7)
Ein Beitrag zur Verifikation des Programmsystems SSYST-3
GRS-A- (in Vorbereitung)
- /9/ G. Jacobs
Unveröffentlichter Bericht, KfK, 1982

- /10/ G. Jacobs, H. Borgwaldt
Unveröffentlichter Bericht, KfK, 1981
- /11/ W. Bernat, A. Wörner
Berechnung der 3D-Leistung und Abbrandverteilung in
einem DWR-Kern für LOCA-Analysen
IKE - 6 FB - 11, Dezember 1980
- /12/ K.D. Richert
Sensitivitätsstudie für die Druckentlastungsphase eines
deutschen Druckwasserreaktors mit RELAP4/MOD6 Teil I
GRS-A-504, September 1980
- /13/ A. Huttach et al.
Die Nuklearanlage des Kernkraftwerkes Biblis
ATW Bd 19 (1971) S. 420 - 430
- /14/ J.D. Schubert
Untersuchung eines DWR-Brennstabes während der Flutphase
eines Kühlmittelverluststörfalles mit Hilfe probabilisti-
scher Methoden
GRS-A-503, September 1980
- /15/ E.J. Kersting, J. Keusenhoff
Wahrscheinlichkeitsbehaftete Temperaturanalyse
- Thermohydraulik der Wiederauffüllung und Flutung
GRS-A-326, Juli 1976
- /16/ J.D. Schubert
Beurteilung der Genauigkeit der Response Surface-
Methode durch Vergleich mit dem direkten Monte-Carlo-
Verfahren am Beispiel des Brennstabmodellprogramms
TESPA
GRS-A-850, Juli 1983
- /17/ RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren
2. Ausgabe vom 24. Januar 1979
Köln: Gesellschaft für Reaktorsicherheit

- /18/ J.-D. Schubert, J.G. Keusenhoff
Probabilistische Brennstabanalysen unter Verwendung
eines asymmetrischen Dehnmodells
GRS-A-992 (Juli 1984)
- /19/ J.G. Keusenhoff, J.-D. Schubert, A.K. Chakraborty
A Model for Asymmetric Ballooning and Analyses of Ballooning
Behaviour of Single Rods with Probabilistic Methods
SMIRT-Tagung, Chicago, USA
August 22-26, 1983
- /20/ E.J. Kersting
Rechenprogramm REFLOS-Programm zur Berechnung
des Wiederauffüll- und Flutvorgangs
GRS-A-163, September 1978

3. Abbildungen

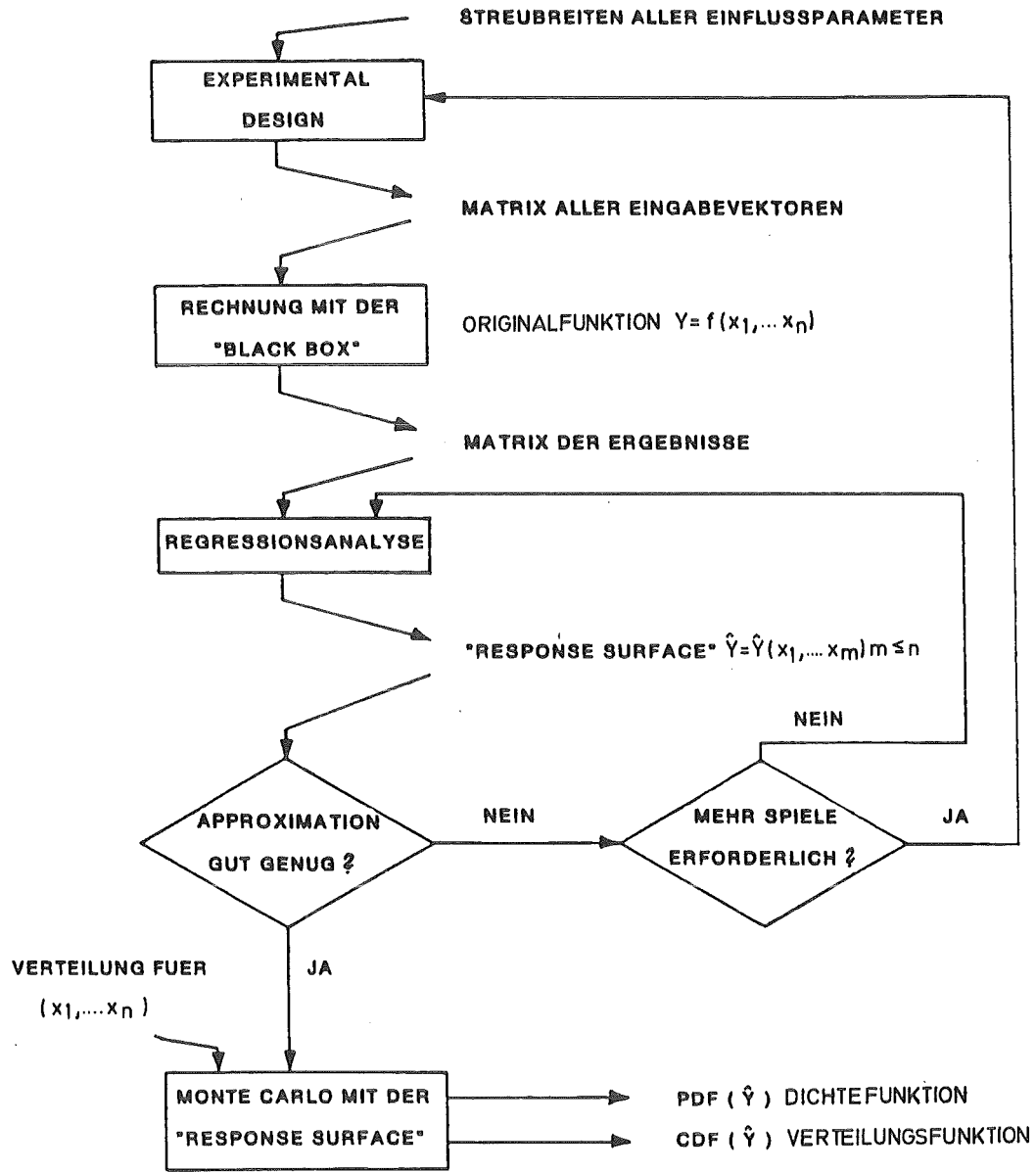


Abb. 3.1.1 : Ablaufdiagramm der "Response Surface" - Methode

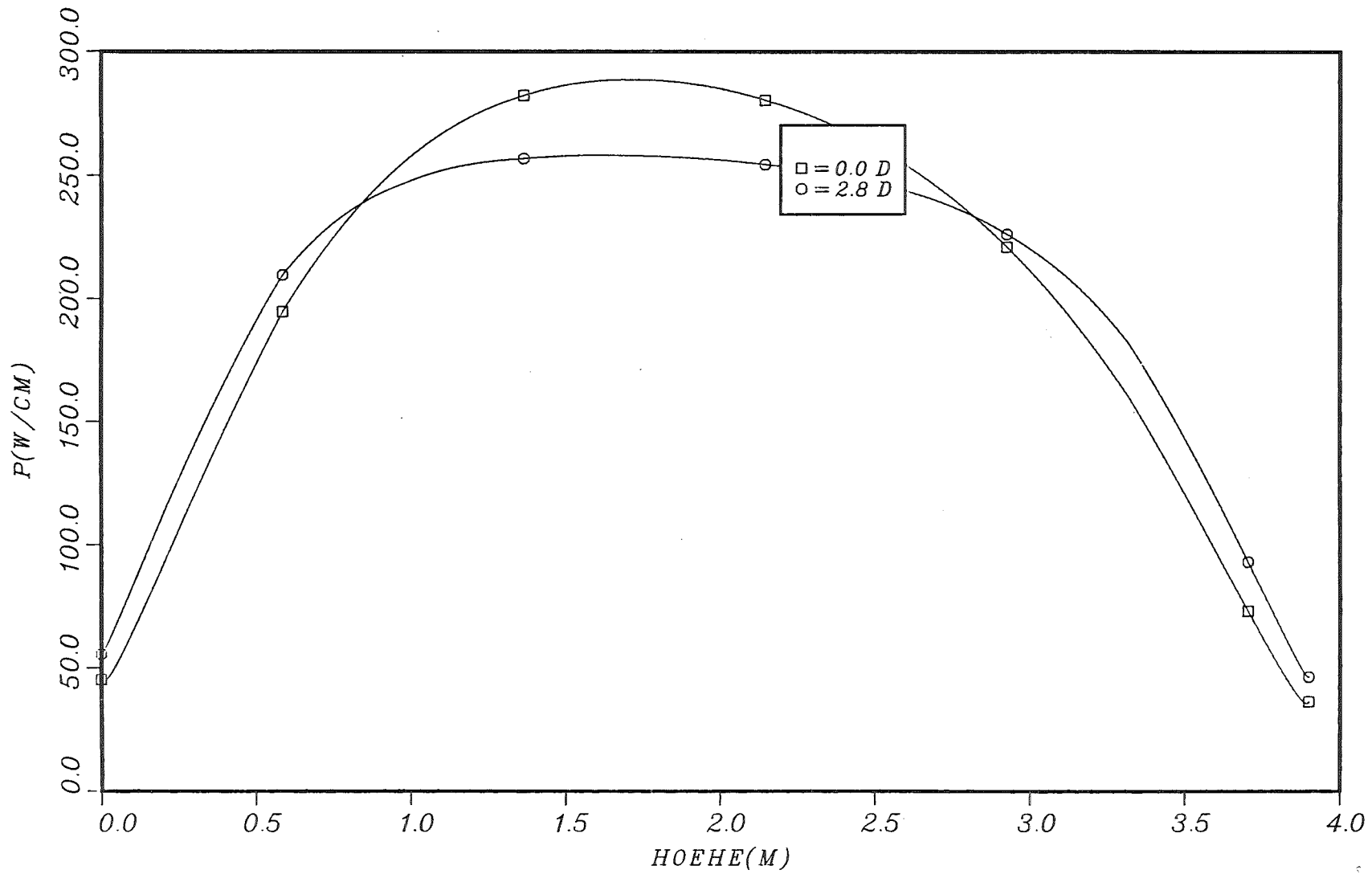


Abb. 3.2.1 : Axiales Leistungsprofil
für zwei Abbrandzustände von 0 bzw. 2.8 Tagen

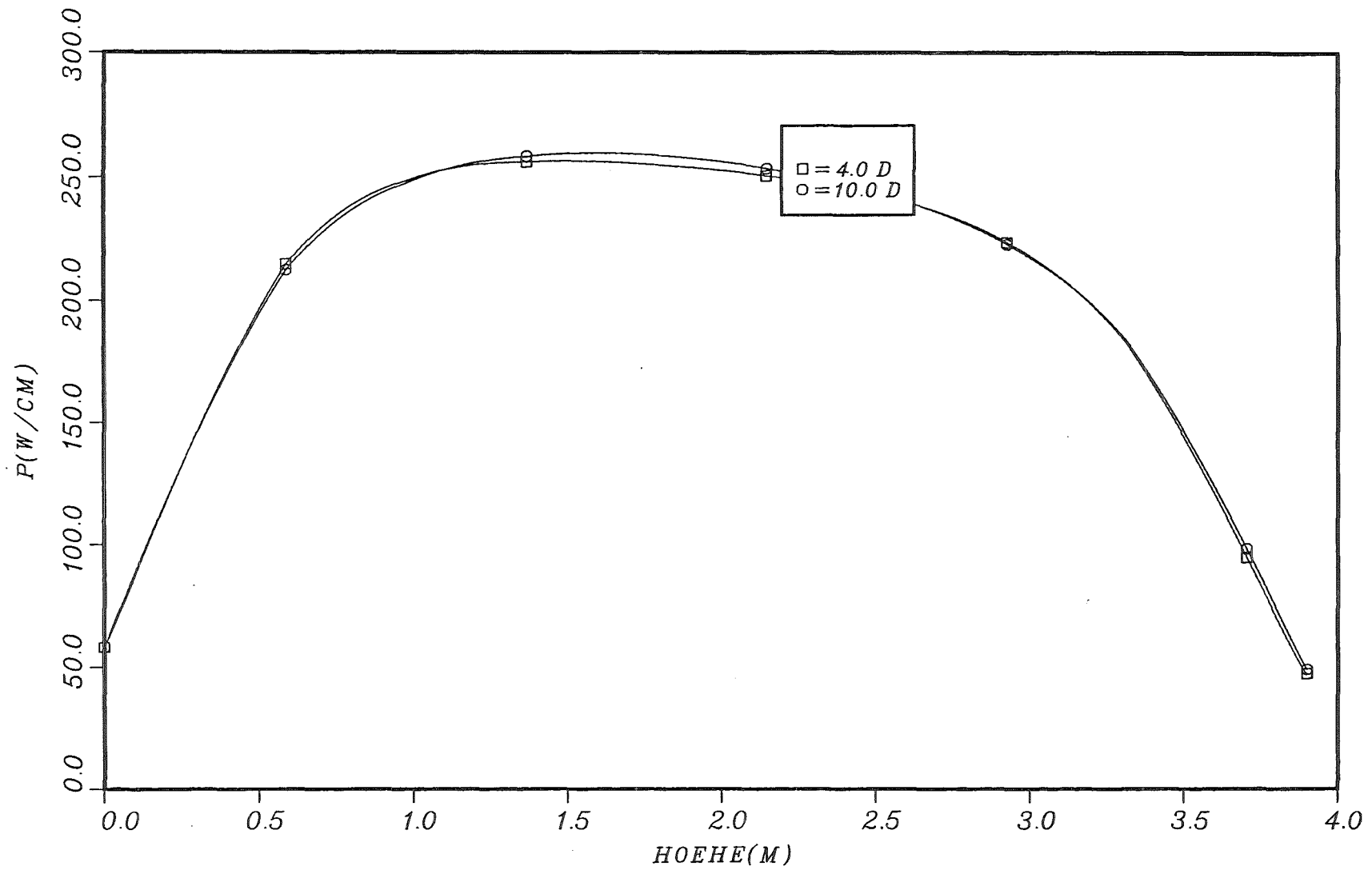


Abb. 3.2.2 : Axiales Leistungsprofil
für zwei Abbrandzustände von 4 bzw. 10 Tagen

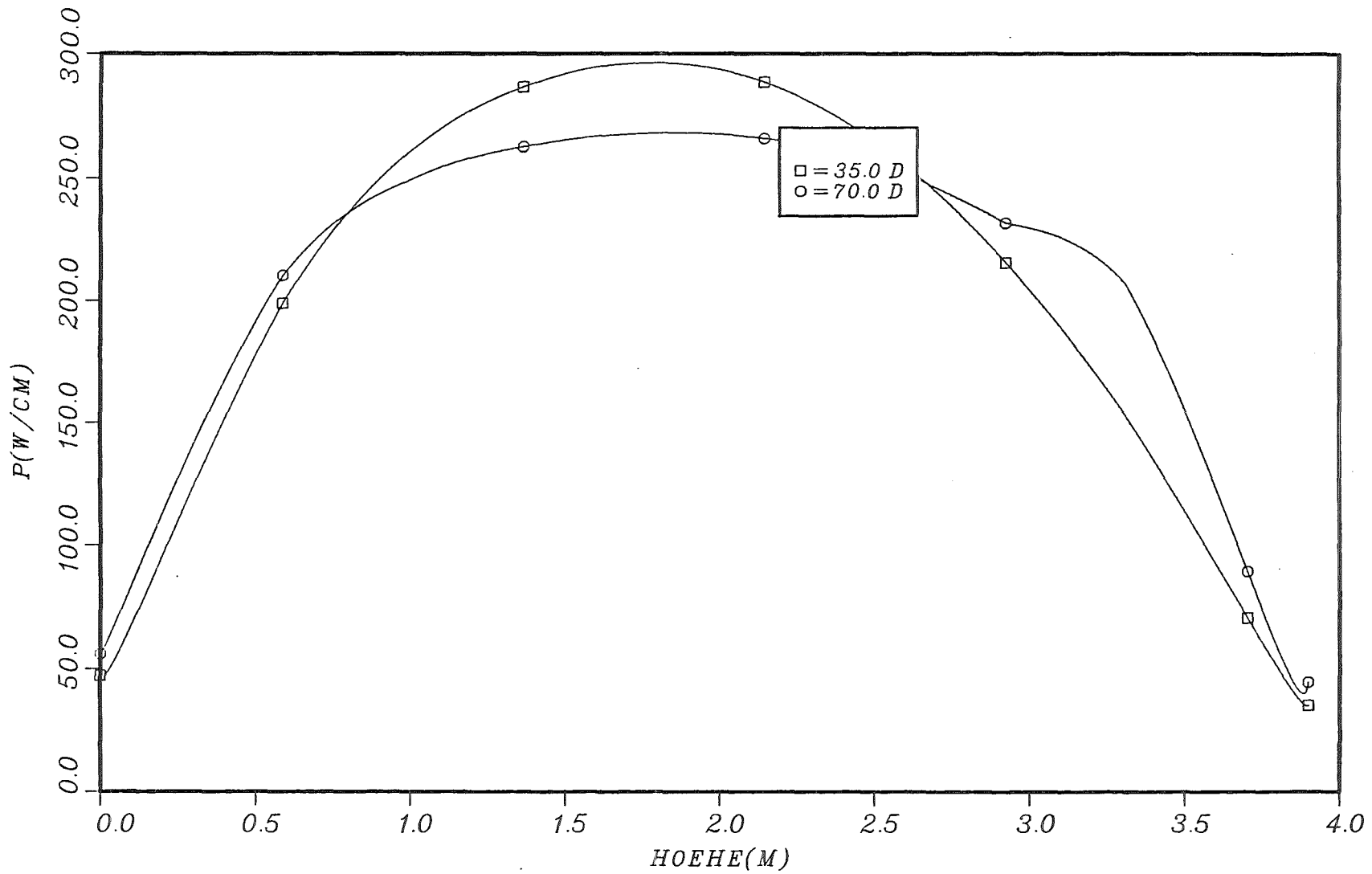


Abb. 3.2.3 : Axiales Leistungsprofil
für zwei Abbrandzustände von 35 bzw. 70 Tagen

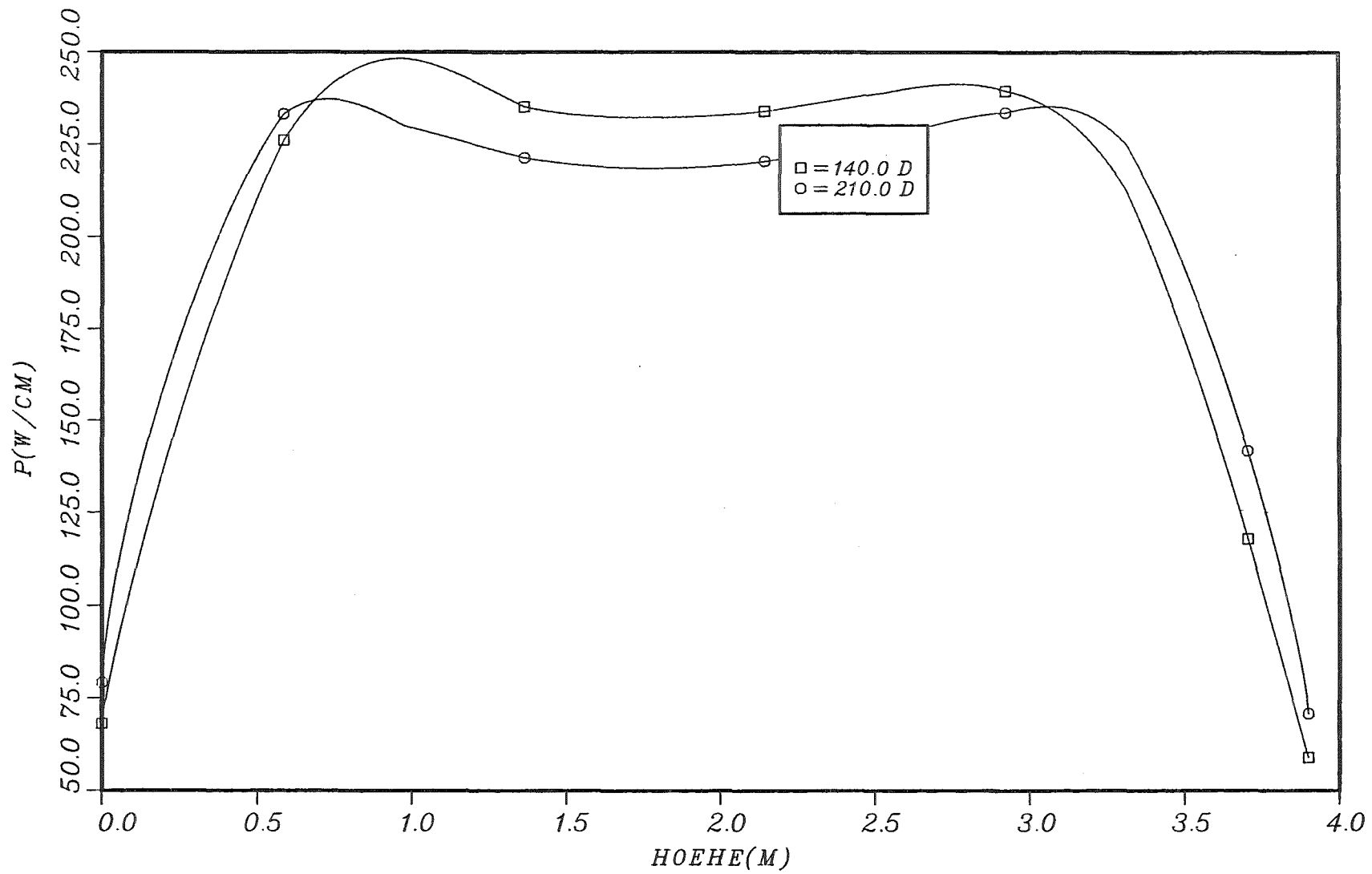


Abb. 3.2.4 : Axiales Leistungsprofil
für zwei Abbrandzustände von 140 bzw. 210 Tagen

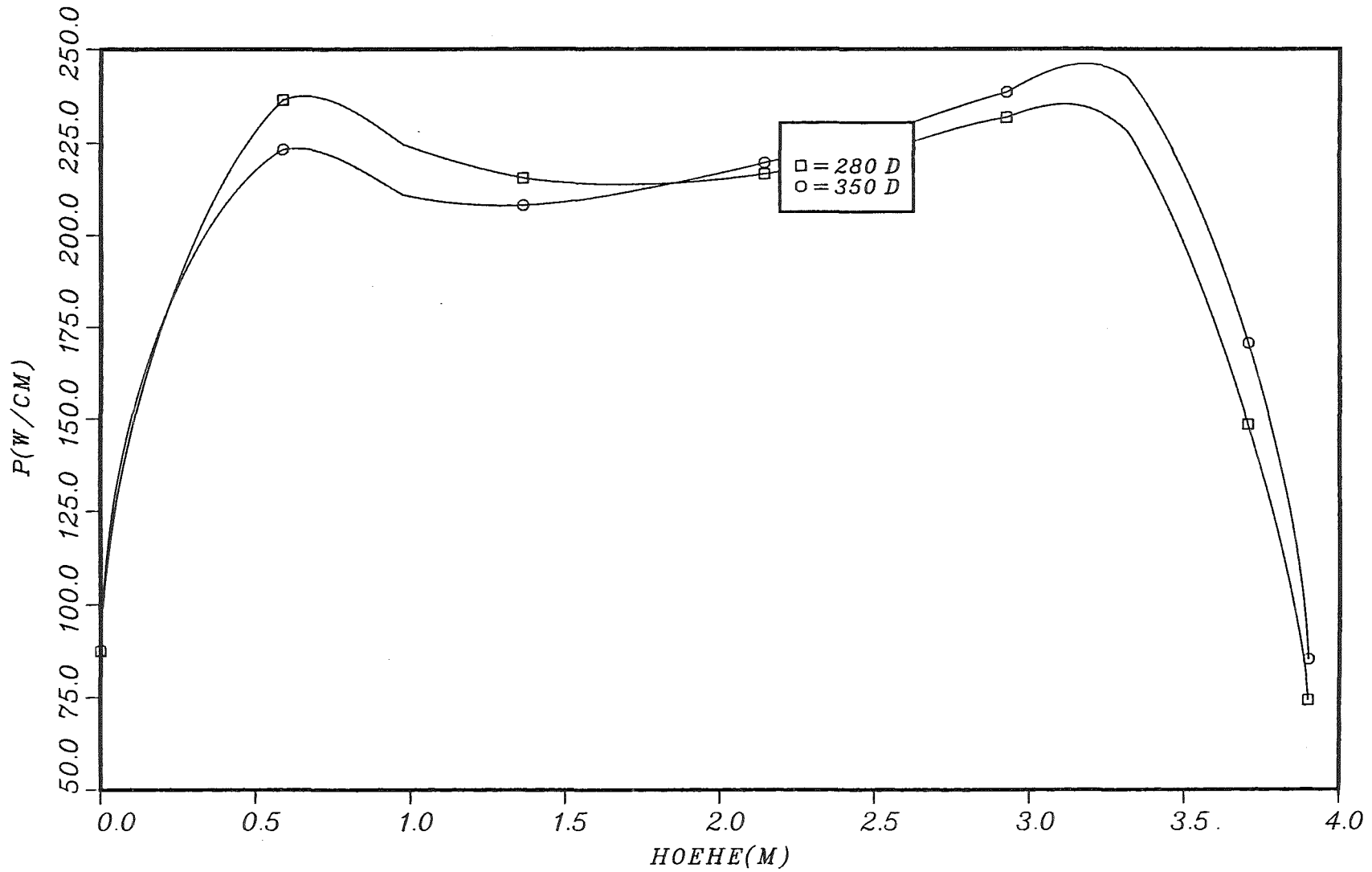


Abb. 3.2.5 : Axiales Leistungsprofil
für zwei Abbrandzustände von 280 bzw. 350 Tagen

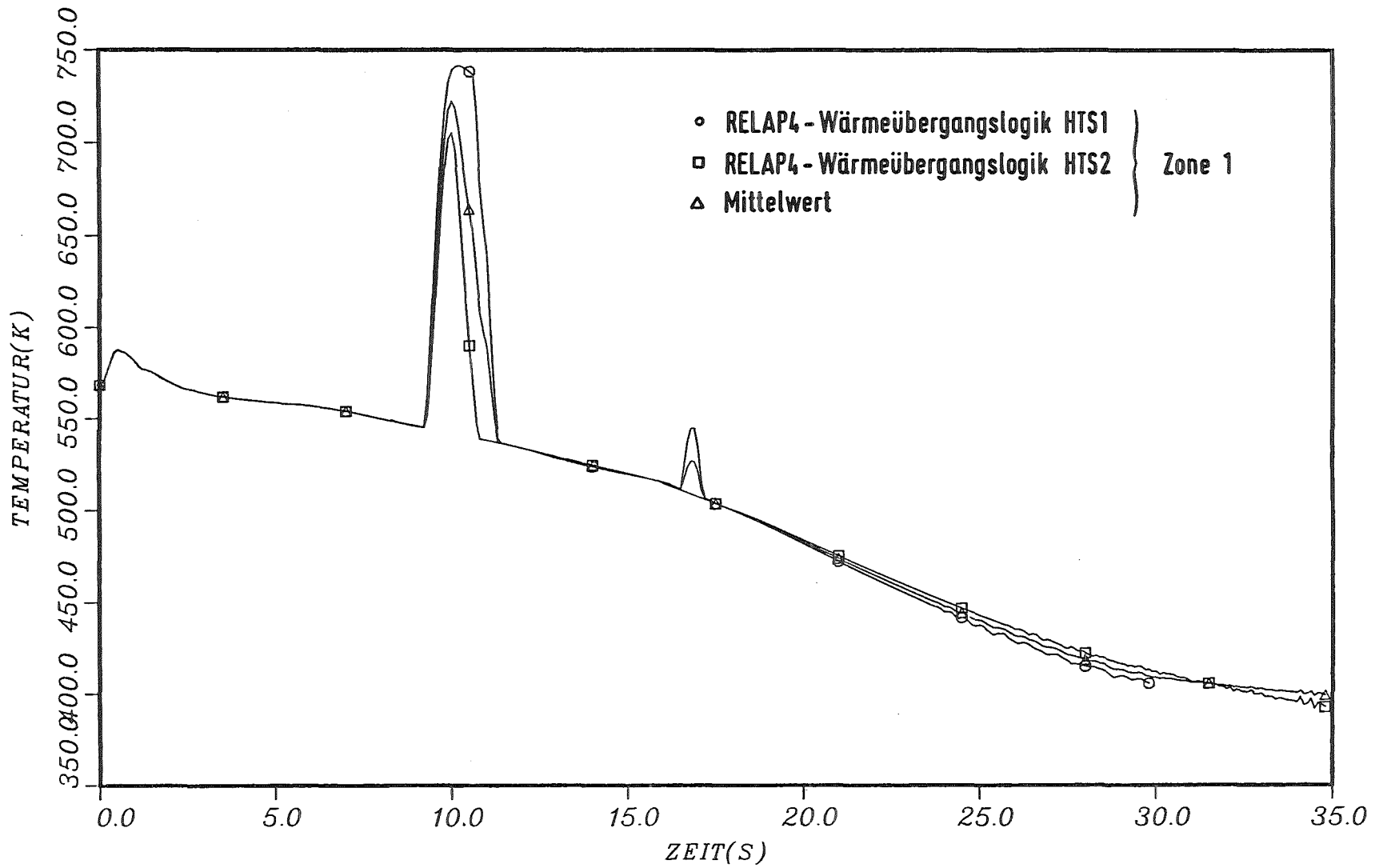


Abb. 3.2.6 : Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 1 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

