

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

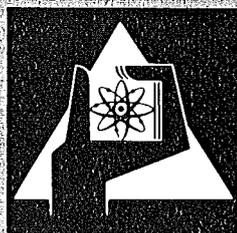
Dezember 1977

KFK 2491

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

**Analyse der Disassemblyphase schwerer  
hypothetischer Störfälle für den SNR-2000**

W. Maschek



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

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2491

Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik  
Projekt Schneller Brüter

ANALYSE DER DISASSEMBLYPHASE  
SCHWERER HYPOTHETISCHER STÖRFÄLLE  
FÜR DEN SNR-2000

W. Maschek

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



## Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes Schneller Brüter wurde 1976 eine detaillierte Sicherheitsanalyse eines großen natriumgekühlten Brutreaktors, des sogenannten SNR-2000, durchgeführt. Der Reaktor besitzt eine thermische Leistung von 5000 und eine elektrische Leistung von 2000 MW. Die Untersuchungen erstreckten sich im wesentlichen auf das Verhalten des Reaktorkerns bei schweren hypothetischen Störfällen. Für zwei Abbrandzustände (Beginn des Gleichgewichtszyklus A (BEC-A) und Ende des Gleichgewichtszyklus B (EEC-B)) wurden Leistungsstörfälle, Kühlmitteldurchsatzstörfälle sowie die beim SNR-2000 auftretenden "LOF driven TOP's" analysiert. Den verschiedenen Störfallgruppen liegt die Annahme des gleichzeitigen Versagens der redundanten und diversitären Abschaltssysteme zugrunde. Das Ziel der Analyse bestand in der Klärung der Fragen, ob sich aus der Analyse hypothetischer Störfälle Argumente ergeben würden, die eine Begrenzung der maximalen Leistung Schneller Brutreaktoren mit konventionellem Kernentwurf nahe legen, ob durch geringfügige Modifikationen des Referenzentwurfs die Konsequenzen dieser Störfälle beeinflußt werden können und ob grundsätzlich andere Phänomene den Störfallablauf bestimmen, als bei einem vergleichsweise kleinen Reaktor wie dem SNR-300.

In der vorliegenden Arbeit wurde speziell die Kernzerlegungs- (Disassembly-)phase dieser hypothetischen Störfälle untersucht. Es werden dabei zuerst die wesentlichen Merkmale des Kernentwurfs sowie Eigenheiten bei der Analyse des Disassemblyvorganges sehr großer konventioneller Brüterkerne diskutiert. Der Verlauf der angeführten Störfalltypen wurde mit dem Karlsruher Disassemblycode KADIS bis zum Erreichen erster nuklearer Unterkritikalität verfolgt. Für die verschiedenen Störfälle werden die Leistungsverläufe sowie die Energie (als Maß für die Schwere der Exkursion) und Masse des geschmolzenen Brennstoffs angegeben. In einer ersten Näherung werden auch die mechanischen Belastungen der Tankstrukturen durch die Leistungsexkursionen abgeschätzt. Zusätzlich wurde der Einfluß, den die Verwendung einer extrem langsamen Pumpenauslaufkennlinie oder den der Einbau von Strömungsdioden mit richtungsabhängiger Drosselung in den Brennelementfüßen auf den Verlauf eines Kühlmitteldurchsatzstörfalles haben, analysiert. Die Ergebnisse der Analyse unterstützen den Schluß, daß die Anforderungen bzgl. der Beherrschbarkeit von Konsequenzen, die sich aus der Analyse hypothetischer Störfälle ergeben, die Realisierbarkeit eines konventionellen Reaktorentwurfs für einen natriumgekühlten Schnellen Brüter von 2000 MWe nicht begrenzen.

# ANALYSIS OF THE DISASSEMBLYPHASE OF HYPOTHETICAL CORE DISRUPTIVE ACCIDENTS (HCDA) FOR THE SNR-2000

---

## Summary

During 1976 a first safety analysis of a large liquid metal fast breeder reactor (LMFBR) - the so-called SNR-2000 - has been performed in the framework of the fast breeder project. The reactor produces a thermal power of 5000 MW corresponding to 2000 MW electric. The analysis mainly dealt with the behavior of HCDAs in the SNR-2000 core. Transient over power (TOP), loss of flow (LOF), and LOF driven TOP's have been analyzed for two burn up status (begin of equilibrium cycle A (BEC-A) and end of equilibrium cycle B (EEC-B)). For these types of accidents the failure of the redundant and diversive shut down system has been assumed. The results of the study are intended as material for discussions, if the analysis of HCDAs leads to arguments limiting the maximum power of LMFBR's with conventional core design, if slight design modifications can affect the course of the accident and if phenomena untypical for a smaller reactor as the SNR-300 will occur for large cores. In the present work main emphasis has been layed on the analysis of the disassemblyphase of HCDAs. In the first chapters the essential core design features and some remarks about the disassembly analysis of very large conventional breeder cores have been discussed. The course of the fore-mentioned accident types has been followed up until first neutronic shut down with the Karlsruher disassemblycode KADIS. For all accidents the power histories, the energy and mass of molten fuel - which are measures for the severity of the excursion - are displayed. In a first approach the mechanical loads of the reactor tank structures generated by the power excursions have been estimated. Additionally the influence on the development of the loss of flow accident when using an extreme slow pump coast down curve or providing the subassembly inlet with flow diodes with direction dependent orificing properties, have been analyzed. The results of the safety analysis strongly support the conclusion that the requirements to withstand the consequences of HCDA's in principle will not limit the feasibility of conventionally designed LMFBRs up to a power of 2000 MW electric.

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Verzeichnis der Tabellen	I
Verzeichnis der Abbildungen	VI
1. Einleitung	1
2. Diskussion des Reaktorentwurfs des SNR-2000 und der verwendeten Rechen- modelle für die Störfallsimulation	8
2.1 Kenngrößen des vorläufigen Referenz- entwurfs des SNR-2000	8
2.2 Simulation des stationären Reaktors und der Störfall-Einleitungsphase	17
2.3 Das Rechenmodell für die Disassembly- phase	20
2.4 Probleme bei der Beschreibung der Disassemblyphase großer Reaktorkerne	33
3. Analyse der Disassemblyphase des Leistungsstörfalles (TOP)	39

	Seite	
3.1	Kurze Diskussion der Einleitungsphase	39
3.2	Der Störfallverlauf während der Disassemblyphase im BEC-A Core bei unterschiedlichen Einleitungsrampen	45
3.3	Der Störfallverlauf während der Disassemblyphase im EEC-B Core bei unterschiedlichen Einleitungsrampen	60
3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse des Leistungsstörfalles für das BEC-A und EEC-B Core des SNR-2000	72
4.	Analyse der Disassemblyphase des Kühlmitteldurchsatzstörfalles (LOF)	80
4.1	Das Störfallscenario in der Einleitungsphase	81
4.2.1	Simulation der Disassemblyphase des Referenzstörfalles LO (BEC-A Core)	91
4.2.2	Variation der Übergabe-Reaktivitätsrampe bei Beginn der Coredisassemblyphase (BEC-A Core)	102
4.2.3	Erhöhung der Reaktivitätsrampe während des Disassemblyvorganges (BEC-A Core)	110
4.3.1	Simulation der Disassemblyphase des Referenzstörfalles KO (EEC-B Core)	117

	Seite	
4.3.2	Variation der Übergabe-Reaktivitätsrampe bei Beginn der Coredisassemblyphase (EEC-B Core)	126
4.3.3	Erhöhung der Reaktivitätsrampe während des Disassemblyvorganges (EEC-B Core)	133
4.4	Zusätzliche Untersuchungen zum Kühlmitteldurchsatzstörfall	137
4.4.1	Unterdrückung der radialen Core-expansion	137
4.4.2	Erhöhung des Reaktivitätsniveaus am Umschaltpunkt	141
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse des Kühlmitteldurchsatzstörfalles für das BEC-A und EEC-B Core des SNR-2000	144
5.	Einfluß von Entwurfsmodifikationen auf den Ablauf eines Kühlmitteldurchsatzstörfalles im SNR-2000	155
5.1	Einfluß einer langsamen Pumpenauslaufkennlinie auf den Verlauf des Kühlmitteldurchsatzstörfalles im BEC-A Core	156
5.2	Einfluß von Strömungsdioden in den Brennelementfüßen auf den Verlauf des Kühlmitteldurchsatzstörfalles im EEC-B Core	165

	Seite	
5.3	Zusammenfassung der Störfallergebnisse bei Verwendung einer langsamen Pumpen- auslaufkennlinie bzw. bei Verwendung von Strömungsdiolen	174
6.	Schlußbemerkungen	175
7.	Anhang	181
8.	Literaturverzeichnis	216

VERZEICHNIS DER TABELLEN

		Seite
Tab. 2.1-1	Wichtige Kenngrößen der stationären Auslegung des SNR-2000 Kernentwurfs	11
2.1-2	Für die Sicherheitsanalyse relevante Parameter des SNR-2000 Kernentwurfs	16
3.1-1	BNR-Parameter für die Analyse des Leistungsstörfalles in der Disassemblyphase	43
3.2-1	Ergebnisse der Leistungsstörfallsimulation für das BEC-A Core zu Beginn der Disassemblyphase	46
3.2-2	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase für die Simulation des Leistungsstörfalles bei Einleitungsrampen verschiedener Größe (BEC-A Core)	53
3.3-1	Ergebnisse der Leistungsstörfallsimulation für das EEC-B Core zu Beginn der Disassemblyphase	63
3.3-2	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase für die Simulation des Leistungsstörfalles bei Einleitungsrampen verschiedener Größen (EEC-B Core)	66

	Seite	
4.2.1-1	Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase für das BEC-A Core	93
4.2.1-2	Parameter für die BNR-Simulation in der Disassemblyphase bei Kühlmitteldurchsatzstörfällen	94
4.2.1-3	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Referenzstörfalles LO im BEC-A Core	97
4.2.2-1	Wichtige Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle bei Variation der Umschaltrampe zur Disassemblyphase im BEC-A Core	104
4.2.3-1	Vergleich der Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF Störfalles L4 (getriggerte Reaktivitätsrampe) mit dem Referenzstörfall LO	112
4.3.1-1	Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase für das EEC-B Core	119
4.3.1-2	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Referenzstörfalles KO im EEC-B Core	121
4.3.2-1	Wichtige Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle bei Variation der Umschaltrampe zur Disassemblyphase im EEC-B Core	127

	Seite	
4.3.3-1	Vergleich der Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Störfalles K4 (getriggerte Reaktivitätsrampe) mit dem Referenzstörfall KO	134
4.4.2-1	Vergleich der Ergebnisse von Disassemblyrechnungen mit künstlich erhöhter Übergabereaktivität mit den Referenzstörfällen LO und KO	142
4.5-1	Vergleich wesentlicher Ergebnisse für die Referenzstörfälle am Umschaltpunkt zur Coredisassemblyphase	146
5.1-1	Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase bei verschiedenen Pumpenauslaufkennlinien (BEC-A Core)	158
5.1-2	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Störfalles mit langsamem Pumpenauslauf L5 verglichen mit dem Referenzstörfall LO	160
5.1-3	Vergleich von Ergebnissen der Disassemblyphase für LOF Störfälle mit normalem Pumpenauslauf bei erhöhter Umschaltrampe (BEC-A Core)	164
5.2-1	Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase bei Verwendung von Strömungsdioden (EEC-B Core)	167

	Seite	
5.2-2	Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Störfalles bei Verwendung von Strömungsdiolen K5 verglichen mit dem Referenzstörfall KO	168
5.2-3	Vergleich von Ergebnissen der Disassemblyphase für LOF-Störfälle mit richtungsabhängiger und normaler Eintrittsdrosselung bei erhöhter Umschaltrampe	173
7-1	Aufteilung der Kernelemente auf Elementringe des SNR-2000 und äquivalente Ringradien	183
7-2	Radiale Kanalstruktur für das CAPRI-2/KADIS Rechennetz	184
7-3	Axiale Maschenstruktur für das CAPRI-2/KADIS Rechennetz	185
7-4	Radiales Maschennetz für die Materialwertverteilung in KADIS	186
7-5	Axiales Maschennetz für die Materialwertverteilung in KADIS	186
7-6	Normierte Leistungsdichteverteilung für das BEC-A Core	187
7-7	Normierte Leistungsdichteverteilung für das EEC-B Core	189
7-8	Zonenweise totale Materialwertverteilung für das BEC-A Core	191

		Seite
7-9	Zonenweise totale Materialwertverteilung für das EEC-B Core	203
7-10	Sicherheits-relevante Kenngrößen des SNR-2000 Kernentwurfs	215
7-11	Anteil ( $\beta_i$ ) und Zerfallskonstanten ( $\lambda_i$ ) der verzögerten Neutronengruppen für den SNR-2000 Kernentwurf	215

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

		Seite
Bild 1-1	Strukturiertes Phasenablaufdiagramm für die Störfälle sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit mit zu erwartenden schwerwiegenden Konsequenzen	3
2.1-1	Längsschnitt durch den SNR-2000 Reaktortank; Anordnung der Reaktoreinbauten	12
2.1-2	Querschnitt des SNR-2000 Reaktorkerns	13
2.2-1	Hydrodynamisches Rechenetz und KADIS-Zoneneinteilung für die Disassemblyrechnungen des SNR-2000	18
2.3-1	Struktur des KADIS Systems	21
2.4-1	Radiale Traverse durch die totale Materialwertverteilung $[\Delta K/K/cm^3]$ für das BEC-A Core	37
2.4-2	Axiale Traverse durch die totale Materialwertverteilung $[\Delta K/K/cm^3]$ für das BEC-A Core	38
3.2-1	Kanalabhängige Darstellung der axialen Ausdehnung von Zweiphasengebieten als Folge einer Brennstoff-Natrium-Reaktion am Umschalt- punkt zur Disassemblyphase für den RO (10 $\phi$ /sec) und den R3 (3 $\phi$ /sec) Leistungsstörfall (BEC-A Core)	
3.2-2		
		47

	Seite	
3.2-3	Nuklearer Leistungsverlauf des Störfalls RO (Einleitungsrampe: 10 $\phi$ /sec) BEC-A Core	51
3.2-4	Verlauf der Energie im geschmol- zenen Brennstoff für den Stör- fall RO (Einleitungsrampe: 10 $\phi$ /sec) bis zur Beendigung der ersten Ex- kursion BEC-A Core	52
3.2-5	Nuklearer Leistungsverlauf der Störfälle: RO (10 $\phi$ /sec) R1 (30 $\phi$ /sec) R2 ( 1 $\beta$ /sec) R3 ( 3 $\beta$ /sec) während der Disassemblyphase (BEC-A Core)	57
3.2-6	Verlauf der Energie im geschmolze- nen Brennstoff für die Störfälle RO (10 $\phi$ /sec) R1 (30 $\phi$ /sec) R2 ( 1 $\beta$ /sec) R3 ( 3 $\beta$ /sec) bis zur Beendigung der ersten ex- kursion (BEC-A Core)	58
3.2-7	Leistungs- und Reaktivitätsverläufe für den Störfall T3 (EEC-B Core)	59

	Seite
3.3-1	
3.3-2	
	62
3.3-3	
	64
3.3-4	
	65
3.3-5	
	69
3.3-6	
	70

- 3.4-1 Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars und die im geschmolzenen Brennstoff gespeicherte thermische Energie in Abhängigkeit von der Einleitungsreaktivitätsrampe beim ersten Erreichen der Unterkritikalität während der Kernzerlegungsphase (Leistungsstörfälle BEC-A und EEC-B Konfiguration) 73
- 3.4-2 Freigesetzte Energie bei Expansion des verdampften Brennstoffs auf das verformte freie Volumen im Reaktortank als Folge einer energetischen Kernzerlegung in Abhängigkeit von der Einleitungsreaktivitätsrampe beim Leistungsstörfall BEC-A und EEC-B Konfiguration 79
- 4.2.1-1 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen infolge von Kühlmittelsieden am Umschaltpunkt zur Kernzerlegungsphase (BEC-A Konfiguration, 'normale Pumpenauslaufkennlinie) 92
- 4.2.1-2 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraktion am Umschaltpunkt zur Kernzerlegungsphase als Folge eines Durchsatzstörfalles (BEC-A Konfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie) 92
- 4.2.1-3 Verlauf der nuklearen Leistung für den Referenzkühlmitteldurchsatzstörfall LO BEC-A Core 98

	Seite	
4.2.1-4	Zunahme der Energie im geschmolze- nen Brennstoff bis zur Beendigung der ersten Exkursion für den Kühl- mitteldurchsatzstörfall LO BEC-A Core	99
4.2.1-5	Zunahme der Masse des geschmolzenen Brennstoffs bis zur Beendigung der ersten Exkursion für den Kühlmittel- durchsatzstörfall LO BEC-A Core	100
4.2.1-6	Reaktivitätsverläufe beim Kühlmittel- durchsatzstörfall LO im BEC-A Core	101
4.2.2-1	Nuklearer Leistungsverlauf der Stör- fälle LO, L1, L2 und L3 während der Disassemblyphase BEC-A Core	105
4.2.2-2	Verlauf der Energie im geschmolzenen Brennstoff für die Störfälle LO, L1, L2 und L3 bis zur Beendigung der ersten Exkursion BEC-A Core	106
4.2.2-3	Verlauf der Masse des geschmolzenen Brennstoffs für die Störfälle LO, L1, L2 und L3 bis zur Beendigung der ersten Exkursion BEC-A Core	107
4.2.2-4	Verformtes Lagrangenetz und teil- weise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Er- reichen erster Unterkritikalität für den Störfall LO BEC-A Core	108

	Seite	
4.2.2-5	Verformtes Lagrangenetz und teilweise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Erreichen erster Unterkritikalität für den Störfall L1 BEC-A Core	109
4.2.3-1	Reaktivitätsverlauf bei Veränderung der Rampensteilheit während der Disassemblyphase (Störfall L4) BEC-A Core	113
4.2.3-2	Verlauf der Nettoreaktivität bei Veränderung der Rampensteilheit während der Disassemblyphase (Störfall L4) BEC-A Core	114
4.2.3-3	Vergleich des Leistungsverlaufes der beiden Störfälle LO und L4 BEC-A Core	115
4.2.3-4	Vergleich des Verlaufes der Energie im geschmolzenen Brennstoff bis zur Beendigung der ersten Exkursion für die Störfälle LO und L4 BEC-A Core	116
4.3.1-1	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen infolge von Kühlmittelsieden am Umschaltpunkt zur Kernzerlegungsphase (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)	118

	Seite	
4.3.1-2	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraktion am Umschaltpunkt zur Kernzerlegungsphase als Folge eines Durchsatzstörfalles (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)	118
4.3.1-3	Verlauf der nuklearen Leistung für den Referenzkühlmitteldurchsatzstörfall KO EEC-B Core	122
4.3.1-4	Zunahme der Energie im geschmolzenen Brennstoff bis zur Beendigung der ersten Exkursion für den Kühlmitteldurchsatzstörfall KO EEC-B Core	123
4.3.1-5	Zunahme der Masse des geschmolzenen Brennstoffs bis zur Beendigung der ersten Exkursion für den Kühlmitteldurchsatzstörfall KO EEC-B Core	124
4.3.1-6	Reaktivitätsverläufe beim Kühlmitteldurchsatzstörfall KO im EEC-B Core	125
4.3.2-1	Nuklearer Leistungsverlauf der Störfälle KO, K1, K2 und K3 während der Disassemblyphase EEC-B Core	128
4.3.2-2	Verlauf der Energie im geschmolzenen Brennstoff für die Störfälle KO, K1, K2 und K3 bis zur Beendigung der ersten Exkursion EEC-B Core	129

	Seite	
4.3.2-3	Verlauf der Masse des geschmolzenen Brennstoffs für die Störfälle KO, K1, K2 und K3 bis zur Beendigung der ersten Exkursion EEC-B Core	130
4.3.2-4	Verformtes Lagrangenetz und teilweise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Erreichen erster Unterkritikalität für den Störfall KO EEC-B Core	131
4.3.2-5	Verformtes Lagrangenetz und teilweise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Erreichen erster Unterkritikalität für den Störfall K1 EEC-B Core	132
4.3.3-1	Vergleich des Leistungsverlaufes der beiden Kühlmitteldurchsatzstörfälle KO und K4 EEC-B Core	135
4.3.3-2	Reaktivitätsverlauf bei Veränderung der Rampensteilheit während der Disassemblyphase (Störfall K4) EEC-B Core	136
4.4.1-1	Leistungsverlauf des Kühlmitteldurchsatzstörfalles LO bei Unterdrückung der radialen Coreexpansion BEC-A Core	138

	Seite	
4.4.1-2	Verlauf der durch rein axiale Materialbewegung verursachten Disassemblyreaktivität BEC-A Core	139
4.5-1	Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars und die im geschmolzenen Brennstoff gespeicherte thermische Energie in Abhängigkeit von der Reaktivitätsrampe beim Umschalten zur Kernzerlegungsphase bei erstem Erreichen der Unterkritikalität während der Kernzerlegungsphase (Durchsatzstörfall, BEC-A und EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)	145
4.5-2	Vergleich der maximalen Brennstofftemperatur und der Anzahl der total aufgeschmolzenen KADIS-Maschen ( $T \geq T_{\text{melt}} + 1$ ) in den 30 Kühlkanälen zu Beginn der Coredisasassembly BEC-A und EEC-B Core	148
4.5-3	Freigesetzte mechanische Energie bei Expansion des verdampften Brennstoffs auf das verformte freie Volumen im Reaktortank als Folge einer energetischen Kernzerlegung in Abhängigkeit von der Reaktivitätsrampe am Umschaltspunkt zur Kernzerlegungsphase beim Durchsatzstörfall (BEC-A und EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)	151

		Seite
5.1-1	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen als Folge von Kühlmittelsieden am Umschalt- punkt zur Kernzerlegungsphase (BEC-A Kernkonfiguration, langsame Pumpenauslaufkennlinie)	157
5.1-2	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraktion am Umschalt- punkt zur Kernzerlegungsphase (BEC-A Kernkonfiguration, langsame Pumpenauslaufkennlinie)	157
5.1-3	Nuklearer Leistungsverlauf in der Disassemblyphase bei Verwendung einer langsamen Pumpenauslaufkennlinie (Störfall L5) verglichen mit dem Referenzstörfall LO BEC-A Core	161
5.1-4	Verlauf der Energie im geschmolzenen Brennstoff bis zur Beendigung der ersten Exkursion bei Verwendung einer langsamen Pumpenauslaufkennlinie (Störfall L5) verglichen mit dem Referenzstörfall LO BEC-A Core	162
5.1-5	Verformtes Lagrangenetz und teilweise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Erreichen erster Unterkritikalität für den Störfall L5 BEC-A Core (langsame Pumpenauslaufkennlinie)	163

	Seite	
5.2-1	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen als Folge von Kühlmittelsieden am Umschalt- punkt zur Kernzerlegungsphase (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie, Strömungs- dioden in den Brennelementfüßen)	166
5.2-2	Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraktion am Umschalt- punkt zur Kernzerlegungsphase als Folge des Durchsatzstör- falles (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie, Strömungsdioden in den Brennelement- füßen)	166
5.2-3	Nuklearer Leistungsverlauf in der Disassemblyphase bei Verwendung von Strömungsdioden (Störfall K5) ver- glichen mit dem Referenzstörfall KO EEC-B Core	169
5.2-4	Verlauf der Energie im geschmolzenen Brennstoff bis zur Beendigung der ersten Exkursion bei Verwendung von Strömungsdioden (Störfall K5) vergli- chen mit dem Referenzstörfall KO EEC-B Core	170
5.2-5	Verformtes Lagrangenetz und teil- weise oder total aufgeschmolzene Corebereiche ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ) nach Er- reichen erster Unterkritikalität für den Störfall K5 EEC-B Core (Strömungsdioden in den Brennelement- füßen)	171

## 1. EINLEITUNG

Im Rahmen des Projektes Schneller Brüter wurde 1976 eine erste Sicherheitsanalyse /1/ eines großen natriumgekühlten Schnellen Brutreaktors - des SNR-2000 /2/ - mit einer thermischen Leistung von 5000 MW und einer entsprechenden elektrischen Leistung von 2000 MW durchgeführt. Die Untersuchungen erstreckten sich dabei im wesentlichen auf die Analyse hypothetischer Störfälle.

Die Zielsetzung dieser ersten Sicherheitsanalyse lag in der Bereitstellung von Unterlagen zur Beantwortung folgender Fragen:

- (A) Ergeben sich aus der Untersuchung hypothetischer Störfälle Argumente, welche die Leistungsgröße von Reaktoren mit konventionellem Coreentwurf begrenzen?
- (B) Werden im Rahmen der Störfallanalyse großer Reaktorkerne physikalische Mechanismen für den Störfallablauf dominant, die für kleine Reaktoren wie den SNR300 nicht relevant sind.
- (C) Kann der Ablauf von hypothetischen Störfällen durch kleine Entwurfsmodifikationen an einem konventionellen Kern wesentlich beeinflusst werden.

Die vorliegende Studie basiert auf entsprechenden Arbeiten zum SNR-300 /3,4/. Dabei wird im Genehmigungsverfahren für den SNR-300 die Beherrschung einiger sogenannter hypothetischer Störfälle gefordert.

Da wahrscheinlich die deutschen Lizensierungsbehörden auch für den SNR-2000 hypothetische Störfälle de facto als "design basis accidents" (Auslegungsstörfälle) ansehen werden, stellt die Untersuchung dieser Störfälle einen zentralen Teil in der Gesamtsicherheitsanalyse des Reaktors dar. Der Begriff hypothetisch charakterisiert dabei schwere Störfälle mit sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit ( $< 10^{-6}$  pro Reaktorjahr), deren

Initialisierung nicht notwendigerweise deterministisch erklärbar ist. Als Forderung wird dabei erhoben, daß auch diese schweren hypothetischen Störfälle nur zu radiologischen Belastungen der Umgebung führen, die unter den Werten der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen zulässigen Grenzdosis liegen.

Auf Grund schon durchgeführter Störfallanalysen für den SNR-300 /3,4/, den CRBR /5/, den SUPER-PHENIX /6/ und der Untersuchungen zum SNR-2000 /1/ wurde in dem Bericht KFK 2490 /7/, der sich eingehend mit der Einleitungsphase der hier behandelten hypothetischen Störfälle beschäftigt, ein allgemeines Störfall-Ablaufdiagramm (Abb.1.1-1) entwickelt, mit dem sich die einzelnen Störfallphasen verfolgen und mit welchem sich die bezüglich der maximalen Konsequenzen strategisch wichtige Punkte identifizieren lassen. Dieses Phasenablaufdiagramm wird in /7/ in allen Details behandelt und soll hier nur dazu dienen, um den Bereich abzustecken, der mit der vorliegenden Arbeit abgedeckt wird.

Grob lassen sich dabei die Bereiche der Einleitungsphase, der Abschaltphase, der mechanischen Belastung der Tank/Containmentstrukturen und die Phase der Nachwärmeabfuhr und mögliche Freisetzungsmechanismen von Radioaktivität an die Umgebung unterscheiden. Der Störfall kann dabei schon während der Einleitungsphase, mit einer noch im wesentlichen intakten und kühlbaren Corestruktur terminiert werden, oder kann in einer totalen Kernzerstörung entweder durch ein graduelles Zusammenschmelzen oder durch eine starke Leistungsexkursion, die direkt zu einer energetischen Kernzerlegung führt, enden. Die Art der Kernzerstörung bestimmt weitgehend das Verhalten der Kernmaterialien nach Beendigung der ersten Exkursion, die mechanische und thermische Belastung des Tanks und der Primärsysteme und schließlich auch die Möglichkeit einer Radioaktivitätsfreisetzung an die Umgebung.

Im vorliegenden Bericht wird das Hauptgewicht auf die Analyse der Phase energetischer Kernzerlegung gelegt. Der Störfallablauf wird also bis zum ersten neutronischen Abschalten des Reaktors verfolgt. Die Übergangsphase ("Transition Phase") und die Phase ausgedehnter Materialbewegung können wegen der

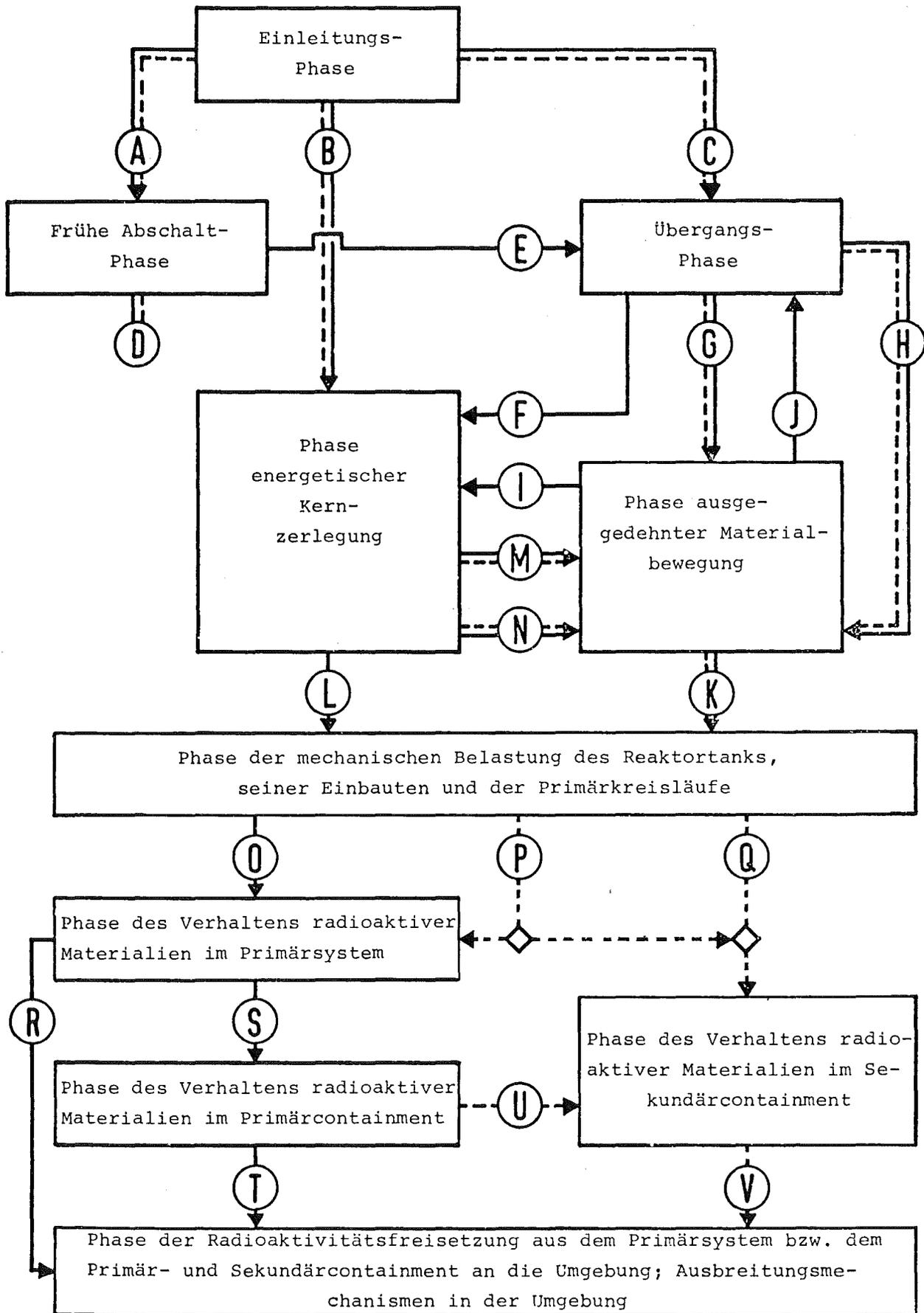


BILD 1-1 STRUKTURIERTES PHASENABLAUFDIAGRAMM FÜR STÖRFÄLLE SEHR GERINGER EINTRITTSWAHRSCHEINLICHKEIT MIT ZU ERWARTENDEN SCHWERWIEGENDEN KONSEQUENZEN

fehlenden theoretischen Modelle nur argumentativ abgedeckt werden. Schließlich werden in einer ersten Näherung die mechanischen Belastungen des Reaktortanks abgeschätzt.

Diese Aufteilung in verschiedene Phasen des Störfallablauf wird durch den Versuch bestimmt, den Störfall mechanistisch - also eine Vorgangsweise bei der logisch sequentiell bei Beachtung des Ursache- Wirkungsprinzips vorgegangen wird - zu verfolgen. Für jede Störfallphase müssen dabei verschiedene Analysemethoden und Codes angewandt werden, um die verschiedenen Aspekte des Gesamtproblems zu lösen.

Die im vorliegenden Bericht untersuchte energetische Kernzerlegungsphase oder Disassemblyphase die zum ersten Male von Bethe und Tait /8/ genauer behandelt wurde, resultiert i.a. aus einer heftigen prompt kritischen Leistungsexkursion. Die rasche Aufheizung des Corematerials führt zu hohem Dampfdruckaufbau, der das Core expandieren läßt und die Exkursion beendet.

Die Transitionphase stellt einen Übergangszustand zwischen intakter Corestruktur und teilweise geschmolzenem Core dar, und kann zur Zeit mit den in Karlsruhe verfügbaren Codes nicht mit ausreichender Genauigkeit modelliert werden. Daher muß an Stellen des Strukturdiagramms /7/, die zur Zeit noch nicht mechanistisch beschreibbar sind oder bei denen theoretische und experimentelle Informationen fehlen eine konservative Vorgangsweise gewählt werden. Diese Unsicherheiten bei der Beschreibung dieser Störfälle drücken sich schließlich in einem Containmententwurf aus, der so ausgelegt sein muß, daß auch diese in konservativer Weise nach oben hin abgeschätzten Energiefreisetzung etc. eingeschlossen werden können.

Für diese oberen Abschätzungen der mechanischen Energiefreisetzung, der ein Containment sicher widerstehen muß, werden daher i.a. solche Störfallketten zugrunde gelegt, die das gesamte Core in den Störfall involvieren. Daher auch der oft

verwendete Begriff eines "HCDA (hypothetical core disruptive accident)". Im folgenden sollen nun einige wesentliche Einleitungsmechanismen für Störfälle, die das Potential besitzen, sich in ihren Auswirkungen auf das gesamte Core auszudehnen, betrachtet werden. Dabei können folgende Gruppen unterschieden werden:

- (A) Langfristig einlaufende positive Reaktivitätsrampen bei unvermindertem Kühlmitteldurchsatz und Versagen des ersten und zweiten Abschaltsystems.
- (B) Langfristig einlaufende positive Reaktivitätsrampen, wobei wieder die beiden unabhängigen Abschaltssysteme versagen. Mit dem Scramsignal werden, um Thermoschockwirkungen zu vermeiden, die Kühlmittelpumpen abgeschaltet, was zur Reduktion des Kühlmitteldurchsatzes führt.
- (C) Ausfall aller Kühlmittelpumpen mit gleichzeitigem Versagen des redundanten diversitären Abschaltsystems.
- (D) Guillotinebruch der Kühlmittelleintritts- und/oder Austrittsleitung des Reaktortanks bei wirksamem Abschalt- und Nachwärmeabfuhrsystem.
- (E) Allgemeine Störung des Verhältnisses von Leistungsproduktion/Kühlung des Reaktorcores (z.B. durch Verlust der Wärmesenken bei Funktion oder Versagen des Abschaltsystems).

Eine Untersuchung der Konsequenzen der Störfälle A, B und C an Hand des Störfallablaufdiagramms in /7/ zeigt, daß für B ähnliche Konsequenzen je nach Größe der einlaufenden Reaktivitätsrampe zu erwarten sind wie für A und/oder C. Für die Störfallinitiatoren D kann davon ausgegangen werden, daß basierend auf den Kenntnissen der Bruchmechanik der verwendeten Werkstoffe

und dem niedrigen Druckniveau in den Primärkreisläufen ein Leck vor Bruchverhalten als sinnvoller angesehen werden kann. Ein guillotineartiger Bruch kann daher mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden; bei funktionierendem Abschalt-system, Notspiegelhaltung und Notkühlung sollte dieser Störfall leicht beherrschbar sein. Die Gruppe der Störfallinitiatoren E kann bis zur Beendigung der ersten Exkursion von den Untersuchungen zu A, B und C abgedeckt werden. Bei Funktion des Abschalt-systems und Ausfall der Wärmesenken wird es dabei zu einem langsamen partiellen oder totalen Zusammenschmelzen des Cores kommen. Der Ausfall des Abschalt-systems führt bei einer Leistungs/Kühlungsstörung zu einem Störfallverlauf ähnlich A, B oder C je nach Art der Störung und Höhe der initiierten Reaktivitätsrampe - wird also bis zur Beendigung der ersten Exkursion durch die Störfallanalyse von A - C abgedeckt. Der weitere Störfallverlauf muß auch hier einer sogenannten Post-disassemblyanalyse unterworfen werden, die nicht mehr in den Rahmen der in diesem Bericht untersuchten Störfallphasen fällt. Hierbei werden dann u.a. auch Probleme der Kernmaterialverteilung, deren Kühlung und Kritikalität in internen oder externen Kernfängern dominant. In diesem Rahmen muß auch die Frage nach der Art des Kernfängers behandelt werden.

Damit bleiben zwei wesentliche Störfalltypen übrig, die im Sinne einer Einhüllenden die übrigen Klassen von Störfallinitiatoren abdecken sollen:

1) Leistungsstörfall (TOP transient over power)

2) Kühlmitteldurchsatzstörfall

(LOF loss of flow)

Beide Störfallgruppen werden dabei in /7/ vom stationären Betrieb des Reaktors über die Störfalleinleitung bis zum Einsetzen größerer Brennstoffbewegung in den Pins betrachtet. In dem vorliegenden Bericht wird der Störfall während der Disassemblyphase also bei kräftiger Materialbewegung bis zum Erreichen erster nuklearer Unterkritikalität verfolgt und die mechanische Belastung der Tankstruktur abgeschätzt. Für eine vollständige konsistente Sicherheitsanalyse hypothetischer Störfälle muß das Verhalten und die Verteilung des Corematerials weiter verfolgt werden, bis eine endgültige unterkritische kühlbare Konfiguration des Kernmaterials erreicht ist. Speziell diese Untersuchungen entscheiden schließlich darüber, ob ein interner Kernfänger wie er im Referenzentwurf des SNR-2000 vorgesehen ist, den Anforderungen eines sicheren Einschlusses des geschmolzenen Kernmaterials genügt, oder ob ein externer Kernfänger in den Design aufgenommen werden muß.

## 2. DISKUSSION DES REAKTORENTWURFS DES SNR-2000 UND DER VERWENDETEN RECHENMODELLE FÜR DIE STÖRFALLSIMULATION

### 2.1 KENNGRÖSSEN DES VORLÄUFIGEN REFERENZENTWURFS DES SNR-2000

Für den vorläufigen Referenzentwurf des SNR-2000 wurde als Core ein konventioneller Zweizonenreaktorkern ausgewählt. Der Kern wurde für eine elektrische Leistung von 2000 MW (daher SNR-2000) entsprechend einer thermischen Leistung von 5000 MW ausgelegt.

Die Referenzdaten des Reaktorkerns wurden aufgrund einer Studie /2/ festgelegt, bei der die folgenden fünf Größen: Brennstoffzykluskosten, Brutrate, Verdopplungszeit, Spaltstoffinventar und Leistungsdichte optimiert wurden. Die wesentlichen Daten dieses voll optimierten Referenzentwurfs sind nochmals in Tab. 2.1-1 zusammengefaßt. Der Primärkreislauf des SNR-2000 entspricht einem Loop-Konzept mit vier Strängen, in welche auch das aktive Nachwärmeabfuhrsystem integriert ist. Als zusätzliches lecksicheres Nachwärmeabfuhrsystem ist im Ringraum zwischen Schildtank und Reaktortank ein Tauchkühlsystem vorgesehen. Die Kapazität der Nachwärmeabfuhrsysteme über die Hauptkreise bzw. die Tauchkühler beträgt dabei jeweils 4 x 50 % (wobei 100 % NWA-Kapazität der gesamten abzuführenden Nachwärme entspricht).

Die Kühlmiteleintrittsleitungen liegen wie beim SNR-300 innerhalb des Reaktortanks weil sich dadurch Vorteile bei der Beherrschung hypothetischer Störfälle ergeben /9/. So kann für den SNR-300 gezeigt werden, daß sich bei einem Guillotinebruch der Kühlmittleitung, bei Notspiegelhaltung und funktionierendem Abschaltssystem ein Naturumlauf einstellt, wobei kein Kühlmittelsieden auftritt. Die innenliegenden Kühlmittelstränge führen naturgemäß zu einem relativ großen Tankdurchmesser des SNR-2000 von  $\sim 13$  m (bei einer Höhe von  $\sim 26$  m).

Für die Rückhaltung von geschmolzenem Coreinventar nach einem Störfall sehr geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, bei dem das Core zusammenschmilzt, ist ein internes Kernrückhaltesystem vor-

gesehen. Der geschmolzene Brennstoff soll also bereits innerhalb des Systems Reaktortank/Doppeltank aufgehalten und langfristig gekühlt werden.

Die Anordnung des Reaktorkerns und der übrigen Tankeinbauten sind in Abb. 2.1-1 dargestellt.

Der Reaktorkern mit einem H/D Verhältnis von etwa 0.25 setzt sich aus 613 Elementen zusammen. Der radiale Durchmesser des Kerns beträgt 430 cm mit einer aktiven Höhe von 120 cm. Die innere Corezone enthält dabei 366 Brennelementpositionen, 12 Positionen für das Regeltrimm- und erste Abschaltssystem und 19 Positionen für das zweite Abschaltssystem. Die 2. Corezone baut sich aus 198 Brennelement- und 18 Regeltrimmelementpositionen auf. (Abb. 2.1-2) Die einzelnen Brennelemente enthalten je 271 Brennstäbe mit einem Durchmesser von 7.6 mm. Der Reaktorkern ist von 168 Brutelementen umgeben.

Als maximale nominelle lineare Stabileistung werden 450 W/cm, mit hot spot-Werten bis 600 W/cm erreicht. Die Plutoniumanreicherung ist mit 14.5 und 20 % für die innere bzw. äußere Corezone festgelegt.

Das 1. Abschaltssystem dient im wesentlichen der Kompensation der maximalen positiven Voidreaktivität (2.4 %), der "cold power" und des Abbrandhubs von  $\sim 2.5$  %. Das vom ersten unabhängige zweite Abschaltssystem ist zur Kompensation der beiden erstgenannten Reaktivitätseffekte ausgelegt.

Die Sicherheitsanalyse wurde für 2 Abbrandzustände des Reaktorkerns durchgeführt und zwar für den Beginn des Gleichgewichtszyklus A (BEC-A) und das Ende des Gleichgewichtszyklus B (EEC-B). Aufgrund des gewählten Beladeschemas des SNR-2000 mit einem jährlichen Brennelementwechsel einer Hälfte der Brennelemente, ergibt sich bei einer maximalen Standzeit eines Ele-

Reaktorleistung		
Elektrische Netto-Leistung	MW	2000
Wirkungsgrad	%	40
Thermische Leistung	MW	5000
Coregeometrie		
Corehöhe	cm	120
Core + axialer Brutmantel	cm	200
Coredurchmesser Zone I	cm	343
Zone I + II	cm	430
Core + radialer Brutmantel	cm	485
axiale Brutmanteldicke	cm	40
radiale Brutmanteldicke	cm	28
H/D Verhältnis	-	0.28
Anzahl der Coreelemente		
Zone I/Zone II/radialer Brutmantel	-	366/198/168
Regelstabpositionen:		
1. Abschaltssystem		
Zone I/Zone II	-	12/18
Positionen für 2. Abschaltssystem	-	19
Brennelement-Daten		
Stabdurchmesser	mm	7.6
Brennstoffschmierdichte	%	85
P/D-Verhältnis	-	1.2
Anzahl der Brennstäbe/BE	-	271
Schlüsselweite des BE	mm	160.5
Thermohydraulische Daten		
maximale nominale Stableistung	W/cm	450
hot spot Stableistung		600
Na-Eintritts-Temperatur	°C	380
mittlere Austrittstemperatur	°C	545



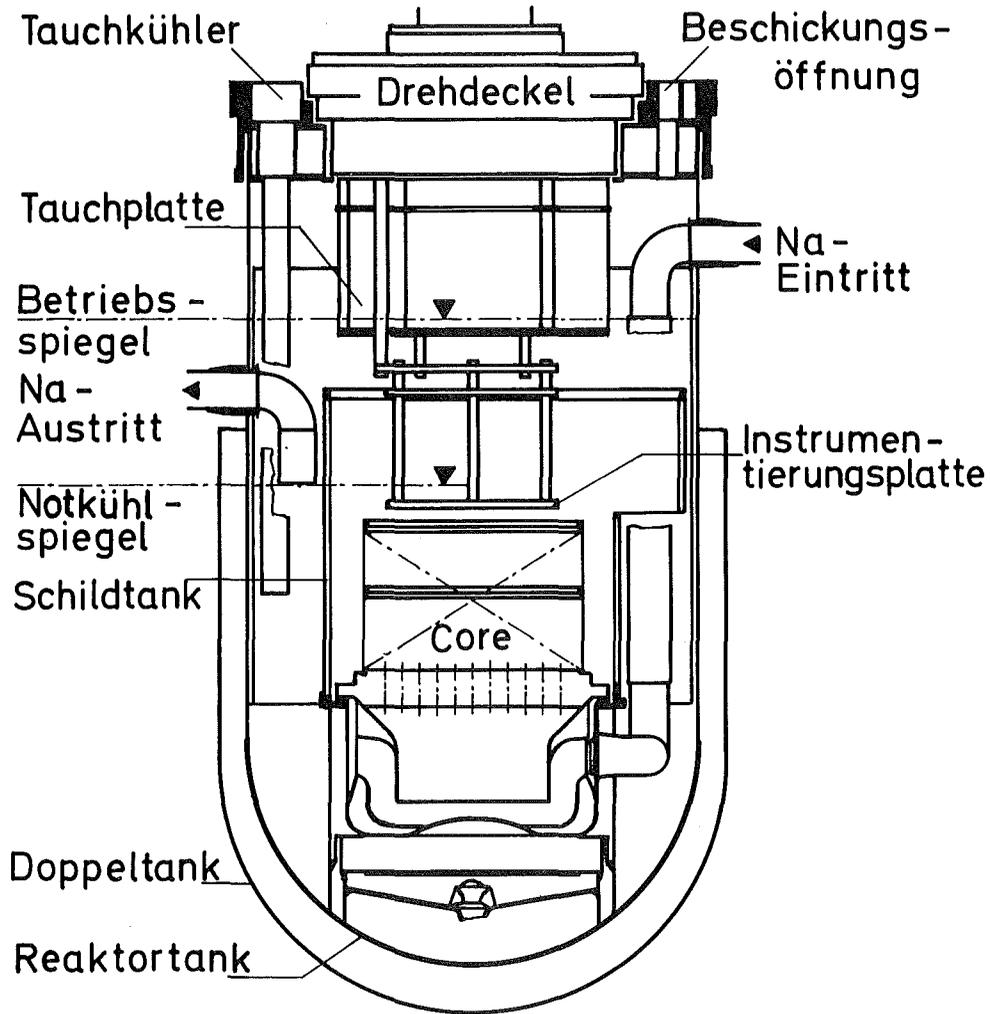


BILD 2.1-1 LÄNGSSCHNITT DURCH DEN SNR-2000 REAKTORTANK;  
ANORDNUNG DER REAKTOREINBAUTEN

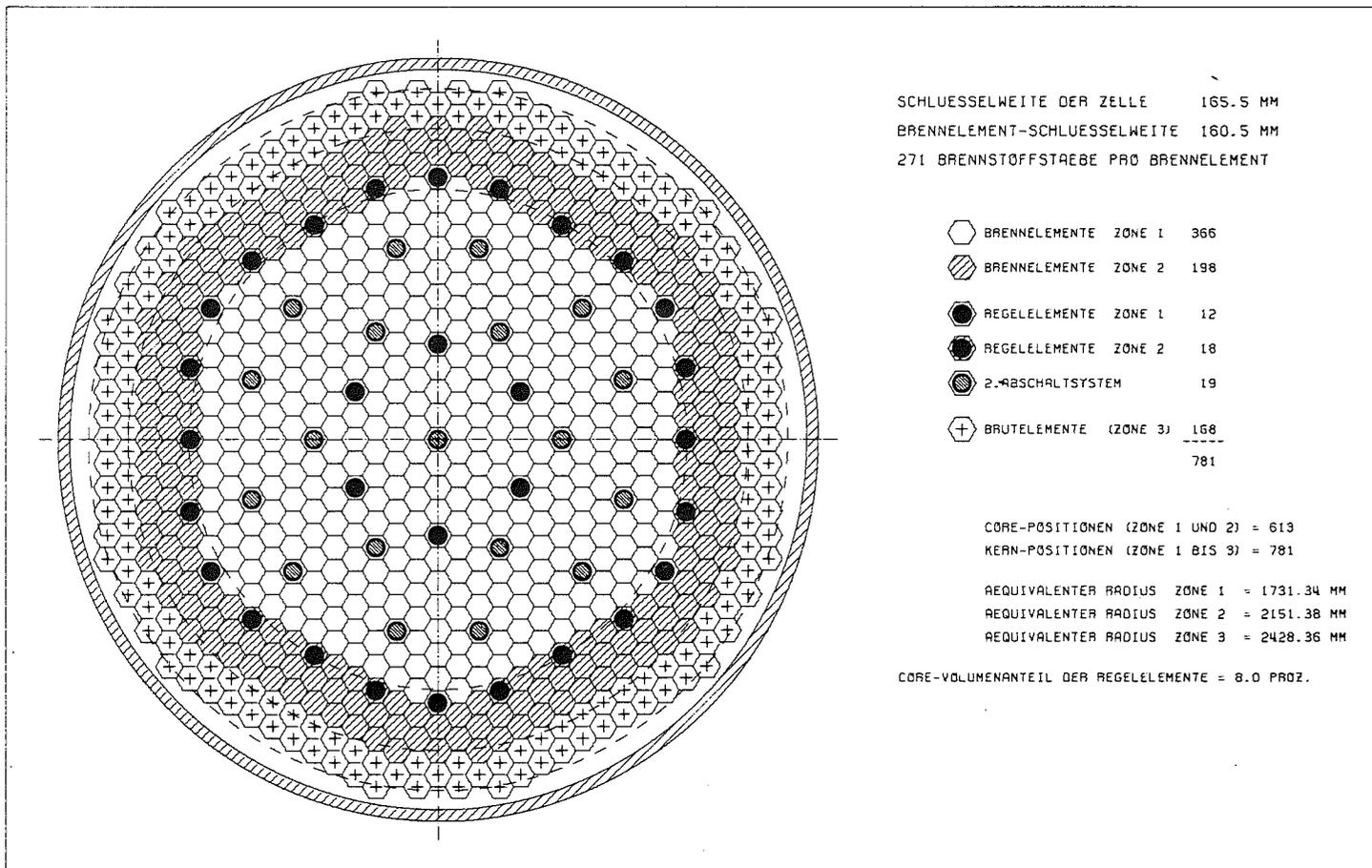


BILD 2.1-2 QUERSCHNITT DES SNR-2000 REAKTORKERNS

ments von 2 Jahren für das BEC-A Core ein Aufbauschema aus frischen und 1 Jahr abgebrannten Elementen während das EEC-B Core ein und zwei Jahre abgebrannte Brennstäbe enthält. Als maximaler Abbrand sollen 80000 MWd/t erreicht werden, was einem mittleren Abbrand von 55000 MWd/t entspricht. Der mittlere Abbrand für das BEC-A Core beträgt dann:  $\sim 14000$  MWd/t und für das EEC-B Core:  $\sim 41000$  MWd/t.

Diese beiden Gleichgewichtszyklen wurden für die Sicherheitsanalyse herangezogen, da sie bezüglich der Kohärenz bzw. der Inkohärenz der Leistungsverteilung Extrema darstellen. Für die BEC-A Konfiguration besitzen  $\sim 57$  % aller Subassemblies im Core eine lineare Stableistung zwischen 400 - 450 W/cm und  $\sim 22$  % erreichen eine Leistung von 350 - 399 W/cm. Beim EEC-B Core sinkt der Anteil der Brennelemente, die über 90 % des Maximalwertes der Stableistung besitzen (400 - 450 W/cm) auf 36 % ab. Die meisten Brennelemente ( $\sim 44$  %) liegen bei einer Stableistung von 350 - 399 W/cm. Die Leistungsverteilung wird bei beiden untersuchten Corezuständen durch die unterschiedliche Regelstabstellung geprägt. Beim BEC-A Core sind die Regeltrimmstäbe bis zu einer Höhe von 80 cm des Cores von oben eingefahren, beim EEC-B Core dagegen voll gezogen. Durch die Regelstäbe wird das axiale Maximum der Leistungs- und Materialwertverteilung im BEC-A Core unter die geometrische Coremittelebene gedrückt. Die unterschiedliche Regelstabstellung wirkt sich jedoch ebenso auf die Radialtraversen von Leistung und Materialwert aus. Beim BEC-A Core liegen die radialen Leistungs- und Wertmaxima der ersten Corezone zwischen den Regelstabpositionen der beiden Regeltrimmstapringe, während im EEC-B Core die Maxima in der zentralen Kernzone liegen. Diese Unterschiede in der Regelstabpositionierung beeinflussen naturgemäß den Störfallverlauf. So werden im EEC-B Core bei den Kühlmitteldurchsatzstörfällen Siedebedingungen zuerst in den inneren Kanälen der 1. Corezone erreicht, während beim BEC-A Core der Ort des Siedebeginns zwischen den beiden Regelstabringen liegt; bei den Leistungsstörfällen wird die Versagensposition der Brennstäbe beim BEC-A Core in die Nähe der Coremittelebene gedrückt.

Auch in der Disassemblyphase wirken sich die eingefahrenen Regelstäbe noch auf den Störfallverlauf aus, da es durch ein gewisses Hinausdrücken dieser Regeltrimmstäbe aus dem Core während der Materialbewegung zu positiven Reaktivitätsrückwirkungen kommt.

Bedingt durch die Größe des SNR-2000 besteht eine gewisse neutronische Entkopplung zwischen den einzelnen Coregebieten. Diese Entkopplung zeigt sich auch bei der Regelstabbewegung. Werden z.B. alle Regelstäbe der beiden Regelstablinge gleichzeitig eingefahren, so liegt der berechnete Reaktivitätseffekt um einen Faktor 1.7 über der Summe der Einzelreaktivitätseffekte, die für das Einfahren jeweils eines einzelnen Regelstablinges berechnet werden /2/ (antishadowing effects).

Die für die Störfallanalyse notwendigen kinetischen Daten und Reaktivitätswertverteilungen wurden für den SNR-2000 mit dem Programmsystem DIXY/DXPRT/10/ berechnet. Einige sicherheitsrelevanten Kenngrößen für den SNR-2000 sind in Tab. 2.1-2 zusammengestellt. Die maximale positive Voidreaktivität des EEC-B Kerns ist mit 6.42 % relativ hoch und liegt um etwa 25 % über der des BEC-A Cores (5.14 %). Bei den Dopplerkonstanten wird je nach Voidanteil in den Rechenmaschen zwischen dem nassen und trockenen Zustand linear interpoliert. Dadurch sollen die Effekte der Spektralhärtung durch das Voiden in Abhängigkeit vom Kühlmittelanteil in den Maschen berücksichtigt werden. Die Dopplerkonstante des nassen liegen dabei um  $\sim 40$  % über denen des trockenen Kerns.

Kernkonfiguration		BEC-A	EEC-B
mittlere Neutronen-Lebensdauer	sec	$4.535 \cdot 10^{-7}$	$4.556 \cdot 10^{-7}$
Anteil verzögerter Neutronen	-	$3.896 \cdot 10^{-3}$	$3.743 \cdot 10^{-3}$
max. positiver Void-Koeffizient	$\Delta k$	0.020	0.024
Doppler-Konstanten des Kerns bei nom. Betriebsbedingungen			
naß	$-T \frac{dk}{dT}$	$7.8 \cdot 10^{-3}$	$7.3 \cdot 10^{-3}$
trocken		$4.7 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$

Tab. 2.1-2 Für die Sicherheitsanalyse relevante Parameter des SNR-2000 Kernentwurfs.

Für die Vergrößerung des Void-Koeffizienten mit dem Abbrand ist im wesentlichen der Aufbau von Spaltprodukten und der Aufbau höherer Pu-Isotope (Pu-240) verantwortlich. Der Anteil der verzögerten Neutronen sinkt durch das Anwachsen des Pu/U Verhältnisses, und die Dopplerkonstanten sinken im EEC-B Core durch den U-238 Abbau und die Spektralhärtung ab.

Für die Disassemblyrechnung werden, um Materialbewegungen reaktivitätsmäßig zu berücksichtigen, sogenannte totale Materialwertkurven benutzt. Der Materialwert der als Änderung der Reaktivität durch Veränderung der Materialdichte an einer Stelle im Reaktor angesehen werden kann, entspricht dabei der homogenen Mischung von Brennstoff, Stahl und Kühlmittel. Diese totalen Materialwertkurven wurden auch mit dem Code DIXY/DXPRT/10/ erstellt.

Im Anhang (Kap. 7) sind die Materialwertverteilungen für beide Abbrandzustände BEC-A und EEC-B zusammengestellt. Beispiele für eine radiale und axiale Materialwerttraverse im BEC-A Core sind in den Abb. 2.4-1 und 2.4-2 gegeben. Es zeigt sich, daß die Materialwerte wegen der Größe des SNR-2000 sehr viel geringer als z.B. für den SNR-300 sind. Die Wertkurven sind zudem speziell in der ersten Corezone relativ flach, so daß nur die zweite Corezone einen großen Wertkurvengradienten aufweist. Auch der axiale Verlauf des totalen Materialwertes zeigt beim BEC-A Core nur im Bereich der eingefahrenen Regelstäbe starke Wertgradienten.

## 2.2. SIMULATION DES STATIONÄREN REAKTORS UND DER STÖRFALL-EINLEITUNGSPHASE

---

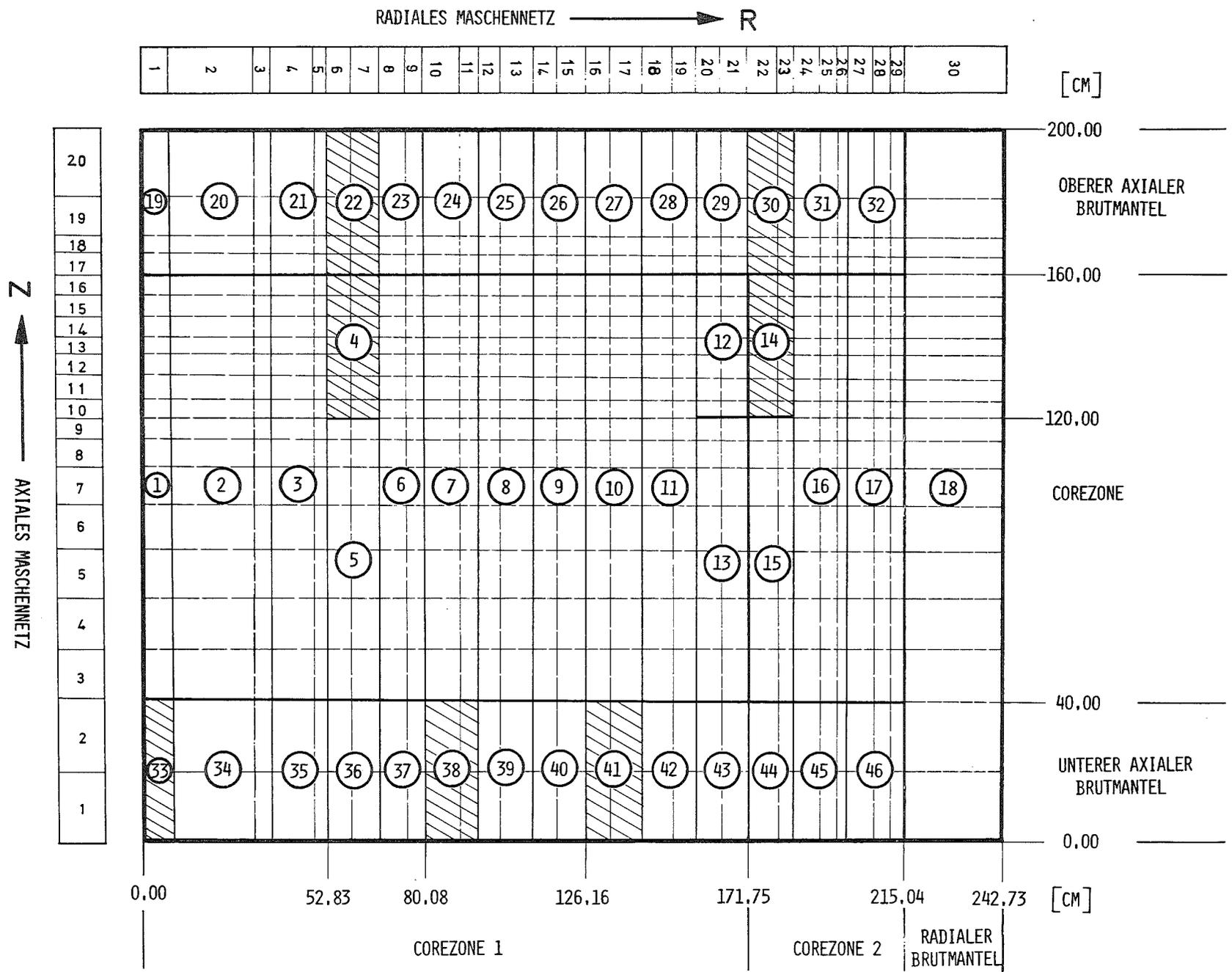
Für die stationäre Simulation des Reaktors und die Störfall-Einleitungsphase wurde das Programm HOPE /11/ bzw. das Programmsystem CAPRI-2 /12/ benutzt. Das thermodynamische und hydraulische Verhalten beider Corekonfigurationen BEC-A und EEC-B wird in beiden Rechencodes durch 30 repräsentative Kühlkanäle simuliert. Jeder Kühlkanal charakterisiert dabei eine bestimmte Brennelementgruppe. Die Brennelemente wurden im wesentlichen nach folgenden Gesichtspunkten zu einer Gruppe zusammengefaßt:

- 1) Abbrandzustand
- 2) Brennelementleistung
- 3) Leistung/Durchflußverhältnis.

Für eine Gruppe von Brennelementen, die durch einen Kühlkanal in HOPE oder CAPRI-2 dargestellt wird gilt demnach, daß nur Brennelemente gleicher Standzeit zusammengefaßt wurden. Weiter differiert die Leistung der Brennelemente in einer Gruppe nur um  $\sim 5\%$  vom Mittel. Zusätzliche, für die Eileitungsphase wichtige Kriterien für die Zusammenfassung der Brennelemente zu bestimmten Gruppen können aus /7/ entnommen werden.

BILD 2.2-1 HYDRODYNAMISCHES RECHENNETZ UND KADIS-ZONEN Einteilung für die Disassemblyrechnungen des SMR-2000

DIE SCHRAFFIRTE ZONEN 4 UND 14 ENTHALTEN IM BEC-A CORE REGELTRIMSTÄBE, DIESE SIND BEIM EEC-B ABBRANDZUSTAND AUS DEM CORE GEZOGEN.



Die durch die Kanalstruktur in HOPE und CAPRI-2 vorgegebene Auflösung des Cores und der Blankets wurde auch für die Analyse der Disassemblyphase mit dem Rechencode KADIS /13/ beibehalten. Das Rechennetz für die Hydrodynamik entspricht also im radialen Richtung den 30 Kanälen und auch in axialer Richtung den vorgegebenen 20 Segmenten. Um diese Kopplung zwischen den Codes für die Einleitungsphase mit der Disassemblyphase konsistent durchzuführen, wurden die Brennelemente einer Gruppe auf Radien positioniert, die innerhalb der Radienbegrenzung des äquivalenten, verschmierten Elementtringes dieser Gruppe in  $r - z$  Darstellung liegen. Das hydrodynamische Rechennetz für KADIS ist in Abb. 2.2-1 dargestellt. Das Maschennetz verdichtet sich in Richtung des oberen axialen Brutmantels. Dadurch soll die Verteilung der Voidgebiete, die durch Kühlmittelsieden oder Brennstoff/Natriumreaktion verursacht werden, möglichst genau berücksichtigt werden. Radial wurde besonders die zweite Corezone durch insgesamt 8 Kühlkanäle fein aufgelöst. Dies erweist sich für die Disassemblyphase als wichtig, da die zweite Corezone den wesentlichen Anteil an der Abschaltwirkung durch Materialbewegungen produziert.

Das Rechennetz für die Disassemblyrechnungen besteht also aus 600 "KADIS-Maschen", die zu insgesamt 46 Zonen zusammengefaßt wurden. Die Zonen 1 - 13 stellen dabei die erste Corezone, die Zonen 14 - 17 die zweite Corezone dar. Zone 18 umfaßt den gesamten radialen Brutmantel und die Zonen 19 - 32 und 33 - 46 das obere und untere axiale Blanket. Beim BEC-A Core enthalten die Zonen 4 (22) und 14 (30) die in das obere Drittel des Cores eingefahrenen Regeltrimmstäbe. Beim EEC-B Core sind diese aus dem Core gezogen und liegen nur mehr in den Zonen 22 und 30. Die Zonen 33, 38 und 41 enthalten das zweite Abschaltssystem. (Siehe auch Abb. 2.1-2) Damit befinden sich im Corebereich in Zone 1, 5, 7, 10 und 15 auch Followerstäbe. Die für jede der 46 Zonen verwendeten radialen und axialen Materialwertkurven werden im Anhang aufgeführt. In KADIS müssen dabei mindestens 3 Stützstellen dieser Wertkurven in der jeweiligen Zone gegeben sein.

### 2.3 DAS RECHENMODELL FÜR DIE DISASSEMBLYPHASE

Die Gesamtstörfallanalyse wurde mit den Programmen HOPE /11/, CAPRI-2 /12/ und KADIS /13, 14, 15/ durchgeführt. Mit dem Rechencode HOPE wurde dabei das Verhalten des Reaktorkerns während der Einleitungsphase eines Leistungsstörfalls und mit dem Programmsystem CAPRI-2 die Einleitungsphase eines Kühlmittel-durchsatzstörfalles simuliert.

Durch den starken Leistungs- und Temperatur/Druckaufbau im Core wird schließlich ein Zustand erreicht, bei dem nicht mehr von einer intakten Corestruktur ausgegangen werden kann. Zu diesem Zeitpunkt wird die Disassemblyrechnung mit KADIS initialisiert. In der Disassemblyphase werden nun keine bestimmten Brennstäbe mehr modelliert, die das Core repräsentativ darstellen, sondern die Brennstoff/Stahl- und Kühlmittelanteile eines bestimmten Pinabschnitts werden homogenisiert und einer sogenannten KADIS-Masche zugeordnet. Das Core wird dabei als Fluid betrachtet und die Materialbewegung mit hydrodynamischen Gleichungen beschrieben. Die durch Reaktivitätszufuhr bedingte Leistungsexkursion führt über die Temperaturerhöhung zu starkem Druckaufbau. Gemeinsam mit dem Dopplereffekt wird durch Materialbewegung und -umverteilung aus Bereichen hoher Leistungsdichte (und Materialwertes) in Gebiete mit niedriger Leistungsdichte der Reaktor neutronisch abgeschaltet und die Exkursion beendet. Der Druck wird dabei im allgemeinen aus Brennstoffdampfdrücken aufgebaut, jedoch geht die stärkste Abschaltwirkung von den Coregebieten aus, wo durch Brennstoffausdehnung während des Temperaturtransienten in den einzelnen Maschenzellen die Voidanteile eliminiert und extrem hohe einphasige Drücke erreicht werden können. Werden im KADIS-Modell Spaltgase berücksichtigt /19/, so treten derartige Einphasen-Flüssigkeitsdrücke nicht auf.

Zwischen den Programmen HOPE, CAPRI-2 einerseits und KADIS andererseits besteht eine konsistente Kopplung der Aus- bzw. Eingabedaten. Die Codes, mit denen die Einleitungsphase simuliert wurde, legen das Temperaturprofil, die Dichten und Volumsfraktionen der Corematerialien, wie Brennstoff, Stahl und Kühlmittel

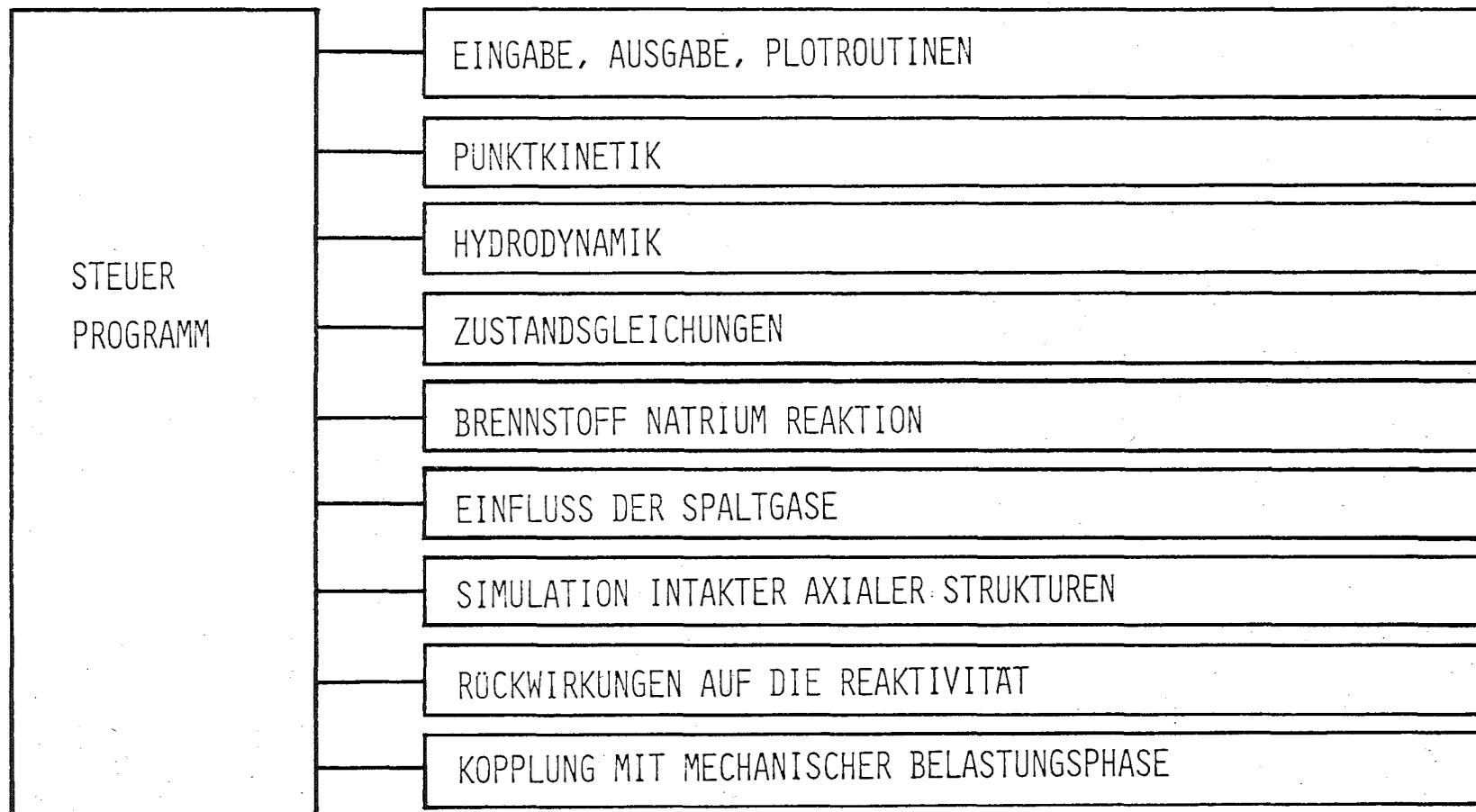


BILD 2.3-1 STRUKTUR DES KADIS SYSTEMS

zu Beginn der Disassemblyphase fest. Außerdem wird ein Satz von Dopplerkonstanten übergeben, welche die Voidverteilung am Disassemblybeginn widerspiegeln. Mit HOPE und CAPRI-2 wird über den eigentlichen Disassemblybeginn hinaus weitergerechnet, um den Reaktivitätsverlauf durch weiteres Ausvoiden oder Brennstoffbewegung in den Pins zu berücksichtigen. Diese vorausgerechneten Reaktivitätswerte werden tabellarisch an KADIS übergeben und dadurch für den ersten Teil der Disassembly der Reaktivitätsverlauf festgelegt. Diese tabellarische Übergabe hat den Vorteil gegenüber einer vorgegebenen Reaktivitätsrampe, daß die Ergebnisse der Disassemblyphase nicht so stark vom jeweiligen Übergabezeitpunkt zur Coredisassembly abhängig werden.

Das Programm KADIS, mit dem die Disassemblyphase des SNR-2000 beschrieben wird, ist ein zweidimensionaler gekoppelter Hydrodynamik-Neutronik Code. Die Struktur des KADIS-Systems ist in Abb. 2.3-1 dargestellt.

Dem Code liegen dabei folgende Annahmen zugrunde:

- 1) Der Reaktor wird in R-Z-Zylindergeometrie modelliert. Die Bewegung des Reaktormaterials erfüllt die hydrodynamischen Gleichungen einer kompressiblen, nichtviskosen Flüssigkeit. Für die hydrodynamische Beschreibung wird die Lagrangeform gewählt. Die in einer KADIS-Masche vorhandene Materialmasse von Brennstoff, Stahl und Kühlmittel bleibt damit kon-

stant. Die Finite-Differenzendarstellung der Lagrangen hydrodynamischen Gleichungen kann zu numerischen Abbruchfehlern führen, wenn das Lagrangenetz zu stark deformiert wird, d.h. große Maschenbewegungen verschlechtern die Lösung und sollten vermieden werden. Daraus ergibt sich zwangsläufig die Einschränkung, daß KADIS nicht für das Studium ausgedehnter Materialbewegungen benutzt werden kann.

- 2) Für die Thermodynamik wird ein adiabatisches Modell verwendet, d.h. es wird kein Wärmeübergang zwischen dem Brennstoff und den übrigen Materialien oder zwischen verschiedenen temperierten Brennstoffschichten simuliert. (Ausnahme: Brennstoff/Natriumreaktion)  
Diese Annahme ist gerechtfertigt bei einer kurzen Disassemblydauer von einigen Millisekunden, da während dieser Zeitperiode nur geringe Wärmeübertragungseffekte möglich sind. Bei nicht-energetischen Exkursionen, die wegen des geringen Druckaufbaus und der kleinen Dopplerrückwirkung relativ lange Disassemblyzeiten aufweisen (einige 10 msec), lassen sich starke Wärmeübertragungseffekte etwa auf Stahl nicht ausschließen. Die Wärmeflüsse betragen dabei einige  $1000 \text{ Watt/cm}^2$ , so daß es zu Stahlverdampfung und Brennstoffabkühlung kommt. Diese Stahlverdampfung stellt eine zusätzliche Druckquelle dar, welche die Brennstoffbewegung stark beeinflussen kann.
- 3) Es wird keine Relativbewegung zwischen den Materialien oder verschiedenen Phasen von Brennstoff, Stahl und Kühlmittel berücksichtigt. Auch diese Einschränkung kann bei einer sehr kurzen Disassemblydauer akzeptiert werden. Bei

langsam ablaufenden, wenig energetischen Kernzerlegungsprozessen kann es jedoch durch die Brennstoffausdehnung zu einer Ejektion des Natriums aus dem Core kommen. Daraus resultiert eine relativ rasche Druckentlastung der einphasigen Drücke, und KADIS würde dann sowohl den Abschalteffekt durch Materialbewegung überschätzen als auch den zusätzlichen positiven Reaktivitätseffekt durch die Kühlmittlejektion nicht berücksichtigen. Untersuchungen mit dem Disassemblycode VENUS-III /16/, bei dem Schlupfbewegung zwischen den Materialien zugelassen ist, zeigen, daß bei milden Exkursionen die Energiefreisetzung durch Codes wie KADIS und VENUS-II beträchtlich unterschätzt werden kann.

Zusätzlich wird bei milden Exkursionen auch die Bewegungsrichtung des Brennstoff/Stahlgemisches stark von der verbleibenden intakten Corestruktur bestimmt. Der durch die niedrigen Brennstofftemperaturen bedingte geringe Dampfdruckaufbau ist dabei nicht in der Lage, die Kastenwände der Brennelemente zu zerstören. Die Bewegung des Brennstoff/Stahlgemisches wird dadurch hauptsächlich in axiale Richtung gelenkt werden. Es ist eine Option in KADIS vorhanden, mit der die radiale Corebewegung unterdrückt werden kann, also die Effekte einer intakten radialen Struktur simuliert werden können. Diese Option ließ sich jedoch beim SNR-2000 nicht sinnvoll anwenden (siehe Kap. 4.4.1).

- 4) Für die Neutronik wird ein Punktkinetikmodell verwendet. Die Leistungsdichte  $Q$  jeder KADIS-Maschenzelle ist durch eine zeitunabhängige vorgegebene Leistungsverteilung und eine zeitabhängige Amplitudenfunktion, die aus den punktkinetischen Gleichungen bestimmt wird, vorgegeben:

$$Q(r(t), z(t), t) = n(t) \psi(r(0), z(0))$$

Die geometrische Form der Leistungsverteilung (und auch des Materialwertes) bleiben also während des gesamten Disassemblyverlaufs ungeändert, unabhängig von der tatsächlichen Materialumverteilung. Als Reaktivitätsrückwirkungen werden im Punktkinetikmodell der Dopplereffekt und die Corematerialbewegung berücksichtigt. Die Gültigkeit dieses Punktkinetikmodells dürfte mit Zunahme der geometrischen Abmessungen des Reaktorkerns immer weiter eingeschränkt werden. Auch extreme Materialbewegungen und Materialumverteilungen während der Disassemblyphase, welche die Leistungsformfunktionen des Cores drastisch ändern, können die Gültigkeit der Punktkinetik in Frage stellen. Eine Verfolgung der Corematerialverteilung über die erste Exkursion hinaus läßt sich wegen der Punkte 1, 4 und 5 daher nicht durchführen. Reaktivitätsfragen nach dem primären "burst" lassen sich mit KADIS also nicht ohne weiteres beantworten.