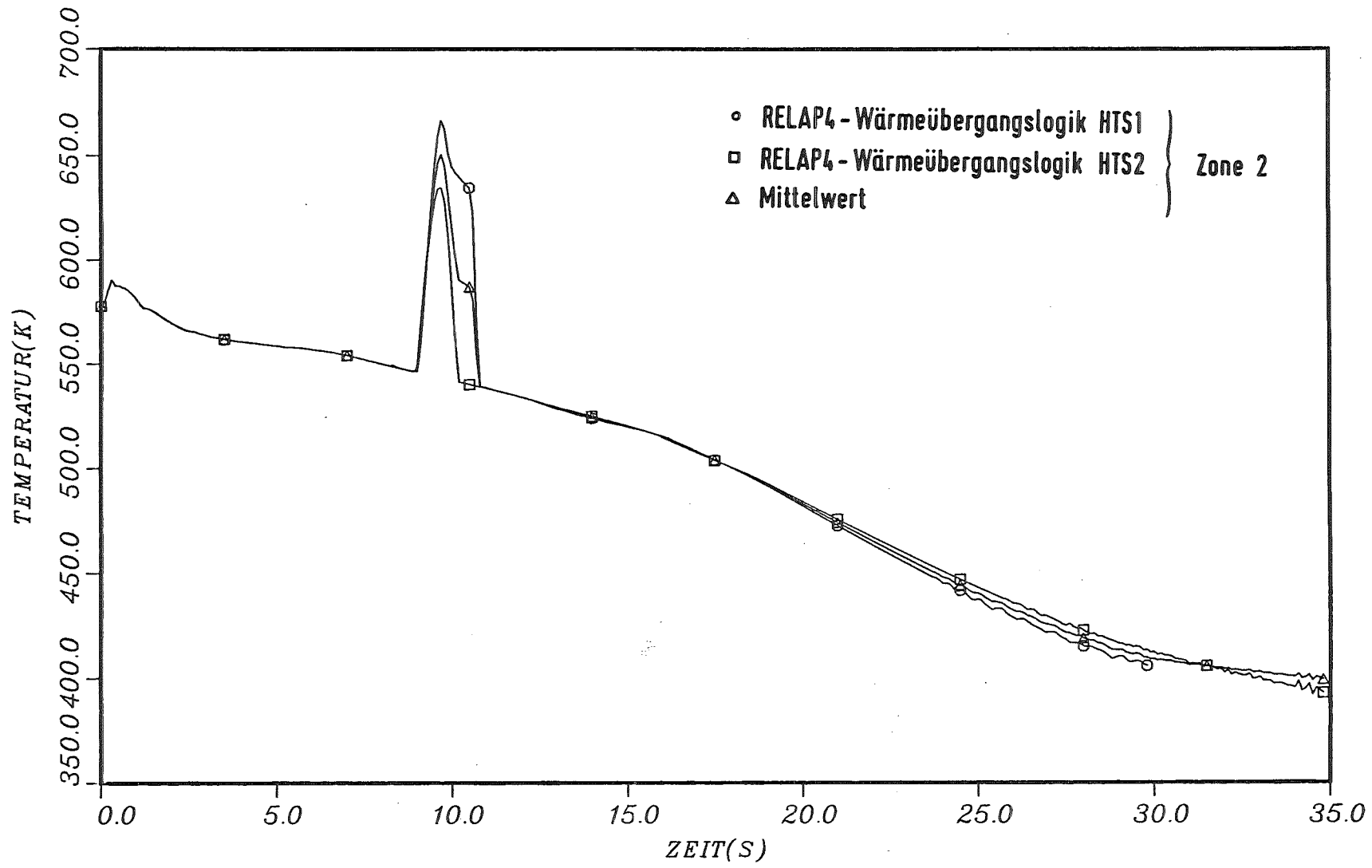


Abb. 3.2.7 : Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 2 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

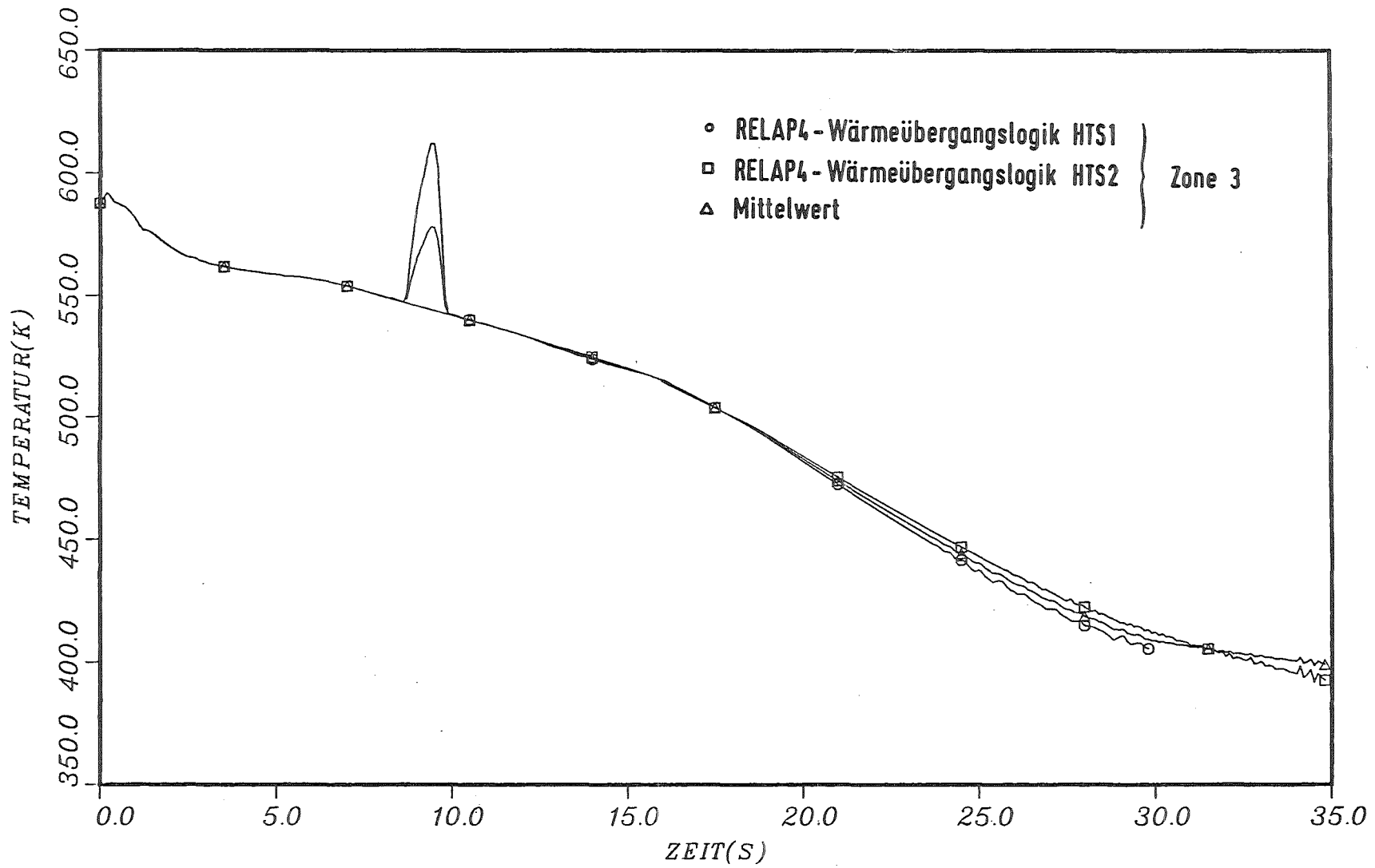


Abb. 3.2.8 : Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 3 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

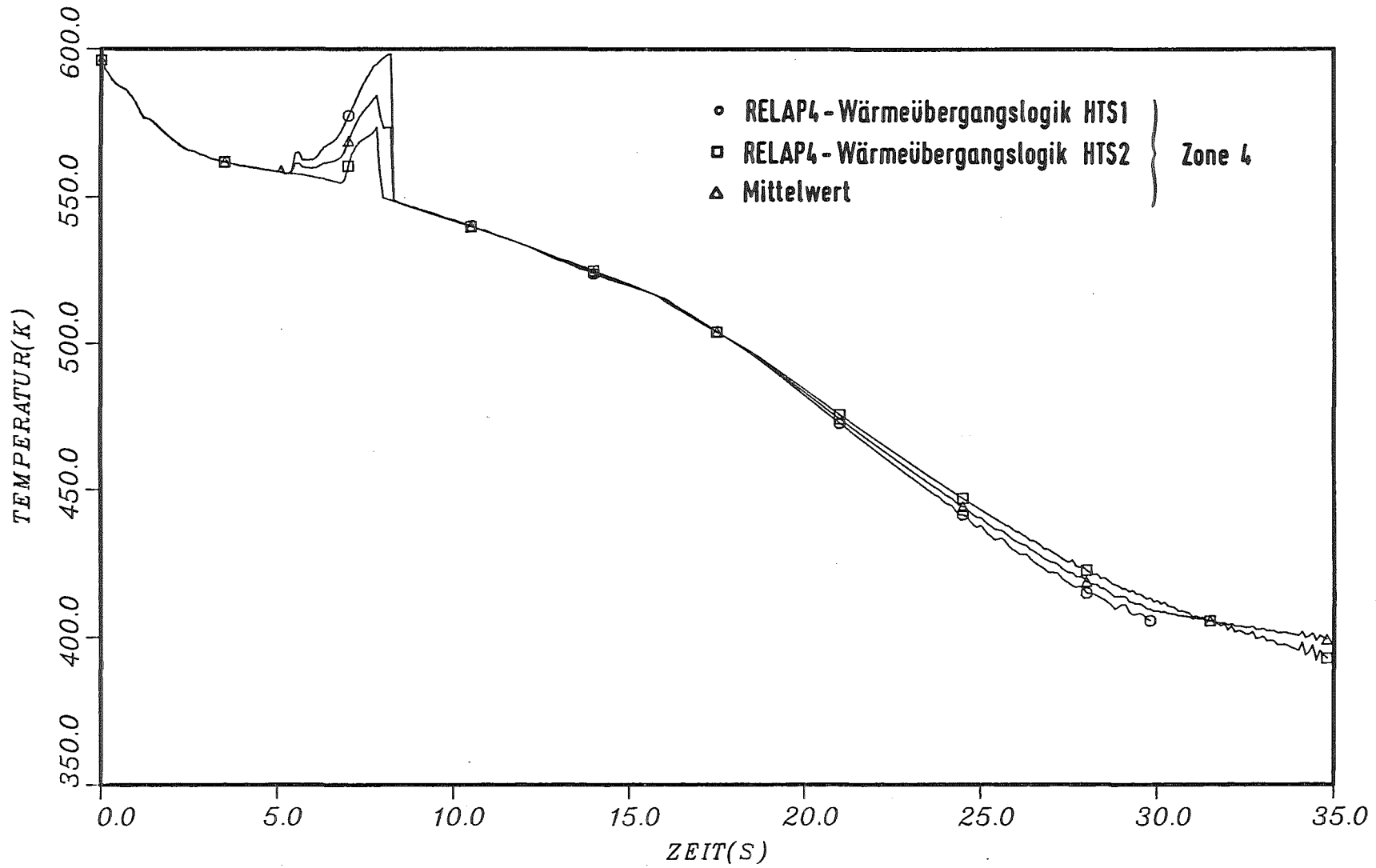


Abb. 3.2.9 : Kühlmitteltemperatur im Reaktorkern, Zone 4 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

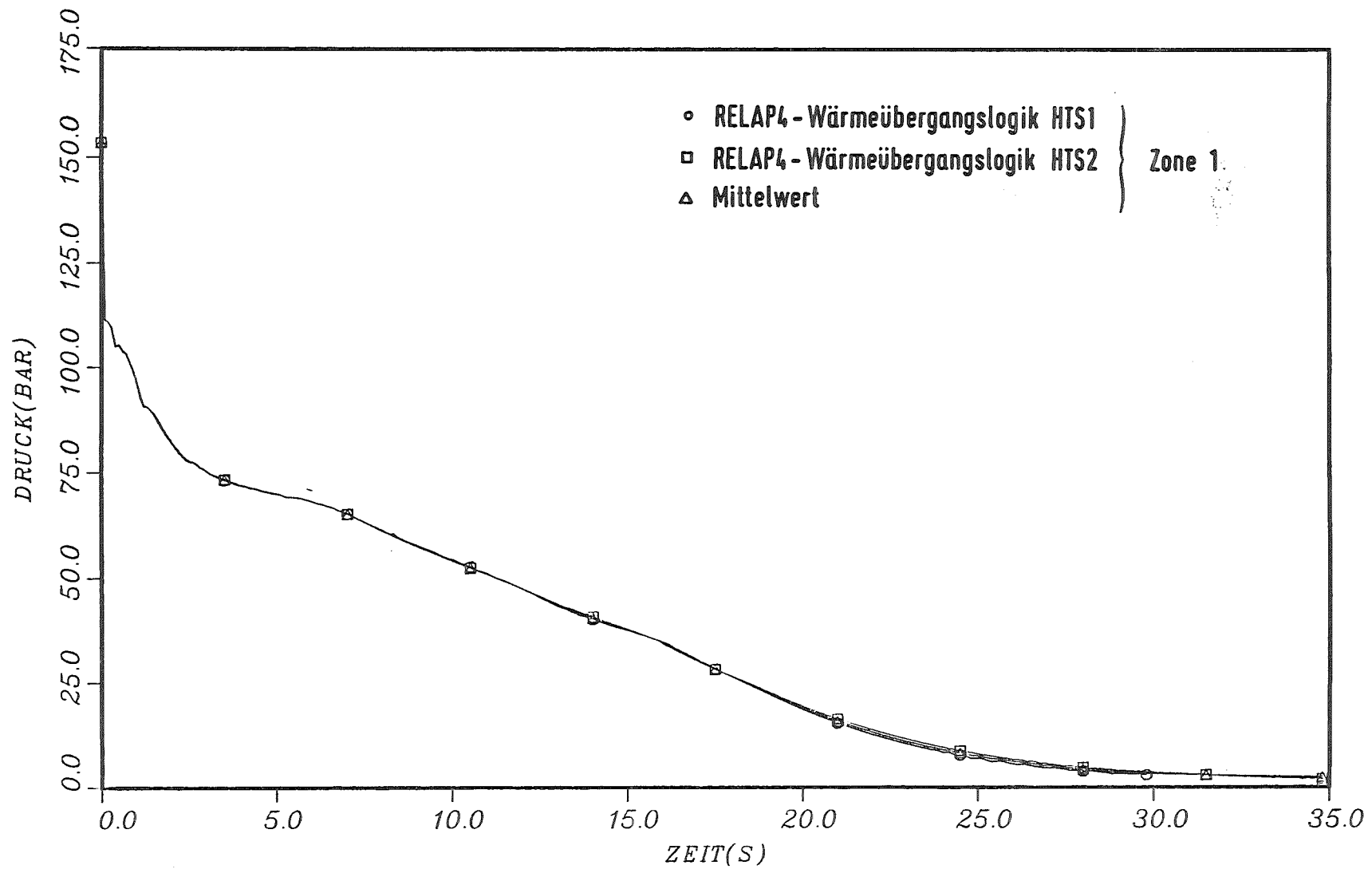


Abb. 3.2.10: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 1 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

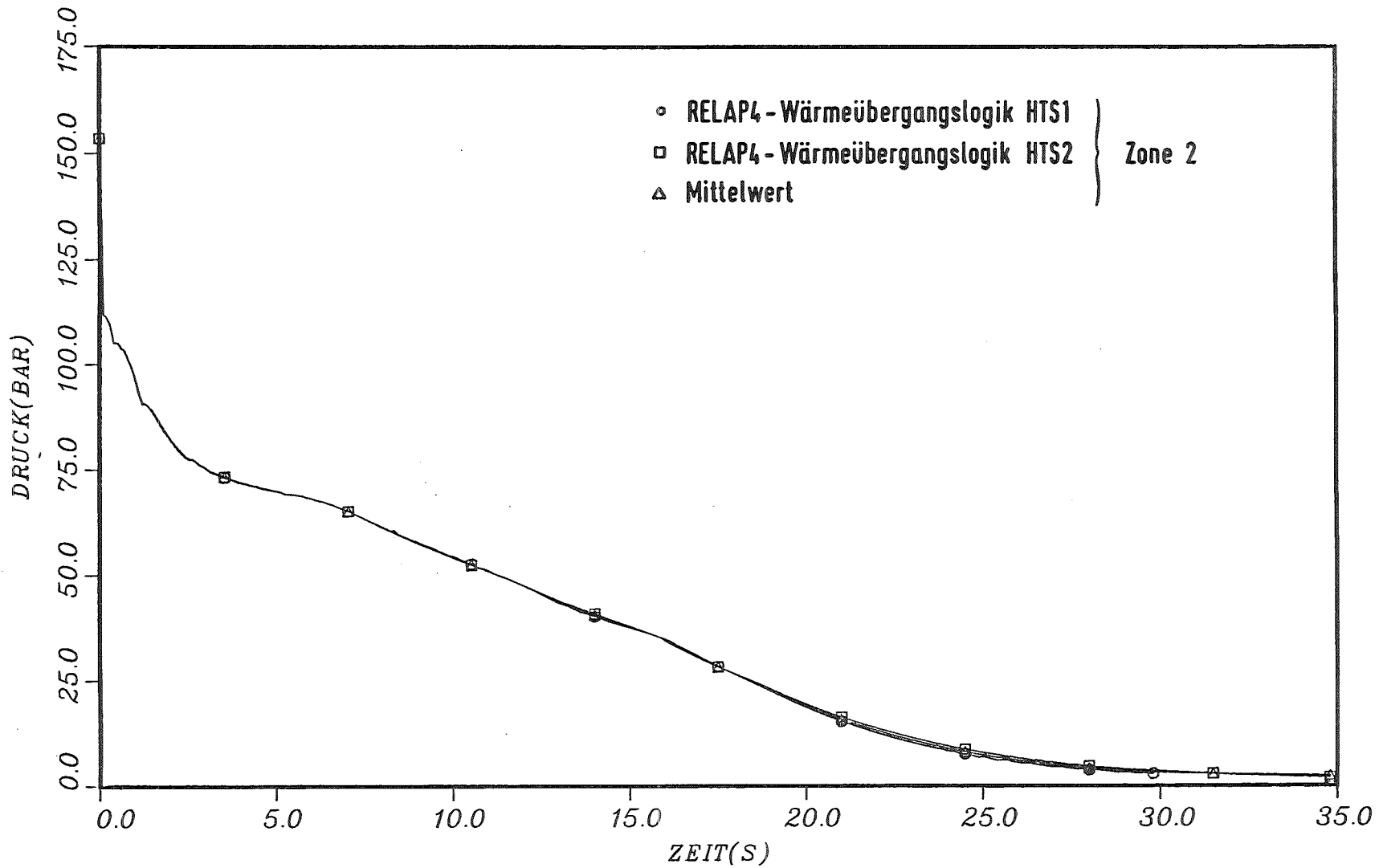


Abb. 3.2.11: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 2 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

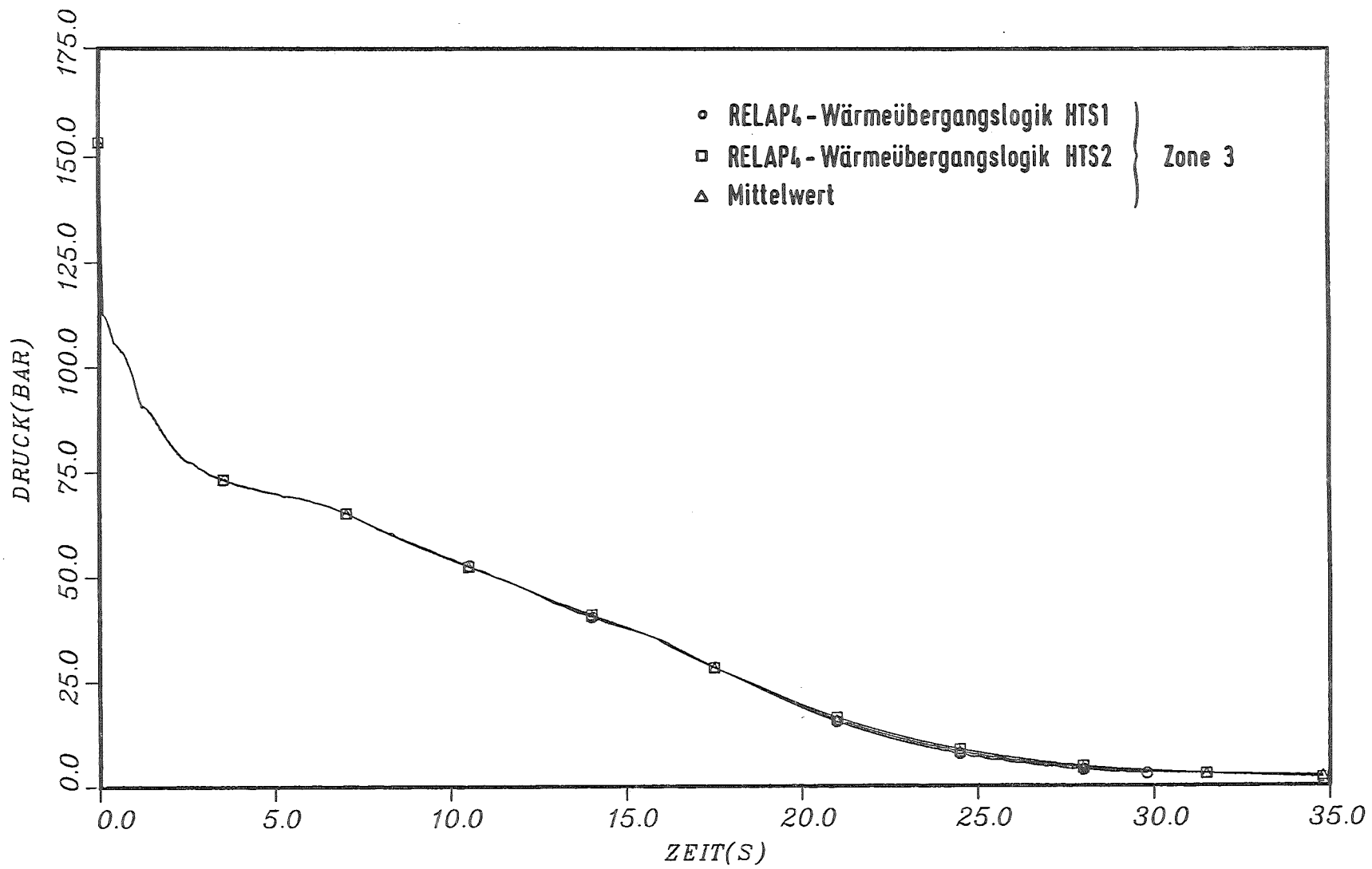


Abb. 3.2.12: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 3 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

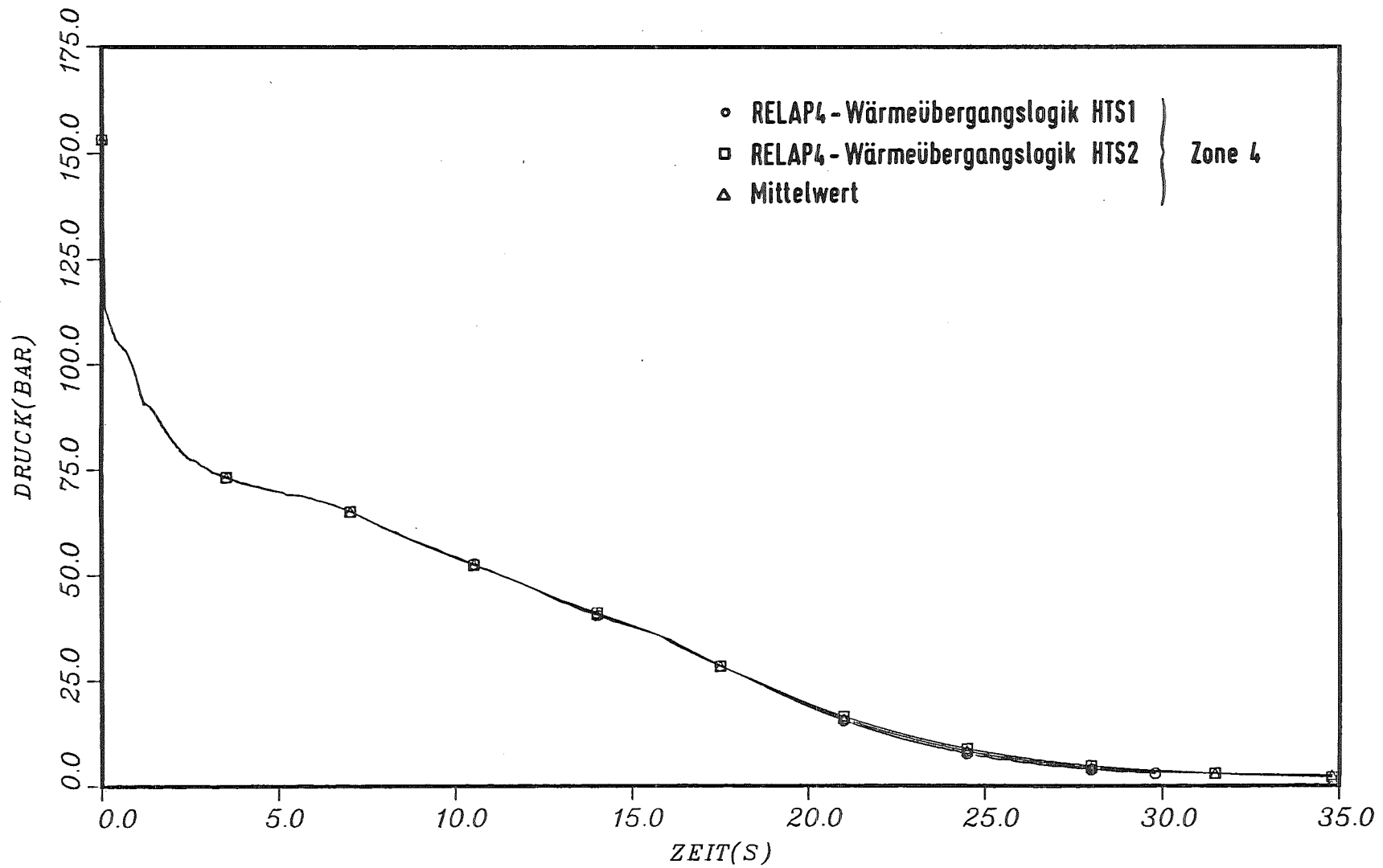


Abb. 3.2.13: Kühlmitteldruck im Reaktorkern, Zone 4 ,
als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