- 5) Wie die Leistungsverteilung, so ist auch die Materialwertverteilung  $W(r, z)$  von der Zeit unabhängig. Die Bewegung des Corematerials während der Disassembly wird reaktivitätsmäßig mit Störungstheorie 1. Ordnung berücksichtigt. (Die Wertkurve wird also mit ungestörten Flüssen berechnet)

Die Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung  $\rho^*(t)$  ist dabei dem Gradienten der Materialwertkurve  $\nabla W(r, z)$  und der Materialverschiebung  $\Delta X(r, z)$  proportional.

$$\rho^*(t) = \int_V \rho(r, z, t) \nabla W(r, z) \Delta X(r, z, t) dV$$

$\rho(r, z, t)$  Materialdichte zum Zeitpunkt  $t$

Für die Gültigkeit dieses Algorithmus gelten im wesentlichen die Aussagen von Punkt 4. Aus der oben angeschriebenen Beziehung geht hervor, daß große Abschaltwirkungen durch Materialbewegung durch steile Wertkurvengradienten und große Materialverschiebungen erzielt werden können. Da extensive Materialverrückungen wegen der Punkte 1,4 und Verwendung der Störungstheorie 1. Ordnung nur bis zu einem gewissen Punkt zulässig sind, müssen vor allem steile Wertkurven den Reaktivitätseffekt liefern. Daher werden bei einem 2-Zonencore insbesondere die größten Wertkurvengradienten der äußeren, also zweiten Corezone einen wesentlichen Anteil zur Abschaltreaktivität beitragen.

6) In KADIS finden im wesentlichen vier Zustandsgleichungen Verwendung:

a) EOS-1: (Equation of State - 1)

Diese Zustandsgleichung stellt die Dampfdruckbeziehung von Menzies /17/ dar. Der Druck in jeder Maschenzelle hängt nur von deren innerer Energie ab.

b) ANL-EOS:

Diese Zustandsgleichung basiert auf dem Prinzip der korrespondierenden Zustände. Mit der ANL-EOS werden sowohl die innere Energie als auch die Dichte der jeweiligen Maschenzelle berücksichtigt /15/. Mit der ANL-EOS können somit Ein- und Zweiphasenbedingungen im Core adäquat simuliert werden.

c) SST-EOS:

Basierend auf der Theorie der "significant

liquid structure" /18/ ergeben sich für die SST-EOS etwas höhere Dampfdrücke als bei der ANL-EOS. Ebenso sind die spezifischen Wärmen  $C_p$  für den flüssigen Brennstoff um  $\sim 25$  % höher.

d) FIGAS-EOS:

Bei dieser Zustandsgleichung werden schließlich neben dem Brennstoffdampfdruck auch die entsprechenden Drücke der Spaltgase berücksichtigt /19/. Dabei wird instantane Freisetzung des Spaltgases proportional zur Schmelzfraktion in der Maschenzelle angenommen.

- 7) In KADIS kann konsistent mit der Einleitungsphase eine Brennstoff/Natriumreaktion weitergerechnet oder neu initialisiert werden. In der Disassemblyphase haben die von der BNR stammenden (z.T. einphasigen) hohen Drücken zur Folge, daß das Corematerial stärker beschleunigt wird und die nukleare Exkursion durch die kräftigere Materialbewegung rascher neutronisch abgeschaltet wird. In der Disassemblyphase wurde für die Modellierung der BNR das Modell von Fischer/Caldarola /3,20/ ähnlich dem Cho/Wright Modell /21/ herangezogen. Charakteristisch für das Caldarola-Modell ist, daß nach den ersten Wärmeübertragungsprozessen durch die Bildung eines Dampffilms um die Brennstoffpartikel die Wärmeübertragung von Brennstoff auf das Natrium immer stärker behindert wird. Im KADIS-Formalismus ist der Voidanteil dem Brennstoffanteil in der Masche zugeschlagen. Wenn daher die mittlere Brennstoffdichte kleiner als 90 % der theoretischen Dichte wird, wird die Wärmeübertragung auf das Natrium abgebrochen. Dadurch wird erreicht, daß nicht zu viel Wärme auf das Natrium

übertragen und die Corematerialbewegung nicht zu heftig wird. Die Brennstoff/Natriumreaktion kann dabei durch einige Parameter gesteuert werden, und zwar durch:

- a) Den Partikelradius des Brennstoffs
  - b) Die Mischungszeitkonstante, die im Cho-Wright-Modell die Zeit für das Austreten des Brennstoffs aus dem Pin - für das Durchmischen von Brennstoff und Natrium - für die Fragmentation der Brennstoffpartikel und die Zeit für die Ausbildung einer einheitlichen BNR-Zone enthält.
  - c) Initialisierungstemperatur für die Brennstoff/Natriumreaktion.
  - d) Initialisierungstemperatur für Berücksichtigung der Natriumdampfdrücke.
- 8) In KADIS ist zusätzlich die Berücksichtigung von Spaltgaseffekten vorgesehen. Dies wird durch den Einbau einer zusätzlichen neuen Zustandsgleichung von Fischer /19/ ermöglicht. (Kap. 2.3. - Pkt. 6) Dabei resultiert der Druckaufbau in einer KADIS-Masche aus dem Brennstoffdampfdruck und dem Spaltgasdruck. Das Spaltgas wird dabei instantan im Verhältnis zur Schmelzfraktion des Brennstoffs freigesetzt. Im allgemeinen führt die Berücksichtigung in der Disassemblyphase zu einem schnelleren neutronischen Abschalten des Reaktors und daher zu einer drastischen Erniedrigung der Energiefreisetzung /19, 22/. Die schnellere Beendigung der Exkursion wird dabei nicht nur durch die zusätzliche Druckquelle in der KADIS-Masche

bewirkt, sondern durch die Spaltgasfreisetzung, die in KADIS instantan und proportional zur Schmelzfraktion in den einzelnen Maschen erfolgt, werden auch schon bei geringen Energiedichten mit vernachlässigbaren Brennstoffdampfdrücken relativ hohe Spaltgasdrücke erreicht.

Bei der Disassemblyanalyse für den SNR-2000 wurde die neue Zustandsgleichung nicht eingesetzt und der Spaltgasdruckaufbau im Core nicht berücksichtigt. Im wesentlichen waren dafür folgende Gründe ausschlaggebend:

- a) Es sollten möglichst ähnliche Modelle verwendet werden, wie bei der Analyse hypothetischer Störfälle für das Mark Ia Core des SNR-300 /3/. Spaltgaseffekte wurden beim abgebrannten Mark Ia Kern in /3/ ebenso nicht modelliert. Durch die Vernachlässigung des Spaltgasdrucks während der Coredisassembly wird die Energiefreisetzung beim SNR-2000 sicherlich überschätzt, jedoch wird ein gewisser Vergleich der freigesetzten Energien zwischen SNR-300 und SNR-2000 möglich.
- b) Die Sicherheitsanalyse des SNR-2000 sollte eine obere Grenze der Energiefreisetzung liefern. Die Berücksichtigung der Spaltgase in der Disassemblyphase würde jedoch die Energieproduktion wahrscheinlich stark reduzieren /19, 22/.

Es bestehen jedoch noch gewisse Unsicherheiten, wieviel Spaltgas vor der Exkursion freigesetzt wird und dann für die Brennstoffdispersion fehlt, und ob das beim Schmelzen freigesetzte Spaltgas sofort zum Druckaufbau beiträgt oder erst mit einer gewissen Verzögerung im Millisekundenbereich zu wirken beginnt /23/. Eine Verzögerung des Druckaufbaus würde die Energieproduktion natürlich wieder ansteigen lassen.

Weiters sind auch die Spaltgaseffekte in Verbindung mit Brennstoff/Natriumreaktionsprozessen weitgehend unbekannt.

- c) Schließlich sollten die durchgeführten Untersuchungen eine erste Abschätzung der möglichen mechanischen Belastung der Tankstruktur ergeben. Bei dem in KADIS verwendeten Formalismus zur Berechnung der mechanischen Energiefreisetzung können jedoch zur Zeit noch keine Spaltgaseffekte berücksichtigt werden.

Wie die Rechnungen in der Einleitungsphase zeigen, ist der Spaltgasaufbau in beiden Corekonfigurationen BEC-A und EEC-B bei den Stäben mit 1 und 2 Jahren Standzeit beträchtlich /7/. Es besteht damit das Potential einer kräftigen Reduzierung der Energie-

freisetzung durch ein schnelleres Auseinandertreiben des Cores. Dies sollte bei den Ergebnissen der Leistungs- und Kühlmitteldurchsatzstörfälle Kapitel 3 und Kapitel 4 berücksichtigt werden.

- 9) KADIS enthält ein Modul mit welchem die mechanische Belastung der Tankstruktur durch die Leistungsexkursion abgeschätzt werden kann /3/. Dabei wird die hochkomprimierte Brennstoffdampfblase am Ende des Disassemblyvorganges bis auf das vorgegebene freie Volumen im Tank (also das Coregasvolumen) isentrop entspannt und das Arbeitsintegral  $\int p dV$  ausgewertet. Im Sinne einer oberen Abschätzung wird dabei jede einzelne KADIS-Maschenzelle unabhängig bis zu einem bestimmten Druck/Volumenwert entspannt. Die mechanische Arbeit des Gesamtcores stellt die Summe der Einzelbeiträge jeder Maschenzelle dar. Der Ausgangspunkt für die isentrope Entspannung kann dabei sowohl im Ein- als auch Zweiphasengebiet liegen. Die thermodynamischen Zustandsdaten für diesen Formalismus basieren auf Werten von Menzies /17/ und der ANL-EOS /15/. Die vom expandierenden Core geleistete mechanische Arbeit kann also nur konsistent und sinnvoll berechnet werden, wenn für die Disassemblyrechnungen auch die ANL-EOS verwendet wird. (Siehe Kap. 2.3, Punkt 6 und 8)

Faßt man die wesentlichen Aussagen der Punkte 1 - 9 zusammen, so zeigt sich, daß KADIS optimal für kurze heftige Disassemblyvorgänge in Cores geeignet ist, in denen ortsabhängige Kinetikeffekte eine untergeordnete Bedeutung haben. Eine Modellverifizierung ist naturgemäß für Disassemblycodes sehr schwierig und existiert aus verständlichen Gründen für einen großen natriumgekühlten Schnellen Brüter nicht. Jedoch konnte eine begrenzte Anzahl von Experimenten, die eine Core-Disassembly modellieren, für andere Reaktortypen durchgeführt werden /24, 25/. Hierbei sollen vor allem die KIWI-TNT, SNAPTRAN-2 und SNAPTRAN-3 Reaktordisassemblytests erwähnt werden. Das KIWI-TNT-Core wird aus nicht umhüllten Graphitblöcken, die voll angereichertes Uran-Dikarbid enthalten, aufgebaut und die SNAPTRAN-Cores bestehen aus stahlumhüllten Brennstäben aus angereichertem Uran und Zirkonhydrid. Das SNAPTRAN-2-Core enthält kein Kühlmittel während bei SNAPTRAN-3 als Kühlmittel NaK verwendet wird. Die Leistungsexkursionsexperimente wurden mit dem Disassemblycode VENUS-II /15/, der im wesentlichen identisch mit KADIS ist, nachvollzogen /26/. Es konnte gezeigt werden, daß mit VENUS-II der Verlauf des nuklearen Leistungstransienten und die total freigesetzte Energie während der Disassemblyphase genau vorhergesagt werden konnten. Diese guten Übereinstimmungen zwischen den Rechnungen mit VENUS-II und den Experimenten gibt auch ein gewisses Vertrauen in die Ergebnisse bei einer Anwendung eines Disassemblycodes auf einen großen natriumgekühlten Schnellen Brutreaktor.

Die Beurteilung der Ergebnisse dürfte schwieriger werden, wenn die Leistungstransienten sehr gering sind und eher das Einlaufen des Störfalls in eine Art "Transition Phase" /27/ wahrscheinlich wird. Hier können Phänomene, wie Wärmeübertragung auf Stahl oder Schlupfbewegung zwischen den Materialien und Phasen die Anwendung von KADIS unmöglich machen. Ebenso kann mit den Disassemblycodes mit Lagrangenetz die Materialbewegung nur bis zu einem gewissen Ausmaß verfolgt werden, da sonst der numerische Algorithmus instabil wird. Ausgedehnte Materialbewegungen und die Verfolgung des Störfalls über die

erste Exkursion hinaus lassen sich nur mit Codes wie SIMMER /28/, VENUS-III /29/ etc. durchführen, welche die Eulersche Darstellungsweise der Hydrodynamik verwenden.

#### 2.4 PROBLEME BEI DER BESCHREIBUNG DER DISASSEMBLYPHASE GROSSER REAKTORKERNE

---

Die für diese Studie benutzten Rechenmodelle sind im wesentlichen identisch mit denen für die Untersuchung hypothetischer Störfälle im Mark Ia Core des SNR-300. Als Basis für die Sicherheitsanalyse des SNR-2000 können dabei auch die Erfahrungen, die während der Analyse des SNR-300 gewonnen wurden, dienen. Es stellt sich die Frage, ob bei einem im Vergleich zum SNR-300 sehr viel größeren Core andere physikalische Mechanismen den Störfallablauf bestimmen und inwieweit Methoden, die sich für die Analyse des SNR-300 als adäquat erwiesen, auf einen großen Reaktorkern angewandt, Gültigkeit besitzen. Die Größenunterschiede können an der Coremasse oder dem Corevolumen verdeutlicht werden. So ist die Core-Brennstoffmasse des SNR-2000 etwa 8 - 9 mal größer als die des SNR-300.

Im folgenden sollen einige Eigenschaften großer Cores in Hinblick auf das Verhalten in der Disassemblyphase aufgezeigt und kurz diskutiert werden.

- 1) Die geometrischen Dimensionen (z.B. Coredurchmesser beim SNR-2000:  $> 4\text{m}$ ) und entsprechend auch die Vergrößerung des Cores in freien Weglängen gemessen führen zu einer gewissen neutronischen Entkopplung der einzelnen Reaktorbereiche. Dies legt grundsätzlich die Verwendung von ortabhängiger Kinetik nahe. Bei Benutzung eines Punktkinetikmodells muß daher darauf geachtet

- werden, daß es in der Disassemblyphase nicht zu extremen Materialumverteilungen kommt, welche die Leistungsformfunktionen stark ändern können.
- 2) Das Rekritikalitätspotential eines großen-Cores wird u.a. wesentlich durch die größere, für kritische Anordnungen verfügbare Spaltstoffmasse bestimmt. Andererseits besitzt das Corematerial eine niedrigere Anreicherung und einen geringeren Materialwert, so daß von dieser Seite her auch größere Massenanteile bewegt werden müssen, um starke Reaktivitätseffekte zu erzielen.
  - 3) Durch die niedrige Pu-Anreicherung und den hohen U-238 Gehalt steigt der Dopplereffekt eines großen Cores stark an. Wie die Rechnungen in Kap. 3 und 4 zeigen werden, bestimmt beim SNR-2000 im wesentlichen der Dopplereffekt den Verlauf der Leistungsexkursion.
  - 4) Die Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung wird geringer. Dies hängt mit dem geringen Materialwert und den flachen Materialwertkurven bei einem großen Reaktorkern, besonders in der 1. Corezone zusammen. Beispiele für eine radiale und eine axiale Materialwerttraverse sind in den Abb. 2.4-1 und 2.4-2 gegeben. Hinzu kommt noch die größere Massenträgheit besonders in den Außenringen des Cores, deren Massen proportional mit  $R^2$  anwachsen. Um also Reaktivitätswirkung durch Materialbewegung zu erhalten, muß das Kernmaterial über relativ große Strecken bewegt werden.

- 5) Die flache Leistungsverteilung kann zu einer größeren Kohärenz im Störfallablauf führen. Daher ist besonders bei den großen Cores eine höhere Auflösung des Kerns mit vielen Kühlkanälen wünschenswert, um möglichst viele Inkohärenzeffekte mit zu berücksichtigen.
  
- 6) Eine weitere Frage, die für große Reaktorkerne relevant wird, ist, ob die Modellierung in R - Z Geometrie ausreicht oder ob auch azimutale Effekte mitberücksichtigt werden müssen, da die Größe des Reaktors auch zu einer gewissen thermischen Entkopplung der Kernbereiche führt. Lokale Brennstoffbewegung in azimuthaler Richtung, ausgelöst durch die primäre Exkursion, könnte zu einer zweiten Exkursion im restlichen Core führen. Hierbei könnten hohe Reaktivitätsrampen auftreten, die zu einer heftigen, stark energetischen Disassembly des Gesamtcores führen. Untersuchungen zu diesem Problem wurden für große Cores (1000 MWe) vor allem von Bleiweis /30/ durchgeführt. Hierzu wurde der Disassemblycode VENUS-II als Grundlage verwendet. Für die dreidimensionale Lösung der Impulsgleichung in der Lagrange-Hydrodynamik wurde ein Näherungsverfahren, das Syntheseverfahren nach Galerkin, verwendet. Die dreidimensionale Behandlung des Core-Disassemblyvorganges für die speziell gewählten Reaktorkonfigurationen zeigte keinen wesentlichen Einfluß auf die Ergebnisse der Disassemblyrechnungen. Die azimutale Materialbewegung scheint gegenüber der Bewegung in radialer und axialer Richtung einen Effekt 2. Ordnung darzustellen, zumindest für die betrachteten Modellfälle.

Die Untersuchungen zeigen darüber hinaus, daß eine vollnumerische, exakte dreidimensionale Behandlung der hydrodynamischen Gleichungen auf den zur Zeit zur Verfügung stehenden Rechenanlagen aus Rechenzeit- und Speicherplatzgründen wahrscheinlich nicht möglich ist.

- 7) Eine weitere Studie von Bleiweis /31/ beschäftigt sich mit der Sicherheitsanalyse großer 2- und 4-Zonen-Cores mit elektrischen Leistungen von 1000 - 4000 MW. Die Untersuchungen wurden mit dem System SAS2A/VENUS-II durchgeführt. Ein wesentliches Ergebnis dieser Studie ist die näherungsweise Proportionalität von Coregröße bzw. Coreinventar und der im Brennstoff nach dem Störfall gespeicherten thermischen Energie - einem Maß für die Schwere des Störfalls. Einschränkend muß jedoch bemerkt werden, daß z.B. während des Disassemblyvorganges keine Brennstoff/Natriumreaktion simuliert wurde, daß die Coreentwürfe nicht optimiert waren wie etwa beim SNR-2000, daß die geringe Anzahl der repräsentativen Kühlkanäle in SAS2A keine echte Auflösung der Kohärenz- bzw. Inkohärenzphänomene bei den großen 4000 MWe Cores mit 460 cm Durchmesser zuläßt und daß auch keine konsistente Kopplung zwischen SAS2A und VENUS-II bestand.

Sowohl die absoluten Zahlenwerte als auch der Trend in den Ergebnissen muß daher mit Vorsicht betrachtet werden. Insbesondere der lineare Zusammenhang zwischen Leistungsgröße und Energiefreisetzung während des Störfalls ist, wie die Ergebnisse für den SNR-2000 zeigen, nicht unbedingt gültig.

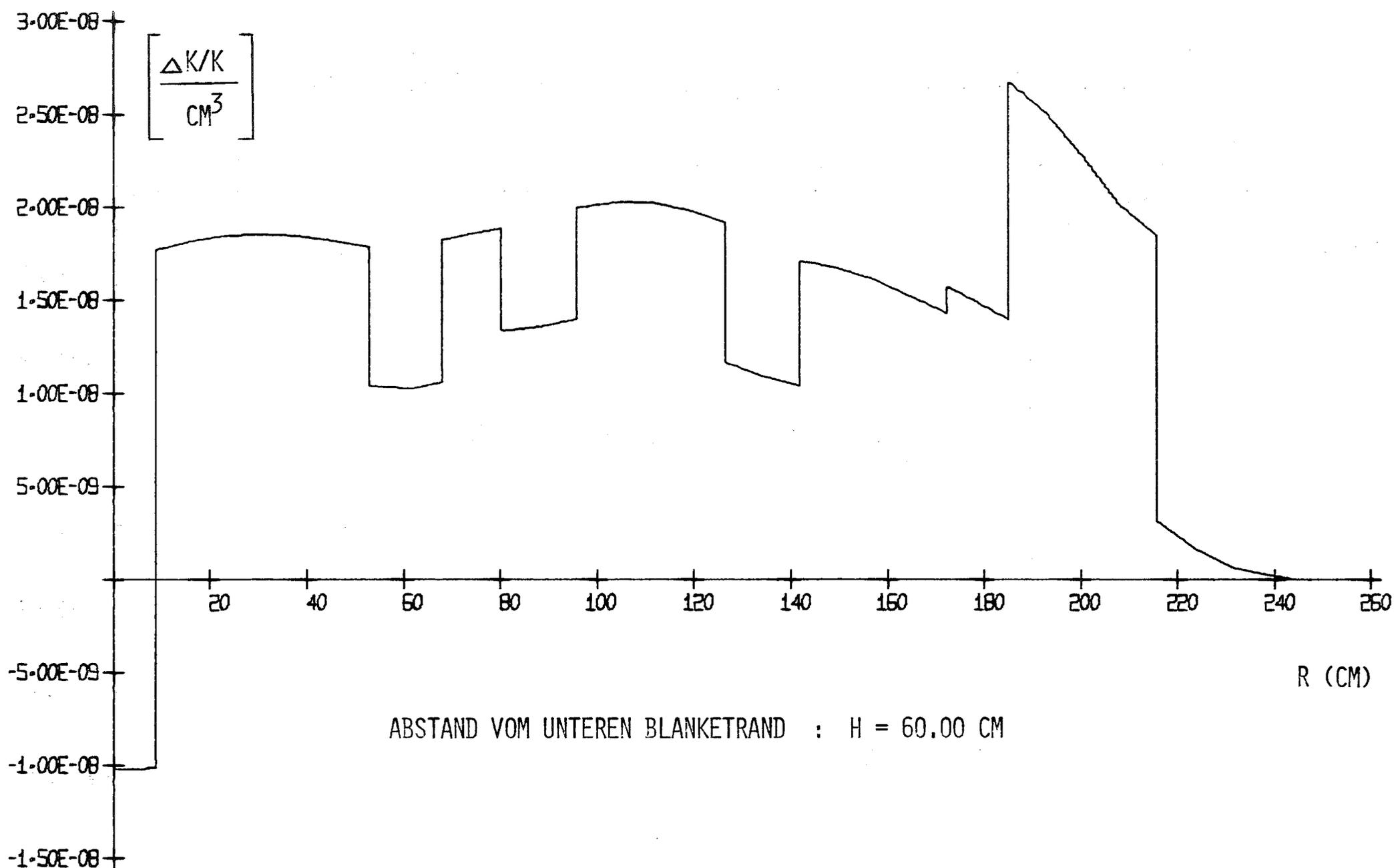


BILD 2.4-1 RADIALE TRAVERSE DURCH DIE TOTALE MATERIALWERTVERTEILUNG  $[\Delta K/K / \text{CM}^3]$  FOR DAS BEC-A CORE

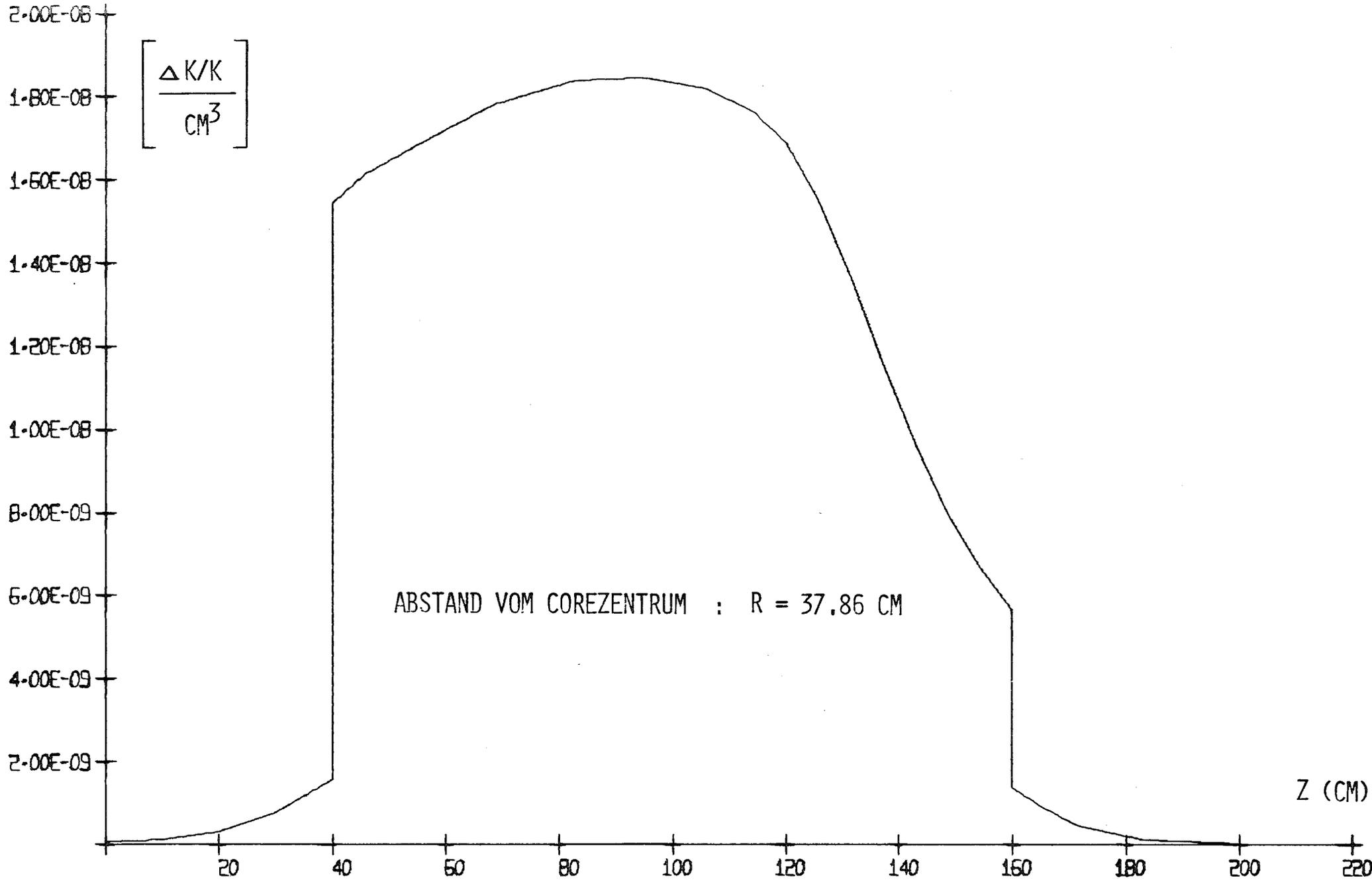


BILD 2.4-2 AXIALE TRAVERSE DURCH DIE TOTALE MATERIALWERTVERTEILUNG  $[\Delta K/K / \text{CM}^3]$   
 FÜR DAS BEC-A CORE

### 3. ANALYSE DER DISASSEMBLYPHASE DES LEISTUNGSSTÖRFALLES

Im vorliegenden Kapitel wird die Disassemblyphase des Reaktorkerns bei Leistungsstörfällen beschrieben. Die Konsequenzen der Leistungsstörfälle wurden für zwei Abbrandzustände des Cores - den Beginn des Gleichgewichtszyklus A (BEC-A) und das Ende des Gleichgewichtszyklus B (EEC-B) untersucht. Die Einleitungsphase des Leistungsstörfalles wird ausführlich in /7/ behandelt und wird im Rahmen dieses Berichtes nur insofern beschrieben, als es zum Verständnis des Störfallverlaufs in der Disassemblyphase notwendig ist.

#### 3.1 KURZE DISKUSSION DER EINLEITUNGSPHASE

Als Ursache eines Leistungsstörfalles wird das Einlaufen einer von der Ursache zunächst nicht näher spezifizierten Einleitungs-Reaktivitätsrampe bei gleichzeitigem Versagen des 1. und 2. Abschaltsystems angesehen. Mit der in den Reaktorkern einlaufenden Reaktivitätsrampe steigt das Leistungs- und Reaktivitätsniveau beständig an. Als reaktivitätskompensierender Effekt tritt im wesentlichen nur die Dopplerrückwirkung auf. Die thermische Energie in den Pins erreicht schließlich Werte, die entsprechend den verwendeten Versagenskriterien, zu einem Bersten oder Aufschmelzen des Hüllrohres führen. Der in den Pins herrschende Innendruck (Schmelze, Spaltgas, Brennstoffdampf, etc.) treibt nach dem Versagen Brennstoff aus der geschmolzenen Cavity in den nassen Kühlkanal aus. Daraus resultieren BNR-Prozesse, die zu Kühlmittelsieden und schnellem Austreiben der über dem BNR-Gebiet liegenden Natriumsäule führen könnten. Die dadurch entstehenden positiven Voidrampen können jedoch teilweise oder ganz durch die gleichzeitige Brennstoffpartikelaustragung kompensiert werden. Zusätzliche positive Reaktivitätsrampen können sich jedoch durch die Bewegung des flüssigen Brennstoffs im Pin in Richtung zur Versagungsstelle hin

bilden. Die Kohärenz bzw. Inkohärenz dieser Materialbewegungsvorgänge und die Versagensfolge der Pins bestimmen den weiteren Störfallverlauf. Dabei kann der Störfall durch den sogenannten Sweepout-Effekt schon in der Einleitungsphase beendet werden, wobei zwar Brennstoffpins zerstört werden, insgesamt aber eine kühlbare Corekonfiguration zurückbleibt. Überwiegen die positiven Reaktivitätseffekte, so ist mit einem Einlaufen in eine Transitionphase oder in eine energetische Disassemblyphase zu rechnen. Im folgenden sollen mögliche Ursachen und damit zusammenhängend auch die Größen der einlaufenden Reaktivitätsrampen kurz beschrieben werden. Sowohl die Ursache als auch die Größe der Einleitungsrampe hängen dabei stark von dem jeweiligen Reaktorentwurf ab. Positive Reaktivitätsrampen könnten in einem natriumgekühlten Brutreaktor bei Normalbetrieb z.B. durch folgende Mechanismen entstehen:

- 1) Auswurf eines Regelstabes hoher Reaktivitätswirksamkeit
- 2) Gleichzeitiges Ziehen aller Regeltrimmstäbe mit maximaler Ausfahrgeschwindigkeit
- 3) Durchlaufen einer großen kohärenten Argonblase durch den Kern
- 4) Initialisierung von Kühlmittelsieden hinter einer Blockade im Bereich großen positiven Voids oder Ejektion von Spaltgas aus beschädigten Brennelementen
- 5) Kompaktieren von zentralen Brennelementzonen aufgrund kohärenter Brennelementschwingungen
- 6) Bruch der Gitterplatte und damit Kompaktieren und Absacken des Kernverbandes

Gegen die meisten der oben angeführten Störfallinitiatoren können in einem natriumgekühlten schnellen Brutreaktor

Designmaßnahmen getroffen werden. So kann ein Regelstabauswurf oder ein Bruch der Gitterplatte durch konstruktive Maßnahmen, das Durchlaufen großer Gasblasen durch eine geeignete Ausführung des Eintrittsplenums (Gasblasenabscheider) verhindert werden. Kohärentes Brennelementschwingen besitzt aus statistischen Gründen nur sehr geringe Wahrscheinlichkeit als Auslöser für eine Reaktivitätsüberhöhung zu dienen.

Die mögliche Größe der Reaktivitätsrampe, die durch die oben erwähnten Mechanismen ausgelöst werden kann, wird wesentlich durch den Kernentwurf des SNR-2000 bestimmt. Wird das für den SNR-2000 konzipierte Regeltrimmsystem etwa mit maximaler Geschwindigkeit ausgefahren, so liegt der Maximalwert der dadurch verursachten Reaktivitätsrampe bei einigen 10  $\beta$ /sec. Bei einer Fehlfunktion einzelner Regelstäbe reduzieren die beim SNR-2000 auftretenden Antishadowingeffekte der umgebenden Regeltrimmstäbe /2/ die transiente Reaktivitätserhöhung durch das Entfernen von Absorbermaterial aus dem Kern. Der maximale Reaktivitätshub bleibt dabei unterhalb 1  $\beta$  begrenzt. Die Initialisierung einer großen Einleitungsrampe durch Sieden hinter einer Blockade oder das Freisetzen einer Spaltgasblase aus einem beschädigten Brennelement ist für den SNR-2000 ebenso unwahrscheinlich, da der maximale positive Kühlmittelvoid eines Brennelementes nur  $\sim 1.6 \beta$  /2/ beträgt. Dadurch führen auch durch eine lokale Brennstoff/Natriumreaktion (verursacht z.B. durch Hüllrohrversagen bei Anreicherungsfehlern) ausgelöste Siedevorgänge in einem Brennelement wahrscheinlich nur zu Rampen in der Größenordnung  $< 1 \beta$ /sec.

Diese Argumente zeigen deutlich, daß nur kleine Einleitungsrampen in der Größenordnung von wenigen cents bis maximal

1  $\$/\text{sec}$  physikalisch sinnvoll sind, wogegen Mechanismen, die zu Rampen von 3  $\$/\text{sec}$  und darüber führen, für einen Reaktor wie den SNR-2000 nur unter unrealistischen Bedingungen zu identifizieren sind. Dies hängt wesentlich mit der Größe des Reaktorkerns zusammen, die relativ geringe Materialwerte/Subassembly bedingt.

Bei der Analyse des Leistungsstörfalls wurde daher größeres Gewicht auf die Untersuchung kleiner Einleitungsreaktivitätsrampen gelegt. Hierbei wurden Rampen der Größe 10  $\$/\text{sec}$ , 30  $\$/\text{sec}$  und 1  $\$/\text{sec}$  untersucht. Zusätzlich wurde jedoch auch noch eine 3  $\$/\text{sec}$  Rampe als Störfallinitiator verwendet, um eine obere Abschätzung der freigesetzten Energien bei Leistungsstörfällen zu erhalten. Es wurde dabei davon ausgegangen, daß alle untersuchten Einleitungsrampen unbegrenzt in den Kern einlaufen.

Die Einleitungsphase der Leistungsstörfälle wurde mit dem Rechencode HOPE /11/ analysiert. Für die Abschaltphase wurde das Disassemblyprogramm KADIS /13/ verwendet. Mit HOPE lassen sich insbesondere die in der Einleitungsphase wichtigen Phänomene der Brennstoff/Natriumreaktion und der Brennstoffbewegung im Pin und im Kühlkanal simulieren. Details der Kopplung zwischen HOPE und KADIS werden in /63/ beschrieben.

Die Brennstoff/Natriumreaktion wird in beiden Codes HOPE/KADIS durch ein parametrisches Modell /20, 21/ beschrieben. Die Parameter in der Einleitungsphase wurden dabei so gewählt, daß zwar eine vehemente, aber keine explosionsartige Brennstoff/Natriumreaktion erfolgt. Die Maximalwerte für den Druckaufbau liegen in der Größenordnung von 80 - 100 bar. Die Parameter, die für die Simulation der BNR in der Disassemblyphase festgelegt wurden, sind in Tabelle 3.1-1 zusammengefaßt.

Partikelradius	$\mu$	117
Mischungszeitkonstante	msec	30
Initialisierungstemperatur für BNR: $T_i$	K	3500 (BEC-A) 3400 (EEC-B)
Initialisierungstemperatur für Berücksichtigung des Na-Dampf- druckes: $T_d$	K	3600

Tab. 3.1-1 BNR-Parameter für die Analyse des Leistungsstörfalles in der Disassemblyphase

Die Wahl des Brennstoffpartikelradius von 117  $\mu$  entspricht einem aus Messungen bestimmten massengemittelten Radius der Brennstoffpartikel nach dem Fragmentationsprozess /3, 32/ Die Mischungskonstante, die in pauschaler Weise die Zeit für das Austreten des Brennstoffs aus dem Pin, der Durchmischung des Brennstoffs mit dem Natrium, der Fragmentation der Brennstoffpartikel, sowie die Zeit für die Bildung einer einheitlichen BNR-Zone in einer KADIS-Masche berücksichtigen soll, wurde mit 30 msec festgesetzt. Mit dieser etwas längeren Mischungszeitkonstanten als in /3/ sollte insbesondere den etwas dickeren Brennstäben beim SNR-2000 Rechnung getragen werden. Aufgrund der in HOPE /11/ für die Einleitungsphase gewählten BNR-Parameter /7/ ergeben sich Brennstoff/Natrium-Massenverhältnisse zwischen 4 - 7 für die Disassemblyphase. Dieser Wertebereich für das Brennstoff/Natrium-Massenverhältnis wurde auch für BNR-Prozesse bei der Simulation der LOF driven TOP's gewählt (Kap. 4). Die BNR wird initialisiert, wenn in einer KADIS-Masche eine Temperatur von 3500 K im BEC-A Core und 3400 K im EEC-B Core überschritten wird. Die etwas

niedrigere Initialisierungstemperatur für die BNR im EEC-B Core wurde wegen des verstärkt zu erwartenden Brennstabversagens durch Innendruckaufbau der Spaltgase gewählt. Jedoch läßt sich mit diesen Temperaturkriterien das tatsächliche Einsetzen einer BNR nur grob simulieren, da z.T. relativ kalte KADIS-Maschen ( $T < T_i$ ) schon deformiert werden, was massives Brennelementversagen erwarten läßt - wobei aber aufgrund des Temperaturkriteriums noch keine BNR initialisiert wurde. Die Natriumdampfdrücke werden bei beiden Abbrandzuständen (BEC-A, EEC-B) ab 3600 K mit berücksichtigt. Oberhalb dieser Temperaturschwelle dürfte der Brennstoff homogen aufgeschmolzen sein und keine Festigkeit mehr aufweisen, und damit auch von Natriumdampfdrücken bewegt werden.

Zwischen den Programmen HOPE und KADIS besteht eine konsistente Kopplung und die Reaktivitätszufuhr für die Disassemblyrechnung wird mit HOPE vorausgerechnet und tabellarisch an KADIS übergeben. Der Umschaltpunkt zur Coredisasassembly liegt bei einer maximalen energiegemittelten Brennstofftemperatur von  $3250^{\circ}\text{C}$  (3525 K). Als Zustandsgleichung wurde in KADIS die sogenannte ANL-EOS /15/ benutzt, da zu Beginn der Disassemblyphase bei den Leistungsstörfällen i.a. ein noch nasses Core vorliegt. Die Drücke in einer KADIS-Masche sind dann sowohl von der Dichte als auch der inneren Energie des Brennstoffs abhängig. Dadurch wird eine Kompressibilitätsiteration zwischen dem Brennstoff und den übrigen Medien (Stahl, Natrium) in den KADIS-Maschen notwendig. Eine axiale Expansion des Brennstabs während des Leistungstransienten wird bei den Leistungsstörfällen nicht berücksichtigt, da sich durch die schnellere Brennstoffaufheizung bei gleichzeitig gekühltem kaltem Hüllrohr der Spalt zwischen Hülle und Brennstoff schließt und eine axiale Bewegung weitgehend verhindert.

### 3.2 DER STÖRFALLVERLAUF WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE IM BEC-A CORE BEI UNTERSCHIEDLICHEN EINLEITUNGRAMPEN

---

Das Verhalten des Reaktorkerns des SNR-2000 bei Leistungsstörfällen zu Beginn des Gleichgewichtszyklus A (BEC-A) wurde für Einleitungsrampen unterschiedlicher Größe (Störfall RO: 10  $\phi$ /sec, R1: 30  $\phi$ /sec, R2: 1  $\$$ /sec und R3: 3  $\$$ /sec) untersucht. Der Störfallverlauf wird dabei wesentlich durch die Core-Verhältnisse während des stationären Betriebs mitbestimmt. Im BEC-A Core sind die Regeltrimmstäbe zu einem Viertel von oben in das Core eingefahren (Zone 4 und 14, Abb. 2.2-1). Das Maximum der Stableistung, des Materialwertes etc. wird dadurch unter die Coremittelebene gedrückt. Dies bewirkt in der Folge auch ein Versagen der Brennstäbe nur knapp über der Mittelebene. Bei dem gewählten Versagenskriterium (Berstspannungskriterium) für die abgebrannten Brennstäbe liegen die Versagenspositionen zum Zeitpunkt des ersten Brennstabversagens für die 10  $\phi$ /sec Rampe bei 69% und für die 30  $\phi$ /sec Rampe bei 64% der Kernhöhe. Für die großen Einleitungsrampen von 1 - 3  $\$$ /sec liegt der Versagenspunkt bei  $\sim$  50% der aktiven Corehöhe. Jedoch befinden sich die Versagensstellen auch bei den hohen Reaktivitätsrampen noch über dem axialen Leistungsmaximum. Durch die transiente Leistungserhöhung wandern schließlich während des Störfallverlaufs auch die Versagenspositionen axial etwas tiefer in das Core hinein.

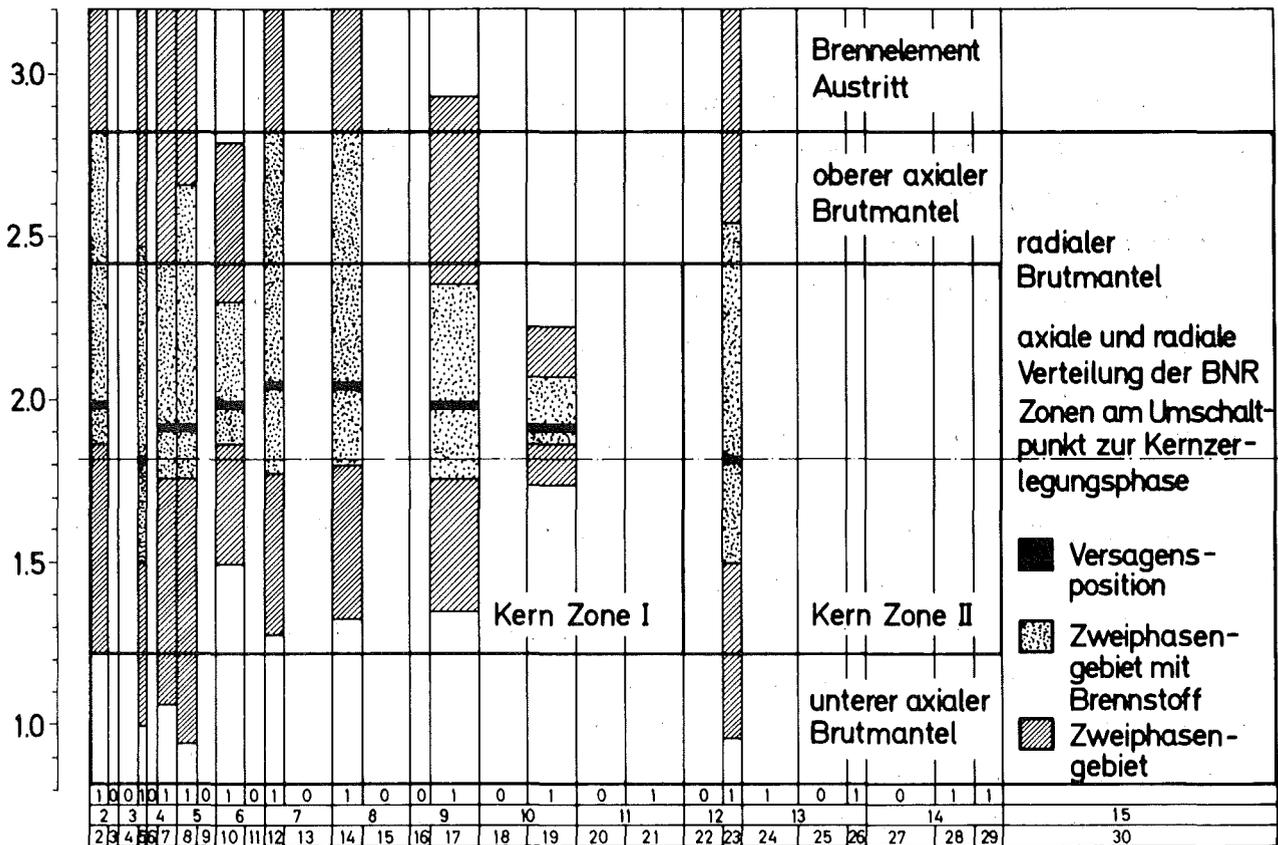
Im BEC-A Core befinden sich frische und 1 Jahr abgebrannte Brennelemente. Als Versagenskriterium für die frischen Brennstäbe wurde ein Schmelzfraktionskriterium gewählt, wobei Brennstabversagen beim Überschreiten einer maximalen Brennstoffschmelzfraktion von 90% angenommen wird. Als Versagensmechanismus wird i.a. Durchschmelzen der Hülle angenommen. Für die Brennstäbe mit abgebranntem Brennstoff wurde ein Berstspannungskriterium verwendet./7/. Brennstabversagen wird bei Überschreiten der temperaturabhängigen Berstspannung des Hüllrohres durch die Innendruckbelastung des nicht geschmolzenen Brennstoffrings verursacht.

Der Störfallverlauf in der Einleitungsphase zeigt in Abhängigkeit von der Einleitungsrampe mit zunehmender Rampensteilheit ein immer früheres und kohärenteres Versagen der Brennstäbe auf höherem Reaktivitäts- und Leistungsniveau. Mit Zunahme der Rampensteilheit wandert der Ort des Hüllrohrversagens immer tiefer in das Core hinein. In der Tabelle 3.2-1 sind wesentliche, mit HOPE berechnete Parameter und Größen dargestellt, die die Anfangsbedingungen für die Coredisassembly definieren.

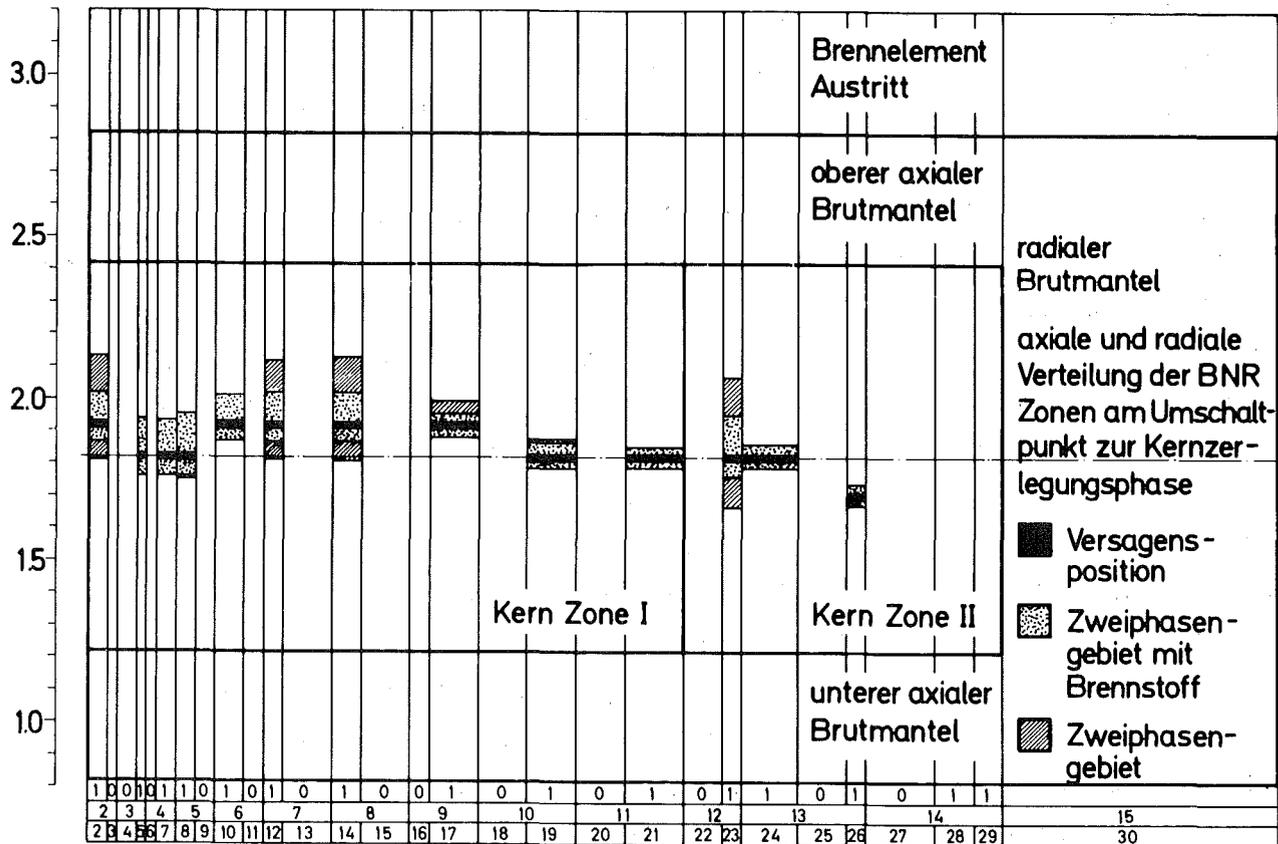
Kernkonfiguration		BEC-A			
Einleitungsrampe	\$/sec	0.10	0.30	1.00	3.00
Zeitpunkt des Umschaltens zur Kernzerlegungsphase	sec	16.209	6.088	2.015	0.732
normierte Leistung	-	14.08	99.7	376	415
Nettoreaktivität	\$/	0.798	1.006	1.030	1.026
Anteil der bis zum Umschaltpunkt versagten Brennstäbe	%	29	43	43	43
Anteil des aufgeschmolzenen Brennstoffinventars	%	41.9	43.4	44.9	47.1

Tabelle 3.2-1 Ergebnisse der Leistungsstörfallsimulation für das BEC-A Core zu Beginn der Disassemblyphase

Die Brennelemente versagen für hohe Einleitungsrampen auf höherem Reaktivitäts- und Leistungsniveau, und es kommt zu einer schnelleren Versagenssequenz, da bei höherer Leistung die Schmelzrate größer ist. Dadurch wird auch in relativ kurzer Zeit das Disassemblykriterium erreicht. Die BNR-Zonen können sich bei hohen Rampen axial nur relativ gering



SNR-2000 : HOPE BEC-A 0,1\$/sec Reaktivitätsrampe



SNR-2000 : HOPE BEC-A 3\$/sec Reaktivitätsrampe

BILD 3.2-1  
3.2-2

Kanalabhängige Darstellung der axialen Ausdehnung von Zweiphasengebieten als Folge einer Brennstoff-Natrium-Reaktion am Umschalt- punkt zur Disassemblyphase für den RO ( 10 \$/sec ) und den R3 ( 3 \$/sec ) Leistungsstörfall

( BEC-A Core )

ausbreiten, jedoch wird eine größere Anzahl von Brennelementen defekt. Die BNR-Zonen liegen dabei in den Gebieten des maximalen positiven Voids. (Abb. 3.2-1 und 3.2-2) Die Ausschwemmeffekte von Brennstoffpartikeln werden wegen der geringen Ausdehnung der BNR-Zone bis zu Beginn der Disassemblyphase unwirksam, und es überwiegen die positiven Reaktivitätsbeiträge durch die Voidbildung und die Brennstoffbewegung im Pin in Richtung zur Versagensstelle.

Die Abb. 3.2-1 und 3.2-2 zeigen einen R-Z-Schnitt durch den Reaktor und stellen dabei kanalabhängig die Versagenspositionen, die Ausdehnung der Zweiphasengebiete als Folge der Brennstoff/Natriumreaktionen und die Bereiche, bis zu denen Brennstoff aus dem Kühlkanal ausgeschwemmt wurde, dar. In der ersten Zeile unter jedem R-Z-Schnitt des Cores wird die Standzeit der Brennelemente, die durch den betreffenden Kühlkanal simuliert werden, angegeben (BEC-A: 0 und 1 Jahr, EEC-B: 1 und 2 Jahre). Die dritte Zeile stellt die Kühlkanalzahl dar (2 - 30). Kanal 1 enthält nur Sonderelemente. Die Dicke der Balken für die einzelnen Kühlkanäle repräsentiert die relative Anzahl der simulierten Brennelemente.

Im Gegensatz zu den großen Einleitungsrampen wird der Sweepout Effekt bei der 10  $\phi$ /sec Rampe voll wirksam (Abb. 3.2-1). Der durch die BNR-Prozesse fragmentierte Brennstoff wird bis in den oberen axialen Brutmantel ausgeschwemmt. Hinzu kommt, daß die Voidgebiete sich schon soweit ausgedehnt haben, daß bereits Zonen negativen Voids erreicht werden. HOPE sagt dabei Versagen nur für die 1 Jahr abgebrannten Stäbe voraus, während die frischen Pins intakt bleiben. Die Anzahl der versagten Brennstäbe ist bei der 10  $\phi$ /sec Rampe relativ gering, jedoch wird lokal in dem höchstbelasteten Kanal bereits das Disassemblykriterium erreicht. Im Gegensatz zu den hohen Einleitungsrampen, bei denen der Brennstoff im Pin nahezu adiabatisch aufgeheizt wird, ändert sich bei den kleinen Rampen die Form des Temperaturprofils im Pin stark während des Störfalls. Da durch die Kühlung der Randzonen in diesen Gebieten noch viel Wärme abgeführt werden kann,

steilt sich die Temperaturverteilung in der Mitte des Pins stark auf. Dabei werden höhere volumengemittelte Temperaturen im Brennstoff erreicht als bei großen Einleitungsrampen. Die Dopplerrückwirkung ist jedoch bei den großen Einleitungsrampen beträchtlich höher, da etwa bei der 10  $\phi$ /sec Rampe im Temperaturniveau über große Gebiete ein Haltebereich wegen des Brennstoffschmelzens eintritt und sich auch der Dopplereffekt daher nicht weiter vergrößert.

Das Disassemblykriterium ( $T_{Dis} = 3250^{\circ}C$ ) wird für die 10  $\phi$ /sec Rampe auf niedrigem Leistungs- ( $\sim 15$  SS Leistung) und weit unter-promptkritischem Reaktivitätsniveau erreicht. Die Umschalt-rampe (Void + Brennstoffbewegung) liegt bei  $\sim 3$   $\phi$ /sec. Die maximale Brennstofftemperatur liegt bei Disassemblybeginn bei  $\sim 3700$  K, also erst in der Nähe des Siedepunktes des Brennstoffs. Der maximale Brennstoffdampfdruck beträgt dann nur  $\sim 0.8$  bar. Es wird also formal zwar das "Disassemblykriterium" erreicht, jedoch findet im eigentlichen Sinne keine Coredisassembly statt. Die Brennstoffdampfdrücke spielen bei der Materialbewegung nur eine untergeordnete Rolle. Allein der Druckaufbau aufgrund einer, wegen der niedrigen Brennstofftemperaturen, sehr milden BNR, führt zu einer geringfügigen Materialbewegung. Die maximalen Materialbewegungen liegen in der Größenordnung von wenigen Zentimetern. Wegen der relativ flachen Wertkurven führt dies nur zu einer sehr geringen Reaktivitätsrückwirkung in der 1. Corezone. Die vorhandene Abschaltwirkung wird ausschließlich durch die Zone 15 und 16 in der 2. Corezone bewirkt. Diese beiden Zonen mit steilem Wertkurvengradienten (Abb. 2.4-1) müssen mit ihrer negativen Rückwirkung auch noch die positiven Reaktivitätsbeiträge der Zonen 4, 5, 13, 14 und 15 kompensieren. Diese positiven Rückwirkungen werden bei den Zonen 13 und 15 durch Coreimplosionseffekte, die durch die hohe Leistungsdichte in der Corezone 2 verursacht werden, ausgelöst. Es zeigt sich, daß beim BEC-A Core zusätzliche positive Reaktivitätseffekte durch die relative Lage des

axialen Leistungsmaximums und den teilweise eingefahrenen Absorberstäben entstehen. Durch die asymmetrische axiale Leistungsverteilung wird in den Zonen 5 und 15 (Zonen mit Follower-Anteil) Brennstoff in Bereiche höheren Materialwertes bewegt. Zusätzlich werden die Zonen mit Regeltrimmelementen axial nach oben aus dem Reaktor etwas hinausgeschoben. Dieses unbeabsichtigte "Ausfahren" dieser RT-Stäbe resultiert in einer kräftigen positiven Rückwirkung von  $\sim 20\%$  der Gesamtabschaltreaktivität. Allerdings dürfte dieser Effekt bei einem Reaktor wahrscheinlich nicht auftreten, da die RT-Stäbe mechanisch stabil axial versteift sind und sich nur schwer aus dem Core hinausdrücken lassen. Die Leistungsexkursion wird fast ausschließlich vom Dopplereffekt beendet und die Leistung fällt vom Zeitpunkt der Disassemblyinitialisierung beständig ab (Abb. 3.2.-3). Die Zeitskalen auf den folgenden Abbildungen beziehen sich stets auf den Beginn der Disassemblyphase.

Ein frühes Abschalten des Reaktors in der Einleitungsphase wird durch das verwendete Versagenskriterium, die gewählten BNR-Parameter, sowie durch die Inkohärenzen im Brennstabversagen (Brennstoff sweepout - Brennstoffinjektion in die Cavity) verhindert. Es ist daher ein Einlaufen in eine sogenannte "Transition Phase" wahrscheinlich, mit einem graduellen Zusammenschmelzen einzelner Coregebiete. Der Störfallverlauf kann mit KADIS nur grob simuliert werden, da es wahrscheinlich zu Ejektionsprozessen des ein- und zweiphasigen Brennstoff/Stahlgemisches und des Natriums aus dem Core kommt. Zusätzlich dauert die Disassemblyzeit beim  $10 \text{ } \phi/\text{sec}$  Störfall  $\sim 30 \text{ msec}$  bis wieder ein Leistungsniveau von  $10 \cdot \text{SS}$  Leistung erreicht wird. Damit werden mit Sicherheit Wärmeübertragungseffekte auf das Strukturmaterial auftreten, die nicht mit KADIS simuliert werden können, da in diesem Code thermodynamisch ein adiabatisches Modell verwendet wird. Das Core wird bei diesem milden Störfall hauptsächlich durch thermische Propagation zerstört. Durch die großteils noch in-

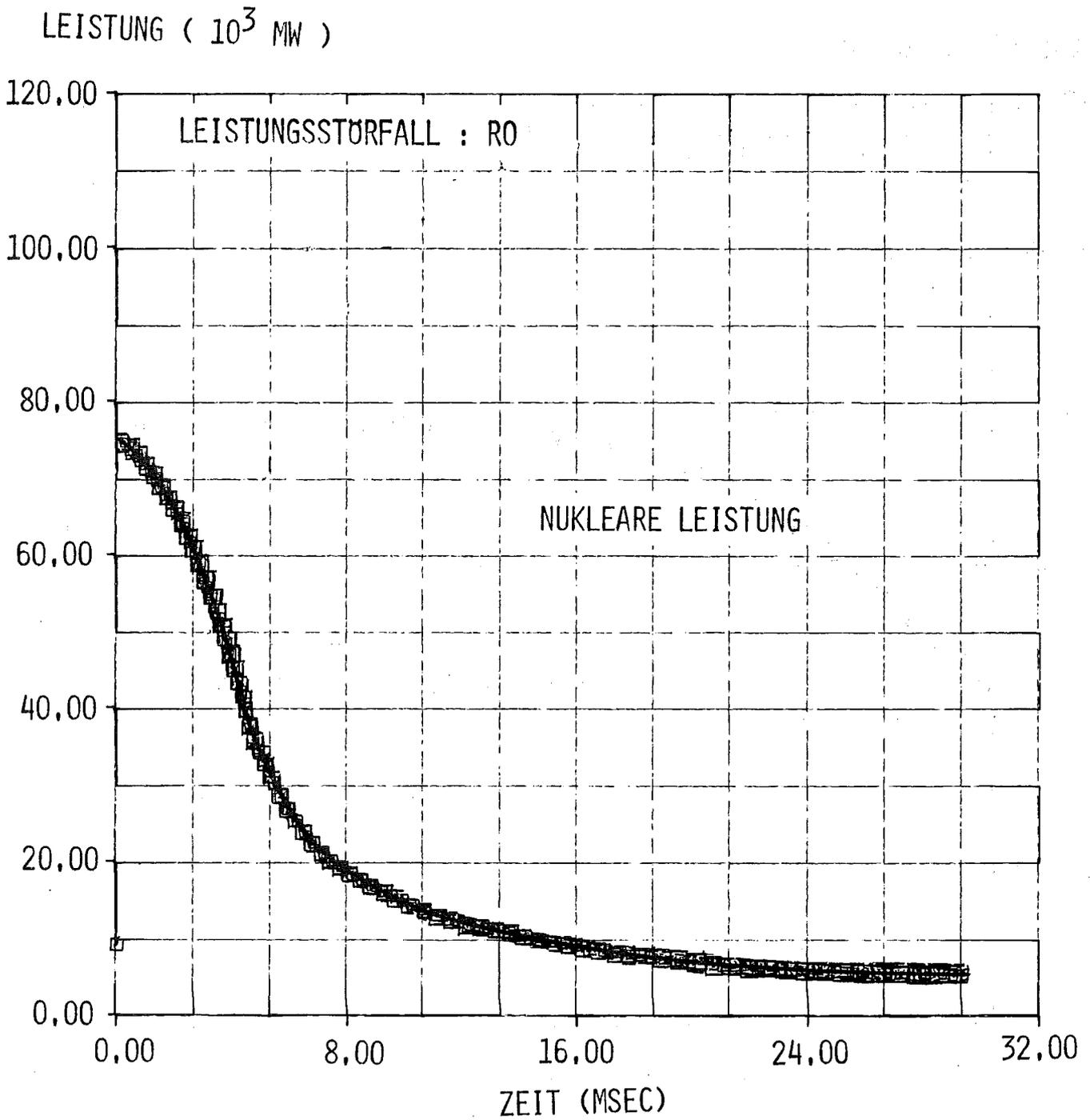


BILD 3.2-3 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DES STÖRFALLS RO  
(EINLEITUNGSRAMPE :  $10 \text{ } \phi/\text{SEC}$ )

BEC-A CORE

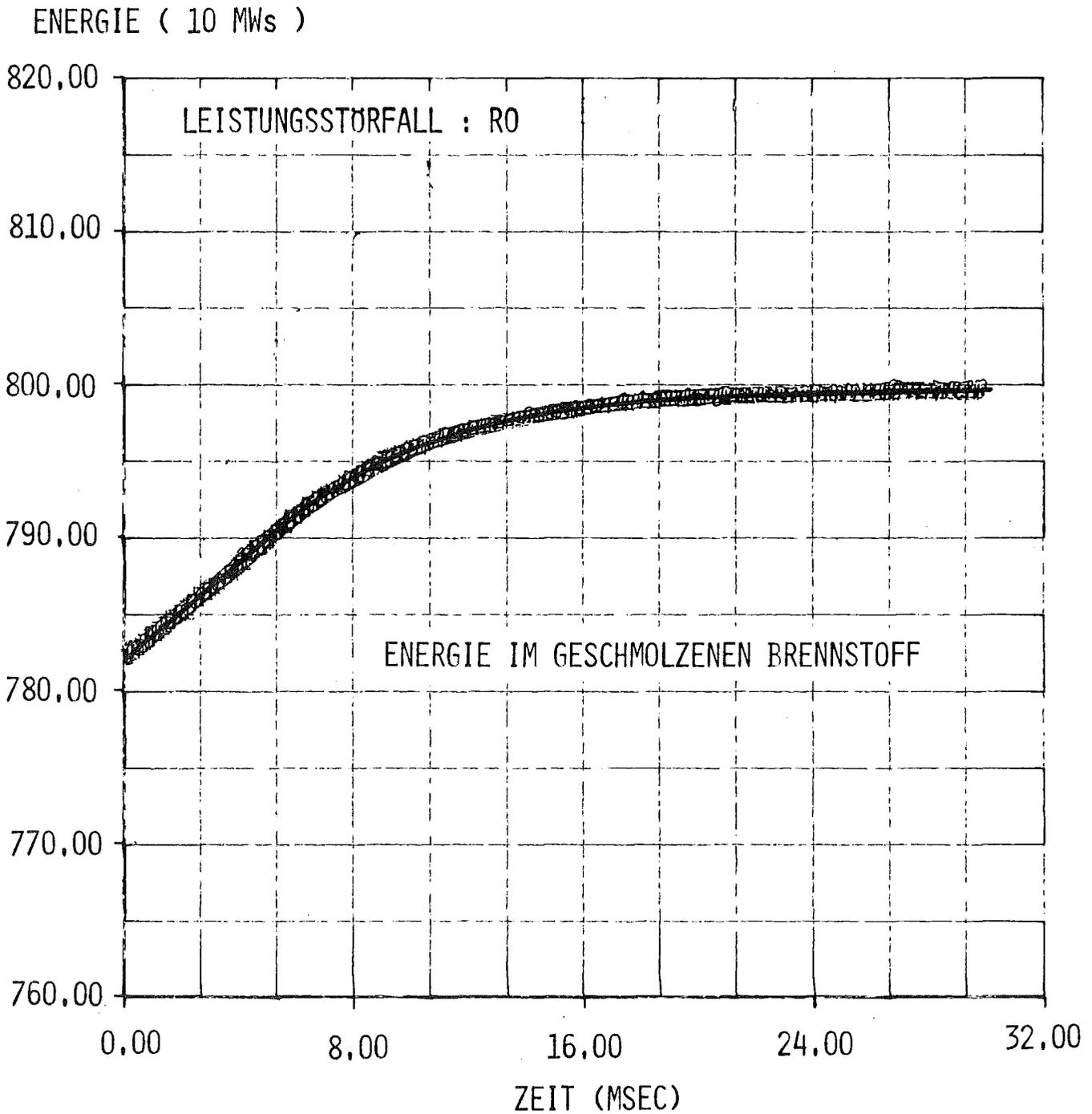


BILD 3.2-4 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
FÜR DEN STÖRFALL RO (EINLEITUNGSRAMPE : 10  $\phi$ /SEC)  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION

BEC-A CORE

SNR-2000		TOP-ANALYSE		BEC-A CORE	
STÖRFALL		R0	R1	R2	R3
Einleitungsrampe	\$/sec	0.1*	0.3	1.0	3.0
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	2.3	10.2	21.2	32.6
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.798	1.006	1.030	1.026
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	14.8	99.7	376	415
Maximale normierte Leistung	-	14.8	150.7	438.7	473.10
Freigesetzte Energie	MWsec	293	5585	7682	8337
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	7987	11904	13660	14570
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		1.60	2.38	2.73	2.91
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	23002	25418	26989	28120
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	%	42	46	49	51
Gesamtcoringinventar					
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3187	3464	3550	3578
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3724	4124	4270	4302
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	0.86	4.10	6.67	7.25
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	8.70	23.22	33.36	38.40
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	6.83	20.28	32.72	44.15
Maximale radiale Verschiebung	cm	6.84	5.02	4.32	4.16
Maximale axiale Verschiebung	cm	7.32	6.78	6.07	4.96

Tabelle 3.2-2 Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase für die Simulation des Leistungsstörfalles bei Einleitungsrampen verschiedener Größe (BEC-A)

\*Eine Disassembly im eigentlichen Sinne findet nicht statt.

takte radiale Corestruktur wird das Brennstoff/Stahlgemisch hauptsächlich in axialer Richtung bewegt werden. Diese Bewegungsvorgänge bei vorhandenen Reststrukturen können ebenso mit KADIS nicht simuliert werden (Kap. 4.4.1).

Die wichtigsten Ergebnisse der Disassemblyphase für alle vier Einleitungsrampen (10  $\phi$ /sec - 3  $\beta$ /sec) sind in der Tabelle 3.2-2 und den Abbildungen 3.2-5 und 3.2-6 dargestellt. Die maximalen Brennstoffdampfdrücke werden mit der Beziehung von Menzies /17/ gewonnen. Die Tabelle 3.2-2 sowie die Abbildung 3.2-4 zeigen, daß beim 10  $\phi$ /sec Störfall während der Disassemblyphase nur mehr wenig Energie freigesetzt wird, wobei sich auch die Energie im geschmolzenen Brennstoff, die größtenteils in der Einleitungsphase gespeichert wird, auf nur 1.60 Vollastsekunden beläuft. Jedoch schmelzen auch bei diesem milden Transienten weite Bereiche des Cores ( $\sim 42\%$ ) auf. Hierbei besteht die Möglichkeit von Rekritikalitäten, da der geringe Druckaufbau während der ersten Exkursion wahrscheinlich nicht ausreicht, Kernmaterial genügend weit aus der aktiven Corezone zu entfernen, um eine endgültige neutronische Abschaltung sicherzustellen. Die erste Leistungsexkursion führt jedoch nur zu einer geringen Energiefreisetzung und zu schwacher Bewegung des Corematerials.

Auch bei den Störfällen mit höherer Einleitungsrampe versagen in der Einleitungsphase nur die 1 Jahr abgebrannten Stäbe im BEC-A Core. Die höheren Einleitungsrampen führen zu Beginn der Disassemblyphase zu prompt kritischen Reaktivitätszuständen, bei wachsender Leistung am Übergabepunkt. Die Leistung steigt dabei bei der 30  $\phi$ /sec Rampe während der Disassemblyphase bis auf den 150-fachen Wert der Nominalleistung von 5000 MW. Während der Disassembly werden etwa 5600 MWsec Energie freigesetzt und die Energie im geschmolzenen Brennstoff wächst auf  $\sim 12000$  MWsec. Dabei erhöht sich die Masse des geschmolzenen Brennstoffs gegenüber dem 10  $\phi$ /sec Rampenfall nur mehr unwesentlich.

Die erreichten Brennstofftemperaturen, und daraus resultierend die Brennstoffdampfdrücke, sind jedoch weiterhin ziemlich klein, und die Materialbewegung, die schließlich die 1. Leistungsexkursion beendet, wird im wesentlichen durch den Druckaufbau aufgrund der BNR-Prozesse ausgelöst. Die Dopplerrückwirkung ist zu Beginn der Disassemblyphase relativ gering, da viele KADIS-Maschen gerade aufschmelzen, und die Temperatur einen Haltepunkt erreicht hat. Dadurch kann der Leistungsanstieg erst nach  $\sim 3$  msec abgefangen werden. Jedoch beendet die Dopplerrückwirkung auch beim 30  $\$/\text{sec}$  Störfall die 1. Exkursion und liegt bis zur Beendigung der Disassemblyphase beträchtlich über der Rückwirkung durch Materialbewegung. Die Abschaltwirkung wird auch hier im wesentlichen von der 2. Corezone bewirkt, während die Zonen mit Absorberanteil wieder zu positiver Reaktivitätsrückwirkung führen.

Die Einleitungsrampen von 1  $\$/\text{sec}$  (Störfall R2) und 3  $\$/\text{sec}$  (Störfall R3) führen zu einer energetischen Disassembly des Kerns des SNR-2000. Die Anfangsbedingungen zur Coredisassembly sind für beide Rampen ziemlich ähnlich. Sowohl das Leistungs- als auch das Reaktivitätsniveau liegen für die 3  $\$/\text{sec}$  Rampe nur wenig über den entsprechenden Werten der 1  $\$/\text{sec}$  Einleitungsrampe. Außer den niedrig belasteten Pins in den äußersten Kanälen der 2. Corezone wird von HOPE für alle Pins mit der Standzeit von einem Jahr Versagen vorausgesagt (Abb. 3.2-2). Starke Voidrampen und zusätzliche Reaktivitätsrückwirkung durch Brennstoffbewegung in den Pins führt beim R3-Störfall (3  $\$/\text{sec}$ ) zu einer Übergaberrampe von  $\sim 30$   $\$/\text{sec}$ . Der weitere Leistungsanstieg wird nach Initialisierung der Coredisassembly rasch von einem starken Dopplereffekt abgefangen. Nach etwa 8 msec beginnt die Reaktivitätsrückwirkung beim R2-Störfall (1  $\$/\text{sec}$ ) gegenüber dem Dopplereffekt zu dominieren (entsprechend  $\sim 6$  msec bei 3  $\$/\text{sec}$ ), und die erste Exkursion wird rasch beendet. Bis zum Erreichen erster Unterkritikalität werden beim 1  $\$/\text{sec}$ -Störfall 13 660 MWsec und beim 3  $\$/\text{sec}$ -Störfall 14 570 MWsec thermischer Energie im Brennstoff gespeichert. Für die 3  $\$/\text{sec}$

Rampe werden mehr als 50% des Coreinventars aufgeschmolzen. Die Spitztemperaturen des geschmolzenen Brennstoffs liegen dabei  $\sim 600^{\circ}\text{K}$  über denen bei der 10  $\text{g}/\text{sec}$  Einleitungsrampe. Die extrem rasch steigenden Brennstofftemperaturen kurz nach Beginn der Disassemblyphase führen bei den einsetzenden BNR-Prozessen zu lokalen Drücken, die im Vergleich zu den Leistungsstörfällen mit kleiner Einleitungsrampe schon früh zur neutronischen Abschaltung des Kerns beitragen. Auch bei den Störfällen mit hoher Einleitungsrampe dominiert wieder die Abschaltwirkung der Zonen 16 und 17 in der 2. Corezone. Diese Zonen liefern über 50% zur Gesamtabstaltung durch Materialbewegung. Positive Reaktivitätsbeiträge liefern wieder die Zonen mit den RT-Stäben, die axial aus dem Core gepreßt werden. Dadurch dominiert im gesamten Core auch die radiale Abstaltung gegenüber der axialen. Implosionsrückwirkungen, die durch einzelne KADIS-Maschen in Zone 13 ausgelöst werden, können durch andere Maschen in derselben Zone kompensiert werden. Allgemein zeigt sich, daß Implosionswirkungen bei den Leistungsstörfällen eine untergeordnete Rolle spielen, und daß beim BEC-A Core positive Rückwirkungen nur aus der Verschiebung der Zonen mit Regeltrimmelementen resultieren. Die Leistungsexkursion wird jedoch bei den hohen Übergaberampen größtenteils durch den Dopplereffekt begrenzt und beendet; während die Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung hauptsächlich die endgültige neutronische Abstaltung ( $k_{\text{eff}} < 1$ ) nach der ersten Exkursion bewirkt. Als Beispiel ist der Leistungs- und Reaktivitätsverlauf des Störfalles T3 in Abbildung 3.2-7 dargestellt. Die Leistungsexkursion ist bis zum Einsetzen einer merklichen Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung schon weitgehend beendet.

Ein Vergleich der Ergebnisse für die verschiedenen Einleitungsrampen von 0.1 - 3  $\text{g}/\text{sec}$  zeigt für das BEC-A Core eine starke Abhängigkeit der Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs nur im Bereich bis 1  $\text{g}/\text{sec}$ . Eine Vergrößerung der Einleitungsrampe führt zu keiner weiteren Erhöhung der Energiefreisetzung, da der wegen des nassen Cores hohe Dopplereffekt die Leistungsexkursion schnell kompensiert und zu-

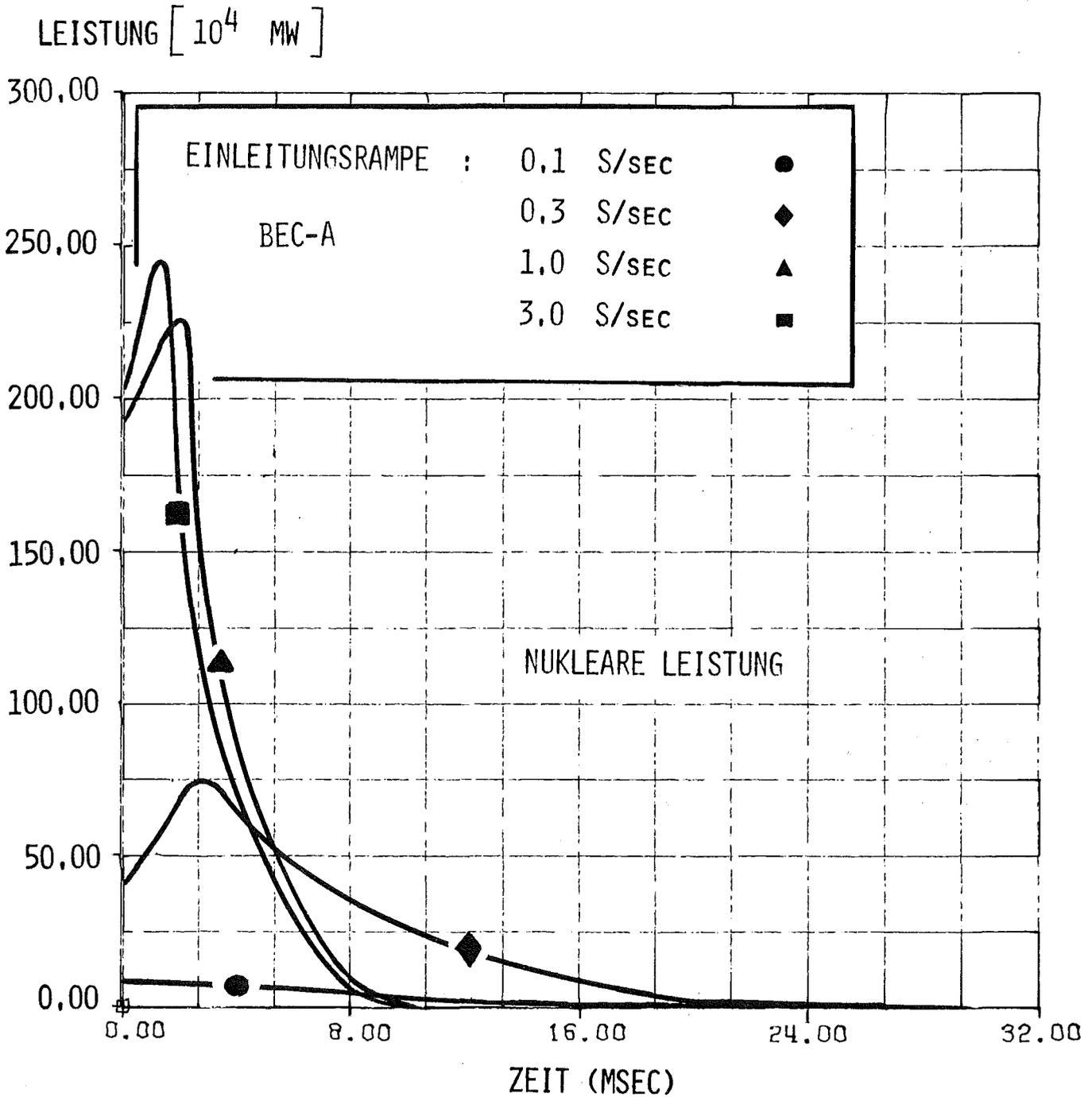


BILD 3.2-5 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DER STÖRFÄLLE :

R0 ( 10 ¢/SEC )

R1 ( 30 ¢/SEC )

R2 ( 1 \$/SEC )

R3 ( 3 \$/SEC )

WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE ( BEC-A CORE )

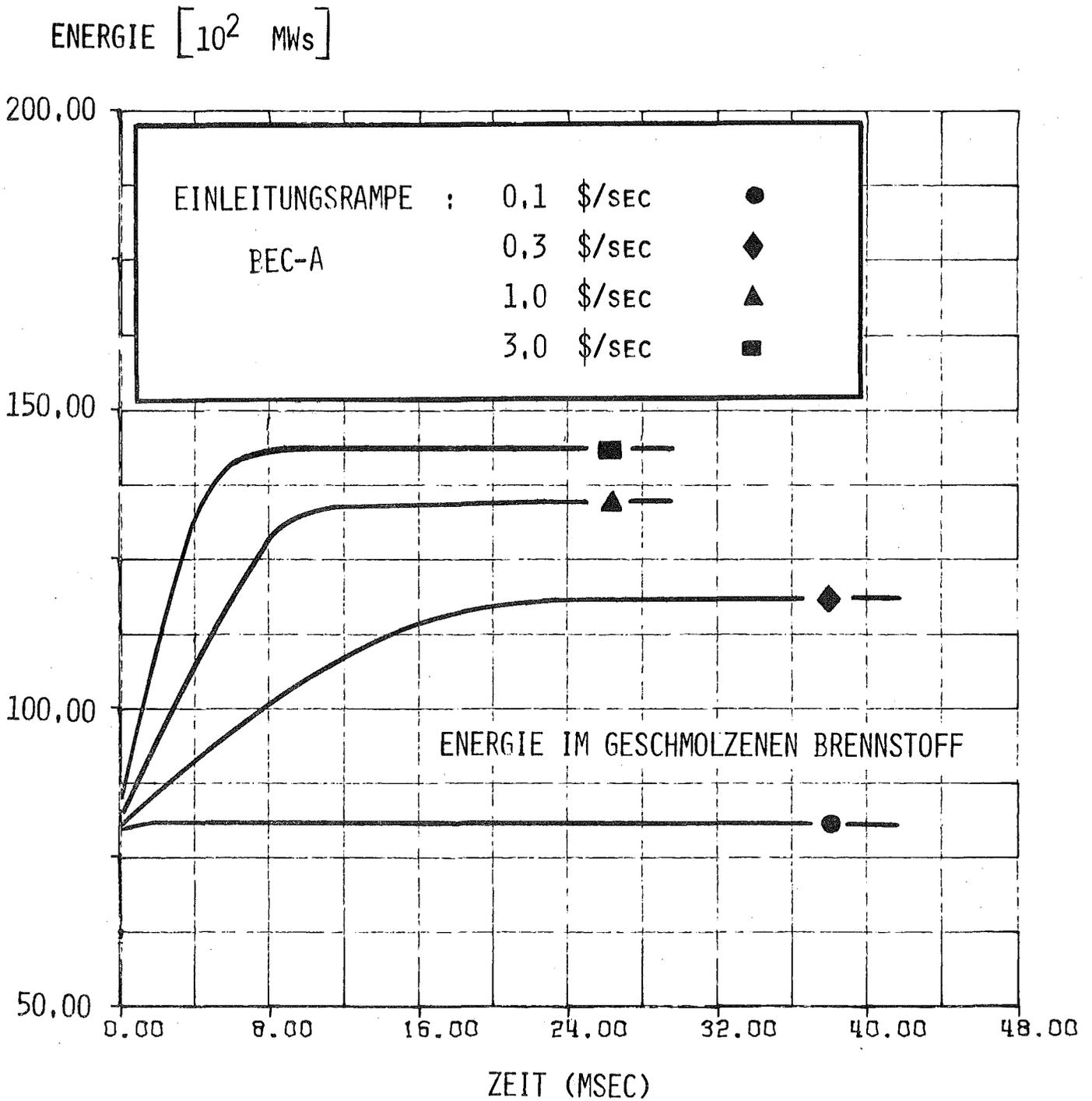


BILD 3.2-6 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF FÜR DIE STÖRFÄLLE :

- R0 ( 10 ¢/SEC )
- R1 ( 30 ¢/SEC )
- R2 ( 1 \$/SEC )
- R3 ( 3 \$/SEC )

BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION ( BEC-A CORE )

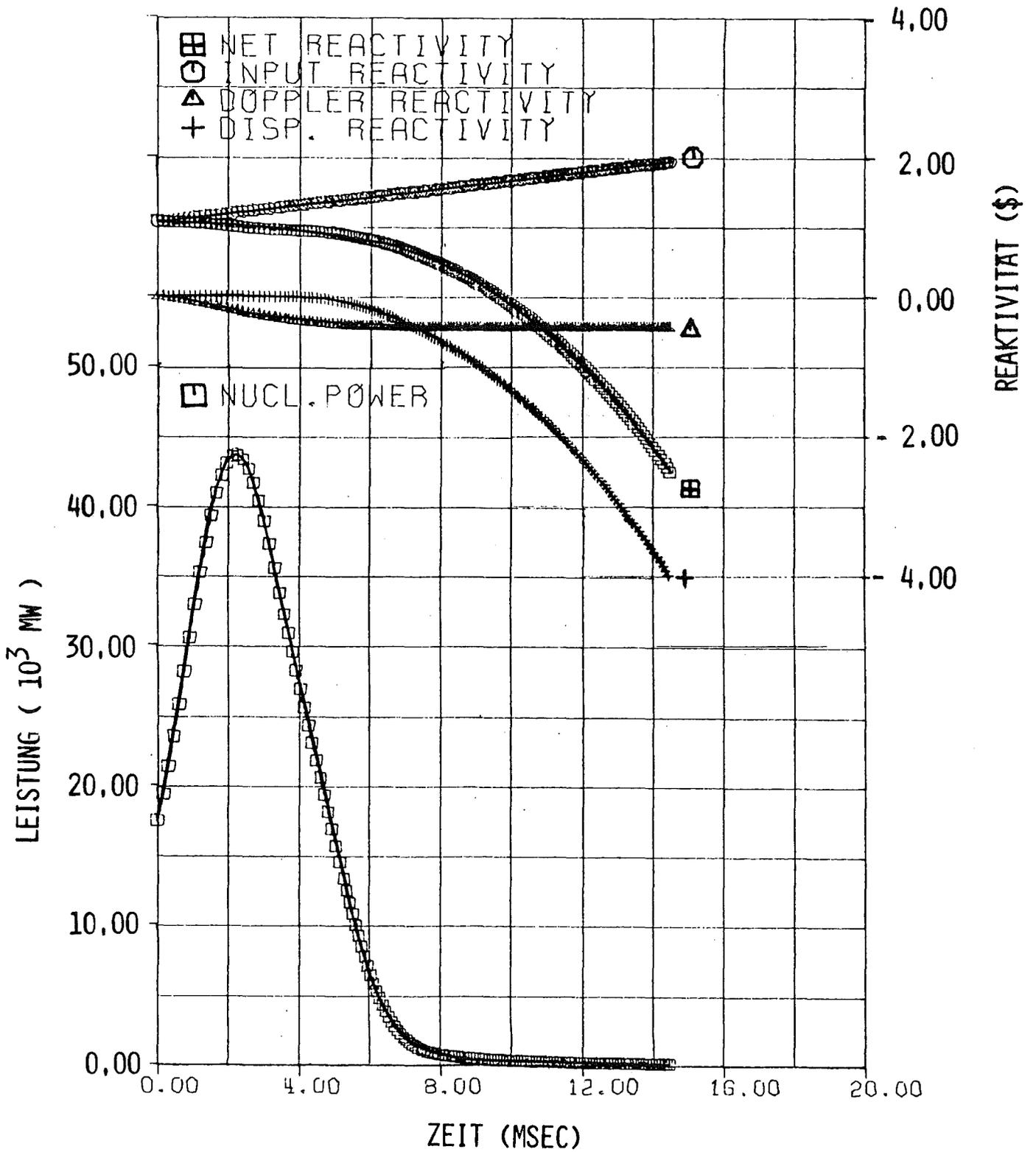


BILD 3.2-7 LEISTUNGS- UND REAKTIVITÄTSVERLAUFE FÜR DEN STÖRFALL T3 (EEC-B CORE)

- △ DOPPLERROCKWIRKUNG
- + ROCKWIRKUNG DURCH KERNMATERIALBEWEGUNG

dem in den ungevoideten KADIS-Maschen hohe Einphasendrucke das Corematerial rasch aus den Gebieten hohen in solche niedrigen Materialwertes verschieben. Die Energiefreisetzung in der Disassembly strebt deshalb für höhere Rampen einer Sättigungslinie zu.

### 3.3 DER STÖRFALLVERLAUF WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE IM EEC-B CORE BEI UNTERSCHIEDLICHEN EINLEITUNGSRAMPEN

Für das EEC-B Core wurden Leistungsstörfälle mit denselben Einleitungsrampen wie im BEC-A Core untersucht (Störfall TO: 10  $\phi$ /sec, T1: 30  $\phi$ /sec, T2: 1  $\$/$ sec und T3: 3  $\$/$ sec). Verglichen mit dem BEC-A Core wird der Störfallverlauf durch die kleinere Dopplerkonstante, und den größeren maximalen positiven Void etwas energetischer. Beim EEC-B Core sind die Regelstäbe aus der Corezone herausgezogen und das Maximum der axialen Leistungsverteilung rückt in die Coremitte. Die axialen Versagenspositionen beim ersten Brennstabversagen liegen etwas höher als im BEC-A Core. Für die 10  $\phi$ /sec Einleitungsrampe liegt die Versagensstelle bei  $\sim$  74% der aktiven Corehöhe und rückt bei höheren Rampen wieder in die Nähe der Kernmittelebene (bei 64% der Kernhöhe für die 3  $\$/$ sec Rampe). Das Core baut sich aus 1 und 2 Jahre abgebrannten Brennstäben auf. Als Versagenskriterium wurde für diese Brennstäbe das Berstspannungskriterium gewählt. Die geringe Dopplerrückwirkung und die größere Voidreaktivität führen in der Einleitungsphase zu frühem Brennstabversagen auf etwas höherem Leistungs- und Reaktivitätsniveau. Die Leistungsverteilung im EEC-B Kern und insbesondere die Leistungsüberhöhung in der Kernmitte führen lokal schneller als beim BEC-A Core zum Erreichen des Temperaturkriteriums für die Disassemblyinitiation. Das Gesamtverhalten des Kerns ist wegen der radialen Leistungsverteilung inkohärenter bezüglich der simulierten Einzelphänomene als im BEC-A Kern. Für kleinere Rampen versagen bis zum

Erreichen des Disassemblykriteriums wesentlich weniger Brennstäbe. Hohe Einleitungsrampen führen dagegen zu autokatalytischen Versagenssequenzen und es versagen mehr Brennstäbe als im BEC-A Core (Tab. 3.3-1).

Für den 10  $\phi$ /sec (T0) und 3  $\phi$ /sec (T3) Leistungsstörfall sind in Abbildung 3.3-1 und 3.3-2 die Versagenspositionen und die axiale Ausdehnung von Zweiphasengebieten als Folge einer Brennstoff-Natriumreaktion am Umschaltpunkt zur Disassemblyphase dargestellt. Während beim 10  $\phi$ /sec Störfall nur die hoch belasteten 2 Jahre abgebrannten Pins im innersten Corebereich versagen, tritt bei der 3  $\phi$ /sec Leistungstransienten Brennstabversagen auch für die 1 Jahr alten Brennstäbe auf. Wie beim BEC-A Core versagen in Corezone 2 nur Brennstäbe mit hoher stationärer thermischer Leistung. Es zeigt sich dabei auch ein wesentlicher Unterschied zum BEC-A Core, der die Materialbewegung in der Disassemblyphase beeinflusst. Beim BEC-A Core wechseln Kanäle, bei denen eine BNR initialisiert wurde mit solchen ohne Brennstabversagen und ohne BNR ab. Dadurch ist zwischen den Kanälen eine gewisse radiale Materialbewegung in der 1. Corezone möglich. Die dagegen kohärent über den inneren Bereich der Corezone 1 initiierten BNR-Prozesse beim EEC-B Core lassen im wesentlichen nur eine axiale Kernmaterialbewegung zu.

Wichtige Ergebnisse der Einleitungsphase, die den weiteren Störfallverlauf in der Disassemblyphase entscheidend mitbestimmen, sind abhängig von der Einleitungsrampe in Tabelle 3.3-1 zusammengestellt. Zusätzlich geben die Abbildungen 3.3-1 und 3.3-2 die im Core bis zu Beginn der Disassembly versagten Kanäle (für die 10  $\phi$ /sec und 3  $\phi$ /sec Einleitungsrampe) und die Ausdehnung der Zweiphasengebiete als Folge einer BNR wieder.



Kernkonfiguration		EEC-B			
Einleitungsrampe	\$/sec	0.10	0.30	1.00	3.00
Zeitpunkt des Umschaltens zur Kernzerlegungsphase	sec	14.570	5.545	1.872	0.723
normierte Leistung	-	11.6	34.2	133	349
Nettoreaktivität	\$/	0.763	0.921	1.013	1.068
Anteil der bis zum Umschaltpunkt versagten Brennstäbe	%	9.	20.	59.	52.
Anteil des aufgeschmolzenen Brennstoffinventars	%	42.3	46.4	47.1	48.6

Tabelle 3.3-1 Ergebnisse der Leistungsstörfallsimulation für das EEC-B Core zu Beginn der Disassemblyphase

Die Ergebnisse der Leistungsstörfallsimulation für das EEC-B Core nach Beendigung der 1. Exkursion sind in Tabelle 3.3-2 zusammengestellt. Die Entwicklung des Leistungsverlaufs und der Energie im geschmolzenen Brennstoff können aus den Abbildungen 3.3-3 und 3.3-4 entnommen werden.

Wie im BEC-A Core, so findet auch im EEC-B Core bei einer Einleitungsrampe von 10 \$/sec kein Disassemblyvorgang im eigent-

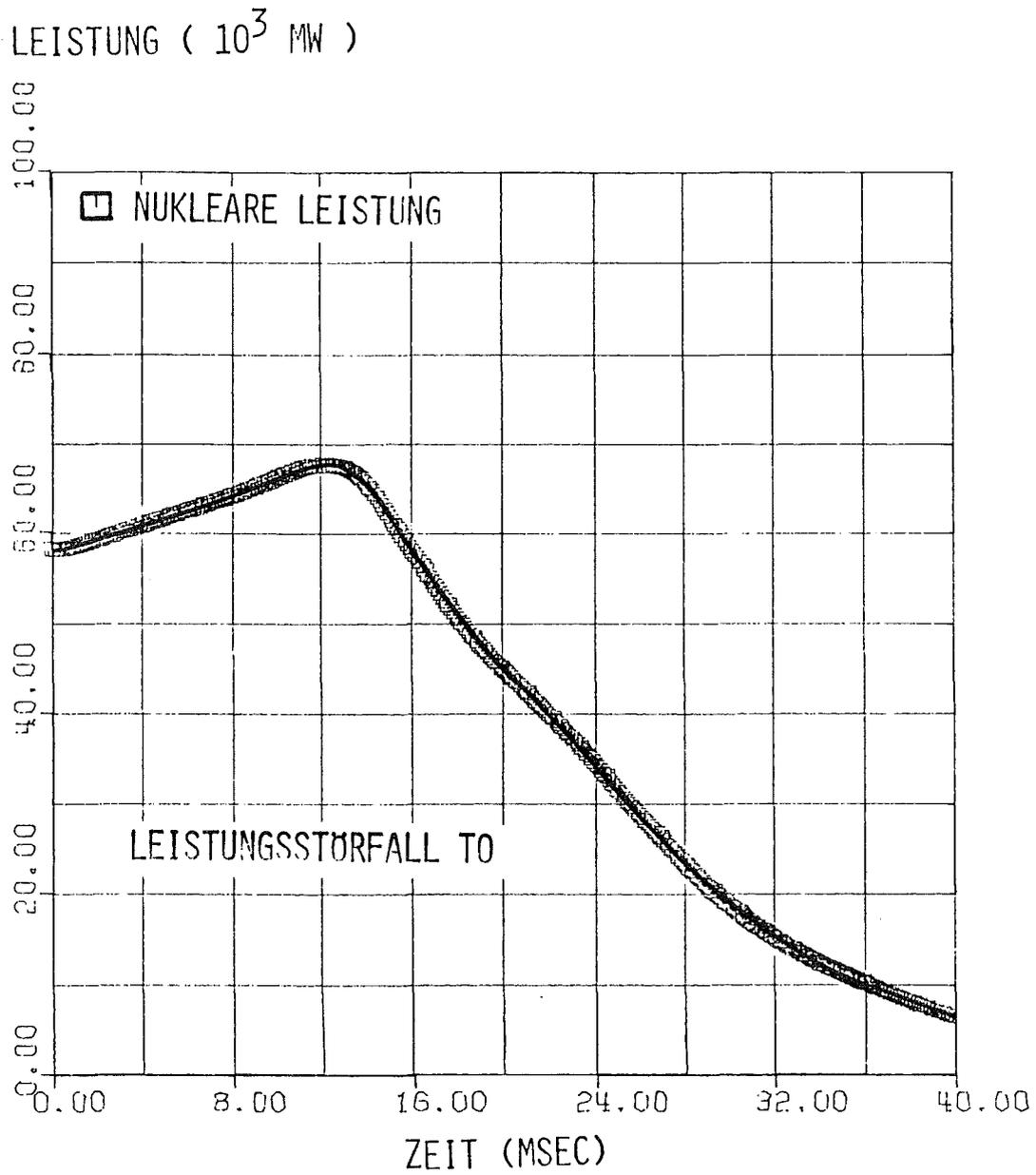


BILD 3,3-3 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DES STÖRFALLES TO  
(EINLEITUNGSRAMPE :  $10 \phi/\text{SEC}$ )

EEC-B CORE

ENERGIE ( 10 MWs )

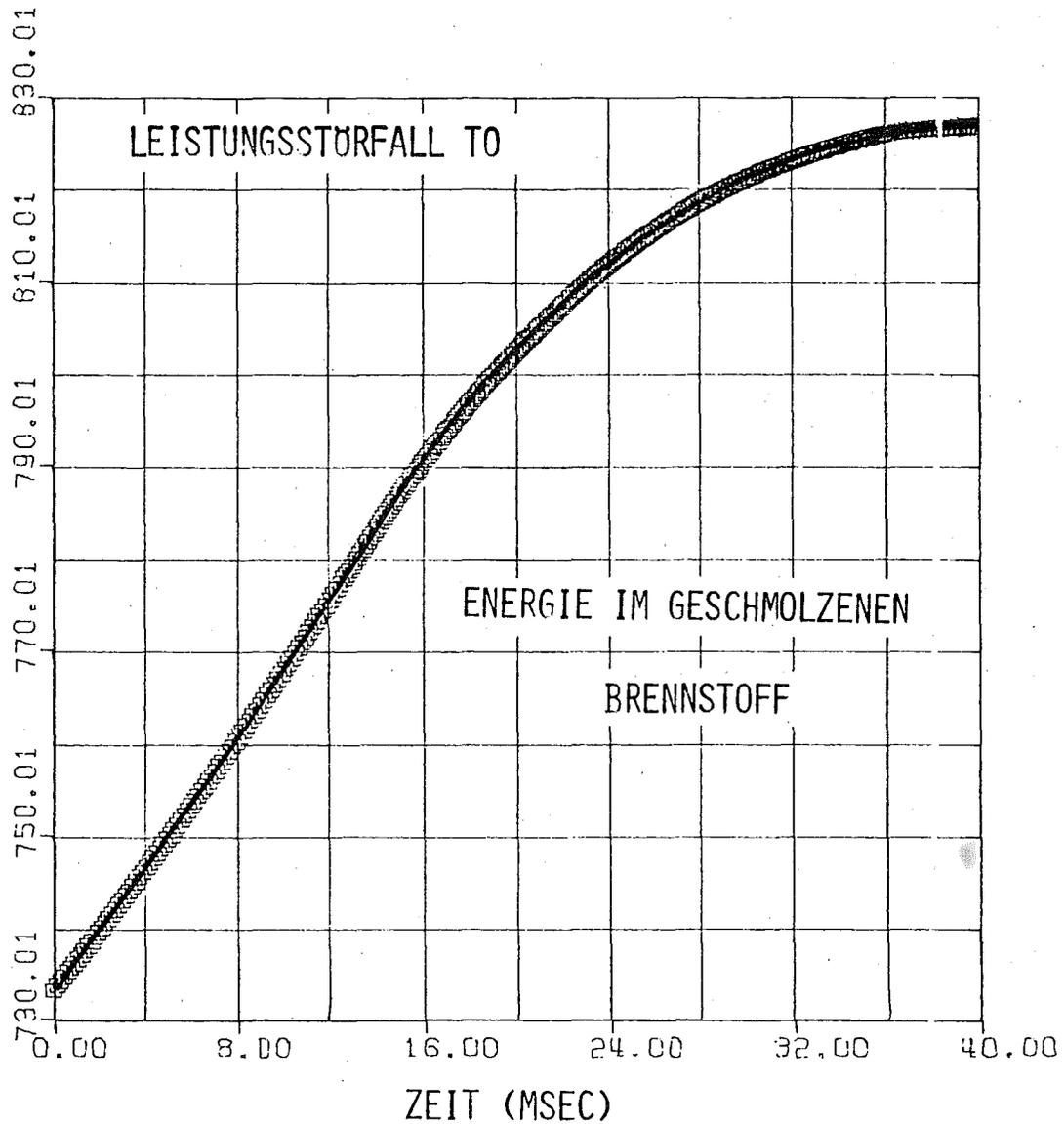


BILD 3.3-4 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
FOR DEN STÖRFALL TO (EINLEITUNGSRAMPE : 10  $\phi$ /SEC)  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION

EEC-B CORE

lichen Sinne statt. Der Reaktorkern schmilzt während der Disassemblyphase auf niedrigem Temperaturniveau (mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs  $\sim 3200$  K) noch etwas weiter auf. Die freigesetzte Energie ist mit 1611 MWsec jedoch äußerst gering. Die Disassemblydauer liegt mit  $\sim 40$  msec wie beim BEC-A Core relativ hoch. Das Reaktivitätsniveau bleibt während der gesamten Störfallphase weit unterpromptkritisch. Durch die Übergaberampe von  $\sim 8$   $\beta$ /sec wird nach  $\sim 9$  msec ein schwaches Leistungsmaximum von ungefähr dem 14-fachen der stationären Leistung erreicht. Der Dopplereffekt begrenzt auch hier die Leistungszunahme und beendet zusammen mit geringer Materialbewegung den Störfall. Die Materialbewegung, die im wesentlichen durch Druckaufbau aus BNR-Prozessen verursacht wird, zeigt ein etwas anderes Verhalten als beim BEC-A Core. (Der Brennstoffdampfdruckaufbau liegt auch hier unter 1 bar und trägt zur Kernmaterialbewegung nur unwesentlich bei). Während beim BEC-A Core schon in vielen Kanälen, verteilt über die 1. Corezone, BNR-Prozesse initialisiert wurden, haben im EEC-B Core nur Kanäle bis zu Kanal 13 versagt. (Vergleiche Abbildung 3.2-1 mit Abbildung 3.3-1). In der Anfangsphase der Coredisassembly wird daher Materialbewegung nur in den innersten Corebereichen stattfinden, also in Gebieten mit flachen Materialwertkurven; die Abschaltwirkung durch Materialbewegung wird daher relativ gering sein.

Auch hier dürfte die Disassemblyrechnung mit KADIS zwar die Energiefreisetzung grob abschätzen, jedoch die Corematerialverteilung nach der 1. Exkursion nur ungenau wiedergeben. Es muß erwartet werden, daß wegen der niedrigen Brennstoff- und Kastenwandtemperaturen ein mögliches Brennstoff/Stahlgemisch in den Subassemblies hauptsächlich in Richtung des oberen und unteren Blankets bewegt wird und dort zum Teil gefriert. Zusätzlich werden während der langen Disassemblydauer Wärmeübertragungsvorgänge zwischen Brennstoff und Strukturmaterial auftreten, die nicht von KADIS modelliert werden können.

Die höheren Einleitungsrampen führen zu starken Leistungsspitzen in der Disassemblyphase. Diese werden durch den etwas schwächeren Dopplereffekt im Vergleich zum BEC-A Core später abgefangen. Hinzu kommt noch die kleinere Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung. Die Ursache ist hierbei in der gegenüber dem BEC-A Core anderen Versagensfolge der einzelnen Brennelemente zu suchen. Im EEC-B Core tritt Pinversagen und BNR nur im inneren Bereich der 1. Corezone auf, während die Brennelemente in der 2. Corezone bis zu Disassemblybeginn intakt bleiben. In der Disassemblyphase wird Brennstoff/Natriumreaktion aufgrund der Temperatur im Core in den Innenkanälen erzeugt. Die Abschaltwirkung durch Materialbewegung wird dann in der ersten Phase der Coredisassembly großteils durch die Zonen 2 und 3 bewirkt. Wegen der relativ flachen Materialwertkurven in diesem Bereich ist die Reaktivitätsrückwirkung jedoch ziemlich gering. Im Gegensatz dazu treten im BEC-A Core bereits zu Beginn der Disassemblyphase Materialbewegungen in der 2. Corezone auf. Die großen Wertkurvengradienten der Zonen 16 und 17 führen dann zu einer stärkeren Abschaltwirkung als im EEC-B Core. Erst relativ spät in der Disassemblyphase beginnen im EEC-B Core auch die Zonen 16 und 17 zur Abschaltwirkung beizutragen. Auch die Bewegungsrichtung des Kernmaterials wird durch die BNR-Prozesse bei hohen Einleitungs/Übergaberampen stark beeinflusst. Ein Vergleich der Abbildung 3.2-1 (3 \$/sec - BEC-A) mit der Abbildung 3.3-2 (3 \$/sec - EEC-B) zeigt, daß zu Beginn der Disassemblyphase im EEC-B Brennstoff/Natriumreaktionen kohärent über große Teile der ersten Corezone auftreten. Die Brennstofftemperatur und die Druckverteilung in den Maschenzellen parallel zur Coremittelebene führt zu einer Materialbewegung vornehmlich in axiale Richtung. Die radiale Coreexpansion trägt im Gegensatz zum BEC-A Core nur unwesentlich zur Abschaltbewegung bei, da bis zu Kanal 16 in allen Kühlkanälen eine BNR mit entsprechendem Druckaufbau eingetreten ist. Mit Zunahme der Rampensteilheit wird jedoch immer schneller die Initialisierungstemperatur für die BNR auch in der 2. Corezone erreicht, so daß etwa für den 3 \$/sec Störfall die Zonen 16 und 17 nach  $\sim 5$  msec Disassembly-

SNR-2000		TOP-ANALYSE		EEC-B CORE	
STÖRFALL		T0	T1	T2	T3
Einleitungsrampe	\$/sec	0.1*	0.3	1.0	3.0
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	7.9	23.6	39.8	60.4
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.763	0.921	1.013	1.068
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	11.6	34.2	133.0	349.0
Maximale normierte Leistung	-	13.5	132.0	462	874
Freigesetzte Energie	MWsec	1611	6643	12436	17846
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	8259	12352	16949	21773
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		1.65	2.47	3.39	4.35
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	23424	27048	31207	36138
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	%	43	49	57	66
Gesamtcoringinventar					
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3199	3437	3635	3771
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3714	4068	4461	4815
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	0.83	3.37	11.92	30.34
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	20.48	22.54	32.12	38.99
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	21.58	33.11	42.47	46.82
Maximale radiale Verschiebung	cm	7.50	6.26	4.85	4.96
Maximale axiale Verschiebung	cm	8.93	7.41	6.76	4.67

Tabelle 3.3-2 Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase für die Simulation des Leistungsstörfalles bei Einleitungsrampen verschiedener Größe (EEC-B)  
 \*Eine Disassembly im eigentlichen Sinne findet nicht statt.

LEISTUNG [  $10^4$  MW ]

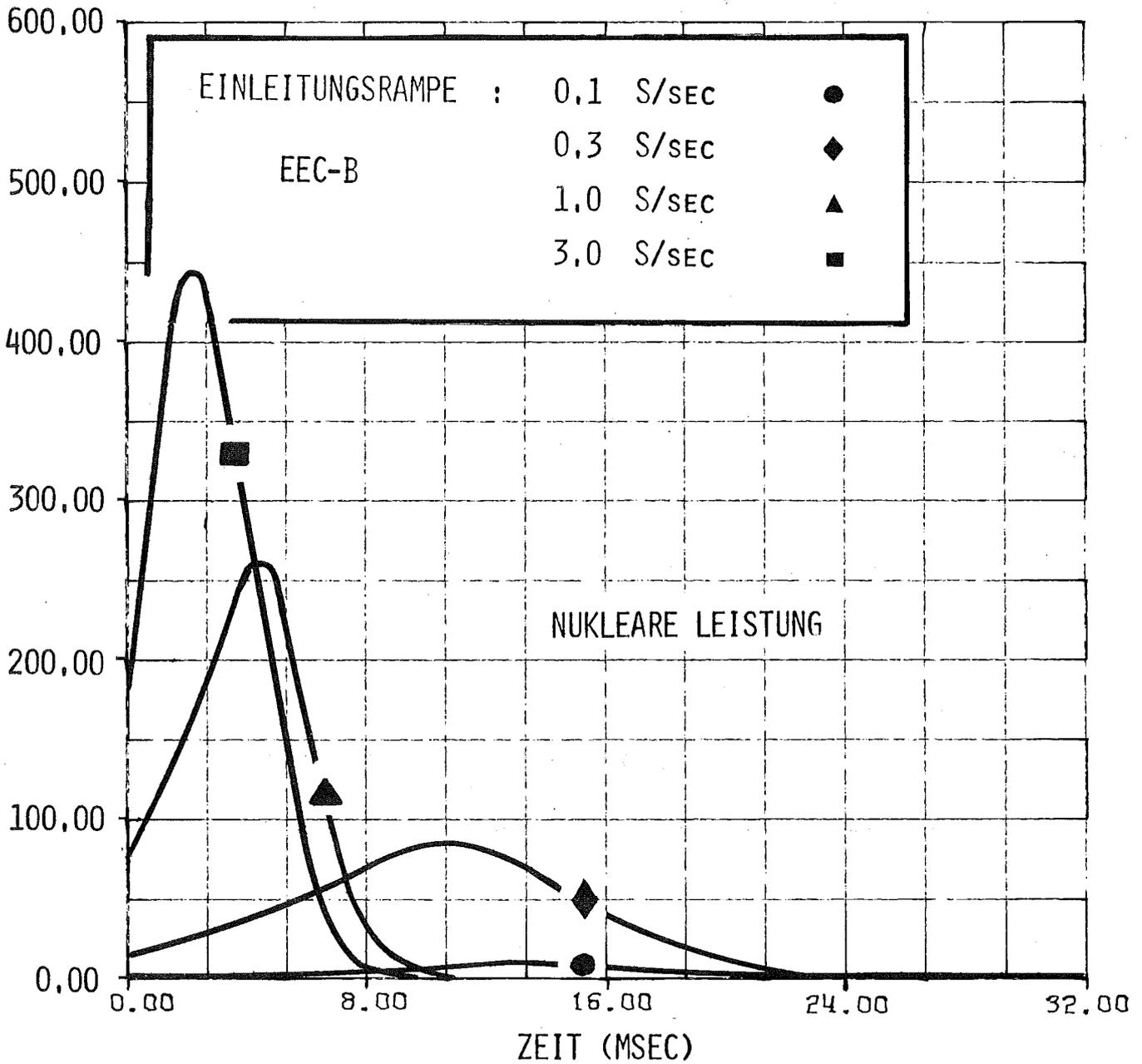


BILD 3,3-5 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DER STÖRFÄLLE :

T0 ( 10 ¢/SEC )

T1 ( 30 ¢/SEC )

T2 ( 1 \$/SEC )

T3 ( 3 \$/SEC )

WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE ( EEC-B CORE )

ENERGIE [10<sup>2</sup> MWs]

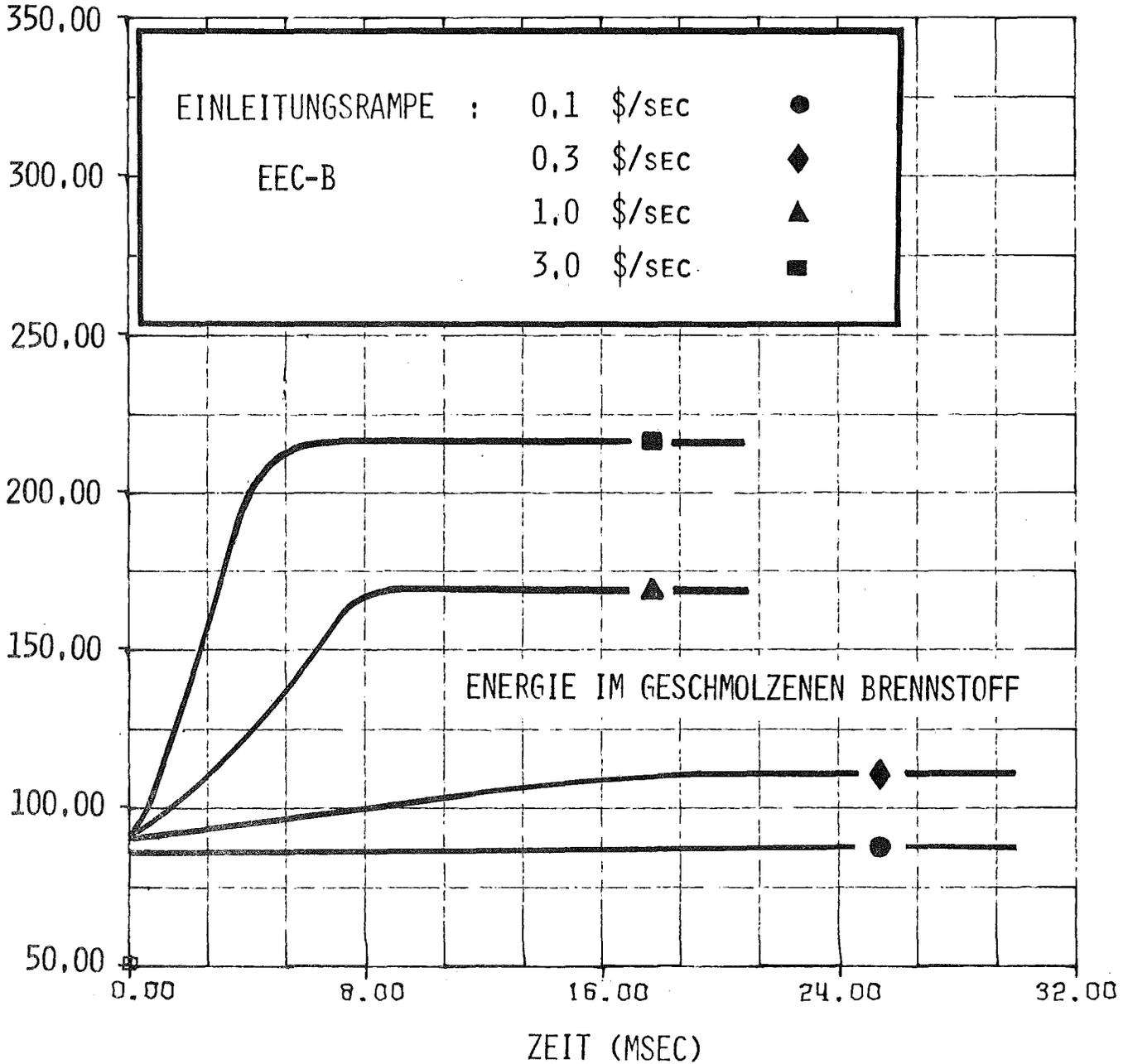


BILD 3.3-6 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
FÜR DIE STÖRFÄLLE :

T0 ( 10 ¢/SEC )

T1 ( 30 ¢/SEC )

T2 ( 1 \$/SEC )

T3 ( 3 \$/SEC )

BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION ( EEC-B CORE )

dauer wieder  $\sim 60\%$  zur Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung beitragen. Die Zonen 2 und 3 liefern beim  $3 \text{ } \$/\text{sec}$  Störfall nur mehr geringe Beiträge zur Abschaltwirkung, da durch kohärenten Druckaufbau in den benachbarten Zonen die radiale Expansionsbewegung unterbunden wird, die bei kleinen Einleitungsrampen noch möglich ist. Die axiale Rückwirkung der Zonen 2 und 3 wird dann rasch von der Rückwirkung der Zonen 16 und 17 übertroffen.

Die für die Leistungsstörfälle in der Disassemblyphase höchste freigesetzte Energie wird bei der  $3 \text{ } \$/\text{sec}$  Rampe mit  $17846 \text{ MWsec}$  erreicht. Diese hohe Energiefreisetzung führt auch zu einer entsprechend hohen Energie im geschmolzenen Brennstoff ( $21\,773 \text{ MWsec}$ ), wobei  $66\%$  des Coreinventars aufschmelzen. Dies entspricht einer geschmolzenen Brennstoffmenge von  $\sim 36 \text{ t}$ . Durch die hohen Spitzentemperaturen im geschmolzenen Brennstoff von  $4815^\circ\text{K}$  werden schon beträchtliche Dampfdrücke von  $\sim 30 \text{ bar}$  erreicht. Wie bei der Leistungsstörfalluntersuchung im BEC-A Core, so werden auch für das EEC-B Core für große Einleitungs- bzw. Übergaberampen Sättigungsbedingungen für die Energiefreisetzung erreicht. Damit werden auch die für die Störfallbeurteilung wichtigen Parameter der Energie und Masse im geschmolzenen Brennstoff im Bereich  $> 1 \text{ } \$/\text{sec}$  größtenteils unabhängig von der Größe der Reaktivitätsstörung.

### 3.4 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES LEISTUNGSSTÖRFALLES FÜR DAS BEC-A UND EEC-B CORE DES SNR-2000

---

Die für einen Störfall signifikanten Werte der Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs sind in Abhängigkeit von der Einleitungsrampe für die Leistungsstörfallanalyse in Abbildung 3.4-1 zusammengefaßt. Die Einleitungsrampen werden dabei nochmals nach ihrer möglichen Größe klassifiziert. Der als "wahrscheinlich" bezeichnete Bereich umfaßt dabei Einleitungsrampen bis etwa 1  $\$/\text{sec}$ . Aus den in der Einleitung erwähnten Gründen sind für den SNR-2000 größere Einleitungsrampen als unwahrscheinlich anzusehen.

Es zeigt sich, daß in diesem wahrscheinlichen Bereich die Energie und die Masse des geschmolzenen Brennstoffs noch stark von der Einleitungsrampe des Leistungsstörfalles abhängen. Dies wird im wesentlichen dadurch verursacht, daß im Bereich bis  $\sim 30 \$/\text{sec}$  die Größe der freigesetzten Energie und der Anteil des aufschmelzenden Coreinventars von der Einleitungsphase des Störfalles dominierend bestimmt werden. Der Störfallverlauf ändert sich naturgemäß stark während dieser Einleitungsphase in Abhängigkeit von der einlaufenden Reaktivitätsrampe. So kann aus den Tabellen 3.2-2 und 3.3-2 entnommen werden, daß beim 10  $\$/\text{sec}$  Störfall in der Disassemblyphase nur mehr ein unwesentlicher Anteil an Energie freigesetzt wird und das Core nur noch um wenige Prozent mehr aufschmilzt. Die Energie im geschmolzenen Brennstoff erhöht sich demnach in der Disassemblyphase nur unwesentlich und die Werte in den Tabellen 3.2-2 und 3.3-2 werden für kleine Einleitungsrampen ausschließlich von der Einleitungsphase bestimmt. Basierend auf dem rein thermischen Disassemblykriterium (Temperaturkriterium  $T_{\text{Dis}}$ ) wird bis zur Initialisierung der Coredisassembly unabhängig von der Einleitungsrampe ein bestimmter Energieinhalt ( $\sim 8000 \text{ MWsec}$ ) im Brennstoff kumuliert. Der weitere Störfallverlauf und die bis zur Beendigung der ersten Exkursion zusätzlich freigesetzte Energie wird dadurch schließlich von der Übergaberrampe zur Coredisassembly und dem Reaktivitätsniveau am Umschaltspunkt bestimmt.

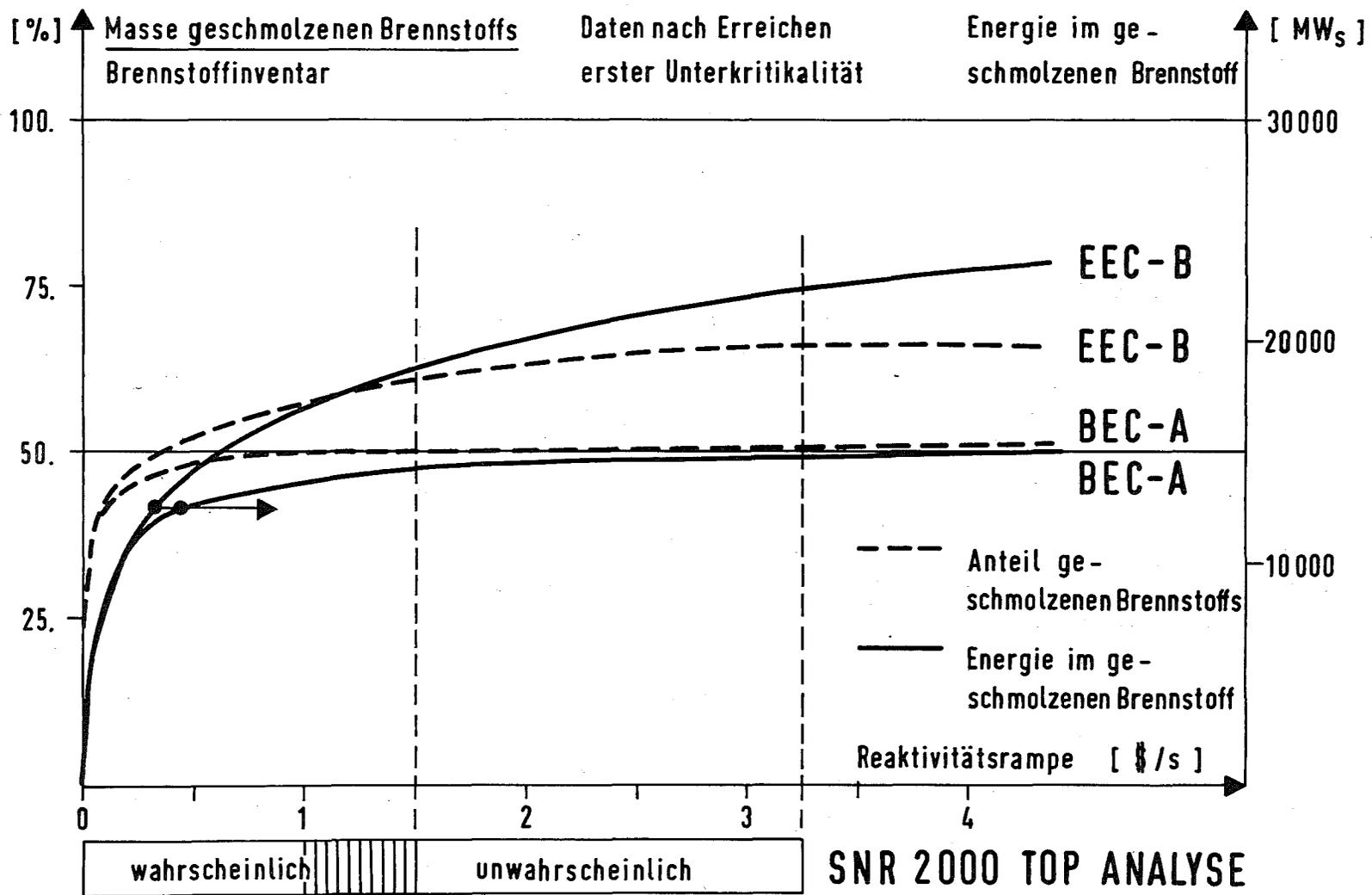


BILD 3.4-1 Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars und die im geschmolzenen Brennstoff gespeicherte thermische Energie in Abhängigkeit von der Einleitungsreaktivitätsrampe beim ersten Erreichen der Unterkritikalität während der Kernzerlegungsphase (Leistungsstörfälle BEC-A und EEC-B Konfiguration)

Für die Leistungsstörfälle zeigt sich nun, daß trotz stark steigender Übergaberampen von 20 - 60 \$/sec die endgültige Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs nur mehr schwach von der Übergabe- und auch der Einleitungs-Reaktivitätsrampe abhängen. Diese relativ schwache Abhängigkeit ist charakteristisch für einen noch größtenteils mit Kühlmittel gefüllten Reaktorkern und steht im Gegensatz zum Verhalten bei einem weitgehend gevoideten Core (siehe Abb. 4.5-1, Kap. 4.5). Temperaturerhöhung führt in den KADIS-Maschenzellen bei einem noch größtenteils ungevoideten Core zu Brennstoffexpansion und zu hohen Einphasendrücken, die Kernmaterial rasch aus Zonen hohen Materialwertes in solche mit niedrigem Wert transportieren. Die durch den schnellen Druckaufbau ausgelöste Materialbewegung bringt den Reaktor nach wenigen msec auf unterkritisches Reaktivitätsniveau. Zudem ist die Dopplerrückwirkung in einem nassen Core beträchtlich höher als in einem gevoideten. Die Zeitdauer des Disassemblyvorganges wird dadurch sehr kurz, so daß auch bei hohen Übergaberampen zur Core-disassembly nur wenig Reaktivität dem Kern noch zusätzlich zugeführt werden kann. Diese Effekte führen schließlich dazu, daß die Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs für hohe Einleitungs-/Übergaberampen unabhängig von deren Größe einer raschen Sättigung zustreben. Dabei werden schon bei sehr kleinen Einleitungsrampen über 40% des Brennstoffinventars aufgeschmolzen.

Im EEC-B Core werden Sättigungswerte für die Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs erst bei etwas größeren Einleitungsrampen und auch auf höherem Niveau erreicht. Dieser etwas heftigere Störfallverlauf im EEC-B Core wird in erster Linie von den kleineren Dopplerkonstanten bei diesem Abbrandzustand verursacht. Dadurch wird der durch die höheren Übergaberampen zur Core-disassembly bedingte kräftige Leistungsanstieg etwas später auf höherem Brennstofftemperaturniveau begrenzt. Zwangsläufig erhöht sich dadurch wieder die Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs. Hinzu kommt, daß im EEC-B Core

bei großen Einleitungsrampen wegen der kohärenten Brennstoff/Natriumreaktion-Initialisierung über die inneren Corebereiche eine radiale Materialbewegung fast total unterdrückt wird, so daß die Abschaltwirkung hauptsächlich von einer axialen Materialbewegung verursacht wird. Weiter beschränkt sich die Materialbewegung in der Anfangsphase der Coredisasassembly auf die Corezone 1 und ist wegen der kleinen Materialwertgradienten sehr schwach, während im BEC-A Core insbesondere die 2. Corezone mit den großen Materialwertgradienten und entsprechend großer Reaktivitätsrückwirkung wirksam wird.

Das entscheidende Ergebnis nach Beendigung der ersten Exkursion ist der Wirkungsgrad, mit dem die im Brennstoff gespeicherte thermische in mechanische Energie konvertiert wird, und die Struktur des Tanks und der Primärkreisläufe belastet. Nach Beendigung der ersten Exkursion liegen große Teile des Cores in einem hochkomprimierten ein- oder zweiphasigen Zustand vor. Eine nachfolgende Expansion des Corematerials kann zu Schockwellen und zur Beschleunigung des Kühlmittels führen, welches das Core umgibt. Für eine genaue Analyse der Strukturbelastung müssen strukturdynamische Codes, wie REXCO /33/ oder ARES /34/ herangezogen werden, mit denen die Tank/Primärsystembeanspruchungen - also auch die lokalen Spannungs/Dehnungsverhältnisse des Strukturmaterials berechnet werden können. Im Rahmen der Sicherheitsanalyse, wie sie in dem vorliegenden Bericht präsentiert wird, ist es jedoch unmöglich für jeden speziellen Rechenlauf von CAPRI-2/KADIS eine detaillierte Strukturanalyse durchzuführen. Man versucht daher, das "Belastungspotential", das durch einen hypothetischen Störfall auftritt, durch eine globale Größe zu quantifizieren, die keine Information über das Spannungs/Dehnungsverhalten der Corestruktur enthält. In einer ausführlichen Analyse von Marchaterre /35/ werden verschiedene Verfahren, mit denen ein globales Belastungspotential charakterisiert werden kann mit REXCO-Rechnungen für verschiedene Cores verglichen. So zeigt sich, daß besonders das auf den Tankdeckel aufprallende, durch die Brennstoffdampfexpansion beschleunigte Kühlmittel als denkbare mechanische Belastung angesehen werden kann. Als mögliches Maß für die mechanische

Energiefreisetzung, die von der Tankdeckelstruktur absorbiert werden muß, erweist sich die isentrope Expansion der heißen Brennstoffdampfblase auf einen bestimmten End-Gleichgewichtsdruck, der dem freien Volumen im Tank entspricht. Dieses freie Volumen ist dabei im wesentlichen identisch mit dem durch die mechanische Belastung verformten Covergasvolumen. Diese Verfahrensweise schätzt dabei vor allem die kinetische Energie der Natriumsäule, die beschleunigt wird und auf dem Tankdeckel aufprallt, ab. Dabei wird angenommen, daß keine Energie für die Deformation der radialen Core/Tankstrukturen verbraucht wird.

Ebenso wird die energieverzehrende Wirkung der axialen Strukturen über dem Core - wie z.B. die Tauchplatte - nicht berücksichtigt. Für die Berechnung dieser mechanischen Energie werden nur die Brennstoffdampfdrücke herangezogen. Eine Wärmeübertragung auf Stahl sowie Kondensationsvorgänge werden dabei nicht berücksichtigt. Ebenso werden die Effekte des Spaltgasdruckaufbaus im Kern vernachlässigt. Die Kondensationsvorgänge in der Brennstoffdampfblase und die Wärmeübertragung auf den Stahl können dabei das Arbeitspotential verringern; zusätzlich treibt der Spaltgasdruck das Core etwas schneller auseinander, so daß weniger Brennstoff verdampfen kann. Andererseits werden durch die Produktion von Spaltgas und das Freisetzen von Spaltgas neue Druckquellen wirksam, die wieder zu einer Erhöhung der mechanischen Belastung, ausgedrückt durch das Integral  $\int p dV$ , führen könnten. Die tatsächliche Belastung hängt auch noch davon ab, ob das Mehrphasengemisch in einer Kugelform expandiert und dabei das Kühlmittel über dem Core beschleunigt oder mehr strahlförmig das Kühlmittel durchdringt ohne beschleunigend zu wirken.

Mit gewissen Unsicherheiten ist dabei noch die Wechselwirkung der Brennstoff/Stahlblase mit dem im Core (bei TOP Störfällen) und über dem Core befindlichen Natrium behaftet. Folgt man der Argumentation von H.K. Fauske, so sollte eine kohärente BNR beim Kontakt dieser Brennstoff/Stahlblase mit dem Natrium weitgehend ausgeschlossen werden können /36, 37/. Damit fallen nach /47/ zwei Phänomene, die zu einer Gefährdung des Tanks und des Containments führen würden, fort, nämlich:

- 1) Heftige Wärmeübertragung auf das Natrium, wobei das Kühlmittel zum Arbeitsmedium wird.
- 2) Ein schlagartiges Zurücktreiben des ejezierten Brennstoffs in das Core, mit daraus resultierenden großen Reaktivitätsrampen.

In /38/ wird versucht, die mögliche Wechselwirkung der heißen Brennstoffblase mit dem Natrium oberhalb des Corebereichs nach einem LOF Störfall zu modellieren. Dabei werden sowohl die Brennstoffdampfblasenexpansion als auch BNR-Phänomene berücksichtigt. Modellmäßig wird dabei angenommen, daß in die aus dem Core ejezierte Brennstoffblase bei der Expansion Natriumtröpfchen eindringen (Entrainment). Das Brennstoff/Natriumgemisch läßt man sodann gegen die Trägheit des Natrium-Pools expandieren, bis der beschleunigte Natrium-Slug auf den Tankdeckel aufprallt. Bei den zugrunde liegenden Annahmen zeigt sich, daß die mechanische Energie ein Maximum in Abhängigkeit von der Masse des aufgenommenen Natriums durchläuft und stark mit der Brennstofftemperatur zunimmt. Bei Berücksichtigung dieses "Entrainmenteffekts" liegen die freigesetzten mechanischen Energien je nach Temperatur der expandierenden Brennstoffblase um  $\sim 20 - 40 \%$  höher. Theoretische /39/ sowie experimentelle /36/ Untersuchungen geben gewisse Hinweise, daß der Kontakt zwischen der expandierenden Brennstoff/Stahlblase und dem Kühlmittel wahrscheinlich zu energiedissipierenden Prozessen führt. Für eine erste Abschätzung des Belastungspotentials der Kühlmitteldurchsatzstörfälle sowie auch der Leistungsstörfälle wurde daher das Arbeitsintegral  $\int p dV$  nur für die isentrope Expansion der Brennstoffdampfblase ausgewertet. Die Ergebnisse (Abb. 3.4-2) der Leistungsstörfallanalyse zeigen, daß für kleine realistische Einleitungsrampen die damit berechnete mechanische Belastung der Tankdeckelstruktur unwesentlich ist. Diese Aussage gilt insbesondere für das BEC-A Core, wo die Höchstbelastung auch bei den höheren Rampen unter 100 MWsec liegt. Die Masse des verdampften Brennstoffs erreicht dabei etwa 200 kg. Aufgrund des höheren Temperaturaufbaus im EEC-B Core steigt die mechanische Energiefreisetzung mit Erhöhung der Einleitungsrampe schneller an. Die Maximalwerte für die mechanische Belastung liegen aber selbst bei einer 3  $\%$ /sec Rampe nur bei  $\sim 300$  MWsec, wobei etwa 1000 kg Brennstoff verdampfen.

Erste Abschätzungen, welche mechanischen Energien vom Tank des SNR-2000 ohne Versagen absorbiert werden können, liegen bei  $\sim 1000$  MWsec bzw. für die Primärkreisläufe bei 500 - 600 MWsec. Die Ergebnisse lassen daher den Schluß zu, daß die Tankstruktur auch durch einen Leistungsstörfall mit unrealistisch hohen Einleitungsrampen wahrscheinlich nicht gefährdet wird. Eine Abschätzung der Belastung der Primärkreisläufe kann mit dem verwendeten Verfahren nur schwer durchgeführt werden. Setzt man trotzdem die freigesetzte Energie in Relation mit den Energien, bei denen die mechanische Integrität des Primärsystems aller Voraussicht nach nachgewiesen werden kann, so dürften auch die Primärkreisläufe bei einem energetischen Leistungsstörfall wahrscheinlich intakt bleiben.

Die Untersuchung der Rampenstörfälle zeigt, daß die hohen Einleitungsrampen zwar zu einer Coredisassembly führen, deren mechanische Energiefreisetzung jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit beherrscht werden kann. Die kleinen Einleitungsrampen führen auf Grund der pessimistisch gewählten Modellparameter (Versagenskriterien, BNR-Parameter etc.) zu keinem "Early Shutdown". Werden die Kühlkanäle durch den aus den Pins ausgetretenen Brennstoff verblockt oder führen BNR-Prozesse zu mechanischen Deformationen der Pins, so können in den betroffenen Subassemblies Siedebedingungen erreicht und ein Einlaufen in eine LOF-ähnliche Transitionphase möglich werden. Wird durch Ausblasvorgänge ein großer Teil des Coreinventars ejeziert, so kann der Störfall ohne nennenswerte Strukturbelastung beendet werden. Jedoch können Rekritikalitäten während dieser Transitionphase doch zu einer energetischen Coredisassembly führen und damit auch zu mechanischen Belastungen des Tanks und der Primärkreisläufe. Der hohe Anteil von geschmolzenem Brennstoff am Gesamtcoreinventar von über 40 % ( $\sim 25$  Tonnen) und der minimale Druckaufbau im Core könnten eine endgültige nichtenergetische Ejektion und Dispersion großer Teile des Brennstoffinventars beeinträchtigen. Auf der Basis der theoretischen und experimentellen Kenntnisse besteht jedoch eine hohe Wahrscheinlichkeit, daß diese milden Störfälle über die Transitionphase und Ausblasvorgänge des Coreinventars beendet werden.

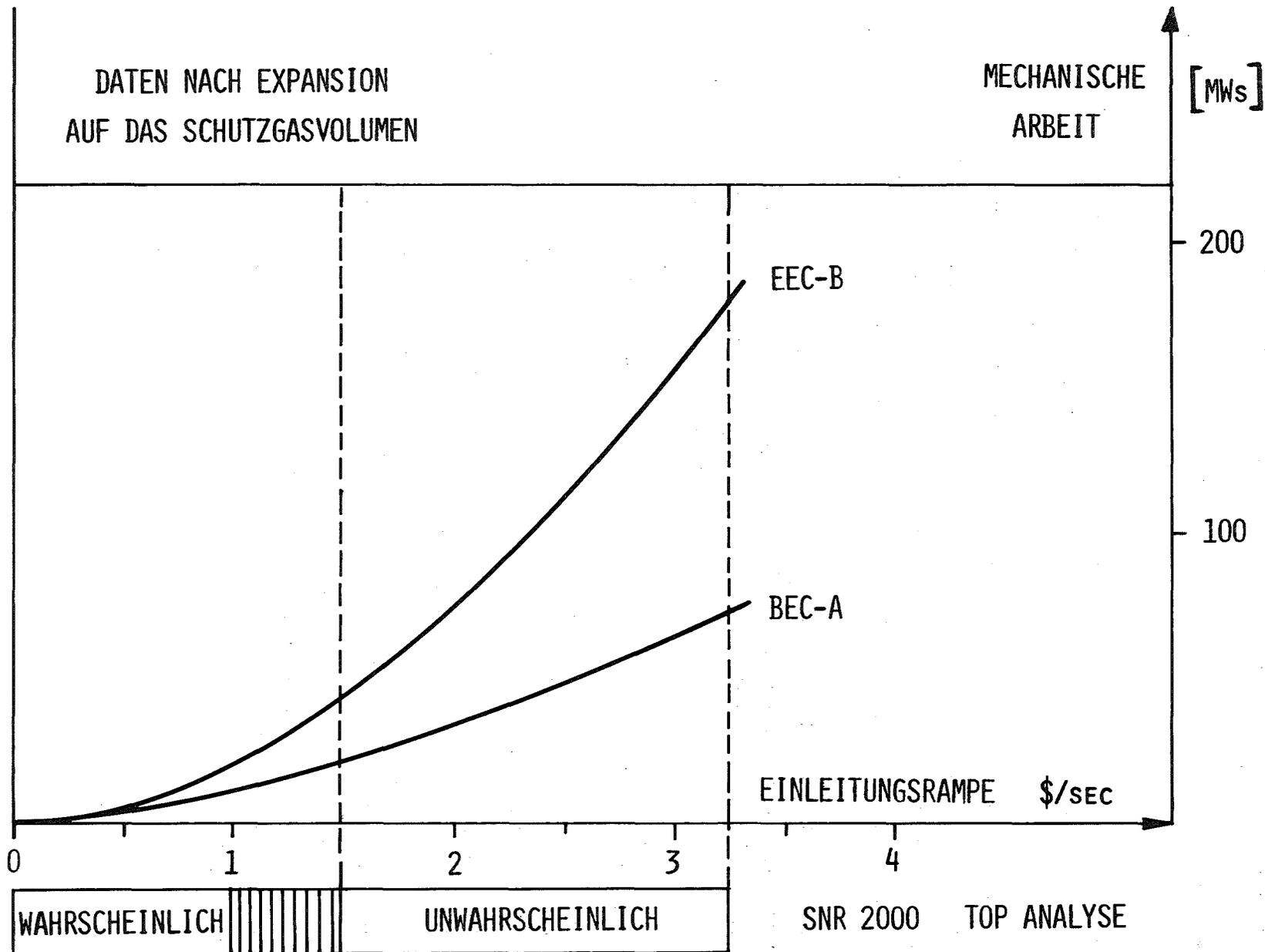


BILD 3.4-2

Freigesetzte mechanische Energie bei Expansion des verdampften Brennstoffs auf das verformte freie Volumen im Reaktortank als Folge einer energetischen Kernzerlegung in Abhängigkeit von der Einleitungsreaktivitätsrampe beim Leistungsstörfall

BEC-A und EEC-B Kernkonfiguration

#### 4. ANALYSE DER DISASSEMBLYPHASE DES KÜHLMITTELDURCHSATZ-STÖRFALLES

---

Im vorliegenden Kapitel werden die Untersuchungen zur Disassemblyphase der Kühlmitteldurchsatzstörfälle (Loss of flow - LOF) für das BEC-A und EEC-B Core des SNR-2000 diskutiert. Die Entwicklung des Störfalles in der Einleitungsphase wird wieder in /7/ eingehend behandelt und soll in diesem Bericht nur soweit beschrieben werden, als die Phänomene der Einleitungsphase zum Verständnis der Disassemblyphase notwendig sind.

Die Analyse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle nimmt in der vorliegenden Arbeit eine zentrale Stellung ein. Aus der Untersuchung der Leistungsstörfälle kann mit hoher Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, daß die nukleare Leistungsexkursion den Reaktortank sowie die Primärkreisläufe nicht entscheidend gefährdet. Eine Untersuchung der Inkohärenzeffekte beim Brennstabversagen /40/ zeigt weiter, daß für realistische Einleitungsrampen (Kap. 3) diese Inkohärenz mit großer Wahrscheinlichkeit zu Siedebedingungen im Core und damit zu Szenarios wie bei einem LOF Störfall führen werden. Zudem besitzt der LOF Störfall eine größere Eintrittswahrscheinlichkeit als der TOP. Der Kühlmitteldurchsatzstörfall wird aus diesen Gründen für den SNR-2000 zum Design bestimmenden Störfall. Zusätzlich zeigt sich, daß beim SNR-2000 die Störfallform des "LOF driven TOP" /41, 42/ in viel stärkerer Form in Erscheinung tritt, als etwa beim SNR-300 /43/. Die Untersuchungen in diesem Kapitel konzentrieren sich daher hauptsächlich auf diesen speziellen Störfalltyp.

#### 4.1 DAS STÖRFALLSCENARIO IN DER EINLEITUNGSPHASE

Der typische Verlauf eines Kühlmitteldurchsatzstörfalles in der Predisassemblyphase soll kurz am Beispiel des BEC-A Cores beschrieben werden.

Ein Kühlmitteldurchsatzstörfall kann durch ein Zusammenbrechen der Energieversorgung der Primärkreiskühlmittelpumpen bei gleichzeitigem Versagen des Erst- und Zweitabschaltsystems des Reaktors verursacht werden.

Durch den Druckabfall im Kühlmittelleintrittsplenum reduziert sich beim SNR-2000 der Massendurchsatz nach etwa 4 sec auf 50% des Nominaldurchsatzes. Dies führt nach weiteren 2 sec zu Siedebedingungen am oberen Rand des Reaktorcores. Wegen der niedrig gewählten Siedeüberhitzung des Kühlmittels von  $3^{\circ}\text{C}$  und des durch die Regelstabstellung im BEC-A Core stark nach unten gedrückten Maximums der Leistungsverteilung dringt die Voidfront zuerst ziemlich langsam in die obere Kernhälfte ein. Erreicht die Siedefront Bereiche höherer Stabileistung so beschleunigt die verstärkte Restfilmverdampfung das Eindringen der Voidblasen in die unteren Kernbereiche.

Der durch die Voidreaktivitätsrampen verursachte Leistungsanstieg in Verbindung mit dem nach unten verzerrten Leistungsprofil führen in weiterer Folge dazu, daß die Siedeinitialisierung in den äußeren Kernbereichen in Richtung der Coremittelebene gedrückt wird und der Siedevorgang sofort starke positive Voidreaktivität freisetzt. Der schnelle Reaktivitätsanstieg wird durch den Dopplereffekt und die reaktivitätsmäßig zu 50% berücksichtigte axiale Coreexpansion abgefangen, so daß bei Erreichen des Disassemblykriteriums ein knapp unterprompt kritischer Reaktivitätszustand vorliegt. Die Übergabe zu KADIS wird für die Kühlmitteldurchsatzstörfälle initialisiert, wenn im heißesten Node im Reaktor eine Temperatur von  $T_{\text{Dis}} = 3523 \text{ K}$  (energiegemittelte Temperatur) erreicht wird.

Beim "klassischen" LOF führt das Voiden großer Teile des Cores schließlich zu einem Abschmelzen des nicht mehr gekühlten Hüllrohres und zu Slumping Vorgängen /44/ der Restbrennstoffsäulen. Die Treiberreaktivitätsrampen beim Übergang zur Core-disassembly setzen sich dabei aus Beiträgen des Voidens, der Hüllrohrbewegung und des Brennstoffslumpings zusammen.

Beim SNR-2000 wird die Bedingung für die Coredisassembly bereits bei relativ kleinen Void-Volumenanteilen im Core erreicht. Dies hängt mit dem hohen maximalen positiven Void und der hohen Stableistung zusammen. Die Reaktivitätszufuhr durch das Voiden des Reaktorkerns führt zu einem hohen Leistungsniveau (z.B. auf den 167-fachen Wert der Nominalleistung für das BEC-A Core), wobei bereits hohe Brennstoffschmelzfraktionen in den Pins erreicht werden. Diese starken Leistungs-transienten in der Nähe des prompt kritischen Reaktivitätszustandes, wobei noch große Teile des Cores mit Kühlmittel gefüllt sind, führen mit großer Wahrscheinlichkeit zu einem Versagen der Brennstäbe, zu Ejektion von flüssigem Brennstoff in die zum Teil noch nassen Kühlkanäle und zu Brennstoff/Natriumreaktionsprozessen. Diese BNR-Prozesse, sowie Spaltgasejektion aus geborstenen Brennstäben kann zu einer raschen Ejektion des restlichen Kühlmittels und entsprechend hohen zusätzlichen Voidrampen führen. In dieser Phase des Störfalls tritt also eine Mischform und Überlagerung von Kühlmitteldurchsatz- und Leistungsstörfall auf. Die Siedeprozesse in den Coregebieten hoher Leistung verursachen dabei einen TOP in Gebieten, die noch wenig gevoidet sind. Diese sogenannten LOF driven TOP's bezeichnen also ein massives Pinversagen in nur teilweise oder nichtgevoideten Reaktorgebieten, welches durch die Leistungstransienten des LOF ausgelöst wird. Besonders gefährdet sind dabei Regionen mit Pins niedriger Stableistung, da dort noch ein völlig nasses Core erwartet werden muß. Der weitere Störfallverlauf wird nun durch die Kohärenz der Reaktivitätsbeiträge der Voidbildung durch BNR-Prozesse, Brennstoffbewegung im Pin und im Kühlkanal bestimmt. Die durch diese komplexen Materialbewegungen

verursachte Reaktivitätsänderung in der Nähe von prompt kritisch entscheiden darüber, ob der Störfall in einer energetischen Disassembly endet, oder ob es zu einem langsamen progressiven Zusammenschmelzen des Cores kommt.

Im einzelnen hängt der weitere Verlauf des Störfalls davon ab, wo und in welcher Form die Brennstäbe versagen und ob Brennstoff in eine einphasige oder zweiphasige Kühlmittelumgebung ejeziert wird. Kommt es bei Brennstäben höherer Leistung zum Versagen des Clads durch starken Innendruckaufbau des Spaltgases im Bereich der zweiphasigen Kühlmitteldampfströmung, so besteht, da ein wirksamer Fragmentationsmechanismus fehlt, eine große Wahrscheinlichkeit für Ablagerung und Blockadebildung des ejezierten Brennstoffs. Dabei ist fraglich, ob die Impulsübertragung von Spaltgas und Restdampfströmung den ejezierten Brennstoff weite Strecken aus dem Core entfernen kann.

Bei den Brennstäben niedriger Leistung führt die Brennstoffejektion aus dem Pin in eine Kühlmittelumgebung zu Brennstoff/Natriumreaktionen mit Fragmentation des Brennstoffs. Durch diese BNR-Prozesse bilden sich einerseits zusätzliche Voidrampen, jedoch werden auch Brennstoffpartikel aus den Bereichen hohen Materialwertes ausgeschwemmt werden, was zu negativen Reaktivitätsbeiträgen führt.

Wesentlich für den Störfallverlauf ist dabei auch die Art und Richtung der Brennstoffbewegung im Pin und damit der Ort des Hüllrohrversagens und die Länge der Versagensstelle. Entscheidend ist, ob das Hüllrohr nur lokal an einer Stelle birst, oder ob das Hüllrohr reißverschlußartig nach oben hin aufreißen kann. Durch das Aufreißen des Clads über große Bereiche kann die vertikale Brennstoffbewegung im Pin in Richtung der Berststelle, die i.a. im Bereich hohen Materialwertes liegt, verhindert werden und der Brennstoff kann direkt horizontal in den Kühlkanal austreten. Dabei ist auch die Schnelligkeit dieses Aufreißvorgangs wichtig.

Mit CAPRI-2 läßt sich der Störfallverlauf eines "klassischen" LOF simulieren. Reaktivitätsmäßig werden u.a. die Voidprozesse durch Natriumsieden, die Dopplerrückwirkung und die axiale Coreexpansion berücksichtigt. Slumpingvorgänge und Hüllrohrbewegung, die ebenso von CAPRI-2 modelliert werden, spielen bei der Analyse des SNR-2000 eine untergeordnete Rolle, da Hüllrohrschmelzen erst kurz vor Initialisierung der Coredisasassembly auftritt und daher keine wesentlichen Beiträge mehr liefert. Der Hüllrohrring bleibt damit größtenteils im Core erhalten. Wärmeübertragung während der Disassemblyphase auf den Stahl führt damit zu Stahldampfdruckaufbau und zu zusätzlichen Dispersionsvorgängen, die eine raschere neutronische Abschaltung des Reaktors bewirken. Ein hoher Stahlanteil in der Brennstoffschmelze kann damit wesentlich zur Reduzierung der Gefahr einer Rekritikalität führen /45, 46/. Zusätzlich erleichtert der vorhandene Stahl die Ejektion des Mehrphasengemisches aus dem Core, da bei genügend hohem Stahlanteil der Stahl die kontinuierliche Phase darstellt und die obere Corestruktur weiter und schneller durchdrungen werden kann.

CAPRI-2 kann jedoch kein Pinversagen durch Spaltgasdruckaufbau mit Brennstoffejektion in Kühlkanälen, in denen bereits Siedevorgänge stattfinden, modellieren. Damit können also die Effekte, die durch eine BNR und durch Brennstoffbewegung im Pin und Kühlkanal ausgelöst werden nicht berücksichtigt werden und damit lassen sich auch die tatsächlichen Bedingungen und Reaktivitätsänderungen bei Beginn des Disassemblyvorganges nicht genau vorhersagen. Während also die Phase des Störfalls bis zum massiven Versagen der Brennstäbe mechanistisch beschrieben werden kann, können die Nachfolgephänomene, die in sehr viel kürzeren Zeiten ablaufen als die Phase vor dem Pinversagen, von CAPRI-2 nicht simuliert werden.

Um diese Lücke in der theoretischen Beschreibung des "LOF driven TOP's" zu überbrücken, wurden folgende Wege eingeschlagen:

- I) Es wurde der Zustand und das Verhalten des Cores und der einzelnen repräsentativen Brennstäbe genau analysiert, um Einsicht in das wahrscheinliche Verhalten während der TOP-Phase des Kühlmitteldurchsatzstörfalles zu bekommen. Aufgrund dieser Analyse wurden physikalische Argumente gesammelt, um den wahrscheinlichen Verlauf des Störfalles vorauszusagen. Auf der Basis dieser Argumente wurden die sogenannten Referenzstörfälle für beide Corezustände BEC-A und EEC-B definiert.
  
- II) Da der Disassemblyvorgang eines LOF ganz wesentlich von der Reaktivitätsrampe am Umschaltpunkt beeinflusst wird, wurde mit Hilfe der Änderung dieser Umschaltrampe versucht, die Effekte, die aus der Überlagerung des TOP's in der Einleitungsphase resultieren und den Disassemblyvorgang direkt betreffen, zu simulieren. In diesem Sinne wurde durch eine Variation der Umschaltrampe zur Coredisassembly auch versucht, die Unsicherheiten in der Modellierung der komplizierten Materialbewegungsvorgänge eines LOF driven TOP's abzudecken. Durch diese Erhöhung der Reaktivitätsrampen bei Disassemblybeginn werden natürlich die Verhältnisse, die zu diesem Zeitpunkt im Core herrschen nicht in allen Einzelheiten genau abgebildet. So wird es bei der TOP-Überlagerung am Ende des LOF Störfalles zu Änderungen im absoluten Reaktivitätsniveau in der Temperatur-, der Voidverteilung etc. kommen. Jedoch scheint es möglich, diese Effekte durch die etwas höheren Umschaltrampe zu berücksichtigen.

III) Die genaue Untersuchung der Verhältnisse im Core zu Beginn der Disassemblyphase zeigt, daß für die radial am weitesten außen liegenden Pins niedriger Leistung Versagen wahrscheinlich erst während der Disassemblyphase eintreten wird. Um die Effekte abzudecken, die noch durch eine BNR in diesen radial weit außen liegenden Bereichen entstehen können, während im übrigen Core schon Disassemblyprozesse in vollem Gange sind, wurde von dem Zeitpunkt, an dem Pinversagen zu erwarten ist über den von CAPRI-2 vorausberechneten Reaktivitätsverlauf noch eine kräftige zusätzliche Reaktivitätsrampe überlagert.

Diese 3 Wege zur Beschreibung der LOF driven TOP's im SNR-2000 sollen im einzelnen nochmals kurz diskutiert werden: Eine genaue Analyse der Corebedingungen zu Beginn der Disassemblyphase wird in / 7 / gegeben.

ad I Tritt Brennstabversagen in teilweise gevoideten Kühlkanälen auf, so sind die axiale Lage der Versagenspositionen, die Größe der Versagensstelle und die Brennstoffbewegungsvorgänge innerhalb des Brennstabes und im Kühlkanal entscheidend bzgl. der resultierenden Reaktivitätsrückwirkung. Die Analyse der Temperaturprofile von Brennstoff, Clad, Kastenwand, der Schmelzfraktion etc. zeigt nun folgendes:

- a) Die Kastenmaterialtemperaturen liegen auf der gesamten Länge des Brennelements unter  $950^{\circ}$  C. Die einsetzenden Mechanismen sind daher wahrscheinlich Brennelementspezifisch.
- b) Aus dem Temperaturverlauf des Hüllrohres und der axialen Verteilung der Brennstoffschmelzfraktion ist zu schließen, daß die Versagensstelle des Brennstabes oberhalb der Kernmitte

liegen wird, da hier die Maximaltemperaturen des Hüllrohres auftreten.

- c) Das axiale Temperaturprofil des Brennstabes ist im Bereich seines Maximalwertes sehr flach, d.h. es besteht eine große Wahrscheinlichkeit dafür, daß das Hüllrohr an dieser Stelle reißverschlußartig über größere Längen nach oben hin aufreißt.

Kommt Brennstoff unter diesen Bedingungen in einen nur wenig gevoideten Kühlkanal und wird eine Brennstoff/Natriumreaktion initialisiert, so können Teile des Brennstoffs ausgeschwemmt werden. Da der Materialwert des Brennstoffs höher als der des Natriums ist, kann der Reaktivitätseffekt des Voidens durch den "Brennstoff-sweep out" abgefangen werden. Durch das wahrscheinlich reißverschlußartig aufreißende Hüllrohr wird auch die Brennstoffbewegung im Pin in Richtung hohen Materialwertes verhindert, da der Brennstoff durch den Riß des Hüllrohres direkt horizontal in den Kühlkanal austreten kann /47/. Zusätzlich zu den BNR-Prozessen tragen Spaltgas und Stahldampfdrücke zur Ejektion der Brennstoffpartikel in Richtung des oberen axialen Blankets bei. Das Zusammenwirken dieser Prozesse dürfte zu keinem wesentlichen Aufbau von Reaktivitätsrampen führen /7, 47/. Aufgrund dieser vorliegenden Analyse wurden die sogenannten Referenzstörfälle für beide Corezustände definiert (Kap. 4.2.1 und 4.3.1).

KADIS übernimmt in diesen Fällen die Eingabedaten konsistent von CAPRI-2. Die Treiberreaktivität während der Disassemblyphase wird von CAPRI-2 vorausgerechnet und tabellarisch an KADIS übergeben. In KADIS werden in der Disassemblyphase Brennstoff/Natriumreaktionsprozesse mitberücksichtigt, um die Folgeeffekte des LOF driven TOP's zu simulieren.

In Gebieten, in denen schon "dry out" eingetreten ist, sind Brennstoffaustragungsprozesse wahrscheinlich nur bedingt möglich. Wenn die Restdampfströmung und die freigesetzten Spaltgase nicht ausreichen, den wenig fragmentierten Brennstoff auszutragen, so werden sich in diesen Gebieten wahrscheinlich Blockaden ausbilden, deren Reaktivitätsbeitrag (Bewegung der Blockaden, Neutronenstreaming) weitgehend unbekannt sind.

ad II Um die Unsicherheiten, die sich durch das Fehlen einer mechanistischen Beschreibung der komplizierten Materialbewegungsvorgänge während eines LOF driven TOP's ergeben, abzudecken, wurde durch eine parametrische Erhöhung der Umschaltrampe zur Disassembly versucht, die Reaktivitätseffekte dieser Materialbewegung zu berücksichtigen. Es wurden dabei 3 Bereiche A, B, C definiert, in denen die Reaktivitätsrampe R, die an KADIS übergeben wird, variiert wird. Die Ergebnisse für die erhöhten Umschaltrampen werden in Kap. 4.2.2 und 4.3.2 diskutiert.

A: Wahrscheinlicher Bereich  
 $0\$/\text{sec} < R < 30\$/\text{sec}$

In diesem Bereich liegen auch die Referenzfälle für beide Corezustände BEC-A und EEC-B. Da dem LOF ein TOP überlagert wird, können zur Abschätzung der wahrscheinlichen Rampen auch die Ergebnisse der TOP-Störfallanalyse (Kap. 3) dienen. Die Auswertung dieser Störfälle zeigt, daß die Übergaberampen eines  $1\ \$/\text{sec}$  TOP's etwa dem oben angegebenen Bereich entsprechen. Die mit dem HOPE Code durchgeführten Rechnungen /7/ berücksichtigen dabei Brennstoffbewegungsphänomene.

- B: Unwahrscheinlicher bzw. wenig wahrscheinlicher Bereich  
30\$/sec <R< 80\$/sec
- Da noch ziemliche Unsicherheit bzgl. der komplexen Materialbewegungen und deren Reaktivitätseffekte während der Störfallphase nach Pinversagen bestehen, wurde zusätzlich dieser Bereich definiert. Damit sollen auch drastische Veränderungen der Anfangsbedingungen für die Core Disassembly (also anderes Voidmuster, höheres Reaktivitätsniveau, geändertes Temperaturprofil etc.) abgedeckt werden. In dieser Enveloppe in der Größenordnung von 80 \$/sec sind auch die Übergaberampen eingeschlossen, die sich für 3 \$/sec TOP's ergeben.
- C: Bereich zur Ermittlung von Sicherheitsfaktoren  
80 \$/sec <R< 150 \$/sec
- Auch dieser Bereich von extrem hohen Übergaberampen wurde untersucht, um zu ermitteln, bei welchen Rampen Grenzen der Belastbarkeit des heute vorgesehenen Reaktortankentwurfs und der Primärkreisläufe erreicht werden. Die dabei ermittelten Grenzwerte bezogen auf die realistisch zu erwartenden Werte können im Sinne von Sicherheitsfaktoren interpretiert werden.

ad III Die radial weit außen liegenden Pins niedriger Leistung versagen mit hoher Wahrscheinlichkeit erst während des Disassemblyvorgangs. Brennstoff dürfte dabei in eine nasse Umgebung ausgespritzt werden und wieder zu BNR-Prozessen führen. Um die Effekte dieses späten Pinversagens mit BNR und Brennstoffbewegung während der Disassemblyphase zu berücksichtigen, wurde zum Zeitpunkt des erwarteten Pinversagens eine zusätzliche positive Rampe von 50 - 70  $\beta$ /sec auf den von CAPRI-2 vorausgerechneten Reaktivitätsverlauf aufgeprägt. Damit sollte insbesondere die mit KADIS nicht zu behandelnde Natriumejektion aus dem Core während eines BNR Prozesses beschrieben werden.