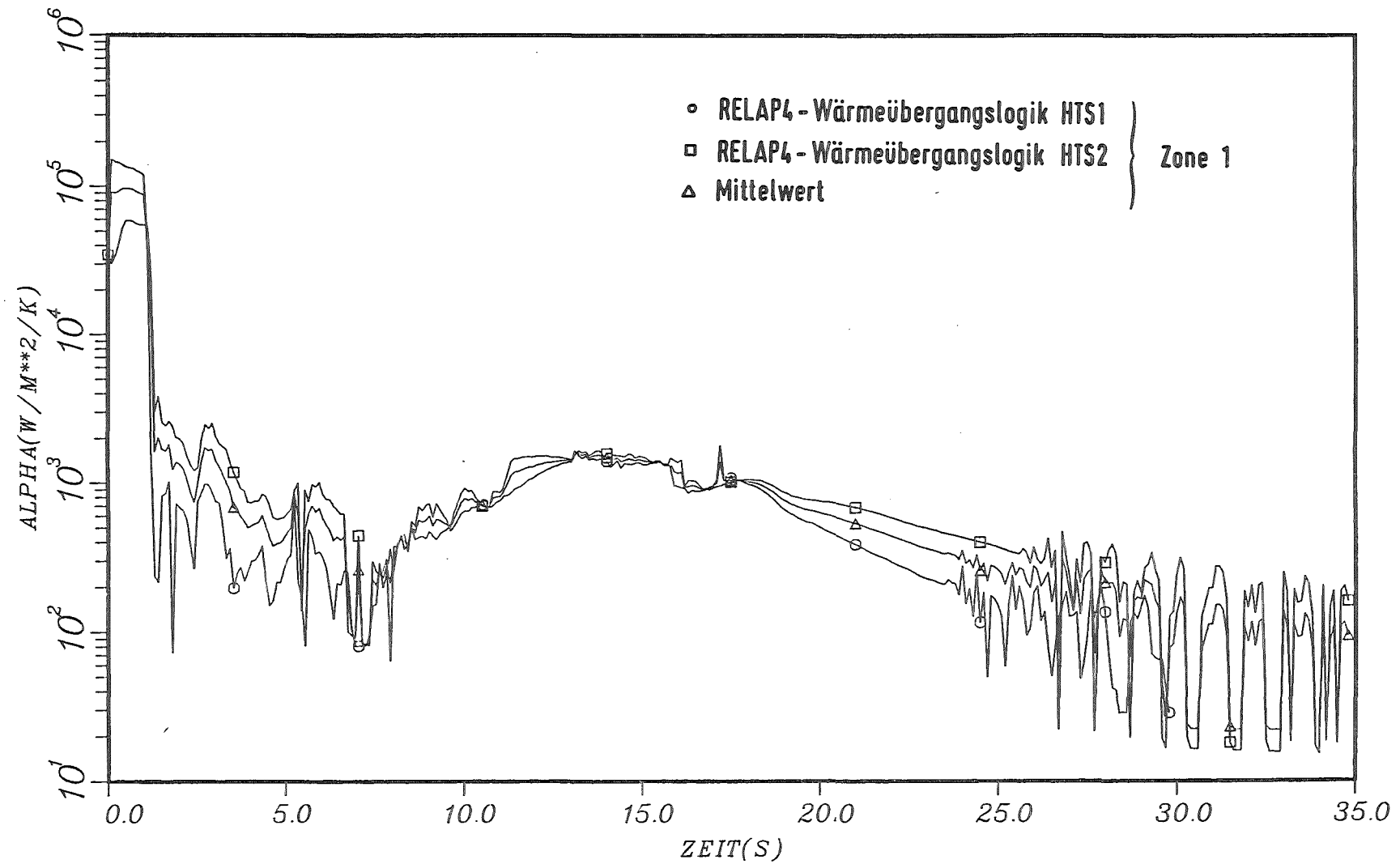


Abb. 3.2.14: Wärmeübergangskoeffizienten (α)
 Brennstab - Kühlmittel, Zone 1,
 als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

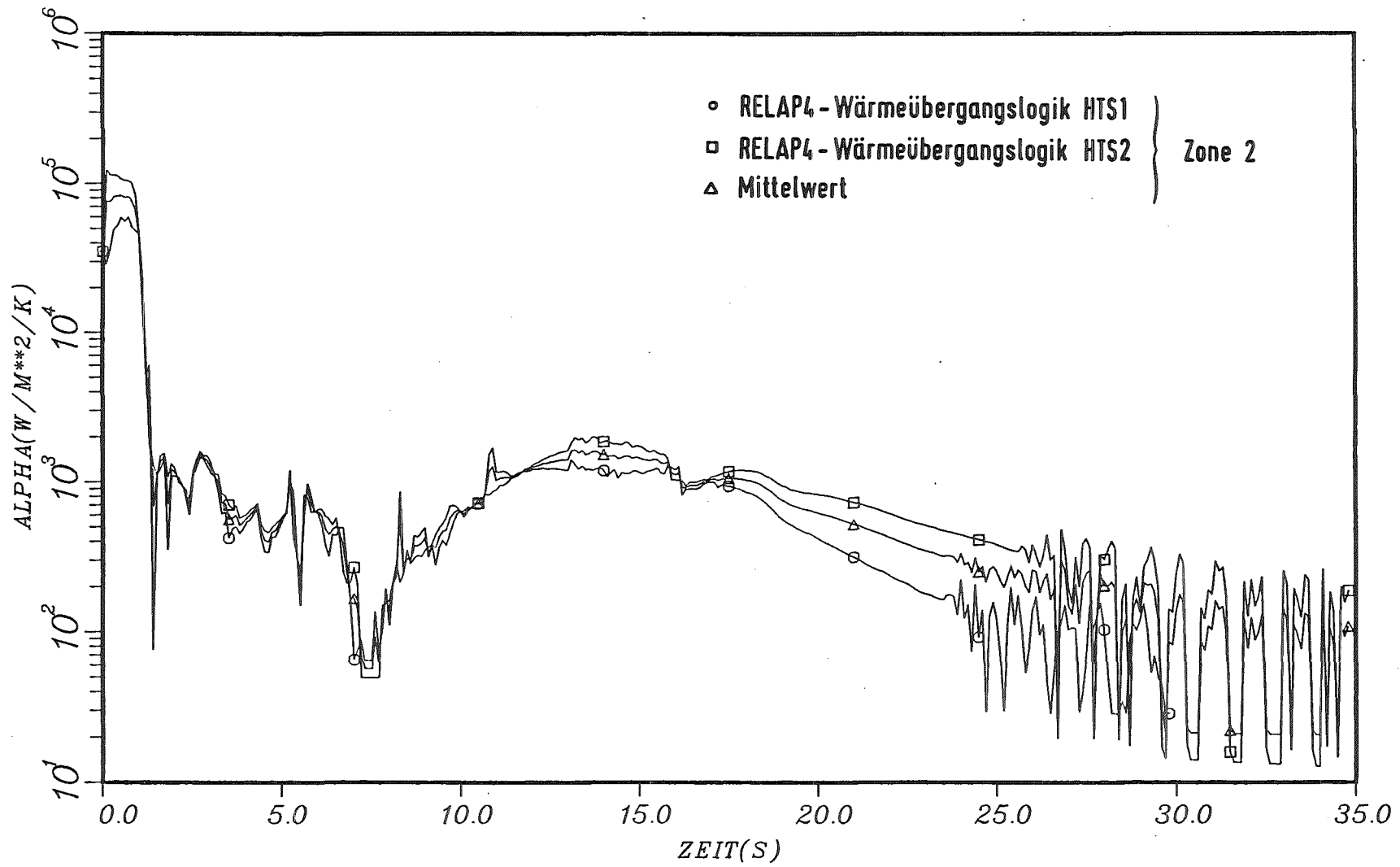


Abb. 3.2.15: Wärmeübergangskoeffizienten (α)
 Brennstab - Kühlmittel, Zone 2,
 als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

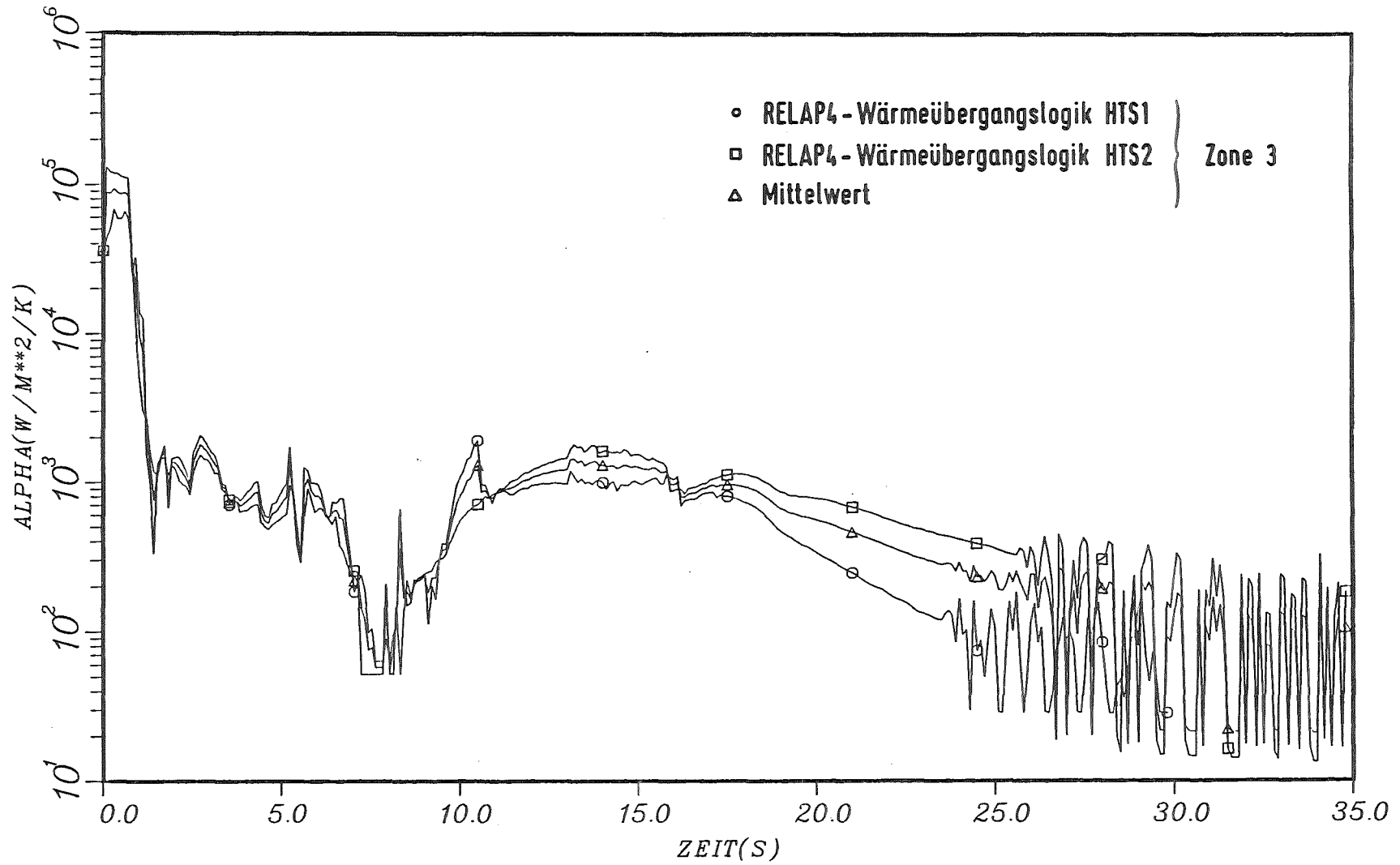


Abb. 3.2.16: Wärmeübergangskoeffizienten (α)
 Brennstab - Kühlmittel, Zone 3,
 als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

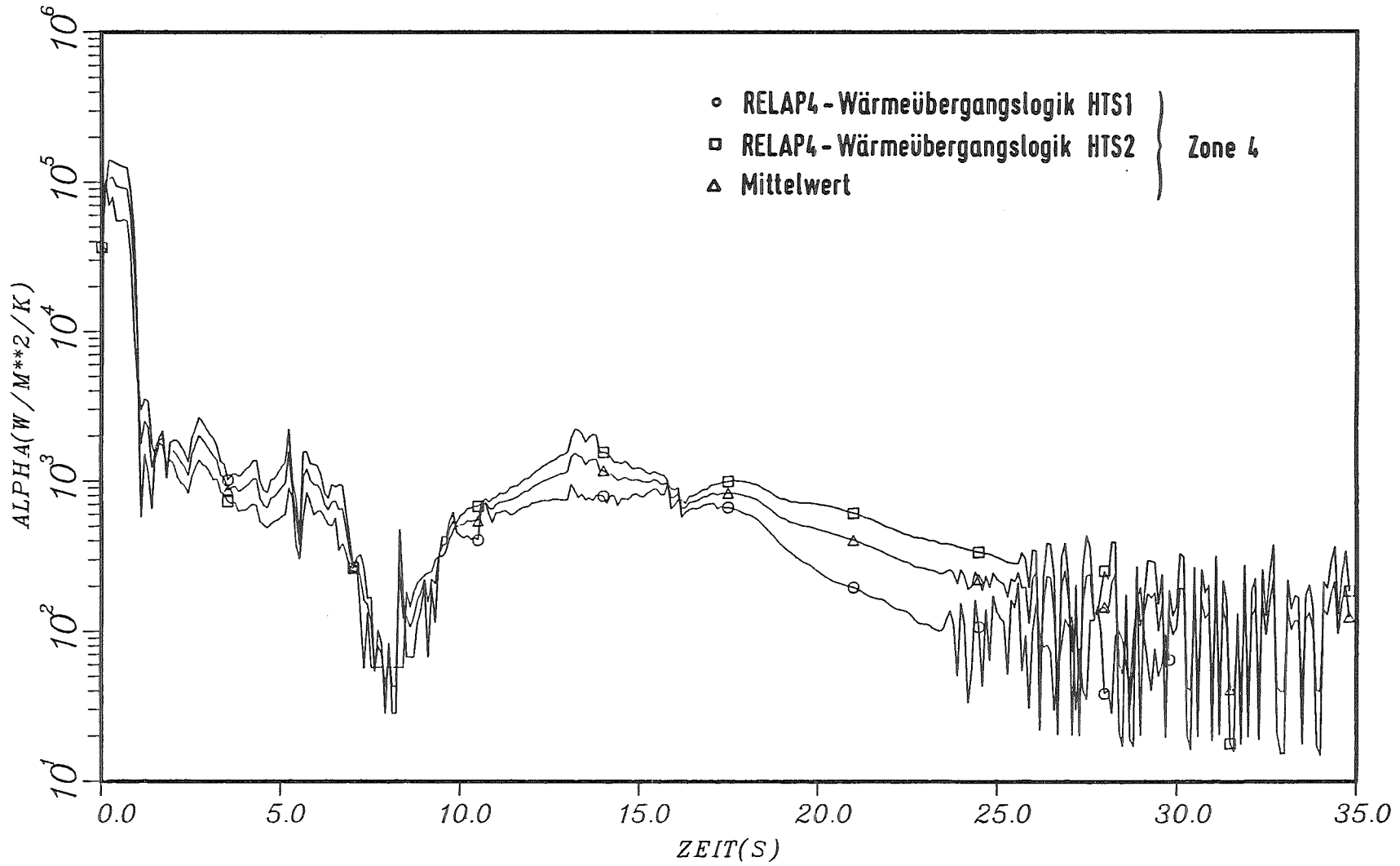


Abb. 3.2.17: Wärmeübergangskoeffizienten (α)
 Brennstab - Kühlmittel, Zone 4,
 als Funktion der Zeit während der Blowdown-Phase

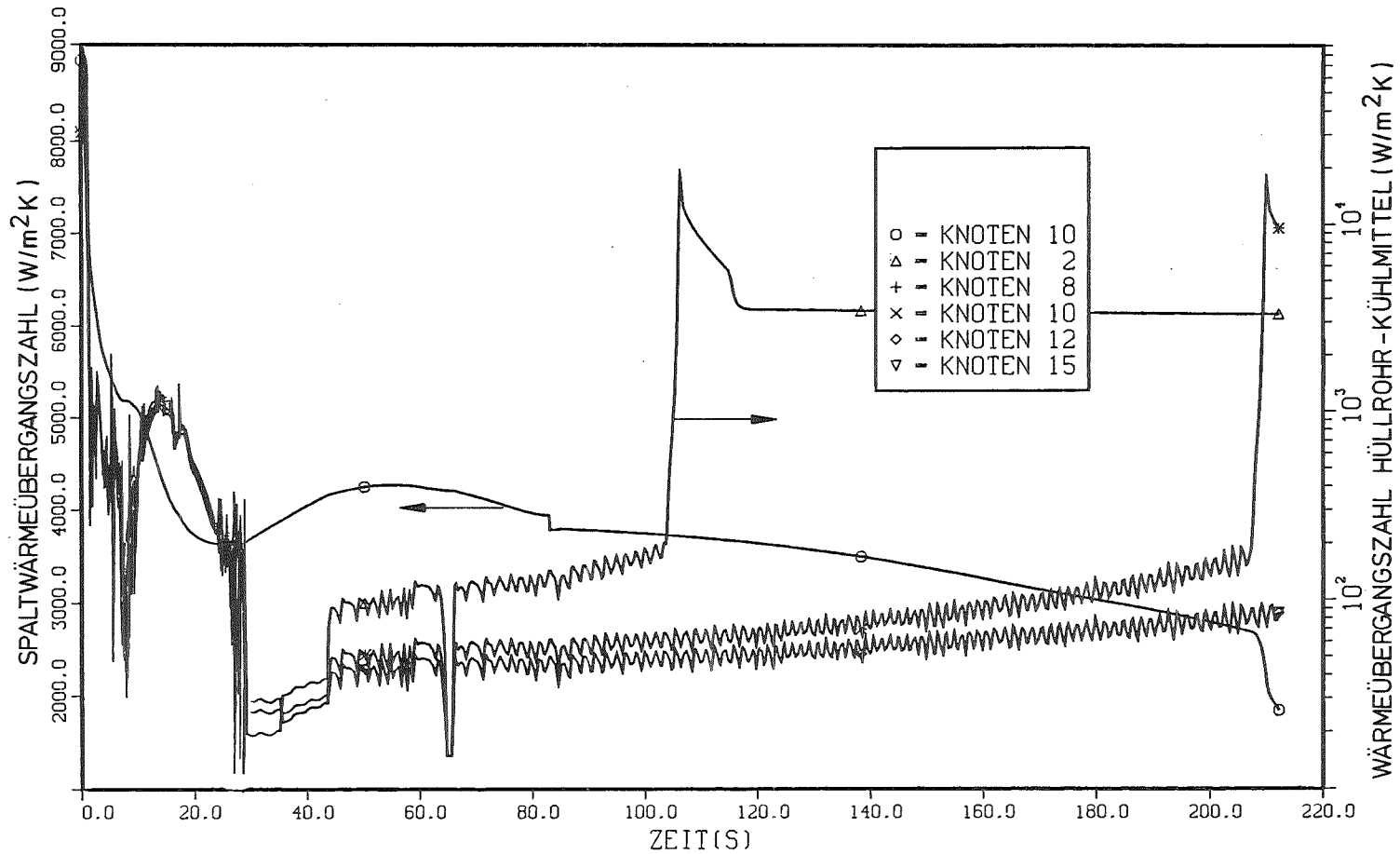


Abb. 3.2.18: Zeitliche Verläufe der Wärmeübergangszahlen Brennstab - Kühlmittel und Spaltwärmeübergangszahlen in einigen ausgewählten axialen Brennstabzonen während der Störfalltransiente

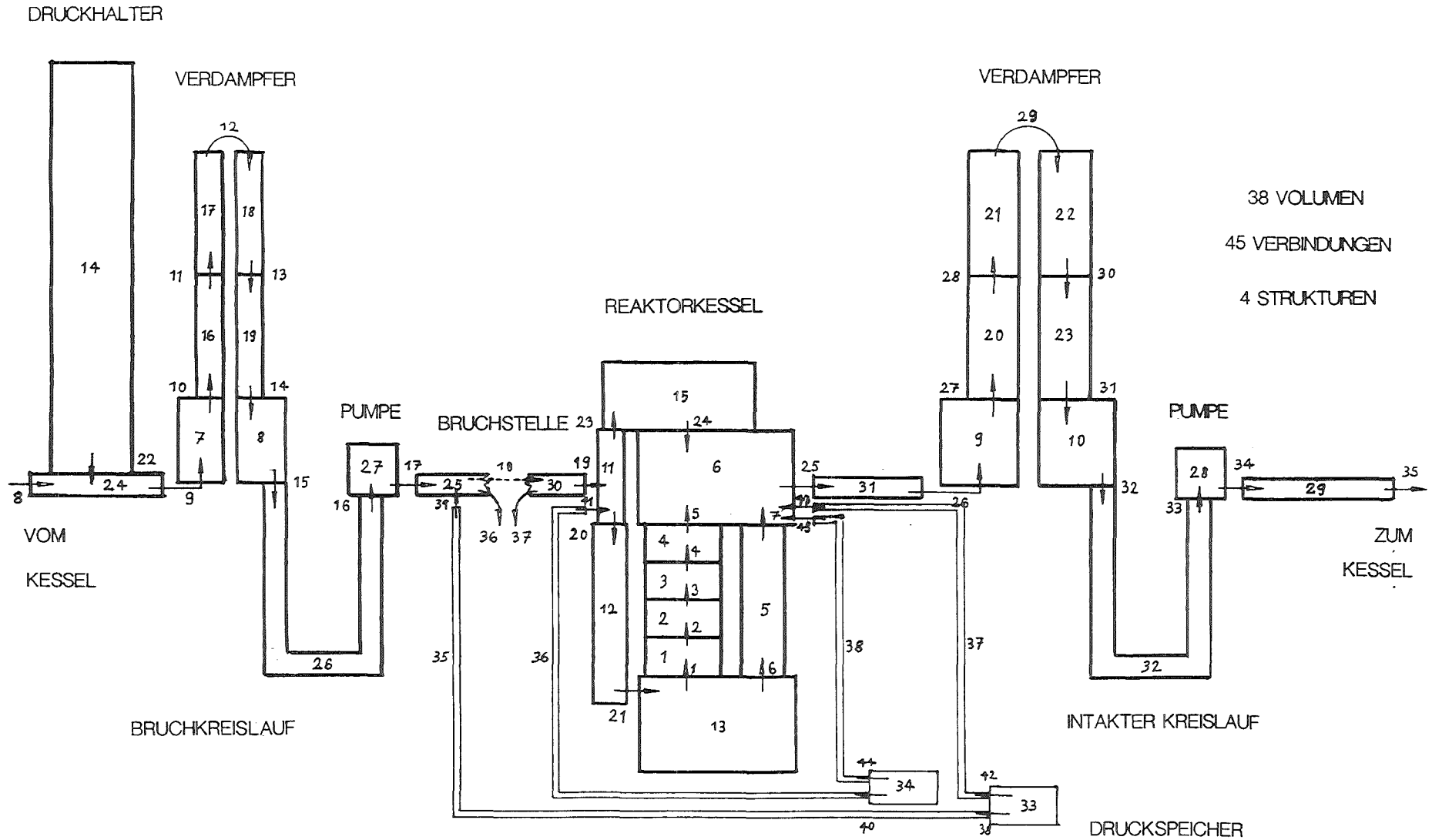


Abb. 3.4.1 : Nodalisierung der Primärkühlkreisläufe des Referenz-Druckwasserreaktors für Rechnungen mit RELAP4/MOD6

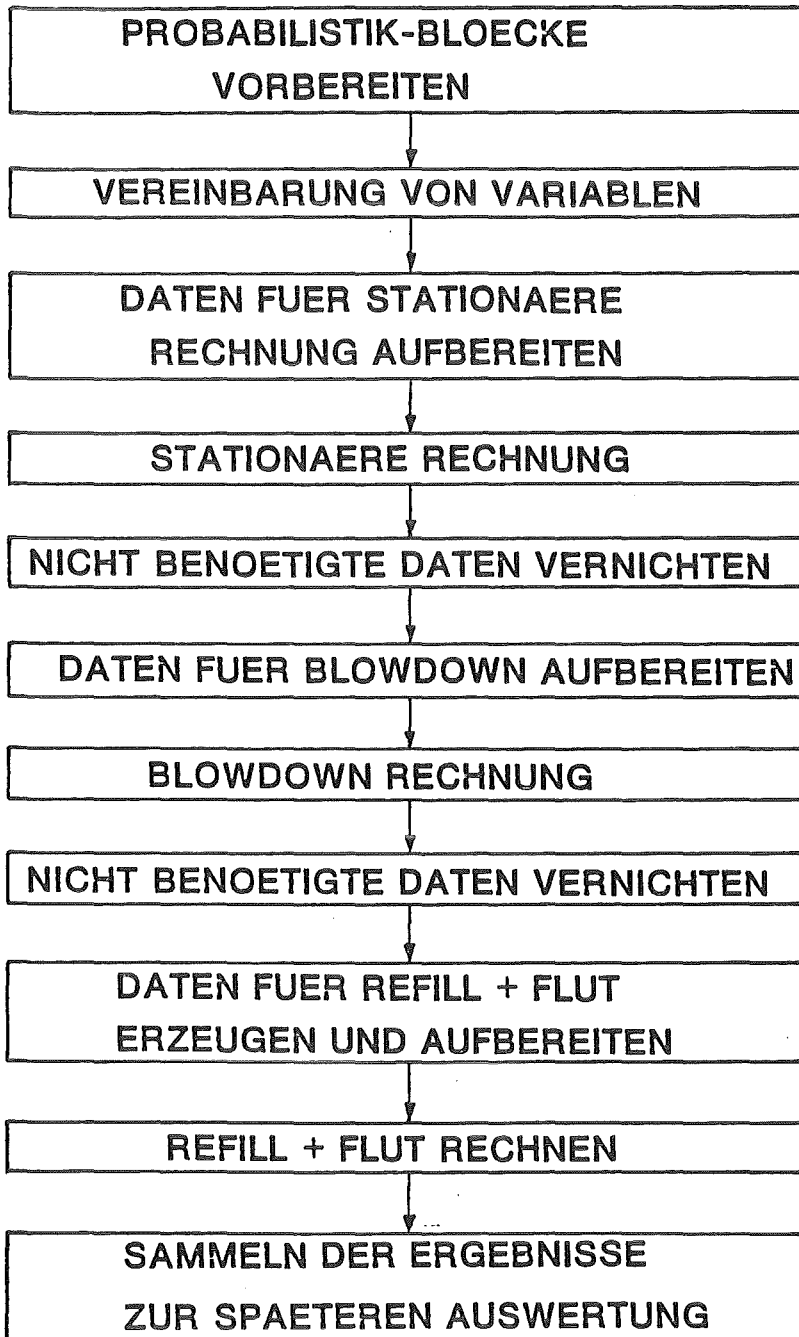


Abb. 3.5.1 : Ablaufschema einer Einzelstabanalyse
für eine probabilistische Datenauswertung mit SSYST-3

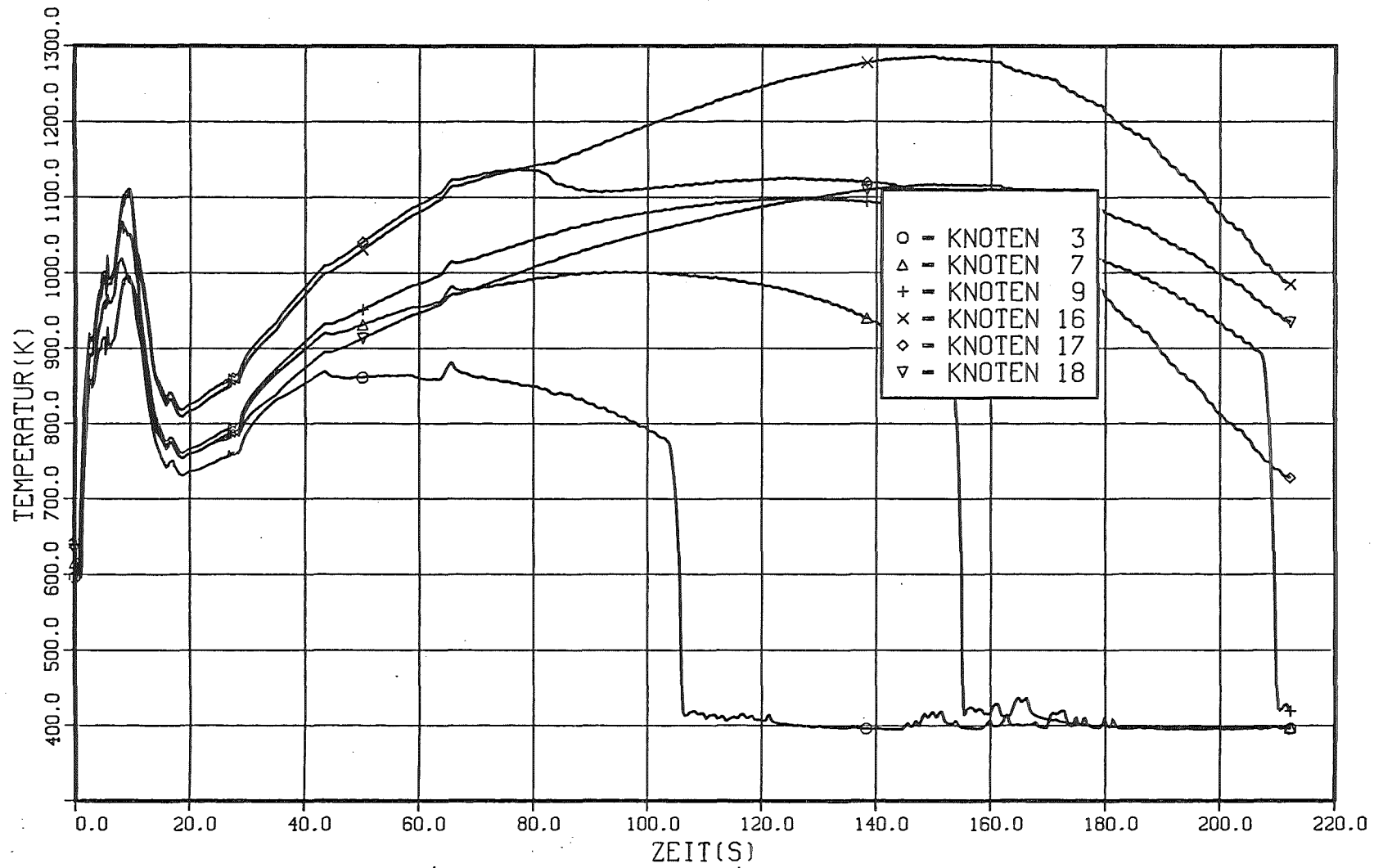


Abb. 3.6.1 : Brennstaboberflächentemperaturen
als Funktion der Zeit von Störfallbeginn
bis in die Flutphase