Die Voidrückwirkung in diesen Außenkanälen dürfte allerdings nicht dramatisch sein, da in diesen Bereichen der lokale Void zum Teil schon negativ ist. Positive Reaktivitätsrückwirkungen können dann nur von der Brennstoffbewegung im Pin herrühren, die mit einer zusätzlichen Rampe von 50 - 70  $\beta$ /sec abgedeckt werden. Die Ergebnisse für die beiden untersuchten Abbrandzustände des Cores BEC-A und EEC-B werden in Kap. 4.2.3 bzw. 4.3.3 dargestellt.

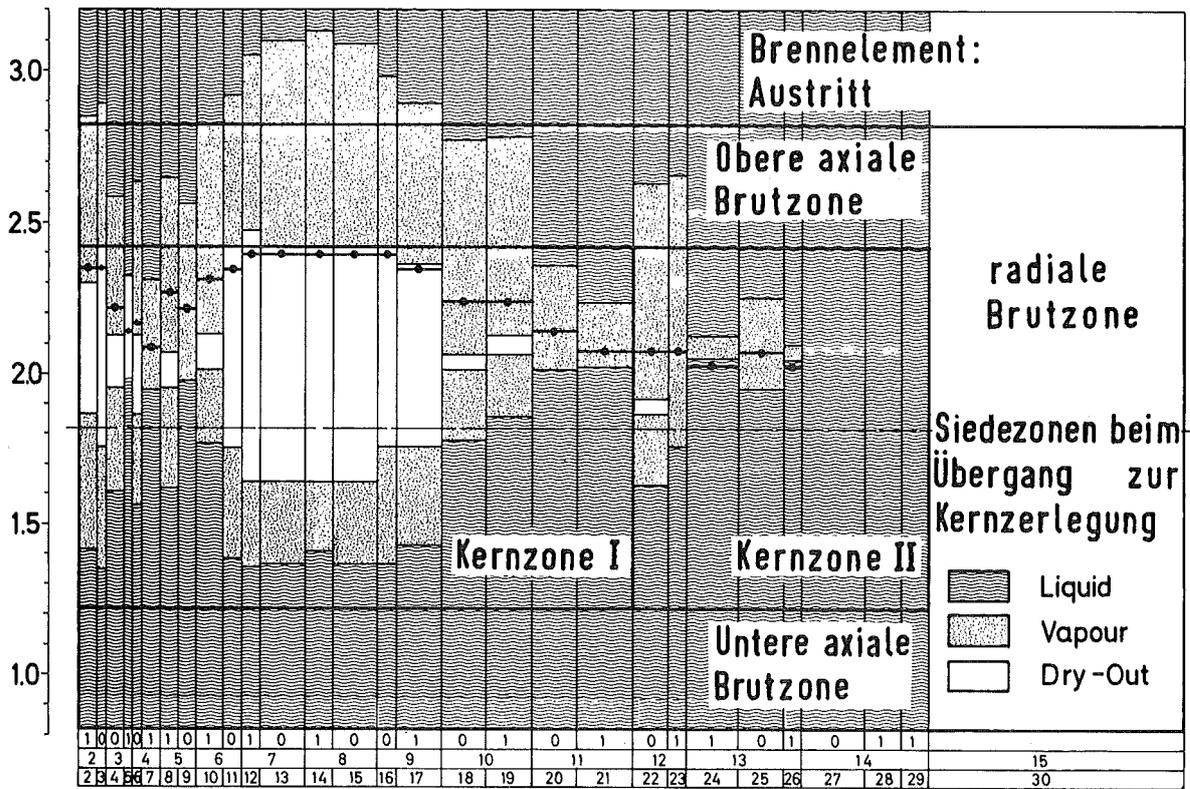
#### 4.2.1 SIMULATION DER DISASSEMBLYPHASE DES REFERENZSTÖR- FALLS LO (BEC-A CORE)

---

Der Voidzustand und die Schmelzfraktionsverteilung des BEC-A Cores zu Beginn der Disassemblyphase sind in den Abbildungen 4.2.1-1 und 4.2.1-2 graphisch dargestellt. Wie Bild 4.2.1-1 zeigt, sind im wesentlichen nur die Teile des mittleren Drittels des Kerns gevoidet, wogegen die radial weiter außen liegenden Kanäle noch einen hohen Natriumanteil besitzen. Die Form der Voidverteilung wird im BEC-A Core stark durch die in Kanal 6 und 7 zu einem Viertel eingefahrenen Regelstäbe (siehe Abb. 2.1.1-1) bestimmt. Das Maximum der axialen Leistungsverteilung wird dadurch unter die Coremittelebene gedrückt und die radiale Leistungsverteilung im Bereich der ersten Kanäle stark deformiert. Aus Bild 4.2.1-2 können die hohen Schmelzanteile, die zur Zeit der Übergabe an KADIS vorliegen, ersehen werden.

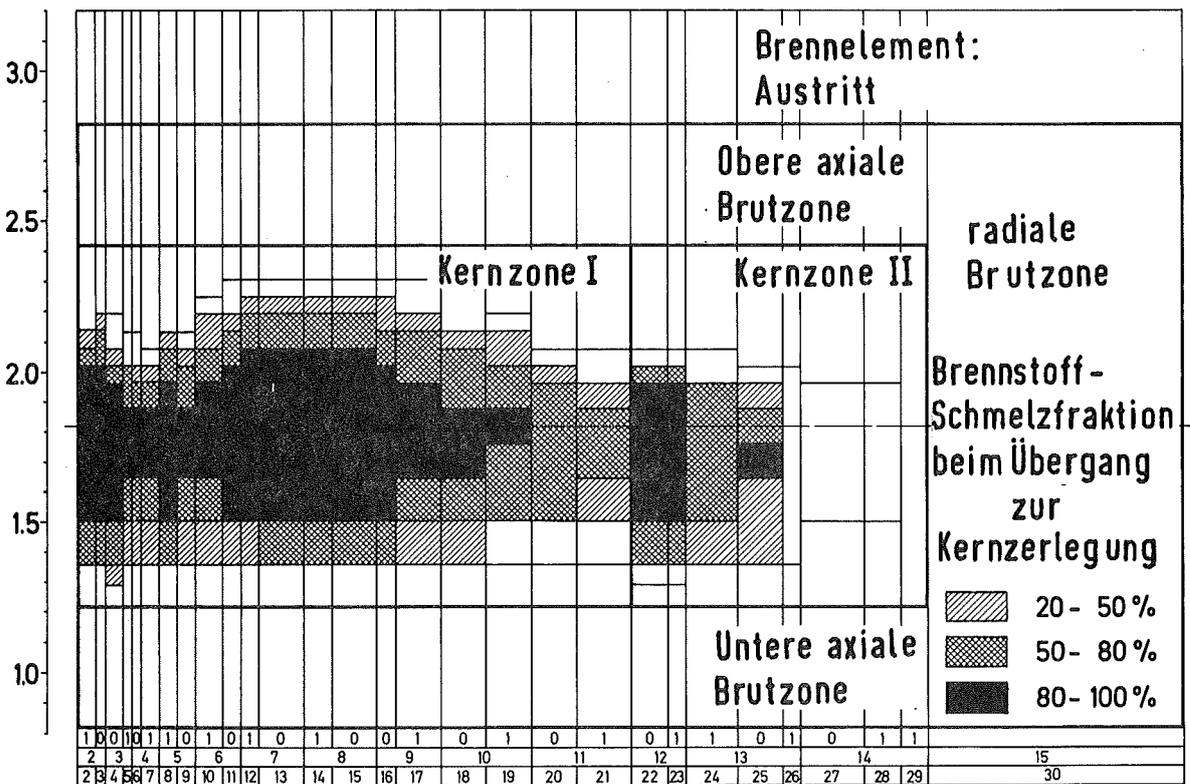
Ein Vergleich der Void- mit den Schmelzgebieten zeigt, daß sich z.T. wenig gevoidete Gebiete mit solchen hoher Schmelzfraktion überlappen. Bei den hohen Schmelzanteilen kann ein Versagen der 1 Jahr abgebrannten Stäbe aufgrund hohen Spaltgasdruckaufbaus mit hoher Wahrscheinlichkeit erwartet werden. Die wichtigsten Daten bei Initialisierung des Disassemblyvorgangs sind nochmals in Tabelle 4.2.1-1 zusammengefaßt.

Siedevorgänge treten im höchstbelasteten Kühlkanal nach  $\sim 6.9$  sec auf. Bereits  $\sim 7.7$  sec nach Ausfall der Primärpumpen, also 0.8 sec nach Siedebeginn, wird das Disassemblykriterium auf hohem Leistungsniveau (167-fache stationäre Leistung) erreicht.



SNR-2000 : LOF BEC-A

BILD 4.2.1-1 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen in Folge von Kühlmittelsieden am Umschaltunkt zur Kernzerlegungsphase (BEC-A Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)



SNR-2000: LOF BEC-A

BILD 4.2.1-2 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraction am Umschaltunkt zur Kernzerlegungsphase als Folge eines Durchsatzstörfalls (BEC-A Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)

Kernkonfiguration		BEC-A	
Zeitpunkt des Umschaltens zur Disassemblyphase		sec	7.717
Normierte Leistung		-	167
Nettoreaktivität		§	0.976
Anteil des gevoideten Corebereiches:	Zone I	%	61
	Zone II	%	17
Anteil des geschmolzenen Coreinventars		%	32.8
Reaktivitätsrampe (Netto-Doppler)		§/sec	7.3

Tabelle 4.2.1-1 Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase für das BEC-A Core.  
(Die Leistung ist dabei auf den stationären Wert von 5000 MW normiert.)

Die Rechnung mit CAPRI-2 führt für das BEC-A Core zu einem knapp unterprompt kritischen Reaktivitätsniveau von 0.97 §. Der Dopplereffekt, sowie die axiale Coreexpansion (50% berücksichtigt) kompensieren weitgehend die durch das Natriumsieden generierten Voidrampen. Das Core ist zu 78% gevoidet, und ungefähr 33% des Coreinventars liegen in geschmolzener Form vor.

Bei den Disassemblyrechnungen wurde auch für die LOF Störfälle die ANL-Zustandsgleichung (ANL-EOS) verwendet, welche bei der Druckberechnung in den Maschenzellen nicht nur deren innere Energie, sondern auch die Dichte der Zellen berücksichtigt /15/. Diese Gleichung wurde aus logischen Gründen gewählt, da bei den LOF-Störfällen im Core noch ein hoher

Natriumanteil vorhanden ist und auch FCI Prozesse simuliert werden. Zudem zeigten Testrechnungen mit KADIS, daß es bereits nach kurzem Störfallverlauf zu unphysikalischen Maschennetzüberlappungen kommt und die Rechnungen daher abgebrochen werden müssen, wenn für die Druckberechnung nur die Dampfdruckgleichung von Menzies /17/ benutzt wird. Durch die Wahl der ANL-EOS für die Disassemblyrechnungen werden jedoch in der Predisassemblyphase und der Disassemblyphase inkonsistente spezifische Wärmen  $C_p$  benutzt. Der  $C_p$ -Wert für die Disassemblyrechnungen beträgt 0.427 J/gK und ist gegenüber dem  $C_p$ -Wert der Einleitungsphase (0.548 J/gK) um 22% kleiner. Dadurch werden in der Disassemblyphase der Temperaturanstieg und damit die Dopplerrückwirkung und der Dampfdruckaufbau etwas überschätzt.

In der Disassemblyphase wird nun in den Teilen des Cores, die den weiter unten angegebenen Kriterien entsprechen, eine Brennstoff/Natriumreaktion initialisiert. Die wesentlichen Parameter sind in Tabelle 4.2.1-2 angegeben.

Partikelradius	$\mu$	117
Mischungszeitkonstante	msec	30
Brennstoff/Natriummassenverhältnis	-	6.5
Initialisierungstemperatur für BNR: $T_i$	K	3034.4
Initialisierungstemperatur für Berücksichtigung des Na-Dampfdruckes: $T_d$	K	3600

Tabelle 4.2.1-2 Parameter für die BNR-Simulation in der Disassemblyphase bei Kühlmitteldurchsatzstörfällen

Kernkonfiguration	BEC-A		
Zeitpunkt des Umschaltens zur Disassemblyphase	sec	7.717	
Normierte Leistung	-	167	
Nettoreaktivität	§	0.976	
Anteil des gevoideten Corebereiches:	Zone I	%	61
	Zone II	%	17
Anteil des geschmolzenen Coreinventars	%	32.8	
Reaktivitätsrampe (Netto-Doppler)	§/sec	7.3	

Tabelle 4.2.1-1 Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase für das BEC-A Core.  
(Die Leistung ist dabei auf den stationären Wert von 5000 MW normiert.)

Die Rechnung mit CAPRI-2 führt für das BEC-A Core zu einem knapp unterprompt kritischen Reaktivitätsniveau von 0.97 §. Der Dopplereffekt, sowie die axiale Coreexpansion (50% berücksichtigt) kompensieren weitgehend die durch das Natriumsieden generierten Voidrampen. Das Core ist zu 78% gevoidet, und ungefähr 33% des Coreinventars liegen in geschmolzener Form vor.

Bei den Disassemblyrechnungen wurde auch für die LOF Störfälle die ANL-Zustandsgleichung (ANL-EOS) verwendet, welche bei der Druckberechnung in den Maschenzellen nicht nur deren innere Energie, sondern auch die Dichte der Zellen berücksichtigt /15/. Diese Gleichung wurde aus logischen Gründen gewählt, da bei den LOF-Störfällen im Core noch ein hoher

Natriumanteil vorhanden ist und auch FCI Prozesse simuliert werden. Zudem zeigten Testrechnungen mit KADIS, daß es bereits nach kurzem Störfallverlauf zu unphysikalischen Maschennetzüberlappungen kommt und die Rechnungen daher abgebrochen werden müssen, wenn für die Druckberechnung nur die Dampfdruckgleichung von Menzies /17/ benutzt wird. Durch die Wahl der ANL-EOS für die Disassemblyrechnungen werden jedoch in der Predisassemblyphase und der Disassemblyphase inkonsistente spezifische Wärmen  $C_p$  benutzt. Der  $C_p$ -Wert für die Disassemblyrechnungen beträgt 0.427 J/gK und ist gegenüber dem  $C_p$ -Wert der Einleitungsphase (0.548 J/gK) um 22% kleiner. Dadurch werden in der Disassemblyphase der Temperaturanstieg und damit die Dopplerrückwirkung und der Dampfdruckaufbau etwas überschätzt.

In der Disassemblyphase wird nun in den Teilen des Cores, die den weiter unten angegebenen Kriterien entsprechen, eine Brennstoff/Natriumreaktion initialisiert. Die wesentlichen Parameter sind in Tabelle 4.2.1-2 angegeben.

Partikelradius	$\mu$	117
Mischungszeitkonstante	msec	30
Brennstoff/Natriummassenverhältnis	-	6.5
Initialisierungstemperatur für BNR: $T_i$	K	3034.4
Initialisierungstemperatur für Berücksichtigung des Na-Dampfdruckes: $T_d$	K	3600

Tabelle 4.2.1-2 Parameter für die BNR-Simulation in der Disassemblyphase bei Kühlmitteldurchsatzstörfällen

SNR-2000		LOF ANALYSE
BEC-A		REFERENZSTÖRFALL LO
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	7.3
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.976
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	167
Maximale normierte Leistung	-	169
Freigesetzte Energie	MWsec	4975
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	9619
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		1.92
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	23472
Masse des geschmolzenen Brennstoffs Gesamtcoreinventar	%	43
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3330
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3875
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	1.63
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	19.35
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.05
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.95
Maximale axiale Verschiebung	cm	6.26

Tabelle 4.2.1-3 Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Referenzstörfalles LO im BEC-A Core

LEISTUNG (  $10^4$  MW )

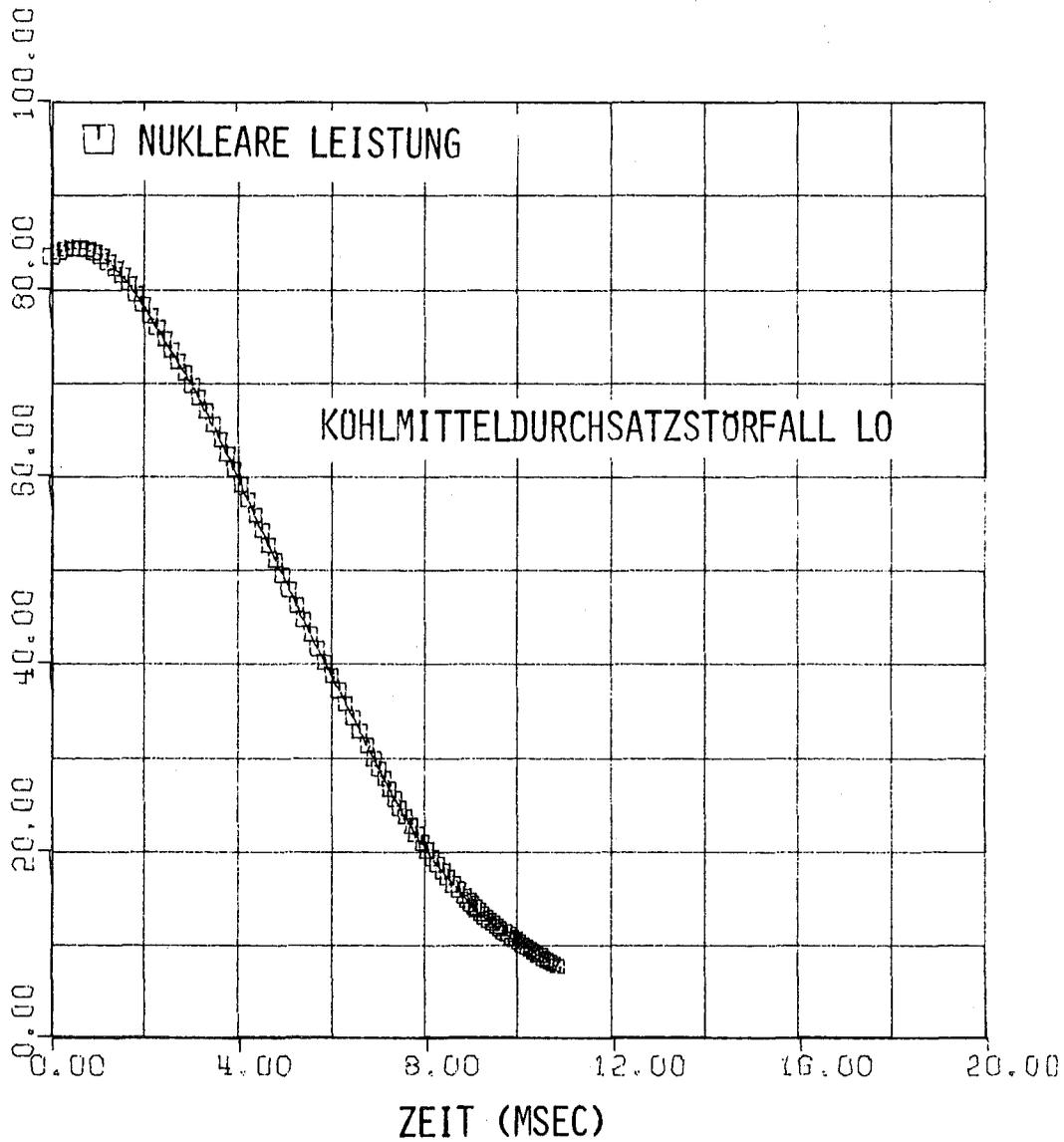


BILD 4.2.1-3 VERLAUF DER NUKLEAREN LEISTUNG FÜR DEN REFERENZ -  
KÜHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL LO

BEC-A CORE

ENERGIE ( 10 MWs )

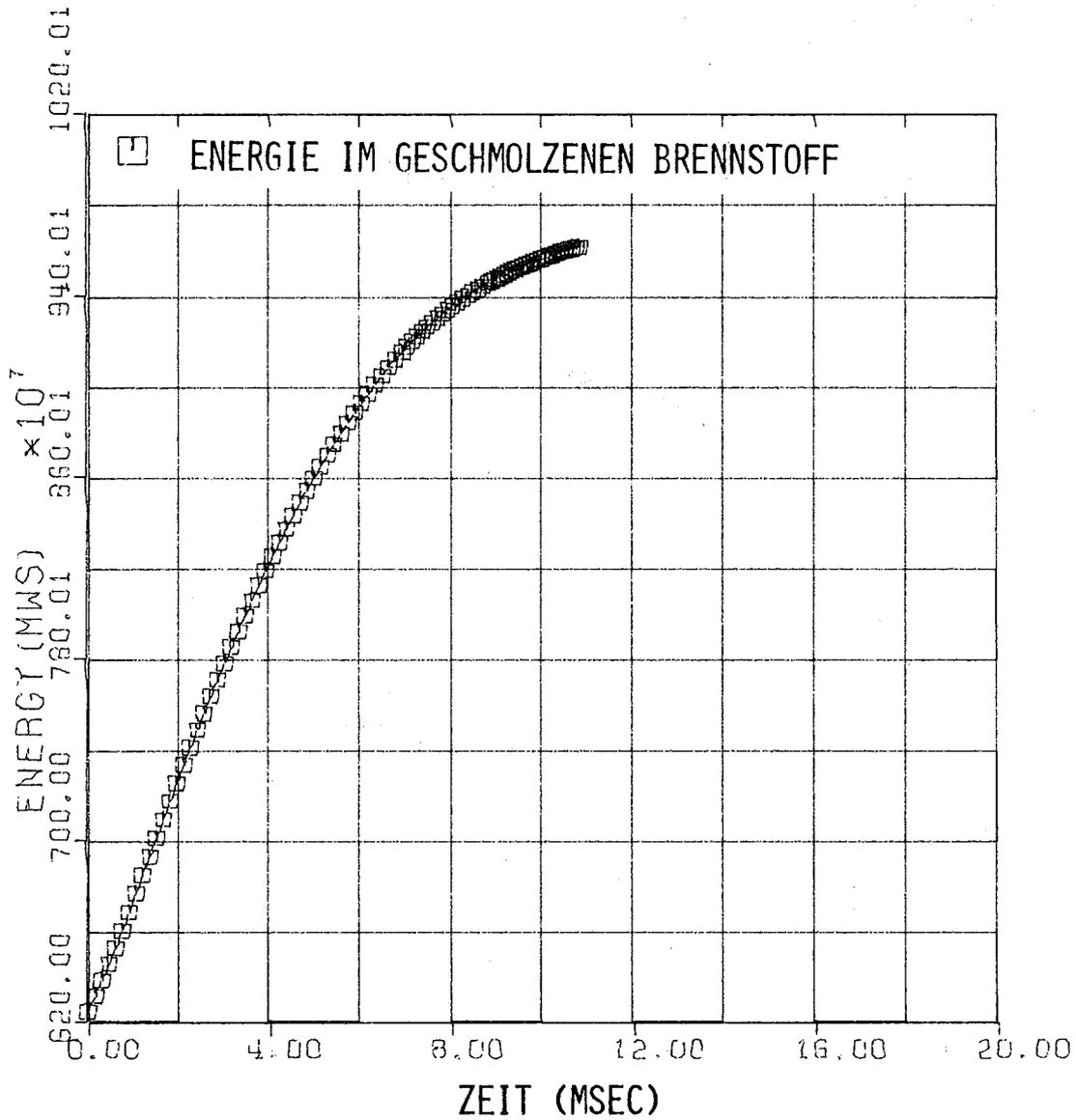


BILD 4.2.1-4 ZUNAHME DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION FÜR  
DEN KOHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL LO  
BEC-A CORE

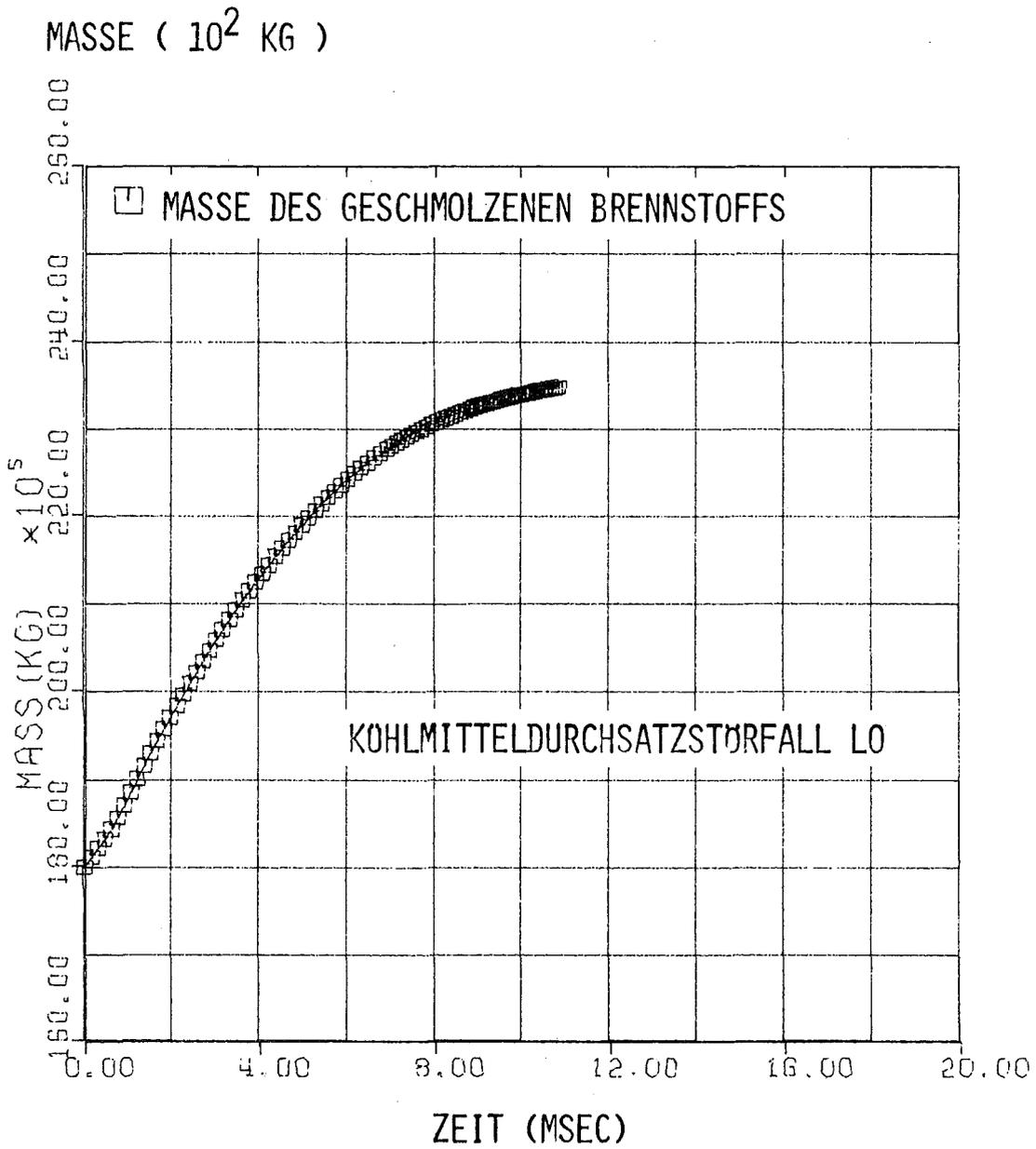


BILD 4.2.1-5 ZUNAHME DER MASSE DES GESCHMOLZENEN BRENNSTOFFS  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION FÜR  
DEN KÖHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL LO

BEC-A CORE

REAKTIVITÄT ( \$ )

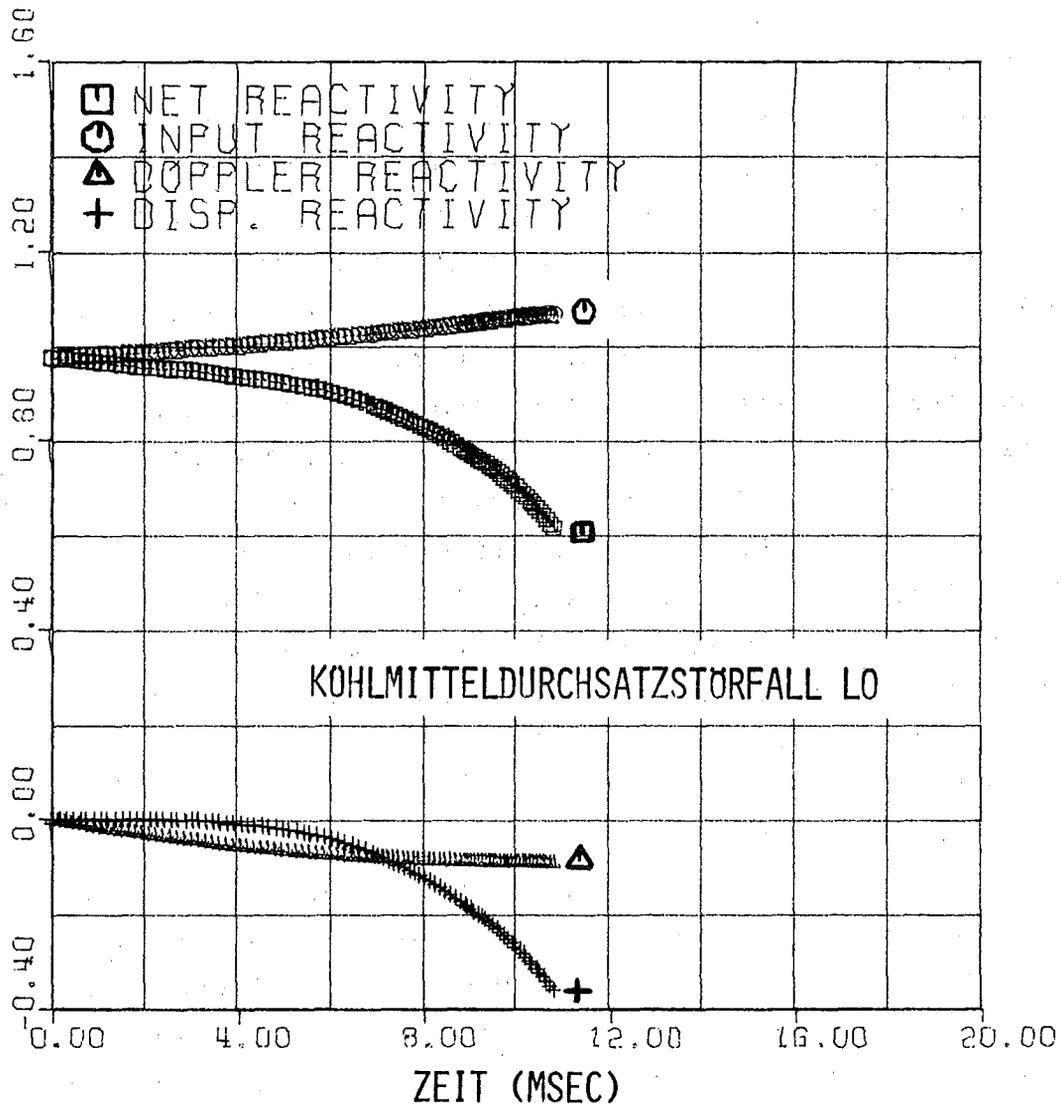


BILD 4.2.1-6 REAKTIVITÄTSVERLAUFE BEIM KOHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL LO IM BEC-A CORE ( NETTO -, TREIBER -, DOPPLER -, MATERIALBEWEGUNGS-REAKTIVITÄT )

#### 4.2.2 VARIATION DER ÜBERGABE-REAKTIVITÄTSRAMPE BEI BEGINN DER COREDISASSEMBLYPHASE (BEC-A CORE)

---

Da die komplizierten Materialbewegungsvorgänge bei einem "LOF driven TOP" von CAPRI-2 nicht genau nachvollzogen werden können und daher auch die Reaktivitätsrampen zum Zeitpunkt des Umschaltens zur Coredisasassembly mit großen Unsicherheiten behaftet sind, wurde durch eine parametrische Erhöhung der Umschaltrampen versucht, die energetischen Konsequenzen, die sich aus einer Überlagerung eines LOF und TOP Störfalls ergeben, möglichst genau abzuschätzen. Eine gewisse Hilfe bot hierbei die Analyse der Leistungsstörfälle mit dem HOPE-Code (Kap. 3) mit dem die Phänomene der Brennstoffbewegung und Brennstoff/Natriumreaktion modelliert werden können. Wie schon in Kapitel 4.1 ausführlich diskutiert, werden 3 Bereiche nach der Größe der Umschaltrampe unterschieden: Bereich A umfaßt Rampen bis 30 \$/sec, Bereich B bis 80 \$/sec und schließlich C bis 150 \$/sec. Für jeden Bereich wird eine typische Reaktivitätsrampe (Störfall L0, L1, L2, L3) herausgegriffen und die wesentlichen Ergebnisse in Tabelle 4.2.2-1 dargestellt. In den Abbildungen 4.2.2-1 → 4.2.2-3 wird der Leistungsverlauf, die Entwicklung der Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs bei den erhöhten Umschaltrampen mit den transienten Werten des Referenzstörfalls verglichen. Die Anfangsbedingungen für die Kernzerlegungsphase sind dabei dieselben wie für den Referenzfall (Tab. 4.2.1-1, Abb. 4.2.1-1 → 4.2.1-2). Die Abbildungen 4.2.2-2 und 4.2.2-3 zeigen, daß mit wachsender Rampensteilheit Energie und Masse des geschmolzenen Inventars immer schneller ihre endgültigen Werte erreichen. Die Abbildungen 4.2.2-4 und 4.2.2-5 stellen die geschmolzenen Coreanteile nach Beendigung der ersten Exkursion der Störfälle L0 und L1 dar. Für den Störfall L1 hat sich dabei der Brennstoffpool quer durch das Core bis zu den radialen Blankets ausgedehnt. Dies läßt neben einer axialen auch eine radiale Ejektion des Brennstoff/Stahlgemisches aus dem Corebereich erwarten. Beim BEC-A Core sind die geschmolzenen

Corebereiche insbesondere in den Kanälen 9 - 19 am weitesten axial ausgedehnt. Die Ursache liegt dabei wieder in der durch die eingefahrenen Regeltrimmstäbe deformierten radialen Leistungsverteilung. **Der eingezeichnete schraffierte Bereich umfaßt dabei Coregebiete, die gerade im Schmelzen begriffen sind oder schon total aufgeschmolzen sind ( $T \geq T_{\text{melt}}$ ).**

Der Leistungspeak während der Coredisasassembly wird mit Zunahme der Übergaberampe immer höher und schmaler. Der Dopplereffekt, die Drücke aus FCI-Prozessen und schließlich bei den hohen Rampen ein beachtlicher Brennstoffdampfdruckaufbau beenden immer schneller die Exkursion. Die Ergebnisse der Variation der Umschaltrampe zur Coredisasassemblyphase zeigen dabei ein charakteristisches Verhalten für ein teilweise gevoidetes Core.

Bei den Leistungsstörfällen konnte trotz der verschiedenen hohen Übergaberampen zur Coredisasassembly nur wenig Reaktivität während der Abschaltphase zugeführt werden (Abb. 3.4-1). Starker Einphasendruck treibt hier den Kern rasch auseinander.

Bei einem teilweise gevoideten Core werden Einphasenbedingungen in vielen Maschen erst spät oder gar nicht erreicht. Daher kann länger Reaktivität akkumuliert werden. Dies führt schließlich dazu, daß die Energie im geschmolzenen Brennstoff etwa linear von der Übergaberampe abhängt. Mit Erhöhung der Übergaberampe steigt auch der maximale Dampfdruck rasch an. Für die Berechnung der Gleichgewichtsdampfdrücke wurde wieder die Beziehung von Menzies /17/ benutzt. Dieser hohe Dampfdruckaufbau führt schließlich auch zu einem Ansteigen der bei einer Coredisasassembly produzierten mechanischen Energie (Kap. 4.5).

SNR-2000		LOF-ANALYSE			
BEC-A		STÖRFALL:			
		L0	L1	L2	L3
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	7.3	50	100	150
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.976	0.976	0.976	0.976
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	167	167	167	167
Maximale normierte Leistung	-	169	893	2876	5223
Freigesetzte Energie	MWsec	4975	18631	32814	43487
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	9619	20370	33090	43490
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		1.92	4.07	6.26	8.70
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	23472	35310	42592	47025
Masse des geschmolzenen Brennstoffs Gesamtcoreinventar	%	43	64	77	85
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3330	3712	4170	4489
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3875	4804	5736	6379
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	1.63	29.54	183.78	446.87
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	19.35	21.46	31.74	47.32
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.05	26.44	45.95	63.74
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.95	7.08	4.80	5.82
Maximale axiale Verschiebung	cm	6.26	7.34	7.48	7.72

Tabelle 4.2.2-1 Wichtige Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle bei Variation der Umschaltrampe zur Disassemblyphase im BEC-A Core

LEISTUNG (  $10^5$  MW )

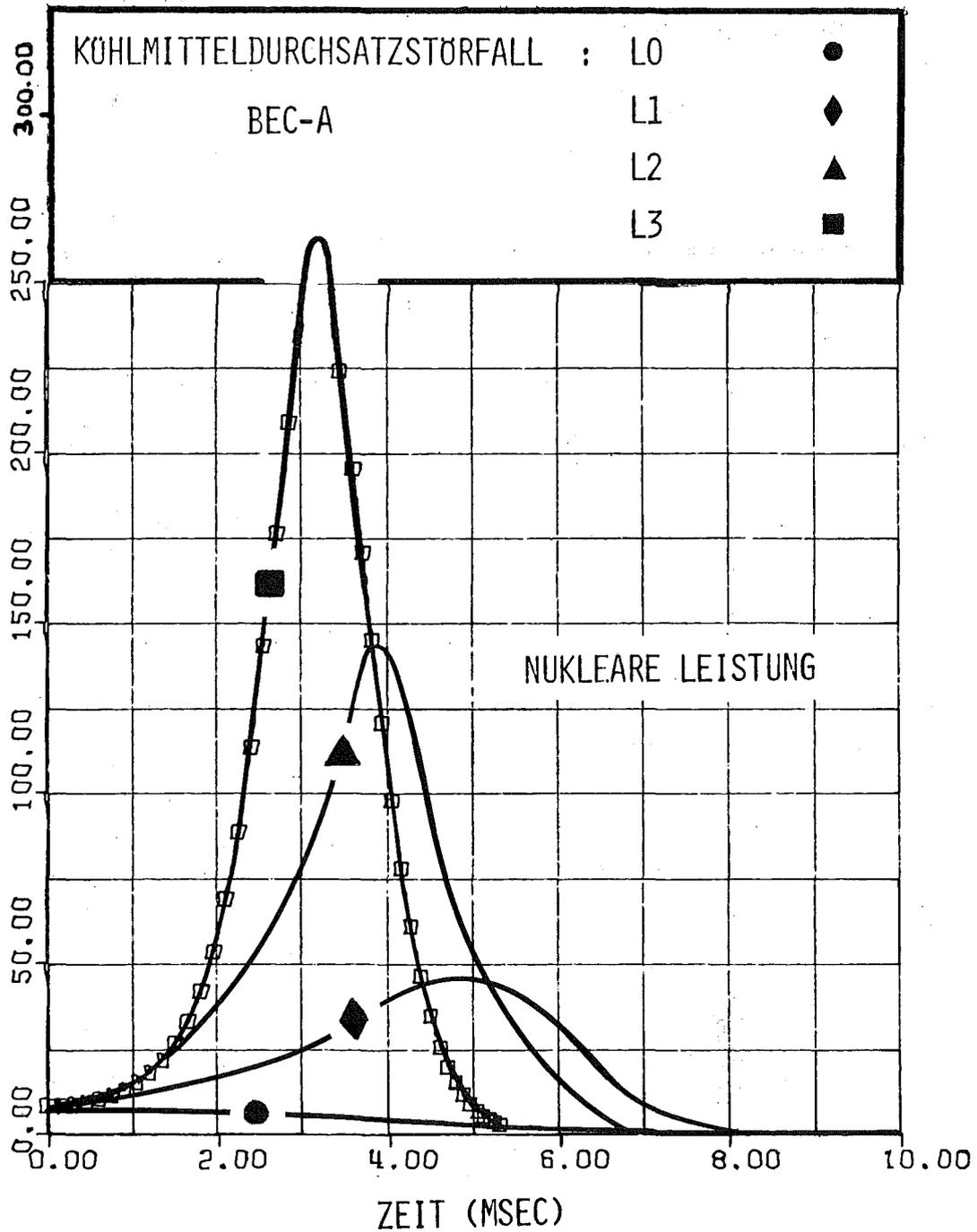


BILD 4.2.2-1 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DER STÖRFÄLLE L0 , L1 , L2 UND L3 WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE

BEC-A CORE

ENERGIE (  $10^2$  MWs )

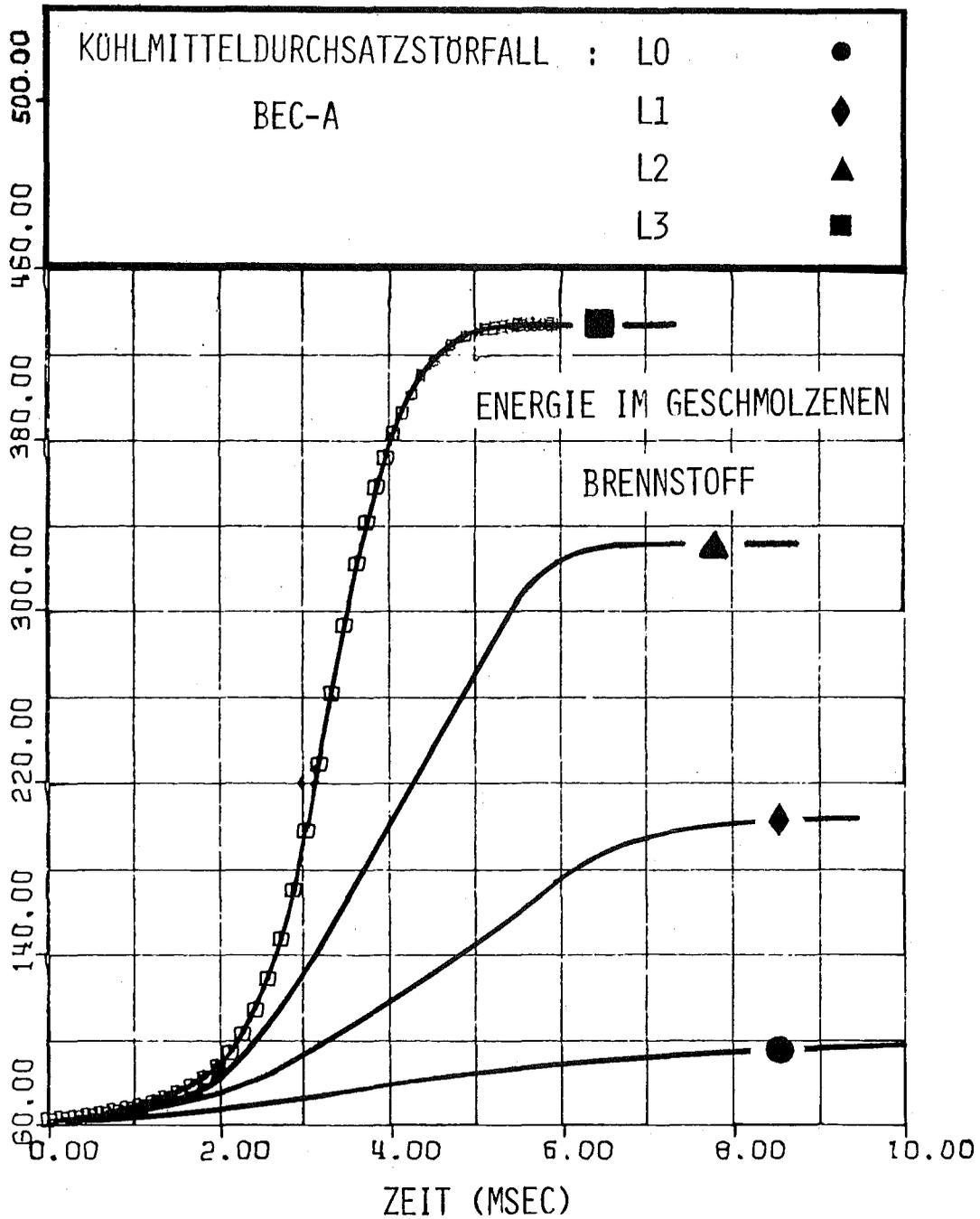


BILD 4.2.2-2 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
FÜR DIE STÖRFÄLLE L0 , L1 , L2 UND L3  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION  
BEC-A CORE

MASSE (  $10^2$  KG )

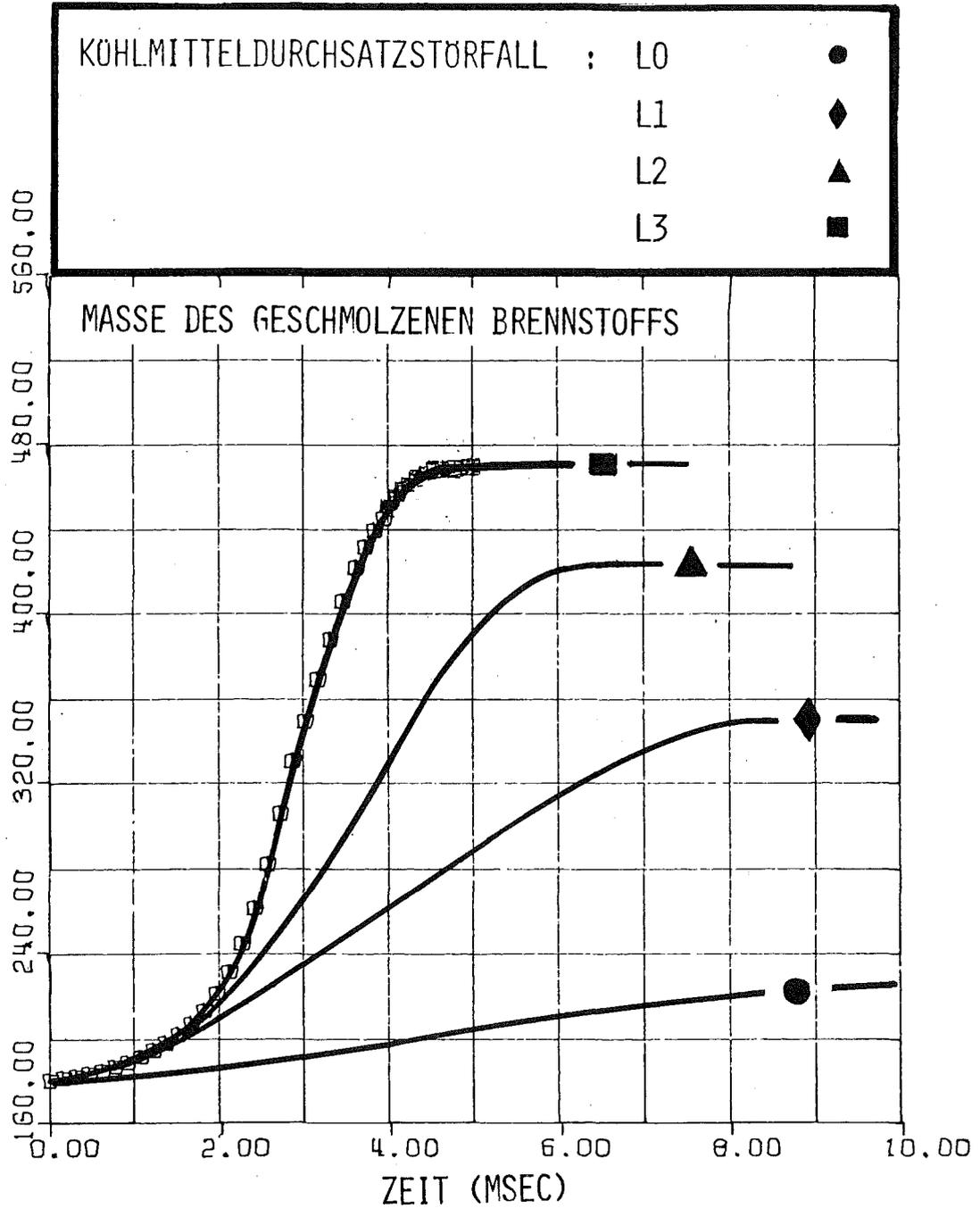


BILD 4.2.2-3 VERLAUF DER MASSE DES GESCHMOLZENEN BRENNSTOFFS FÜR DIE STÖRFÄLLE L0 , L1 , L2 UND L3 BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION

BEC-A CORE

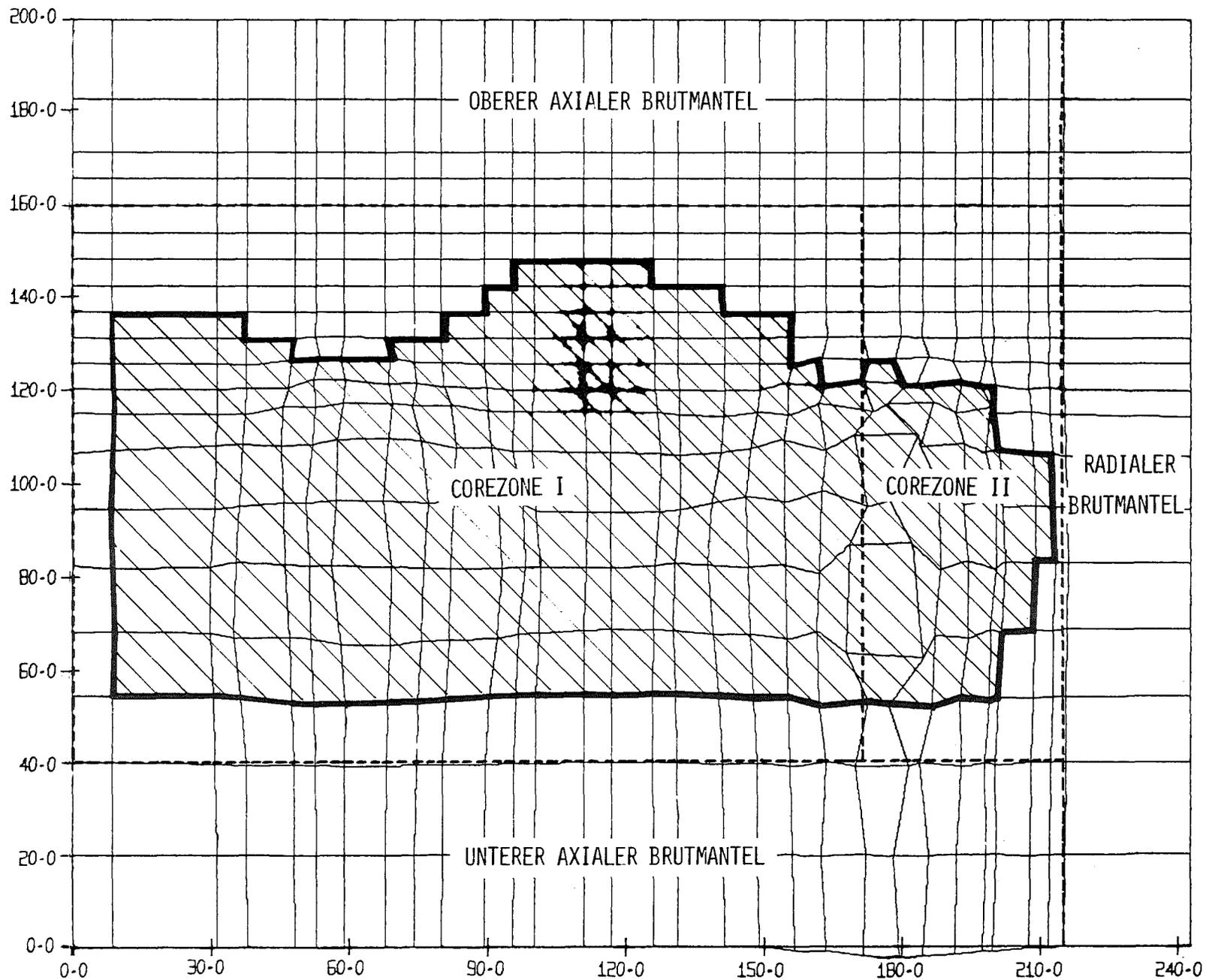


BILD 4.2,2-4 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENEN CORE -  
 BEREICHEN  ( $T > T_{MELT}$ ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
 FÜR DEN STÖRFALL LO

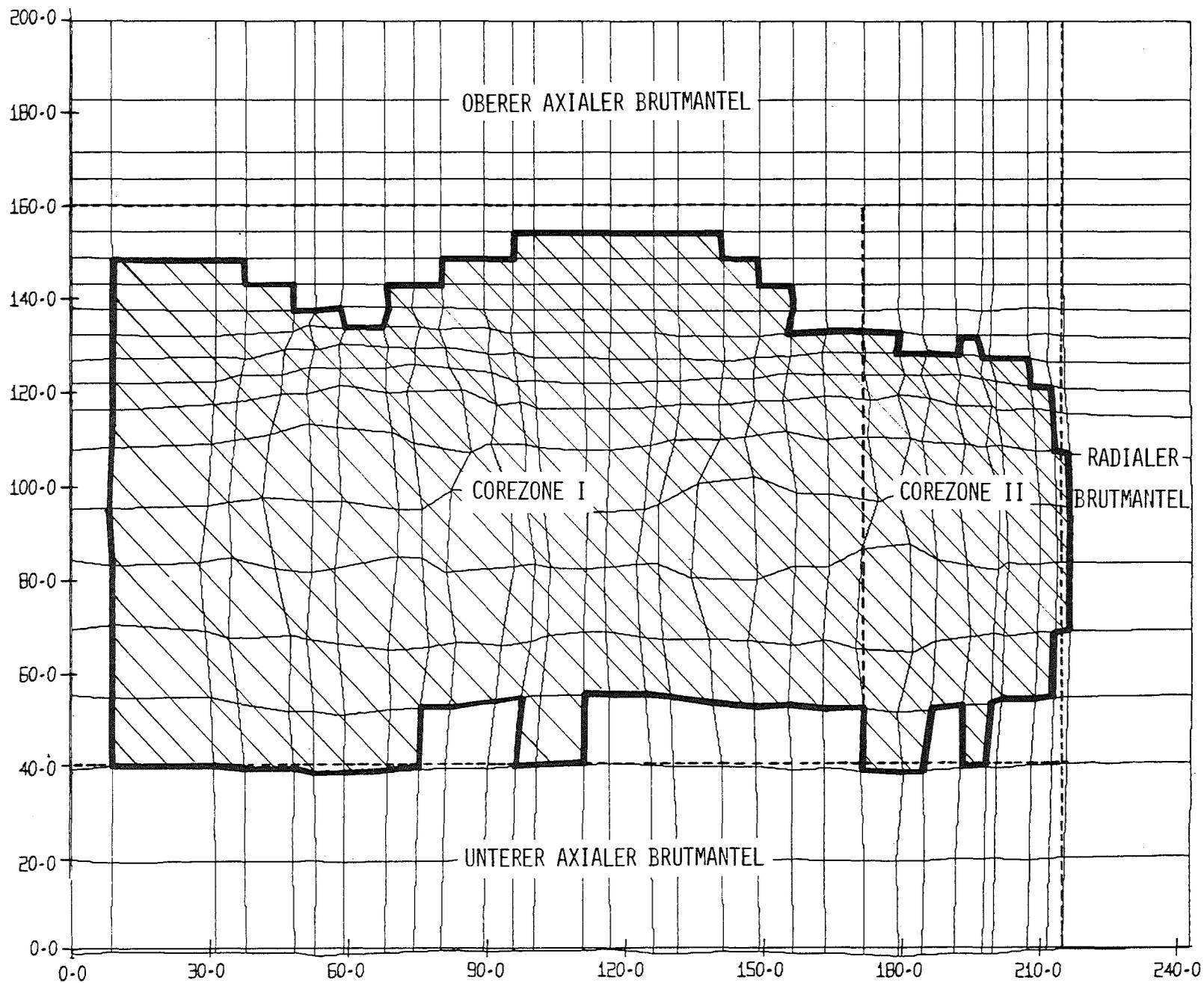


BILD 4.2.2-5 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENEN CORE -  
BEREICHEN  ( $T > T_{MELT}$ ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
FÜR DEN STÖRFALL L1

#### 4.2.3 ERHÖHUNG DER REAKTIVITÄTSRAMPE WÄHREND DES DISASSEMBLY-VORGANGES (BEC-A CORE)

---

Die Untersuchungen der thermodynamischen Verhältnisse (Temperaturprofil des Clads, Brennstoffschmelzfraktionen etc.) der Pins niedriger Leistung am äußersten Rand des Cores indiziert ein Versagen dieser Brennstäbe erst nach der Initiierung des Disassemblyvorganges. Ein Versagen dieser Brennstäbe könnte zusätzlich noch zu einem späteren Zeitpunkt während der Coredisassembly zu zusätzlichen Reaktivitätseffekten, resultierend aus BNR-Prozessen und damit zusammenhängender Brennstoffbewegung, führen. Allerdings befinden sich diese Brennstäbe zum Teil schon in Bereichen, die keinen durchgehenden lokalen positiven Void mehr besitzen, Kühlmittelsieden durch Brennstoff/Natriumreaktion wird also nur mehr geringe positive Reaktivitätsbeiträge liefern. Ein möglicher Mechanismus, der noch zum Aufbau von positiven Rampen führen kann, ist Brennstoffbewegung in den Pins in Richtung des höheren Materialwertes.

Um die Auswirkungen einer kräftigen Reaktivitätszufuhr während des Disassemblyvorganges zu studieren wurde so vorgegangen, daß den von CAPRI-2 vorausgerechneten Reaktivitätsänderungen eine zusätzliche kräftige Reaktivitätsrampe von 50 - 70  $\$/\text{sec}$  zum Zeitpunkt des erwarteten Pinversagens aufgeprägt wurde (getriggerte Reaktivitätsrampe - Störfall L4). Die Brennstoff/Natriumreaktionsprozesse werden von Beginn der Coredisassembly an mitberücksichtigt und simulieren die durch das Versagen der Pins hoher Leistung induzierten frühen Brennstoff/Natriumreaktionen. Der Reaktivitätsverlauf bei Überlagerung einer zusätzlichen Reaktivitätsrampe kann aus den Abbildungen 4.2.3-1 und 4.2.3-2 ersehen werden und führt zum Leistungsverlauf der Abbildung 4.2.3-3. Aus einem Vergleich mit den Ergebnissen des Referenzstörfalls LO bezüglich der Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs, sowie der mittleren Temperatur im geschmolzenen Brennstoff erkennt man, daß diese zusätzliche Reaktivitätsrampe die Energiefreisetzung nur mehr unwesentlich beeinflusst

(Tab. 4.3.2-1). So differiert die Energie im geschmolzenen Brennstoff nur um  $\sim 8\%$  und die Masse des geschmolzenen Brennstoffs um  $\sim 6\%$ .

Daß trotz der starken 50 - 70  $\beta$ /sec Rampen die Ergebnisse nur geringfügig voneinander abweichen resultiert aus der Tatsache, daß durch die 1. Exkursion die Corematerialmischung bestehend aus Brennstoff, Stahl und Natrium bereits beschleunigt wurde, und daß der durch zusätzliche Reaktivitätszufuhr resultierende stärkere Druckaufbau das Corematerial nur noch weiter beschleunigt und die negativen Materialrückwirkungen der Regionen 16 und 17 in der 2. Corezone verstärkt (siehe Tabelle 4.3.2-1 maximale radiale und axiale Geschwindigkeiten).

Diese Rechnungen mit einer sogenannten "getriggerten" Rampe geben einen Hinweis auf das Verhalten eines rasch expandierenden Brennstoffpools, in den vorhin ezezierter Brennstoff zurückfällt, oder in den obere Brennstabteile hineinfallen. Dadurch, daß durch den "1. burst" die Trägheit der beteiligten Massen überwunden und das Kernmaterial bereits beschleunigt wurde, führt eine zusätzliche Reaktivitätszufuhr im wesentlichen nur zu einer weiteren Beschleunigung des Corematerials aber zu keiner drastischen Erhöhung seines Energieinhaltes. Es muß beachtet werden, daß mit KADIS keine Relativbewegung zwischen leichten und schweren Materialien bzw. Phasen simuliert werden kann. Jedoch dürfte dies qualitativ die Ergebnisse nicht ändern, da der Disassemblyprozess relativ rasch beendet ist und bis zur Beendigung der ersten Exkursion nur wenig Zeit für die unterschiedliche Beschleunigung der verschiedenen Materialien bleibt.



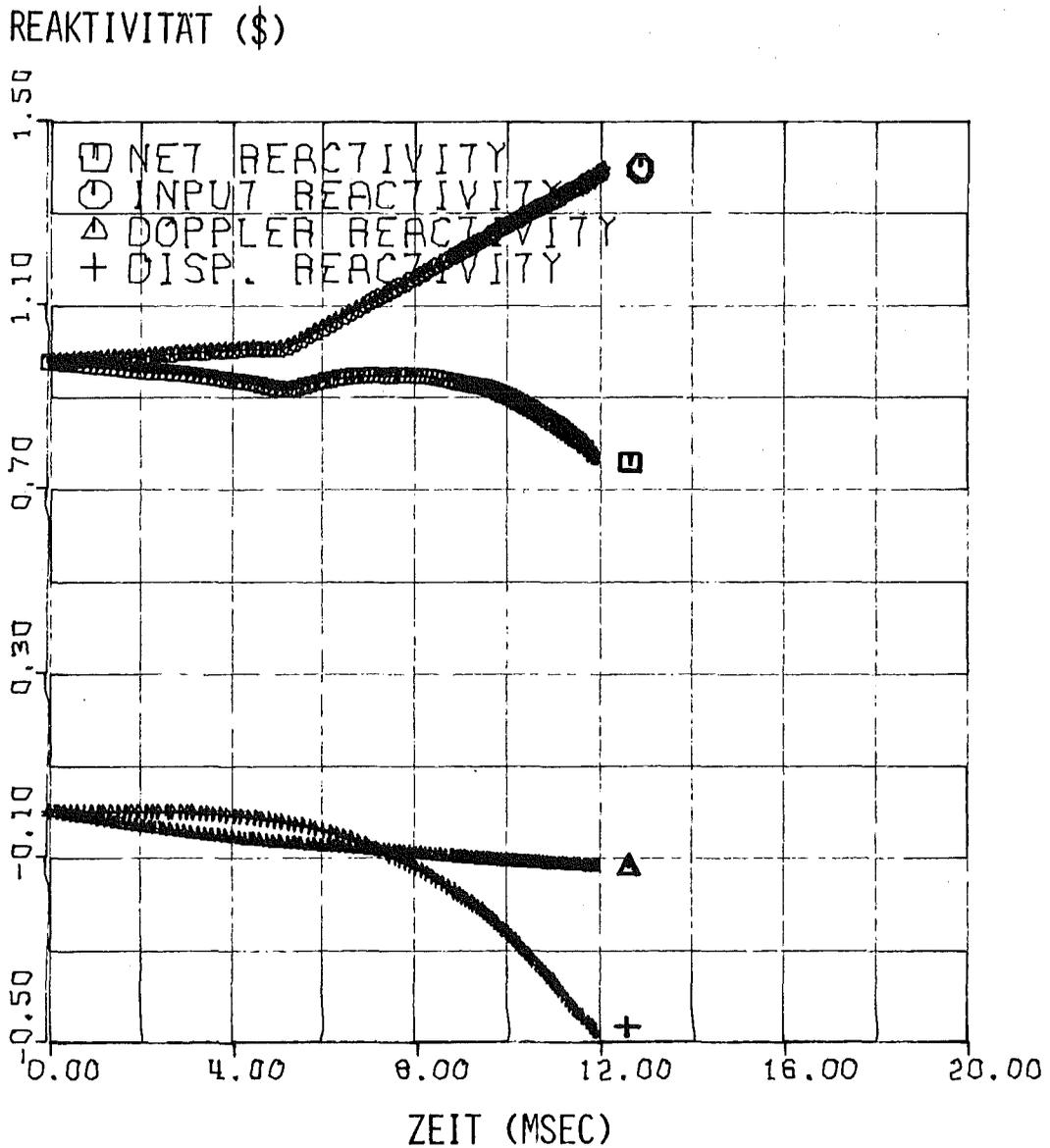


BILD 4.2.3-1 REAKTIVITÄTSVERLAUF BEI VERÄNDERUNG DER RAMPENSTEILHEIT WÄHREND DER DISASSEMBLY-PHASE ( STÖRFALL L4 )  
( NETTO-, TREIBER-, DOPPLER-, MATERIAL-BEWEGUNGSREAKTIVITÄT )

BEC-A CORE

REAKTIVITÄT (\$)

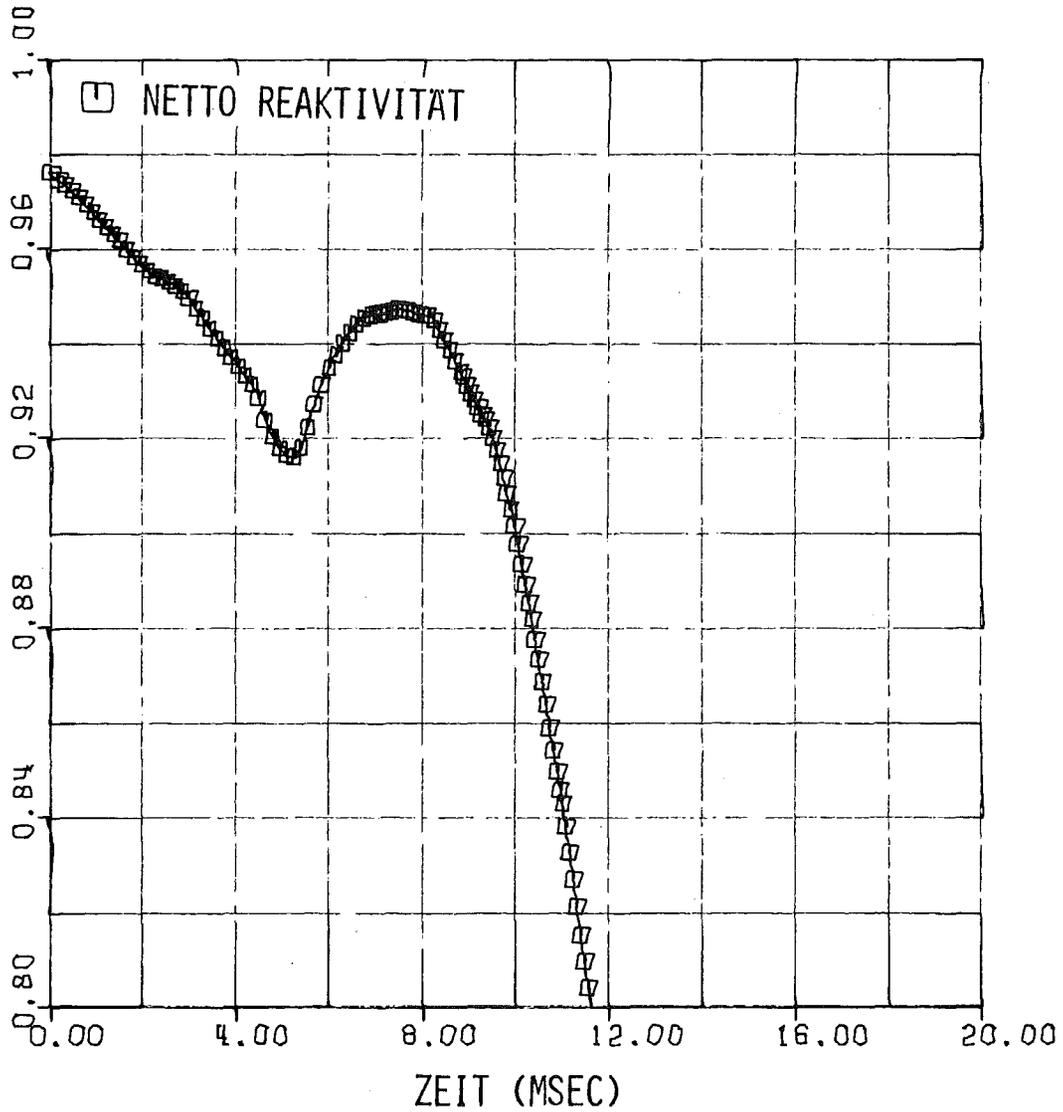


BILD 4.2.3-2 VERLAUF DER NETTOREAKTIVITÄT BEI VERÄNDERUNG DER RAMPENSTELTHEIT WÄHREND DER DISASSEMBLY-PHASE ( STÖRFALL L4 )

BEC-A CORE

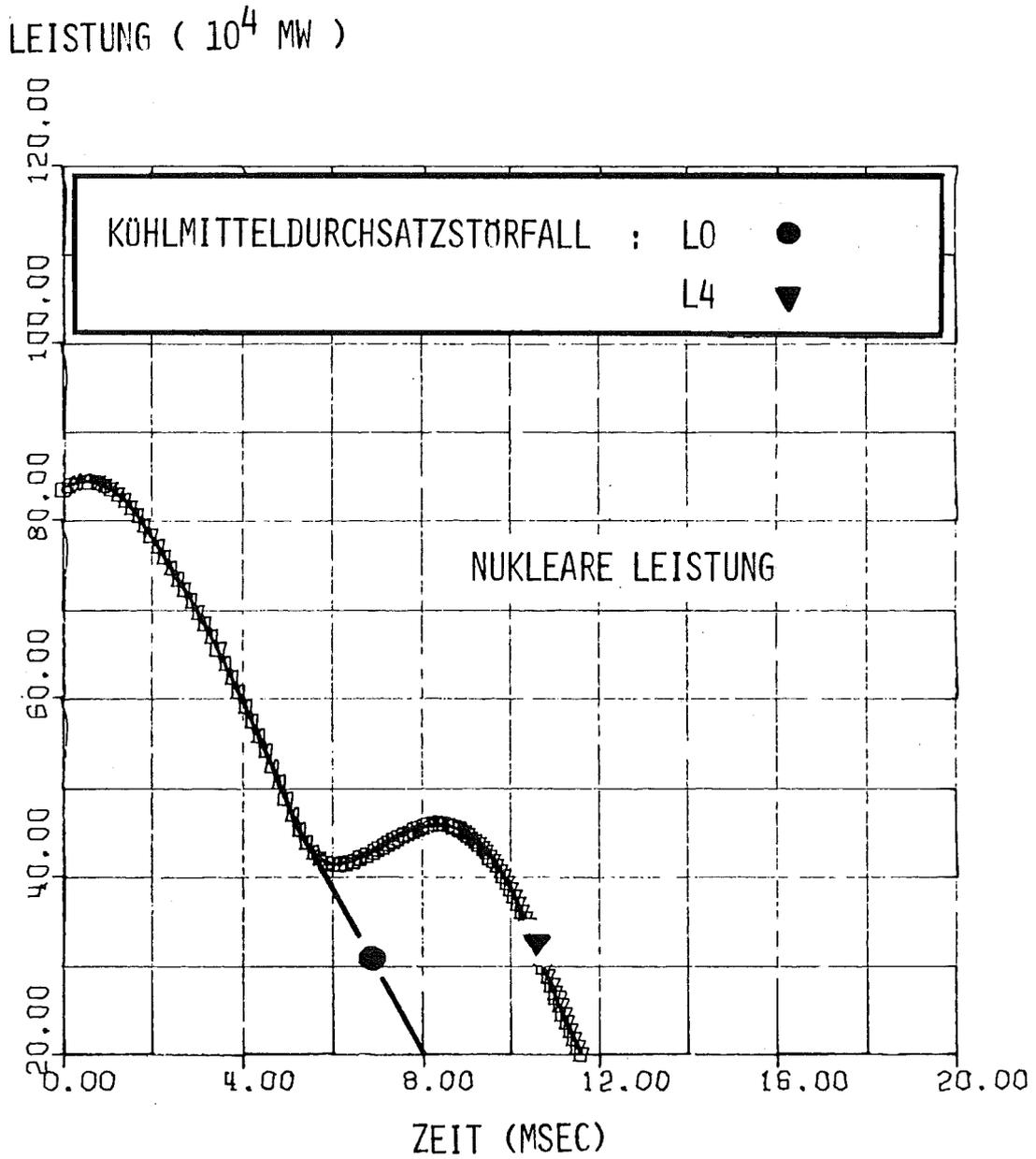


BILD 4.2.3-3 VERGLEICH DES LEISTUNGSVERLAUFS DER BEIDEN  
STÖRFÄLLE L0 UND L4  
BEC-A CORE

ENERGIE (  $10^2$  MWs )

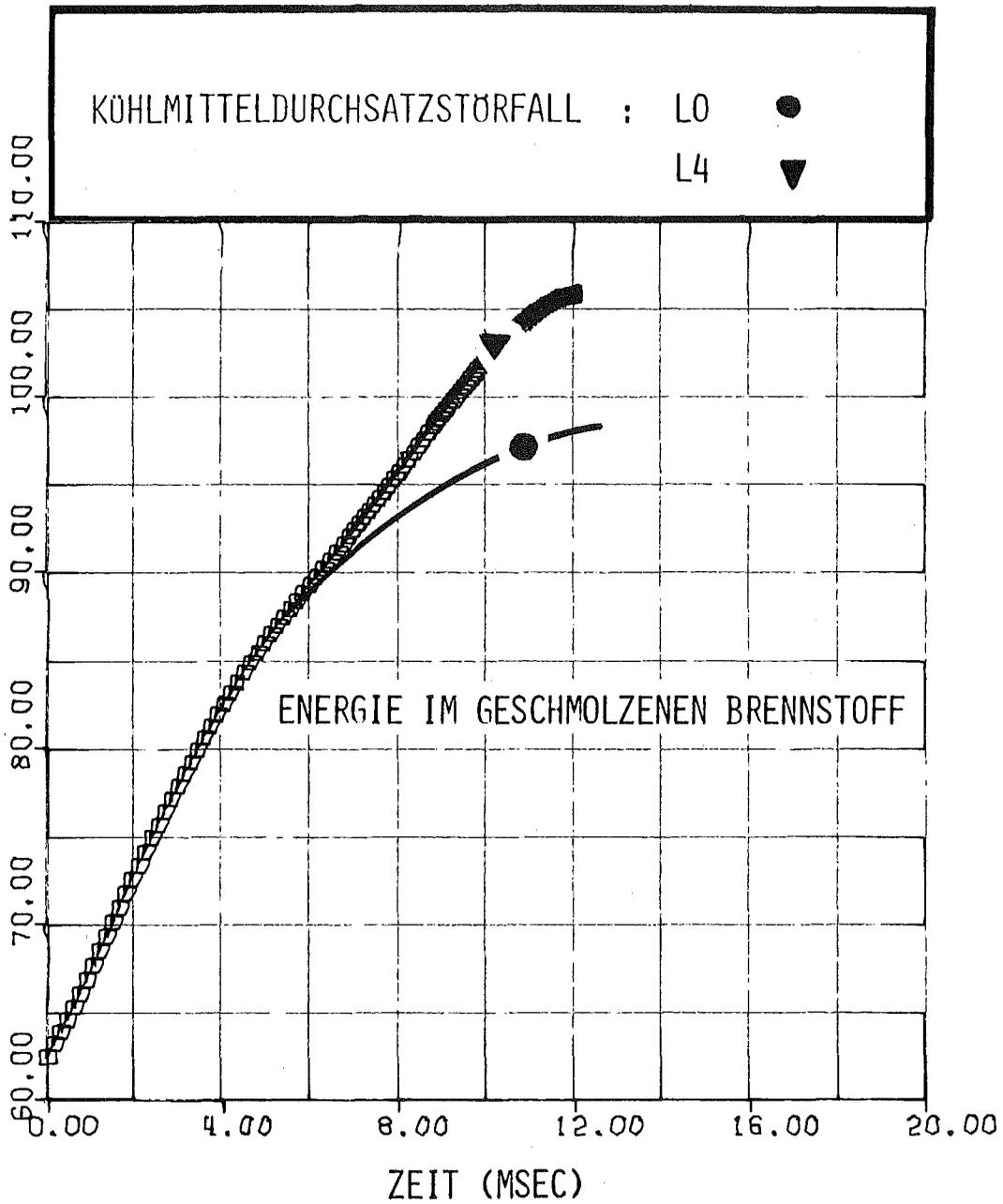


BILD 4.2.3-4 VERGLEICH DES VERLAUFES DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION FÜR DIE STÖRFÄLLE LO UND L4

BEC-A CORE

#### 4.3.1 SIMULATION DER DISASSEMBLYPHASE DES REFERENZSTÖR- FALLES KO (EEC-B CORE)

---

In ähnlicher Weise, wie für den Corezustand BEC-A wurde auch für das EEC-B Core verfahren. So wurde auch hier ein Referenzstörfall KO definiert, eine Variation der Umschaltrampe zur Coredisassembly durchgeführt und eine "getriggerte" Rampe während des Disassemblyvorganges initiiert.

Die radiale Leistungsverteilung besitzt im EEC-B Core eine stärkere Inkohärenz als im BEC-A Core. Die Void- und Schmelzfraktionsverteilung am Umschaltpunkt sind in den Abbildungen 4.3.1-1 und 4.3.1-2 dargestellt. Beim EEC-B Core sind die Regelstäbe total ausgefahren und die Leistungsverzerrung wie sie im BEC-A Core vorliegt, dadurch aufgehoben. Das Leistungsmaximum in axialer Richtung rückt dadurch nach oben in die Coremitte. Durch die inkohärentere Leistungsverteilung ist der Leistungsanstieg zu Beginn des Störfalles etwas schwächer als beim BEC-A Core. Die positive integrale Voidreaktivität ist im EEC-B Core jedoch um 17% höher als beim BEC-A Core, bei gleichzeitig kleinerer Dopplerrückwirkung. Dies resultiert schließlich in einer beträchtlich höheren Umschaltleistung am Umschaltpunkt mit dem 253-fachen Wert der Nominalleistung (5000 MW) und einer etwas höheren Nettoaktivität. Verglichen mit dem Voidzustand des BEC-A Cores werden die höheren Leistungswerte bei geringeren Voidanteilen erreicht, und zwar siedet etwa 14% von Corezone 1 und 1% von Corezone 2 weniger auf. Einige charakteristische Daten zum Übergabezeitpunkt zur Coredisassembly sind in Tabelle 4.3.1-1 zusammengestellt.