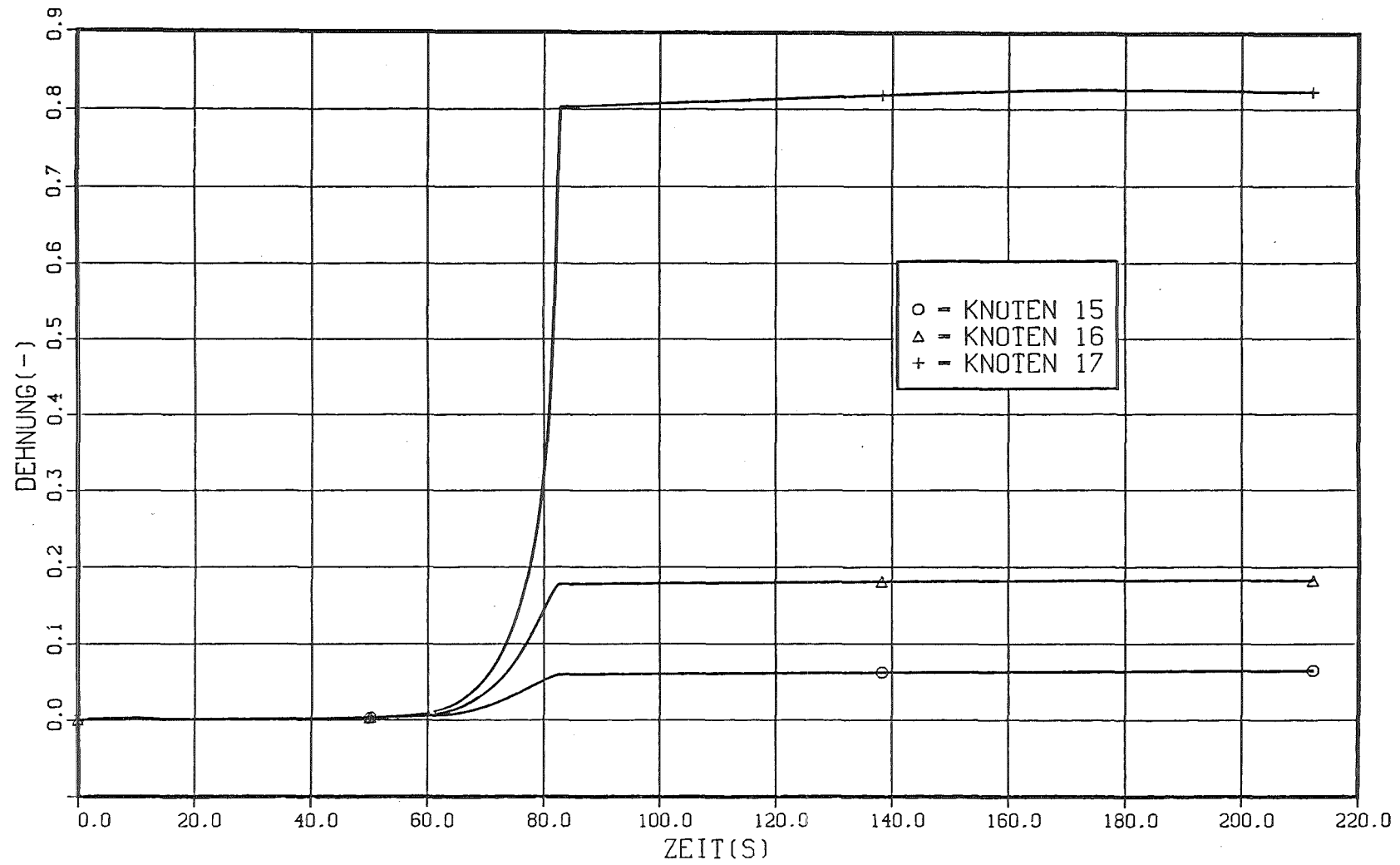


Abb. 3.6.2 : Hüllrohrumfangsdehnungen $((r - r_0)/r_0)$
als Funktion der Zeit während der gesamten
Störfalltransiente

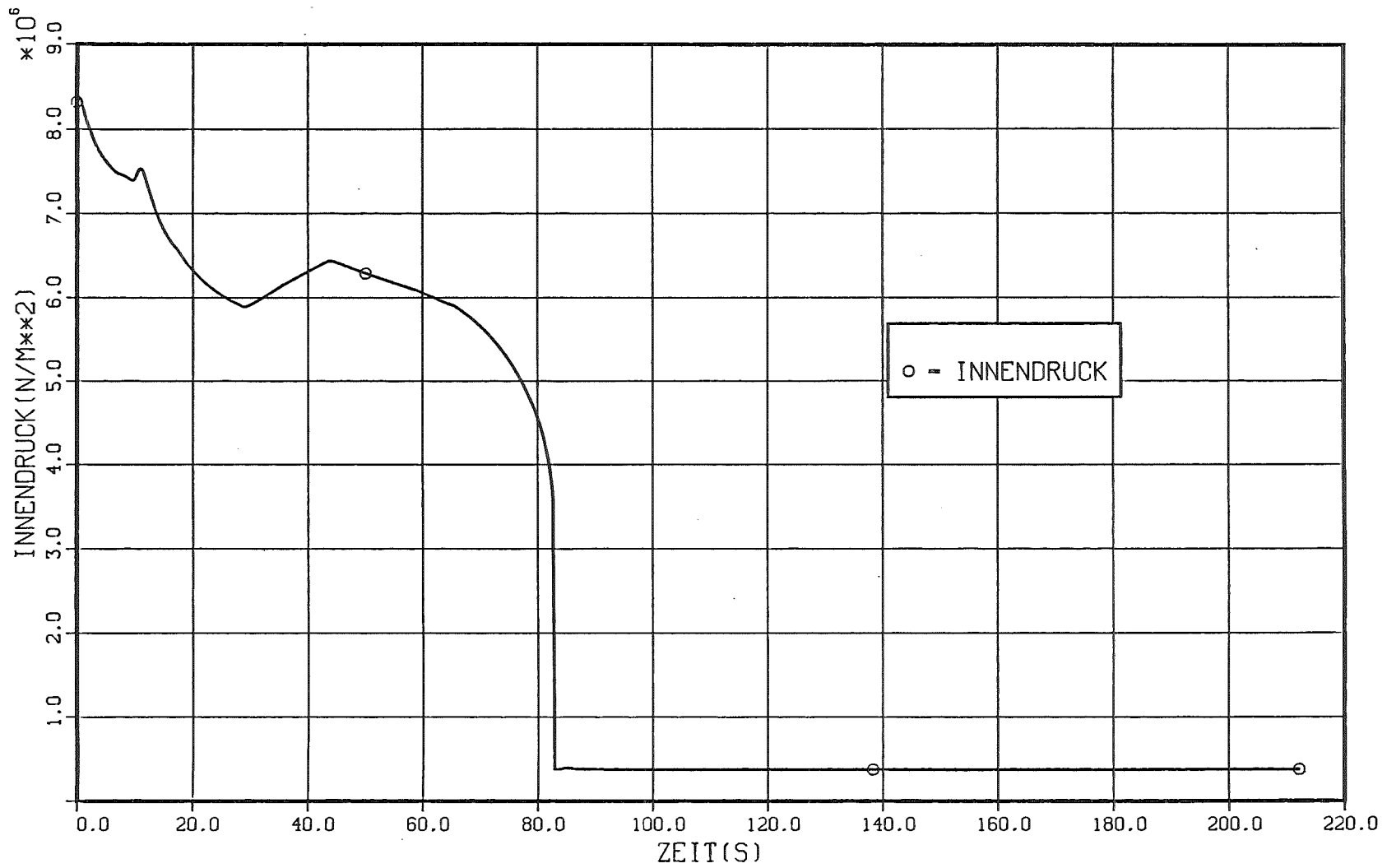


Abb. 3.6.3 : Brennstabinnendruck
als Funktion der Zeit während der gesamten
Störfalltransiente

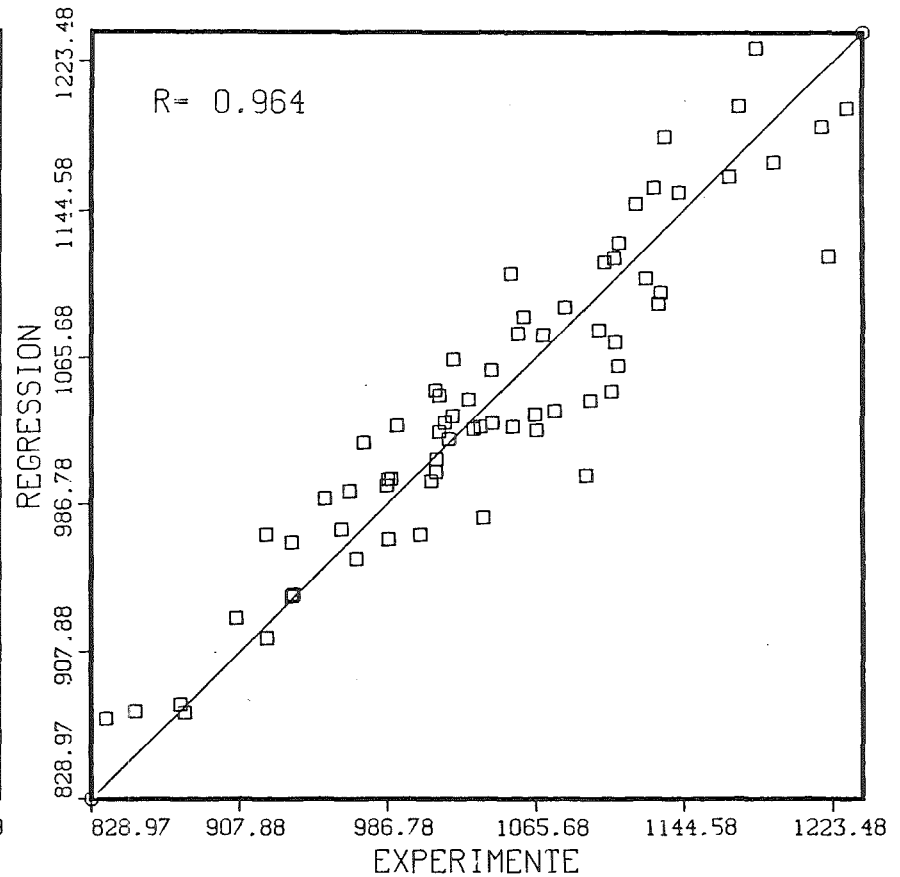
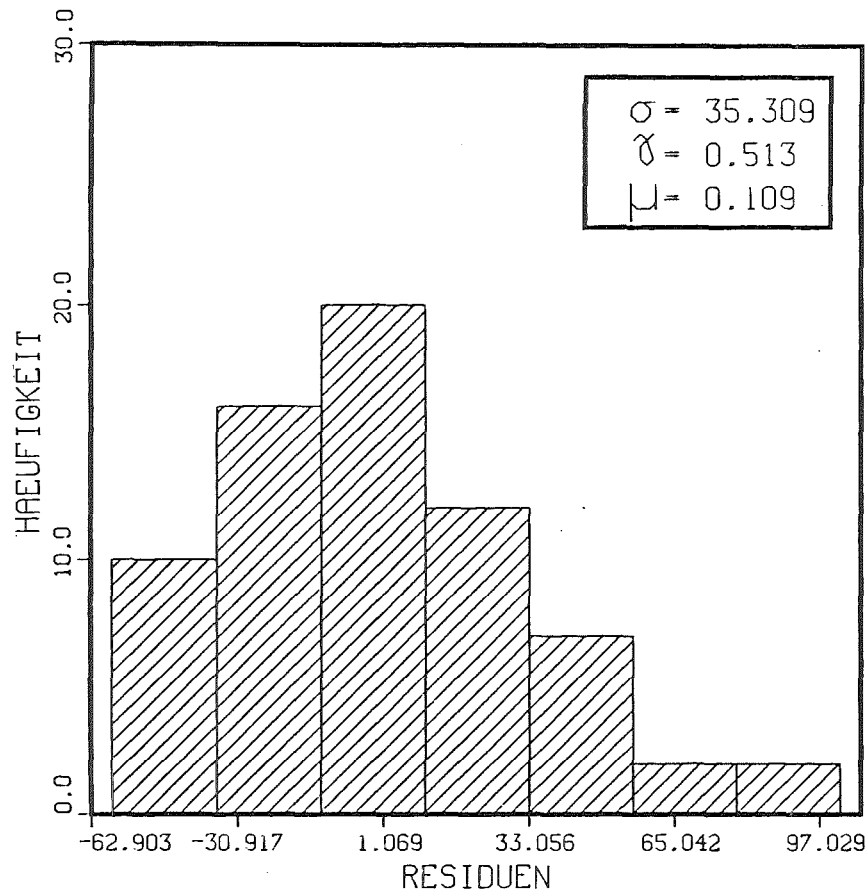


Abb. 4.1.1 : Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrtemperaturen (rechts). σ , γ und μ sind Standardabweichung, Schiefe und Erwartungswert, R ist der Korrelationskoeffizient

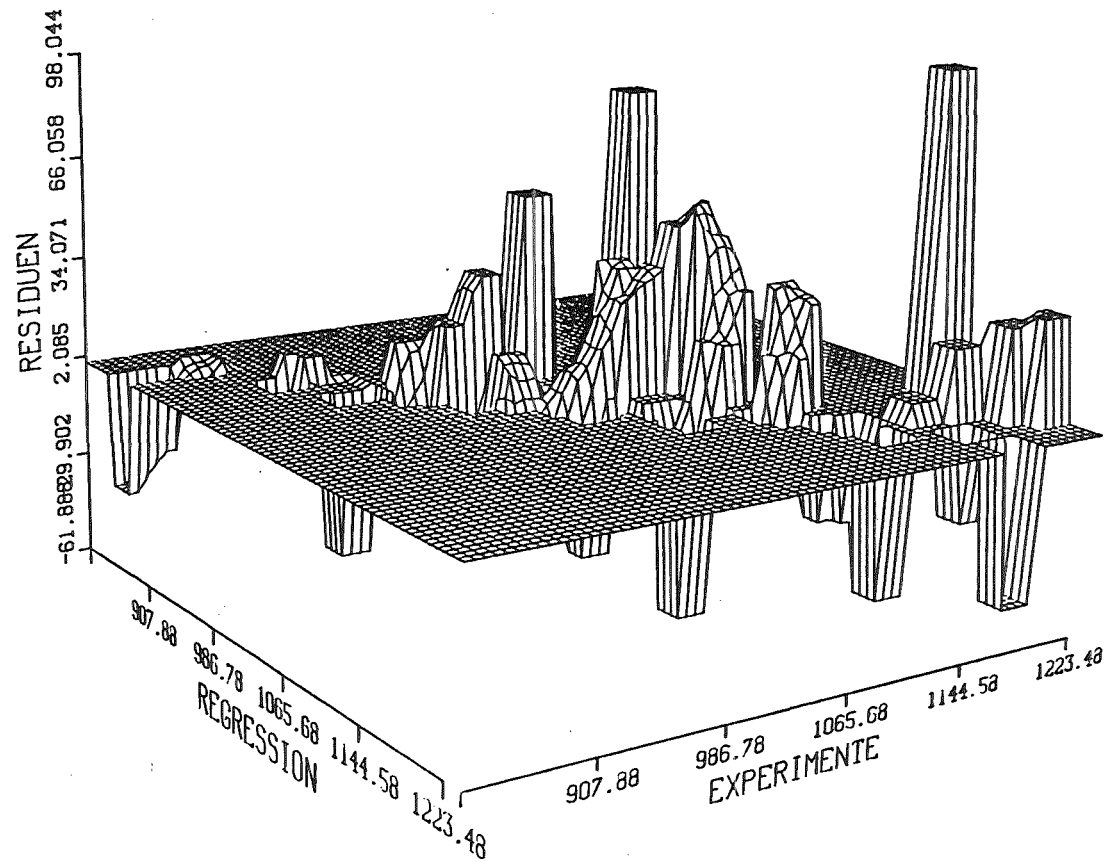
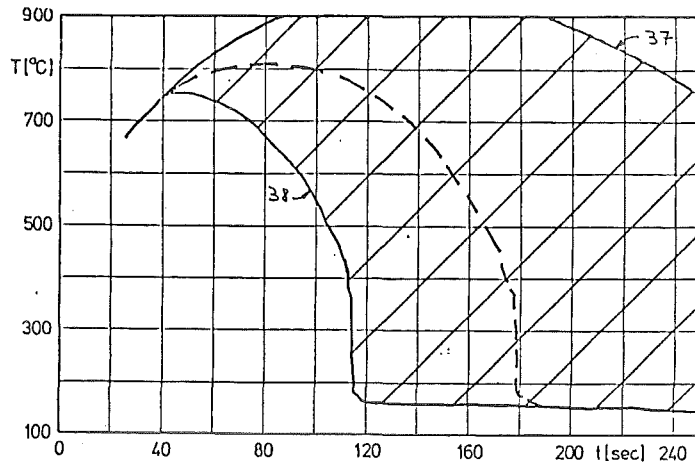
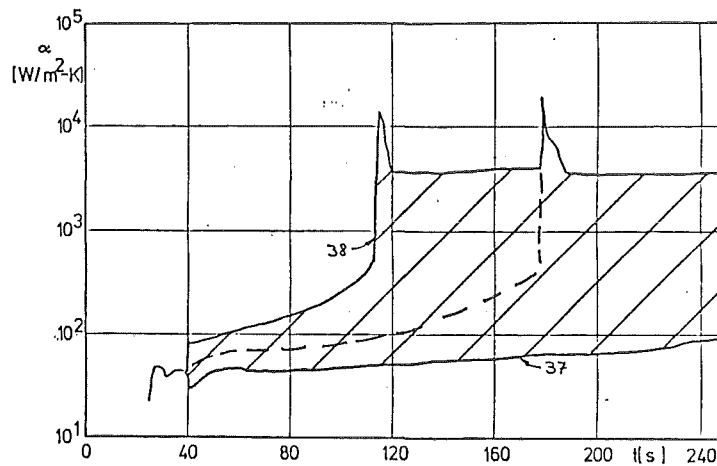


Abb. 4.1.2 : Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrtemperaturen einschließlich der entsprechenden Residuenverteilung

Temperatur in Kernmitte



Wärmeübergangszahl in Kernmitte



Wasserspiegelverlauf im ob. Plenum und Quenchfrontenverläufe

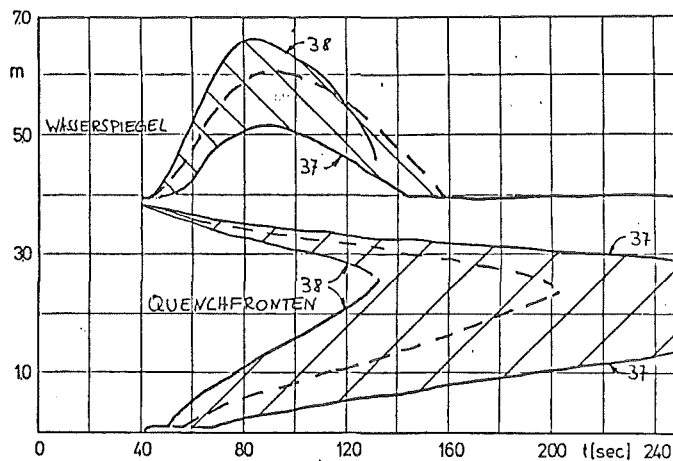


Abb. 4.1.3 : Beispiele aus einer Parameterstudie zur Untersuchung des Einflusses des "Dispersed Flow" - Koeffizienten (Parameter REEE entsprechend der Variablen V10, s. Anhang C) auf Temperaturen, Wärmeübergangszahlen und Quenchfrontverläufe im Kern (aus / 15 /)

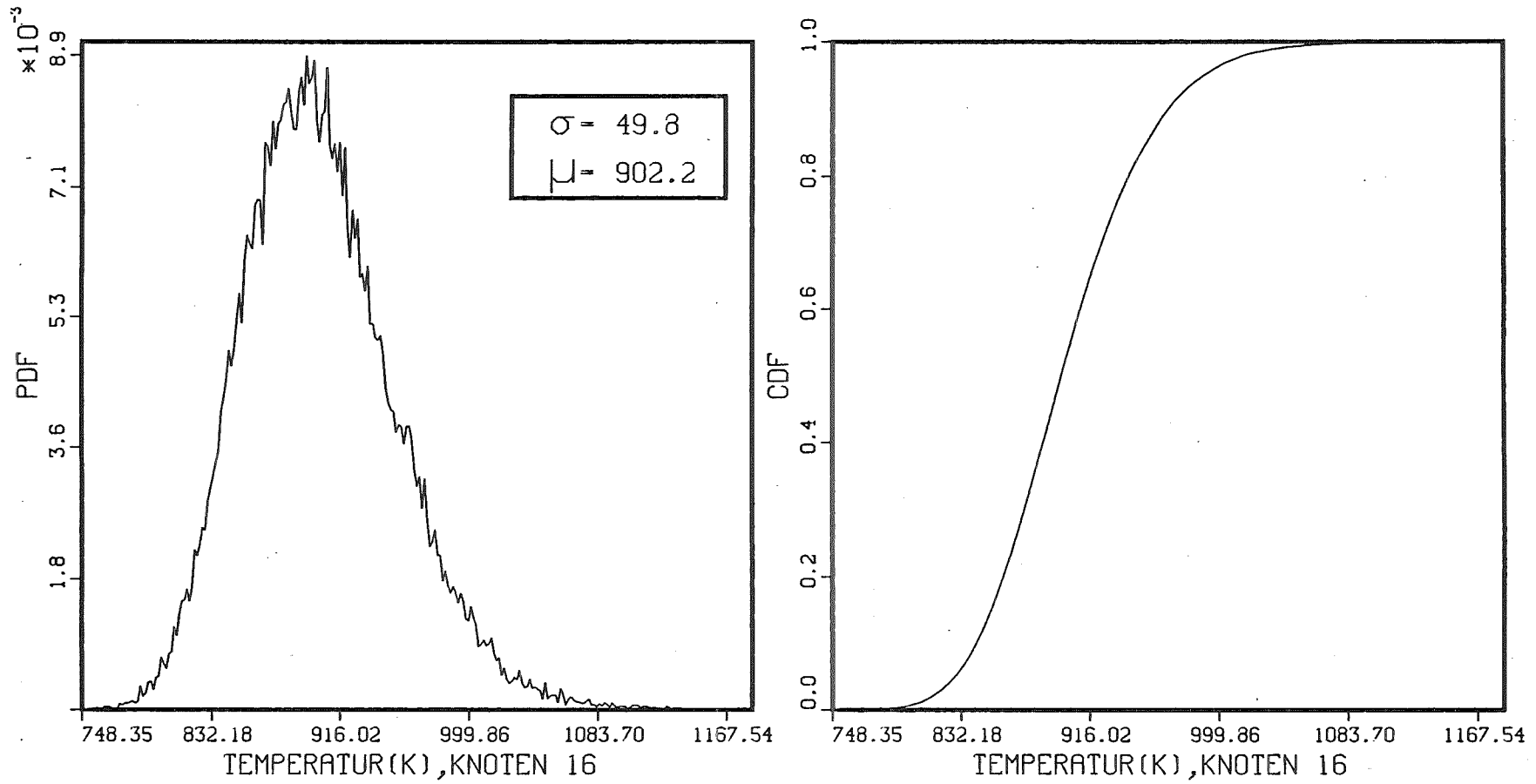


Abb. 4.1.4 : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.0 bis 2.47

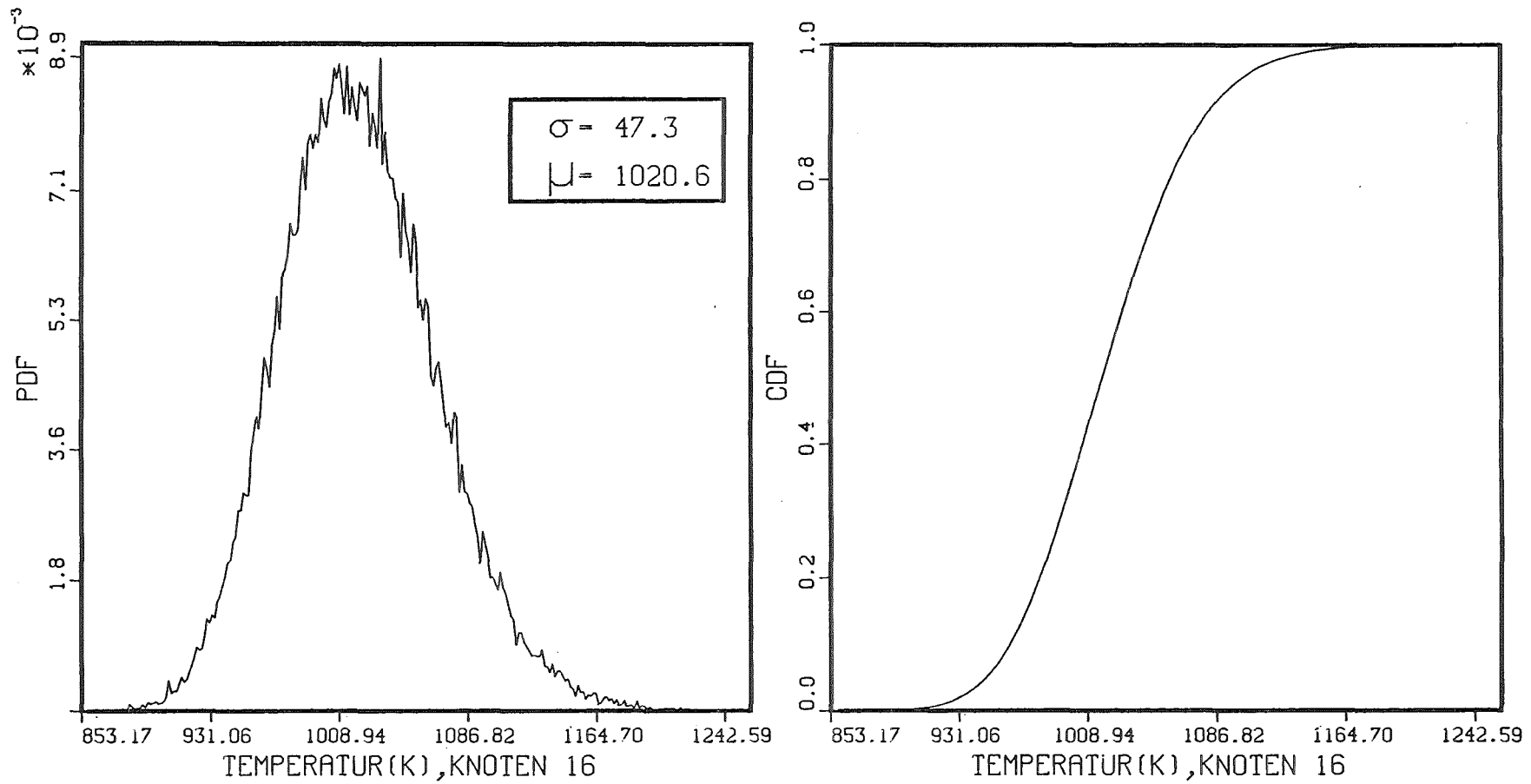


Abb. 4.1.5 : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.5 bis 2.47

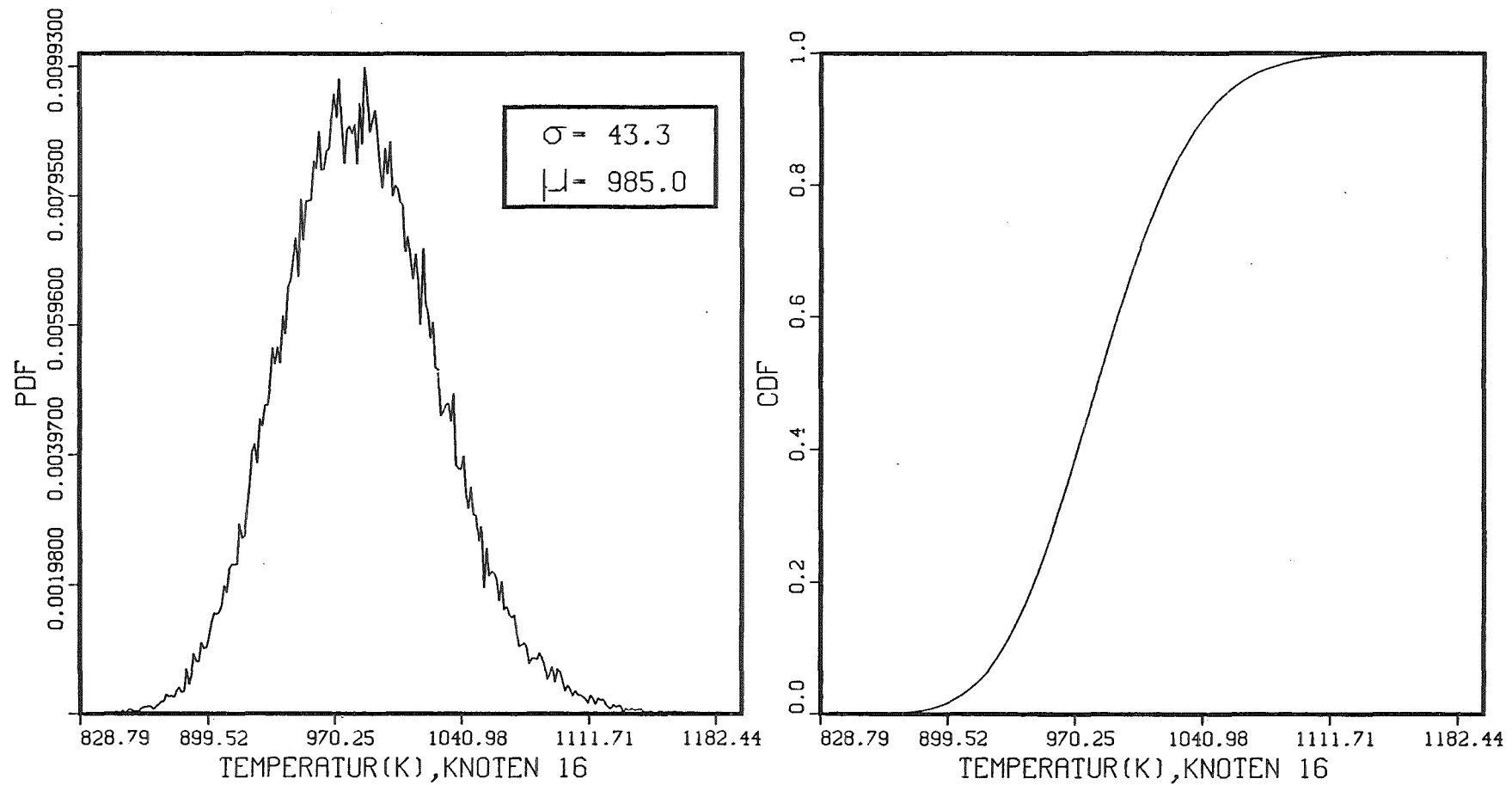


Abb. 4.1.6 : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 16, Leistungsfaktor 1.35 bis 2.47