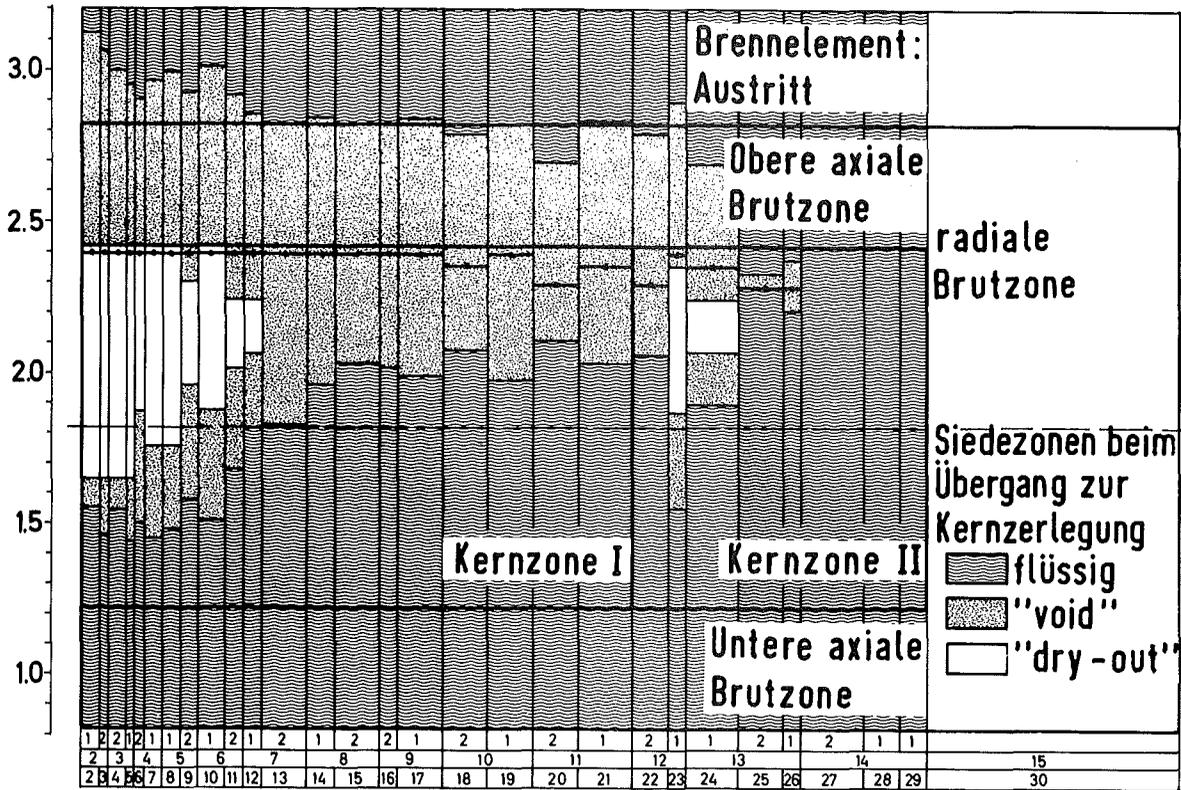


BILD 4.3.1-1 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen in Folge von Kühlmittelsieden am Umschaltzeitpunkt zur Kernzerlegungsphase (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)

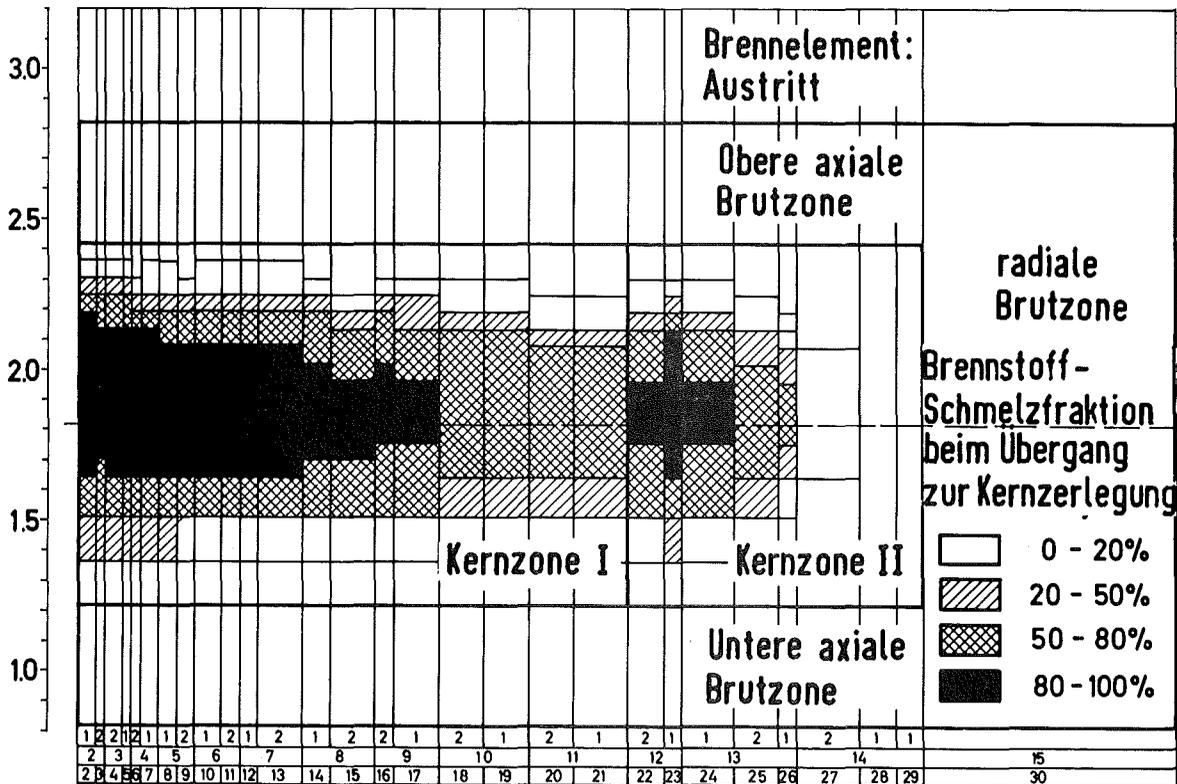


BILD 4.3.1-2 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraction am Umschaltzeitpunkt zur Kernzerlegungsphase als Folge eines Durchsatzstörfalls (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)

Kernkonfiguration	EEC-B	
Zeitpunkt des Umschaltens zur Disassemblyphase	sec	7.486
Normierte Leistung	-	253
Nettoreaktivität	§	0.980
Anteil des gevoideten Corebereiches:	Zone I	%
	Zone II	%
Anteil des geschmolzenen Coreinventars	%	33.2
Reaktivitätsrampe (Netto-Doppler)	§/sec	16.6

Tabelle 4.3.1-1 Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase für das EEC-B Core

Durch den höheren Natriumanteil im Core und das beträchtlich höhere Leistungsniveau in der Nähe des Umschaltpunktes zur Coredisassembly, verschärft sich die Situation der LOF driven TOP's für das EEC-B Core noch beträchtlich gegenüber dem BEC-A Core. Hinzu kommt noch der höhere Abbrandzustand des Cores mit Brennstäben von 1 und 2 Jahren Standzeit. Das höhere Spaltgasinventar bringt damit die Brennstäbe schon bei relativ niedrigen Schmelzanteilen zum Versagen. Slumpingvorgänge spielen auch während dieses Störfallverlaufes eine untergeordnete Rolle.

Die Disassemblyphase für das EEC-B Core wird ähnlich simuliert wie für das BEC-A Core. Für den Referenzstörfall KO gelten dieselben Argumente, auf deren Basis auch der Referenzfall für das BEC-A Core definiert wurde (Kap. 4.2.1). Für die Simulation der BNR in der Abschaltphase werden wieder dieselben Parameter wie für den Basisfall des BEC-A Cores

verwendet (Tab. 4.2.1-2). Das drastisch andere Voidmuster des EEC-B Cores, verglichen mit dem BEC-A Core, führt zu einem etwas anderen Störfallverlauf in der Disassemblyphase. Ab dem 11. Kühlkanal - also ab Zone 7 befindet sich in der gesamten 1. Corezone bis über die Coremittelebene hinaus noch nichtsiedendes Kühlmittel. Da in diesen Bereichen die Brennstofftemperaturen großteils schon die Schmelztemperatur überschritten haben, kann kohärent über diesen Bereich eine Brennstoff/Natriumreaktion initialisiert werden. Die daraus resultierenden Einphasendrucke können vor allem durch Materialbewegung in axiale Richtung entlastet werden, da über den Gebieten mit laufender Brennstoff/Natriumreaktion Bereiche niedriger Dichte durch die hohen Voidanteile in diesen KADIS-Maschen liegen (siehe Abb. 4.3.1-1 und 4.3.1-2). Die axiale Materialbewegung und die daraus resultierenden Reaktivitätseffekte dominieren gegenüber der Reaktivitätsrückwirkung, die durch die radiale Materialbewegung bedingt wird. Dabei liefern die Zonen 9, 11 und 13 die Hauptbeiträge zur axialen Abschaltwirkung durch Materialbewegung. Im EEC-B Core ist im Gegensatz zum BEC-A Core auch die gesamte Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung in der 1. Corezone negativ. Die 2. Corezone trägt zur Abschaltwirkung mit 60% wieder am meisten bei. Die Materialbewegung wird dabei wieder durch die Drücke, die durch die BNR-Prozesse ausgelöst werden, bewirkt. Der Brennstoffdampfdruck liegt mit 2 bar wieder bei relativ niedrigen Werten. Trotz der etwas stärkeren Abschaltwirkung durch die Materialbewegung im EEC-B Core dominiert weiterhin der Dopplereffekt und bewirkt im wesentlichen die Beendigung der Leistungsexkursion. Dabei ist insbesondere interessant, daß, obwohl die Dopplerkonstanten für das BEC-A Core größer sind, der Dopplereffekt an sich im EEC-B Core während der Disassemblyphase größer ist. Dies hängt damit zusammen, daß im EEC-B Core noch weit- aus größere Kühlmittelanteile vorhanden sind und die Dopplerkonstanten des nassen Cores um  $\sim 40\%$  größer als die des trockenen Cores sind.

SNR-2000		LOF ANALYSE
EEC-B		REFERENZSTÖRFALL KO
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	16.6
Reaktivität am Umschaltpunkt	§	0.980
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	253
Maximale normierte Leistung	-	253
Freigesetzte Energie	MWsec	6571
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	10376
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		2.08
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	25895
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	§	47
Gesamtcoreinventar		
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3309
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3960
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	2.26
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	16.44
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.05
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.85
Maximale axiale Verschiebung	cm	5.42

Tabelle 4.3.1-2 Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Referenzstörfalles KO im EEC-B Core

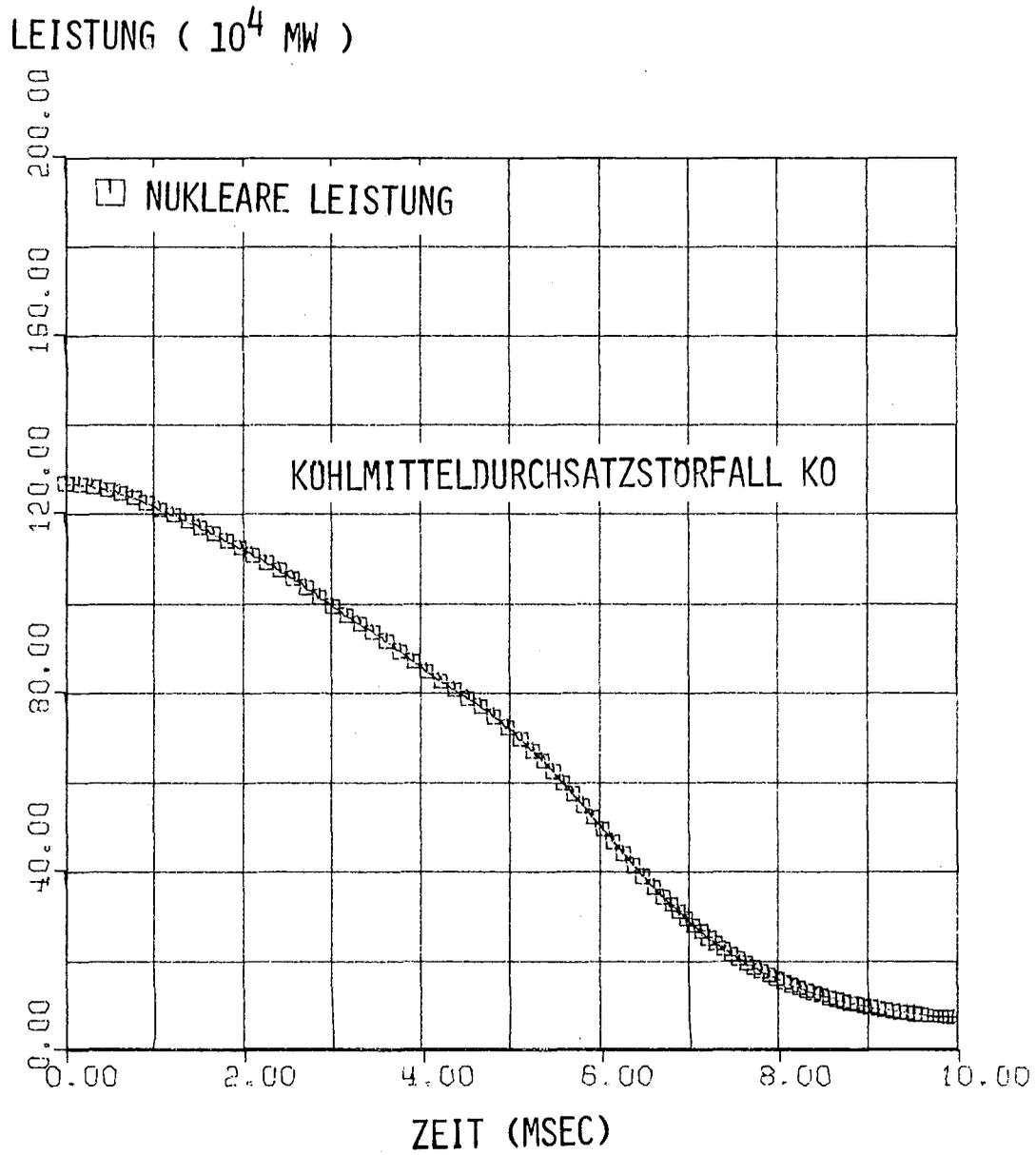


BILD 4.3.1-3 VERLAUF DER NUKLEAREN LEISTUNG FÜR DEN REFERENZ -  
KÖHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL KO  
EEC-B CORE

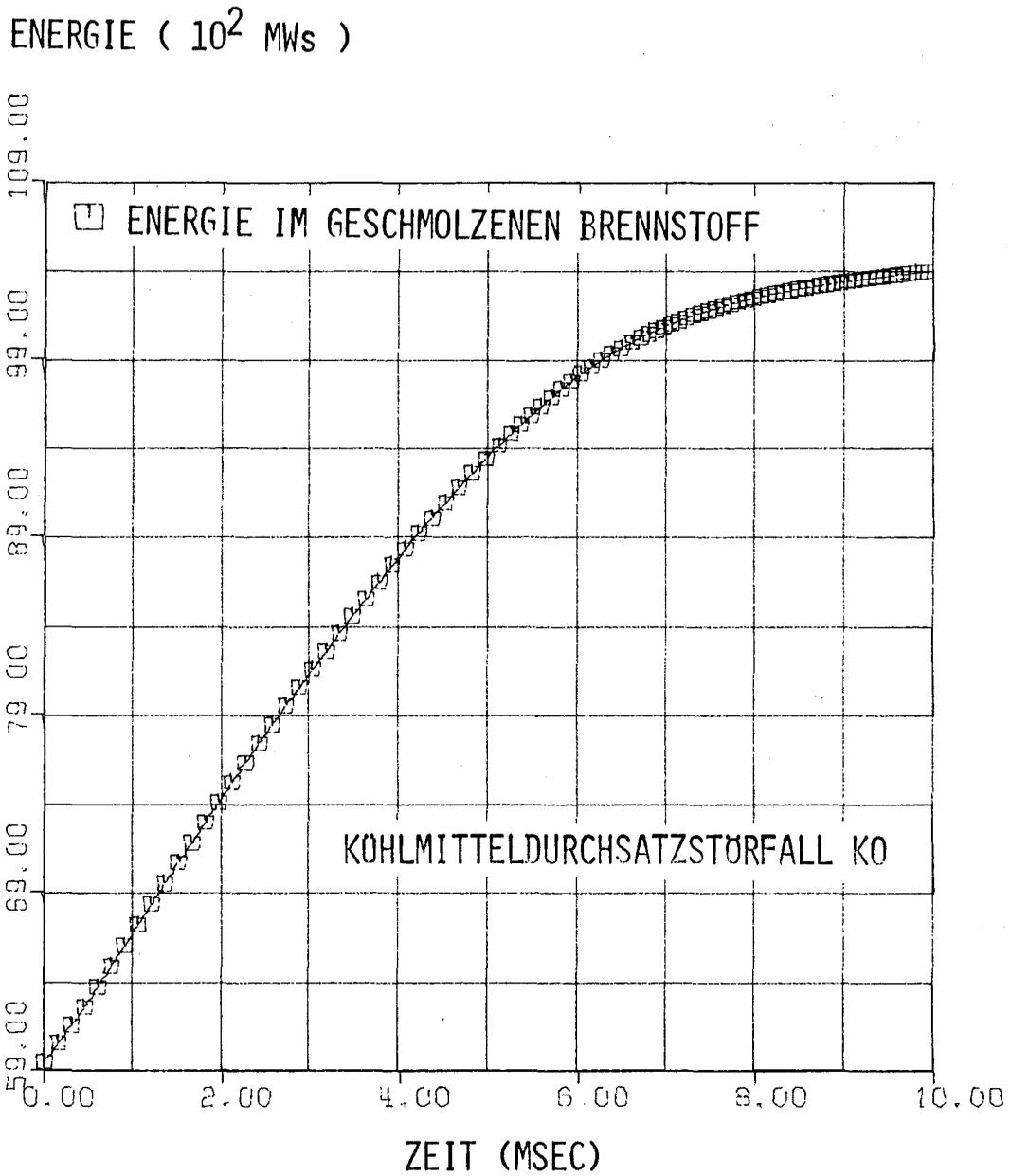


BILD 4.3.1-4 ZUNAHME DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION FÜR  
DEN KÖHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL KO

EEC-B CORE

MASSE (  $10^2$  KG )

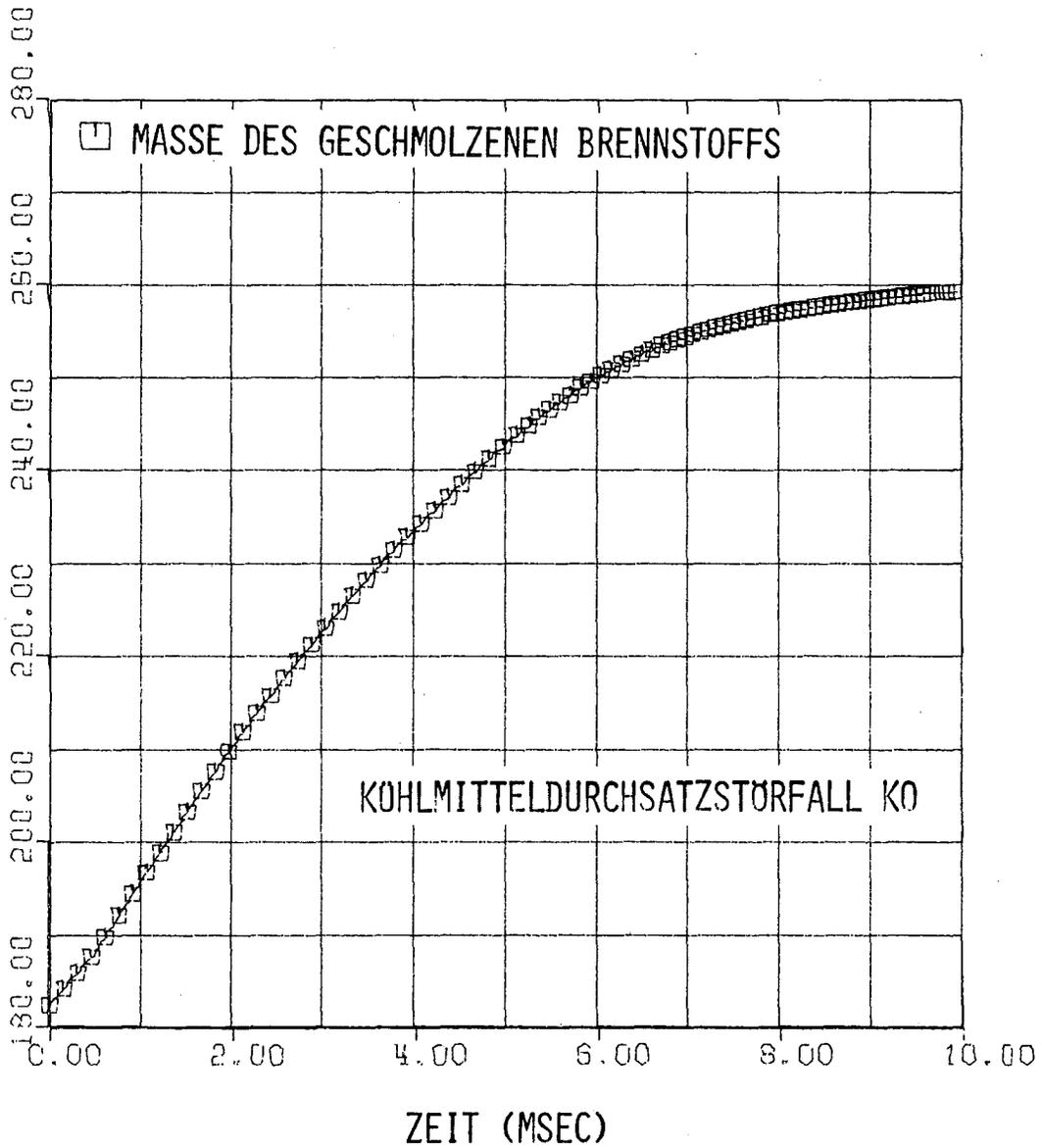


BILD 4.3.1-5 ZUNAHME DER MASSE DES GESCHMOLZENEN BRENNSTOFFS  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION FÜR  
DEN KÖHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL KO

EEC-B CORE

REAKTIVITÄT ( \$ )

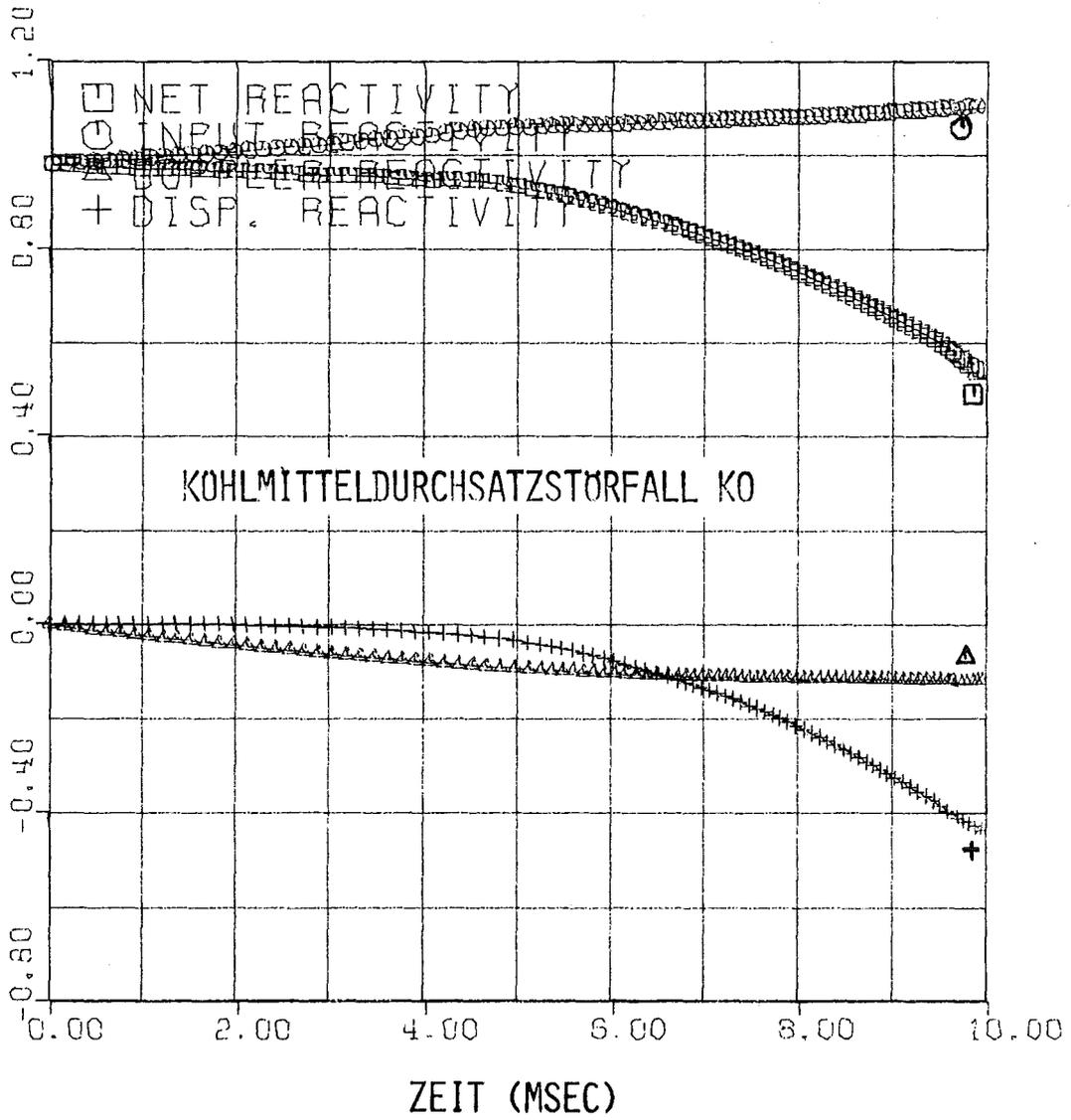


BILD 4.3.1-6 REAKTIVITÄTSVERLÄUFE BEIM KOHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL KO IM EEC-B CORE ( NETTO -, TREIBER -, DOPPLER -, MATERIALBEWEGUNGS-REAKTIVITÄT )

Der allgemeine Verlauf des Referenzstörfalls KO kann aus den Abbildungen 4.3.1-3 → 4.3.1-6 ersehen werden.

Das höhere Reaktivitätsniveau, die höhere Umschaltrampe und Umschaltleistung, die eine etwas stärker energetische Leistungsexkursion als im BEC-A Core erwarten lassen, werden durch die größere Dopplerrückwirkung und Materialbewegung kompensiert. Die Ergebnisse der Simulation des Referenz-Kühlmitteldurchsatzstörfalles im EEC-B Core (Tab. 4.3.1-2) liegen nur unwesentlich höher als die für das BEC-A Core. Die Energie im geschmolzenen Brennstoff beläuft sich auf 10 376 MWsec und etwa 47% des Coreinventars schmelzen auf. Jedoch sind mit  $3960^{\circ}$  K die Spitzentemperaturen und damit auch die Brennstoffdampfdrücke im Core relativ niedrig. Die mit dem Verfahren von Reynolds /48/ berechnete mechanische Energiefreisetzung ergibt dabei nur unwesentliche Belastungen der Tankstrukturen.

#### 4.3.2 VARIATION DER ÜBERGABE-REAKTIVITÄTSRAMPE BEI BEGINN DER COREDISASSEMBLYPHASE (EEC-B CORE)

---

Aus den in Kapitel 4.1 angeführten Argumenten wurde auch für das EEC-B Core eine Variation in der Größe der Übergaberampe zur Coredisassembly durchgeführt. Wegen des extrem hohen Kühlmittelanteils und des höheren Abbrandzustands des Cores ist mit noch größerer Wahrscheinlichkeit als beim BEC-A Core mit Brennstabversagen und Brennstoff/Natriumreaktion mit allen Folgephänomenen zu rechnen. Es wurden wie für das BEC-A Core 3 Bereiche bei der Rampenvariation untersucht, wobei die Bereichsgrenzen beibehalten wurden. (Bereich A bis 30 \$/sec, B bis 80 \$/sec und C größer 80 \$/sec.) Die Ergebnisse für repräsentative Übergaberampen aus jedem Bereich (Störfälle KO, K1, K2, K3) wurden in Tabelle 4.3.2-1 zusammengestellt. In den Abbildungen 4.3.2-1 → 4.3.2-3 werden die Verläufe von

SNR-2000		LOF-ANALYSE			
EEC-B		STÖRFALL:			
		K0	K1	K2	K3
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	16.6	50	100	150
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.980	0.980	0.980	0.980
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	235	253	253	253
Maximale normierte Leistung	-	253	731	2547	4788
Freigesetzte Energie	MWsec	6571	16376	31776	42979
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	10376	18226	31707	42188
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		2.08	3.65	6.34	8.44
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	25895	36298	44105	48197
Masse des geschmolzenen Brennstoffs Gesamtcoringinventar	%	47	66	80	88
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3309	3541	4037	4395
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3960	4601	5603	6329
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	2.26	17.60	148.08	420.44
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	16.44	19.79	20.63	30.30
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.05	25.52	26.63	44.02
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.85	5.23	4.02	3.35
Maximale axiale Verschiebung	cm	5.42	7.19	6.55	4.37

Tabelle 4.3.2-1 Wichtige Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle bei Variation der Umschaltrampe zur Disassemblyphase im EEC-B Core

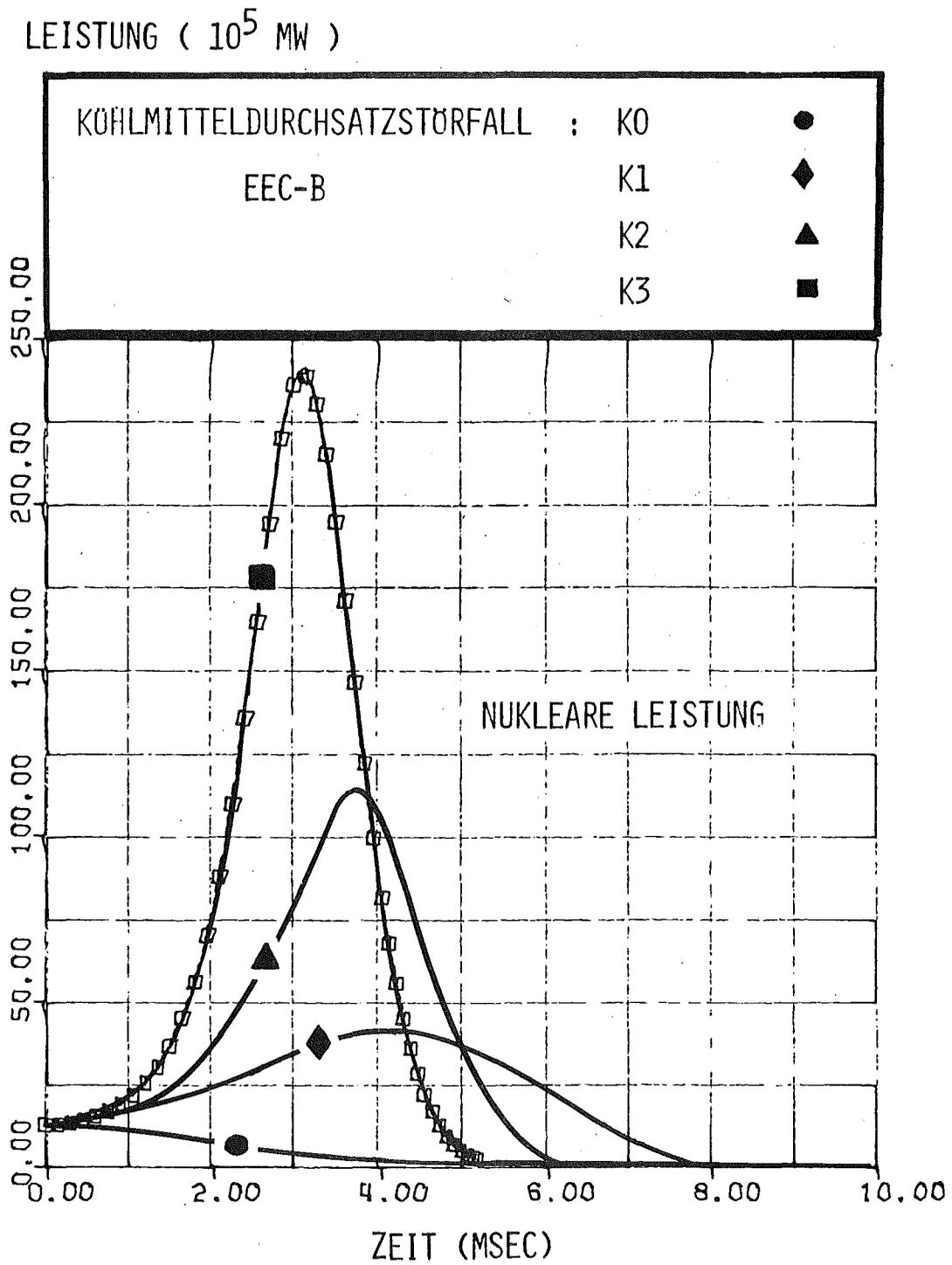


BILD 4.3.2-1 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF DER STÖRFÄLLE K0 , K1 , K2 UND K3 WÄHREND DER DISASSEMBLYPHASE

EEC-B CORE

ENERGIE (  $10^2$  MWs )

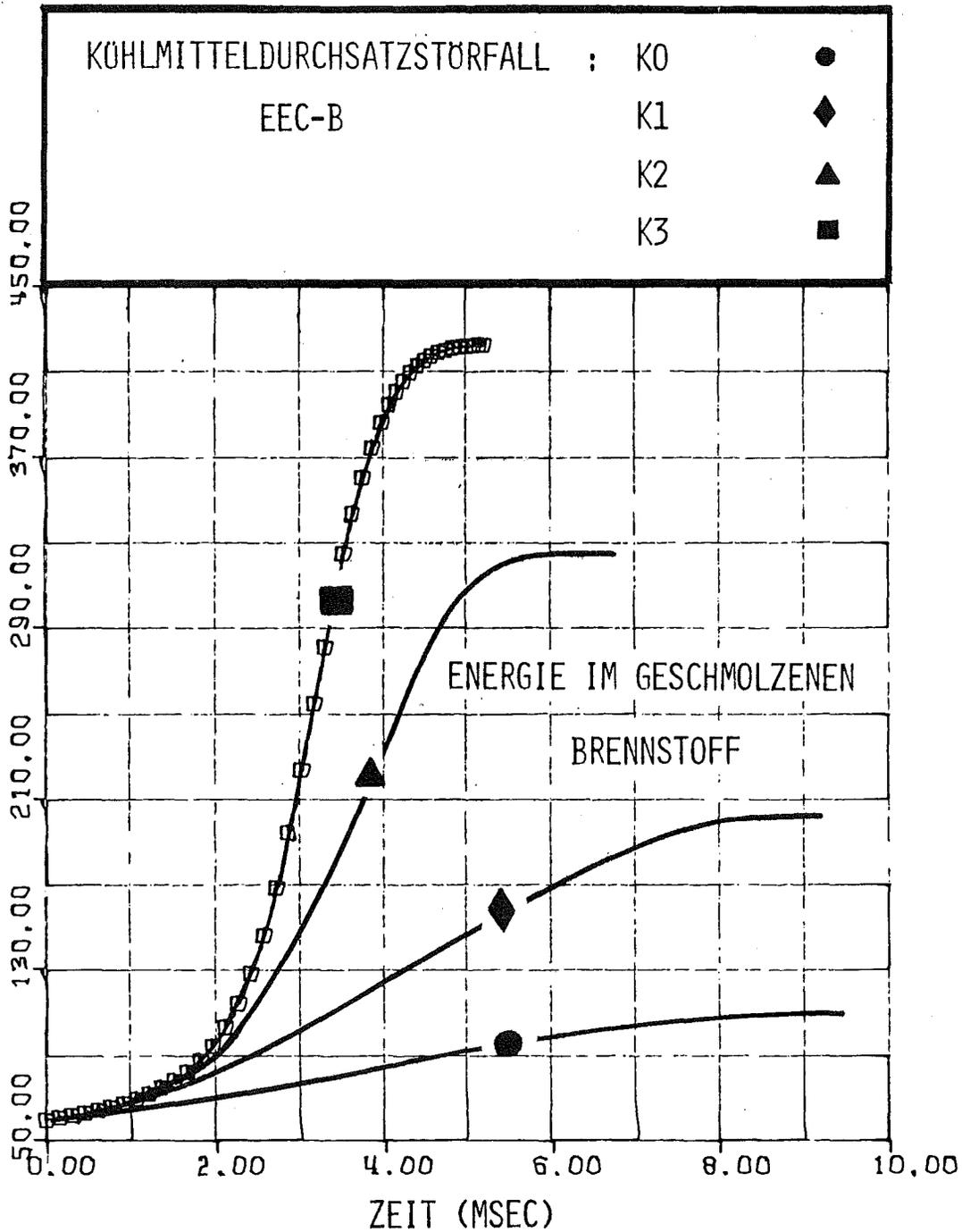


BILD 4.3.2-2 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF FÜR DIE STÖRFÄLLE K0 , K1 , K2 UND K3 BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION

EEC-B CORE

MASSE (  $10^2$  KG )

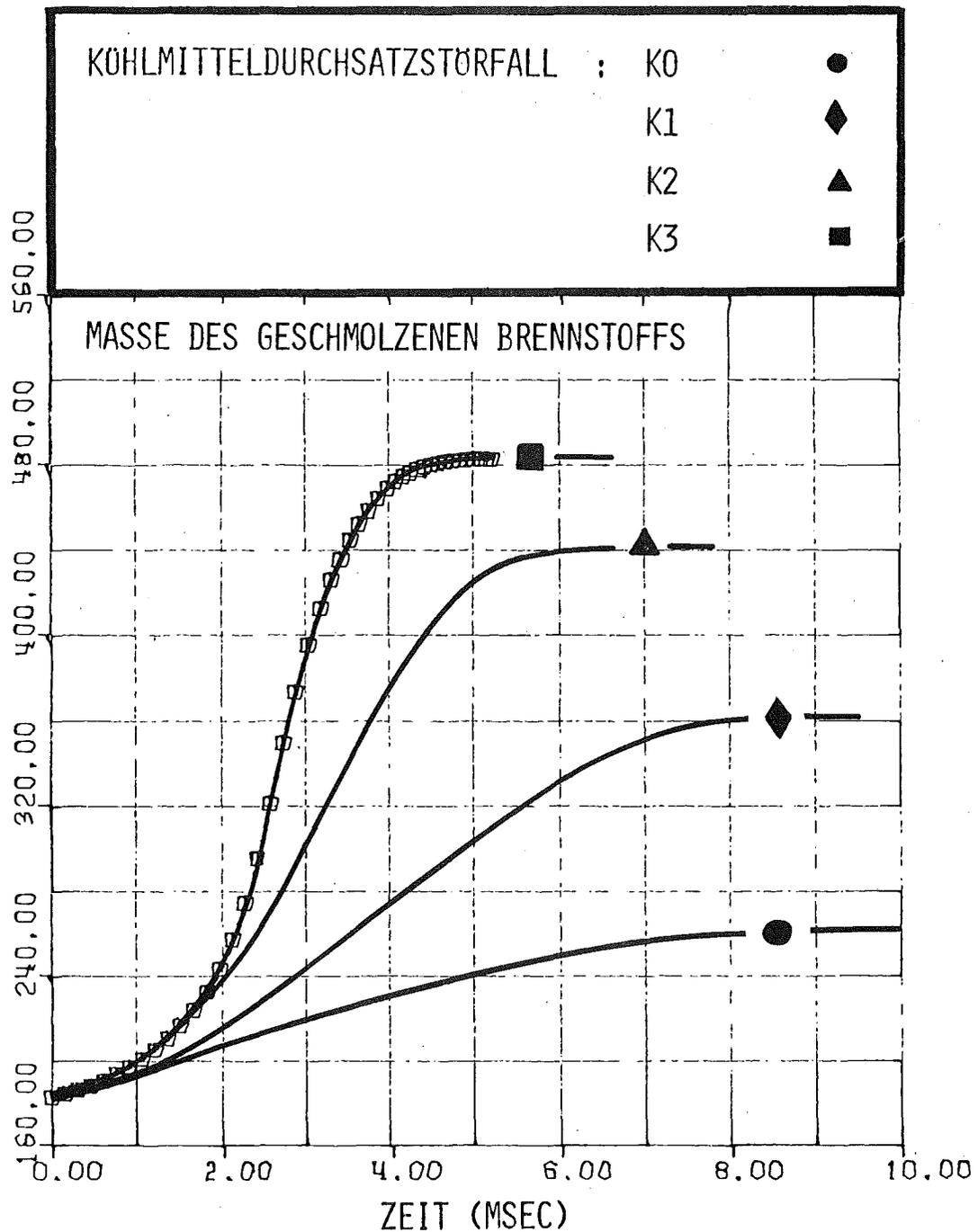


BILD 4.3.2-3 VERLAUF DER MASSE DES GESCHMOLZENEN BRENNSTOFFS  
FOR DIE STÖRFÄLLE K0 , K1 , K2 UND K3  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION

EEC-B CORE

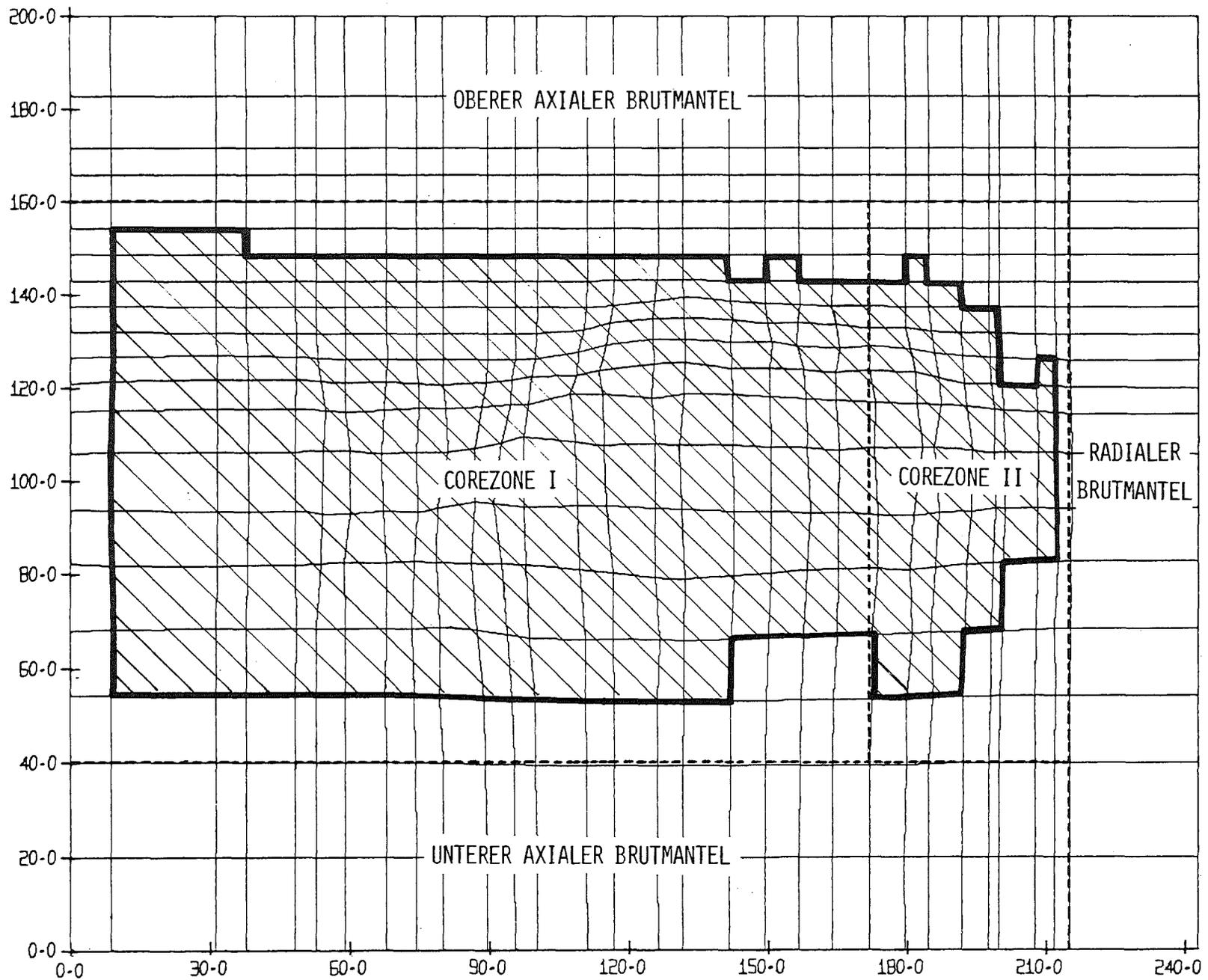


BILD 4.3.2-4 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENE CORE -  
BEREICHEN  ( $T > T_{MELT}$ ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
FÜR DEN STÖRFALL KO

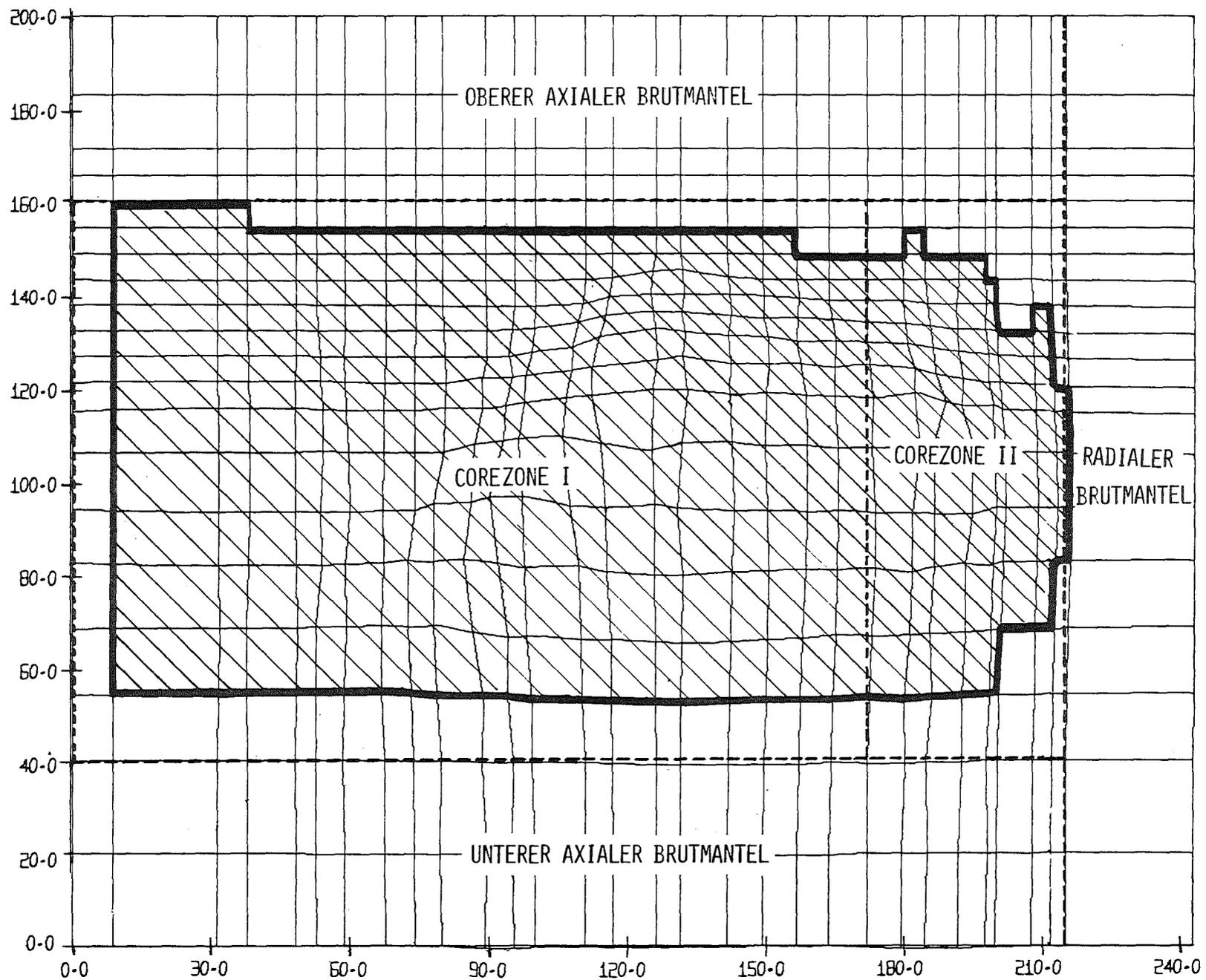
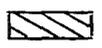


BILD 4.3.2-5 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENEN CORE -  
 BEREICHEN  (  $T > T_{MELT}$  ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
 FÜR DEN STÖRFALL K1

Leistung, Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs für die ausgewählten Rampen verglichen. Auch hierbei zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie beim BEC-A Core, daß sich nämlich mit Erhöhung der Rampensteilheit der Störfallablauf in der Disassemblyphase stark beschleunigt und die Endwerte der Energie im geschmolzenen Brennstoff - einem Maß für die Schwere des Störfalls - immer schneller erreicht werden. Während die Energie im geschmolzenen Brennstoff mit der Erhöhung der Umschaltrampe weiterhin stark ansteigt, wird für die Masse des geschmolzenen Brennstoffinventars ein gewisser Sättigungswert erreicht. Auch in dem als "wahrscheinlich" bezeichneten Bereich schmelzen bereits  $\sim 50\%$  des Coreinventars auf. Diese Brennstoffmassen von  $\sim 27$  t stellen dabei ein erhebliches Potential für erneut nuklear kritische Anordnungen dar. Auf den Abbildungen 4.3.2-4 und 4.3.2-5 sind wieder die geschmolzenen Corebereiche nach Beendigung der ersten Exkursion der Störfälle KO und K1 dargestellt. Beim EEC-B Core sind die Zentralbereiche homogen aufgeschmolzen. Verglichen mit dem BEC-A Core läßt sich eine stärkere axiale Materialbewegung (Abb. 4.2.2-4 und 4.2.2-5) feststellen, die durch die Voidverteilung und BNR-Prozesse gesteuert wird. Die teilweisen Implosionen im Mittelteil des Cores (Kanal 12, 13) resultieren aus den in diesen Gebieten heftigen Brennstoff/Natriumreaktionen, da sich in diesen Kanälen Gebiete hoher Schmelzfraktion mit dem nassen Corebereich überlagern.

#### 4.3.3 ERHÖHUNG DER REAKTIVITÄTSRAMPE WÄHREND DES DISASSEMBLY-VORGANGES (EEC-B CORE)

---

Das verzögerte Versagen von Brennstäben niedriger Leistung in den äußeren Corezonen wurde auch für das EEC-B Core durch eine zusätzliche Reaktivitätsrampe während des Disassemblyvorganges (Störfall K4) simuliert. Die Größe dieser "getrig-

SNR-2000		LOF ANALYSE	
EEC-B		STÖRFALL K4	REFERENZSTÖR- FALL KO
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	16.6	16.6
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.980	0.980
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	253	253
Maximale normierte Leistung	-	253	253
Freigesetzte Energie	MWsec	7215	6571
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	10860	10376
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		2.17	2.08
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	26642	25895
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	%	48	47
<del>Masse des geschmolzenen Brennstoffs</del> Gesamtcoreinventar			
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3325	3960
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	4002	3960
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	2.65	2.26
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	19.22	16.44
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	21.37	18.05
Maximale radiale Verschiebung	cm	6.68	4.85
Maximale axiale Verschiebung	cm	7.59	5.42

Tabelle 4.3.3-1 Vergleich der Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Störfalles K4 (getriggerte Reaktivitätsrampe) mit dem Referenzstörfall KO

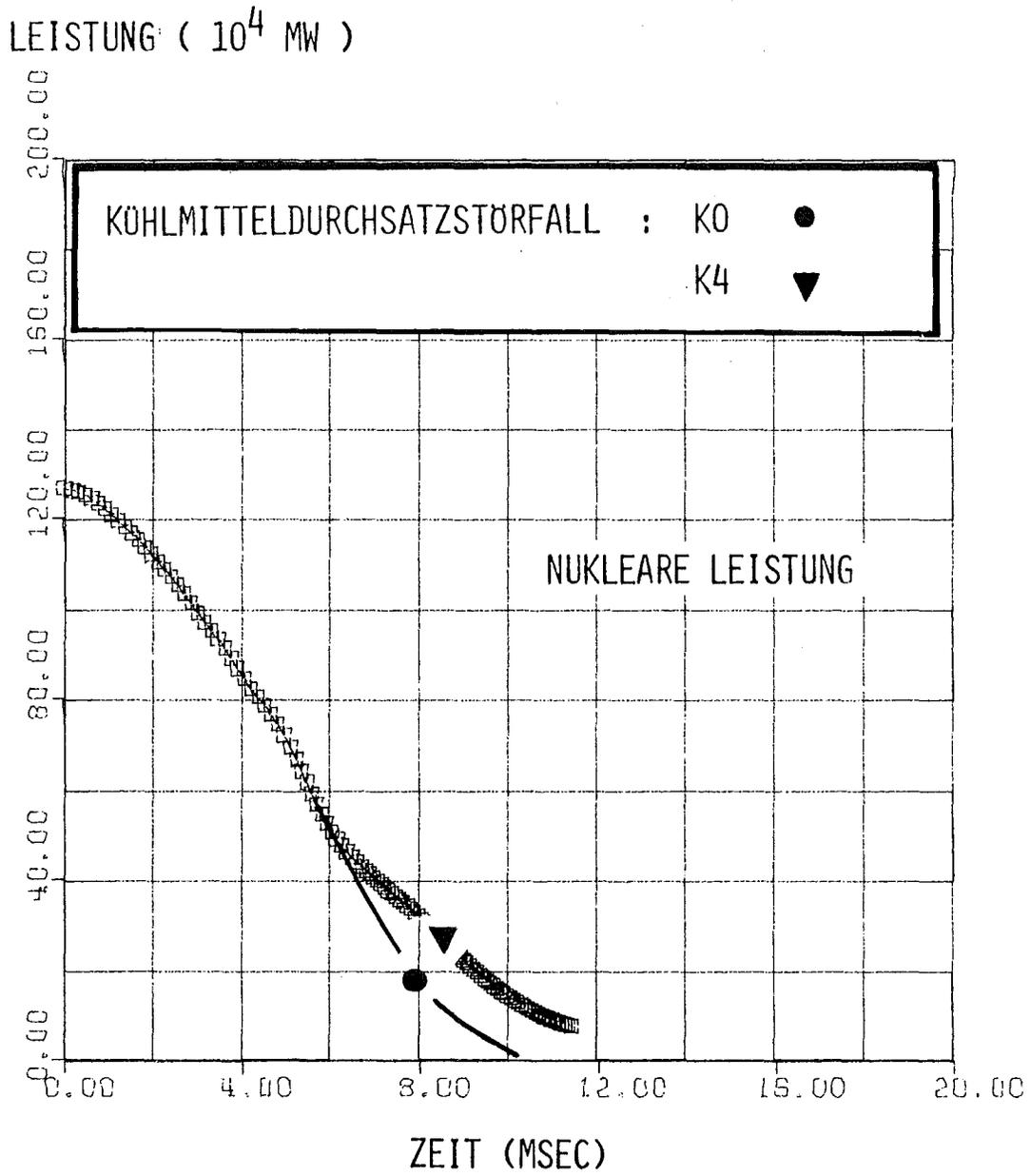


BILD 4.3.3-1 VERGLEICH DES LEISTUNGSVERLAUFES DER BEIDEN  
KÖHLMITTELDURCHSATZSTÖRFÄLLE K0 UND K4  
EEC-B CORE

REAKTIVITÄT (\$)

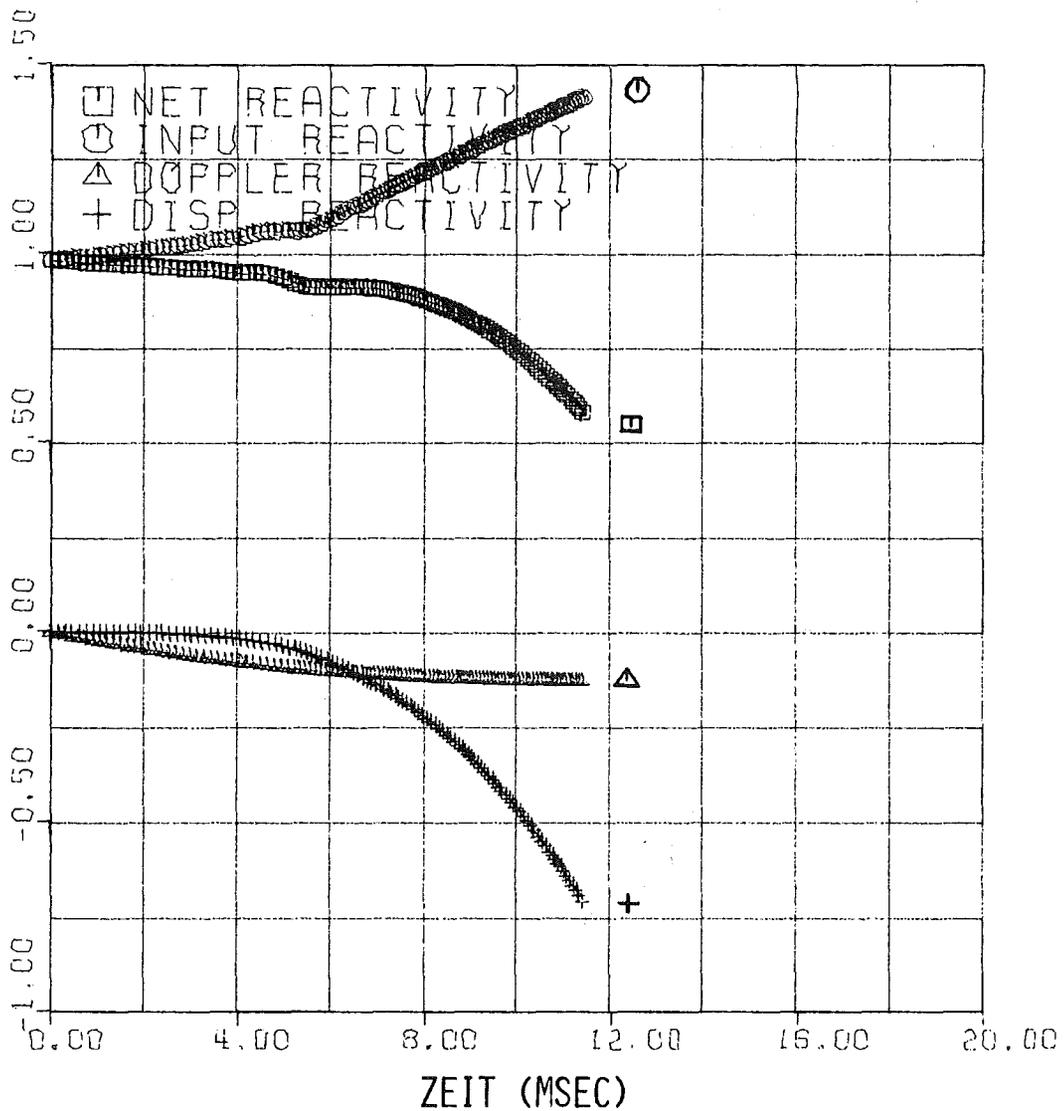


BILD 4.3.3-2 REAKTIVITÄTSVERLAUF BEI VERÄNDERUNG DER RAMPENSTEILHEIT WÄHREND DER DISASSEMBLY-PHASE ( STÖRFALL K4 )  
( NETTO-, TREIBER-, DOPPLER-, MATERIAL-BEWEGUNGSREAKTIVITÄT )

EEC-B CORE

gerten" Rampe betrug dabei wieder  $\sim 50 - 70 \text{ } \$/\text{sec}$ . Verglichen mit dem Referenzfall KO ergibt sich auch hier nur eine unwesentliche Zunahme der Energie und geschmolzenen Massenanteile durch diese zusätzliche Reaktivitätsrampe. Die Ergebnisse werden in Tabelle 4.3.3-1 mit denen des Referenzfalles verglichen. Der Störfallverlauf kann zusätzlich aus den Abbildungen 4.3.3-1 und 4.3.3-2 ersehen werden. Auch im EEC-B Core beschleunigt der durch die zusätzliche Rampe erhöhte Druckaufbau das sich schon bewegende Kernmaterial noch weiter und beschleunigt die nukleare Abschaltung des Cores. Verglichen mit dem Störfall L4 im BEC-A Core ist die Leistungserhöhung beim Störfall K4 nach Einbringen der zusätzlichen Reaktivitätsrampe relativ gering. Dies wird durch den sehr viel stärkeren Dopplereffekt und die zum Zeitpunkt der Initialisierung der Zusatzrampe schon beträchtliche Reaktivitätsrückwirkung durch Corematerialbewegung verursacht.

#### 4.4 ZUSÄTZLICHE UNTERSUCHUNGEN ZUM KÜHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALL

---

Im vorliegenden Kapitel soll noch kurz auf einige Untersuchungen eingegangen werden, die im Rahmen der Sicherheitsanalyse durchgeführt wurden, um den Einfluß von einigen Parametern zu studieren.

##### 4.4.1 UNTERDRÜCKUNG DER RADIALEN COREEXPANSION

---

Die maximalen Brennstofftemperaturen zu Beginn des Disassemblyvorganges der Störfälle LO und KO liegen für beide Corekonfigurationen bei  $\sim 3500^{\circ} \text{ K}$ . Die entsprechenden Dampfdrücke ( $< 1 \text{ bar}$ ) sind in diesem Bereich noch vernachlässigbar. Auch der durch

LEISTUNG (  $10^3$  MW )

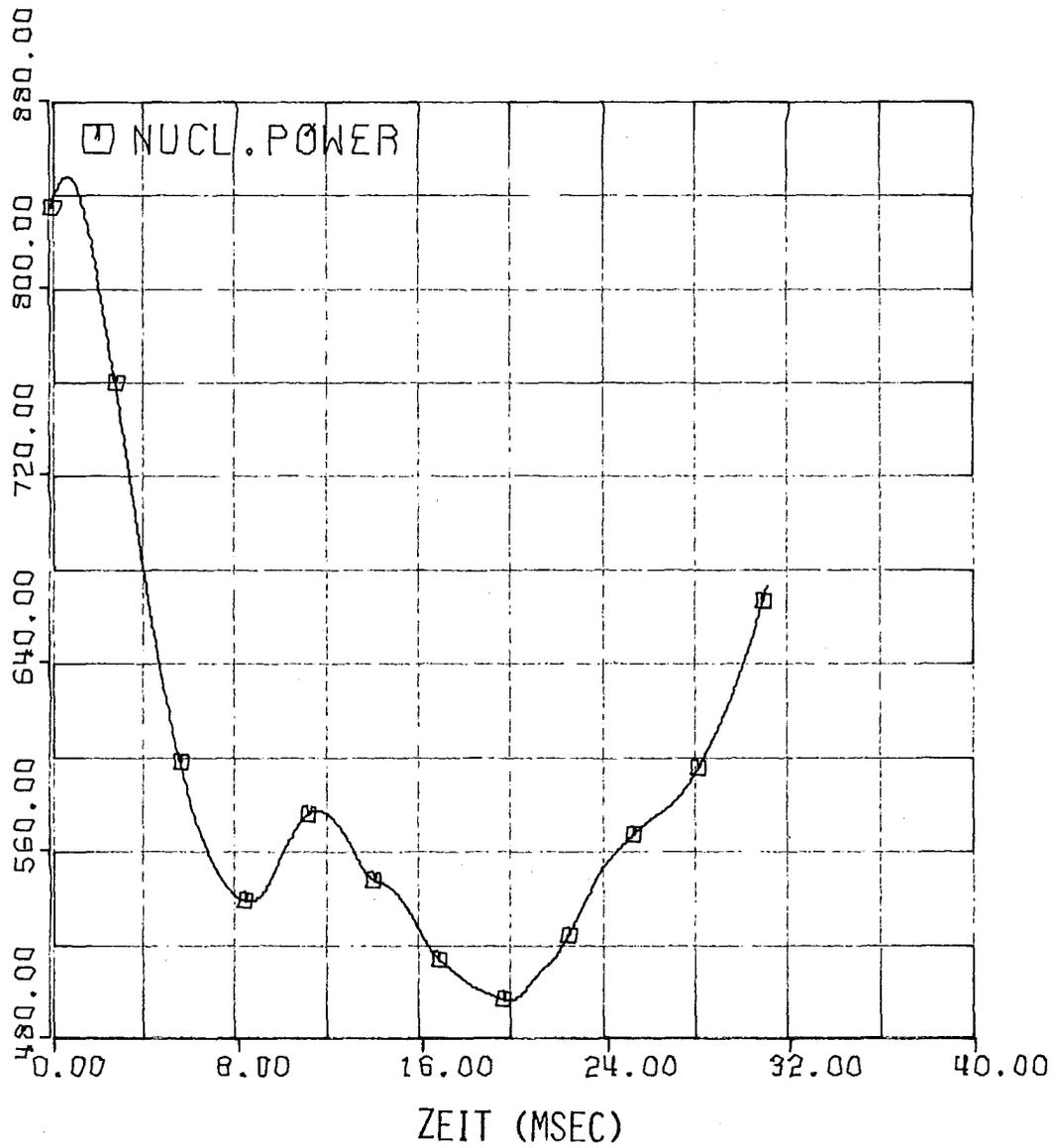


BILD 4.4,1-1 LEISTUNGSVERLAUF DES KÖHLMITTELDURCHSATZ-  
STÖRFALLES LO BEI UNTERDRÜCKUNG DER  
RADIALEN COREEXPANSION

BEC-A CORE

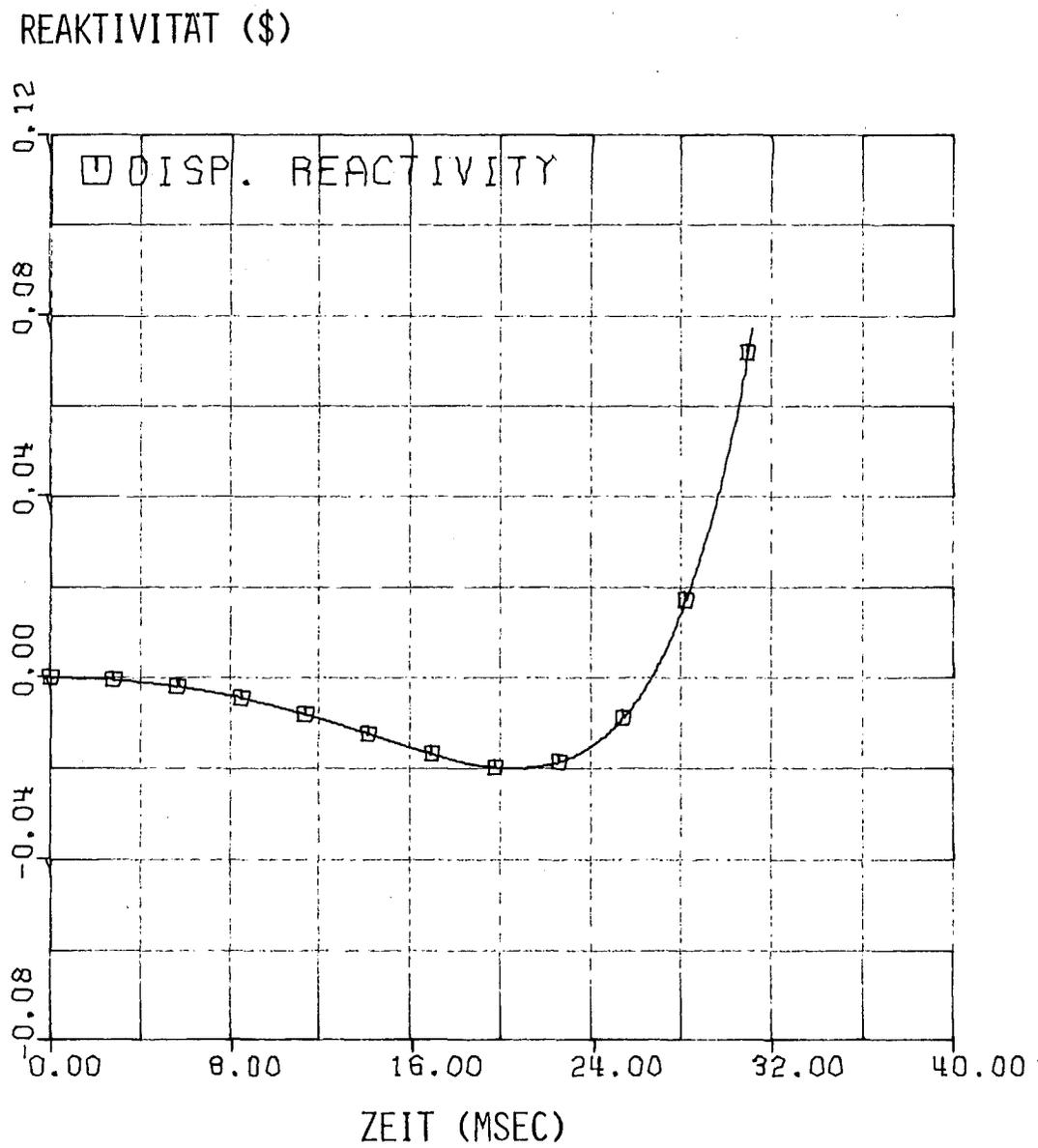


BILD 4.4.1-2 VERLAUF DER DURCH REIN AXIALE MATERIAL-  
BEWEGUNG VERURSACHTEN DISASSEMBLYREAKTIVITÄT  
BEC-A CORE

eine BNR ausgelöste Druckaufbau kann zu Beginn der Disassemblyphase kaum zu einer Beschädigung oder gar Zerstörung der radialen Corestruktur, also insbesondere der Brennelementkästen führen. In dem Disassemblycode KADIS kann, um derartige Situationen zu simulieren, die freie Coreexpansion in radialer Richtung vollständig unterdrückt werden. Dadurch kann modellmäßig grob die tatsächliche Materialbewegung, die unter diesen Bedingungen vornehmlich in axiale Richtung gehen wird, beschrieben werden. Die Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung wird dann nur durch die axiale Coreexpansion bewirkt. Es wurde auch für den SNR-2000 versucht, diese Option zu verwenden. In der Abbildung 4.4.1-1 ist der Leistungsverlauf und in der Abbildung 4.4.1-2 der Reaktivitätsverlauf der axialen Materialrückwirkung bei Unterdrückung der radialen Corebewegung dargestellt. Die plötzliche Zunahme der Reaktivität wird verursacht durch die axiale Corebewegung in den Zonen 3, 5 und 6 bzw. 13, 15 und 16. Am EEC-B Core liegt das Leistungsmaximum nach unten verschoben unter der Coremittelebene. Der Druckaufbau in diesem Bereich treibt dann die KADIS-Maschen sowohl in Richtung des unteren als auch oberen Brutmantels. Bei der Bewegung nach oben schieben diese KADIS-Maschen teilweise auch die Zonen mit den Regelstäben (Zone 4 und 14) nach oben aus dem Core hinaus. Daraus resultiert eine Materialrückwirkung, welche die Leistung während des Disassemblyvorganges nochmals ansteigen läßt. Das Auftreten dieser Form der Materialbewegung ist jedoch modellbedingt und beruht im wesentlichen auf der zylindrisierten Darstellung (RZ) des Cores.

Zusätzlich zeigt sich, daß es bei Unterdrückung der radialen Coreexpansion teilweise zu unphysikalischen Maschennetzdeformationen und -überlappungen in axialer Richtung kommt, da wegen der flachen Wertkurven relativ weite Wege zurückgelegt werden müssen, bevor ein spürbarer Reaktivitätseffekt entsteht. Aus diesen Gründen konnte die Option einer radialen Bewegungsunterdrückung in KADIS für den SNR-2000 nicht verwendet werden.

#### 4.4.2 ERHÖHUNG DES REAKTIVITÄTSNIVEAUS AM UMSCHALTPUNKT

Die Analyse des Kühlmitteldurchsatzstörfalles für den SNR-2000 zeigt, daß mit hoher Wahrscheinlichkeit gegen Ende der Einleitungsphase Brennstabversagen zu einem LOF driven TOP führt. Um die Konsequenzen, die sich aus der Überlagerung eines LOF und TOP ergeben, nicht zu unterschätzen, wurden für beide Corezustände die Übergaberampen zur Coredisassembly im Bereich bis 150  $\$/\text{sec}$  variiert. Der als "unwahrscheinlich" apostrophierte Bereich zwischen 30 und 80  $\$/\text{sec}$  sollte dabei auch die Änderungen der Anfangsbedingungen für die Coredisassembly - also Änderungen der Voidverteilung, des Temperaturprofils und des Nettoaktivitätsniveaus - abzudecken. Bei den Rechnungen wurde ja so vorgegangen, daß mit CAPRI-2 ein "klassischer" LOF bis zur Disassemblyphase simuliert wurde - ohne Pinversagen zu berücksichtigen. Die wirklichen Anfangsbedingungen für den Disassemblyvorgang sind daher nicht genau bekannt. Um aber auch diese Effekte innerhalb der Einhüllenden, die durch den "wenig wahrscheinlichen Bereich" vorgegeben ist, einzuschließen und um die obere Grenze dieses Bereiches abzustecken, wurde künstlich das Reaktivitätsniveau zu Beginn der Coredisassembly stark erhöht. Die übrigen Eingabedaten bleiben identisch mit den Referenzfällen. Dabei wurde für die Disassemblyrechnung des Referenzfalles für den Corezustand BEC-A die Reaktivität am Umschaltpunkt um 8% (Störfall L6) und für das EEC-B Core um 17% (K6) erhöht. Die Ergebnisse der Tabelle 4.4.2-1 machen deutlich, daß auch bei starker Erhöhung der Umschalreaktivität um 17% die Resultate, insbesondere die Energie im geschmolzenen Brennstoff, noch in der Einhüllenden liegen, die durch eine Erhöhung der Umschalrampe bis 80  $\$/\text{sec}$  vorgegeben wurde. Damit können auch die Unsicherheiten im Reaktivitätsniveau durch den als "wenig wahrscheinlich" bezeichneten Bereich abgedeckt werden.

Hebt man in einer weiteren Variation der Eingabeparameter das Temperaturniveau zu Beginn der Disassemblyphase an, so wird die Energiefreisetzung in der Disassemblyphase geringfügig reduziert, da sowohl die Brennstoffdampfdrücke sich erhöhen als auch die

SNR-2000		LOF-ANALYSE			
		BEC-A		EEC-B	
		LO	L6	K0	K6
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	7.3	7.3	16.57	16.57
Reaktivität am Umschaltpunkt	§	0.976	1.057	0.980	1.145
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	167	167	253	253
Maximale normierte Leistung	-	169	465	253	1571
Freigesetzte Energie	MWsec	4975	10151	6571	20067
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	9619	13535	10376	21358
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		1.92	2.71	2.08	4.27
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	23472	29078	25895	38818
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	§	43	53	47	71
Gesamtcoreinventar					
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3330	3457	3309	3651
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3875	4226	3960	4842
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	1.63	5.79	2.26	32.36
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	19.3	20.2	16.4	17.6
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.1	18.7	18.1	20.1
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.9	7.3	4.8	3.4
Maximale axiale Verschiebung	cm	6.3	6.6	5.4	4.9

Tabelle 4.4-2 Vergleich der Ergebnisse von Disassemblyrechnungen mit künstlich erhöhter Übergabereaktivität mit den Referenzstörfällen LO und KO

Brennstoff/Natriumreaktionen heftiger werden. Die Änderung der Voidverteilung durch Einsetzen von BNR's kurz vor Beginn der Disassemblyphase ist insbesondere in den Übergangsbereichen der ersten zur zweiten Corezone zu beachten, da dort die Möglichkeit von Implosionen besteht. Es zeigt sich jedoch, daß beim SNR-2000 die Implosionswirkungen durch die starke Materialexpansion der Zonen 16 und 17 nach außen abgefangen werden.