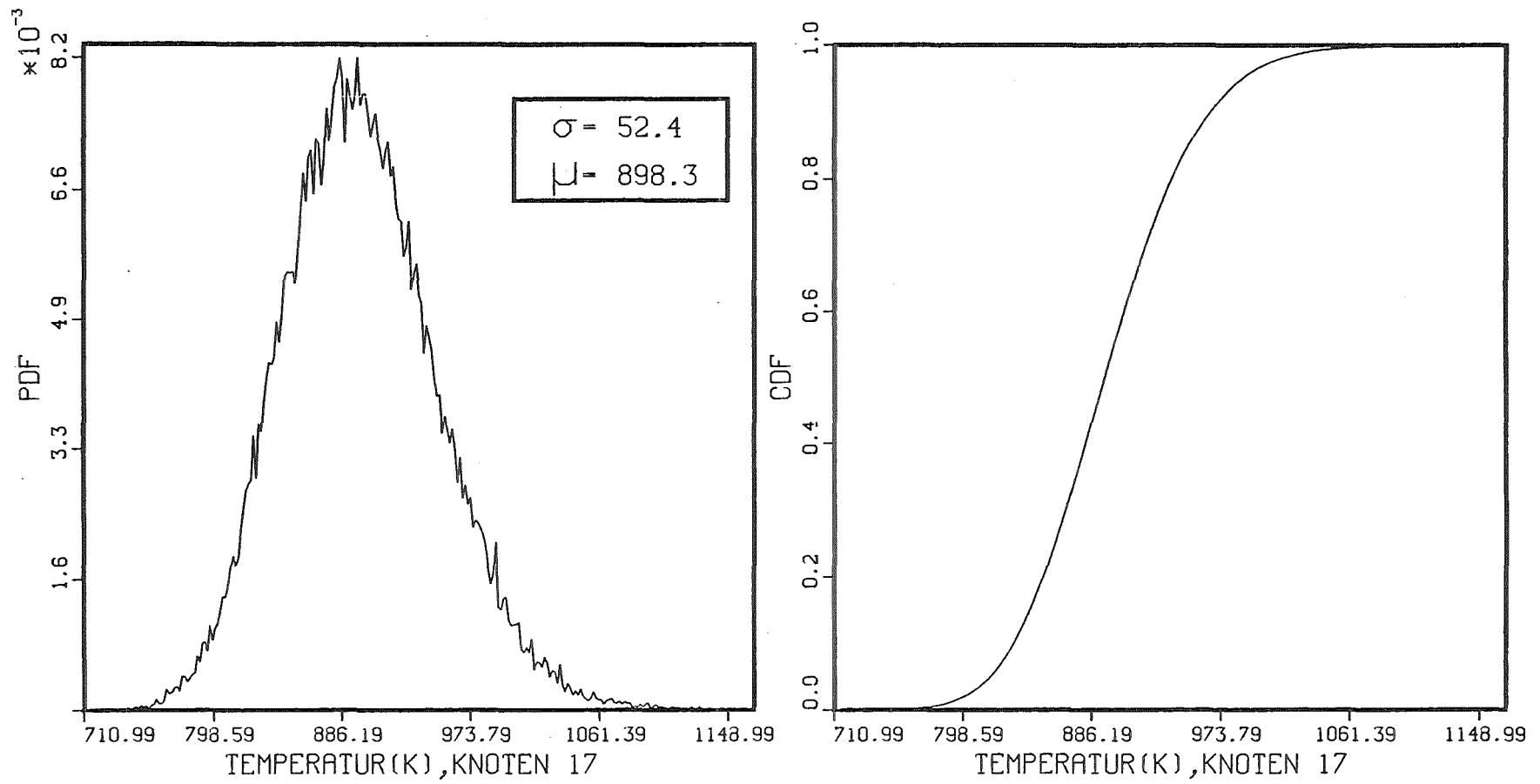


Abb. 4.1.7 : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrtemperatur in der Brennstabzone 17, Leistungsfaktor 1.0 bis 2.47

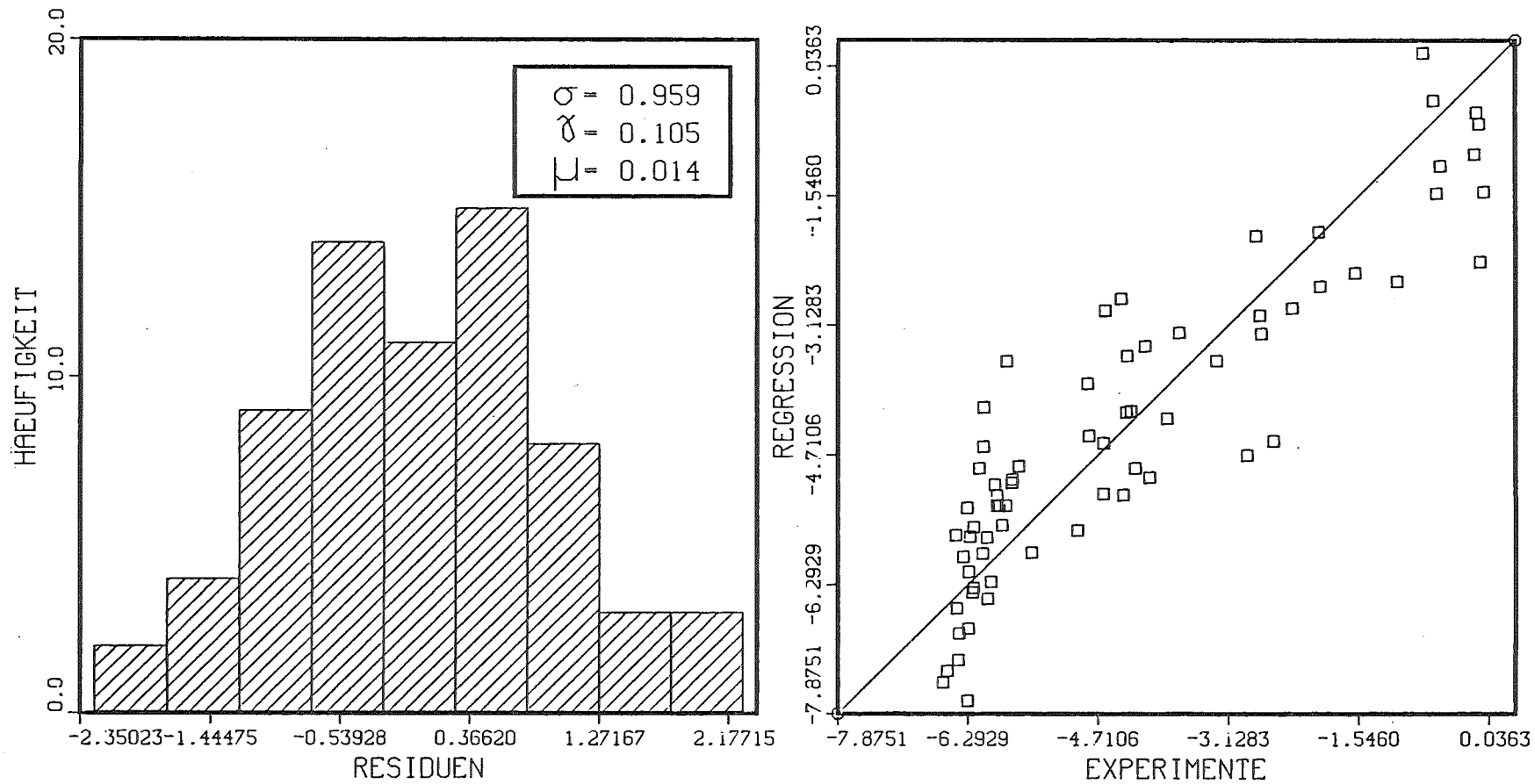


Abb. 4.2.1 : Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrumfangsdehnungen (rechts); die Werte der Umfangsdehnungen ϵ sind hier im logarithmischen Bereich $\ln \epsilon$ angegeben

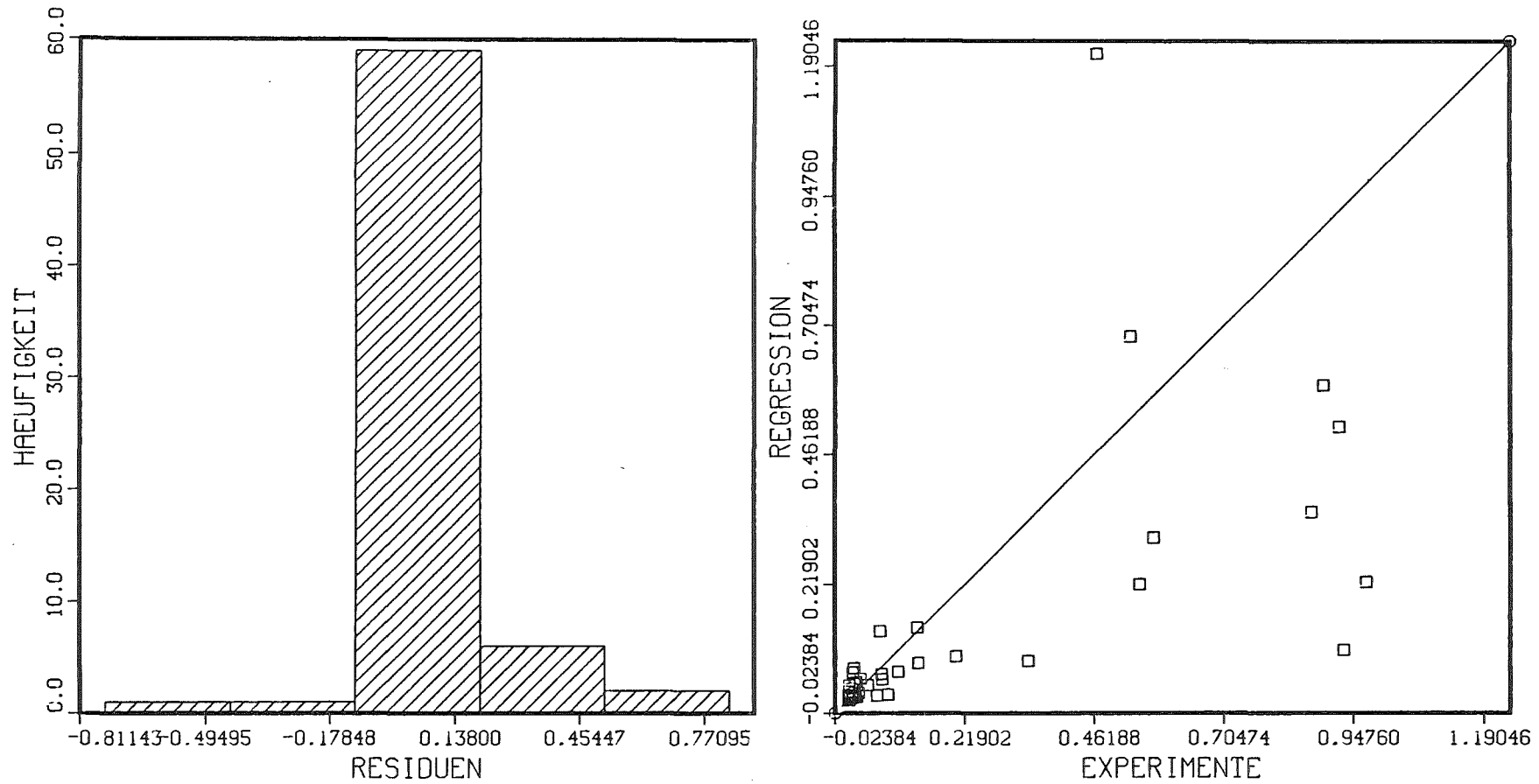
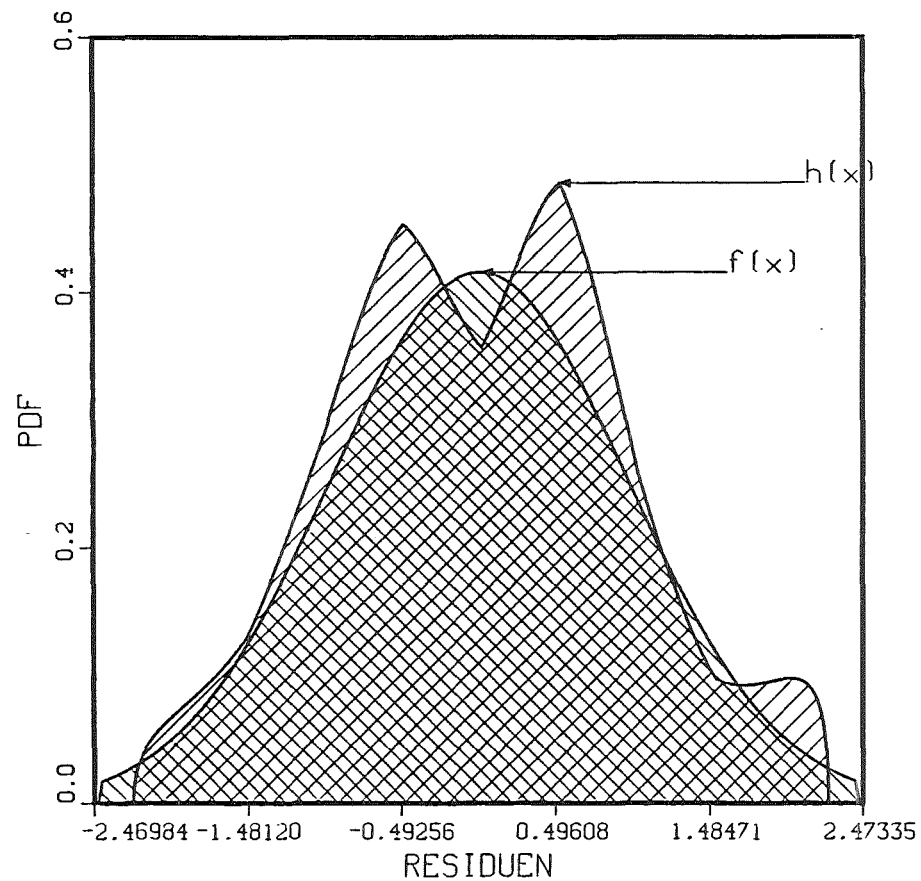


Abb. 4.2.2 : Residuenhäufigkeit (links) und Vergleich zwischen mit SSYST berechneten ("experimentellen") und mittels Regressionsanalyse approximierten maximalen Hüllrohrumfangsdehnungen (rechts); im Vergleich zu Abb. 4.2.1 sind die Umfangsdehnungen im Originalbereich angegeben



$$I = \int_{-\infty}^{\infty} (f(x) - h(x))^2 \cdot dx$$

DAS INTEGRAL WIRD ANGENAHEHRT DURCH:

$$I = \sum_{m=1}^n (f(m) - h(m))^2 \cdot \delta$$

DELTA IST DIE KLASSENBREITE UM m

$$I = 1.51 \cdot 10^{-2}$$

Abb. 4.2.3 : Test der Residuenhäufigkeit auf Normalverteilung für die "Response Surface"-Approximation der max. Hüllrohrumfangsdehnung in ε

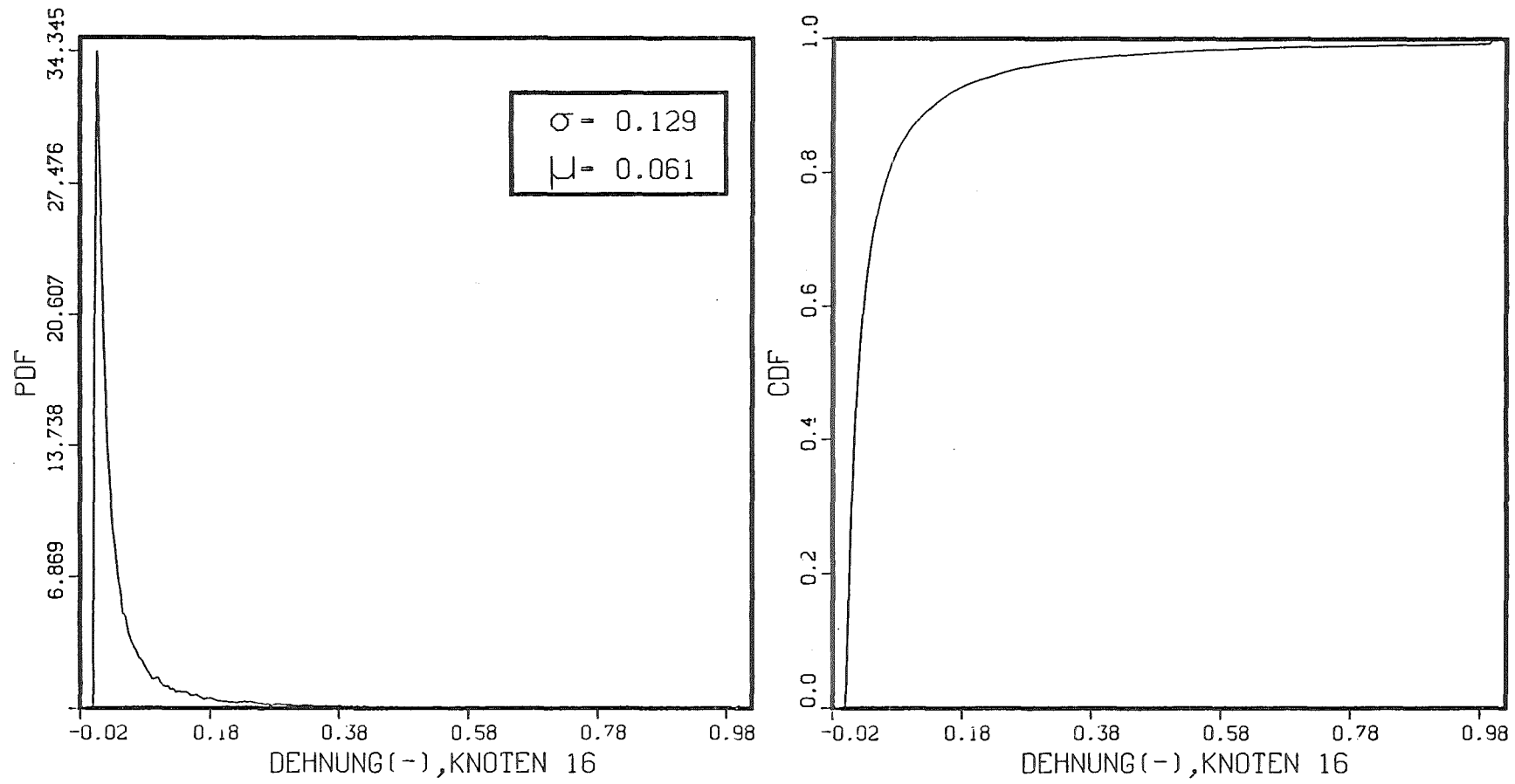


Abb. 4.2.4 : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF) und Verteilungsfunktion (CDF) der maximalen Hüllrohrumfangsdehnung in Brennstabzone 16

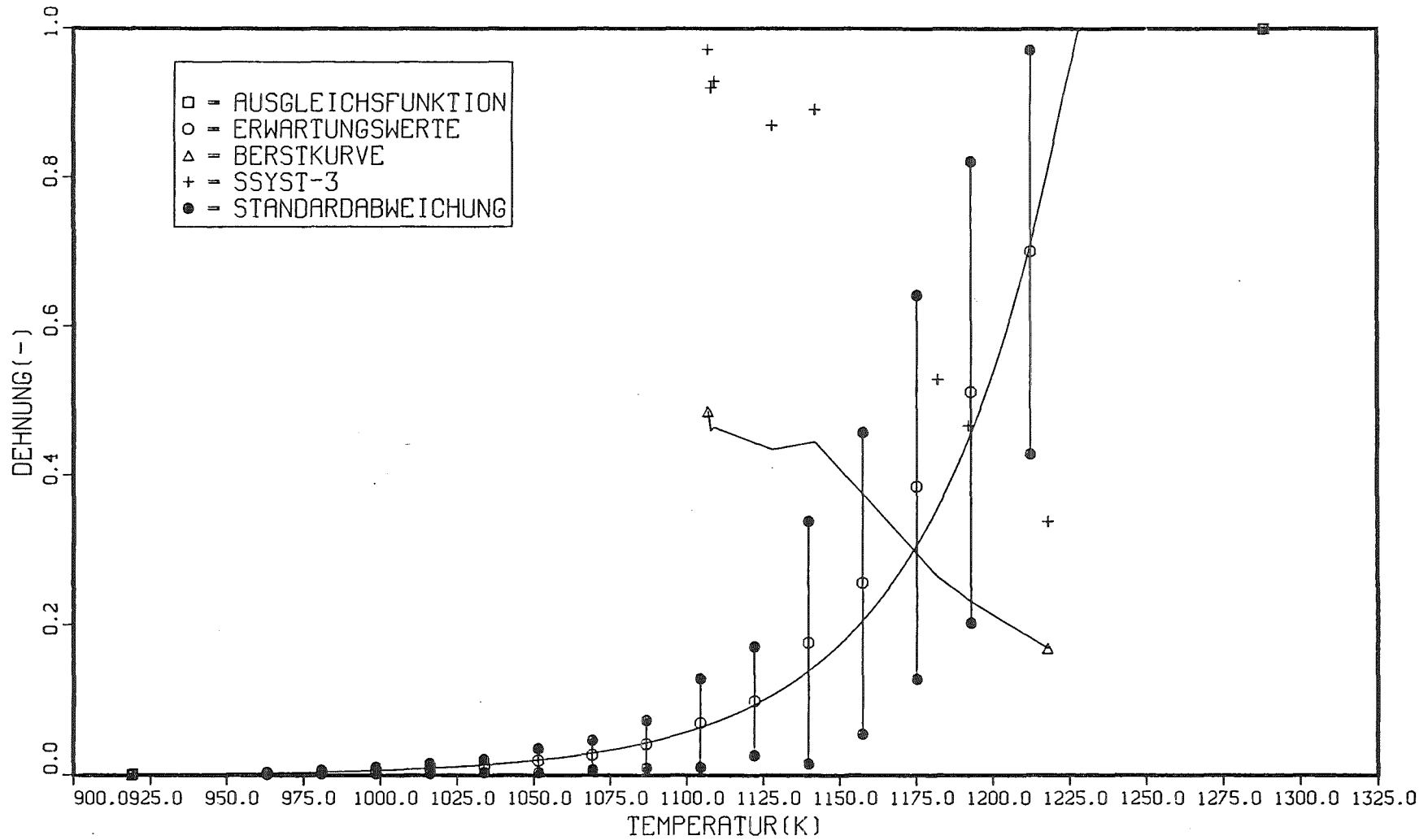


Abb. 4.3.1 : Für die Abschätzung des Kernversagens zugrundegelegter Verlauf der Hüllrohrendehnung als Funktion der Temperatur mit $\pm 1 \sigma$ -Bereich

Anhang A

Eingabebeispiel einer SSYST-3-Analyse

```

1300-MW      0  100  640  2  100  640      4000
DR-SETZ
GENSTEU      1
ALLGEMEINER STEUERBLOCK FUER 1300-MW
43  12  0
R02      0  12  20  2  3S
1007000A36  1000T
R02      0  .1R03  1.R02  .0R02  1.R02  .0

```

T
C
C
C

***** PROBABILISTIK-BLOECKE *****

```

GENSTEU      1  1  1043000
STEUERBLOCK FUER PROBABILISTIK
7  44
1043100A06  100T
R44      .0T

```

```

MATRIX      1  1
1  1  23  4
1043100T
BN FUER BETAVERTEILUNG
6893.0  15227.0  6.  2.S
200.  500.  1.  1.S
1.25  1.40  6.  2.S
55.0  80.0  1.  1.S
.170  .7  1.  1.S
.600  1.  1.  1.S
.500  .9  1.  1.S
1.39E-05  5.56E-05  1.  1.S
.05  .2  1.  1.S
1.0  3.  1.  1.S
500.0  2000.  1.  1.S
.5  1.  1.  1.S
36.  45.  1.  1.S
0.  100.  1.  1.S
.8  2.  1.  1.S
.8  1.6  1.  1.S
.95  1.05  1.  1.S
.669  1.20  1.  1.S
.880  1.12  1.  1.S
.880  1.12  1.  1.S
.995  1.005  1.  1.S
.995  1.005  1.  1.S
.950  1.050  1.  1.T

```

```

MATRIX      1  1
1  1  24  80
1043200T

```

```

BN FUER INTERVALLAENGEN
0T

```

```

F MISCH-UBI 0 36
C ATRIX 1 1
C 1 1 80 46

```

```

C 1043300T
C BN FUER DESIGN MATRIX
C F .0T

```

```

IVEKTOR 1 1 0 1043400 80
NUMMERN DER SPIELE
1A79 1T

```

```

MATRIX 1 1
1 1 23 4
1043500T

```

```

BN FUER MONTE CARLO VERTEILUNGEN
6893.0  15227.0  3.  3.S
200.  500.  3.  3.S
1.25  1.40  3.  3.S
55.0  80.0  3.  3.S

```

.170	.7	3.	3.S
.600	1.	3.	3.S
.500	.9	3.	3.S
1.39E-05	5.56E-05	3.	3.S
.05	.2	3.	3.S
1.0	3.	3.	3.S
500.0	2000.	3.	3.S
.5	1.	3.	3.S
36.	45.	3.	3.S
0.	100.	3.	3.S
.8	2.	3.	3.S
.8	1.6	3.	3.S
.95	1.05	3.	3.S
.669	1.20	3.	3.S
.880	1.12	3.	3.S
.880	1.12	3.	3.S
.995	1.005	3.	3.S
.995	1.005	3.	3.S
.950	1.050	3.	3.T

MATRIX 1 1 252 3 1

1043600T

BN FUER MONTE CARLO ERGEBNISSE

F MATRIX .0T 1 1 80 3 1

1043700T

BN FUER REGRESSIONS ERGEBNISSE

F MATRIX .0T 1 1 100000 0 0

C ESIGN 1 1 100000 0 0

C MATRIX DER STREUBREITEN UND ERGEBNISSE

C 23 80

C ***** ENDE DER STATISTIK *****

C SPEICHER 1 1 0 250000

C SPEICHERFOLGE UM DIE GESAMTE EINGABE FUER VARIO

EVARIDF

EPMAXE=(ESPILE,1)

EPMAXE: HOT SPOT LEISTUNG

ETQOPE=(ESPILE,2)

ETQOPE: QUENCHKRITERIUM

EFRAD=(ESPILE,3)

EFRAD: RADIALER LEISTUNGSFAKTOR

AFAB=(ESPILE,4)

AFAB: KERNFLAECHE WASSERRUECKFALL

VRATE=(ESPILE,5)

VRATE: GESCHWINDIGKEITSVERHAELTNIS

CCCC=(ESPILE,6)

CCCC: GEGENSTROMBEZIEHUNG, KONSTANTE

CCMM=(ESPILE,7)

CCMM: GEGENSTROMBEZIEHUNG, KONSTANTE

RPCC=(ESPILE,8)

RPCC: WIDERSTAND IM KERN

DROP=(ESPILE,9)

DROP: TROEPFCHENANTEIL IN STROEMUNG

REEE=(ESPILE,10)

REEE: DISPERSED FLOW KOEFFIZIENT

GAPX=(ESPILE,11)

GAPX: SPALTKOEFF.