#### 4.5 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DES KÜHLMITTELDURCHSATZ-STÖRFALLES FÜR DAS BEC-A UND EEC-B CORE DES SNR-2000

---

Die wesentlichen Ergebnisse, wie die Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs für die Referenzstörfälle und die Variation der Umschaltrampe, sind nochmals in der Abbildung 4.5-1 zusammengefaßt. Die Abbildung 4.5-1 zeigt, daß bei einem LOF-Störfall für beide Konfigurationen (BEC-A und EEC-B) ähnliche Energien im geschmolzenen Brennstoff erwartet werden müssen und auch die geschmolzenen Coreanteile annähernd gleich groß sind. Die Hauptintention bei der Auswahl dieser beiden Gleichgewichtszyklen war, möglichst den Corezustand herauszufinden, bei welchem die Störfallverläufe zu den heftigsten Energiefreisetzungsfällen führen. Ein Vergleich der Energiefreisetzung der Leistungsstörfälle (Abb. 3.4-1) und der LOF-Störfälle (Abb. 4.5-1) für die untersuchten Abbrandzustände des Cores (BEC-A und EEC-B) zeigt jedoch, daß das Maximum der Energieausbeute in einer Corekonfiguration störfallabhängig ist. Dies beruht auf dem oft gegenläufigen Einfluß der "Störfallparameter", wie Kohärenz der Leistungsverteilung, maximaler positiver Void, Dopplereffekt, Kühlmittelinventar im Core, Regelstabpositionen, etc.. Gegenüber den Rampenstörfällen zeigt sich jedoch als wesentlicher Unterschied, daß mit der Erhöhung der Umschaltrampe zur Coredisassembly die Energie im geschmolzenen Brennstoff bei einem teilweise gevoideten Core weiter linear ansteigt. Der Anteil des geschmolzenen Coreinventars strebt dabei langsam einer Sättigung zu. Dieses Verhalten ist typisch für ein gevoidetes Core, in das noch in der Nähe des prompt kritischen Zustandes Reaktivität zugeführt werden kann. Einphasiger Druckaufbau, der das Core, ähnlich wie bei den Leistungsstörfällen, schnell auseinandertreiben könnte, wird nur in relativ wenigen Maschenzellen erreicht. Die Referenzfälle für beide Corekonfigurationen liegen in dem als "wahrscheinlich" apostrophierten Bereich. Auch nach diesen relativ milden Störfällen liegen nahezu 50% des Coreinventars in geschmolzener

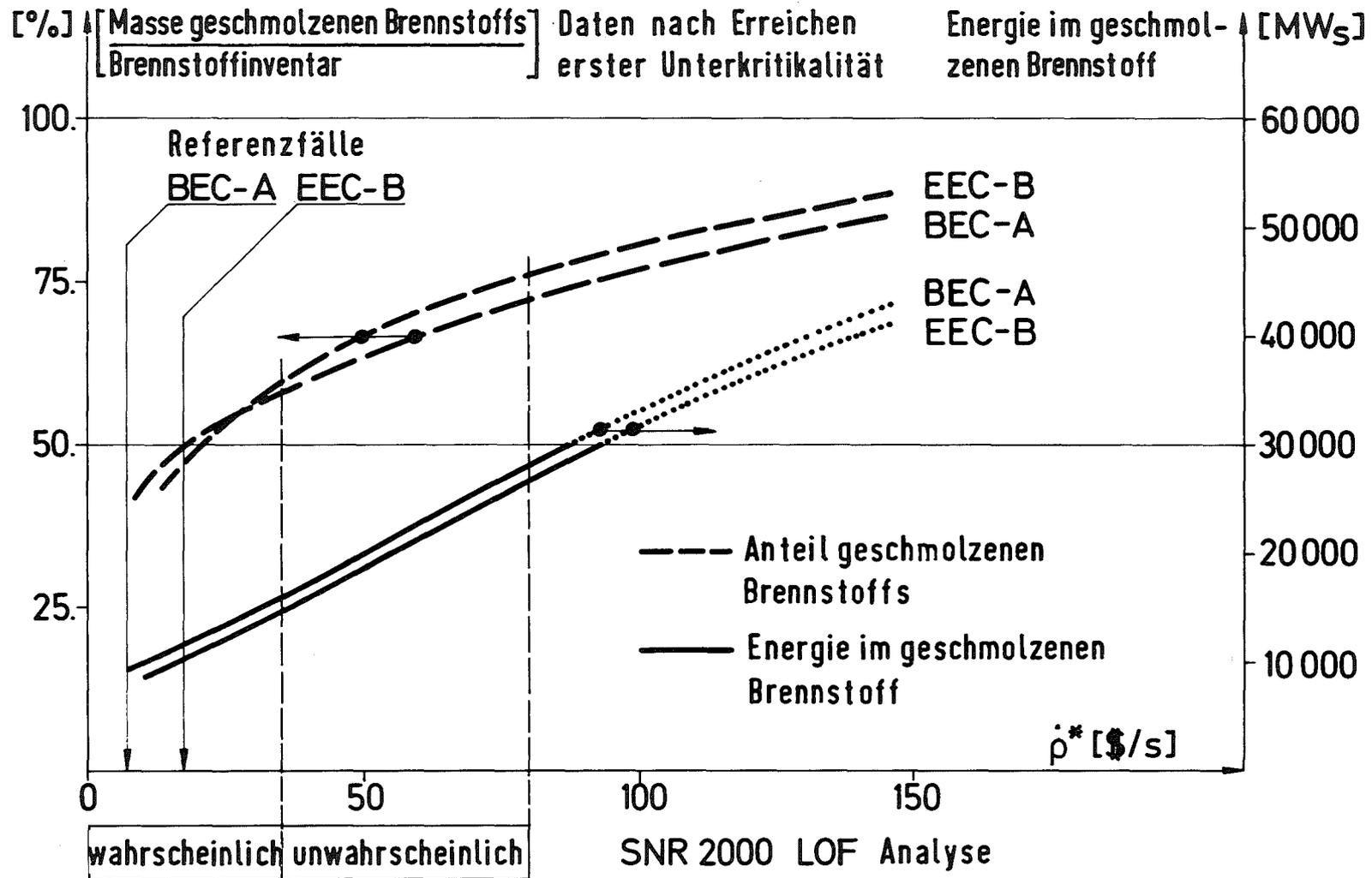


BILD 4.5-1

Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars und die im geschmolzenen Brennstoff gespeicherte thermische Energie in Abhängigkeit von der Reaktivitätsrampe beim Umschalten zur Kernzerlegungsphase bei erstem Erreichen der Unterkritikalität während der Kernzerlegungsphase (Durchsatzstörfall, BEC-A und EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)

Form vor. Die Abbildung 4.5-1 zeigt, daß für das BEC-A Core die Energie im geschmolzenen Brennstoff etwas höher als im EEC-B Core ist, jedoch der Anteil der geschmolzenen Masse am Gesamtinventar unter der des EEC-B Cores liegt. Zur Erklärung dieses Verhaltens sollen nochmals einige signifikante Resultate der Referenzstörfälle am Umschaltpunkt in Tabelle 4.5-1 zusammengefaßt werden.

Resultate am Umschaltpunkt		BEC-A	EEC-B
Reaktivitätsrampe	\$/sec	7.3	16.57
Normierte Leistung	-	167	253
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWs	6243	5945
Voidanteil im Core	%	78	63
Anteil der geschmolzenen Masse im Core	%	32.8	33.2
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3538	3531
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3186	3138

Tabelle 4.5-1 Vergleich wesentlicher Ergebnisse für die Referenzstörfälle am Umschaltpunkt zur Core-disassembly

Die Energie im geschmolzenen Brennstoff zu Beginn der Disassemblyphase liegt beim BEC-A Core um 5% über dem Wert des EEC-B Cores. Andererseits enthält das EEC-B Core einen höheren geschmolzenen Massenanteil bei niedrigeren Maximal- und Mitteltemperaturen der Brennstoffschmelze. In Abbildung 4.5-2 wird zusätzlich noch das radiale Temperaturprofil (H = 100 cm) der beiden Abbrandzustände zu Beginn der Coredisassembly ver-

glichen. Dieses Temperaturprofil wird in der Predisassemblyphase von der linearen Stableistung der Pins, die durch die Regelstabposition mitbestimmt wird, entscheidend geprägt. Dadurch werden auch die verschiedenen Voidmuster für das BEC-A und EEC-B Core verursacht. Wie aus der Abbildung 4.5-2 zu ersehen ist, liegt beim EEC-B Core im inneren Corebereich bis Kanal 10 die Maximaltemperatur höher, wobei auch die Anzahl der aufgeschmolzenen Maschen größer ist. Ab Kanal 11 kehren sich dagegen die Verhältnisse um und im BEC-A Core werden höhere Maximaltemperaturen erreicht und mehr Brennstoff aufgeschmolzen. Bei der Größe der Energie im geschmolzenen Brennstoff für das BEC-A Core wirkt sich hier nicht nur die größere Masse dieser Kanäle, sondern insbesondere die hohen Temperaturen aus, die bis zu  $300^{\circ}\text{C}$  über denen des EEC-B Cores liegen. Entscheidend für die relative Lage von Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs für beide Corekonfigurationen sind schließlich die Bereiche ab Kanal 19, wo das axiale Temperaturprofil des BEC-A Cores relativ steil ist und auch höhere Temperaturen als im EEC-B Core erreicht werden. Im EEC-B Core sind jedoch durch das flachere Temperaturprofil größere Massenanteile aufgeschmolzen, gerade im schmelzen begriffen ( $T_{\text{melt}} \leq T < T_{\text{MELT}} + 1$ ) oder kurz vor Schmelzbeginn.

Diese vorgegebenen Anfangsbedingungen für die Disassemblyphase bestimmen auch die Energie- und Massenwerte, die nach der Beendigung der 1. Exkursion im geschmolzenen Brennstoff erreicht werden, entscheidend mit. Der vorgegebene Trend wird in der Disassemblyphase sogar noch verstärkt, da im EEC-B Core bei gleicher Umschaltrampe durch den stärkeren Dopplereffekt und die Materialbewegung, die durch eine heftigere BNR bestimmt wird, die Exkursion schneller begrenzt wird. Hinzu kommt noch die in den Bereichen hoher Temperatur stark wirksame Brennstoffkühlung durch die Wärmeübertragung auf das Natrium. Die größere Masse des geschmolzenen Brennstoffs beim EEC-B Core wird wieder durch die großen, gerade aufschmelzenden Bereiche verursacht.

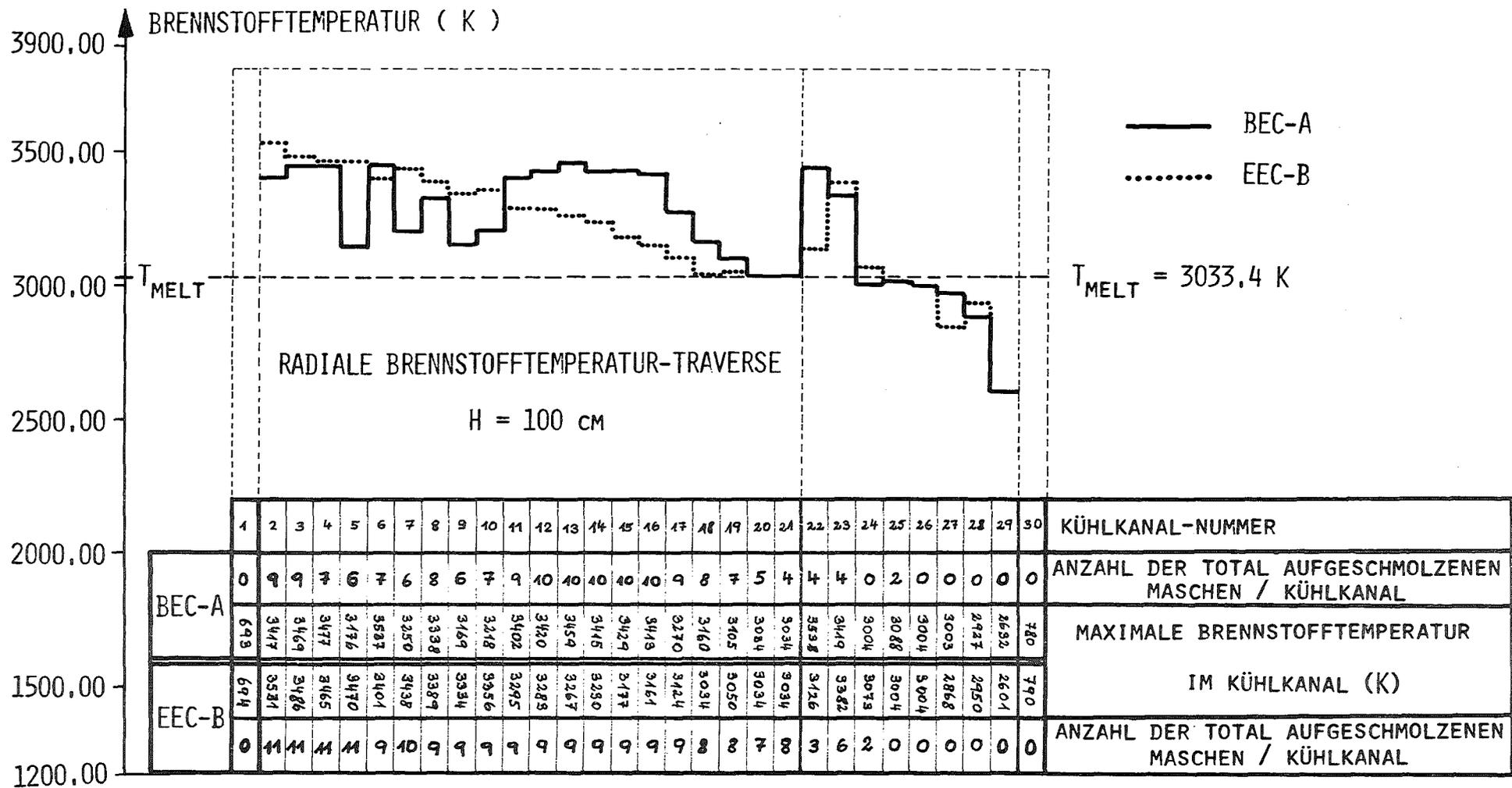


BILD 4.5-2 VERGLEICH DER MAXIMALEN BRENNSTOFFTEMPERATUR UND DER ANZAHL DER TOTAL AUFGESCHMOLZENEN KADIS-MASCHEN ( $T \geq T_{MELT} + 1$ ) IN DEN 30 KÜHLKANÄLEN ZU BEGINN DER COREDISASSEMBLY BEC-A UND EEC-B CORE

Die Überschneidung der geschmolzenen Massenanteile bei kleinen Übergaberampen kommt dadurch zustande, daß in diesem Bereich die Werte für die Referenzfälle eingetragen wurden. Bei diesen Referenzfällen wurde für die Disassemblyphase keine lineare Rampe vorgegeben, sondern die vorausgerechnete Reaktivitätstabelle von CAPRI-2 an KADIS eingegeben. Der Reaktivitätsverlauf für das EEC-B Core, der zu Beginn des Disassemblyvorganges einer Rampe von  $\sim 17 \text{ } \$/\text{sec}$  entspricht, reduziert sich während des Verlaufs der Disassembly bis auf  $\sim 12 \text{ } \$/\text{sec}$ . In der Abbildung 4.5-1 sind jedoch die Werte nach Beendigung der 1. Exkursion für den Referenzfall des EEC-B Cores auf der Abszisse über dem Wert von  $17 \text{ } \$/\text{sec}$  aufgetragen und dies resultiert in der Überschneidung der Massenanteilskurven.

Implosionswirkungen, die durch eine kohärente Druckfront in der 2. Corezone ausgelöst werden können, liefern in keinem der untersuchten LOF-Störfälle dominierende Reaktivitätsrückwirkungen. Die expansive Materialbewegung der äußersten Bereiche der 2. Corezone produziert aufgrund ihrer großen Brennstoffmassen und Wertkurvengradienten genügend negative Abschaltreaktivität, um die positiven Materialbewegungsbeiträge auszugleichen und zusätzlich das Core nach der ersten Exkursion neutronisch abzuschalten.

Auch bei den Kühlmitteldurchsatzstörfällen interessiert letztlich wieder die Größe der mechanischen Belastung der Tankstrukturen. Die mit der in Kapitel 3 dargestellten Methode berechnete mechanische Arbeit für die LOF-Störfälle in Abhängigkeit von der Umschaltrampe zur Coredisassembly ist in Abbildung 4.5-3 für beide Abbrandzustände des Cores dargestellt /48/.

Die Abbildung 4.5-3 läßt erkennen, daß mit zunehmender Rampensteilheit am Übergabepunkt zur Coredisassembly die mechanisch geleistete Arbeit im betrachteten Bereich stetig anwächst. Es zeigt sich weiter, daß mit Zunahme der Übergaberampe ein immer höherer Prozentsatz der thermischen Energie in mechanische Energie umgewandelt wird. Dies hängt mit dem durch die höheren Rampen verursachten Temperaturanstieg zusammen, welcher auf Grund der thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten zu einer stetigen Erhöhung des Wirkungsgrades führt. Dies führt auch bei einer Expansion der Brennstoffdampfblase, wobei das Integral  $\int p dV$  die geleistete mechanische Arbeit ausdrückt, zu höheren Konversionsfaktoren.

Dabei zeigt sich, daß die Rampen in dem als wahrscheinlich angesehenen Bereich zu keinen nennenswerten mechanischen Belastungen der Tankstruktur führen. Beide Referenzstörfälle führen zu unwesentlicher Energiefreisetzung. Jedoch dürfte der geringe Druckaufbau im Core nur zu einer unzureichenden Dispersion und Ejektion des Corematerials aus dem Reaktorkern führen. Damit werden eher Rekritikalitätsprobleme /44, 49, 50, 51/ und Probleme der thermischen Belastung der Corestruktur dominant.

Erst unter der Annahme erhöhter Umschaltrampen entsprechend dem wenig wahrscheinlichen Bereich, sind auch mechanische Belastungen der Tankdeckelstruktur zu erwarten. Bei einer Übergaberampe von 80 g/sec liegt dabei die geleistete mechanische Arbeit in der Größenordnung von  $\sim 500$  MWsec und geringem Gleichgewichtsdampfdruck ( $< 5$  bar). Auf der Abbildung 4.5-3 sind für einige Rampen die Gleichgewichtsdampfdrücke nach Expansion der Brennstoffdampfblase auf das Covergasvolumen eingezeichnet.

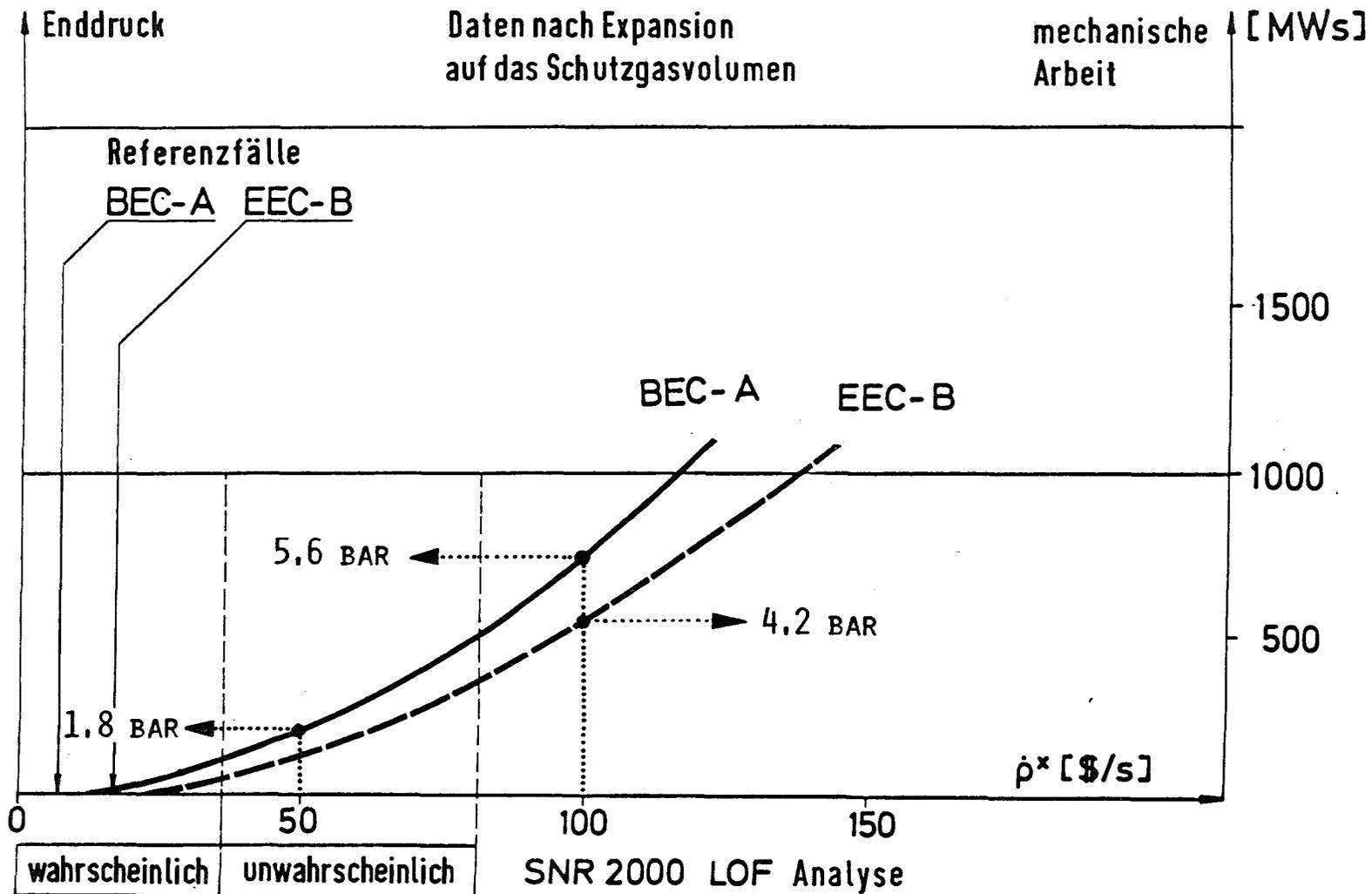


BILD 4.5-3 Freigesetzte mechanische Energie bei Expansion des verdampften Brennstoffs auf das verformte freie Volumen im Reaktortank als Folge einer energetischen Kernzerlegung in Abhängigkeit von der Reaktivitätsrampe am Umschaltspunkt zur Kernzerlegungsphase beim Durchsatzstörfall (BEC-A und EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie)

Der Bereich über 80  $\text{g/sec}$  wurde untersucht, um zu ermitteln, bei welcher Höhe der Umschaltrampe Grenzen der Belastbarkeit des heute vorgesehenen Reaktortankentwurfs erreicht werden können. Die dabei ermittelten Grenzwerte, bezogen auf die realistisch zu erwartenden Werte, können im Sinne von Sicherheitsfaktoren interpretiert werden. Die voraussichtlich beherrschbaren mechanischen Energiefreisetzung für den SNR-2000 sind ohne detaillierte strukturdynamische Analyse nur schwer zu ermitteln. Einfache Abschätzungen mittels der Proctor-Formel /64/ und die Extrapolation der für den SNR-300 vorgegebenen Werte /52, 53/ für die Grenzbelastbarkeit, ergeben für den Reaktortank des SNR-2000 zu erwartende Maximalwerte der beherrschbaren mechanischen Energiefreisetzung von  $\sim 500 - 600 \text{ MWsec}$ . Aus der Abbildung 4.5-3 läßt sich entnehmen, daß für den Reaktortank der so definierte Sicherheitsfaktor - also Grenzwert für die mechanische Belastung im Verhältnis zur erwarteten Belastung - auf der Grundlage dieser ersten Sicherheitsanalyse des SNR-2000 in der Größenordnung von 3 - 4 liegt. Für den SNR-2000 scheint nach den ersten Abschätzungen eine höhere Sicherheitsreserve für den Reaktortank als für die Primärkreisläufe zu bestehen.

Die nach Expansion der Brennstoffdampfblase auf das gedehnte Covergasvolumen verdampfte Brennstoffmenge liegt für die Referenzfälle beider Corekonfigurationen bei wenigen Kilogramm Brennstoff. Für die Übergaberampen von 50  $\text{g/sec}$  verdampfen beim Störfall L1 (BEC-A Core)  $\sim 870 \text{ kg}$  und bei K1 (EEC-B Core)

~ 480 kg Brennstoff, also weniger als 1 - 2% des Coreinventars. Dies erhöht sich für die 100 \$/sec Rampen weiter auf ~ 2000 kg für L2 (BEC-A Core) bzw. ~ 1600 kg für K2 (EEC-B Core) (3 - 4% des Coreinventars).

Der Störfallverlauf über die erste Exkursion hinaus wird beim SNR-2000 wesentlich durch die großen Anteile des geschmolzenen Coreinventars bestimmt. Der relativ geringe Druckaufbau im Core dürfte insbesondere für die sogenannten Referenzfälle kaum ausreichen, große Teile des Brennstoffinventars aus dem Core zu befördern. Selbst bei den milden Störfallabläufen im "wahrscheinlichen" Bereich liegen nach dem primären "burst" 50 - 60% (entsprechend ~ 25 - 30 t) des Coreinventars in geschmolzener Form vor. Durch eine Re-kompaktion des Corematerials bei Nachwärmeniveau könnten erneut kritische Anordnungen im Corebereich entstehen.

Eine lückenlose mechanistische Beschreibung der Störfallvorgänge nach der ersten Exkursion ist jedoch auf Grund des derzeitigen Kenntnisstandes nicht möglich. Zur Abschätzung des Rekritikalitätspotentials eines großen Brutreaktors wurde in erster Näherung /45/ so vorgegangen, daß definierte Poolkonfigurationen mit verschiedener Geometrie und Materialzusammensetzung in die sonst intakte Corestruktur eingebettet und der Kritikalitätszustand des Gesamtsystems von Brennstoffpool und Restreaktor untersucht wurde. In diesem Zusammenhang wurden 1- und 2-dimensionale stationäre Transportrechnungen für verschiedene Poolanordnungen durchgeführt. Als wesentliches Ergebnis dieser Analyse zeigt sich, daß die "kritischen" Poolhöhen für Brennstoff/Stahl-Pools aber auch für reine Brennstoffpools beim SNR-2000 weit über den etwa von Fauske /47, 54, 55/ angegebenen thermodynamischen Stabilitätsgrenzen liegen.

Beim SNR-2000 bleibt während der Einleitungsphase des LOF-Störfalls /7/ der Stahlanteil im Core größtenteils erhalten. Die Stahlverdampfung kann deshalb als zusätzlicher starker Dispersionsmechanismus in Rechnung gestellt werden. Zusätzlich ermöglicht dieser hohe Stahlanteil im Core eine schnellere Ejektion des Zweiphasengemisches aus dem Core /46/. Die Analyse /45/, die nur eine erste Näherung in der Untersuchung des Kritikalitätsverhaltens von Brennstoffpools im SNR-2000 darstellt, zeigt, daß sich Rekritikalitäten im Core nicht ausschließen lassen. Aufgrund der in einem Brennstoff/Stahlgemisch mit internen Wärmequellen vorhandenen Dispersionsmechanismen werden diese Rekritikalitäten jedoch als nicht-energetisch /42, 47, 50/ angesehen.

Durch die großen Massen beschmolzenen Corematerials sind auch die Randbedingungen für den Einbau eines tankinternen Kernfängers festgelegt. Dabei muß sorgfältig geklärt werden, ob 20 - 30 t Brennstoff unterkritisch und kühlbar in einem internen Corecatcher sicher eingeschlossen werden können.

## 5. EINFLUSS VON ENTWURFSMODIFIKATIONEN AUF DEN ABLAUF EINES KÜHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALLES IM SNR-2000

Im Rahmen der Sicherheitsanalyse des vorläufigen Referenzentwurfs des SNR-2000 wurde die Auswirkung von zwei Designmodifikationen auf das Störfallverhalten während eines Kühlmitteldurchsatzstörfalles untersucht. Durch diese Entwurfsänderungen sollten die Voiddrampen, die durch die Siedevorgänge im Kern verursacht werden, reduziert und damit auch die Energiefreisetzung bzw. die Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs bei einem hypothetischen Störfall verringert werden.

- 1) Für das BEC-A Core wurde eine wesentlich langsamere Pumpenauslaufkennlinie gewählt. Diese Retardierung des Pumpenauslaufs kann z.B. durch Schwungräder in den Kühlmittelpumpen erreicht werden. Besondere Beachtung verlangen hierbei aber Thermoschockprobleme die in Verbindung mit einer Schnellabschaltung des Reaktors entstehen können.
  
- 2) Für das EEC-B Core wird angenommen, daß jedes Brennelement mit einer vorgeschalteten Durchflußdiode im Brennelementfluß /57/ mit richtungsabhängigen Drosselungseigenschaften ausgestattet ist. Dadurch soll die durch Sieden oder Brennstoff/Natriumreaktion initiierte Strömungsumkehr verzögert werden.

## 5.1 EINFLUSS EINER LANGSAMEN PUMPENAUFLAUFKENNLINIE AUF DEN VERLAUF DES KÜHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALLES IM BEC-A CORE

---

Bei Verwendung der üblichen Pumpenauslaufkennlinie reduziert sich der Massendurchsatz nach  $\sim 4$  sec auf 50% des Nominaldurchsatzes. Eine weitere Reduktion führt nach  $\sim 2$  sec zu Siedebeginn an der oberen Corekante. Für die langsame Pumpenauslaufkennlinie werden 50% des Massendurchsatzes erst nach mehr als 20 sec erreicht. Sieden wird dabei im unteren Bereich des oberen axialen Blankets nach  $\sim 34$  sec initialisiert. Wegen der sehr niedrigen Leistungsdichte in dieser Region wandert die Siedefront nur sehr langsam in den Kernbereich ein. Strömungsumkehr wird  $\sim 0.7 - 0.8$  sec nach Siedebeginn erreicht, im Vergleich zu  $0.2 - 0.3$  sec für die normale Pumpenauslaufkennlinie. Im Anfangsstadium des Strömungstransienten unterscheidet sich die Geschwindigkeit der Siedefront im höchstbelasteten Kühlkanal wesentlich von der mit normalem Pumpenauslauf. Überschreitet die Siedefront jedoch die Kernmittelebene (Zone maximaler Stableistung), so führt eine vergleichbare Verdampfung des auf der Hüllrohroberfläche zurückgebliebenen Natriumrestfilms zu ähnlichen Geschwindigkeiten der unteren Phasengrenze der Siedefront. Dies resultiert schließlich in ähnlichen Reaktivitätsrampen zum Zeitpunkt der Erreichens des Umschaltkriteriums zur Coredisasassembly. Eine Änderung der Pumpenauslaufkennlinie beeinflusst nur den ersten Teil des Siedeverhaltens in den Kühlkanälen, in späteren Phasen wird die Entwicklung der Siedefront dominierend von der axialen Leistungsverteilung der Pins bestimmt und nur unwesentlich vom Druckabfall im Kühlmittelintrittsplenum. In der Tabelle 5.1-1 werden die wesentlichen Störfalldaten zum Zeitpunkt des Umschaltens zur Kernzerlegungsphase für die Störfälle mit normaler und langsamer Pumpenauslaufkennlinie verglichen.

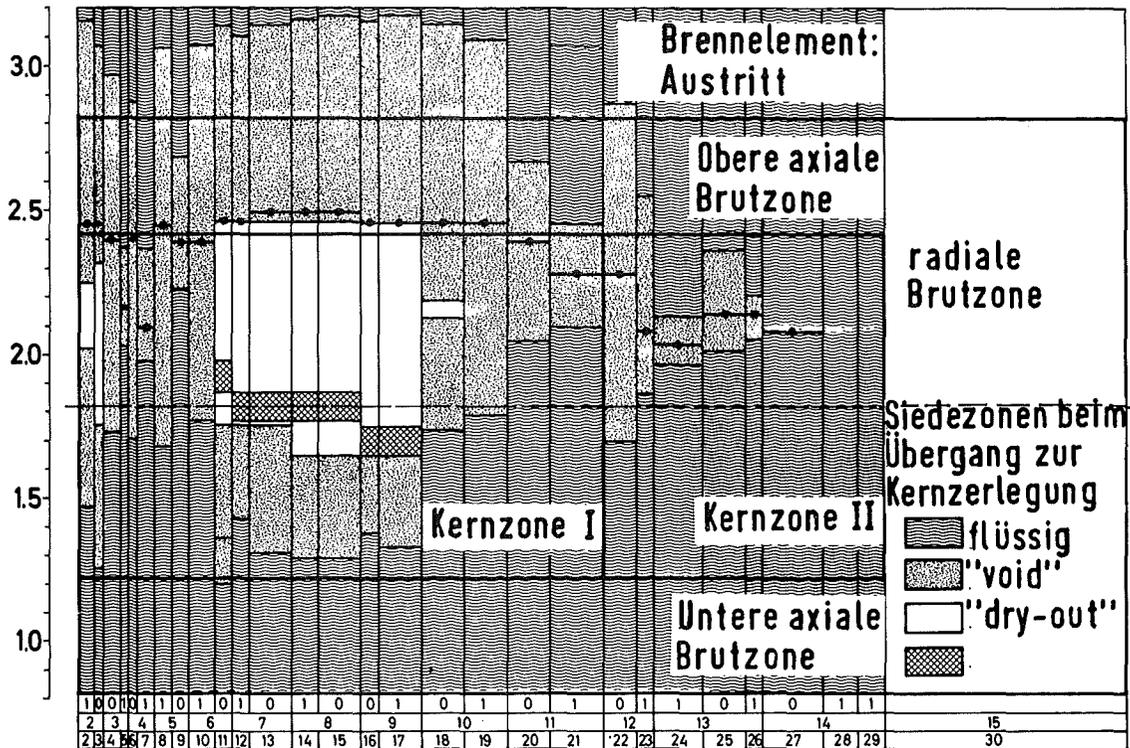


BILD 5.1-1 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen als Folge von Kühlmittelsieden am Umschaltunkt zur Kernzerlegungsphase (BEC-A Kernkonfiguration, langsame Pumpenauslaufkennlinie)

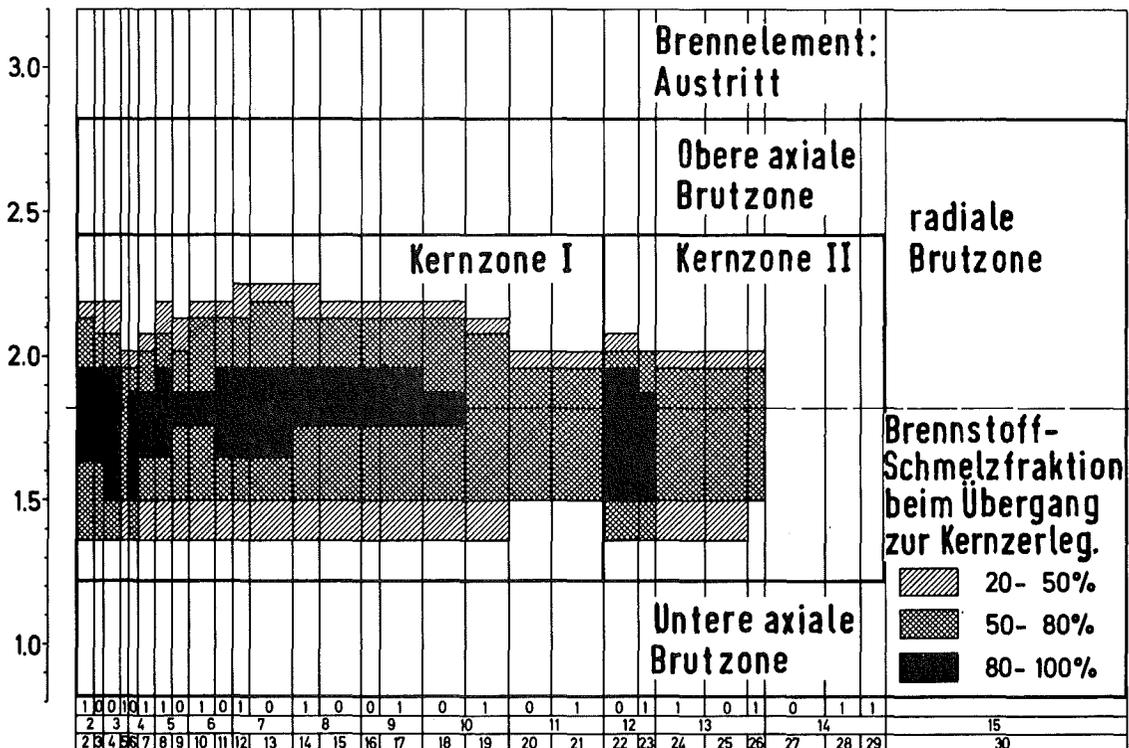


BILD 5.1-2 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraction am Umschaltunkt zur Kernzerlegungsphase als Folge des Durchsatzstör-falls (BEC-A Kernkonfiguration, langsame Pumpenauslaufkennlinie)

Kernkonfiguration		BEC-A	
Massendurchsatzreduktion		normal	langsam
Zeitpunkt des Umschaltens zur Disassemblyphase	sec	7.712	35.423
Normierte Leistung	-	167	166
Nettoreaktivität	§	0.976	0.972
Anteil des gevoideten Corebereichs:	Zone I	61	64
	Zone II	17	17
Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars	%	32.8	34.8
Reaktivitätsrampe (Netto-Doppler)	§/sec	7.3	11.7

Tabelle 5.1-1 Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase bei verschiedenen Pumpenauslaufkennlinien (BEC-A Core)

Auf den Abbildungen 5.1-1 und 5.1-2 ist die kühlkanalabhängige Verteilung der Zweiphasenzonen und der Brennstoff-Schmelzfraktion als Folge des Kühlmitteldurchsatzstörfalles mit langsamer Auslaufkennlinie am Umschaltpunkt zur Disassemblyphase dargestellt. Ein Vergleich mit dem Corezustand bei normalem Pumpenauslauf zeigt, daß ein etwas größerer Bereich in der ersten Corezone aufgesiedet ist und auch etwas mehr Brennstoff in geschmolzener Form vorliegt. Trotz des geringeren Kühlmittelinventars besteht weiterhin die Möglichkeit für einzelne Brennstoff/Natriumreaktionen nach Pinversagen, da teilweise Gebiete hoher Schmelzfraktion mit noch nassen Coregebieten überlappen. Daher wurde auch für die Analyse des Kühlmitteldurchsatzstörfalles mit langsamer Pumpenauslaufkennlinie

während der Disassemblyphase Brennstoff/Natriumreaktionsprozesse mit KADIS simuliert (BNR-Parameter wie Tabelle 4.2.1-2). Die wesentlichen Resultate der Disassemblyphase sind in Tabelle 5.1-2 zusammengestellt und werden mit dem Referenzfall LO verglichen. Der Leistungsverlauf bzw. das Anwachsen der Energie im geschmolzenen Brennstoff für beide Störfälle können zusätzlich aus den Abbildungen 5.1-3 und 5.1-4 entnommen werden. Die etwas höhere Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs für den Störfall mit langsamer Pumpenauslaufkennlinie resultiert im wesentlichen aus den etwas höheren Anfangswerten der Energie zu Beginn der Disassemblyphase. Zusätzlich trägt die etwas steilere Übergaberampe zur weiteren Erhöhung der Energie und Masse im geschmolzenen Brennstoff bei. Durch das etwas geringere Kühlmittelinventar wird die Wirkung von BNR-Prozessen und damit die Corematerialbewegung geringfügig herabgesetzt. Insgesamt resultieren diese Effekte in einer geringfügig höheren Energiefreisetzung (120 MWsec) bei Verwendung einer langsamen Pumpenauslaufkennlinie. Die Abbildung 5.1-5 stellt die Verteilung der geschmolzenen Coreanteile nach Beendigung der ersten Exkursion dar. Aufgrund der Leistungsverteilung im BEC-A Core sind wieder die Bereiche von Kanal 9 - 19 axial am weitesten aufgeschmolzen.

Zusätzlich wurden die Konsequenzen für eine Übergaberampe in dem als "wenig wahrscheinlich" bezeichneten Bereich untersucht und mit einem Störfall mit normaler Pumpenauslaufkennlinie verglichen. Es sollen damit auch stark erhöhte Umschaltrampen zur Disassemblyphase, deren Ursache im massiven Versagen von Brennstäben liegen könnte, abgedeckt werden. Dabei wurde eine Übergaberampe von 50 \$/sec ausgewählt (Tabelle 5.1-3). Die Ergebnisse der Störfälle mit unterschiedlicher Pumpenauslaufkennlinie unterscheiden sich dabei wieder nur unwesentlich voneinander. Die Untersuchungen des Kühlmitteldurchsatzstörfalles für den BEC-A Kern mit langsamer Pumpenauslaufkennlinie zeigen, daß durch eine derartige konstruktive Maßnahme der Siedebeginn zeitlich verzögert werden kann und damit länger die Möglichkeit besteht, das Schutzsystem nach anfänglichem Versagen doch noch zu ak-

SNR-2000		LOF-ANALYSE	
BEC-A		STÖRFALL MIT LANGSAMEM PUM-PENAUFLAUF L5	REFERENZSTÖRFALL LO
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	11.7	7.3
Reaktivität am Umschaltpunkt	\$	0.972	0.976
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	166	167
Maximale normierte Leistung	-	167	169
Freigesetzte Energie	MWsec	4896	4975
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	10186	9619
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		2.04	1.92
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	24406	23472
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	%	44	43
Gesamtcoreinventar			
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3347	3330
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3881	3875
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	1.66	1.63
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	17.98	19.35
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	18.98	18.05
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.43	4.95
Maximale axiale Verschiebung	cm	5.98	6.26

Tabelle 5.1-2 Wichtige Ergebnisse der Disassemblyphase des LOF-Störfalles mit langsamem Pumpenauslauf L5 verglichen mit dem Referenzstörfall LO

LEISTUNG (  $10^4$  MWs )

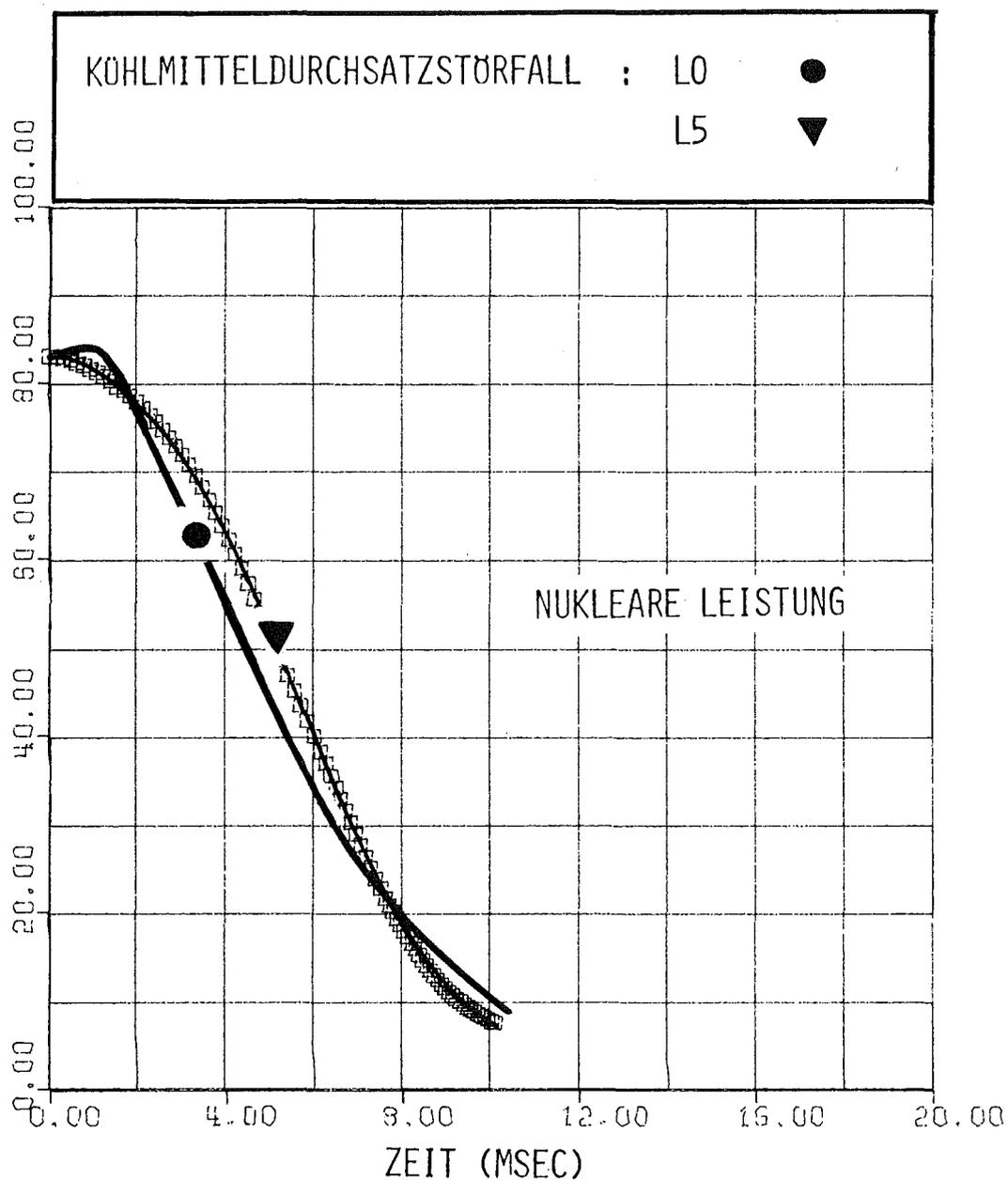


BILD 5.1-3 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF IN DER DISASSEMBLY-PHASE BEI VERWENDUNG EINER LANGSAMEN PUMPEN-AUSLAUFKENNLINIE ( STÖRFALL L5 ) VERGlichen MIT DEM REFERENZSTÖRFALL L0

BEC-A CORE

ENERGIE (  $10^2$  MWs )

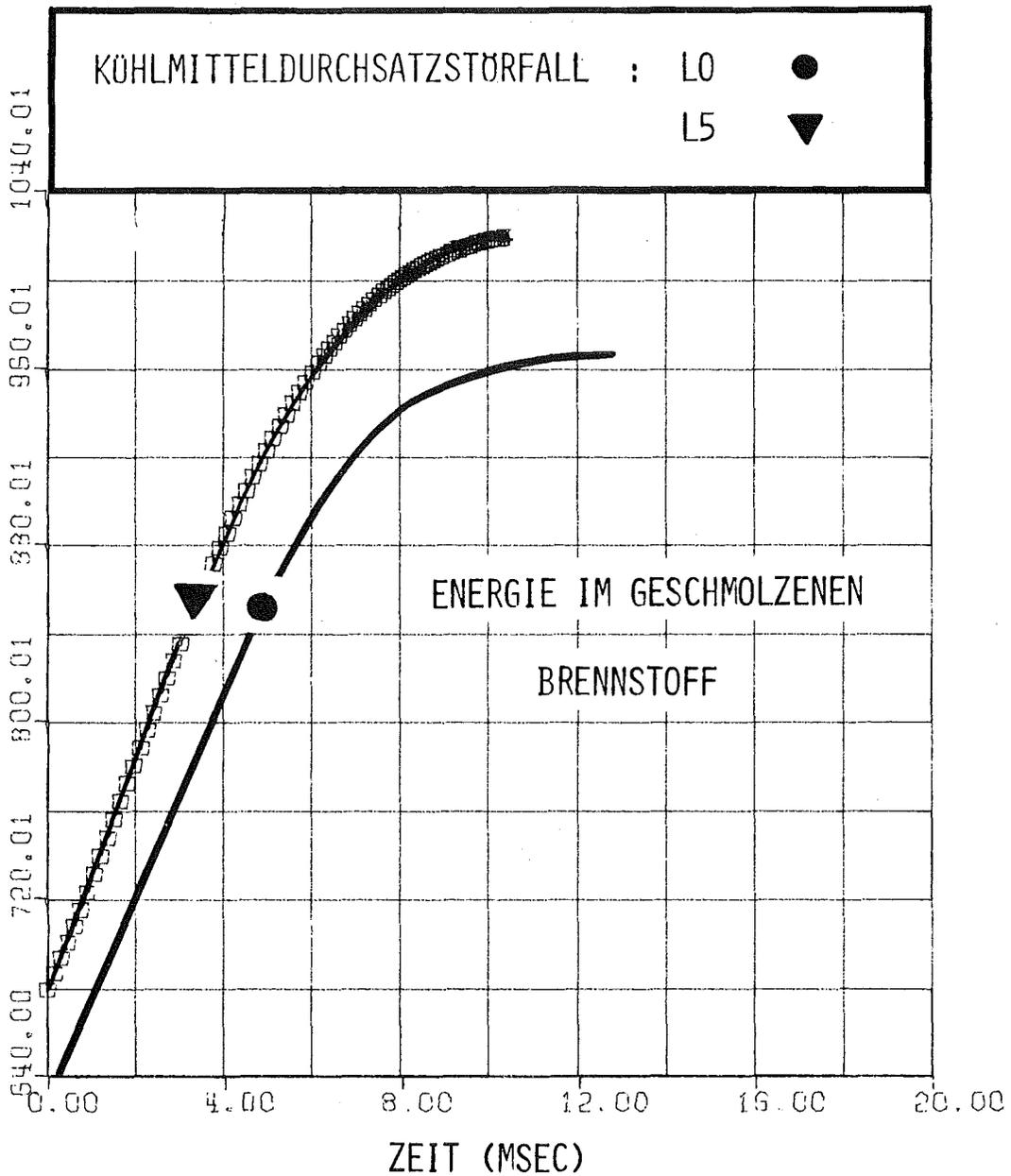


BILD 5.1-4 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION BEI VERWENDUNG EINER LANGSAMEN PUMPENAUFLAUFKENNLINIE ( STÖRFALL L5 ) VERGlichen MIT DEM REFERENZSTÖRFALL L0  
BEC-A CORE

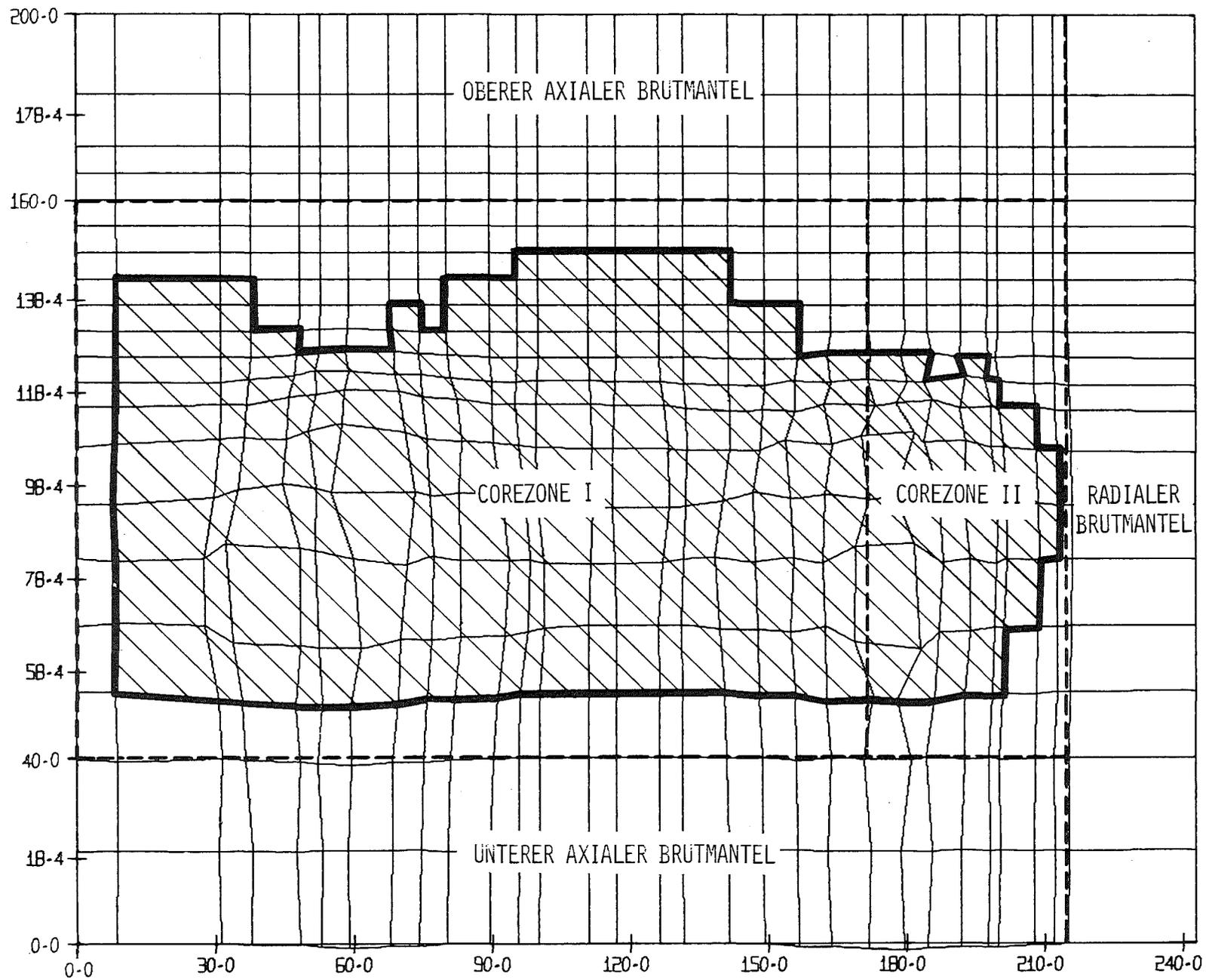


BILD 5.1-5 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENEN CORE -  
 BEREICHEN  ( $T > T_{MELT}$ ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
 FÜR DEN STÖRFALL L5 ( LANGSAME PUMPENAUFLAUFKENNLINIE )

SNR-2000		LOF-ANALYSE	
BEC-A		STÖRFALL MIT LANGSAMEM PUMPENAUSLAUF BEI ERHÖHTER UMSCHALTRAMPE	STÖRFALL L1
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	50	50
Reaktivität am Umschaltpunkt	β	0.971	0.976
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	166	167
Maximale normierte Leistung	-	876	893
Freigesetzte Energie	MWsec	18611	18631
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	21141	20370
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		4.23	4.07
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	35975	35310
Masse des geschmolzenen Brennstoffs Gesamtcoreinventar	%	65	64
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3737	3712
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	4811	4804
Maximaler Brennstoffdampfdruck	bar	30.04	29.54
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	22.21	21.46
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	27.85	26.44
Maximale radiale Verschiebung	cm	6.95	7.08
Maximale axiale Verschiebung	cm	7.58	7.43

Tabelle 5.1-3 Vergleich von Ergebnissen der Disassemblyphase für LOF-Störfälle mit normalem und langsamem Pumpenauslauf (BEC-A Core) bei erhöhter Umschaltrampe

tivieren. Offensichtlich können aber durch diese singuläre Designänderung eines langsamen Pumpenauslaufs bei einem konventionellen Kernentwurf die Konsequenzen eines Kühlmitteldurchsatzstörfalles bei Versagen der Schutzsysteme nicht im positiven Sinne beeinflusst werden.

## 5.2 EINFLUSS VON STRÖMUNGSDIODEN IN DEN BRENNELEMENTFÜSSEN AUF DEN VERLAUF DES KÜHLMITTELDURCHSATZSTÖRFALLES IM EEC-B CORE

---

Während der verlangsamte Pumpenauslauf hauptsächlich den Beginn und die erste Phase des Siedevorganges verzögert, beeinflussen die Durchflußdioden den Voidprozess insbesondere während der Phase, wenn die Siedefront die Kernmittelebene überschreitet /7/. Der größte Reaktivitätsanstieg und damit auch der stärkste Leistungshub wird während eines Durchsatzstörfalles dadurch erreicht, daß die Siedefront mit maximaler Geschwindigkeit in axialer Richtung das Gebiet der maximalen positiven Voidreaktivität durchläuft. Da die Strömungsdioden mit richtungsabhängiger Drosselung gerade in diesen Gebieten das Vordringen der unteren Phase der Siedefront stark verzögern /7/, kann der Reaktivitäts- und Leistungsanstieg vor Erreichen des Disassemblykriteriums reduziert werden. Dies führt zu einem etwas mildereren Störfallverlauf bis zum Erreichen des Umschaltkriteriums zur Disassemblyphase (Tabelle 5.2-1).

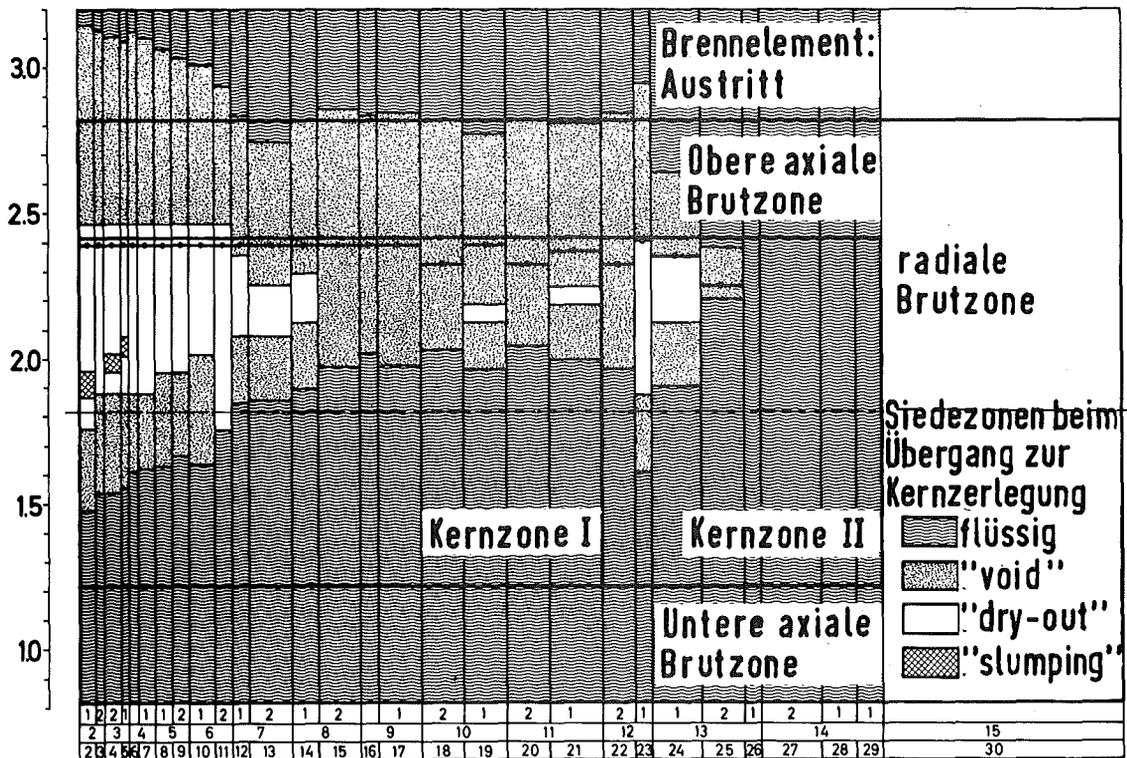


BILD 5.2-1 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Zweiphasenzonen als Folge von Kühlmittelsieden am Umschalt­punkt zur Kernzerlegungsphase (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie, Strömungsdiode­n in den Brennelementfüßen)

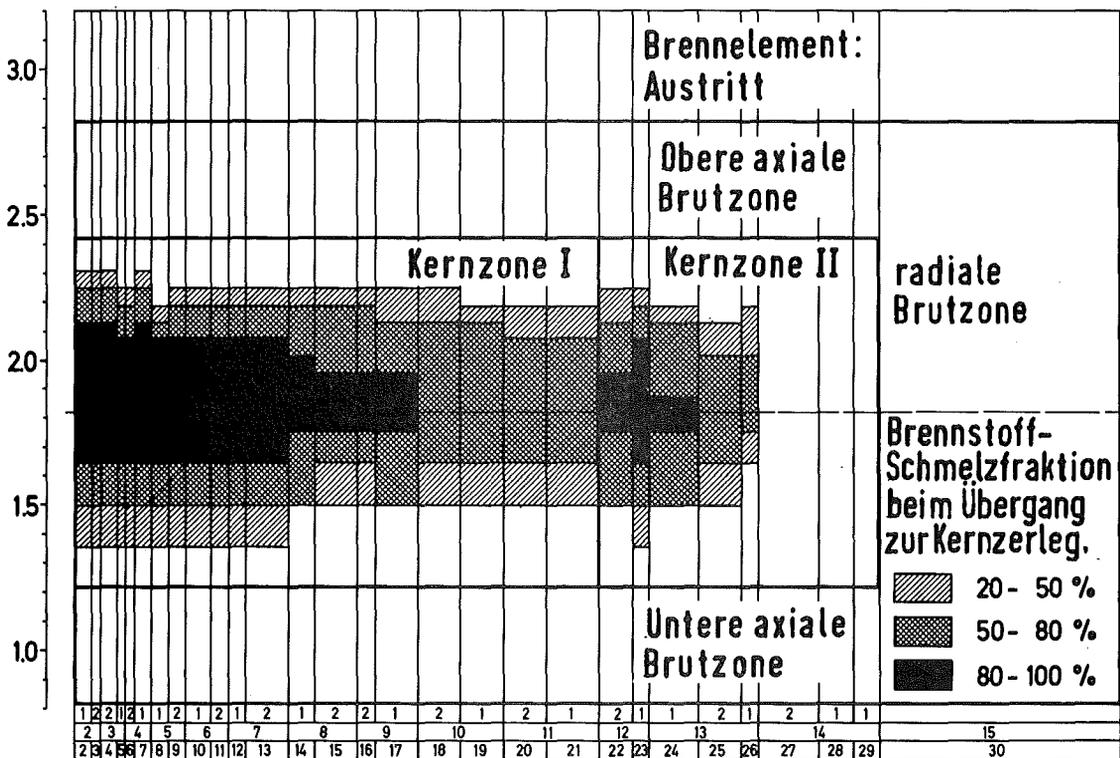


BILD 5.2-2 Kühlkanalabhängige axiale Verteilung der Brennstoff-Schmelzfraktion am Umschalt­punkt zur Kernzerlegungsphase als Folge des Durchsatzstör­falls (EEC-B Kernkonfiguration, normale Pumpenauslaufkennlinie, Strömungsdiode­n in den Brennelementfüßen)

Kernkonfiguration		EEC-B	
		konstant	variabel
Drosselung des Massendurchsatzes im Brennelementfuß			
Zeitpunkt des Umschaltens zur Disassemblyphase	sec	7.482	7.556
Normierte Leistung	-	253	215
Nettoreaktivität	§	0.980	0.981
Anteil des gevoideten Corebereiches:	Zone I	47	46
	Zone II	16	19
Anteil des geschmolzenen Brennstoffinventars	%	33.2	33.0
Reaktivitätsrampe (Netto-Doppler)	§/sec	16.57	15.23

Tabelle 5.2-1 Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfall-Simulation zum Zeitpunkt der Übergabe zur Disassemblyphase bei Verwendung von Strömungsdioden (EEC-B Core)

Da sich, wie aus den Abbildungen 5.2-1 und 5.2-2 ersehen werden kann, auch bei diesen Störfällen Gebiete hoher Schmelzfraction mit noch wenig gevoideten Gebieten überlappen, kann Pinversagen mit nachfolgender Brennstoff/Natriumreaktion erwartet werden. Daher wurde in der Disassemblyphase wieder eine BNR mit den in Tabelle 4.2.1-2 definierten Parametern initialisiert. Das niedrige Leistungsniveau und die etwas kleinere Umschaltrampe bedingen einen etwas weniger energetischen Verlauf in der Disassemblyphase (Tab. 5.2-2, Abb. 5.2-3 und 5.2-4), jedoch beeinflusst auch hier die Designänderung die Endresultate relativ gering. Die Abbildung 5.2-5 stellt wieder die geschmolzenen Coreanteile nach Beendigung des Disassemblyvorganges dar. Auch hier läßt sich wieder die für das EEC-B Core typische axiale Corebewegung feststellen.



LEISTUNG (  $10^4$  MWs )

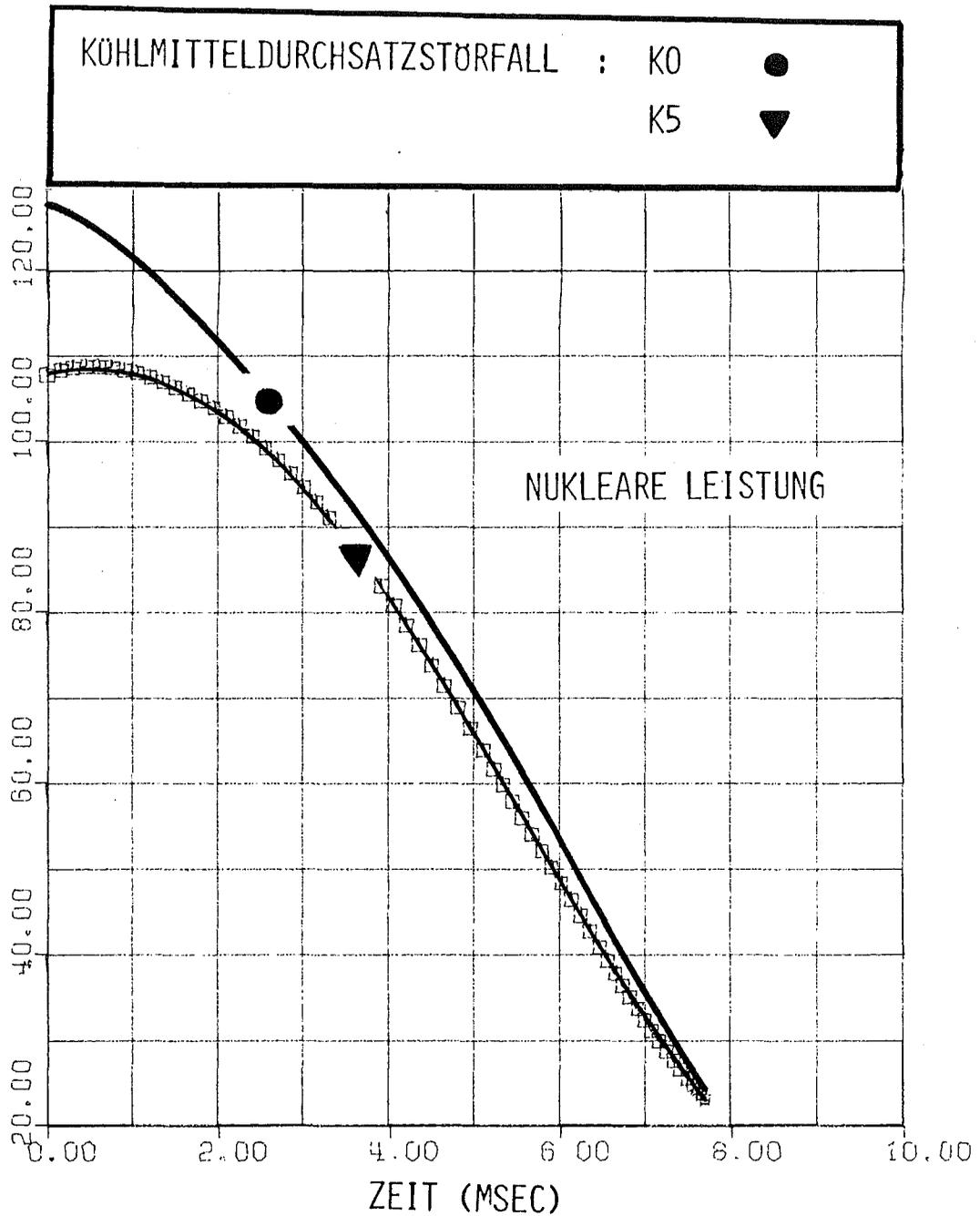


BILD 5.2-3 NUKLEARER LEISTUNGSVERLAUF IN DER DISASSEMBLY-PHASE BEI VERWENDUNG VON STRÖMUNGSDIODEN ( STÖRFALL K5 ) VERGlichen MIT DEM REFERENZ-STÖRFALL K0

EEC-B CORE

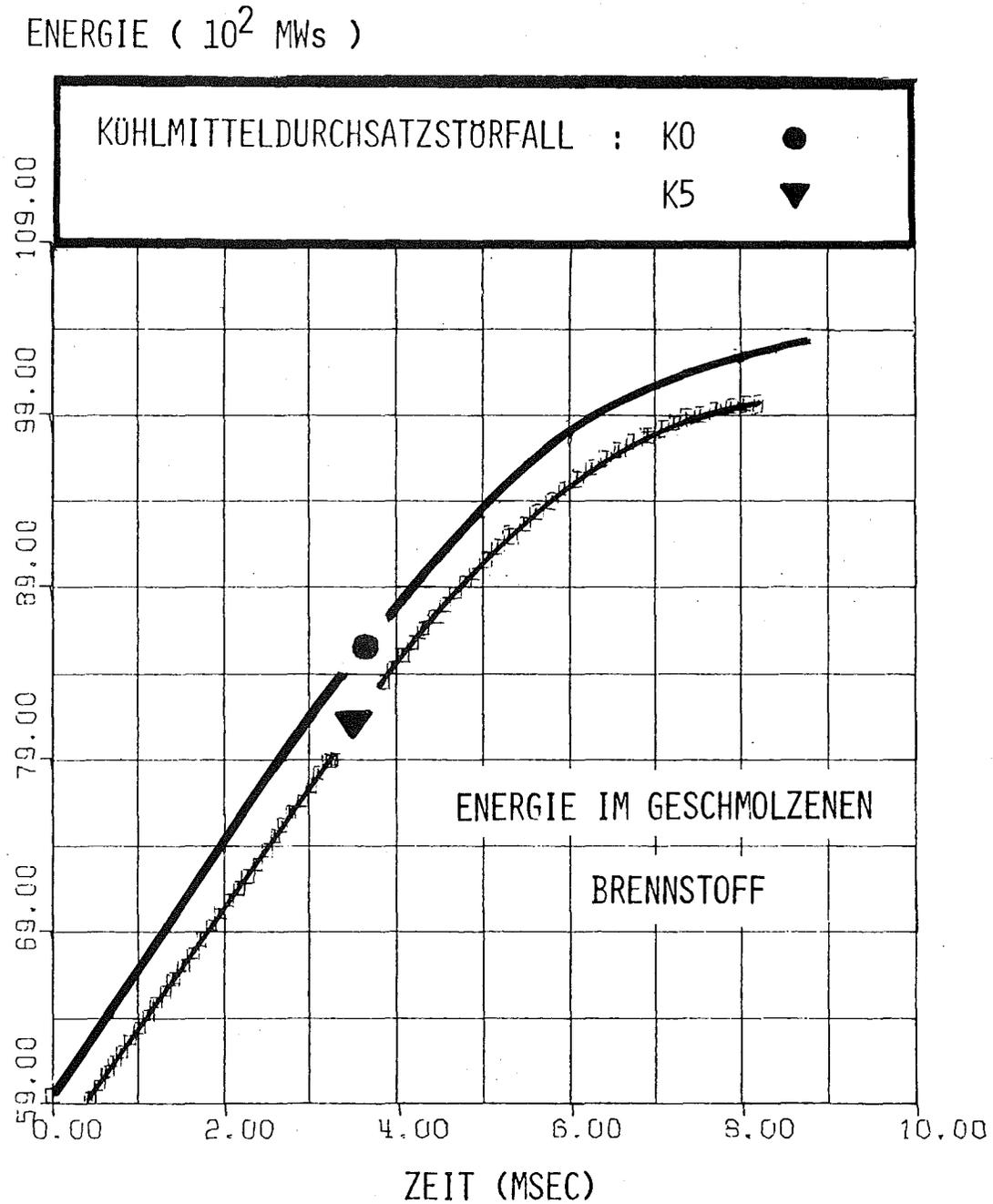


BILD 5.2-4 VERLAUF DER ENERGIE IM GESCHMOLZENEN BRENNSTOFF  
BIS ZUR BEENDIGUNG DER ERSTEN EXKURSION BEI  
VERWENDUNG VON STRÖMUNGSDIODEN ( STÖRFALL K5 )  
VERGLICHEN MIT DEM REFERENZSTÖRFALL K0

EEC-B CORE

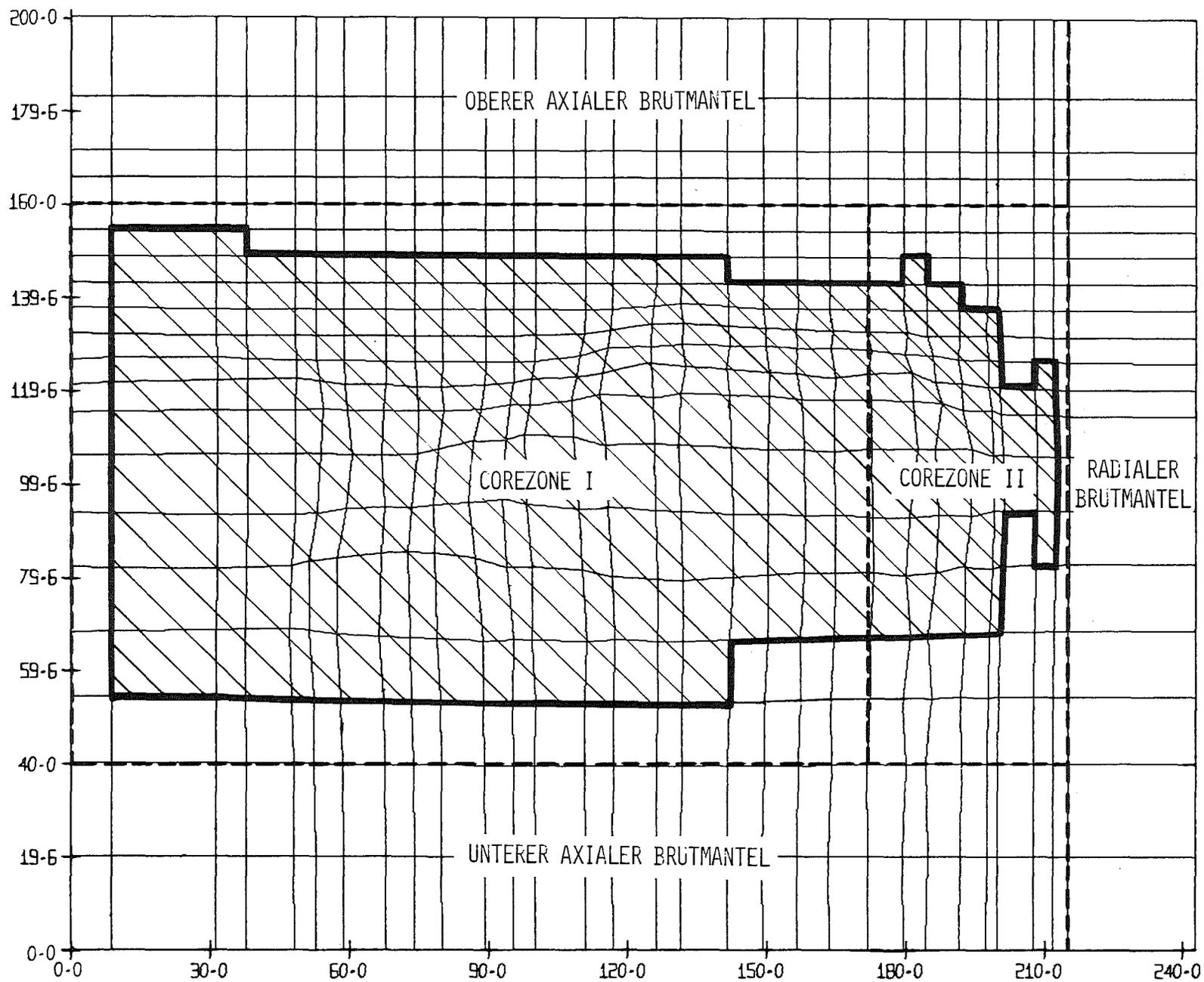
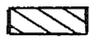


BILD 5.2-5 VERFORMTES LAGRANGE-NETZ MIT TEILWEISE UND TOTAL AUFGESCHMOLZENEN CORE -  
 BEREICHEN  ( $T > T_{MELT}$ ) NACH ERREICHEN ERSTER UNTERKRITIKALITÄT  
 FÜR DEN STÖRFALL K5 (STROMUNGSDIODEN IN DEN BRENNELEMENTFÜSSEN)

Zusätzlich wurde auch für den Störfall K5 bei Verwendung einer variablen Eintrittsdrosselung die Auswirkungen einer erhöhten Umschaltrampe von 50  $\text{g}/\text{sec}$ , die nur durch kohärentes Versagen der Brennstäbe am Ende der Einleitungsphase entstehen könnte, untersucht (Tab. 5.2-3). Die Ergebnisse liegen dabei auch von der mechanischen Energiefreisetzung etwas unter denen des Störfalls mit normalem Pumpenauslauf.

SNR-2000		LOF-ANALYSE	
EEC-B		STÖRFALL MIT RICHTUNGSABHÄN- GIGER EINTRITTS- DROSSELUNG BEI ERHÖHTER UMSCHALTRAMPE	STÖRFALL K1
Rampe am Umschaltpunkt	\$/sec	50	50
Reaktivität am Umschaltpunkt	¢	0.981	0.980
Normierte Leistung am Umschaltpunkt	-	215	253
Maximale normierte Leistung	-	805	731
Freigesetzte Energie	MWsec	17299	16376
Energie im geschmolzenen Brennstoff	MWsec	18909	18226
Energie im geschmolzenen Brennstoff (Vollastsekunden)		3.78	3.65
Masse des geschmolzenen Brennstoffs	kg	36889	36298
Masse des geschmolzenen Brennstoffs Gesamtcoreinventar	%	67	66
Mittlere Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	3565	3541
Maximale Temperatur des geschmolzenen Brennstoffs	K	4663	4601
Maximaler Brennstoff- dampfdruck	bar	20.73	17.60
Maximale radiale Geschwindigkeit	m/sec	19.35	19.79
Maximale axiale Geschwindigkeit	m/sec	26.20	25.52
Maximale radiale Verschiebung	cm	4.67	5.23
Maximale axiale Verschiebung	cm	8.05	7.19

Tabelle 5.2-3 Vergleich von Ergebnissen der Disassemblyphase für LOF-Störfälle mit richtungsabhängiger und normaler Eintrittsdrosselung bei erhöhter Umschaltrampe

### 5.3 ZUSAMMENFASSUNG DER STÖRFALL-ERGEBNISSE BEI VERWENDUNG EINER LANGSAMEN PUMPENAUSLAUFKENNLINIE BZW. BEI VERWENDUNG VON STRÖMUNGSDIODEN

---

Die Ergebnisse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle in Kapitel 5 lassen darauf schließen, daß durch isolierte Designmodifikationen wie langsameren Pumpenauslauf bzw. durch Verwendung von Strömungsdioden die Störfallkonsequenzen nur gering beeinflußt werden können. Der Vorteil des langsameren Pumpenauslaufs liegt in einer Verzögerung des Siedebeginns und einem anfänglich nur sehr langsamen Eindringen der Siedefront in den Kern. Dies führt zu relativ geringen Voiddrampen in der Phase des Störfallbeginns. Die richtungsabhängige Drosselung des Kühlmitteldurchflusses reduziert stark die Geschwindigkeit der Siedefront in den Gebieten maximalen positiven Voids. Eine Kombination beider Designmaßnahmen könnte daher durch die erhöhte Inkohärenz der kanalabhängigen Siedeinitialisierung zu einer graduellen Reduktion der Voidgeschwindigkeit während der gesamten Einleitungsphase führen - und dies würde schließlich in kleineren Void-Übergeberampen zur Coredisassembly resultieren. Auch für große konventionelle Reaktorkerne würde der Störfall dann mit großer Wahrscheinlichkeit in eine sogenannte "Transition phase" einlaufen. Gemeinsames Ziel dieser Designänderungen ist dabei das Störfallverhalten von natriumgekühlten schnellen Brütern so entscheidend zu beeinflussen, daß die Störfallkonsequenzen merkbar gemildert werden bzw. der Störfall vorzeitig ohne Corezerstörung beendet wird. Erste Untersuchungen /58, 59/ zeigen, daß durch eine geeignete Kombination von Entwurfsmaßnahmen, wie langsamem Pumpenauslauf, negativer Reaktivitätsrückwirkung einer möglichen radialen thermischen Coreexpansion, Reduktion des maximalen positiven Voidkoeffizienten und verstärkte Naturkonvektion, globale Siedevorgänge bei einem Kühlmitteldurchsatzstörfall möglicherweise verhindert werden können.

## 6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

In der vorliegenden Studie wurde im Anschluß an /7/ die Kernzerlegungs-(Disassembly-)phase hypothetischer Störfälle im SNR-2000 untersucht. Dabei wurde das Verhalten des Reaktorkerns bei Leistungs- und Kühlmitteldurchsatzstörfällen analysiert. Die unterschiedlichen Verhältnisse des Reaktorzustandes bei verschiedenen Abbrandstufen wurde dadurch berücksichtigt, daß zwei Abbrandzustände des Kerns - der Anfang des Gleichgewichtszyklus A (BEC-A) und das Ende des Gleichgewichtszyklus B (EEC-B) für die Störfallanalyse ausgewählt wurden. Für die Untersuchungen zur Disassemblyphase wurde das Programm KADIS verwendet.

Diese erste Sicherheitsanalyse für den SNR-2000 sollte vor allem eine Klärung einiger grundsätzlicher Fragen bringen: Ergeben sich aus der Analyse hypothetischer Störfälle Argumente, die eine Begrenzung der Leistungsgröße konventioneller Reaktorkerne unter 2000 MWe ratsam erscheinen lassen, werden für diese großen Kerne Störfallabläufe dominant, die bei kleinen Kernen nicht mit der gleichen Schärfe bestimmend sind und kann der Störfallablauf durch kleine Designmodifikationen wesentlich beeinflusst werden.

Für die untersuchten Leistungsstörfälle ist je nach Größe der Einleitungsrampe ein Einlaufen in eine Transitionphase bzw. ein direktes Einlaufen in eine Disassemblyphase möglich. Dabei führen nur Rampen, die von ihrer Größe her als unwahrscheinlich angesehen werden müssen, zu prompt kritischen Leistungsexkursionen. Der Disassemblyvorgang ist jedoch auch in diesen Fällen nur schwach energetisch, dürfte jedoch ausreichen, um große Mengen Kernmaterial aus dem aktiven Kernbereich zu entfernen und eine endgültige unterkritische Konfiguration im Bereich des Cores zurückzulassen. Erste Abschätzungen der mechanischen Belastung der Tankdeckelstruktur (wobei nur die Expansion der heißen Brennstoffdampfblase berücksichtigt wurde) zeigen, daß die mit dieser Methode berechneten mechanischen Energiefreisetzung bei den schweren Leistungsstörfällen nur zu Belastungen von einigen 100 MWsec führen und mit großer Wahrscheinlichkeit Tank und Primärsystem nicht direkt gefährden. Die Leistungsstörfälle

mit den realistischen Einleitungsrampen führen in der vorliegenden Analyse auf Grund der pessimistisch gewählten Modellparameter (Versagenskriterien etc.) nicht zu einem "Early shut-down" mit weitgehend intakter Geometrie und der Möglichkeit des "In-place cooling". Durch Blockadebildung des aus den defekten Brennstäben ausgetretenen Brennstoffs können in den betroffenen Brennelementen Siedevorgänge mit nachfolgender Stahl- und Brennstoffbewegung auftreten. Der Störfall könnte dann in eine LOF-ähnliche Transition- und Boil-up-Phase einlaufen. Führen milde Exkursionen zu "Blowdown"-Vorgängen, bei denen wesentliche Anteile des Inventars endgültig aus dem Kernbereich ejeziert werden, so könnte der Störfall ohne extreme mechanische Belastungen der Tankstruktur in dieser Phase beendet werden. Allerdings können auch bei ungenügender Dispersion bzw. Ejektion des Kernmaterials, bei Reentry-Vorgängen von bereits dispergiertem Brennstoff sowie bei Instabilitäten der Brennstoffpools erneut kritische Anordnungen im Corebereich entstehen. Eine eindeutige Beantwortung der Frage, ob auch energetische Rekritikalitäten eintreten werden, die in einer 2. Exkursion das Containment gefährden könnten, ist aufgrund der heute vorliegenden theoretischen und experimentellen Kenntnisse noch nicht eindeutig zu beantworten. Jedoch deuten die bisherigen Arbeiten /47, 54, 55, 56/ darauf hin, daß Dispersionsmechanismen eine energetische Rekritikalität weitgehend verhindern.

Die Ergebnisse der bis zur Beendigung der primären Exkursion analysierten hypothetischen Leistungsstörfälle liefern keine Argumente, die eine Begrenzung der Leistungsgröße großer natriumgekühlter Schneller Brutreaktoren unter 2000 MWe nahe legen. Jedoch müssen Vorkehrungen getroffen werden, 50 - 70% des Gesamtcoreinventars in einem Kernfänger unterkritisch und langfristig kühlbar einzuschließen.

Die Analyse der Kühlmitteldurchsatzstörfälle zeigt, daß für den SNR-2000 das Auftreten einer Mischform von LOF und TOP gegen Ende der Einleitungsphase zu erwarten ist. Der durch die Voidrampen ausgelöste Leistungstransient führt zu Brennstabversagen in zum Teil noch "nassen" Reaktorbereichen durch starken Spaltgasdruckaufbau in den Pins. Diese Störfallform tritt für den SNR-2000 in deutlicherer Schärfe hervor als beim SNR-300 /3, 42/. Dies wird vor allem durch den größeren maximalen positiven Void und die höhere lineare Brennstableistung verursacht.

Da mit CAPRI-2 diese LOF driven TOP-Störfallphase zur Zeit nicht mechanistisch beschrieben werden kann, mußte versucht werden, auf der Grundlage sorgfältiger Analysen des Reaktorzustandes den weiteren Störfallverlauf während der Disassemblyphase möglichst genau vorauszusagen. Wie in Kapitel 4.5 gezeigt wurde, führen auch die Kühlmitteldurchsatzstörfälle wahrscheinlich zu keinen Belastungen, bei der die Integrität des Tank/Primärsystem nicht mehr gewährleistet werden kann. Jedoch kann ein Erreichen der Auslegungsgrenzen, insbesondere für die Primärsysteme nicht ganz ausgeschlossen werden.

Auch bei mildem Störfallverlauf liegen dabei nach dem ersten neutronischen Abschalten  $\sim 60 - 80\%$  des Coreinventars in geschmolzener Form vor. Die Beherrschbarkeit dieser relativ großen Brennstoffmassen stellt für den SNR-2000 ein zentrales Problem dar. Auf der Basis dieser ersten Analyse können Aussagen über einen sicheren Einschluß und die langfristige Kühlung des geschmolzenen Brennstoffs innerhalb des Systems reaktortank/Doppeltank nicht gemacht werden, da insbesondere durch die enge räumliche Kopplung von Reaktorkern und Kernfänger auch mechanische Belastungen der Kernfängerstrukturen möglich werden. Dabei muß die Dichtheit des Doppeltanksystems gewährleistet sein, damit genügend Natrium für die Kühlung des geschmolzenen Brennstoffs zur Verfügung steht.

Die Untersuchungen der Kühlmitteldurchsatzstörfälle bei geringfügigen Änderungen des vorläufigen Designs des SNR-2000 zeigen, daß diese Entwurfsänderungen zwar punktuell veränderte Störfallverläufe bedingen, daß aber durch isolierte Maßnahmen, wie verlangsamtem Pumpenauslauf oder Einbau von Durchflußdioden in die Brennelementfüße die Konsequenzen eines Bethe-Tait Störfalles nur unwesentlich beeinflusst werden können.

Eine grundsätzliche Änderung im Störfallverhalten kann wahrscheinlich nur durch den Übergang zu Reaktorkernen mit sehr geringem positiven Voidkoeffizienten /60, 61, 62/ (heterogene Cores) oder durch ein Kernkonzept, bei dem eine starke thermische Expansion der Gitterplatte und des übrigen Cores zugelassen wird, was zu zusätzlichen negativen Reaktivitätsbeiträgen führt /58, 59/, erreicht werden.

Die allgemeine Aussage von Bleiweis - siehe Kap. 2.4-7 - über einen direkten linearen Zusammenhang zwischen Coregröße und Störfallkonsequenz (Energie und Masse des geschmolzenen Brennstoffs) kann auf Grund der vorliegenden Analyse (im Vergleich zu /3/) nicht bestätigt werden. Die tatsächlich freigesetzte Energie hängt dabei in stark sensitiver Weise vom Störfallverlauf in der Einleitungsphase ab, so daß die Störfallkonsequenz nicht zwangsläufig proportional der Coregröße sein muß.

Die Aussagen über den Störfallverlauf und die Energiefreisetzung bei den analysierten hypothetischen Störfällen sollte dabei noch unter folgenden Aspekten gesehen werden.

1. Es wurde in der Disassemblyphase der Druckaufbau durch Spaltgasfreisetzung nicht mitberücksichtigt und damit die Energiefreisetzung zum Teil erheblich überschätzt.

2. Eine weitere Auflösung der Kohärenzeffekte kann zu einer zusätzlichen Reduktion in der Energiefreisetzung führen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Testrechnungen mit dem Codesystem CAPRI-2/KADIS für den SNR-2000 (BEC-A Corezustand) durchgeführt, wobei der Reaktorkern nur durch 15 repräsentative Kühlkanäle dargestellt wurde. Die untersuchten TOP- (30  $\phi$ /sec, 1 und 3  $\beta$ /sec) und LOF-Störfälle im BEC-A Core führten im Gegensatz zu der "30 Kanalversion", mit der die Ergebnisse dieses Berichtes gewonnen wurden, stets zu stark überprompt kritischen Reaktivitätszuständen beim Einlaufen in die Disassemblyphase. Die zusätzlich höheren Übergaberampen und -leistungen führten i.a. zu einer Überschätzung der Energiefreisetzung um 10 - 20 %.

Dabei repräsentieren die CAPRI-Kanäle auch bei der 30-Kanalauflösung im Übergangsbereich von der 1. zur 2. Corezone noch durchschnittlich je 30 Brennelemente mit ungefähr 8000 Brennstäben, die sich per definitionem alle gleichartig verhalten. Die möglichen radialen, azimutalen und axialen Inkohärenzen von  $\sim$  8000 Pins werden also nicht berücksichtigt.

Um eine adäquate Beschreibung des Störfallablaufes zu erreichen, sollten demnach bei der Durchführung einer Störfallanalyse möglichst viele der nichtstatistischen Inkohärenzphänomene (Leistungsveriationen, Abbrandstufen usw.) im Core erfaßt werden.

Allgemein zeigen die Untersuchungen für den SNR-2000, daß nicht so sehr mechanische Belastungen der primären Exkursion die Störfallfolgen bestimmen, sondern daß bedingt durch die

großen geschmolzenen Brennstoffmassen Probleme des Verhaltens dieser Brennstoffpools, Probleme der Nachwärmeabfuhr, der Verteilung und Kühlung von Brennstoffschüttungen dominant werden.

Obwohl im Rahmen der Analyse hypothetischer Störfälle im SNR-2000 Teilbereiche aufgedeckt wurden, die zur Zeit noch mit großen Unsicherheiten behaftet sind, unterstützt die Untersuchung der in diesem Bericht betrachteten Störfallphase doch die Aussage, daß die Anforderungen bzgl. der Beherrschbarkeit von Konsequenzen, die sich aus der Analyse hypothetischer Störfälle ergeben, die Realisierbarkeit eines konventionellen Reaktorentwurfs für einen natriumgekühlten Schnellen Brutreaktor von 2000 MWe nicht grundsätzlich begrenzen.

## 7. ANHANG

Im vorliegenden Anhang werden einige für die KADIS-Rechnungen wichtige Eingabedaten wie Geometrie, Leistungsverteilung, Reaktivitätskoeffizienten etc. für die beiden untersuchten Abbrandzustände BEC-A und EEC-B dokumentiert. In Tabelle 7-1 wird dabei die Aufteilung der Brenn- bzw. Brutelemente auf Elementringe des SNR-2000 und äquivalente Ringradien dargestellt. Dabei haben alle Brennelemente eines Ringes, die dann auch in CAPRI-2 durch einen Kühlkanal repräsentiert werden, dieselbe Standzeit. Die Brennelemente einer Gruppe liegen auf Radien, die innerhalb der Radienbegrenzung des äquivalenten, verschmierten Elementringes der Gruppe in r-z Darstellung liegen. Dies ist wesentlich für die eindeutige Kopplung der Programme CAPRI-2 und HOPE mit dem Disassemblycode KADIS. Wie aus Tabelle 7-1 zu ersehen ist, werden maximal 42 Brennelemente zu einem Elementring zusammengefaßt. Die Tabellen 7-2 und 7-3 zeigen nochmals die radiale und axiale Maschenstruktur des Hydrodynamik-Rechnernetzes für KADIS. (Siehe dazu auch Abb. 2.2-1.) Zusätzlich ist in Tabelle 7-4 und 7-5 das neutronische Rechnernetz für die totale Materialwertverteilung dargestellt. Die Materialwertverteilung wird in KADIS automatisch mittels einer quadratischen Interpolation auf das Hydrodynamik-Rechnernetz abgebildet. Dabei müssen in jeder der 46 KADIS-Zonen mindestens 3 Stützstellen des Neutronikrechnernetzes in radialer und axialer Richtung liegen.

Die Tabelle 7.6 bzw. 7.7 enthält die normiert Leistungsdichte-Verteilung für das BEC-A bzw. EEC-B Core. Die Normierung der zeitunabhängigen Leistungsdichte  $\psi(r(o), z(o))$  erfolgt dabei in der Form:

$$\int \psi(r(o), z(o)) dV = 1$$

Volumen

Diese Leistungsdichteverteilung ist dem Lagrangeschen Hydrodynamikrechennetz zugeordnet. Die Zählung der radialen und axialen Kanal/Maschenstruktur beginnt dabei in KADIS mit der Masche (2,2).

Die totale Materialwertverteilung [ $\Delta k/k/cm^3$ ] für die Berechnung der Reaktivitätsrückwirkung durch Materialbewegung ist für das BEC-A und EEC-B Core in den Tabellen 7.8 und 7.9 angegeben. Die Materialwertkurven sind dabei zonenweise in den Tabellen dargestellt. Nach einer quadratischen Interpolation der Werte und der Bildung der radialen und axialen Gradienten kann mit Hilfe der in Kapitel 2.2 angegebenen Beziehung die Materialbewegungsreaktivität bestimmt werden.

Schließlich werden in den Tabellen 7-10 und 7-11 noch sicherheitsrelevante Kenngrößen des SNR-2000 Kernentwurfs sowie der Anteil der verzögerten Neutronen und deren Zerfallskonstanten für beide untersuchten Konfigurationen BEC-A und EEC-B dargestellt.



Kanal	Radius R [cm]	Kanal	Radius R [cm]
1	8.6855	16	131.4368
2	31.3160	17	141.3911
3	37.8600	18	149.1799
4	48.3593	19	156.5817
5	52.8323	20	163.6490
6	58.9085	21	171.7464
7	67.8366	22	179.4788
8	74.2097	23	184.4538
9	80.0772	24	191.6742
10	89.4236	25	197.4897
11	95.5415	26	199.7685
12	100.1671	27	207.5474
13	110.8902	28	211.8643
14	116.8526	29	215.0451
15	126.1654	30	242.7307

Tabelle 7-2 Radiale Kanalstruktur für das CAPRI-2/KADIS

Rechenetz

Corezone I: Kanal 1 - 21

Corezone II: Kanal 22 - 29

Radiales Blanket: Kanal 30

Axiales Maschenniveau	Höhe Z [cm]	Axiales Maschenniveau	Höhe Z [cm]
1	20.00000	11	131.42849
2	40.00000	12	137.14286
3	54.28571	13	142.85714
4	68.57143	14	148.57143
5	82.85714	15	154.28571
6	94.28571	16	160.00000
7	105.71429	17	165.71429
8	114.28571	18	171.42857
9	120.00000	19	182.85714
10	125.71429	20	200.00000

Tabelle 7-3 Axiale Maschenstruktur für das CAPRI-2/KADIS  
Rechennetz  
(Bezugsniveau: Untere Kante des unteren Brut-  
mantels)

Unteres Blanket: Masche 1 - 2  
Core : Masche 3 - 16  
Oberes Blanket : Masche 17 - 20

Radiales Maschennetz: R [cm]				
0.0000	45.5030	95.5415	149.1799	199.7685
4.3580	52.8323	100.1671	156.5817	207.5474
8.6855	60.5430	110.8902	163.6490	215.0451
15.8875	67.8366	116.8526	171.7464	223.4380
23.0590	74.2097	126.1654	179.4788	231.0870
30.5250	80.0772	131.4368	184.4538	237.3285
37.8600	89.4236	141.3911	191.6742	242.7307

Tabelle 7-4 Radiales Maschennetz für die Materialwertver-  
teilung in KADIS

Axiales Maschennetz: Z  cm			
0.00000	60.00000	102.85714	145.71429
5.00000	62.85714	105.71429	148.57143
10.00000	65.71429	108.57143	151.42857
15.00000	68.57143	111.42857	154.28571
20.00000	71.42857	114.28571	157.14286
25.00000	74.28571	117.14286	160.00000
30.00000	77.14286	120.00000	165.71429
35.00000	80.00000	122.85714	171.42857
40.00000	82.85714	125.71429	177.14286
42.85714	85.71425	128.57143	182.85714
45.71429	88.57143	131.42857	188.57143
48.57143	91.42857	134.28571	194.28571
51.42857	94.28571	137.14286	200.00000
54.28571	97.14286	140.00000	
57.14286	100.00000	142.85714	

Tabelle 7-5 Axiales Maschennetz für die Materialwertverteilung  
in KADIS

TAB.: 7-6 NORMIERTE LEISTUNGSDICHTEVERTEILUNG FÜR DAS BEC-A CORE

MASCHE	KOHLEKANAL →									
↓	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	0.807D-12	0.782D-09	0.795D-09	0.931D-09	0.833D-09	0.610D-09	0.660D-09	0.625D-09	0.588D-09	
3	0.344D-11	0.333D-08	0.339D-08	0.364D-08	0.326D-08	0.244D-08	0.264D-08	0.297D-08	0.280D-08	
4	0.549D-10	0.532D-07	0.541D-07	0.556D-07	0.498D-07	0.375D-07	0.406D-07	0.498D-07	0.463D-07	
5	0.782D-10	0.757D-07	0.770D-07	0.781D-07	0.698D-07	0.528D-07	0.572D-07	0.723D-07	0.680D-07	
6	0.940D-10	0.911D-07	0.926D-07	0.936D-07	0.837D-07	0.635D-07	0.628D-07	0.878D-07	0.826D-07	
7	0.998D-10	0.967D-07	0.984D-07	0.989D-07	0.885D-07	0.673D-07	0.729D-07	0.938D-07	0.883D-07	
8	0.976D-10	0.945D-07	0.961D-07	0.955D-07	0.855D-07	0.650D-07	0.703D-07	0.919D-07	0.864D-07	
9	0.904D-10	0.876D-07	0.890D-07	0.862D-07	0.771D-07	0.581D-07	0.629D-07	0.844D-07	0.794D-07	
10	0.827D-10	0.801D-07	0.815D-07	0.758D-07	0.678D-07	0.496D-07	0.537D-07	0.757D-07	0.712D-07	
11	0.755D-10	0.731D-07	0.744D-07	0.656D-07	0.587D-07	0.400D-07	0.433D-07	0.670D-07	0.630D-07	
12	0.677D-10	0.656D-07	0.667D-07	0.560D-07	0.501D-07	0.323D-07	0.350D-07	0.586D-07	0.551D-07	
13	0.597D-10	0.578D-07	0.588D-07	0.476D-07	0.426D-07	0.268D-07	0.250D-07	0.510D-07	0.475D-07	
14	0.516D-10	0.500D-07	0.509D-07	0.400D-07	0.358D-07	0.224D-07	0.242D-07	0.438D-07	0.412D-07	
15	0.438D-10	0.424D-07	0.431D-07	0.331D-07	0.296D-07	0.184D-07	0.199D-07	0.370D-07	0.348D-07	
16	0.362D-10	0.351D-07	0.357D-07	0.268D-07	0.239D-07	0.148D-07	0.160D-07	0.305D-07	0.287D-07	
17	0.292D-10	0.283D-07	0.288D-07	0.210D-07	0.188D-07	0.114D-07	0.123D-07	0.245D-07	0.230D-07	
18	0.335D-11	0.325D-08	0.331D-08	0.242D-08	0.216D-08	0.134D-08	0.146D-08	0.283D-08	0.266D-08	
19	0.215D-11	0.209D-08	0.212D-08	0.150D-08	0.134D-08	0.815D-09	0.882D-09	0.180D-08	0.169D-08	
20	0.118D-11	0.115D-08	0.117D-08	0.775D-09	0.694D-09	0.406D-09	0.440D-09	0.970D-09	0.912D-09	
21	0.453D-12	0.439D-09	0.447D-09	0.270D-09	0.241D-09	0.133D-09	0.144D-09	0.360D-09	0.338D-09	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
2	0.340D-09	0.340D-09	0.529D-09	0.536D-09	0.499D-09	0.502D-09	0.252D-09	0.298D-09	0.573D-09	
3	0.206D-08	0.206D-08	0.280D-08	0.283D-08	0.273D-08	0.274D-08	0.164D-08	0.194D-08	0.275D-08	
4	0.385D-07	0.385D-07	0.480D-07	0.486D-07	0.475D-07	0.478D-07	0.317D-07	0.374D-07	0.461D-07	
5	0.575D-07	0.574D-07	0.709D-07	0.718D-07	0.705D-07	0.709D-07	0.477D-07	0.563D-07	0.671D-07	
6	0.704D-07	0.704D-07	0.872D-07	0.884D-07	0.869D-07	0.874D-07	0.586D-07	0.691D-07	0.814D-07	
7	0.760D-07	0.760D-07	0.947D-07	0.960D-07	0.944D-07	0.949D-07	0.633D-07	0.747D-07	0.870D-07	
8	0.755D-07	0.755D-07	0.950D-07	0.963D-07	0.948D-07	0.953D-07	0.632D-07	0.746D-07	0.857D-07	
9	0.713D-07	0.712D-07	0.908D-07	0.920D-07	0.908D-07	0.913D-07	0.601D-07	0.709D-07	0.800D-07	
10	0.663D-07	0.662D-07	0.854D-07	0.866D-07	0.856D-07	0.861D-07	0.564D-07	0.665D-07	0.738D-07	
11	0.613D-07	0.612D-07	0.799D-07	0.810D-07	0.802D-07	0.807D-07	0.526D-07	0.620D-07	0.678D-07	
12	0.557D-07	0.557D-07	0.736D-07	0.746D-07	0.740D-07	0.744D-07	0.483D-07	0.570D-07	0.612D-07	
13	0.499D-07	0.498D-07	0.665D-07	0.674D-07	0.670D-07	0.674D-07	0.436D-07	0.514D-07	0.544D-07	
14	0.438D-07	0.438D-07	0.589D-07	0.597D-07	0.595D-07	0.598D-07	0.385D-07	0.454D-07	0.474D-07	
15	0.376D-07	0.376D-07	0.510D-07	0.517D-07	0.516D-07	0.519D-07	0.333D-07	0.393D-07	0.405D-07	
16	0.316D-07	0.316D-07	0.430D-07	0.436D-07	0.436D-07	0.438D-07	0.281D-07	0.332D-07	0.337D-07	
17	0.259D-07	0.259D-07	0.354D-07	0.358D-07	0.359D-07	0.361D-07	0.232D-07	0.274D-07	0.274D-07	
18	0.298D-08	0.298D-08	0.410D-08	0.416D-08	0.417D-08	0.419D-08	0.268D-08	0.316D-08	0.317D-08	
19	0.195D-08	0.195D-08	0.266D-08	0.270D-08	0.272D-08	0.273D-08	0.177D-08	0.209D-08	0.204D-08	
20	0.109D-08	0.109D-08	0.149D-08	0.151D-08	0.153D-08	0.154D-08	0.100D-08	0.118D-08	0.113D-08	
21	0.426D-09	0.426D-09	0.589D-09	0.597D-09	0.608D-09	0.612D-09	0.400D-09	0.471D-09	0.439D-09	

MASCHE KOHLKANAL →



	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2	0.5590-09	0.7510-09	0.7230-09	0.5670-09	0.4090-09	0.6520-09	0.6750-09	0.6040-09	0.4870-09
3	0.2690-08	0.3010-08	0.2900-08	0.2170-08	0.1570-08	0.2620-08	0.2710-08	0.2430-08	0.1940-08
4	0.4500-07	0.4530-07	0.4360-07	0.3960-07	0.2860-07	0.4790-07	0.4960-07	0.4440-07	0.3690-07
5	0.6550-07	0.6360-07	0.6130-07	0.5460-07	0.3940-07	0.6660-07	0.6900-07	0.6170-07	0.5160-07
6	0.7950-07	0.7610-07	0.7530-07	0.6460-07	0.4660-07	0.7880-07	0.8160-07	0.7300-07	0.6100-07
7	0.8500-07	0.8010-07	0.7720-07	0.6740-07	0.4860-07	0.8200-07	0.8480-07	0.7590-07	0.6350-07
8	0.8360-07	0.7710-07	0.7430-07	0.6380-07	0.4600-07	0.7760-07	0.8030-07	0.7190-07	0.6060-07
9	0.7810-07	0.6960-07	0.6700-07	0.5580-07	0.4020-07	0.6850-07	0.7090-07	0.6340-07	0.5450-07
10	0.7200-07	0.6130-07	0.5910-07	0.4650-07	0.3350-07	0.5890-07	0.6090-07	0.5450-07	0.4860-07
11	0.6610-07	0.5330-07	0.5130-07	0.3590-07	0.2590-07	0.4960-07	0.5140-07	0.4600-07	0.4320-07
12	0.5970-07	0.4560-07	0.4390-07	0.2740-07	0.1980-07	0.4110-07	0.4250-07	0.3810-07	0.3760-07
13	0.5310-07	0.3890-07	0.3750-07	0.2190-07	0.1580-07	0.3390-07	0.3510-07	0.3140-07	0.3220-07
14	0.4630-07	0.3290-07	0.3170-07	0.1770-07	0.1280-07	0.2780-07	0.2870-07	0.2570-07	0.2710-07
15	0.3950-07	0.2740-07	0.2640-07	0.1420-07	0.1030-07	0.2240-07	0.2320-07	0.2070-07	0.2230-07
16	0.3290-07	0.2230-07	0.2140-07	0.1120-07	0.8050-08	0.1760-07	0.1820-07	0.1630-07	0.1780-07
17	0.2680-07	0.1760-07	0.1690-07	0.8380-08	0.6040-08	0.1340-07	0.1390-07	0.1240-07	0.1390-07
18	0.3090-08	0.2050-08	0.1980-08	0.8090-09	0.5830-09	0.1300-08	0.1350-08	0.1200-08	0.1270-08
19	0.2000-08	0.1280-08	0.1230-08	0.4700-09	0.3390-09	0.7590-09	0.7860-09	0.7030-09	0.7720-09
20	0.1110-08	0.6700-09	0.6460-09	0.2210-09	0.1590-09	0.3650-09	0.3780-09	0.3380-09	0.3940-09
21	0.4290-09	0.2410-09	0.2320-09	0.6600-10	0.4760-10	0.1130-09	0.1170-09	0.1050-09	0.1340-09
	29	30	31						
2	0.4630-09	0.3830-09	0.1400-09						
3	0.1840-08	0.1520-08	0.3930-09						
4	0.3510-07	0.2910-07	0.8130-09						
5	0.4900-07	0.4050-07	0.1150-08						
6	0.5790-07	0.4800-07	0.1360-08						
7	0.6040-07	0.5000-07	0.1420-08						
8	0.5760-07	0.4770-07	0.1370-08						
9	0.5180-07	0.4290-07	0.1250-08						
10	0.4610-07	0.3820-07	0.1130-08						
11	0.4100-07	0.3400-07	0.1020-08						
12	0.3580-07	0.2960-07	0.9050-09						
13	0.3060-07	0.2530-07	0.7880-09						
14	0.2570-07	0.2130-07	0.6730-09						
15	0.2110-07	0.1750-07	0.5610-09						
16	0.1700-07	0.1400-07	0.4540-09						
17	0.1320-07	0.1090-07	0.3530-09						
18	0.1210-08	0.1000-08	0.2630-09						
19	0.7330-09	0.6070-09	0.1910-09						
20	0.3750-09	0.3100-09	0.1180-09						
21	0.1280-09	0.1060-09	0.5100-10						

TAB.: 7.7 NORMIERTE LEISTUNGSDICHTEVERTEILUNG FÜR DAS EEC-B CORE

MASCHE	KOHLEKANAL →									
↓	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	0.115D-11	0.115D-08	0.117D-08	0.134D-08	0.135D-08	0.843D-09	0.102D-08	0.932D-09	0.916D-09	
3	0.421D-11	0.421D-08	0.414D-08	0.435D-08	0.441D-08	0.283D-08	0.243D-08	0.367D-08	0.351D-08	
4	0.470D-10	0.470D-07	0.462D-07	0.464D-07	0.466D-07	0.302D-07	0.367D-07	0.434D-07	0.427D-07	
5	0.675D-10	0.675D-07	0.669D-07	0.662D-07	0.665D-07	0.432D-07	0.524D-07	0.638D-07	0.627D-07	
6	0.842D-10	0.842D-07	0.828D-07	0.818D-07	0.822D-07	0.535D-07	0.649D-07	0.795D-07	0.781D-07	
7	0.931D-10	0.931D-07	0.916D-07	0.905D-07	0.909D-07	0.593D-07	0.719D-07	0.882D-07	0.866D-07	
8	0.956D-10	0.956D-07	0.941D-07	0.929D-07	0.934D-07	0.609D-07	0.739D-07	0.907D-07	0.891D-07	
9	0.937D-10	0.937D-07	0.922D-07	0.910D-07	0.915D-07	0.597D-07	0.724D-07	0.890D-07	0.874D-07	
10	0.899D-10	0.899D-07	0.885D-07	0.873D-07	0.877D-07	0.573D-07	0.695D-07	0.854D-07	0.840D-07	
11	0.855D-10	0.855D-07	0.841D-07	0.830D-07	0.834D-07	0.544D-07	0.660D-07	0.813D-07	0.798D-07	
12	0.800D-10	0.800D-07	0.787D-07	0.775D-07	0.778D-07	0.508D-07	0.617D-07	0.760D-07	0.747D-07	
13	0.734D-10	0.734D-07	0.722D-07	0.709D-07	0.713D-07	0.466D-07	0.564D-07	0.697D-07	0.685D-07	
14	0.659D-10	0.659D-07	0.649D-07	0.634D-07	0.637D-07	0.416D-07	0.505D-07	0.625D-07	0.614D-07	
15	0.578D-10	0.578D-07	0.568D-07	0.551D-07	0.554D-07	0.361D-07	0.437D-07	0.545D-07	0.535D-07	
16	0.492D-10	0.492D-07	0.484D-07	0.462D-07	0.464D-07	0.299D-07	0.363D-07	0.459D-07	0.451D-07	
17	0.407D-10	0.407D-07	0.400D-07	0.368D-07	0.370D-07	0.232D-07	0.281D-07	0.370D-07	0.363D-07	
18	0.639D-11	0.639D-08	0.629D-08	0.558D-08	0.561D-08	0.334D-08	0.405D-08	0.564D-08	0.554D-08	
19	0.448D-11	0.448D-08	0.441D-08	0.362D-08	0.364D-08	0.197D-08	0.238D-08	0.374D-08	0.368D-08	
20	0.272D-11	0.272D-08	0.267D-08	0.198D-08	0.199D-08	0.973D-09	0.118D-08	0.212D-08	0.208D-08	
21	0.115D-11	0.115D-08	0.113D-08	0.730D-09	0.733D-09	0.323D-09	0.392D-09	0.829D-09	0.814D-09	
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
2	0.527D-09	0.482D-09	0.767D-09	0.762D-09	0.713D-09	0.659D-09	0.337D-09	0.414D-09	0.784D-09	
3	0.263D-08	0.241D-08	0.337D-08	0.335D-08	0.323D-08	0.316D-08	0.181D-08	0.222D-08	0.314D-08	
4	0.356D-07	0.326D-07	0.410D-07	0.407D-07	0.400D-07	0.393D-07	0.257D-07	0.315D-07	0.374D-07	
5	0.537D-07	0.492D-07	0.611D-07	0.607D-07	0.599D-07	0.588D-07	0.390D-07	0.478D-07	0.551D-07	
6	0.672D-07	0.615D-07	0.766D-07	0.761D-07	0.752D-07	0.737D-07	0.489D-07	0.599D-07	0.687D-07	
7	0.747D-07	0.684D-07	0.852D-07	0.847D-07	0.836D-07	0.820D-07	0.542D-07	0.666D-07	0.752D-07	
8	0.770D-07	0.704D-07	0.878D-07	0.873D-07	0.862D-07	0.845D-07	0.559D-07	0.685D-07	0.783D-07	
9	0.756D-07	0.691D-07	0.863D-07	0.857D-07	0.847D-07	0.830D-07	0.549D-07	0.673D-07	0.767D-07	
10	0.726D-07	0.665D-07	0.830D-07	0.825D-07	0.814D-07	0.798D-07	0.528D-07	0.647D-07	0.737D-07	
11	0.691D-07	0.633D-07	0.790D-07	0.785D-07	0.776D-07	0.760D-07	0.502D-07	0.616D-07	0.701D-07	
12	0.647D-07	0.592D-07	0.741D-07	0.736D-07	0.727D-07	0.713D-07	0.470D-07	0.577D-07	0.655D-07	
13	0.595D-07	0.544D-07	0.681D-07	0.677D-07	0.669D-07	0.656D-07	0.433D-07	0.531D-07	0.601D-07	
14	0.535D-07	0.490D-07	0.614D-07	0.610D-07	0.603D-07	0.591D-07	0.390D-07	0.478D-07	0.540D-07	
15	0.470D-07	0.420D-07	0.540D-07	0.536D-07	0.531D-07	0.521D-07	0.344D-07	0.421D-07	0.473D-07	
16	0.401D-07	0.367D-07	0.462D-07	0.459D-07	0.455D-07	0.446D-07	0.295D-07	0.362D-07	0.403D-07	
17	0.333D-07	0.305D-07	0.386D-07	0.383D-07	0.381D-07	0.373D-07	0.247D-07	0.303D-07	0.333D-07	
18	0.523D-08	0.479D-08	0.611D-08	0.608D-08	0.604D-08	0.593D-08	0.391D-08	0.479D-08	0.524D-08	
19	0.370D-08	0.335D-08	0.434D-08	0.432D-08	0.431D-08	0.423D-08	0.281D-08	0.345D-08	0.357D-08	
20	0.226D-08	0.207D-08	0.269D-08	0.268D-08	0.270D-08	0.264D-08	0.176D-08	0.216D-08	0.222D-08	
21	0.973D-09	0.891D-09	0.120D-08	0.119D-08	0.121D-08	0.119D-08	0.787D-09	0.965D-09	0.944D-09	

MASCHE

KOHLKANAL



	20	21	22	23	24	25	26	27	28
2	0.7560-09	0.1030-08	0.1050-C8	0.7060-09	0.5820-09	0.9790-09	0.8780-09	0.8520-09	0.6580-09
3	0.3190-08	0.3470-08	0.3520-C8	0.2250-08	0.1850-08	0.3210-08	0.2880-08	0.2800-08	0.2150-08
4	0.3790-07	0.3670-07	0.3730-C7	0.2820-07	0.2320-07	0.4060-07	0.3640-07	0.3530-07	0.2810-07
5	0.5590-07	0.5250-07	0.5330-C7	0.3960-07	0.3270-07	0.5760-07	0.5170-07	0.5010-07	0.4000-07
6	0.6970-07	0.6500-07	0.6590-C7	0.4880-07	0.4020-07	0.7090-07	0.6360-07	0.6170-07	0.4920-07
7	0.7720-07	0.7180-07	0.7280-07	0.5380-07	0.4430-07	0.7810-07	0.7010-07	0.6800-07	0.5420-07
8	0.7640-07	0.7370-07	0.7470-C7	0.5510-07	0.4540-07	0.8000-07	0.7170-07	0.6960-07	0.5540-07
9	0.7780-07	0.7210-07	0.7310-C7	0.5380-07	0.4430-07	0.7810-07	0.7010-07	0.6800-07	0.5410-07
10	0.7470-07	0.6910-07	0.7010-C7	0.5150-07	0.4250-07	0.7470-07	0.6700-07	0.6500-07	0.5180-07
11	0.7110-07	0.6560-07	0.6650-07	0.4890-07	0.4030-07	0.7080-C7	0.6350-07	0.6160-07	0.4910-07
12	0.6650-07	0.6120-07	0.6210-C7	0.4550-07	0.3750-07	0.6590-07	0.5920-07	0.5740-07	0.4570-07
13	0.6100-07	0.5600-07	0.5680-C7	0.4160-07	0.3420-07	0.6020-07	0.5400-07	0.5240-07	0.4170-07
14	0.5480-07	0.5000-07	0.5070-C7	0.3700-07	0.3050-07	0.5360-07	0.4800-07	0.4660-07	0.3730-07
15	0.4800-07	0.4340-07	0.4410-C7	0.3190-07	0.2630-07	0.4620-07	0.4150-07	0.4020-07	0.3230-07
16	0.4080-07	0.3630-07	0.3690-07	0.2630-07	0.2170-07	0.3830-07	0.3440-07	0.3340-07	0.2720-07
17	0.3380-C7	0.2900-07	0.2940-C7	0.2010-07	0.1650-07	0.3010-07	0.2700-07	0.2620-07	0.2200-07
18	0.5210-08	0.4450-08	0.4510-C8	0.2380-08	0.1960-08	0.3820-08	0.3420-08	0.3320-08	0.2800-08
19	0.3720-08	0.2880-08	0.2920-08	0.1300-08	0.1070-08	0.2350-08	0.2100-08	0.2040-08	0.1870-08
20	0.2250-08	0.1570-08	0.1600-08	0.5910-09	0.4870-09	0.1190-08	0.1070-08	0.1040-08	0.1060-08
21	0.5570-09	0.5880-09	0.5960-C9	0.1750-09	0.1440-09	0.3540-09	0.3540-09	0.3430-09	0.4010-09
	29	30	31						
2	0.6910-09	0.5520-09	0.1360-C9						
3	0.2260-08	0.1810-08	0.3730-C9						
4	0.2950-C7	0.2360-07	0.7630-C9						
5	0.4200-07	0.3360-07	0.1100-C8						
6	0.5170-07	0.4130-07	0.1350-C8						
7	0.5690-07	0.4550-07	0.1480-C8						
8	0.5820-07	0.4650-07	0.1520-C8						
9	0.5650-07	0.4540-07	0.1480-C8						
10	0.5440-07	0.4350-07	0.1420-C8						
11	0.5160-07	0.4120-07	0.1350-C8						
12	0.4800-07	0.3840-07	0.1260-C8						
13	0.4290-07	0.3510-07	0.1150-C8						
14	0.3910-C7	0.3130-07	0.1030-C8						
15	0.3400-07	0.2720-07	0.8960-C9						
16	0.2650-07	0.2280-07	0.7540-C9						
17	0.2310-07	0.1850-07	0.6060-C9						
18	0.2940-08	0.2350-08	0.4660-09						
19	0.1960-08	0.1570-08	0.3480-09						
20	0.1110-08	0.8880-09	0.2220-C9						
21	0.4210-09	0.3360-09	0.1000-09						

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 1

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 2

0.21655D-07 0.21984D-07 0.26454D-C7  
 0.19870D-07 0.20159D-07 0.22423D-07  
 0.18185D-07 0.18456D-07 0.19521D-07  
 0.16190D-07 0.16391D-07 0.17011D-C7  
 0.13917D-07 0.14069D-07 0.14513D-07  
 0.11445D-07 0.11573D-07 0.11938D-C7  
 0.88657D-08 0.85728D-08 0.92922D-C8  
 0.62396D-08 0.63247D-C8 0.66209D-08  
 0.36345D-08 0.37193D-C8 0.39742D-C8  
 0.11084D-08 0.11835D-C8 0.14081D-C8  
 -0.12857D-08 -0.12205D-C8 -0.10261D-08  
 -0.35022D-08 -0.34460D-08 -0.32806D-08  
 -0.54954D-08 -0.54520D-C8 -0.52134D-08  
 -0.72427D-08 -0.72033D-C8 -0.70892D-C8  
 -0.87040D-08 -0.86716D-08 -0.85789D-C8  
 -0.58622D-08 -0.58355D-C8 -0.57599D-08  
 -0.10704D-07 -0.10681D-07 -0.10619D-07  
 -0.11223D-07 -0.11203D-07 -0.11148D-07  
 -0.11421D-07 -0.11402D-07 -0.11351D-C7  
 -0.11308D-07 -0.11288D-07 -0.11235D-07  
 -0.10900D-07 -0.10879D-07 -0.10819D-07  
 -0.10222D-07 -0.10198D-07 -0.10126D-C7  
 -0.93050D-08 -0.92754D-08 -0.91894D-08  
 -0.81829D-08 -0.81478D-C8 -0.80438D-C8  
 -0.68954D-08 -0.68540D-08 -0.67305D-08  
 -0.54844D-08 -0.54364D-C8 -0.52925D-08  
 -0.39917D-08 -0.39373D-08 -0.37739D-C8  
 -0.24587D-08 -0.23987D-08 -0.22169D-C8  
 -0.92427D-09 -0.85964D-09 -0.66268D-09  
 0.57605D-09 0.64472D-09 0.85356D-C9  
 0.20125D-08 0.20838D-C8 0.23008D-C8  
 0.33597D-08 0.34325D-C8 0.36540D-08  
 0.45976D-08 0.46710D-C8 0.48938D-C8  
 0.57105D-08 0.57840D-C8 0.60065D-C8  
 0.66875D-08 0.67610D-08 0.69829D-C8  
 0.75150D-08 0.75934D-C8 0.78164D-08  
 0.81964D-08 0.82737D-C8 0.85026D-C8  
 0.87091D-08 0.87932D-C8 0.90372D-C8  
 0.90430D-08 0.91401D-C8 0.94168D-08  
 0.91740D-08 0.92950D-C8 0.96364D-08  
 0.90651D-08 0.92254D-C8 0.96923D-08  
 0.86650D-C8 0.88748D-C8 0.95946D-C8  
 0.81074D-C8 0.83706D-C8 0.94160D-08

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358D+01 0.8695D+01

Z LATTICE (CM)

0.4000D+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857D+02 0.5142D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714D+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714D+02 0.1000D+03 0.1029D+03 0.1057D+03 0.1096D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171D+03 0.1200D+03 0.1229D+03  
 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1343D+03 0.1371D+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457D+03 0.1486D+03 0.1514D+03  
 0.1543D+03 0.1571D+03 0.1600D+03

0.16911D-07 0.16869D-07 0.16295D-C7 0.16092D-07 0.15878D-07  
 0.16076D-C7 0.16470D-C7 0.16290D-C7 0.16144D-07 0.15928D-07  
 0.15721D-07 0.16346D-07 0.16415D-07 0.16341D-07 0.16131D-07  
 0.15685D-C7 0.16359D-C7 0.16559D-C7 0.16535D-07 0.16341D-07  
 0.15788D-07 0.16458D-07 0.16720D-C7 0.16736D-07 0.16560D-07  
 0.15955D-C7 0.16610D-07 0.16859D-07 0.16542D-07 0.16784D-07  
 0.16155D-07 0.16793D-C7 0.17090D-C7 0.17152D-07 0.17009D-07  
 0.16373D-C7 0.16993D-07 0.17238D-C7 0.17362D-07 0.17230D-07  
 0.16595D-07 0.17200D-C7 0.17438D-C7 0.17568D-07 0.17443D-07  
 0.16824D-07 0.17407D-07 0.17684D-C7 0.17766D-07 0.17643D-07  
 0.17045D-07 0.17608D-07 0.17872D-07 0.17952D-07 0.17828D-07  
 0.17234D-07 0.17797D-07 0.18048D-C7 0.18122D-07 0.17994D-07  
 0.17445D-07 0.17970D-07 0.18208D-C7 0.18275D-07 0.18139D-07  
 0.17616D-07 0.18122D-07 0.18347D-07 0.18407D-07 0.18262D-07  
 0.17759D-07 0.18251D-07 0.18465D-C7 0.18515D-07 0.18361D-07  
 0.17873D-07 0.18353D-07 0.18558D-07 0.18600D-07 0.18436D-07  
 0.17952D-C7 0.18424D-C7 0.18623D-C7 0.18658D-07 0.18487D-07  
 0.17993D-07 0.18461D-07 0.18658D-C7 0.18690D-07 0.18513D-07  
 0.17992D-07 0.18462D-07 0.18661D-C7 0.18694D-07 0.18517D-07  
 0.17947D-07 0.18424D-C7 0.18629D-C7 0.18668D-07 0.18495D-07  
 0.17856D-C7 0.18343D-07 0.18560D-07 0.18612D-07 0.18460D-07  
 0.17715D-07 0.18217D-07 0.18450D-C7 0.18522D-07 0.18399D-07  
 0.17522D-07 0.18042D-07 0.18296D-C7 0.18395D-07 0.18317D-07  
 0.17276D-07 0.17816D-C7 0.18093D-07 0.18227D-07 0.18209D-07  
 0.16976D-07 0.17535D-C7 0.17817D-C7 0.18010D-07 0.18069D-07  
 0.16620D-07 0.17197D-07 0.17523D-07 0.17736D-07 0.17886D-07  
 0.16211D-C7 0.16801D-C7 0.17145D-C7 0.17296D-07 0.17643D-07  
 0.15745D-07 0.16346D-07 0.16702D-C7 0.16979D-07 0.17315D-07  
 0.15238D-07 0.15833D-C7 0.16109D-07 0.16475D-07 0.16874D-07  
 0.14681D-07 0.15266D-C7 0.15609D-C7 0.15879D-07 0.16288D-07  
 0.14084D-C7 0.14651D-07 0.14967D-07 0.15194D-07 0.15531D-07  
 0.13453D-C7 0.13994D-C7 0.14272D-C7 0.14431D-07 0.14634D-07  
 0.12796D-07 0.13305D-07 0.13527D-C7 0.13610D-07 0.13648D-07  
 0.12122D-07 0.12596D-07 0.12775D-07 0.12755D-07 0.12622D-07  
 0.11438D-07 0.11878D-07 0.12003D-C7 0.11889D-07 0.11596D-07  
 0.10752D-07 0.11162D-07 0.11236D-C7 0.11034D-07 0.10603D-07  
 0.10073D-07 0.10461D-07 0.10489D-07 0.10208D-07 0.96645D-C8  
 0.94074D-C8 0.97859D-08 0.97738D-08 0.94246D-08 0.87951D-08  
 0.87615D-08 0.91483D-C8 0.91023D-08 0.86961D-08 0.80024D-08  
 0.81430D-08 0.85607D-08 0.84849D-08 0.80288D-08 0.72908D-08  
 0.75623D-08 0.80363D-08 0.79264D-08 0.74275D-08 0.66610D-08  
 0.70392D-C8 0.75911D-C8 0.74317D-C8 0.68929D-08 0.61100D-08  
 0.66341D-C8 0.72582D-08 0.70235D-C8 0.64462D-08 0.56474D-08

R LATTICE (CM)

0.8685D+01 0.1589D+02 0.2300D+02 0.3052D+02 0.3786D+02

TAB.: 7-8  
 TOTALE MATERIALWERTVERTEILUNG (Δ K/K /CM<sup>3</sup>)  
 FÜR DAS BEC-A CORE (ZONENWEISE)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 5

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 6

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 7

0.15878D-07 0.15479D-07 0.14622D-07  
 0.15928D-07 0.15526D-07 0.14804D-07  
 0.16131D-07 0.15735D-07 0.15125D-07  
 0.16341D-07 0.15966D-07 0.15437D-07  
 0.16560D-07 0.16211D-07 0.15736D-07  
 0.16784D-07 0.16458D-07 0.16019D-07  
 0.17009D-07 0.16701D-07 0.16285D-07  
 0.17230D-07 0.16935D-07 0.16532D-07  
 0.17442D-07 0.17156D-07 0.16769D-07  
 0.17643D-07 0.17360D-07 0.16965D-07  
 0.17828D-07 0.17544D-07 0.17148D-07  
 0.17954D-07 0.17705D-07 0.17307D-07  
 0.18135D-07 0.17843D-07 0.17440D-07  
 0.18262D-07 0.17958D-07 0.17548D-07  
 0.18361D-07 0.18047D-07 0.17629D-07  
 0.18436D-07 0.18111D-07 0.17685D-07  
 0.18487D-07 0.18152D-07 0.17718D-07  
 0.18512D-07 0.18172D-07 0.17733D-07  
 0.18517D-07 0.18174D-07 0.17734D-07  
 0.18495D-07 0.18163D-07 0.17730D-07  
 0.18460D-07 0.18144D-07 0.17733D-07  
 0.18395D-07 0.18122D-07 0.17757D-07  
 0.18317D-07 0.18104D-07 0.17823D-07  
 0.18205D-07 0.18095D-07 0.17959D-07  
 0.18065D-07 0.18097D-07 0.18206D-07  
 0.17886D-07 0.18106D-07 0.18620D-07  
 0.17643D-07 0.18108D-07 0.19291D-07  
 0.17315D-07 0.18071D-07 0.20376D-07  
 0.16874D-07 0.17943D-07 0.22605D-07  
 0.16288D-07 0.17618D-07 0.22356D-07  
 0.15531D-07 0.16629D-07 0.18696D-07  
 0.14634D-07 0.15321D-07 0.15943D-07  
 0.13648D-07 0.13906D-07 0.13639D-07  
 0.12622D-07 0.12507D-07 0.11752D-07  
 0.11560D-07 0.11186D-07 0.10132D-07  
 0.10603D-07 0.99748D-08 0.88117D-08  
 0.96645D-08 0.88850D-08 0.76438D-08  
 0.87951D-08 0.79176D-08 0.66654D-08  
 0.80024D-08 0.70702D-08 0.53386D-08  
 0.72908D-08 0.63357D-08 0.51483D-08  
 0.66610D-08 0.57059D-08 0.45763D-08  
 0.61100D-08 0.51708D-08 0.41036D-08  
 0.56474D-08 0.47248D-08 0.37103D-08

0.14858D-07 0.16009D-07 0.16903D-07  
 0.15019D-07 0.15924D-07 0.16593D-07  
 0.15312D-07 0.16028D-07 0.16540D-07  
 0.15592D-07 0.16181D-07 0.16535D-07  
 0.15862D-07 0.16367D-07 0.16701D-07  
 0.16122D-07 0.16573D-07 0.16859D-07  
 0.16375D-07 0.16790D-07 0.17045D-07  
 0.16618D-07 0.17013D-07 0.17249D-07  
 0.16851D-07 0.17234D-07 0.17461D-07  
 0.17069D-07 0.17449D-07 0.17675D-07  
 0.17272D-07 0.17654D-07 0.17833D-07  
 0.17457D-07 0.17844D-07 0.18081D-07  
 0.17621D-07 0.18017D-07 0.18264D-07  
 0.17764D-07 0.18169D-07 0.18428D-07  
 0.17833D-07 0.18298D-07 0.18570D-07  
 0.17980D-07 0.18404D-07 0.18639D-07  
 0.18056D-07 0.18486D-07 0.18731D-07  
 0.18114D-07 0.18546D-07 0.18848D-07  
 0.18158D-07 0.18586D-07 0.18899D-07  
 0.18196D-07 0.18609D-07 0.18906D-07  
 0.18240D-07 0.18623D-07 0.18902D-07  
 0.18204D-07 0.18633D-07 0.18879D-07  
 0.18411D-07 0.18650D-07 0.18840D-07  
 0.18591D-07 0.18685D-07 0.18709D-07  
 0.18889D-07 0.18751D-07 0.18727D-07  
 0.19374D-07 0.18862D-07 0.18651D-07  
 0.20161D-07 0.19025D-07 0.18550D-07  
 0.21472D-07 0.19244D-07 0.18393D-07  
 0.24059D-07 0.19514D-07 0.18116D-07  
 0.25104D-07 0.19784D-07 0.17519D-07  
 0.22523D-07 0.19220D-07 0.16922D-07  
 0.20380D-07 0.18222D-07 0.16247D-07  
 0.18405D-07 0.17021D-07 0.15510D-07  
 0.16567D-07 0.15745D-07 0.14602D-07  
 0.14854D-07 0.14465D-07 0.13908D-07  
 0.13273D-07 0.13223D-07 0.12917D-07  
 0.11826D-07 0.12047D-07 0.12033D-07  
 0.10513D-07 0.10950D-07 0.11176D-07  
 0.93350D-08 0.99453D-08 0.10363D-07  
 0.82887D-08 0.90280D-08 0.96050D-08  
 0.72694D-08 0.82335D-08 0.89117D-08  
 0.65654D-08 0.75341D-08 0.82909D-08  
 0.58630D-08 0.69524D-08 0.77349D-08

0.17066D-07 0.17505D-07 0.17229D-07  
 0.16545D-07 0.16555D-07 0.16811D-07  
 0.16176D-07 0.16516D-07 0.16531D-07  
 0.15860D-07 0.16156D-07 0.16280D-07  
 0.15569D-07 0.15837D-07 0.16037D-07  
 0.15292D-07 0.15544D-07 0.15797D-07  
 0.15027D-07 0.15270D-07 0.15522D-07  
 0.14770D-07 0.15012D-07 0.15334D-07  
 0.14525D-07 0.14769D-07 0.15115D-07  
 0.14291D-07 0.14543D-07 0.14910D-07  
 0.14072D-07 0.14335D-07 0.14719D-07  
 0.13870D-07 0.14146D-07 0.14547D-07  
 0.13687D-07 0.13979D-07 0.14396D-07  
 0.13527D-07 0.13835D-07 0.14266D-07  
 0.13393D-07 0.13715D-07 0.14160D-07  
 0.13266D-07 0.13623D-07 0.14079D-07  
 0.13210D-07 0.13558D-07 0.14023D-07  
 0.13167D-07 0.13520D-07 0.13990D-07  
 0.13156D-07 0.13511D-07 0.13980D-07  
 0.13186D-07 0.13528D-07 0.13950D-07  
 0.13252D-07 0.13570D-07 0.14018D-07  
 0.13355D-07 0.13635D-07 0.14058D-07  
 0.13495D-07 0.13717D-07 0.14106D-07  
 0.13669D-07 0.13811D-07 0.14155D-07  
 0.13869D-07 0.13908D-07 0.14157D-07  
 0.14082D-07 0.13998D-07 0.14240D-07  
 0.14291D-07 0.14069D-07 0.14225D-07  
 0.14459D-07 0.14104D-07 0.14193D-07  
 0.14541D-07 0.14087D-07 0.14119D-07  
 0.14481D-07 0.14003D-07 0.13996D-07  
 0.14252D-07 0.13838D-07 0.13825D-07  
 0.13875D-07 0.13590D-07 0.13606D-07  
 0.13385D-07 0.13268D-07 0.13343D-07  
 0.12818D-07 0.12883D-07 0.13042D-07  
 0.12204D-07 0.12450D-07 0.12709D-07  
 0.11569D-07 0.11984D-07 0.12351D-07  
 0.10933D-07 0.11500D-07 0.11978D-07  
 0.10312D-07 0.11009D-07 0.11595D-07  
 0.97160D-08 0.10520D-07 0.11210D-07  
 0.91542D-08 0.10038D-07 0.10826D-07  
 0.86511D-08 0.95635D-08 0.10446D-07  
 0.81477D-08 0.90920D-08 0.10065D-07  
 0.77368D-08 0.86762D-08 0.97420D-08

R LATTICE (CM)

R LATTICE (CM)

R LATTICE (CM)

0.3786E+02 0.4550D+02 0.5283D+02

0.6784E+02 0.7421D+02 0.8006D+02

0.8008E+02 0.8811D+02 0.9554D+02

Z LATTICE (CM)

0.4000D+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857D+02 0.5143D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714D+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714E+02 0.1000D+03 0.1029E+03 0.1057E+03 0.1086E+03 0.1114E+03 0.1143E+03 0.1171E+03 0.1200E+03 0.1229E+03  
 0.1257E+03 0.1286E+03 0.1314E+03 0.1343E+03 0.1371E+03 0.1400E+03 0.1429E+03 0.1457E+03 0.1486E+03 0.1514E+03  
 0.1543E+03 0.1571E+03 0.1600E+03

MATERIALVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 14

-0.55475E-07 -0.31760E-07 -0.42890E-07  
 -0.38359E-07 -0.24011E-07 -0.33934E-07  
 -0.27817E-07 -0.20220E-07 -0.23102E-07  
 -0.20841E-07 -0.16541E-07 -0.17698E-07  
 -0.16004E-07 -0.13431E-07 -0.10796E-07  
 -0.12478E-07 -0.10871E-07 -0.10879E-07  
 -0.97928E-08 -0.87636E-08 -0.86138E-08  
 -0.76732E-08 -0.70149E-08 -0.68072E-08  
 -0.59562E-08 -0.55506E-08 -0.50294E-08  
 -0.45392E-08 -0.43154E-08 -0.41035E-08  
 -0.33557E-08 -0.32685E-08 -0.30770E-08  
 -0.23613E-08 -0.23800E-08 -0.22138E-08  
 -0.15250E-08 -0.16277E-08 -0.14883E-08  
 -0.82219E-09 -0.99503E-09 -0.38112E-09  
 -0.22417E-09 -0.46986E-09 -0.37444E-09

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787E+03 0.1845E+03

Z LATTICE (CM)

0.1200E+03 0.1229E+03 0.1257E+03 0.1286E+03 0.1314E+03 0.1343E+03 0.1371E+03 0.1400E+03 0.1429E+03 0.1457E+03  
 0.1486E+03 0.1514E+03 0.1543E+03 0.1571E+03 0.1600E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 12

0.15619E-07 0.16098E-07 0.20002E-07  
 0.14968E-07 0.16383E-07 0.21381E-07  
 0.14375E-07 0.15874E-07 0.18562E-07  
 0.13737E-07 0.14923E-07 0.16287E-07  
 0.13028E-07 0.13761E-07 0.14281E-07  
 0.12254E-07 0.12527E-07 0.12480E-07  
 0.11436E-07 0.11304E-07 0.10866E-07  
 0.10598E-07 0.10134E-07 0.94245E-08  
 0.97635E-08 0.90415E-08 0.81463E-08  
 0.89540E-08 0.80392E-08 0.70195E-08  
 0.81844E-08 0.71316E-08 0.60329E-08  
 0.74672E-08 0.63194E-08 0.51756E-08  
 0.68103E-08 0.56005E-08 0.44308E-08  
 0.62176E-08 0.49694E-08 0.38041E-08  
 0.57070E-08 0.44262E-08 0.32622E-08

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647E+03 0.1717E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 4

-0.51323E-07 -0.37950E-07 -0.58819E-07  
 -0.38822E-07 -0.30721E-07 -0.44238E-07  
 -0.30589E-07 -0.26597E-07 -0.34509E-07  
 -0.24522E-07 -0.22567E-07 -0.27444E-07  
 -0.19865E-07 -0.18972E-07 -0.22014E-07  
 -0.16170E-07 -0.15833E-07 -0.17738E-07  
 -0.13138E-07 -0.13100E-07 -0.14270E-07  
 -0.10592E-07 -0.10714E-07 -0.11387E-07  
 -0.84198E-08 -0.86232E-08 -0.89473E-08  
 -0.65441E-08 -0.67855E-08 -0.69551E-08  
 -0.49158E-08 -0.51685E-08 -0.50477E-08  
 -0.34999E-08 -0.37489E-08 -0.34824E-08  
 -0.22725E-08 -0.25096E-08 -0.21277E-08  
 -0.12144E-08 -0.14381E-08 -0.95863E-09  
 -0.30039E-09 -0.52141E-09 0.65760E-10

R LATTICE (CM)

0.5283E+02 0.6054E+02 0.6784E+02

MATERIALVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 5

0.14585D-07 0.14110D-07 0.14927D-07  
 0.14456E-07 0.14102D-07 0.14785D-07  
 0.14350E-07 0.14089D-07 0.14657D-07  
 0.14145E-07 0.13939D-07 0.14423D-07  
 0.13862E-07 0.13686D-07 0.14113D-07  
 0.13522D-07 0.13360D-07 0.13749D-07  
 0.13138E-07 0.12984D-07 0.13349D-07  
 0.12727E-07 0.12575D-07 0.12928D-07  
 0.12300D-07 0.12150D-07 0.12458D-07  
 0.11872E-07 0.11723D-07 0.12072D-07  
 0.11453D-07 0.11306D-07 0.11601D-07  
 0.11056E-07 0.10910D-07 0.11273D-07  
 0.10691D-07 0.10546D-07 0.10920D-07  
 0.10367E-07 0.10223D-07 0.10610D-07  
 0.10094E-07 0.99503D-08 0.10350D-07  
 0.98802D-08 0.97372D-08 0.10150D-07  
 0.97354D-08 0.95916D-08 0.10016D-07  
 0.96675D-08 0.95229D-08 0.99572D-08  
 0.96851D-08 0.95398D-08 0.99803D-08  
 0.97974E-08 0.96538D-08 0.10095D-07  
 0.10015E-07 0.98775D-08 0.10311D-07  
 0.10350E-07 0.10229D-07 0.10642D-07  
 0.10819E-07 0.10733D-07 0.11105D-07  
 0.11441D-07 0.11426D-07 0.11725D-07  
 0.12248E-07 0.12369D-07 0.12544D-07  
 0.13287E-07 0.13664D-07 0.13627D-07  
 0.14638E-07 0.15490D-07 0.15097D-07  
 0.16458E-07 0.18188D-07 0.17201D-07  
 0.18927D-07 0.21647D-07 0.20248D-07

R LATTICE (CM)

0.5283D+02 0.6054D+02 0.6784D+02

Z LATTICE (CM)

0.4000E+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857E+02 0.5143D+02 0.5425D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7425D+02 0.7714E+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143E+02 0.9425D+02  
 0.9714E+02 0.1000D+03 0.1025D+03 0.1057D+03 0.1096D+03 0.114D+03 0.1143D+03 0.1171E+03 0.1200D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 13

0.13337E-07 0.12515D-07 0.11316D-07  
 0.13411E-07 0.12590D-07 0.11504D-07  
 0.13595D-07 0.12785D-07 0.11751D-07  
 0.13780E-07 0.12986D-07 0.12058D-07  
 0.13963E-07 0.13188D-07 0.12304D-07  
 0.14149E-07 0.13388D-07 0.12531D-07  
 0.14236E-07 0.13583D-07 0.12740D-07  
 0.14523E-07 0.13771D-07 0.12922D-07  
 0.14706E-07 0.13950D-07 0.13109D-07  
 0.14884E-07 0.14118D-07 0.13271D-07  
 0.15055E-07 0.14275D-07 0.13416D-07  
 0.15216E-07 0.14418D-07 0.13547D-07  
 0.15365E-07 0.14548D-07 0.13661D-07  
 0.15501E-07 0.14663D-07 0.13760D-07  
 0.15623E-07 0.14763D-07 0.13844D-07  
 0.15730E-07 0.14849D-07 0.13915D-07  
 0.15821E-07 0.14922E-07 0.13973D-07  
 0.15897E-07 0.14983D-07 0.14024D-07  
 0.15958E-07 0.15035D-07 0.14071D-07  
 0.16007E-07 0.15081D-07 0.14122D-07  
 0.16043E-07 0.15126D-07 0.14166D-07  
 0.16065E-07 0.15176D-07 0.14277D-07  
 0.16085D-07 0.15238D-07 0.14413D-07  
 0.16091E-07 0.15317E-07 0.14621D-07  
 0.16083E-07 0.15420D-07 0.14909D-07  
 0.16055E-07 0.15553D-07 0.15419D-07  
 0.15985E-07 0.15716D-07 0.16138D-07  
 0.15859E-07 0.15902D-07 0.17226D-07  
 0.15619E-07 0.16098E-07 0.20002D-07

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647D+03 0.1717D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 15

0.13912E-07 0.13068D-07 0.13146D-07  
 0.14155E-07 0.13383D-07 0.13214D-07  
 0.14434E-07 0.13714D-07 0.13357D-07  
 0.14641E-07 0.13942D-07 0.13471D-07  
 0.14797E-07 0.14103D-07 0.13562D-07  
 0.14914E-07 0.14217D-07 0.13635D-07  
 0.15004E-07 0.14301D-07 0.13692D-07  
 0.15072E-07 0.14362D-07 0.13735D-07  
 0.15125E-07 0.14406D-07 0.13767D-07  
 0.15166E-07 0.14437D-07 0.13789D-07  
 0.15198E-07 0.14459D-07 0.13803D-07  
 0.15224E-07 0.14473D-07 0.13810D-07  
 0.15245E-07 0.14482D-07 0.13811D-07  
 0.15263E-07 0.14486D-07 0.13803D-07  
 0.15281E-07 0.14490D-07 0.13803D-07  
 0.15301E-07 0.14495D-07 0.13796D-07  
 0.15326E-07 0.14504D-07 0.13792D-07  
 0.15361E-07 0.14522D-07 0.13790D-07  
 0.15409E-07 0.14552D-07 0.13797D-07  
 0.15480E-07 0.14604D-07 0.13816D-07  
 0.15581E-07 0.14685D-07 0.13852D-07  
 0.15725E-07 0.14809D-07 0.13912D-07  
 0.15928E-07 0.14995D-07 0.14008D-07  
 0.16214E-07 0.15271E-07 0.14153D-07  
 0.16616E-07 0.15684D-07 0.14309D-07  
 0.17187E-07 0.16312D-07 0.14691D-07  
 0.18016E-07 0.17298D-07 0.15183D-07  
 0.19272E-07 0.18927D-07 0.15966D-07  
 0.21258E-07 0.21140D-07 0.17152D-07

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

MATERIALVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 8

0.16963D-07 0.16180D-07 0.15792D-07  
 0.16795D-07 0.16336D-07 0.16004D-07  
 0.16835D-07 0.16618D-07 0.16279D-07  
 0.16956D-07 0.16890D-07 0.16653D-07  
 0.17128D-07 0.17161D-07 0.16992D-07  
 0.17333D-07 0.17433D-07 0.17284D-07  
 0.17562D-07 0.17710D-07 0.17574D-07  
 0.17808D-07 0.17990D-07 0.17964D-07  
 0.18064D-07 0.18271D-07 0.18153D-07  
 0.18323D-07 0.18550D-07 0.18439D-07  
 0.18581D-07 0.18823D-07 0.18718D-07  
 0.18830D-07 0.19086D-07 0.18987D-07  
 0.19068D-07 0.19335D-07 0.19241D-07  
 0.19288D-07 0.19565D-07 0.19477D-07  
 0.19487D-07 0.19772D-07 0.19690D-07  
 0.19661D-07 0.19951D-07 0.19875D-07  
 0.19805D-07 0.20101D-07 0.20029D-07  
 0.19918D-07 0.20214D-07 0.20147D-07  
 0.19996D-07 0.20290D-07 0.20226D-07  
 0.20035D-07 0.20324D-07 0.20261D-07  
 0.20034D-07 0.20313D-07 0.20251D-07  
 0.19990D-07 0.20256D-07 0.20191D-07  
 0.19902D-07 0.20148D-07 0.20081D-07  
 0.19765D-07 0.19989D-07 0.19918D-07  
 0.19577D-07 0.19777D-07 0.19700D-07  
 0.19336D-07 0.19511D-07 0.19428D-07  
 0.19039D-07 0.19189D-07 0.19102D-07  
 0.18682D-07 0.18814D-07 0.18724D-07  
 0.18265D-07 0.18386D-07 0.18297D-07  
 0.17787D-07 0.17909D-07 0.17823D-07  
 0.17253D-07 0.17386D-07 0.17307D-07  
 0.16665D-07 0.16822D-07 0.16756D-07  
 0.16035D-07 0.16226D-07 0.16177D-07  
 0.15365D-07 0.15605D-07 0.15577D-07  
 0.14683D-07 0.14971D-07 0.14966D-07  
 0.13985D-07 0.14331D-07 0.14251D-07  
 0.13288D-07 0.13696D-07 0.13744D-07  
 0.12603D-07 0.13077D-07 0.12153D-07  
 0.11940D-07 0.12483D-07 0.12588D-07  
 0.11308D-07 0.11924D-07 0.12059D-07  
 0.10712D-07 0.11410D-07 0.11573D-07  
 0.10159D-07 0.10946D-07 0.11153D-07  
 0.57169D-08 0.10602D-07 0.10814D-07

R LATTICE (CM)

0.5554E+02 0.1036D+03 0.1109D+02

Z LATTICE (CM)

0.4009E+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857E+02 0.5143D+02 0.5425D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7425D+02 0.7714E+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857E+02 0.9143D+02 0.9425D+02  
 0.9714E+02 0.1000D+03 0.1025D+02 0.1057E+03 0.1086D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171E+03 0.1200D+03 0.1225D+03  
 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1343E+03 0.1371D+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457E+03 0.1486D+03 0.1514D+03  
 0.1543E+03 0.1571D+03 0.1600D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 9

0.15792D-07 0.15847D-07 0.16213D-07  
 0.16034D-07 0.15951D-07 0.15900D-07  
 0.16279D-07 0.16187D-07 0.15959D-07  
 0.16653D-07 0.16425D-07 0.16004D-07  
 0.16992D-07 0.16670D-07 0.16170D-07  
 0.17284D-07 0.16924D-07 0.16347D-07  
 0.17574D-07 0.17186D-07 0.16556D-07  
 0.17864D-07 0.17456D-07 0.16797D-07  
 0.18153D-07 0.17731D-07 0.17004D-07  
 0.18439D-07 0.18088D-07 0.17289D-07  
 0.18718D-07 0.18281D-07 0.17548D-07  
 0.18987D-07 0.18547D-07 0.17804D-07  
 0.19241D-07 0.18800D-07 0.18052D-07  
 0.19477D-07 0.19037D-07 0.18285D-07  
 0.19690D-07 0.19252D-07 0.18500D-07  
 0.19875D-07 0.19441D-07 0.18691D-07  
 0.20029D-07 0.19599D-07 0.18854D-07  
 0.20147D-07 0.19723D-07 0.18984D-07  
 0.20226D-07 0.19807D-07 0.19077D-07  
 0.20261D-07 0.19850D-07 0.19151D-07  
 0.20251D-07 0.19846D-07 0.19141D-07  
 0.20191D-07 0.19794D-07 0.19104D-07  
 0.20081D-07 0.19691D-07 0.19018D-07  
 0.19918D-07 0.19536E-07 0.18880D-07  
 0.19700D-07 0.19326D-07 0.18609D-07  
 0.19428D-07 0.19062D-07 0.18443D-07  
 0.19102D-07 0.18744D-07 0.18143D-07  
 0.18724D-07 0.18374D-07 0.17788D-07  
 0.18297D-07 0.17953D-07 0.17300D-07  
 0.17823D-07 0.17486D-07 0.16923D-07  
 0.17307D-07 0.16977D-07 0.16419D-07  
 0.16756D-07 0.16432D-07 0.15876D-07  
 0.16177D-07 0.15858D-07 0.15293D-07  
 0.15577D-07 0.15262D-07 0.14693D-07  
 0.14966D-07 0.14652D-07 0.14070D-07  
 0.14351D-07 0.14038D-07 0.13437D-07  
 0.13744D-07 0.13428D-07 0.12832D-07  
 0.13153D-07 0.12833D-07 0.12175D-07  
 0.12588D-07 0.12261D-07 0.11503D-07  
 0.12059D-07 0.11723D-07 0.10974D-07  
 0.11573D-07 0.11228D-07 0.10415D-07  
 0.11153D-07 0.10786D-07 0.99323D-08  
 0.10814D-07 0.10466D-07 0.94784D-08

R LATTICE (CM)

0.1109E+02 0.1189D+03 0.1262D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 10

0.16617D-07 0.16475D-07 0.15820D-07  
 0.16063D-07 0.15811D-07 0.15191D-07  
 0.15638D-07 0.15244D-07 0.14705D-07  
 0.15243D-07 0.14751D-07 0.14264D-07  
 0.14856D-07 0.14255D-07 0.13840D-07  
 0.14473D-07 0.13862D-07 0.13424D-07  
 0.14097D-07 0.13447D-07 0.13017D-07  
 0.13710D-07 0.13051D-07 0.12623D-07  
 0.13380D-07 0.12677D-07 0.12244D-07  
 0.13050D-07 0.12228D-07 0.11887D-07  
 0.12745D-07 0.12007D-07 0.11556D-07  
 0.12469D-07 0.11717D-07 0.11255D-07  
 0.12225D-07 0.11462D-07 0.10988D-07  
 0.12017E-07 0.11244D-07 0.10759D-07  
 0.11845D-07 0.11066D-07 0.10570D-07  
 0.11711E-07 0.10927D-07 0.10422D-07  
 0.11614E-07 0.10829D-07 0.10318D-07  
 0.11554D-07 0.10771D-07 0.10256D-07  
 0.11527E-07 0.10749D-07 0.10236D-07  
 0.11532D-07 0.10763D-07 0.10255D-07  
 0.11563E-07 0.10806D-07 0.10309D-07  
 0.11615E-07 0.10874D-07 0.10393D-07  
 0.11682E-07 0.10962D-07 0.10500D-07  
 0.11758E-07 0.11060D-07 0.10622D-07  
 0.11835E-07 0.11162D-07 0.10749D-07  
 0.11907E-07 0.11260D-07 0.10872D-07  
 0.11967E-07 0.11344D-07 0.10979D-07  
 0.12068E-07 0.11407D-07 0.11060D-07  
 0.12026E-07 0.11441D-07 0.11104D-07  
 0.12015E-07 0.11442D-07 0.11103D-07  
 0.11973E-07 0.11405D-07 0.11051D-07  
 0.11899E-07 0.11327D-07 0.10947D-07  
 0.11793D-07 0.11209D-07 0.10792D-07  
 0.11656E-07 0.11053D-07 0.10591D-07  
 0.11489E-07 0.10862D-07 0.10350D-07  
 0.11298E-07 0.10640D-07 0.10077D-07  
 0.11084E-07 0.10392D-07 0.97799D-08  
 0.10852E-07 0.10122D-07 0.94664D-08  
 0.10604E-07 0.98330D-08 0.91444D-08  
 0.10342E-07 0.95261D-08 0.83199D-08  
 0.10067E-07 0.91986D-08 0.84963D-08  
 0.97710E-08 0.88412D-08 0.81771D-08  
 0.95140E-08 0.85155D-08 0.79071D-08

R LATTICE (CM)

0.1262E+02 0.1342D+03 0.1414D+02

MATERIALVERTEILUNG BEG-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 11

0.15457D-07 0.14248D-07 0.13309D-07  
 0.15138C-07 0.14225D-07 0.13412D-07  
 0.15044C-07 0.14342D-07 0.13599D-07  
 0.15054C-07 0.14473D-07 0.13791D-07  
 0.15126C-07 0.14619D-07 0.13963D-07  
 0.15240C-07 0.14778D-07 0.14149D-07  
 0.15384C-07 0.14948D-07 0.14335D-07  
 0.15548D-07 0.15125D-07 0.14522D-07  
 0.15726C-07 0.15307D-07 0.14705D-07  
 0.15911C-07 0.15489D-07 0.14883D-07  
 0.16098D-07 0.15668D-07 0.15053D-07  
 0.16282C-07 0.15840D-07 0.15214D-07  
 0.16457C-07 0.16002D-07 0.15364D-07  
 0.16621C-07 0.16151D-07 0.15500D-07  
 0.16765C-07 0.16285D-07 0.15622D-07  
 0.16899C-07 0.16402D-07 0.15728D-07  
 0.17006C-07 0.16500D-07 0.15819D-07  
 0.17089D-07 0.16577D-07 0.15894D-07  
 0.17146D-07 0.16631D-07 0.15954D-07  
 0.17173D-07 0.16663D-07 0.16000D-07  
 0.17168D-07 0.16671D-07 0.16022D-07  
 0.17129D-07 0.16652D-07 0.16053D-07  
 0.17054C-07 0.16605D-07 0.16060D-07  
 0.16938C-07 0.16528D-07 0.16033D-07  
 0.16780D-07 0.16416D-07 0.16029D-07  
 0.16575D-07 0.16264D-07 0.15978D-07  
 0.16319C-07 0.16064D-07 0.15888D-07  
 0.16008C-07 0.15808D-07 0.15726D-07  
 0.15641D-07 0.15485D-07 0.15492D-07  
 0.15216C-07 0.15087D-07 0.15117D-07  
 0.14739C-07 0.14606D-07 0.14592D-07  
 0.14213C-07 0.14046D-07 0.13932D-07  
 0.13645C-07 0.13416D-07 0.13172D-07  
 0.13045D-07 0.12734D-07 0.12345D-07  
 0.12422C-07 0.12016D-07 0.11485D-07  
 0.11785D-07 0.11282D-07 0.10617D-07  
 0.11147C-07 0.10549D-07 0.97651D-08  
 0.10518C-07 0.98331D-08 0.89462D-08  
 0.99069D-08 0.91487D-08 0.81731D-08  
 0.93243C-08 0.85073D-08 0.74553D-08  
 0.87788D-08 0.79192D-08 0.68001D-08  
 0.82783D-08 0.73929D-08 0.62075D-08  
 0.78786C-08 0.69605D-08 0.56955D-08

R LATTICE (CM)

0.1414E+03 0.1495D+03 0.1566D+03

Z LATTICE (CM)

0.4000C+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857C+02 0.5143D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857C+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714C+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714C+02 0.1000D+03 0.1029D+03 0.1057D+03 0.1086D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171D+03 0.1200D+03 0.1229D+03  
 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1343C+03 0.1371C+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457D+03 0.1486D+03 0.1514D+03  
 0.1543C+03 0.1571C+03 0.1600D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 16

0.14098C-07 0.13060D-07 0.10661D-07  
 0.14843C-07 0.13758D-07 0.11443D-07  
 0.15843C-07 0.14678D-07 0.12406D-07  
 0.16942D-07 0.15710D-07 0.13466D-07  
 0.18106C-07 0.16824D-07 0.14583D-07  
 0.19308C-07 0.17989D-07 0.15751D-07  
 0.20520C-07 0.19174D-07 0.16937D-07  
 0.21718C-07 0.20353D-07 0.18114D-07  
 0.22879C-07 0.21499D-07 0.19257D-07  
 0.23978C-07 0.22587D-07 0.20342D-07  
 0.24994C-07 0.23594D-07 0.21344D-07  
 0.25907C-07 0.24498D-07 0.22244D-07  
 0.26698C-07 0.25281D-07 0.23022D-07  
 0.27510C-07 0.25927D-07 0.23662D-07  
 0.27853C-07 0.26420D-07 0.24149D-07  
 0.28193C-07 0.26759D-07 0.24473D-07  
 0.28364C-07 0.26910D-07 0.24625D-07  
 0.28364C-07 0.26894D-07 0.24601D-07  
 0.28193C-07 0.26701D-07 0.24358D-07  
 0.27853C-07 0.26334D-07 0.24018D-07  
 0.27357C-07 0.25797D-07 0.23464D-07  
 0.26719C-07 0.25099D-07 0.22745D-07  
 0.25995C-07 0.24251D-07 0.21870D-07  
 0.25106C-07 0.23265D-07 0.20851D-07  
 0.24196C-07 0.22155D-07 0.19701D-07  
 0.23285C-07 0.20933D-07 0.18458D-07  
 0.22452D-07 0.19608D-07 0.17077D-07  
 0.21834C-07 0.18184D-07 0.15638D-07  
 0.22674D-07 0.16658D-07 0.14143D-07  
 0.20855D-07 0.14844D-07 0.12622D-07  
 0.16149C-07 0.12564D-07 0.11147D-07  
 0.12517D-07 0.11172D-07 0.97644D-08  
 0.10504C-07 0.95511C-08 0.84973D-08  
 0.86211C-08 0.81285D-08 0.70575D-08  
 0.71157C-08 0.69031D-08 0.60407D-08  
 0.58961C-08 0.58590D-08 0.54599D-08  
 0.49014C-08 0.49758D-08 0.46888D-08  
 0.40882C-08 0.42329D-08 0.40259D-08  
 0.34244C-08 0.36114D-08 0.34553D-08  
 0.28848C-08 0.30949D-08 0.29734D-08  
 0.24493D-08 0.26694D-08 0.25657D-08  
 0.21002D-08 0.23225D-08 0.22359D-08  
 0.18172C-08 0.20400D-08 0.19657D-08

R LATTICE (CM)

0.1845E+03 0.1928D+03 0.1998D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 17