CRFF=(ESPILE,12)

CRFF: CROSSFLOWFAKTOR

TEOR=(ESPILE,13)

TEOR: END OF REFILL

STAF=(ESPILE,14)

STAF: FAKTOR FUER DEHNGESCHWINDIGKEIT

C

```

&GAST&=( &SPIL&, 15)           &GAST&: STATIONAERS ALPHA-GAP
C
&PIND&=( &SPIL&, 16)           &PIND&: INNENDRUCK
C
&TEMP&=( &SPIL&, 17)           &TEMP&: STATIONAERE TEMPERATUREN
C
&ABLO&=( &SPIL&, 18)           &ABLO&: ALPHA BLOWDOWN
C
&LAMU&=( &SPIL&, 19)           &LAMU&: LAMBDA UO2
C
&LAMG&=( &SPIL&, 20)           &LAMG&: LAMBDA SPALTGAS
C
&RADP&=( &SPIL&, 21)           &RADP&: RADIUS PELLET
C
&RADI&=( &SPIL&, 22)           &RADI&: RADIUS INNEN
C
&RADA&=( &SPIL&, 23)           &RADA&: RADIUS AUSSEN
C
&VARIEND

```

```

C
C ***** STOFFDATEN VON DER BASIS HOLEN *****
C

```

```

MISCH-UBI           3           0
  2301           2303           2307T
GENSTEU             1           1           3500
  STEUERBLOCK FUER MODTAB
  1           1           1
    -1T
    &LAMU&T
    VARIATION VUN LAMBDA UO2
MODTAB             1           1           2301           3301           3500
LSCH-UBI           2
  2301           3500T
NUMKOR             1           1
  1           1
    3301T
    2301T
    LAMBDA UO2
LSCH-UBI           1
  3301T
GENSTEU             1           1           3500
  STEUERBLOCK FUER MODTAB
  1           1           1
    -1T
    &LAMG&T
    VARIATION VUN LAMBDA SPALTGAS
MODTAB             1           1           2307           3307           3500
LSCH-UBI           2
  2307           3500T
NUMKOR             1           1
  1           1
    3307T
    2307T
    LAMBDA SPALTGAS
LSCH-UBI           1
  3307T

```

```

C
C ***** AUFBEREITEN DER C O M E T H E DAT EN *****
C

```

```

MISCH-UBI           0           17
IVEKTOR             1           1           1           6000           13
R04 AUFBEREITUNG EINER (IZ,ISP) MATRIX
  1R06           2R03           1T
IVEKTOR             1           1           1           6001           14
R05 AUFBEREITUNG EINER (IZ,ISP+1) MATRIX
  1R06           2R03           1T

```

UGRID	1	1	-5000	1010000	6000
UGRID	1	1	-5001	1011000	-6000
UGRID	1	1	-5002	1009000	6001
UGRID	1	1	-5003	1008000	6000
UGRID	1	1	-5004	1019000	-6000
UGRID	1	1	-5005	1036000	-6000
UGRID	1	1	-5006	1034000	6000
UGRID	1	1	-5007	1022000	6000
UGRID	1	1	-5009	1024000	6000
UGRID	1	1	-5010	1032100	6000
UGRID	1	1	-5011	1032200	6000
UGRID	1	1	-5012	1038500	6000
MATMSKAL	1	1	1032100	1032100	
CRACK-VOLUMEN KORREKTUR					
.625					
MATMSKAL	1	1	1032200	1032200	
DISCH-VOLUMEN KORREKTUR					
.625					

C
C
C

***** VARIATION DER STABGEOMETRIE *****

FUNKTBL	1	1	508000	10	0
1008000T					
1A09 1T					
PELLET OHNE INNENRADIUS					
FUNKTBL	1	1	508100	1	0
1008000T					
11T					
PELLET RADIUS					
FUNKTBL	1	1	508200	1	0
1008000T					
12T					
HUELLROHR INNENRADIUS					
FUNKTBL	1	1	508300	1	0
1008000T					
13T					
HUELLROHR AUSSENRADIUS					
MATMSKAL	1	1	508100	508100	
VARIATION DES PELLETRADIUS					
ERADPE					
MATMSKAL	1	1	508200	508200	
VARIATION DES INNENRADIUS					
ERADIE					
MATMSKAL	1	1	508300	508300	
VARIATION DES AUSSENRADIUS					
ERADA					
LSCH-UBI	1				
1008000T					
KOMBZ	1	1			
4 1008000 0 1					
508000A03 100T					
RADIEN					
LSCH-UBI	4				
508000A03 100T					

C
C
C

***** ENDE DER GEOMETRIE-VARIATION *****

NUMKOR	1	1			
5 1					
1008000A03 1000 5013T					
1015000 1016000 1012000 1013000 1038600T					
AKTUELLE RADIEN					
AKTUELLE MASCHENHOEHEN					
AKTUELLE TEMPERATURENE KNOTENMITTE					
AKTUELLE TEMPERATURENE OBERFLAECHE					
RAUHIGKEIT					

LSCH-UBI 14
5000A13 1T

C
C
C

***** ENDE DER AUFBEREITUNG *****

***** STEUERBLOCKE *****

GENSTEU 1 1 1023000
STUEBERBLOCK DER WAERMELEITMODULN
15 5 0

R02 IVEKTOR 1 1 2307 2307 2303R03 1
10 12 10R03 0T
1. 1 1.5T
STUEBERBLOCK FUER RANDM 1 1030000 7
1030100A06 100T

GENSTEU 1 1 1032000

STUEBERBLOCK FUER PIPE
3 16 0
1032100 1032200 0T

R15 GENSTEU 1 1 1033000

STUEBERBLOCK DER PARTIALDRUECKE
7 7 0
1 2 7 8 18 36
54T

GENSTEU 1 1 6.2170E+03 4.3519E+04T
STUEBERBLOCK FUER STADEF 1 1038000

7 9 0
1038100 1038200 0 1038400A03 100T
1.08E-5 00.316 0.60E-5 0000.4 0. 0

GENSTEU 1 1 1040000

STUEBERBLOCK FUER ZIRKOX
3 8
1040100 1040200 1004003T
0. 0. 5.96E+6 6600. 5800. 2.
0.T

F

GENSTEU 1 1 2000111
STUEBERBLOCK MIMA INTERVALL FUER MAX. TEMP.<TEOB

3 2 0
1000000 -1 1T
0. 28.5T

GENSTEU 1 1 2000121
STUEBERBLOCK MIMA INTERVALL FUER MAX. TEMP.>TEOB

3 2 0
1000000 -1 1T
28.5 500.0T

GENSTEU 1 1 2000131
STUEBERBLOCK MIMA INTERVALL FUER MAX. TEMP.

3 2 0
1000000 -1 1T
0.0 500.0T

GENSTEU 1 1 2000114
STUEBERBLOCK MIMA INTERVALL FUER MAX. EPS

3 2 0
1000000 -1 1T
0.0 500.0T

GENSTEU 1 1 2000115
STUEBERBLOCK MIMA INTERVALL FUER MIN. PI

3 2 0
1000000 -1 1T
0.0 500.0T

C
C
C

***** ENDE *****

***** BEGINN DER STATIONAEREN RECHNUNG *****

```

C ***** ANPASSEN DER C O M E T H E DATEN *****
C
MATRIX      1      1
  1      3      12      20
1007000T
MATRIX DER MATERIALKENNZAHLEN
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
  5      2R16      1      3      5S
R20      5T      -4      3
VEKTOR      1      1      1017000      99
ZEITVEKTOR STATIONAER
  0.      1.E-5A97      .1T
MATRIX      1      1      1
  1      0      20      3
1018000T
LINKE RANDBEDINGUNG
R20      .0S
R20      -1.S
R20      .0T
MATRIX      1      1      1
  1      0      20      6
1025000T
PLASTISCHE DEHNUNG
F      .0T
MATRIX      1      1      1
  1      0      20      3
1026000T
INGENIEURS DEHNUNG 1.TANG, 2.RAD, 3.AXIAL
F      .0T
VEKTOR      1      1      1037000      20
MAKROZEITVEKTOR ZETSIM
  0.      .1A18      .1T
WERBL      1      1      2
1038200
TABELLEN FUER STADEF
  2      1
      2T
      2T
      250.      2500.T
F      0.2E+12T
  2      1
      2T
      2T
      250.      2500.T
F      1.0E+11T
VEKTOR      1      1      0      1038400      20
VERGLEICHSSPANNUNG HUELLE
F      0.T
MATRIX      1      1
  1      0      20      8
1040100T
1=ZRO,2=ZROALF,3=COXM,4=G02,5=COX,6=TV,7=CEF,8=ENERGIEFUER OXIDBRUCH
F      0.T
MATRIX      1      1
  1      0      20      2
1040200T
1=OXIDATIONSFAKTOR FUER RECHTE OBERFLAECHE, 2=OXIDATIONSFAKTOR FUER LINK

```



```

F      1.T
MATRIX      1      1
      1      0      20      8
      1040300T
1=ZRO,2=ZROALF,3=COXM,4=G02,5=COX,6=TV,7=CEF,8=ENERGIEFUER OXIDBRUCH
FCC
      ***** REFLOS/SSYST-VARIABLEN ANPASSEN *****
      VEKTOR      1      1      1      7500      20
      UMRECHNEN DER LEISTUNG FUER SSYST
      1.00E-04T
F      MATMSKAL      1      1      7500      7500
      UMRECHNEN DER LEISTUNG FUER SSYST
      &PMA&
      MATMSKAL      1      1      7500      7500
      UMRECHNEN DER LEISTUNG FUER SSYST
      &FRA&
      MATRIX      1      1
      1      1      12      20
      7510T
      UMRECHNEN DER LEISTUNG FUER SSYST
B      7500Q11      7500T
      MATMAL      1      1      7510      1022000      1022000
      NOMINELLE LEISTUNG
      LSCH-UBI      2
      7500      7510T
      VEKTOR      1      1      1      7500      1
      UMRECHNEN DES ALPHA-SPALT FUER SSYST
      1.00E-03T
      MATMSKAL      1      1      7500      7500
      UMRECHNEN DES ALPHA-SPALT FUER SSYST
      &GAP&
      MATMSKAL      1      1      1036000      1036000
      ALPHA-SPALT STATIONAER
      &GAST&
      MODSTEU      1      1      1000000      1000000      0
      ALLGEMEINER STEUERBLOCK
      2      9      1
B      7500T
999999
      LSCH-UBI      1
      7500T
      MATMSKAL      1      1      1034000      1034000
      INNENDRUCK
      &PIND&
      VEKTOR      1      1      1      7500      1
      UMRECHNEN DES INNENDRUCKES FUER PARTIALDRUECKE
      5.5425E+06T
      MATMSKAL      1      1      7500      7500
      UMRECHNEN DES INNENDRUCKES FUER SSYST
      &PIND&
      MODSTEU      1      1      1033000      1033000      0
      PARTIALDRUECKE STEUERBLOCK
      2      2      1
B      7500T
999999
      LSCH-UBI      1
      7500T
      MATMSKAL      1      1      1010000      1010000
      FAKTOR FUER STATIONAERE TEMPERATUREN
      &TEMP&
      MATMSKAL      1      1      1011000      1011000
      FAKTOR FUER STATIONAERE TEMPERATUREN
      &TEMP&
      MATMSKAL      1      1      1012000      1012000
  
```

FAKTOR FUER STATIONAERE TEMPERATUREN
 &TEMP&
 MATMSKAL 1 1 1013000 1013000
 FAKTOR FUER STATIONAERE TEMPERATUREN
 &TEMP&

C
C
C

***** REFLOS/SSYST-VARIABLEN ANPASSEN ENDE *****

SPEICHER 1 1 1 200000 1
 SPEICHERFOLGE DRUCKEN
 DR-SETZ 1
 DRUCKE 1 1 29
 100000 1008000 1009000 1010000 1011000 1012000
 1013000 1015000 1016000 1017000 1018000 1019000
 1022000 1023000 1024000 1025000 1026000 1032000
 1032100 1032200 1034000 1036000 1038000 1038400
 1038500 1040000 1040100 1040200 1040300T

***\$

SPEICHER 1 1 1 2010000 1
 SPEICHERFOLGE STATIONAERER ZUSTAND
 ZAEHL 1 21 -1
 START 1 1 2000000
 URGAP 1 1 1000000
 ZIRKOX 1 1 1000000
 STT-1D 1 1 1000000
 PIPE 1 1 1000000
 STADEF 1 1 1000000
 ZETSIM 1 1 1000000 0
 START 1 1 2010000

***\$

PIPE 1 1 1000000 -1
 STADEF 1 1 1000000 -1
 START 1 1 2010000
 ZAEHL 1
 LSCH-UBI 4
 1008000A03 1000T
 NUMKOR 1 1
 4 1
 1015000 1016000 1012000 1013000T
 1008000 1009000 1010000 1011000T
 ANFANGS RADIIEN
 ANFANGS MASCHENHOEHEN
 ANFANGS TEMPERATUREN KNOTENMITTE
 ANFANGS TEMPERATUREN OBERFLAECHE

C
C
C
C

***** ENDE DER ANPASSUNG DER COMETHE DATEN *****
 ***** 1. TRANSIENTENSCHRITT MIT STAT DATEN *****

MODSTEU 1 1 1000000 1000000 0
 ALLGEMEINER STEUERBLOCK
 2 1 3

F
999999

MODSTEU 1 1 1000000 1000000 0
 ALLGEMEINER STEUERBLOCK
 1 1 2

F
999999

URGAP 1 1 1000000
 ZIRKOX 1 1 1000000
 ZET-1D 1 1 1000000 288
 PIPE 1 1 1000000
 STADEF 1 1 1000000

C

```
C ***** AUFBEREITEN DER R E L A P DATEN *****
C ***** LAUF 1 *****
C
LSCH-UBI                2
 1017000          1024000T
REL-BIB                1          1          500000          0          18
REL-BIB                1          1          -500010          0          18
UBI-LIST
ADD                    1          1          500000          500000
  -10.
FUNKTBL                1          1          3000000          -349          0
F 500000T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
VERKUERZTRE ZEITVEKTOR
FUNKTBL                1          1          3000001          -349          0
F 500001T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
NORMIERTE LEISTUNG
FUNKTBL                1          1          3000002          -349          0
F 500002T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
MITTLERER DRUCK VOLUMEN 1
FUNKTBL                1          1          3000003          -349          0
F 500003T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
MITTLERER DRUCK VOLUMEN 2
FUNKTBL                1          1          3000004          -349          0
F 500004T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
MITTLERER DRUCK VOLUMEN 3
FUNKTBL                1          1          3000005          -349          0
F 500005T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
MITTLERER DRUCK VOLUMEN 4
FUNKTBL                1          1          3000006          -349          0
F 500006T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 1
FUNKTBL                1          1          3000007          -349          0
F 500007T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 2
FUNKTBL                1          1          3000008          -349          0
F 500008T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 3
FUNKTBL                1          1          3000009          -349          0
F 500009T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 4
FUNKTBL                1          1          3000010          -349          0
F 500011T
  -101A48          -1A50          -1A50          -1A50          -1A50          -1
A50 -1A50          -1T
ALFA VOLUMEN 1
FUNKTBL                1          1          3000011          -349          0
```

F	500012T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 2						
F	FUNKTBL	1	1	3000012	-349		0
F	500013T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 3						
F	FUNKTBL	1	1	3000013	-349		0
F	500014T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 4						
	LSCH-UBI	-1					
	4999999	999999T					
C							
C	***** LAUF 2 *****						
C							
	REL-BIB	1	1	500000	0		19
	REL-BIB	1	1	-500010	0		19
	UBI-LIST						
	ADD	1	1	500000	500000		
	-10.						
	FUNKTBL	1	1	4000000	-299		0
F	500000T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	VERKUERZTRE ZEITVEKTOR						
F	FUNKTBL	1	1	4000001	-299		0
F	500001T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	NORMIERTE LEISTUNG						
F	FUNKTBL	1	1	4000002	-299		0
F	500002T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	MITTLERER DRUCK VOLUMEN 1						
F	FUNKTBL	1	1	4000003	-299		0
F	500003T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	MITTLERER DRUCK VOLUMEN 2						
F	FUNKTBL	1	1	4000004	-299		0
F	500004T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	MITTLERER DRUCK VOLUMEN 3						
F	FUNKTBL	1	1	4000005	-299		0
F	500005T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	MITTLERER DRUCK VOLUMEN 4						
F	FUNKTBL	1	1	4000006	-299		0
F	500006T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 1						
F	FUNKTBL	1	1	4000007	-299		0
F	500007T						
A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50		-1
	-1T						
	KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 2						
F	FUNKTBL	1	1	4000008	-299		0
F	500008T						

A50	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
	-1T					
	KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 3					
	FUNKTBL	1	1	4000009	-299	0
F	500009T					
	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
A50	-1T					
	KUEHLMITTELTEMPERATUR VOLUMEN 4					
	FUNKTBL	1	1	4000010	-299	0
F	500011T					
	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 1					
	FUNKTBL	1	1	4000011	-299	0
F	500012T					
	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 2					
	FUNKTBL	1	1	4000012	-299	0
F	500013T					
	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 3					
	FUNKTBL	1	1	4000013	-299	0
F	500014T					
	-101A48	-1A50	-1A50	-1A50	-1A50	-1
A50	-1T					
	ALFA VOLUMEN 4					
	LSCH-UBI	-1				
	499999	999999T				

C
C ***** KOMBINIEREN DER DATEN *****
C

NUMKOR	1	1			
3	1				
3000000	3000001	1022000T			
1017000	1030300	1030100T			
ZEITVEKTOR BLOW-DOWN					
NORMIERTE LEISTUNGSDICHTE					
NOMINELLE LEISTUNG					
LSCH-UBI	2				
3000000	3000001T				

C
C ***** DRUCK IM KUEHLMITTEL *****
C

INTERPOL	1	1	5000002	1017000	1
1	1	1	0		
4000002T					
1T					
4000000T					
1T					
DRUCK VOL 1					
KOMBZ	1	1			
2	6000002	0	1		
3000002	5000002T				
INTERPOLATIONS-MATRIX					
HALB	1	1	6000002	7000002	1
INTERPOL	1	1	5000003	1017000	1
1	1	1	0		
4000003T					
1T					
4000000T					
1T					
DRUCK VOL 2					
KOMBZ	1	1			
2	6000003	0	1		

3000003	5000003T					
INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB	1	1	6000003	7000003	1	
INTERPOL	1	1	5000004	1017000	1	
1	1	1	0			
4000004T						
1T						
4000000T						
1T						
DRUCK VOL 3						
KOMBZ	1	1				
2	6000004	0	1			
3000004	5000004T					
INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB	1	1	6000004	7000004	1	
INTERPOL	1	1	5000005	1017000	1	
1	1	1	0			
4000005T						
1T						
4000000T						
1T						
DRUCK VOL 4						
KOMBZ	1	1				
2	6000005	0	1			
3000005	5000005T					
INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB	1	1	6000005	7000005	1	
KOMBZ	1	1				
4	1030610	0	1			
7000002A03	1T					
KUEHLMITTELDRUCK FUER RANDM						
***** TEMPERATUR IM KUEHLMITTEL *****						
INTERPOL	1	1	5000006	1017000	1	
1	1	1	0			
4000006T						
1T						
4000000T						
1T						
KMT VOL 1						
KOMBZ	1	1				
2	6000006	0	1			
3000006	5000006T					
INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB	1	1	6000006	7000006	1	
INTERPOL	1	1	5000007	1017000	1	
1	1	1	0			
4000007T						
1T						
4000000T						
1T						
KMT VOL 2						
KOMBZ	1	1				
2	6000007	0	1			
3000007	5000007T					
INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB	1	1	6000007	7000007	1	
INTERPOL	1	1	5000008	1017000	1	
1	1	1	0			
4000008T						
1T						
4000000T						
1T						
KMT VOL 3						
KOMBZ	1	1				

C
C
C

	2	6000008	0	1			
	3000008	5000008T					
	INTERPOLATIONS-MATRIX						
HALB		1	1	6000008	7000008		1
INTERPOL		1	1	5000009	1017000		1
1	1	1	0				
4000009T							
1T							
4000000T							
1T							
KMT VOL 4							
KOMBZ		1	1				
2	6000009	0	1				
3000009	5000009T						
INTERPOLATIONS-MATRIX							
HALB		1	1	6000009	7000009		1
KOMBZ		1	1				
4	1030410	0	1				
7000006A03	1T						
KUEHLMITTELTEMPERATUR FUER RANDM							
C	***** WAERMEUEBERGANGSKOEFFIZIENT INS KUEHLMITTEL *****						
C							
C							
	INTERPOL	1	1	5000010	1017000		1
	1	1	1	0			
	4000010T						
	1T						
	4000000T						
	1T						
	ALFA VOL 1						
KOMBZ		1	1				
2	6000010	0	1				
3000010	5000010T						
INTERPOLATIONS-MATRIX							
HALB		1	1	6000010	7000010		1
INTERPOL		1	1	5000011	1017000		1
1	1	1	0				
4000011T							
1T							
4000000T							
1T							
ALFA VOL 2							
KOMBZ		1	1				
2	6000011	0	1				
3000011	5000011T						
INTERPOLATIONS-MATRIX							
HALB		1	1	6000011	7000011		1
INTERPOL		1	1	5000012	1017000		1
1	1	1	0				
4000012T							
1T							
4000000T							
1T							
ALFA VOL 3							
KOMBZ		1	1				
2	6000012	0	1				
3000012	5000012T						
INTERPOLATIONS-MATRIX							
HALB		1	1	6000012	7000012		1
INTERPOL		1	1	5000013	1017000		1
1	1	1	0				
4000013T							
1T							
4000000T							
1T							
ALFA VOL 4							

```

KOMBZ          1          1
      2      6000013      0          1
3000013      5000013T
INTERPOLATIONS-MATRIX
HALB          1          1      6000013      7000013      1
KOMBZ          1          1
      4      1030510      0          1
7000010A03      1T
WAERMEUEBERGANGSKOEFFIZIENT FUER RANDM

```

C
C
C

***** AUFBEREITEN DER RANDBEDINGUNGE *****

```

LSCH-UBI          -1
2999999      8000001T
IVEKTOR          1          1          6002      3
AUFBEREITUNG VON DRUCK, TEMPERATUR, ALPHA
      6          7          6T
UGRID          1          1      -1030610      1030600      -6002
UGRID          1          1      -1030510      1030500      -6002
UGRID          1          1      -1030410      1030400      -6002
LSCH-UBI          3
1030410A02      100T
IVEKTOR          1          1          1030700      20
ZUORDNUNGSVEKTOR FUER RAND
1A19          1T
MATMSKAL          1          1      1030500      1030500
FAKTOR FUER ALPHA BLOWDOWN
&ABLO&

```

C
C
C

***** ENDE DER DATENAUFBEREITUNG *****

```

SPEICHER          1          1          1      2100000      1
SPEICHERFOLGE DRUCKEN
DR-SETZ          1
DRUCKE          1          1          29
1000000      1008000      1009000      1010000      1011000      1012000
1013000      1015000      1016000      1017000      1018000      1019000
1022000      1023000      1024000      1025000      1026000      1032000
1032100      1032200      1034000      1036000      1038000      1038400
1038500      1040000      1040100      1040200      1040300T
DR-SETZ          0
SZAHL          1
***$
SPEICHER          1          1          1      2110000      1
SPEICHERFOLGE BLOW-DOWN
ZAEHL          1          1700          -1
START          1          1      2100000
RANDM          1          1      1000000      1
URGAP          1          1      1000000
ZIRKOX          1          1      1000000
ZET-1D          1          1      1000000      288
PIPRE          1          1      1000000
STADEF          1          1      1000000
ZWERG          1          1      4000000      3
START          1          1      2110000
***$
ZWERG          1          1      4000000      -3
1300-MW
      6
1000000          1      3000000
      -1          1          0
ZEITVEKTOR
1013000          15      3000001
      14          1          -4      2000111      200.
      14          1          -4      2000121      200.
      14          1          -4      2000131      200.

```


TEMPERATUR OBERFLAECHE

1026000	5	3000002		
14	1	-4	2000114	0.
GESAMTDEHNUNG				
1034000	1	3000003		
1	10	0	-2000115	1.E+08
STABINNENDRUCK				
1019000	5	3000004		
2	1	0		
8	1			
10	1			
12	1			
15	1			

WAERMEUEBERGANGSZAHL INS KM

1036000	1	3000005
10	1	0

WAERMWUEBERGANGSZAHL SPALT

START	1	1	2110000
-------	---	---	---------

C
C
C

***** RANDBEDINGUNGEN FUER REFILL/REFLOOD *****

IVEKTOR	1	1	1	9000000	5
AXIALE POSITIONEN FUER REFLOS-RANDBEDINGUNGEN					
33	66	100	133	171T	
REFLOS	1	1	1000000	9000000	35

=>1300-MW-BEST-ESTIMATE-REFLOS-INPUT-DATEN

1653.	1653.	1.	600.	600.		
96.5	60.	49.	55.11	12624.	58.	.000328 287.2
18.19	18.4	3.86	0.0450	6		

1	1	0.004	εAFABε	εVRATε	εCCCCε	εCCMMε
	0.		3	3		

12.85	0.0001	.2	1.	65.12	2.5	3.
0.001	1000.	200	0.001	1000.	200	0.001 1000. 200 100

9.622 E-5 7.074

-1. 1.068 E-5 7.074

-1. 0.2 E-5 7.074

-1. εRPCCε 7.074

-1.	2	.6E-9	3000.	194.	920.	0.8	1000.
-----	---	-------	-------	------	------	-----	-------

19.4	0.	0.	24.4	3629.04	3629.04
27.4	3813.12	3813.12	31.4	3438.39	3438.39
43.4	2649.46	2649.46	51.4	2320.75	2320.75
58.	2097.22	2097.22	58.7	2077.5	2077.5
59.9	2555.23	2555.23	61.4	2550.85	2550.85
69.4	2419.36	2419.36	89.4	2147.62	2147.62
109.4	1946.01	1946.01	134.4	1748.78	1748.78
200.	1260.08	1260.08	800.	1260.08	1260.08

-1.	0	.2	0.	.4	1.	1.
0.6	0.25	εPMAxε	5.	287.2	55.11	230.
1	0	1	25.3	.5	εTEOREε	εDROPEε
45528.	915.	0.00265	.000285	1.	5	εREEEEε
0.	1.	.1	.0716	1.	.0666	10.
20.	.049	40.	.0436	100.	.0371	150.
200.	.0314	300.	.0288	400.	.0271	600.
800.	.0228	1000.	.0215	2000.	.0184	0.

0.2	800.
0.054	.0338
.0245	.0

-1.	1	1	6	0.10428	1.
	2	2	6	0.0432	1.
	3	3	6	0.0333	1.
	4	5	8	0.00132	0.
	6	6	7	0.02858	0.


```

WAERMEUEBERGANGSKOEFFIZIENT
INTERPOL 1 9030600 1017000 1
1 1 1 0
9000003T
1T
9000001T
1T
KUEHLMITTELDRUCK
IVEKTOR 1 1 9500000 1
AUFBEREITUNG VON DRUCK
5T
UGRID 1 1 9030600 1030600 -9500000
IVEKTOR 1 1 1030700 20
ZUORDNUNGSVEKTOR
R04 1R03 2R03 3R06 4F 5T
LSCH-UBI -1
5499999 9900000T
SPEICHER 1 1 5100000 1
SPEICHERFOLGE DRUCKEN
DR-SETZ 1
DRUCKE 1 1 28
1000000 1008000 1009000 1010000 1011000 1012000
1013000 1015000 1016000 1018000 1019000S
1022000 1023000 1024000 1025000 1026000 1032000
1032100 1032200 1034000 1036000 1038000 1038400
1038500 1040000 1040100 1040200 1040300T
DR-SETZ 0
SZAHL 1
***$
SPEICHER 1 1 5110000 1
SPEICHERFOLGE REFILL/REFLOOD
ZAEHL 1 1800 -1
START 1 1 5100000
RANDM 1 1 1000000 0
URGAP 1 1 1000000
ZIRKOX 1 1 1000000
ZET-ID 1 1 1000000 1300
PIPRE 1 1 1000000
STADEF 1 1 1000000
ZWERG 1 1 4000000 3
START 1 1 5110000
***$
START 1 1 5110000

```

```

C
C ***** SAMMELN DER ERGEBNISSE UND ABSPEICHERN IN DESI3 *****
C

```

```

MATRIX 1 1
1 3 23 4
3300001T
HILFSMATRIX FUER SAMMEL
3000001 -1 3 0S
3000001 -1 6 0S
3000001 -1 9 0S
3000001 -1 12 0S
3000001 -1 15 0S
3000001 -1 18 0S
3000001 -1 21 0S
3000001 -1 24 0S
3000001 -1 27 0S
3000001 -1 30 0S
3000001 -1 33 0S
3000001 -1 36 0S
3000001 -1 39 0S
3000001 -1 42 0S
3000001 -1 45 0S
3000002 -1 3 0S

```

3000002	-1		6		OS		
3000002	-1		9		OS		
3000002	-1		12		OS		
3000002	-1		15		OS		
3000003	-1		3		OS		
1000000	-1		1		OS		
1000000	-1		8		OT		
SAMMEL	1		1	3300001		3400001	0
BLMOD	1		1				
EINSPEICHERN DER ERGEBNISSE IN DESIGN3							
ESPILE	24	1	1	1	23	0	0
1043300T							
3400001T							
1043300T							
UBI-TAPE	1		36				
1043300T							

C
C
C

***** DRUCKEN DES LETZTEN ZEITSCHRITTS *****

DR-SETZ	1					
DRUCKE	1		1		30	
1000000	1008000		1009000		1010000	1012000
1013000	1015000		1016000		1018000	1019000S
1022000	1023000		1024000		1025000	1026000S
1032000S						
1032100	1032200		1034000		1036000	1038000
1038500	1040000		1040100		1040200	1040300
1043300T						3400001

*** VARIO 1 1 2500000 0 1043300
 ESPILE=80
 EVARIEND
 UBI-LIST

Anhang B

Liste der verwendeten Moduln

PROJECT: SHU

MEMBER: AB

DAT

LIBRARY: S

LEVEL: 01.03

TIM

TYPE: SPIL

USERID: SHU

PAG

START

COL

4 DR-SETZ
4 GENSTEU
4 MATRIX
4 MISCH-UBI
4 IVEKTOR
4 SPEICHER
4 MODTAB
4 LSCH-UBI
4 NUMKOR
4 UGRID
4 MATMSKAL
4 FUNKTBL
4 KOMBZ
4 VEKTOR
4 WERBL
4 MATMAL
4 MODSTEU
4 DRUCKE
4 SZAHL
4 ZAEHL
4 START
4 URGAP
4 ZIRKOX
4 STT-1D
4 PIPRE
4 STADEF
4 ZETSIM
4 ZET-1D
4 REL-BIB
4 UBI-LIST
4 ADD

4 INTERPOL
4 HALB
4 RANDM
4 ZWERG
4 REFLOS
4 KOMBSP
4 SAMMEL
4 BLMOD
4 UBI-TAPE
4 VARIO

Anhang C

Liste der für die probabilistischen Untersuchungen berücksichtigten
unabhängigen Einflußgrößen

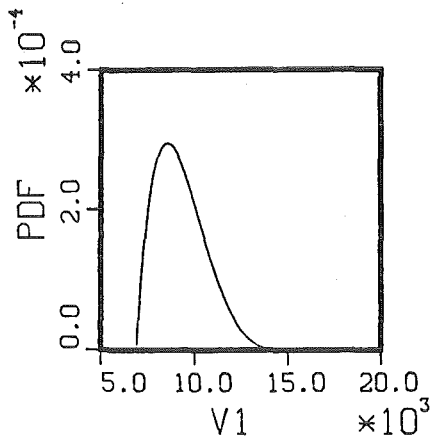
DEFINITION DER BETA-VERTEILUNG

$$G(X)=1/B(P,Q)*((X-XMIN)**(P-1)*(XMAX-X)**(Q-1)/((XMAX-XMIN)**(P+Q+1)))$$

$$B(P,Q)=(GAMMA(P)*GAMMA(Q))/(GAMMA(P+Q))$$

G: DICHTEFUNKTION DER BETA-VERTEILUNG

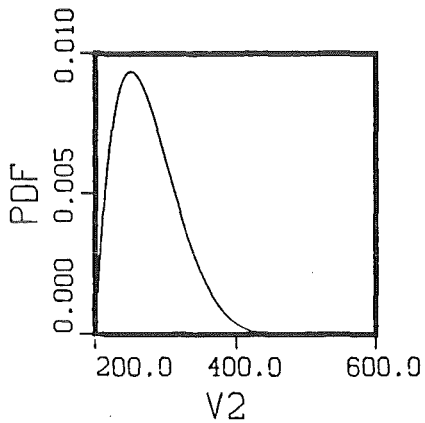
GAMMA: GAMMA-FUNKTION



HEISSSTELLENLEISTUNG

P= 2.0 , Q= 5.0

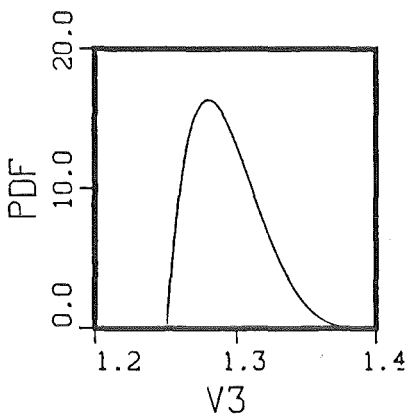
XMIN= 6893.000 , XMAX= 15227.000



QUENCHKRITERIUM

P= 2.0 , Q= 6.0

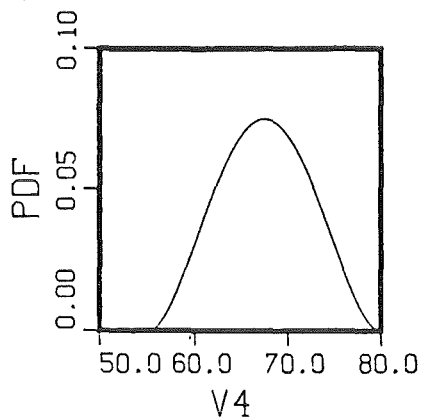
XMIN= 200.000 , XMAX= 500.000



RADIALER LEISTUNGSFAKTOR

P= 2.0 , Q= 5.0

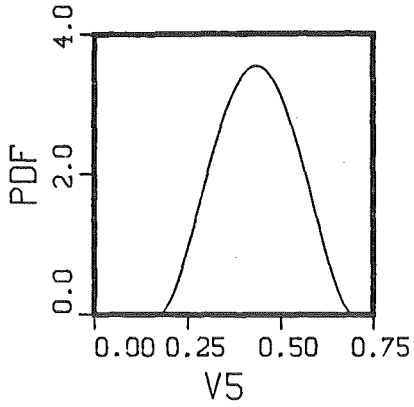
XMIN= 1.250 , XMAX= 1.400



KERNFLAECHE IN DIE WASSER ZURUECKFAELL

P= 3.0 , Q= 3.0

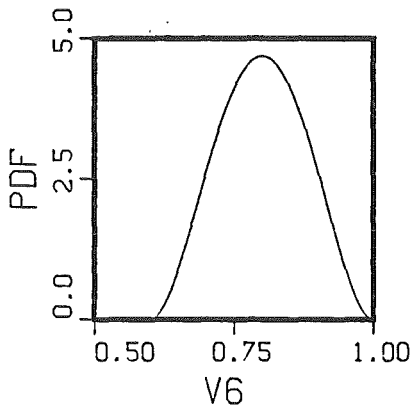
XMIN= 55.000 , XMAX= 80.000



GSCHW. VERHAELTNIS WASSER/DAMPF

P= 3.0 , Q= 3.0

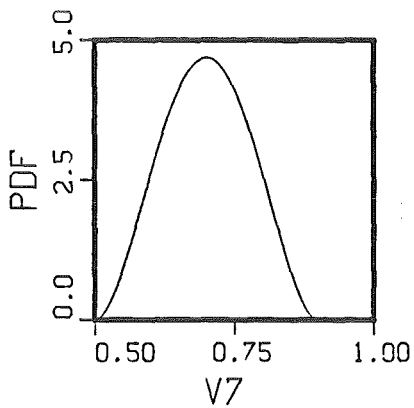
XMIN= 0.170 , XMAX= 0.700



GEGENSTROMBEZIEHUNG, KONSTANTE

P= 3.0 , Q= 3.0

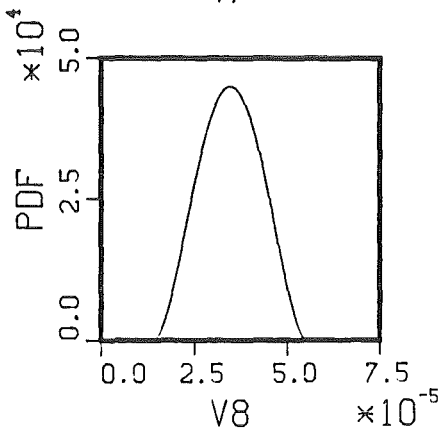
XMIN= 0.600 , XMAX= 1.000



GEGENSTROMBEZIEHUNG, KONSTANTE

P= 3.0 , Q= 3.0

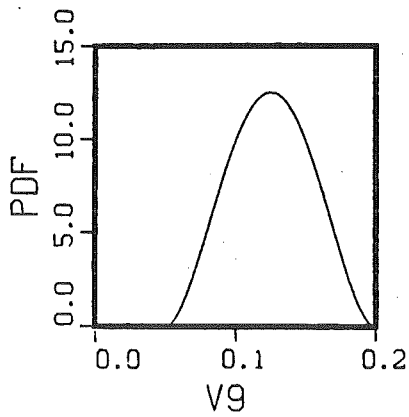
XMIN= 0.500 , XMAX= 0.900



WIDERSTAND IM KERN

P= 3.0 , Q= 3.0

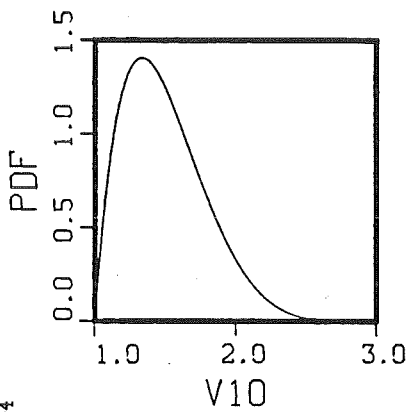
XMIN= 1.39E-05, XMAX= 5.56E-05



TROEPFCHENANTEIL IN DER STROEMUNG

P= 3.0 , Q= 3.0

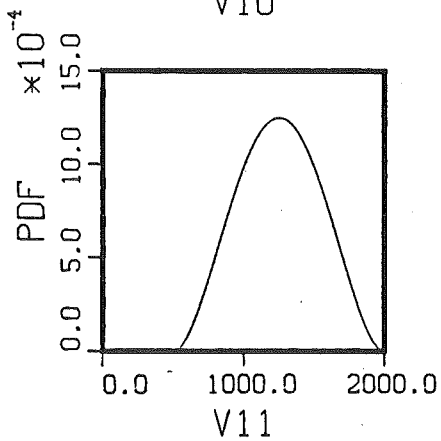
XMIN= 0.050 , XMAX= 0.200



DISPERSED FLOW KOEFFIZIENT

P= 2.0 , Q= 6.0

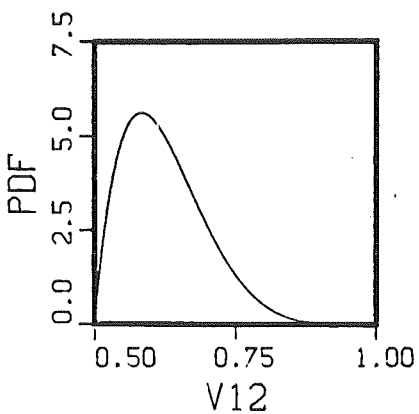
XMIN= 1.000 , XMAX= 3.000



SPALTWAERMEUEBERGANGSKOEFFIZIENT

P= 3.0 , Q= 3.0

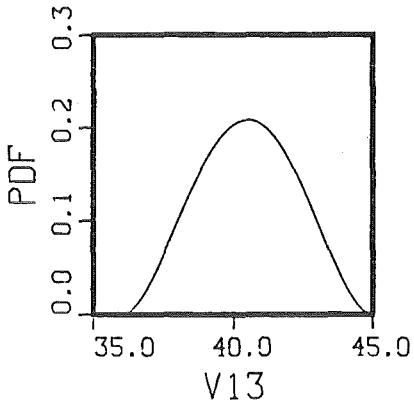
XMIN= 500.000 , XMAX= 2000.000



CROSSFLOWFAKTOR

P= 2.0 , Q= 6.0

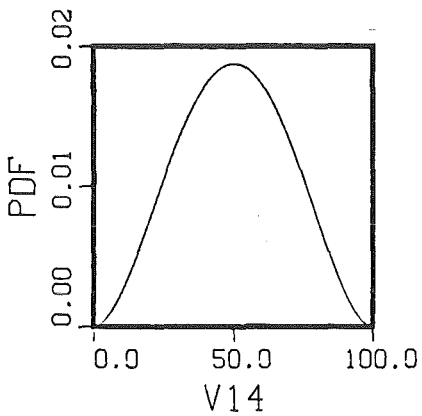
XMIN= 0.500 , XMAX= 1.000



END OF REFILL

P= 3.0 , Q= 3.0

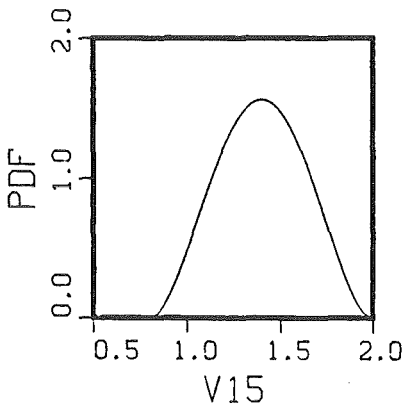
XMIN= 36.000 , XMAX= 45.000



FAKTOR FUER DIE DEHNGESCHWINDIGKEIT

P= 3.0 , Q= 3.0

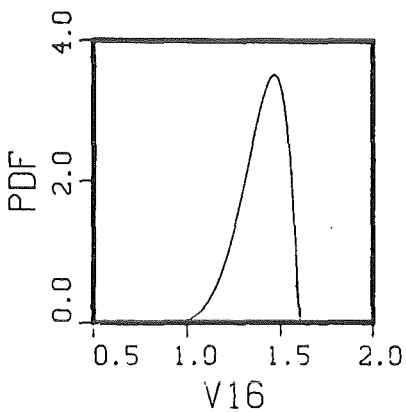
XMIN= 0.000 , XMAX= 100.000



STATIONAERES ALPHA-GAP (FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

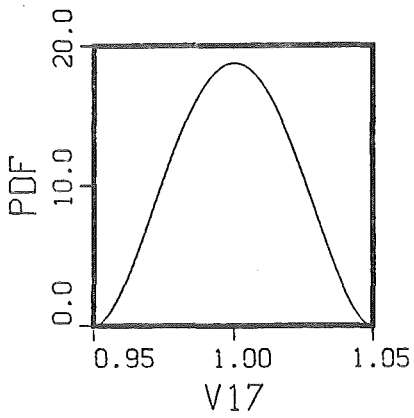
XMIN= 0.800 , XMAX= 2.000



INNENDRUCK (FAKTOR)

P= 6.0 , Q= 2.0

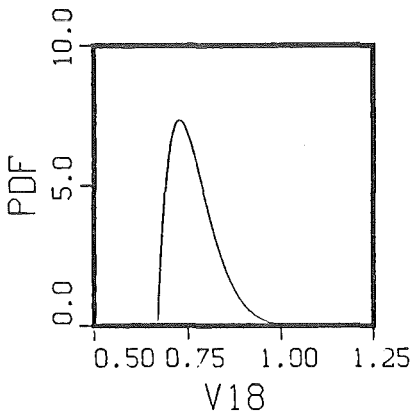
XMIN= 0.800 , XMAX= 1.600



STATIONAERE TEMPERATUREN(FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

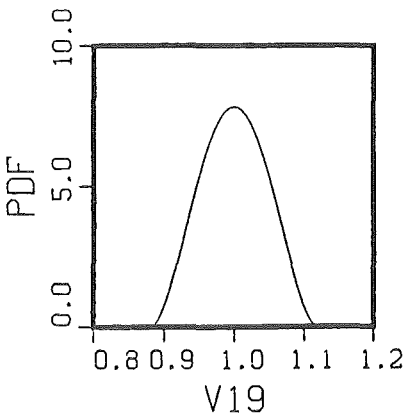
XMIN= 0.950 , XMAX= 1.050



ALPHA-BLOWDOWN(FAKTOR)

P= 2.0 , Q= 9.0

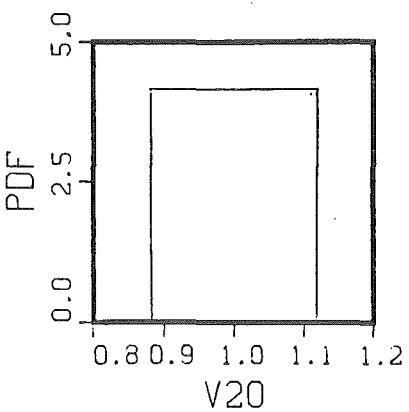
XMIN= 0.669 , XMAX= 1.200



LAMBDA UO2(FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

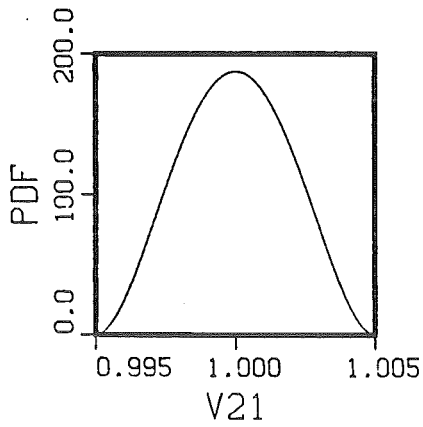
XMIN= 0.880 , XMAX= 1.120



LAMBDA SPALIGAS(FAKTOR)

P= 1.0 , Q= 1.0

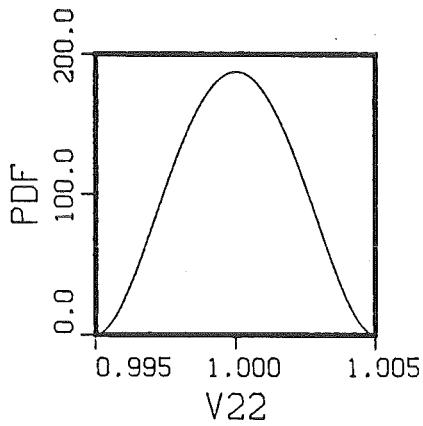
XMIN= 0.880 , XMAX= 1.120



PELLETRADIUS(FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

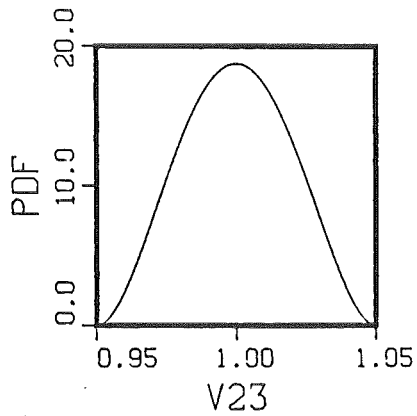
XMIN= 0.995 , XMAX= 1.005



INNENRADIUS(FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

XMIN= 0.995 , XMAX= 1.005



AUSSENRADIUS(FAKTOR)

P= 3.0 , Q= 3.0

XMIN= 0.950 , XMAX= 1.050

Anhang D

1. RELAP4/MOD6 Code-Modifikationen
2. Primärsystem - Eingabemodell
3. Eingabe für RELAP4-Edit-Lauf

Anhang D1

RELAP4/MOD6 Code-Modifikationen

```
//NNNNNNXX JOB (MMMM, KKK, P PPP), NAME, NOTIFY=NNNNNN, MSGCLASS=H
// EXEC PGM=UPD
//STEPLIB DD DISP=SHR, DSN=NNNNNN.RELAP4.L
//FT06F001 DD UNIT=DISK, VOL=SER=TTTTTT, DISP=(,CATLG),
// SPACE=(TRK,10,RLSE), DSN=NNNNNN.SSYST.MOD
//FT04F001 DD DSN=NNNNNN.RELAP4.SOURCE, DISP=SHR
//FT07F001 DD DSN=&&COMP, DISP=(,PASS), UNIT=SYSDA
//FT08F001 DD DUMMY
//FT05F001 DD *
$LOCATE MAIN F
$NLOCAL MAIN4940
    IF (NCASE .GT. 0) GO TO 10
    IF (LAST) END FILE 17
    WRITE (6,660)
    660 FORMAT (1H1, ' END OF SSYST FILE')
$LOCATE CHEK F
$NLOCAL CHEK0620
    DATA IPLOT/4HPLOT/
$DELETE CHEK0650
$LOCATE EDED F
$NLOCAL EDED0758
C
C    WRITE TITLE AND MINOR EDIT HEADINGS ON SSYST FILE
C
    IF (MINC) GO TO 5
    WRITE(17) (ITITLE(I), I=1,24)
    WRITE(17) (IFLT, ((IHIN(I,J), J=1,6), I=1,IFLT))
    5 CONTINUE
C
$DELETE EDED19201930
$NLOCAL EDED1942
C
C    WRITE MINOR EDIT DATA ON SSYST FILE
C
    WRITE ( 17 ) JXX
    WRITE ( 17 ) ((FOUT(J,I), J=1,IJK), I=1,JXX)
    DO 300 I=1,JXX
    DO 300 J=1,10
    300 FOUT(J,I) = 0.0
C
$LOCATE PRIN F
$NLOCAL PRIN0830
C
C    WRITE MRKEND ON SSYST FILE
C
    MRKEND =99999999
    WRITE ( 17 ) MRKEND
//
```

1			
0	\$LOCATE MAIN F		
	\$NLOCAL MAIN4940		
	IF (NCASE .GT. 0) GO TO 10	MAIN4942	INSERTED
	IF (LAST) END FILE 17	MAIN4944	INSERTED
	WRITE (6,660)	MAIN4946	INSERTED
	660 FORMAT (1H1, ' END OF SSYST FILE')	MAIN4948	INSERTED
	\$LOCATE CHEK F		
	GO TO 10	MAIN4945	IS NOW MAIN4950
	C	MAIN4950	IS NOW MAIN4952
	\$NLOCAL CHEK0620		
	DATA IPLOT/4HPLOT/	CHEK0622	INSERTED
	\$DELETE CHEK0650		
	IPLOT = ISAVE(1)	CHEK0650	DELETED
	\$LOCATE EDED F		
	\$NLOCAL EDED0758		
	C	EDED0760	INSERTED
	C WRITE TITLE AND MINOR EDIT HEADINGS ON SSYST FILE	EDED0762	INSERTED
	C	EDED0764	INSERTED
	IF (MINC) GO TO 5	EDED0766	INSERTED
	WRITE(17) (ITITLE(1), I=1,24)	EDED0768	INSERTED
	WRITE(17) (IFLT, ((IHIN(1,J), J=1,6), I=1, IFLT))	EDED0770	INSERTED
	5 CONTINUE	EDED0772	INSERTED
	C	EDED0774	INSERTED
	\$DELETE EDED19201930		
	C	EDED0760	IS NOW EDED0776
	DATA SUBR/4HEDED/	EDED0761	IS NOW EDED0778
	C	EDED0762	IS NOW EDED0780
	CALL DBGS(SUBR)	EDED0763	IS NOW EDED0782
	C	EDED0764	IS NOW EDED0784
	IES12=1	EDED0765	IS NOW EDED0786
	IF(IUNITS.EQ.2.OR.IUNITS.EQ.4)IES12=2	EDED0766	IS NOW EDED0788
	IF ((IES12.EQ.2) .AND. (MINC.OR.MAJC.OR.ENDC))	EDED0767	IS NOW EDED0790
	1 CALL SICNVT (NVOL,NJUN,NSLB,SAVE)	EDED0768	IS NOW EDED0792
	C	EDED0770	IS NOW EDED0794
	10 IF (MINC.OR.ENDC) GO TO 200	EDED0772	IS NOW EDED0796
	20 IF (MAJC.OR.ENDC) GO TO 100	EDED0780	IS NOW EDED0798
	30 RETURN	EDED0790	IS NOW EDED0800
	C	EDED0800	IS NOW EDED0802
	DO 280 J=1,10	EDED1920	DELETED
	280 FOUT(J,1) = 0.0	EDED1930	DELETED
	\$NLOCAL EDED1942		
	C	EDED1942	INSERTED
	C WRITE MINOR EDIT DATA ON SSYST FILE	EDED1944	INSERTED
	C	EDED1946	INSERTED
	WRITE (17) JXX	EDED1948	INSERTED
	WRITE (17) ((FOUT(J,1),J=1,IJK),I=1,JXX)	EDED1950	INSERTED
	DO 300 I=1,JXX	EDED1952	INSERTED
	DO 300 J=1,10	EDED1954	INSERTED
	300 FOUT(J,1) = 0.0	EDED1956	INSERTED
	C	EDED1958	INSERTED
	\$LOCATE PRIN F		
	JXX = 0	EDED1950	IS NOW EDED1960
	GO TO 20	EDED1960	IS NOW EDED1962
	\$NLOCAL PRIN0830		

FLOS FRIC FTXP GAMM GETM
 GLOC GRIF GTON GVIS HEAD
 HNCV HSAR HSFA HSIN HSUA
 HTRC HTS1 HTS2 HTS3 HTS4
 HTXQ ICTR INAC INBR INBU
 INCK INCO INDL INDW INEC
 INED INEM INEN INFI INFL
 INGE INHE INHP INHT INIC
 INIT INJ1 INJ2 INLE INLV
 INMA INMI INMO INMP INNR
 INPL INPM INPO INPU INRC
 INRE INRF INRH INRK INSC
 INSL INSP INSM INST INTR
 INTS INTV INVO INVS INWA
 INWP INWS IPMC IZER KINI
 LEAK LEVC LZER MACH MH2E
 MWRI MWRO MH2O MWRO MIXF
 MOVS MQFR NIFT NIFD NIFG
 NIFL PCHF PINI PLNT PLNE
 PLTA POLA POLX POL2 PORO
 POSI POSW PRES PREW PRIN
 PRSW PULL PUMP PUMS PWRM
 PWRT QDOT QRAD RCDN REAC
 REFR RERC REST RETR RETS
 REYF RFCE RFCM RFCP RFCT
 RFDF RFEF RFEM RFEZ RFFE
 RFFP RFFR RFFT RFFX RFGA
 RFGT RFMA RFPR RFTK RKEN
 RND0 SCRMM SENG SENS SHFT
 SICN SINI SLAB SLPE SLIP
 SMOT SOLV SPRA SRD1 SRD2
 SRD3 SRD4 SRD5 SRD6 SRD7
 SRD8 SRD9 STAG STAR SMOO
 STAT STH1 STH0 STH1 STH3
 STH4 STH5 STWL SUPF SUPG
 SUPH SURT SWEL TAVE TCON
 TEMP TEMZ TFFM TKAN TKRA
 TRAN TRAW TRDA TRIP TRPP
 TRMM TSPI TSPR TSTM TSTP

FLOS FRIC FTXP GAMM GETM
 GLOC GRIF GTON GVIS HEAD
 HNCV HSAR HSFA HSIN HSUA
 HTRC HTS1 HTS2 HTS3 HTS4
 HTXQ ICTR INAC INBR INBU
 INCK INCO INDL INDW INEC
 INED INEM INEN INFI INFL
 INGE INHE INHP INHT INIC
 INIT INJ1 INJ2 INLE INLV
 INMA INMI INMO INMP INNR
 INPL INPM INPO INPU INRC
 INRE INRF INRH INRK INSC
 INSL INSP INSM INST INTR
 INTS INTV INVO INVS INWA
 INWP INWS IPMC IZER KINI
 LEAK LEVC LZER MACH MH2E
 MWRI MWRO MH2O MWRO MIXF
 MOVS MQFR NIFT NIFD NIFG
 NIFL PCHF PINI PLNT PLNE
 PLTA POLA POLX POL2 PORO
 POSI POSW PRES PREW PRIN
 PRSW PULL PUMP PUMS PWRM
 PWRT QDOT QRAD RCDN REAC
 REFR RERC REST RETR RETS
 REYF RFCE RFCM RFCP RFCT
 RFDF RFEF RFEM RFEZ RFFE
 RFFP RFFR RFFT RFFX RFGA
 RFGT RFMA RFPR RFTK RKEN
 RND0 SCRMM SENG SENS SHFT
 SICN SINI SLAB SLPE SLIP
 SMOT SOLV SPRA SRD1 SRD2
 SRD3 SRD4 SRD5 SRD6 SRD7
 SRD8 SRD9 STAG STAR SMOO
 STAT STH1 STH0 STH1 STH3
 STH4 STH5 STWL SUPF SUPG
 SUPH SURT SWEL TAVE TCON
 TEMP TEMZ TFFM TKAN TKRA
 TRAN TRAW TRDA TRIP TRPP
 TRMM TSPI TSPR TSTM TSTP

0
 1
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0
 0

TWFI TWQW VAPE VAPO VENT
 VGNT VISA VSLP VISC WPAC
 WALS WILS XENT ZCLK ZQUE
 ZTED
 CONTENTS = 66829 CARDS
 ADDITIONS = 27 CARDS

TWFI TWQW VAPE VAPO VENT
 VGNT VISA VSLP VISC WPAC
 WALS WILS XENT ZCLK ZQUE
 ZTED
 CONTENTS = 66853 CARDS
 DELETIONS = 3 CARDS

CONTENTS = 2451 CARDS
 SEQ ERRORS = 0

UPD 02/26/85 PAGE 3
 UPD 02/26/85 PAGE 4

Anhang D2

Primärsystem - Eingabemodell

30010 1 1 0 1 0.0001 0.0 0.00015 5000. *
30020 10 10 2 0 0.01 0.00005 100. *

*

***** TRIP CONTROLS *****

*

IDTRP	IDSIG	IX1	IX2	SETPT	DELAY	
40010	1	1	0	40.	0.	* END OF PROBLEM
40020	2	1	0	10.	0.	* LEAK TO OPEN
40030	3	1	0	10.	0.	* REACTOR TO SCRAM
40040	4	1	0	10.85	0.	* PUMPS TO SHUT OFF
40050	5	1	0	10.	0.	* VALVE 18 TO CLOSE
40060	6	-7	8	10.	0.	* HEAT EXCHANGER DATA TO USE
40070	7	-4	25	377.	0.1	* VALVE 39 TO OPEN
40080	8	-4	11	377.	0.1	* VALVE 41 TO OPEN
40090	9	-4	6	377.	0.1	* VALVES 43, 45 TO OPEN

*

***** VOLUME DATA *****

*

IBUB	IREAD	PRES	TEMP	HORX	V	
050011	0	0	2287.25	550.39	-1.	281.10 *
050021	0	0	2280.43	566.10	-1.	236.60 *
050031	0	0	2272.69	586.64	-1.	236.60 *
050041	0	0	2265.20	599.89	-1.	278.98 *
050051	0	0	2277.10	545.06	-1.	557.97 *
050061	0	0	2255.34	604.22	-1.	1350.43 *
050071	2	0	2239.40	604.17	-1.	215.42 *
050081	2	0	2214.15	544.96	-1.	211.88 *
050091	2	0	2239.40	604.17	-1.	646.25 *
050101	2	0	2214.15	544.96	-1.	635.66 *
050111	0	0	2293.77	545.04	-1.	271.92 *
050121	0	0	2294.50	545.05	-1.	932.30 *
050131	0	0	2295.08	545.05	-1.	1031.18 *
050141	2	0	2240.84	-620.0	0.	2295.45 *
050151	2	0	2253.16	545.05	-1.	812.23 *
050161	0	0	2231.69	594.00	-1.	169.51 *
050171	0	0	2221.54	575.00	-1.	169.51 *
050181	0	0	2215.45	561.00	-1.	169.51 *
050191	0	0	2213.86	551.00	-1.	169.51 *
050201	0	0	2231.69	594.00	-1.	508.53 *
050211	0	0	2221.54	575.00	-1.	508.53 *
050221	0	0	2215.45	561.00	-1.	508.53 *
050231	0	0	2213.86	551.00	-1.	508.53 *
050241	0	0	2248.09	604.21	-1.	151.85 *
050251	0	0	2305.38	545.04	-1.	141.96 *
050261	0	0	2214.14	545.00	-1.	275.10 *
050271	0	0	2257.37	545.02	-1.	52.97 *
050281	0	0	2257.37	545.02	-1.	158.91 *
050291	0	0	2304.65	545.04	-1.	638.84 *
050301	0	0	2303.49	545.04	-1.	70.98 *
050311	0	0	2248.09	604.21	-1.	455.55 *
050321	0	0	2214.14	545.00	-1.	825.30 *
050331	1	0	377.1	86.00	0.	2118.9 *
050341	1	0	377.1	86.00	0.	4237.8 *
050351	0	0	377.1	86.00	-1.	54.08 *
050361	0	0	377.1	86.00	-1.	108.16 *
050371	0	0	377.1	86.00	-1.	54.08 *

050381	0	0	377.1	86.00	-1.	108.16	*

	ZVOL	ZM	JTPMV	FLOWA	DIAMV	ELEV	IAMBLO
050012	3.97	3.97	0	60.27	.0426	-19.88	13 *
050022	3.97	3.97	0	60.27	.0426	-15.91	1 *
050032	3.97	3.97	0	60.27	.0426	-11.94	2 *
050042	3.97	3.97	0	60.27	.0426	-7.97	3 *
050052	15.88	15.88	0	35.19	1.640	-19.88	13 *
050062	9.84	9.84	0	64.58	5.249	-4.00	4 *
050072	8.85	8.85	0	21.52	6.561	0.	*
050082	8.85	8.85	0	30.14	9.186	0.	*
050092	8.85	8.85	0	64.58	6.561	0.	*
050102	8.85	8.85	0	90.41	9.186	0.	*
050112	9.84	9.84	0	32.29	2.624	-4.00	12 *
050122	18.70	18.7	0	51.66	2.099	-22.70	13 *
050132	9.84	9.84	0	91.49	6.561	-29.72	*
050142	52.49	32.0	0	64.58	9.186	0.	24 *
050152	6.89	6.89	0	118.40	6.561	5.84	*
050162	12.79	12.79	0	12.91	.0656	8.85	*
050172	12.79	12.79	0	12.91	.0656	21.64	*
050182	12.79	12.79	0	12.91	.0656	21.64	*
050192	12.79	12.79	0	12.91	.0656	8.85	*
050202	12.79	12.79	0	38.75	.0656	8.85	*
050212	12.79	12.79	0	38.75	.0656	21.64	*
050222	12.79	12.79	0	38.75	.0656	21.64	*
050232	12.79	12.79	0	38.75	.0656	8.85	*
050242	2.62	2.62	0	5.38	2.624	-1.31	*
050252	2.62	2.62	0	5.38	2.624	-1.31	*
050262	19.99	19.99	0	5.38	2.624	-18.68	*
050272	5.25	5.25	0	5.38	2.624	-1.31	*
050282	5.25	5.25	0	16.14	2.624	-1.31	*
050292	2.62	2.62	0	16.14	2.624	-1.31	*
050302	2.62	2.62	0	5.38	2.624	-1.31	*
050312	2.62	2.62	0	16.14	2.624	-1.31	*
050322	19.99	19.99	0	16.14	2.624	-18.68	*
050332	38.0	25.33	0	55.757	8.427	30.44	*
050342	38.0	25.33	0	111.514	8.427	30.44	*
050352	31.75	31.75	0	.4092	.7218	-1.31	*
050362	31.75	31.75	0	.8184	.7218	-1.31	*
050372	31.75	31.75	0	.4092	.7218	-1.31	*
050382	31.75	31.75	0	.8184	.7218	-1.31	*

***** LIQUID LEVEL VOLUME CALCULATION *****

ILVC(1) ...

060000 13 1 2 3 4 6 *

***** DOWNCOMER PENETRATION, NO LOWER PLENUM ENTRAINMENT *****

ICL ILP IBC ID JCLP JDLP JCLD IX TPRES DH CCF

060004 11 13 1 12 1 21 20 2 72.5 2.099 0.6*

***** ACCUMULATOR POLYTROPIC AIR EXPANSION MODEL DATA *****

*
* POLY VOLUMES ...
*

060006 1.4 33 34 *

***** BUBBLE DATA *****

* ALPH VBUB
*

060011 .8 -2. * COMPLETE PHASE SEPARATION
060021 .8 -1. * WILSON BUBBLE RISE MODEL
*

***** JUNCTION DATA *****

* IW1 IW2 IPUMP IVALVE WP AJUN ZJUN INERTIA FJUNF FJUNR
*

080011	13	1	0	0	41875.	60.27	-19.88	0.	0.	0.	*
080021	1	2	0	0	41875.	60.27	-15.91	0.	0.	0.	*
080031	2	3	0	0	41875.	60.27	-11.94	0.	0.	0.	*
080041	3	4	0	0	41875.	60.27	-7.97	0.	0.	0.	*
080051	4	6	0	0	41875.	60.27	-4.00	0.	0.	0.	*
080061	13	5	0	0	1675.	35.19	-19.88	0.	0.	0.	*
080071	5	6	0	0	1675.	35.19	-4.00	0.	0.	0.	*
080081	6	24	0	0	11023.	5.38	.0	0.	0.	0.	*
080091	24	7	0	0	11023.	5.38	.0	0.	0.	0.	*
080101	7	16	0	0	11023.	12.91	8.85	0.	0.	0.	*
080111	16	17	0	0	11023.	12.91	21.64	0.	0.	0.	*
080121	17	18	0	0	11023.	12.91	34.43	0.	0.	0.	*
080131	18	19	0	0	11023.	12.91	21.64	0.	0.	0.	*
080141	19	8	0	0	11023.	12.91	8.85	0.	0.	0.	*
080151	8	26	0	0	11023.	5.38	0.	0.	0.	0.	*
080161	26	27	-1	0	11023.	5.38	0.	0.	0.	0.	*
080171	27	25	1	0	11023.	5.38	0.	0.	0.	0.	*
080181	25	30	0	1	11023.	5.38	0.	0.	0.	0.	*
080191	30	11	0	0	11023.	5.38	0.	0.	0.	0.	*
080201	11	12	0	0	43550.	32.29	-4.00	0.	0.	0.	*
080211	12	13	0	0	43550.	51.66	-22.70	0.	0.	0.	*
080221	14	24	0	0	0.	1.03	0.	0.	25.	25.	*
080231	11	15	0	0	529.	.53	5.84	0.	0.	0.	*
080241	15	6	0	0	529.	64.58	5.84	0.	0.	0.	*
080251	6	31	0	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080261	31	9	0	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080271	9	20	0	0	33069.	38.75	8.85	0.	0.	0.	*
080281	20	21	0	0	33069.	38.75	21.64	0.	0.	0.	*
080291	21	22	0	0	33069.	38.75	34.43	0.	0.	0.	*
080301	22	23	0	0	33069.	38.75	21.64	0.	0.	0.	*
080311	23	10	0	0	33069.	38.75	8.85	0.	0.	0.	*
080321	10	32	0	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080331	32	28	-2	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080341	28	29	2	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080351	29	11	0	0	33069.	16.14	0.	0.	0.	0.	*
080361	25	0	1	0	0.	1.79	0.	0.	0.1	1.	*
080371	30	0	1	0	0.	5.38	0.	0.	0.1	1.	*
080381	33	35	0	0	0.	.4092	30.44	.0	10.4	10.4	*
080391	35	25	0	2	0.	.4092	0.	.0	10.7	10.7	*
080401	34	36	0	0	0.	.8184	30.44	.0	10.4	10.4	*

080411	36	11	0	3	0.	.8184	0.	.0	10.7	10.7	*
080421	33	37	0	0	0.	.4092	30.44	.0	10.4	10.4	*
080431	37	6	0	4	0.	.4092	0.	.0	10.7	10.7	*
080441	34	38	0	0	0.	.8184	30.44	.0	10.4	10.4	*
080451	38	6	0	4	0.	.8184	0.	.0	10.7	10.7	*

*

*

+++++

*

*JVERTL JCHOKE JCALCI MVMIX DIAMJ CONCO ICHOKE IHQCOR SRCOS IFLOODIADJU

*

080012	2	1	3	03	.0426	1.	12	2			*
080022	2	1	3	03	.0426	1.	12	3			*
080032	2	1	3	03	.0426	1.	12	3			*
080042	2	1	3	03	.0426	1.	12	3			*
080052	2	1	3	03	.0426	1.	12	1			*
080062	2	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080072	2	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080082	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080092	1	1	3	03	0.	1.	12	0	-1.		*
080102	2	1	3	03	.0656	1.	12	2	-1.		*
080112	2	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080122	1	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080132	2	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080142	2	1	3	03	.0656	1.	12	1	1.		*
080152	1	1	3	03	0.	1.	12	0	1.		*
080162	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080172	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080182	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080192	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080202	2	1	3	03	0.	1.	12	0	1.		*
080212	2	1	3	03	0.	1.	12	0	1.		*
080222	1	1	2	3	0.	1.	12	0	-1.		*
080232	2	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080242	2	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080252	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080262	1	1	3	03	0.	1.	12	0	-1.		*
080272	2	1	3	03	.0656	1.	12	2	-1.		*
080282	2	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080292	1	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080302	2	1	3	03	.0656	1.	12	3			*
080312	2	1	3	03	.0656	1.	12	1	1.		*
080322	1	1	3	03	0.	1.	12	0	1.		*
080332	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080342	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080352	1	1	3	03	0.	1.	12	0			*
080362	1	1	2	03	0.	1.	12	0			*
080372	1	1	2	03	0.	1.	12	0			*
080382	2	1	2	03	.7218	1.	12	0			*
080392	2	1	2	3	.7218	1.	12	0			*
080402	2	1	2	03	.7218	1.	12	0			*
080412	2	1	2	3	.7218	1.	12	0			*
080422	2	1	2	03	.7218	1.	12	0			*
080432	2	1	2	3	.7218	1.	12	0			*
080442	2	1	2	03	.7218	1.	12	0			*
080452	2	1	2	3	.7218	1.	12	0			*

*

***** PUMP DESCRIPTION DATA *****

```

*
* IPC ITPUMP IRP IPM IMT POMGAR PSRAT PFLOWR PHEADR
*
090011 3 4 0 0 0 1493.0 0.998 10.48D+04 305.0*
090021 3 4 0 0 0 1493.0 0.998 31.44D+04 305.0*
*
* ++++++
*
* TORKR PINRTA VRHOI TORKF TORKMR TORKF(1) TORKF(2) TORKF(4)
*
090012 31250.0 69200.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 *
090022 93750.0 207600.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 *
*
***** PUMP CURVE INPUT INDICATORS *****
*
* NC(1) NC(2) NC(3) NC(4)
*
100000 0 4 8 0 *
*
***** PUMP HEAD AND TORQUE DATA *****
*
* IT IC N PHEAD(1) OR PTORK(1) PHEAD(2) OR PTORK(2)...
*
102010 1 1 -2 0.06 1.0E-7 1.0 1.0E-7 *
102020 1 2 -6 0.01 1.0E-7 0.980 1.0E-7 *
102021 .981 .9976 .9995 .9976 .9996 1.E-9 .9997 1.E-9*
102030 2 1 -2 0.06 1.17 1.0 1.0 *
102040 2 2 -2 0.001 -1.5 0.918 0.738 *
* OKTANT 1 **
103010 1 1 -4 .0 1.88 0.375 1.31 0.75 1.22 1.0 1.0 *
* OKTANT 2 **
103020 1 2 -4 .0 -1.52 0.375 -0.68 0.75 0.24 1.0 1.0 *
* OKTANT 3 **
103030 1 3 -4 -1.0 5.27 -0.75 3.77 -0.375 2.63 .0 1.88*
* OKTANT 4 **
103040 1 4 -4 -1.0 -2.72 -0.75 -2.32 -0.375 -2.02 .0 -1.52*
* OKTANT 1 **
103050 2 1 -4 .0 1.42 0.375 1.0 0.75 1.02 1.0 1.0 *
* OKTANT 2 **
103060 2 2 -4 .0 -1.45 0.375 -0.39 0.75 0.44 1.0 1.0 *
* OKTANT 3 **
103070 2 3 -4 -1.0 -4.44 -0.75 -3.11 -0.375 -1.94 .0 -1.40*
* OKTANT 4 **
103080 2 4 -4 -1.0 4.40 -0.75 3.92 -0.375 3.27 .0 2.17*
*
***** VALVE DATA *****
*
* ITCV IACV LATCH PCV CV1 CV2 CV3
*
110010 5 0 0 0. 0. 0. 0. 0 *
110020 -7 0 0 0. 0. 0. 0. 0 *
110030 -8 0 0 0. 0. 0. 0. 0 *
110040 -9 0 0 0. 0. 0. 0. 0 *
*
***** LEAK TABLES *****
*
* NAREA ITLEAK SINK TAREA(1) ...

```

```

*
120100  7  2  58.          *
120101  0.    0.  2.E-4  .365  4.E-4  .5164  6.E-4  .7  8.E-4  .85 *
120102  1.E-3  1.  1.E+3  1.*
*

```

***** KINETICS CONSTANTS *****

```

*
*      NODEL KMUL BOVL RHOIN UDUF PROMPT LAMDA TAU
*

```

```

140000  0  0  0.0  0.0*
*

```

***** SCRAM TABLE - ANS STANDARD MULTIPLIKATOR: 1.2 *****

```

*
*      NSCR ITSCRM TSCR(1) TSCR(2) ...
*

```

```

141000  16 3  0.    1.0    0.1  1.000  0.2  0.860  0.3  0.620 *
141001      0.4  0.340  0.5  0.245  0.6  0.180  0.7  0.135 *
141002      0.8  0.100  0.9  0.092  1.0  0.084  2.0  0.071 *
141003      5.0  0.065  10.0  0.060  20.0  0.050  50.0  0.040 *
*

```

***** HEAT TRANSFER SUFACE *****

```

*
*      NSUR IMSS IQTB IQFB
*

```

```

150000  -1  0  0  2 *
*

```

***** HEAT SLAB DATA *****

```

*
*      IVSL IVSR IGOM ISB IXLO IMCL IMCR AHTL AHTR VOLS
*

```

```

150011  0  1  1  0  0  2  2  0.  11400.  100.6982 *
150021  0  2  1  1  0  2  2  0.  20000.  176.6592 *
150031  0  3  1  1  0  2  2  0.  20000.  176.6592 *
150041  0  4  1  1  0  2  2  0.  14300.  126.2454 *
*

```

```

*
*      HDML  HDMR DHEL  DHER CHNL  CHNR ZBOT ZTOP
*

```

```

150012  0.0  0.0311  0.0  0.0311  0.0  12.  0.0  0.0 *
150022  0.0  0.0311  0.0  0.0311  0.0  12.  0.0  0.0 *
150032  0.0  0.0311  0.0  0.0311  0.0  12.  0.0  0.0 *
150042  0.0  0.0311  0.0  0.0311  0.0  12.  0.0  0.0 *
*

```

***** CORE SLAB DATA *****

```

*
*      ISLB NODT(1) NODT(2) NODT(3) CLTI QFRAC
*

```

```

160010  1  4  7  10  0.0  0.2300  *
160020  2  4  7  10  0.0  0.2485  *
160030  3  4  7  10  0.0  0.2720  *
160040  4  4  7  10  0.0  0.2494  *
*

```

***** SLAB GEOMETRY DATA *****

```

*
*      IG  NR  IM  NDX  XO      XR  PF
*

```

*

170101 2 3 1 7 0.0 0.01499194 1.0 * FUEL
* IGP IM NDX XR PF
*

170102 0 2 1 0.00026498 0.0 * GAP
170103 0 3 2 0.0023788 0.0 * CLAD
*

***** THERMAL CONDUCTIVITY *****

* NKP TPK(1) TPK(2) ...
*
180100 8 32.0 5.026 752.0 2.756 1472.0 1.912 * UO2
180101 2192.0 1.514 2912.0 1.288 3632.0 1.390 *
180102 4352.0 1.660 5072.0 2.219 *
180200 2 50.0 0.140 6000.0 0.140 * GAP
180300 7 62.6 7.51 572.0 8.67 932.0 10.11 * ZRY
180301 1832.0 15.02 2372.0 19.65 2732.0 24.27 *
180302 2912.0 28.89 *
*

***** VOLUMETRIC HEAT CAPACITY *****

* NCP TPC(1) TPC(2) ...
*
190100 8 80.6 37.0 800.6 46.19 1520.6 47.62 * UO2
190101 2240.6 48.25 2960.6 52.56 3680.6 62.51 *
190102 4400.6 77.96 5120.6 97.26 *
190200 -6 62.6 0.849 440.6 0.512 800.6 0.368 * GAP
190201 1160.6 0.288 1520.6 0.236 1880.6 0.200 *
190300 11 32.0 28.4 392.0 29.8 752.0 31.7 * ZRY
190301 1112.0 33.5 1472.0 36.3 1508.0 44.4 *
190302 1562.0 58.0 1652.0 80.5 1742.0 56.9 *
190303 1832.0 35.3 2732.0 35.3 *
*

***** HEAT EXCHANGER DATA *****

* IHTX ITHXQ JVOL HTQ TSEC HTXCO
*
210100 0 6 16 .088 510. 0. *
210200 0 6 17 .066 510. 0. *
210300 0 6 18 .052 510. 0. *
210400 0 6 19 .044 510. 0. *
210500 0 6 20 .264 510. 0. *
210600 0 6 21 .199 510. 0. *
210700 0 6 22 .154 510. 0. *
210800 0 6 23 .131 510. 0. *
*

***** END OF INPUT DATA FOR LOCABB *****

END OF PROBLEM

Anhang D3

Eingabe für RELAP4-Edit-Lauf

```
//INR191Z JOB (0191,104,P4271),JACOBS,NOTIFY=INR191,TIME=(0,30),
// MSGCLASS=H,REGION=1500K
//***** R4(BIBLIS) *****
//**AIN ORG=RM003
//**MAIN LINES=1
//***** PREPROCESSING USING PRELOAD *****
//P EXEC PGM=PRELOAD
//P.STEPLIB DD DISP=SHR,DSN=INR191.RELAP4.L
//***** OLD PLOT RESTART FILE *****
//*P.FT03F001 DD UNIT=T6250,VOL=SER=DVXXXX,DISP=(OLD,PASS),
//* DSN=DVXXXX,LABEL=(,,IN)
//P.FT06F001 DD DUMMY
//*.FT06F001 DD UNIT=T6250,VOL=SER=DV1402,DISP=(,PASS),DCB=DEN=4,
//*LABEL=1,DSN=#6VOL.P.FT06
//***** BASE LINKAGE EDITOR DIRECTIVES *****
//P.FT17F001 DD DSN=INR191.RELAP4.M6U4V00.BLED,DISP=SHR
//***** PREPROCESSED LINKEDIT OVERLAY DIRECTIVES *****
//P.FT18F001 DD UNIT=SYSDA,DSN=&&OVLY,DISP=(,PASS),
// SPACE=(TRK,10),DCB=DCB.CNTL
//***** PREPROCESSED LINKEDIT REPLACE DIRECTIVES *****
//P.FT19F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,(2,2),RLSE),
// DSN=&&REPLACE,DISP=(,PASS),DCB=DCB.CNTL
//***** PREPROCESSED PROBLEM INPUT DATA *****
//P.FT21F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,10),DSN=&&INPUT,
// DCB=DCB.DATA,DISP=(,PASS)
//***** PROBLEM INPUT DATA *****
//P.FT05F001 DD *
=KKBB
***** EDIT LAUF 2 *****
* DATUM: 14.JULI 1983
*
010001 -3 9 1 0 1 *
020000 NQ 0 AP 1 AP 2 AP 3 AP 4 AT 1 AT 2 AT 3 AT 4 *
030010 1 1000 0. 50. *
/
=KKBB
010001 -3 4 1 0 1 *
020000 CR 1 CR 2 CR 3 CR 4 *
.
//*
//*****
//***** R E L A P 4 / M O D 6 / 0 0 4 *****
//***** K F K V E R S I O N *****
//*****
//*
//***** LINK AND GO *****
// EXEC ASLG,PARM.L='OVLY,NCAL,LIST'
//L.SYSUT1 DD SPACE=(CYL,(1,1),RLSE),UNIT=SYSDA
//L.SYSMOD DD SPACE=(CYL,(10,1,1),RLSE),UNIT=SYSDA
//L.LOAD DD DSN=INR191.RELAP4.SSYST.MOD.L,DISP=SHR
//L.SYSRINT DD DUMMY
//*.SYSRINT DD UNIT=T6250,VOL=SER=DV1402,DISP=(,PASS),
//*LABEL=2,DSN=#6VOL.L.SYSR,DCB=DEN=4
//L.D1 DD UNIT=SYSDA,DSN=&&REPLACE,DISP=(OLD,DELETE)
//L.D2 DD UNIT=SYSDA,DSN=&&OVLY,DISP=(OLD,DELETE)
//*ABOVE DS CONTAINS OVERLAY DIRECTIVES
//L.SYSIN DD *
```



```
INCLUDE D1
INCLUDE D2
//G.FT02F001 DD DUMMY
//G.SNAP DD SYSOUT=A
//* .FT06F001 DD SYSOUT=A
//G.FT06F001 DD UNIT=T6250,VOL=SER=DV2061,DISP=(,PASS),DCB=DEN=4,
// LABEL=2,DSN=KKBB.ED2.OUTP
//***** OLD PLOT RESTART FILE *****
//G.FT03F001 DD UNIT=T6250,VOL=SER=DV2062,DISP=(OLD,PASS),
// DSN=KKBB,LABEL=2
//***** NEW PLOT RESTART FILE *****
//G.FT04F001 DD DUMMY
//***** WATER PROPERTY FILE *****
//G.FT15F001 DD DSN=INR191.RELAP4.M6U4V00.WT,DISP=SHR
//***** AUXILIARY INPUT FILE *****
//G.FT16F001 DD UNIT=SYSDA,SPACE=(TRK,10)
//***** SSYST FILE *****
//G.FT17F001 DD UNIT=T6250,VOL=SER=DV2009,DISP=(,PASS),LABEL=2,
// DSN=KKBB.ED2.SSYST,DCB=DEN=4
//***** LOGBOOK FILE *****
//G.FT31F001 DD DSN=INR191.RELAP4.M6U4V00.LOGBOOK,DISP=SHR
//G.FT05F001 DD DSN=INPUT,DISP=(OLD,DELETE)
```