0.10661D-07 0.77915D-08 0.51204D-08  
 0.11443D-07 0.86328D-08 0.61470D-08  
 0.12406C-07 0.96243D-08 0.72645D-08  
 0.13466D-07 0.10703D-07 0.34382D-08  
 0.14583D-07 0.11843D-07 0.56527D-08  
 0.15751D-07 0.13018D-07 0.10889D-08  
 0.16937D-07 0.14204D-07 0.12127D-07  
 0.18114C-07 0.15376D-07 0.13344D-07  
 0.19257C-07 0.16511D-07 0.14519D-07  
 0.20342C-07 0.17584D-07 0.15629D-07  
 0.21344C-07 0.18575D-07 0.16652D-07  
 0.22244C-07 0.19464D-07 0.17571D-07  
 0.23022C-07 0.20233D-07 0.20233D-07  
 0.23662C-07 0.20865D-07 0.19020D-07  
 0.24149C-07 0.21548D-07 0.19523D-07  
 0.24473C-07 0.21671C-07 0.19864D-07  
 0.24625C-07 0.21827D-07 0.20036D-07  
 0.24601C-07 0.21811D-07 0.20037D-07  
 0.24358C-07 0.21622D-07 0.19867D-07  
 0.24018C-07 0.21262D-07 0.19530D-07  
 0.23464C-07 0.20738D-07 0.19034D-07  
 0.22745C-07 0.20057D-07 0.18390D-07  
 0.21870C-07 0.19233D-07 0.17614D-07  
 0.20851C-07 0.18279D-07 0.16723D-07  
 0.19701C-07 0.17212D-07 0.15737D-07  
 0.18458C-07 0.16054C-07 0.14678D-07  
 0.17077C-07 0.14826D-07 0.12571D-07  
 0.15638C-07 0.13555D-07 0.12407D-07  
 0.14143D-07 0.12267D-07 0.11200D-07  
 0.12622C-07 0.10992D-07 0.10177D-07  
 0.11147C-07 0.97610D-08 0.90828D-08  
 0.97644D-08 0.85989D-08 0.80324D-08  
 0.84973D-08 0.75224D-08 0.70355D-08  
 0.73575C-08 0.65401D-08 0.61150D-08  
 0.63467C-08 0.56550D-08 0.52665D-08  
 0.54599C-08 0.48662D-08 0.44975D-08  
 0.46988C-08 0.41697D-08 0.38036D-08  
 0.40235D-08 0.35604D-08 0.31976D-08  
 0.34553C-08 0.30324D-08 0.26610D-08  
 0.29734D-08 0.25758D-08 0.21940D-08  
 0.25657C-08 0.21974D-08 0.17911D-08  
 0.22359C-08 0.18805D-08 0.14466D-08  
 0.19637C-08 0.16234D-08 0.11571D-08

R LATTICE (CM)

0.1998E+03 0.2081D+03 0.2150D+03

MATERIALVERTEILUNG BEC-A CORE

MATERIALWERTVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 18

0.13547C-10	0.62496D-11	0.24393D-11	C.7C323D-12	-C.53591D-12
0.21259C-10	0.10132D-10	0.40346D-11	0.13482C-11	-0.22414D-12
0.52236C-10	0.15591D-10	0.63406D-11	C.22615C-11	-0.16402D-13
0.54959C-10	0.26446D-10	0.10794D-10	C.35684C-11	0.12382D-12
0.10141D-09	0.47570D-10	0.19123D-10	C.7C683D-11	0.24050D-12
0.19555C-09	0.67718D-10	0.34216D-10	C.12559C-10	0.36453D-12
0.2847CC-09	0.16171D-09	0.60352D-10	C.21850C-10	0.44779D-12
0.76017D-09	0.29246D-09	0.10255D-09	C.36489C-10	0.25480D-12
0.13898C-08	0.50544D-09	0.16542D-09	C.57280D-10	-0.66690D-12
0.1746CC-08	0.66265D-09	0.20722D-09	C.71267C-10	-0.16234D-11
0.19622C-08	0.79902D-09	0.25001D-09	C.66222D-10	-0.28844D-11
0.21514C-08	0.92282D-09	0.29296D-09	C.10159C-09	-0.44308D-11
0.22198D-08	0.10366D-08	0.35422D-09	C.11691C-09	-0.62445C-11
0.2471CC-08	0.11419D-08	0.37347D-09	C.13139C-09	-0.63170D-11
0.2607CC-08	0.12294D-08	0.41035D-09	C.14598C-09	-0.10622D-10
0.27251C-08	0.13296D-08	0.44456D-09	C.15922D-09	-0.13130D-10
0.28381C-08	0.14122C-08	0.47594D-09	0.17137D-09	-0.15782D-10
0.29344D-08	0.14870D-08	0.50420D-09	C.18229C-09	-0.18517D-10
0.3018CC-08	0.15535D-08	0.52921D-09	C.19187C-09	-0.21250D-10
0.30887D-08	0.16110D-08	0.55069D-09	C.20004C-09	-0.22906D-10
0.31457D-08	0.16588D-08	0.56947D-09	C.20672D-09	-0.26296D-10
0.31887D-08	0.16963D-08	0.59025D-09	C.21196D-09	-0.28658D-10
0.32165C-08	0.17299D-08	0.62215D-09	C.21540C-09	-0.30615D-10
0.32255C-08	0.17379D-08	0.63777D-09	C.21733D-09	-0.32227D-10
0.32456D-08	0.17410D-08	0.65986D-09	C.21761C-09	-0.33435D-10
0.32354D-08	0.17319D-08	0.65536D-09	C.21629C-09	-0.34241D-10
0.31677C-08	0.17103D-08	0.60809D-09	C.21328C-09	-0.34613D-10
0.31125C-08	0.16763D-08	0.57665D-09	0.20874C-09	-0.34566D-10
0.30256C-08	0.16307D-08	0.56084D-09	C.20273D-09	-0.34104D-10
0.29494C-08	0.15756D-08	0.54119D-09	C.19535C-09	-0.33264D-10
0.28422C-08	0.15059D-08	0.51807D-09	C.18675C-09	-0.32072D-10
0.27491C-08	0.14288D-08	0.49130D-09	C.17739C-09	-0.30578D-10
0.25917D-08	0.13437D-08	0.46318D-09	C.16657C-09	-0.28815D-10
0.24315C-08	0.12524D-08	0.43251D-09	C.15540C-09	-0.26846D-10
0.2272CC-08	0.11569D-08	0.40052D-09	C.14331C-09	-0.24715D-10
0.21052C-08	0.10590D-08	0.36797D-09	C.13202C-09	-0.22485D-10
0.19307C-08	0.96618C-09	0.32523D-09	C.12026C-09	-0.20195D-10
0.17645C-08	0.66552D-09	0.20219D-09	0.10875C-09	-0.1789D-10
0.15791C-08	0.77389D-09	0.27229D-09	C.97633D-10	-0.15643D-10
0.14591C-08	0.68781C-09	0.24292D-09	C.87067C-10	-0.12469D-10
0.1250CC-08	0.60822D-09	0.21545D-09	C.77144C-10	-0.11402D-10
0.11527C-08	0.53570D-09	0.19032D-09	C.67921C-10	-0.94836D-11
0.10278C-08	0.47024D-09	0.16667D-09	0.59412C-10	-0.77270C-11
0.95122C-09	0.41151D-09	0.14536D-09	C.51606D-10	-0.61507D-11
0.8144CC-09	0.35892D-09	0.12594D-09	C.44469D-10	-0.47623D-11
0.7239CC-09	0.31159D-09	0.10823D-09	C.37553C-10	-0.35653D-11
0.64229C-09	0.26858D-09	0.92026D-10	C.32012D-10	-0.25580D-11
0.56792D-09	0.22883D-09	0.77122D-10	C.26608C-10	-0.17312D-11
0.49899D-09	0.19111D-09	0.63388D-10	C.21722C-10	-0.10706D-11
0.42333C-09	0.15405D-09	0.50774D-10	C.17362D-10	-0.56678D-12
0.32796D-09	0.11592D-09	0.39404D-10	0.13556C-10	-0.20709D-12
0.16222C-09	0.59875D-10	0.21808D-10	C.77200D-11	0.15950D-12
0.70647D-10	0.29235D-10	0.11369D-10	C.41363C-11	0.22531D-12
0.30308C-10	0.13935D-10	0.37274D-11	C.21556D-11	0.19588D-12
0.13004C-10	0.67264D-11	0.29029D-11	C.11355C-11	0.15296D-12
0.66839C-11	0.34711D-11	0.15584D-11	0.63245C-12	0.11037D-12
0.37745C-11	0.20541D-11	0.64600D-12	C.39362D-12	0.60862D-13
0.1917CC-11	0.11029D-11	0.52648D-12	C.21657C-12	-0.12492D-13

F LATTICE (CM)

0.2150D+02	0.2234D+03	0.2311D+03	0.2373D+03	0.2427D+03
------------	------------	------------	------------	------------

Z LATTICE (CM)

0.0	0.5000D+01	0.1000D+02	0.1500C+02	0.2000C+02	0.2500D+02	0.3000D+02	C.3500D+02	0.4000D+02	0.4286D+02
0.4571C+02	0.4857D+02	0.3143D+02	0.5429C+02	0.5714D+02	0.6000C+02	0.6286D+02	C.6571D+02	0.6857D+02	0.7143D+02
0.7429C+02	0.7714D+02	0.8000D+02	0.8286C+02	0.8571D+02	0.8857D+02	0.9143D+02	C.9429D+02	0.9714D+02	C.1000D+03
0.1029C+03	0.1057D+03	0.1086D+03	0.1114D+03	0.1143D+03	0.1171D+03	0.1200D+03	0.1229D+03	0.1257D+03	0.1286D+03
0.1314C+03	0.1343D+03	0.1371D+03	0.1400C+03	0.1429D+03	0.1457D+03	0.1486D+03	0.1514D+03	0.1543D+03	0.1571D+03
0.1600C+03	0.1657D+03	0.1714D+03	0.1771C+03	0.1829D+03	0.1886D+03	0.1943D+03	C.2000D+03		

INPUT MATERIAL WCRTH FOR REGION 19

0.83235C-08 0.85477D-08 0.92189D-08  
 0.58329C-08 0.59219D-08 0.61820D-08  
 0.37551C-08 0.37672D-08 0.37891D-08  
 0.22305C-08 0.22216D-08 0.21910D-08  
 0.12610C-08 0.12502D-08 0.12109D-08  
 0.69408C-09 0.68722D-09 0.66509D-09  
 0.37345C-09 0.37373D-09 0.37677D-09  
 0.17052C-09 0.17871D-09 0.21230D-09

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358D+01 0.3685D+01

INPUT MATERIAL WCRTH FOR REGION 20

-0.10664C-09 0.96460D-09 0.10428D-08 0.14771C-08 0.14711D-08  
 0.21405C-09 0.63874D-09 0.36459D-09 0.92564C-09 0.90669D-09  
 0.26114C-09 0.39158D-09 0.45038D-09 0.47130D-09 0.45366D-09  
 0.22083C-09 0.22902D-09 0.23482D-09 0.23510C-09 0.21946D-09  
 0.16328C-09 0.13613D-09 0.12632D-09 0.11864C-09 0.10563D-09  
 0.11683C-09 0.83209D-10 0.73122D-10 0.63530C-10 0.52866D-10  
 0.88223D-10 0.61936D-10 0.47707D-10 0.38595D-10 0.29473D-10  
 0.58538C-10 0.37294D-10 0.26505D-10 0.19729C-10 0.13822D-10

R LATTICE (CM)

0.8685D+01 0.1589D+02 0.2306D+02 0.3052D+02 0.3786D+02

INPUT MATERIAL WCRTH FOR REGION 21

0.14711C-08 0.13696D-08 0.11896D-08  
 0.90669C-09 0.83100D-09 0.71129D-09  
 0.45366C-09 0.40606D-09 0.33779D-09  
 0.21946C-09 0.19003D-09 0.15266D-09  
 0.10563C-09 0.87240D-10 0.66829D-10  
 0.52866C-10 0.40487D-10 0.23304D-10  
 0.29473C-10 0.20042D-10 0.10831D-10  
 0.13822C-10 0.76554D-11 0.10672D-11

R LATTICE (CM)

0.3786C+02 0.4550D+02 0.5283D+02

INPUT MATERIAL WCRTH FOR REGION 22

-0.22067C-08 -0.22361D-08 -0.25661D-08  
 -0.95411C-09 -0.98116D-09 -0.11456D-08  
 -0.42749C-09 -0.44242D-09 -0.52859D-09  
 -0.18627C-09 -0.19355D-09 -0.20609D-09  
 -0.75124C-10 -0.82509D-10 -0.10212D-09  
 -0.32959C-10 -0.34675D-10 -0.43076D-10  
 -0.13960C-10 -0.15138D-10 -0.19033D-10  
 -0.80577C-11 -0.87422D-11 -0.12827D-10

R LATTICE (CM)

0.5283D+02 0.6054D+02 0.6784D+02

INPUT MATERIAL WCRTH FOR REGION 23

0.22986C-08 0.20253D-08 0.15605D-08  
 0.14147C-08 0.12667D-08 0.10671D-08  
 0.71793C-09 0.66330D-09 0.59533D-09  
 0.35002D-09 0.33454D-09 0.31788D-09  
 0.16564C-09 0.16547D-09 0.16765D-09  
 0.75528C-10 0.81865D-10 0.91187D-10  
 0.30782C-10 0.41710D-10 0.54576D-10  
 0.48716C-11 0.16505D-10 0.28512D-10

R LATTICE (CM)

0.6784C+02 0.7421D+02 0.8008D+02

Z LATTICE (CM)

0.1600C+03 0.1657D+03 0.1714D+03 0.1771C+03 0.1825D+03 0.1886D+03 0.1943D+03 0.2000D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 24

0.24832D-08 0.23434D-08 0.25554D-08  
 0.16069E-08 0.15427D-08 0.16487D-08  
 0.88215E-09 0.87052D-09 0.91130D-09  
 0.46226E-09 0.46572D-09 0.43864D-09  
 0.23753E-09 0.25077D-09 0.26229D-09  
 0.12427E-09 0.13875D-09 0.14750D-09  
 0.70345E-10 0.64506D-10 0.91843D-10  
 0.35291E-10 0.45118D-10 0.49578D-10

R LATTICE (CM)

0.9008E+02 0.8811D+02 0.9554D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 25

0.11913E-08 0.14138D-08 0.14234D-08  
 0.82831E-09 0.95202D-09 0.96063D-09  
 0.46349E-09 0.51163D-09 0.51324D-09  
 0.25822E-09 0.27636D-09 0.27687D-09  
 0.14890E-09 0.15670D-09 0.15734D-09  
 0.93418E-10 0.97721D-10 0.93780D-10  
 0.66437E-10 0.69474D-10 0.70758D-10  
 0.38869D-10 0.40486D-10 0.41428D-10

R LATTICE (CM)

0.9554E+02 0.1036D+03 0.1109D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 26

0.14234E-08 0.12646D-08 0.97413D-09  
 0.96063E-09 0.86105D-09 0.64503D-09  
 0.51324E-09 0.46513D-09 0.53817D-09  
 0.27687E-09 0.25675D-09 0.22555D-09  
 0.15734E-09 0.15009D-09 0.13949D-09  
 0.98780E-10 0.96799D-10 0.93753D-10  
 0.70758E-10 0.70786D-10 0.70422D-10  
 0.41428E-10 0.42253D-10 0.43193D-10

R LATTICE (CM)

0.1109E+03 0.1189D+03 0.1262D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 27

0.27235E-08 0.23906D-08 0.25434D-08  
 0.17745D-08 0.16115D-08 0.16829D-08  
 0.10072E-08 0.94499D-09 0.95577D-09  
 0.55366E-09 0.52856D-09 0.52048D-09  
 0.30362E-09 0.29194D-09 0.27979D-09  
 0.17326E-09 0.16680D-09 0.15465D-09  
 0.10833E-09 0.10404D-09 0.93060D-10  
 0.59465E-10 0.57399D-10 0.50298D-10

R LATTICE (CM)

0.1262E+03 0.1342D+03 0.1414D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 28

0.10989E-08 0.15036D-08 0.16327D-08  
 0.80300E-09 0.96069D-09 0.10044D-08  
 0.47207E-09 0.51165D-09 0.51465D-09  
 0.26991D-09 0.26853D-09 0.25649D-09  
 0.15553E-09 0.14243D-09 0.12721D-09  
 0.54818E-10 0.75543D-10 0.64964D-10  
 0.64462E-10 0.49330D-10 0.36052D-10  
 0.37673E-10 0.26317D-10 0.17144D-10

R LATTICE (CM)

0.1414E+03 0.1495D+03 0.1566D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 29

0.16637E-08 0.17211D-08 0.17496D-08  
 0.10044E-08 0.99796D-09 0.97416D-09  
 0.51465E-09 0.46636D-09 0.47038D-09  
 0.25649E-09 0.23735D-09 0.21747D-09  
 0.12721E-09 0.11104D-09 0.97376D-10  
 0.64964E-10 0.51684D-10 0.41886D-10  
 0.36052E-10 0.24501D-10 0.15611D-10  
 0.17144E-10 0.90252D-11 0.23299D-11

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647D+03 0.1717D+03

Z LATTICE (CM)

0.1600D+03 0.1557D+03 0.1714D+03 0.1771E+03 0.1829D+03 0.1886D+03 0.1943D+03 0.2000D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 30

-0.14484E-08 -0.11649D-08 -0.10951D-08  
 -0.60556E-09 -0.47473D-09 -0.44091D-09  
 -0.26308E-09 -0.19869D-09 -0.13453D-09  
 -0.11164E-09 -0.80720D-10 -0.75019D-10  
 -0.46380E-10 -0.32006D-10 -0.25733D-10  
 -0.19107E-10 -0.12512D-10 -0.11322D-10  
 -0.85126E-11 -0.50517D-11 -0.44579D-11  
 -0.56925E-11 -0.26351D-11 -0.22450D-11

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

Z LATTICE (CM)

0.1600E+03 0.1657D+03 0.1714D+03 0.1771E+03 0.1829D+03 0.1886D+03 0.1943D+03 0.2000E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 31

0.64231E-09 0.64575D-09 0.61250D-09  
 0.35490E-09 0.35986D-09 0.32510D-09  
 0.15384E-09 0.15746D-09 0.14710D-09  
 0.62518E-10 0.66314D-10 0.62917D-10  
 0.25404E-10 0.27546D-10 0.20906D-10  
 0.98710E-11 0.11720D-10 0.12185D-10  
 0.35673E-11 0.54979D-11 0.52910D-11  
 0.45067E-12 0.20234D-11 0.27703D-11

R LATTICE (CM)

0.1845E+03 0.1928D+03 0.1993D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 32

0.61250E-09 0.53000D-09 0.42450D-09  
 0.33510E-09 0.27410D-09 0.20257D-09  
 0.14710E-09 0.11894D-09 0.80286D-10  
 0.62917E-10 0.51170D-10 0.39132D-10  
 0.26966E-10 0.22374D-10 0.16770D-10  
 0.12185E-10 0.10466D-10 0.78597D-11  
 0.63310E-11 0.56795D-11 0.42640D-11  
 0.27703E-11 0.26616D-11 0.20945D-11

R LATTICE (CM)

0.1998E+03 0.2081D+03 0.2150D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 33

-0.18502E-10 -0.23082D-10 -0.90850D-10  
 -0.36766E-10 -0.44767D-10 -0.16773D-09  
 -0.82158E-10 -0.99317D-10 -0.36129D-09  
 -0.18825E-09 -0.22722D-09 -0.78731D-09  
 -0.43571E-09 -0.52644D-09 -0.17120D-08  
 -0.10231E-08 -0.12492D-08 -0.37602D-08  
 -0.23974E-08 -0.30781D-08 -0.87422D-08  
 -0.41062E-08 -0.69298D-08 -0.23055D-07  
 -0.43376E-07 -0.49498D-07 -0.73176D-07

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358E+01 0.3685D+01

Z LATTICE (CM)

0.0 0.5000E+01 0.1000D+02 0.1500E+02 0.2000D+02 0.2500E+02 0.3000D+02 0.3500E+02 0.4000D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 34

0.15814E-10 0.40076D-10 0.55754D-10 0.65342D-10 0.71169D-10  
 0.85539E-10 0.86222D-10 0.90023D-10 0.10370D-09 0.10819D-09  
 0.20563E-09 0.16091D-09 0.14503D-09 0.14292D-09 0.14162D-09  
 0.44196E-09 0.30590D-09 0.24271D-09 0.21761D-09 0.20273D-09  
 0.93184E-09 0.61081D-09 0.42844D-09 0.35348E-09 0.31027D-09  
 0.19684E-08 0.11967D-08 0.76001D-09 0.56726E-09 0.49151D-09  
 0.42333E-08 0.22336D-08 0.12944D-08 0.9027E-09 0.78204D-09  
 0.96953E-08 0.36347D-08 0.20150D-08 0.14976E-08 0.12198E-08  
 0.18305E-07 0.46919D-08 0.26358D-08 0.15674E-08 0.15909D-08

R LATTICE (CM)

0.8685E+01 0.1589E+02 0.2306D+02 0.3052E+02 0.3786D+02

MATERIALWERTVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 35

0.711650-10 0.760960-10 0.792830-10  
 0.108190-09 0.112260-09 0.116680-09  
 0.141620-09 0.142280-09 0.147340-09  
 0.202730-09 0.195080-09 0.199130-09  
 0.310270-09 0.283550-09 0.279310-09  
 0.491510-09 0.424890-09 0.392130-09  
 0.782040-09 0.641600-09 0.525520-09  
 0.121980-08 0.966730-09 0.625010-09  
 0.159090-08 0.120120-08 0.544990-09

R LATTICE (CM)

0.57860+02 0.45500+02 0.52820+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 36

0.110830-09 0.106820-09 0.938030-10  
 0.182320-09 0.180230-09 0.165220-09  
 0.272700-09 0.277050-09 0.258570-09  
 0.439780-09 0.454050-09 0.466620-09  
 0.726970-09 0.700020-09 0.923530-09  
 0.119450-08 0.125190-08 0.142560-08  
 0.190190-08 0.196720-08 0.255230-08  
 0.287600-08 0.286110-08 0.359230-08  
 0.392210-08 0.372930-08 0.409130-08

R LATTICE (CM)

0.52830+02 0.60540+02 0.57840+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 37

0.699360-10 0.458590-10 0.176460-10  
 0.114860-09 0.913150-10 0.650230-10  
 0.169830-09 0.155530-09 0.153190-09  
 0.271560-09 0.282250-09 0.271530-09  
 0.444330-09 0.522440-09 0.554030-09  
 0.710450-09 0.956830-09 0.112770-08  
 0.106370-08 0.167960-08 0.228050-08  
 0.141910-08 0.267520-08 0.457170-08  
 0.156070-08 0.352220-08 0.758800-08

R LATTICE (CM)

0.67840+02 0.74210+02 0.30080+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 38

-0.164290-10 -0.165510-10 -0.350570-11  
 -0.249800-10 -0.253270-10 -0.154510-10  
 -0.663320-10 -0.599650-10 -0.494750-10  
 -0.163220-09 -0.138070-09 -0.128960-09  
 -0.376530-09 -0.300370-09 -0.308730-09  
 -0.833730-09 -0.615310-09 -0.709550-09  
 -0.179580-08 -0.114870-08 -0.199530-08  
 -0.378310-08 -0.181240-08 -0.353680-08  
 -0.924610-08 -0.504890-08 -0.891110-08

R LATTICE (CM)

0.80080+02 0.88110+02 0.95540+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 39

0.166930-10 0.360970-10 0.402270-10  
 0.527920-10 0.735410-10 0.734660-10  
 0.112490-09 0.129220-09 0.135710-09  
 0.241610-09 0.250040-09 0.252010-09  
 0.518300-09 0.496480-09 0.438210-09  
 0.109640-08 0.965910-09 0.923550-09  
 0.226340-08 0.177580-08 0.164370-08  
 0.454170-09 0.295220-08 0.266140-08  
 0.760050-08 0.413630-08 0.367200-08

R LATTICE (CM)

0.95540+02 0.10360+03 0.11090+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 40

0.402270-10 0.312470-10 0.109590-10  
 0.784660-10 0.678270-10 0.452020-10  
 0.123710-09 0.125280-09 0.106160-09  
 0.252010-09 0.251640-09 0.240200-09  
 0.488210-09 0.513750-09 0.534200-09  
 0.923550-09 0.102210-08 0.116520-08  
 0.164370-08 0.191150-08 0.247730-08  
 0.266140-08 0.319630-08 0.512820-08  
 0.367200-08 0.445680-08 0.876210-08

R LATTICE (CM)

0.11090+03 0.11890+03 0.12620+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.50000+01 0.10000+02 0.15000+02 0.20000+02 0.25000+02 0.30000+02 0.35000+02 0.40000+02

MATERIALWERTVERTEILUNG BEC-A CORE

MATERIALVERTEILUNG BEC-A CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 41

-0.13175E-10 -0.17450D-10 -0.19709D-10  
 -0.21291E-10 -0.27769D-10 -0.30316D-10  
 -0.55247E-10 -0.62036D-10 -0.71645D-10  
 -0.13683E-09 -0.14097D-09 -0.16984D-09  
 -0.22681E-09 -0.31080D-09 -0.39277D-09  
 -0.76555E-09 -0.65343D-09 -0.85262D-09  
 -0.17793E-08 -0.12732D-08 -0.20105D-08  
 -0.41288E-08 -0.20910D-08 -0.45066D-08  
 -0.11071E-07 -0.62960D-08 -0.11436D-07

R LATTICE (CM)

0.1262E+03 0.1342D+03 0.1414D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 42

0.12372E-10 0.36956D-10 0.52360D-10  
 0.52803E-10 0.74481D-10 0.97511D-10  
 0.11847E-09 0.12802D-09 0.12314D-09  
 0.25186E-09 0.23635D-09 0.20612D-09  
 0.52848E-09 0.44849D-09 0.34920D-09  
 0.11024E-08 0.84463D-09 0.39177D-09  
 0.22757E-08 0.15162D-08 0.97613D-09  
 0.46498E-08 0.24621D-08 0.15106D-08  
 0.79319E-08 0.33459D-08 0.20074D-08

R LATTICE (CM)

0.1414E+03 0.1495D+03 0.1566D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 43

0.52590E-10 0.64419D-10 0.70709D-10  
 0.87511E-10 0.96436D-10 0.10353D-09  
 0.12814E-09 0.12626D-09 0.12576D-09  
 0.20612E-09 0.18005D-09 0.16291D-09  
 0.34820E-09 0.27155D-09 0.21908D-09  
 0.55177E-09 0.41833D-09 0.29871D-09  
 0.97613E-09 0.64090D-09 0.39379D-09  
 0.15136E-08 0.56476D-09 0.43979D-09  
 0.20074E-08 0.12506D-08 0.50906D-09

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647D+03 0.1717D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 44

0.12486E-09 0.12028D-09 0.11813D-09  
 0.20511E-09 0.20173D-09 0.19302D-09  
 0.31592E-09 0.31192D-09 0.29947D-09  
 0.51671E-09 0.50800D-09 0.49506D-09  
 0.86293E-09 0.84469D-09 0.33890D-09  
 0.14285E-08 0.13929D-08 0.14104D-08  
 0.22936E-08 0.22227D-08 0.25215D-08  
 0.35135E-08 0.33481D-08 0.36571D-08  
 0.49803E-08 0.46554D-08 0.52605D-08

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 45

0.70530E-10 0.30759D-10 0.34677D-10  
 0.10123E-09 0.76961D-10 0.35554D-10  
 0.12965E-09 0.10474D-09 0.80300D-10  
 0.18118E-09 0.15853D-09 0.13002D-09  
 0.26894E-09 0.26084D-09 0.22892D-09  
 0.41042E-09 0.45195D-09 0.42290D-09  
 0.62576E-09 0.80403D-09 0.79577D-09  
 0.93600E-09 0.14440D-08 0.14912D-08  
 0.12321E-08 0.23254D-08 0.25393D-08

R LATTICE (CM)

0.1845E+03 0.1928D+03 0.1998D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 46

0.34677E-10 0.22704D-10 0.14454D-10  
 0.55554E-10 0.37415D-10 0.23437D-10  
 0.80300E-10 0.56477D-10 0.36553D-10  
 0.13002E-09 0.55662D-10 0.64506D-10  
 0.22892E-09 0.17542D-09 0.12254D-09  
 0.42290E-09 0.33561D-09 0.24089D-09  
 0.79577E-09 0.65229D-09 0.47849D-09  
 0.14912E-08 0.12664D-08 0.94843D-09  
 0.25393E-08 0.22888D-08 0.10642D-08

R LATTICE (CM)

0.1998E+03 0.2081D+03 0.2150D+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.5000D+01 0.1000D+02 0.1500E+02 0.2000D+02 0.2500D+02 0.3000D+02 0.3500D+02 0.4000D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 1

0.19272C-07 0.19605D-07 0.20453D-07  
 0.17956C-07 0.18173D-07 0.20093D-07  
 0.16625C-07 0.16838D-07 0.17702D-07  
 0.15034D-07 0.15190D-07 0.15667D-07  
 0.13194D-07 0.13209D-07 0.13640D-07  
 0.11163C-07 0.11255D-07 0.11526D-07  
 0.85572D-08 0.90774D-08 0.90163D-08  
 0.67473C-08 0.68194D-08 0.70363D-08  
 0.44566D-08 0.45220D-08 0.47194D-08  
 0.21657C-08 0.22245D-08 0.24017D-08  
 -0.88278C-10 -0.36209D-10 0.11977D-09  
 -0.22706C-08 -0.22254D-08 -0.20510D-08  
 -0.43489C-08 -0.43107D-08 -0.41931D-08  
 -0.62938D-08 -0.62626D-08 -0.61702D-08  
 -0.80772D-08 -0.80522D-08 -0.79802D-08  
 -0.96745C-08 -0.96552D-08 -0.96014D-08  
 -0.11064D-07 -0.11050D-07 -0.11012D-07  
 -0.12226C-07 -0.12216D-07 -0.12192D-07  
 -0.13145D-07 -0.13139D-07 -0.13126D-07  
 -0.13805D-07 -0.13806D-07 -0.13801D-07  
 -0.14210D-07 -0.14208D-07 -0.14203D-07  
 -0.14341C-07 -0.14340D-07 -0.14341D-07  
 -0.14204C-07 -0.14202D-07 -0.14201D-07  
 -0.13795D-07 -0.13795D-07 -0.13790D-07  
 -0.13135C-07 -0.13128D-07 -0.13114D-07  
 -0.12221C-07 -0.12211D-07 -0.12185D-07  
 -0.11073D-07 -0.11058D-07 -0.11017D-07  
 -0.97091C-08 -0.96882D-08 -0.96289D-08  
 -0.81513C-08 -0.81237D-08 -0.80439D-08  
 -0.64259D-08 -0.63950D-08 -0.62865D-08  
 -0.45612C-08 -0.45171D-08 -0.43872D-08  
 -0.25605D-08 -0.25373D-08 -0.23779D-08  
 -0.54951C-09 -0.46578D-09 -0.29502D-09  
 0.15226C-08 0.15981D-08 0.18231D-08  
 0.35839D-08 0.36718D-08 0.39351D-08  
 0.55870C-08 0.56896D-08 0.59961D-08  
 0.74801D-08 0.76007D-08 0.75585D-08  
 0.92047D-08 0.93490D-08 0.97720D-08  
 0.10692C-07 0.10869C-07 0.11383D-07  
 0.11858C-07 0.12085D-07 0.12737D-07  
 0.12596C-07 0.12895D-07 0.13784D-07  
 0.12775C-07 0.13163D-07 0.14493D-07  
 0.12621C-07 0.13104D-07 0.15009D-07

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358D+01 0.8685D+C1

Z LATTICE (CM)

0.4000C+02 0.4236D+02 0.4571D+02 0.4857C+02 0.5143D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714C+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714C+02 0.1000D+03 0.1029D+03 0.1057D+03 0.1086D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171D+03 0.1200D+03 0.1229D+03  
 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1342C+03 0.1371D+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457D+03 0.1486D+03 0.1514D+03  
 0.1543C+03 0.1571D+03 0.1600D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 2

0.14934D-07 0.14561D-07 0.149914D-07 C.13615D-07 0.13315D-07  
 0.14165C-07 0.14312D-07 0.14011D-07 C.13773D-07 0.13472D-07  
 0.13974C-07 0.14293D-07 0.14227D-07 C.14045C-07 0.13748D-07  
 0.13956C-07 0.14402D-07 0.14461D-07 C.14327D-07 0.14043D-07  
 0.14130D-07 0.14594D-07 0.14720D-07 0.14625C-07 0.14358D-07  
 0.14371C-07 0.14840D-07 0.15002D-07 C.14937D-07 0.14687D-07  
 0.1465C-07 0.15121D-07 0.15302D-07 0.15261C-07 0.15026D-07  
 0.14951C-07 0.15423D-07 0.15614D-07 C.15592C-07 0.15370D-07  
 0.15267C-07 0.15738D-07 0.15904D-07 C.15926D-07 0.15714D-07  
 0.15589D-07 0.16057D-07 0.16255D-07 0.16257C-07 0.16054D-07  
 0.15911C-07 0.16374D-07 0.16572D-07 C.16582D-07 0.16385D-07  
 0.16270C-07 0.16682D-07 0.16880D-07 0.16895C-07 0.16702D-07  
 0.16531D-07 0.16978D-07 0.17173D-07 C.17192C-07 0.17002D-07  
 0.16818C-07 0.17256D-07 0.17448D-07 C.17470D-07 0.17281D-07  
 0.17082C-07 0.17511D-07 0.17700D-07 0.17724C-07 0.17535D-07  
 0.17320C-07 0.17740D-07 0.17926D-07 C.17951D-07 0.17762D-07  
 0.17528C-07 0.17940D-07 0.18122D-07 0.18147D-07 0.17958D-07  
 0.17702C-07 0.18107D-07 0.18236D-07 0.18312C-07 0.18122D-07  
 0.17841C-07 0.18239D-07 0.18416D-07 C.18441D-07 0.18251D-07  
 0.17940C-07 0.18334D-07 0.18509D-07 0.18534C-07 0.18343D-07  
 0.18000C-07 0.18391D-07 0.18565D-07 C.18595D-07 0.18398D-07  
 0.18018D-07 0.18409D-07 0.18582D-07 0.18607D-07 0.18415D-07  
 0.17994D-07 0.18387D-07 0.18561D-07 C.18587C-07 0.18394D-07  
 0.17929C-07 0.18326D-07 0.18502D-07 C.18528D-07 0.18360D-07  
 0.17822C-07 0.18226D-07 0.18406D-07 0.18432C-07 0.18242D-07  
 0.17675D-07 0.18088D-07 0.18272D-07 C.18301D-07 0.18112D-07  
 0.17485C-07 0.17914D-07 0.18105D-07 0.18136D-07 0.17950D-07  
 0.17266D-07 0.17705D-07 0.17904D-07 C.17940D-07 0.17757D-07  
 0.17008D-07 0.17465D-07 0.17674D-07 C.17714D-07 0.17560D-07  
 0.16718D-07 0.17194D-07 0.17416D-07 0.17463D-07 0.17292D-07  
 0.16597D-07 0.16897D-07 0.17133D-07 C.17190D-07 0.17027D-07  
 0.16045C-07 0.16575D-07 0.16829D-07 0.16897D-07 0.16745D-07  
 0.15675D-07 0.16232D-07 0.16507D-07 0.16585D-07 0.16450D-07  
 0.15278C-07 0.15871D-07 0.16171D-07 C.16270D-07 0.16147D-07  
 0.14395C-07 0.15495D-07 0.15825D-07 0.15942D-07 0.15840D-07  
 0.14422C-07 0.15108D-07 0.15473D-07 C.15612D-07 0.15532C-07  
 0.13965C-07 0.14715D-07 0.15118D-07 C.15290C-07 0.15227D-07  
 0.1349C-07 0.14321D-07 0.14767D-07 0.14952C-07 0.14927D-07  
 0.12998C-07 0.13935D-07 0.14424D-07 C.14629D-07 0.14633D-07  
 0.12493C-07 0.13569D-07 0.14096D-07 0.14312D-07 0.14344D-07  
 0.11986D-07 0.13240D-07 0.13787D-07 C.14001C-07 0.14058C-07  
 0.11506C-07 0.12973D-07 0.13500D-07 C.13692D-07 0.13763D-07  
 0.1118C-07 0.12866D-07 0.13366D-07 0.13488C-07 0.13567D-07

R LATTICE (CM)

0.8685D+01 0.1585D+02 0.2300D+02 0.3052D+02 0.3786D+02

TAB.: 7-9  
 TOTALE MATERIALWERTVERTEILUNG (ΔK/K / CM<sup>3</sup>)  
 FÜR DAS EEC-B CORE (ZONENWEISE)

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 3

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 6

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 7

0.133150-07 0.128560-07 0.120160-07  
 0.134720-07 0.130080-07 0.122760-07  
 0.137480-07 0.132870-07 0.126420-07  
 0.140430-07 0.135970-07 0.130120-07  
 0.143580-07 0.139290-07 0.133830-07  
 0.146870-07 0.142750-07 0.137510-07  
 0.150260-07 0.146270-07 0.141160-07  
 0.153700-07 0.149810-07 0.144750-07  
 0.157140-07 0.153320-07 0.148260-07  
 0.160540-07 0.156760-07 0.151680-07  
 0.163850-07 0.160080-07 0.154860-07  
 0.167020-07 0.163260-07 0.158090-07  
 0.170020-07 0.166250-07 0.161030-07  
 0.172810-07 0.169030-07 0.163760-07  
 0.175350-07 0.171550-07 0.166240-07  
 0.177620-07 0.173800-07 0.168440-07  
 0.179580-07 0.175740-07 0.170350-07  
 0.181220-07 0.177360-07 0.171930-07  
 0.182510-07 0.178630-07 0.173180-07  
 0.183430-07 0.179540-07 0.174070-07  
 0.183980-07 0.180080-07 0.174600-07  
 0.184150-07 0.180240-07 0.174750-07  
 0.183540-07 0.180040-07 0.174540-07  
 0.183360-07 0.179460-07 0.173970-07  
 0.182420-07 0.178520-07 0.173050-07  
 0.181120-07 0.177250-07 0.171790-07  
 0.179500-07 0.175650-07 0.170210-07  
 0.177570-07 0.173760-07 0.168260-07  
 0.175360-07 0.171610-07 0.166240-07  
 0.172920-07 0.169220-07 0.163920-07  
 0.170270-07 0.166650-07 0.161420-07  
 0.167450-07 0.163940-07 0.158800-07  
 0.164500-07 0.161130-07 0.156110-07  
 0.161470-07 0.158280-07 0.153420-07  
 0.158400-07 0.155420-07 0.150780-07  
 0.155320-07 0.152630-07 0.148280-07  
 0.152270-07 0.149930-07 0.145930-07  
 0.149270-07 0.147370-07 0.143980-07  
 0.146330-07 0.144590-07 0.142380-07  
 0.143440-07 0.142800-07 0.141300-07  
 0.140580-07 0.140800-07 0.140940-07  
 0.137630-07 0.138970-07 0.141700-07  
 0.135670-07 0.138390-07 0.144590-07

R LATTICE (CM)

0.37860+02 0.45500+02 0.52830+02

Z LATTICE (CM)

0.40000+02 0.42860+02 0.45710+02 0.48570+02 0.51430+02 0.54290+02 0.57140+02 0.60000+02 0.62860+02 0.65710+02  
 0.68570+02 0.71430+02 0.74290+02 0.77140+02 0.80000+02 0.82860+02 0.85710+02 0.88570+02 0.91430+02 0.94290+02  
 0.97140+02 0.10000+03 0.10290+02 0.10570+02 0.10860+02 0.11140+02 0.11430+02 0.11710+02 0.12000+02 0.12290+02  
 0.12570+02 0.12860+02 0.13140+02 0.13430+02 0.13710+02 0.14000+02 0.14290+02 0.14570+02 0.14860+02 0.15140+02  
 0.15430+02 0.15710+02 0.16000+02

0.119240-07 0.126720-07 0.132170-07  
 0.121300-07 0.126770-07 0.130390-07  
 0.124270-07 0.128260-07 0.130550-07  
 0.127420-07 0.130230-07 0.131620-07  
 0.130470-07 0.132590-07 0.133250-07  
 0.132550-07 0.135060-07 0.135290-07  
 0.136640-07 0.137750-07 0.137810-07  
 0.139730-07 0.40550-07 0.140120-07  
 0.142790-07 0.143400-07 0.142760-07  
 0.145810-07 0.146260-07 0.145460-07  
 0.143740-07 0.149080-07 0.148150-07  
 0.151570-07 0.151810-07 0.150800-07  
 0.154240-07 0.154420-07 0.153040-07  
 0.156740-07 0.156870-07 0.155740-07  
 0.159030-07 0.159110-07 0.157950-07  
 0.161070-07 0.161130-07 0.159950-07  
 0.162850-07 0.162900-07 0.161690-07  
 0.164340-07 0.164380-07 0.163160-07  
 0.165530-07 0.165560-07 0.164330-07  
 0.166390-07 0.166420-07 0.165190-07  
 0.166520-07 0.166950-07 0.165720-07  
 0.167110-07 0.167130-07 0.165910-07  
 0.166960-07 0.166980-07 0.165770-07  
 0.166470-07 0.166500-07 0.165280-07  
 0.165660-07 0.165680-07 0.164460-07  
 0.164520-07 0.164550-07 0.163320-07  
 0.163100-07 0.163120-07 0.161880-07  
 0.161400-07 0.161400-07 0.160150-07  
 0.159470-07 0.159440-07 0.158170-07  
 0.157320-07 0.157260-07 0.155950-07  
 0.155010-07 0.154890-07 0.152530-07  
 0.152570-07 0.152380-07 0.150940-07  
 0.150050-07 0.149750-07 0.148230-07  
 0.147520-07 0.147070-07 0.145420-07  
 0.145020-07 0.144370-07 0.142550-07  
 0.142640-07 0.141710-07 0.139650-07  
 0.140430-07 0.139130-07 0.136760-07  
 0.138490-07 0.136690-07 0.133900-07  
 0.136940-07 0.134450-07 0.131090-07  
 0.135910-07 0.132470-07 0.128320-07  
 0.135670-07 0.130850-07 0.125580-07  
 0.136760-07 0.129730-07 0.122810-07  
 0.140530-07 0.130170-07 0.121040-07

R LATTICE (CM)

0.67840+02 0.74210+02 0.80380+02

R LATTICE (CM)

0.80080+02 0.83110+02 0.85540+02

MATERIALVERTEILUNG EEC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 4

0.96583D-03 0.92656D-08 0.92072D-08  
 0.99008D-08 0.95097D-08 0.94481D-08  
 0.10165D-07 0.97792D-08 0.97136D-08  
 0.10461D-07 0.10073D-07 0.10001D-07  
 0.10773D-07 0.10388D-07 0.10308D-07  
 0.11105D-07 0.10724D-07 0.10651D-07  
 0.11453D-07 0.11077D-07 0.10968D-07  
 0.11814D-07 0.11448D-07 0.11317D-07  
 0.12188D-07 0.11837D-07 0.11677D-07  
 0.12573D-07 0.12246D-07 0.12046D-07  
 0.12969D-07 0.12679D-07 0.12425D-07  
 0.13377D-07 0.13146D-07 0.12821D-07  
 0.13807D-07 0.13673D-07 0.13247D-07  
 0.14286D-07 0.14210D-07 0.13742D-07  
 0.14891D-07 0.15054D-07 0.14389D-07

R LATTICE (CM)

0.5283E+02 0.6054D+02 0.6784D+02

Z LATTICE (CM)

0.1200D+03 0.1229D+03 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1343D+03 0.1371D+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457D+03  
 0.1486D+03 0.1514D+03 0.1542D+03 0.1571D+03 0.1600D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 12

0.12222D-07 0.11642D-07 0.10943D-07  
 0.12048D-07 0.11474D-07 0.10781D-07  
 0.11858D-07 0.11292D-07 0.10605D-07  
 0.11655D-07 0.11098D-07 0.10419D-07  
 0.11442D-07 0.10895D-07 0.10227D-07  
 0.11220D-07 0.10688D-07 0.10032D-07  
 0.10995D-07 0.10479D-07 0.98332D-08  
 0.10767D-07 0.10271D-07 0.96499D-08  
 0.10539D-07 0.10067D-07 0.94712D-08  
 0.10315D-07 0.98710D-08 0.93073D-08  
 0.10095D-07 0.96850D-08 0.91637D-08  
 0.98805D-08 0.95114D-08 0.90476D-08  
 0.96700D-08 0.93531D-08 0.89710D-08  
 0.94577D-08 0.92133D-08 0.89627D-08  
 0.92133D-08 0.91668D-08 0.91021D-08

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647D+03 0.1717D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 14

0.11158D-07 0.10550D-07 0.99592D-08  
 0.11100D-07 0.10492D-07 0.93951D-08  
 0.11038D-07 0.10432D-07 0.98356D-08  
 0.10575D-07 0.10370D-07 0.97694D-08  
 0.10913D-07 0.10308D-07 0.97033D-08  
 0.10851D-07 0.10250D-07 0.96375D-08  
 0.10794D-07 0.10196D-07 0.95756D-08  
 0.10742D-07 0.10149D-07 0.95188D-08  
 0.10698D-07 0.10112D-07 0.94704D-08  
 0.10661D-07 0.10088D-07 0.94341D-08  
 0.10634D-07 0.10081D-07 0.94162D-08  
 0.10619D-07 0.10095D-07 0.94274D-08  
 0.10622D-07 0.10143D-07 0.94916D-08  
 0.10668D-07 0.10249D-07 0.96626D-08  
 0.10841D-07 0.10433D-07 0.10020D-07

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 5

0.12004E-07 0.11487D-07 0.11994D-07  
 0.12005D-07 0.11573D-07 0.11950D-07  
 0.12019C-07 0.11652D-07 0.11922D-C7  
 0.11964C-07 0.11629D-07 0.11813D-07  
 0.11852D-07 0.11531D-07 0.11659D-07  
 0.11696C-07 0.11376D-07 0.11459D-C7  
 0.11506C-07 0.11180D-07 0.11229D-07  
 0.11289C-07 0.10955D-07 0.10978D-07  
 0.11054C-07 0.10711D-07 0.10714D-07  
 0.10807D-07 0.10456D-07 0.10443D-07  
 0.10556C-07 0.10196D-07 0.10172D-C7  
 0.10306C-07 0.99385D-08 0.99052D-08  
 0.10063D-07 0.96888D-08 0.96436D-C8  
 0.98308C-08 0.94515D-08 0.94062D-C8  
 0.96153D-08 0.92310D-C8 0.91819D-08  
 0.94153D-08 0.90313D-08 0.89795D-C8  
 0.92471D-08 0.88564D-08 0.88023D-08  
 0.91016D-08 0.87084D-08 0.86535D-08  
 0.89852D-08 0.85907D-08 0.85348D-C8  
 0.89000D-08 0.85044D-08 0.84482D-08  
 0.88482D-08 0.84517D-08 0.83954D-C8  
 0.88301D-08 0.84332D-08 0.83772D-08  
 0.88468D-08 0.84499D-08 0.83943D-08  
 0.88986C-08 0.85018D-08 0.84465D-C8  
 0.89846D-08 0.85887D-08 0.85334D-08  
 0.91053C-08 0.87098D-08 0.86545D-08  
 0.92584D-08 0.88638D-08 0.88082D-08  
 0.94435D-08 0.90499D-08 0.89932D-08  
 0.96583D-08 0.92656D-08 0.92072D-C8

R LATTICE (CM)

0.5283E+02 0.6054D+02 0.6784D+02

Z LATTICE (CM)

0.4000E+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857D+02 0.5143D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714D+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714D+02 0.1000D+03 0.1029D+03 0.1057D+03 0.1086D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171D+03 0.1200D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 13

0.92062E-08 0.85152D-08 0.75604D-08  
 0.93263E-08 0.86495D-08 0.77791D-08  
 0.95412E-08 0.88632D-08 0.80552D-C8  
 0.97510E-08 0.90909D-08 0.82286D-08  
 0.99689D-08 0.93293D-08 0.85682D-C8  
 0.10195D-07 0.95741D-08 0.88657D-08  
 0.10427C-07 0.98215D-08 0.91245D-08  
 0.10663C-07 0.10070D-07 0.93809D-C8  
 0.10900C-07 0.10315D-07 0.96313D-08  
 0.11135D-07 0.10556D-C7 0.98740D-C8  
 0.11365D-07 0.10789D-07 0.10108D-07  
 0.11587D-07 0.11014D-07 0.10330D-07  
 0.11798C-07 0.11225D-07 0.10540D-07  
 0.11996C-07 0.11422D-07 0.10734D-07  
 0.12178C-07 0.11602D-07 0.10911D-C7  
 0.12341C-07 0.11763D-07 0.11068D-C7  
 0.12483C-07 0.11902D-07 0.11204D-07  
 0.12602C-07 0.12019D-07 0.11318D-07  
 0.12698D-07 0.12112D-07 0.11408D-07  
 0.12768D-07 0.12179D-07 0.11473D-C7  
 0.12811C-07 0.12221D-07 0.11513D-07  
 0.12827D-07 0.12236D-07 0.11526D-07  
 0.12827C-07 0.12225D-07 0.11514D-07  
 0.12780C-07 0.12187D-07 0.11476D-07  
 0.12716C-07 0.12124D-07 0.11414D-07  
 0.12624E-07 0.12036D-07 0.11328D-07  
 0.12514C-07 0.11926D-07 0.11219D-07  
 0.12379C-07 0.11793D-07 0.11091D-07  
 0.12222D-07 0.11642D-07 0.10943D-07

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647D+03 0.1717D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 15

0.91202D-08 0.84547D-08 0.80925D-08  
 0.93423D-08 0.87211D-08 0.84927D-08  
 0.95850C-08 0.89963D-08 0.86412D-08  
 0.97894D-08 0.92136D-08 0.87813D-08  
 0.99657C-08 0.93938D-08 0.89142D-C8  
 0.10123C-07 0.95502D-08 0.90411D-08  
 0.10265D-07 0.969C7D-08 0.91632D-08  
 0.10396C-07 0.98198D-08 0.92798D-08  
 0.10518D-07 0.99398D-08 0.93917D-08  
 0.10633C-07 0.10052D-07 0.94982D-C8  
 0.10740C-07 0.10158D-07 0.95997D-08  
 0.10841C-07 0.10256D-07 0.96944D-C8  
 0.10934C-07 0.10347D-07 0.97827D-08  
 0.11020D-07 0.10430D-07 0.98634D-08  
 0.11097D-07 0.10505D-07 0.99362D-08  
 0.11166D-07 0.10571D-07 0.10000D-07  
 0.11225D-07 0.10628D-07 0.10056D-07  
 0.11275C-07 0.10676D-07 0.10101D-07  
 0.11314C-07 0.10713D-07 0.10137D-07  
 0.11343D-07 0.10740D-07 0.10162D-07  
 0.11361C-07 0.10756D-07 0.10178D-C7  
 0.11369D-07 0.10763D-07 0.10183D-07  
 0.11366C-07 0.10759D-07 0.10177D-07  
 0.11353C-07 0.10745D-07 0.10162D-07  
 0.11330D-07 0.10722D-07 0.10157D-07  
 0.11299E-07 0.10690D-07 0.10104D-07  
 0.11259D-07 0.10650D-07 0.10063D-07  
 0.11212D-07 0.10603D-07 0.10014D-C7  
 0.11158C-07 0.10550D-07 0.99522D-08

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 8

0.12833E-07 0.12002D-07 0.11559D-07  
 0.12745E-07 0.12170D-07 0.11789D-07  
 0.12811D-07 0.12425D-07 0.12083D-07  
 0.12945E-07 0.12676D-07 0.12338D-07  
 0.12123D-07 0.12528D-07 0.12639D-07  
 0.12330D-07 0.13185D-07 0.12903D-07  
 0.13560E-07 0.13446D-07 0.13177D-07  
 0.13806E-07 0.13713D-07 0.13447D-07  
 0.14062E-07 0.13982D-07 0.13717D-07  
 0.14322D-07 0.14250D-07 0.13985D-07  
 0.14584E-07 0.14515D-07 0.14250D-07  
 0.14840E-07 0.14773D-07 0.14507D-07  
 0.15086E-07 0.15021D-07 0.14753D-07  
 0.15320E-07 0.15254D-07 0.14986D-07  
 0.15537E-07 0.15471D-07 0.15200D-07  
 0.15733D-07 0.15666D-07 0.15395D-07  
 0.15905E-07 0.15838D-07 0.15566D-07  
 0.16051D-07 0.15984D-07 0.15711D-07  
 0.16168E-07 0.16101D-07 0.15828D-07  
 0.16255E-07 0.16188D-07 0.15915D-07  
 0.16310D-07 0.16243D-07 0.15970D-07  
 0.16333E-07 0.16266D-07 0.15993D-07  
 0.16321D-07 0.16255D-07 0.15983D-07  
 0.16277E-07 0.16211D-07 0.15939D-07  
 0.16200D-07 0.16134D-07 0.15863D-07  
 0.16091D-07 0.16025D-07 0.15755D-07  
 0.15952E-07 0.15885D-07 0.15616D-07  
 0.15783D-07 0.15716D-07 0.15447D-07  
 0.15588D-07 0.15520D-07 0.15252D-07  
 0.15369E-07 0.15299D-07 0.15032D-07  
 0.15127D-07 0.15056D-07 0.14789D-07  
 0.14867E-07 0.14795D-07 0.14528D-07  
 0.14592D-07 0.14518D-07 0.14251D-07  
 0.14304D-07 0.14229D-07 0.13962D-07  
 0.14007E-07 0.13932D-07 0.13665D-07  
 0.13704D-07 0.13630D-07 0.13365D-07  
 0.13398D-07 0.13329D-07 0.13067D-07  
 0.13092D-07 0.13033D-07 0.12774D-07  
 0.12788D-07 0.12747D-07 0.12494D-07  
 0.12487D-07 0.12477D-07 0.12231D-07  
 0.12192D-07 0.12227D-07 0.11991D-07  
 0.11904E-07 0.12002D-07 0.11775D-07  
 0.11720E-07 0.11891D-07 0.11671D-07

R LATTICE (CM)

0.9554E+02 0.1036D+03 0.1109D+03

Z LATTICE (CM)

0.4000E+02 0.4286D+02 0.4571D+02 0.4857D+02 0.5143D+02 0.5429D+02 0.5714D+02 0.6000D+02 0.6286D+02 0.6571D+02  
 0.6857D+02 0.7143D+02 0.7429D+02 0.7714D+02 0.8000D+02 0.8286D+02 0.8571D+02 0.8857D+02 0.9143D+02 0.9429D+02  
 0.9714D+02 0.1000D+03 0.1029D+03 0.1057D+03 0.1086D+03 0.1114D+03 0.1143D+03 0.1171D+03 0.1200D+03 0.1229D+03  
 0.1257D+03 0.1286D+03 0.1314D+03 0.1343D+03 0.1371D+03 0.1400D+03 0.1429D+03 0.1457D+03 0.1486D+03 0.1514D+03  
 0.1543D+03 0.1571D+03 0.1600D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 9

0.11559D-07 0.11502D-07 0.11721D-07  
 0.11789E-07 0.11628D-07 0.11595D-07  
 0.12088E-07 0.11845D-07 0.11623D-07  
 0.12368E-07 0.12067D-07 0.11724D-07  
 0.12639E-07 0.12296D-07 0.11871D-07  
 0.12903E-07 0.12534D-07 0.12052D-07  
 0.13177E-07 0.12780D-07 0.12258D-07  
 0.13447E-07 0.13033D-07 0.12483D-07  
 0.13717E-07 0.13291D-07 0.12720D-07  
 0.13985E-07 0.13550D-07 0.12965D-07  
 0.14250E-07 0.13807D-07 0.13211D-07  
 0.14507E-07 0.14059D-07 0.13455D-07  
 0.14753E-07 0.14301D-07 0.13691D-07  
 0.14986E-07 0.14530D-07 0.13916D-07  
 0.15200E-07 0.14742D-07 0.14125D-07  
 0.15395E-07 0.14935D-07 0.14315D-07  
 0.15566E-07 0.15105D-07 0.14484D-07  
 0.15711E-07 0.15249D-07 0.14627D-07  
 0.15828E-07 0.15365D-07 0.14743D-07  
 0.15915E-07 0.15452D-07 0.14829D-07  
 0.15970E-07 0.15508D-07 0.14885D-07  
 0.15993E-07 0.15531D-07 0.14909D-07  
 0.15983E-07 0.15521D-07 0.14900D-07  
 0.15939E-07 0.15479D-07 0.14860D-07  
 0.15863E-07 0.15404D-07 0.14787D-07  
 0.15755E-07 0.15298D-07 0.14682D-07  
 0.15616E-07 0.15160D-07 0.14548D-07  
 0.15447E-07 0.14994D-07 0.14385D-07  
 0.15252E-07 0.14800D-07 0.14195D-07  
 0.15032E-07 0.14582D-07 0.13979D-07  
 0.14789E-07 0.14341D-07 0.13743D-07  
 0.14528E-07 0.14082D-07 0.13486D-07  
 0.14251E-07 0.13806D-07 0.13213D-07  
 0.13962E-07 0.13517D-07 0.12926D-07  
 0.13665E-07 0.13220D-07 0.12629D-07  
 0.13365E-07 0.12918D-07 0.12324D-07  
 0.13067E-07 0.12615D-07 0.12015D-07  
 0.12774E-07 0.12317D-07 0.11704D-07  
 0.12494E-07 0.12029D-07 0.11394D-07  
 0.12231E-07 0.11757D-07 0.11088D-07  
 0.11991E-07 0.11509D-07 0.10790D-07  
 0.11775E-07 0.11291D-07 0.10502D-07  
 0.11671E-07 0.11187D-07 0.10312D-07

R LATTICE (CM)

0.1109D+03 0.1189D+03 0.1262D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 10

0.12008E-07 0.11873D-07 0.11266D-07  
 0.11660E-07 0.11437D-07 0.10872D-07  
 0.11402E-07 0.11070D-07 0.10580D-07  
 0.11166E-07 0.10762D-07 0.10324D-07  
 0.10936E-07 0.10485D-07 0.10033D-07  
 0.10708E-07 0.10225D-07 0.98486D-08  
 0.10482D-07 0.99768D-08 0.96191D-08  
 0.10258E-07 0.97383D-08 0.93946D-08  
 0.10039E-07 0.95093D-08 0.91757D-08  
 0.98265D-08 0.92900D-08 0.89634D-08  
 0.96224E-08 0.90810D-08 0.87601D-08  
 0.94288E-08 0.88842D-08 0.85668D-08  
 0.92478E-08 0.87005D-08 0.83354D-08  
 0.90807D-08 0.85315D-08 0.82181D-08  
 0.89295D-08 0.83788D-08 0.80663D-08  
 0.87954E-08 0.82431D-08 0.79309D-08  
 0.86795E-08 0.81265D-08 0.78141D-08  
 0.85835D-08 0.80299D-08 0.77172D-08  
 0.85084E-08 0.79539D-08 0.76404D-08  
 0.84537D-08 0.78900D-08 0.75854D-08  
 0.84207E-08 0.78659D-08 0.75220D-08  
 0.84091D-08 0.78547D-08 0.75407D-08  
 0.84190E-08 0.78651D-08 0.75514D-08  
 0.84494D-08 0.78968D-08 0.75834D-08  
 0.84980D-08 0.79485D-08 0.76366D-08  
 0.85690E-08 0.80200D-08 0.77090D-08  
 0.86557D-08 0.81092D-08 0.78005D-08  
 0.87583D-08 0.82147D-08 0.79085D-08  
 0.88740E-08 0.83342D-08 0.80315D-08  
 0.90013D-08 0.84659D-08 0.81668D-08  
 0.91373D-08 0.86070D-08 0.83124D-08  
 0.92798D-08 0.87546D-08 0.84655D-08  
 0.94257E-08 0.89053D-08 0.86221D-08  
 0.95712E-08 0.90561D-08 0.87759D-08  
 0.97135E-08 0.92050D-08 0.89342D-08  
 0.98488E-08 0.93414D-08 0.90817D-08  
 0.99729E-08 0.94667D-08 0.92175D-08  
 0.10082D-07 0.95732D-08 0.93370D-08  
 0.10171E-07 0.96528D-08 0.94347D-08  
 0.10233D-07 0.96974D-08 0.95053D-08  
 0.10262D-07 0.96936D-08 0.95413D-08  
 0.10246E-07 0.96237D-08 0.95338D-08  
 0.10256E-07 0.95649D-08 0.95529D-08

R LATTICE (CM)

0.1262D+03 0.1342D+03 0.1414D+03

MATERIALWERTVERTEILUNG ECC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 11

0.105940-07 0.597250-08 0.920540-08  
 0.109170-07 0.100270-07 0.923600-08  
 0.107980-07 0.101770-07 0.954100-08  
 0.108600-07 0.103420-07 0.975060-08  
 0.109730-07 0.105220-07 0.996830-08  
 0.111200-07 0.107170-07 0.101540-07  
 0.112920-07 0.109250-07 0.104260-07  
 0.114840-07 0.111410-07 0.106620-07  
 0.116870-07 0.113620-07 0.108990-07  
 0.118970-07 0.115860-07 0.111340-07  
 0.121090-07 0.118070-07 0.113840-07  
 0.123180-07 0.120230-07 0.115860-07  
 0.125210-07 0.122300-07 0.117980-07  
 0.127130-07 0.124250-07 0.119950-07  
 0.128910-07 0.126050-07 0.121770-07  
 0.130530-07 0.127680-07 0.123400-07  
 0.131950-07 0.129100-07 0.124820-07  
 0.133150-07 0.130300-07 0.126020-07  
 0.134120-07 0.131260-07 0.126970-07  
 0.134830-07 0.131960-07 0.127670-07  
 0.135280-07 0.132400-07 0.128110-07  
 0.135450-07 0.132570-07 0.128270-07  
 0.135350-07 0.132470-07 0.128160-07  
 0.134970-07 0.132090-07 0.127790-07  
 0.134310-07 0.131440-07 0.127150-07  
 0.133390-07 0.130540-07 0.126260-07  
 0.132220-07 0.129380-07 0.125130-07  
 0.130800-07 0.127990-07 0.123780-07  
 0.129160-07 0.126390-07 0.122220-07  
 0.127310-07 0.124590-07 0.120480-07  
 0.125280-07 0.122610-07 0.118580-07  
 0.123090-07 0.120490-07 0.116540-07  
 0.120760-07 0.118250-07 0.114410-07  
 0.118320-07 0.115910-07 0.112200-07  
 0.115780-07 0.113490-07 0.109940-07  
 0.113150-07 0.111030-07 0.107650-07  
 0.110540-07 0.108550-07 0.105380-07  
 0.107870-07 0.106080-07 0.103130-07  
 0.105200-07 0.103640-07 0.100920-07  
 0.102530-07 0.101270-07 0.987560-08  
 0.999070-08 0.989980-08 0.966250-08  
 0.973530-08 0.968540-08 0.944650-08  
 0.956890-08 0.955560-08 0.929660-08

R LATTICE (CM)

0.14140+03 0.14550+03 0.15660+03

Z LATTICE (CM)

0.40000+02 0.42860+02 0.45710+02 0.48570+02 0.51430+02 0.54290+02 0.57140+02 0.60000+02 0.62860+02 0.65710+02  
 0.68570+02 0.71430+02 0.74290+02 0.77140+02 0.80000+02 0.82860+02 0.85710+02 0.88570+02 0.91430+02 0.94290+02  
 0.97140+02 0.10000+03 0.10250+03 0.10570+03 0.10860+03 0.11140+03 0.11430+03 0.11710+03 0.12000+03 0.12290+03  
 0.12570+03 0.12860+03 0.13140+03 0.13430+03 0.13710+03 0.14000+03 0.14290+03 0.14570+03 0.14860+03 0.15140+03  
 0.15430+03 0.15710+03 0.16000+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 16

0.890970-08 0.811830-08 0.655720-08  
 0.942920-08 0.855630-08 0.797810-08  
 0.101000-07 0.921090-08 0.771110-08  
 0.103450-07 0.990900-08 0.941230-08  
 0.116450-07 0.106740-07 0.917500-08  
 0.124970-07 0.114910-07 0.998260-08  
 0.133750-07 0.123450-07 0.108250-07  
 0.142710-07 0.132200-07 0.116880-07  
 0.151720-07 0.141040-07 0.125580-07  
 0.160660-07 0.149820-07 0.134220-07  
 0.169410-07 0.158420-07 0.142680-07  
 0.177830-07 0.166720-07 0.150830-07  
 0.185820-07 0.174590-07 0.158570-07  
 0.193270-07 0.181930-07 0.165780-07  
 0.200070-07 0.188630-07 0.172360-07  
 0.206130-07 0.194600-07 0.178210-07  
 0.211370-07 0.199750-07 0.183270-07  
 0.215710-07 0.204020-07 0.187450-07  
 0.219090-07 0.207340-07 0.190700-07  
 0.221470-07 0.209670-07 0.192970-07  
 0.222810-07 0.210980-07 0.194240-07  
 0.223100-07 0.211240-07 0.194470-07  
 0.222320-07 0.210450-07 0.193660-07  
 0.220500-07 0.208630-07 0.191840-07  
 0.217650-07 0.205790-07 0.189010-07  
 0.213820-07 0.201970-07 0.185220-07  
 0.209060-07 0.197240-07 0.180520-07  
 0.203430-07 0.191640-07 0.174970-07  
 0.197020-07 0.185270-07 0.168650-07  
 0.189920-07 0.178200-07 0.161640-07  
 0.182230-07 0.170540-07 0.154040-07  
 0.174060-07 0.162390-07 0.145950-07  
 0.165540-07 0.153880-07 0.137480-07  
 0.156790-07 0.145120-07 0.128760-07  
 0.147960-07 0.136240-07 0.119890-07  
 0.139180-07 0.127370-07 0.111010-07  
 0.130610-07 0.118650-07 0.102250-07  
 0.122410-07 0.110210-07 0.937040-08  
 0.114750-07 0.102180-07 0.855110-08  
 0.107850-07 0.946790-08 0.777840-08  
 0.101590-07 0.878410-08 0.706200-08  
 0.976760-08 0.817630-08 0.640890-08  
 0.954450-08 0.770270-08 0.586480-08

R LATTICE (CM)

0.18450+02 0.19280+03 0.19980+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 17

0.655720-08 0.477370-08 0.314980-08  
 0.707810-08 0.531930-08 0.379400-08  
 0.771110-08 0.595970-08 0.450150-08  
 0.841330-08 0.666550-08 0.525480-08  
 0.917500-08 0.742450-08 0.604820-08  
 0.993360-08 0.822420-08 0.687380-08  
 0.108250-07 0.905240-08 0.772240-08  
 0.116880-07 0.989720-08 0.858230-08  
 0.125580-07 0.107460-07 0.944730-08  
 0.134220-07 0.115880-07 0.103020-07  
 0.142680-07 0.124110-07 0.111360-07  
 0.150830-07 0.132030-07 0.119330-07  
 0.158570-07 0.139530-07 0.126580-07  
 0.165780-07 0.146520-07 0.134050-07  
 0.172360-07 0.152900-07 0.140500-07  
 0.178210-07 0.158570-07 0.146230-07  
 0.183270-07 0.163460-07 0.151180-07  
 0.187450-07 0.167510-07 0.155250-07  
 0.190700-07 0.170640-07 0.158410-07  
 0.192970-07 0.172830-07 0.160600-07  
 0.194240-07 0.174030-07 0.161800-07  
 0.194470-07 0.174230-07 0.161990-07  
 0.193660-07 0.173430-07 0.161150-07  
 0.191840-07 0.171640-07 0.159210-07  
 0.189010-07 0.168870-07 0.156480-07  
 0.185220-07 0.165170-07 0.152710-07  
 0.180520-07 0.160580-07 0.148050-07  
 0.174970-07 0.155160-07 0.142560-07  
 0.168650-07 0.149000-07 0.136310-07  
 0.161640-07 0.142170-07 0.129390-07  
 0.154040-07 0.134770-07 0.121890-07  
 0.145950-07 0.126890-07 0.113930-07  
 0.137480-07 0.118640-07 0.105610-07  
 0.128760-07 0.110150-07 0.970270-08  
 0.119890-07 0.101510-07 0.833380-08  
 0.111010-07 0.928430-08 0.796290-08  
 0.102250-07 0.842800-08 0.710260-08  
 0.937040-08 0.759330-08 0.626380-08  
 0.855110-08 0.679190-08 0.545720-08  
 0.777840-08 0.603570-08 0.469130-08  
 0.706200-08 0.533650-08 0.397540-08  
 0.640890-08 0.470620-08 0.331350-08  
 0.586480-08 0.417420-08 0.272220-08

R LATTICE (CM)

0.19980+02 0.20810+03 0.21500+03

MATERIALVERTEILUNG ECC-B CORE

MATERIALWERTVERTEILUNG EEC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 18

0.101830-10	0.432270-11	0.153920-11	0.246300-12	-0.484480-12
0.155550-10	0.702880-11	0.262410-11	0.785720-12	-0.275700-12
0.226580-10	0.107320-10	0.415090-11	0.138920-11	-0.129090-12
0.269570-10	0.177550-10	0.701250-11	0.247510-11	-0.781250-13
0.656280-10	0.310830-10	0.122420-10	0.440420-11	-0.617760-13
0.128990-09	0.560150-10	0.215540-10	0.777990-11	-0.773010-13
0.227190-09	0.101500-09	0.376020-10	0.124520-10	-0.162810-12
0.462380-09	0.133300-09	0.607230-10	0.223640-10	-0.473550-12
0.840680-09	0.312190-09	0.101950-09	0.350260-10	-0.129860-11
0.105710-08	0.407010-09	0.127720-09	0.435960-10	-0.207630-11
0.119100-08	0.491710-09	0.154520-09	0.520240-10	-0.308350-11
0.121020-08	0.569910-09	0.181400-09	0.624040-10	-0.421520-11
0.141970-08	0.442320-09	0.207840-09	0.720850-10	-0.576870-11
0.151670-08	0.712560-09	0.203560-09	0.916760-10	-0.744750-11
0.161160-08	0.779490-09	0.235400-09	0.910300-10	-0.933880-11
0.169850-08	0.842280-09	0.202230-09	0.100740-09	-0.114320-10
0.178000-08	0.904400-09	0.205090-09	0.108650-09	-0.136870-10
0.185650-08	0.962800-09	0.326770-09	0.116780-09	-0.160740-10
0.192310-08	0.101330-08	0.247210-09	0.124410-09	-0.185350-10
0.199480-08	0.107060-08	0.306370-09	0.121490-09	-0.210200-10
0.209540-08	0.111930-08	0.304120-09	0.127990-09	-0.224650-10
0.211270-08	0.116420-08	0.400220-09	0.142890-09	-0.258210-10
0.214330-08	0.120470-08	0.414920-09	0.149150-09	-0.280210-10
0.220790-08	0.124050-08	0.527740-09	0.152750-09	-0.300280-10
0.224610-08	0.127130-08	0.408710-09	0.157660-09	-0.317770-10
0.227750-08	0.129660-08	0.447700-09	0.160950-09	-0.332460-10
0.230190-08	0.131620-08	0.454040-09	0.162300-09	-0.343500-10
0.232110-08	0.132980-08	0.455460-09	0.164990-09	-0.351960-10
0.233670-08	0.133740-08	0.462090-09	0.165910-09	-0.356300-10
0.235070-08	0.133870-08	0.462510-09	0.166050-09	-0.357000-10
0.235480-08	0.133880-08	0.460710-09	0.163410-09	-0.353920-10
0.237120-08	0.132260-08	0.456700-09	0.162980-09	-0.347240-10
0.239020-08	0.130530-08	0.450500-09	0.161780-09	-0.326970-10
0.242680-08	0.128200-08	0.442200-09	0.158930-09	-0.323470-10
0.242620-08	0.125210-08	0.421810-09	0.155130-09	-0.306920-10
0.243970-08	0.121370-08	0.419500-09	0.150720-09	-0.287800-10
0.247450-08	0.117520-08	0.409240-09	0.145630-09	-0.266400-10
0.207920-08	0.113510-08	0.309470-09	0.135880-09	-0.242240-10
0.207780-08	0.108660-08	0.271980-09	0.123920-09	-0.219040-10
0.195100-08	0.103440-08	0.253030-09	0.126580-09	-0.194180-10
0.187870-08	0.978650-09	0.202780-09	0.119100-09	-0.169180-10
0.180140-08	0.919930-09	0.211240-09	0.111140-09	-0.144710-10
0.171910-08	0.858580-09	0.289350-09	0.102750-09	-0.121240-10
0.161190-08	0.794880-09	0.205410-09	0.925840-10	-0.992550-11
0.152660-08	0.725110-09	0.241220-09	0.846170-10	-0.790860-11
0.144990-08	0.661340-09	0.216230-09	0.756400-10	-0.610410-11
0.132240-08	0.591520-09	0.191050-09	0.662700-10	-0.452560-11
0.122020-08	0.519320-09	0.165430-09	0.569500-10	-0.317960-11
0.111020-08	0.444060-09	0.139820-09	0.479670-10	-0.209550-11
0.981230-08	0.364510-09	0.114730-09	0.392470-10	-0.116550-11
0.770170-08	0.278700-09	0.910130-10	0.313490-10	-0.507840-12
0.597050-08	0.148610-09	0.524000-10	0.184930-10	0.193720-12
0.130720-09	0.756220-10	0.282490-10	0.101880-10	0.346190-12
0.070780-10	0.377280-10	0.147230-10	0.541260-11	0.306000-12
0.421280-10	0.190460-10	0.768450-11	0.286340-11	0.221220-12
0.217060-10	0.101910-10	0.417500-11	0.155720-11	0.142040-12
0.128190-10	0.610810-11	0.249440-11	0.902790-12	0.152860-13
0.700380-11	0.236070-11	0.107060-11	0.445880-12	-0.166750-12

F LATTICE (CM)

0.21500+02 0.22340+03 0.23110+03 0.23730+03 0.24270+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.50000+01 0.10000+02 0.15000+02 0.20000+02 0.25000+02 0.30000+02 0.35000+02 0.40000+02 0.42860+02  
0.45710+02 0.48570+02 0.51430+02 0.54290+02 0.57140+02 0.60000+02 0.62860+02 0.65710+02 0.68570+02 0.71430+02  
0.74290+02 0.77140+02 0.80000+02 0.82860+02 0.85710+02 0.88570+02 0.91430+02 0.94290+02 0.97140+02 0.10000+03  
0.10286+02 0.10570+03 0.10860+03 0.11140+03 0.11430+03 0.11710+03 0.12000+03 0.12290+03 0.12570+03 0.12860+03  
0.13140+03 0.13430+03 0.13710+03 0.14000+03 0.14290+03 0.14570+03 0.14860+03 0.15140+03 0.15430+03 0.15710+03  
0.16000+03 0.16286+03 0.16570+03 0.16860+03 0.17140+03 0.17430+03 0.17710+03 0.18000+03 0.18290+03 0.18570+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 19

0.13145D-07 0.13550D-07 0.14323D-07  
 0.97722D-08 0.99535D-08 0.10490D-07  
 0.67309D-08 0.67711D-08 0.68660D-08  
 0.42650D-08 0.42596D-08 0.42354D-08  
 0.25739D-08 0.25596D-08 0.25136D-08  
 0.15145D-08 0.15050D-08 0.14727D-08  
 0.86931D-09 0.87396D-09 0.89334D-09  
 0.43463D-09 0.45676D-09 0.54666D-09

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358D+01 0.8685D+01

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 20

-0.12762D-08 0.67605D-09 0.15383D-08 0.21315D-08 0.27854D-08  
 -0.28838D-09 0.69104D-09 0.11984D-08 0.15947D-08 0.20423D-08  
 0.15741D-09 0.50765D-09 0.75135D-09 0.97543D-09 0.12240D-08  
 0.25043D-09 0.37764D-09 0.46854D-09 0.56989D-09 0.67427D-09  
 0.28818D-09 0.27976D-09 0.29829D-09 0.33096D-09 0.35981D-09  
 0.24739D-09 0.21137D-09 0.20056D-09 0.20096D-09 0.19709D-09  
 0.21116D-09 0.16350D-09 0.14722D-09 0.13462D-09 0.11890D-09  
 0.15801D-09 0.11759D-09 0.95372D-10 0.80337D-10 0.63934D-10

R LATTICE (CM)

0.8685D+01 0.1589D+02 0.2306D+02 0.3052D+02 0.3786D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 21

0.27854D-08 0.40300D-08 0.81570D-08  
 0.20423D-08 0.28345D-08 0.45360D-08  
 0.12240D-08 0.15825D-08 0.19663D-08  
 0.67427D-09 0.78871D-09 0.84013D-09  
 0.35981D-09 0.37700D-09 0.35601D-09  
 0.19709D-09 0.18196D-09 0.15007D-09  
 0.11890D-09 0.94473D-10 0.60704D-10  
 0.63934D-10 0.41521D-10 0.12579D-10

R LATTICE (CM)

0.3786D+02 0.4550D+02 0.5283D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 22

-0.11773D-07 -0.74932D-08 -0.12705D-07  
 -0.38586D-08 -0.21531D-08 -0.44455D-08  
 -0.15394D-08 -0.11921D-08 -0.18355D-08  
 -0.62495D-09 -0.55984D-09 -0.75739D-09  
 -0.25456D-09 -0.24603D-09 -0.31073D-09  
 -0.10209D-09 -0.10408D-09 -0.12500D-09  
 -0.40372D-10 -0.44010D-10 -0.50266D-10  
 -0.22952D-10 -0.24603D-10 -0.29768D-10

R LATTICE (CM)

0.5283D+02 0.6054D+02 0.6784D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 23

0.74380D-08 0.33248D-08 0.16874D-08  
 0.43144D-08 0.24484D-08 0.13817D-08  
 0.19636D-08 0.14166D-08 0.91502D-09  
 0.50256D-09 0.74247D-09 0.55068D-09  
 0.41644D-09 0.37821D-09 0.31986D-09  
 0.19127D-09 0.19514D-09 0.19022D-09  
 0.82884D-10 0.10656D-09 0.12331D-09  
 0.18793D-10 0.48970D-10 0.72937D-10

R LATTICE (CM)

0.6784D+02 0.7421D+02 0.3008D+02

Z LATTICE (CM)

0.1600D+03 0.1657D+03 0.1714D+03 0.1771D+03 0.1829D+03 0.1886D+03

MATERIALWERTVERTEILUNG ECC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 24

0.33865D-08 0.25415D-08 0.25314D-08  
 0.24214D-08 0.18958D-08 0.18173D-08  
 0.1474CD-08 0.12086D-08 0.11154D-08  
 0.82985D-09 0.72095D-09 0.66457D-09  
 0.454CE0D-09 0.42178D-09 0.39497D-09  
 0.25409D-09 0.25493D-09 0.24564D-09  
 0.15492D-09 0.16819D-09 0.16786D-09  
 0.86725D-10 0.10110D-09 0.10407D-09

R LATTICE (CM)

0.8008D+02 0.8811D+02 0.9554D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 25

0.83423D-09 0.10257D-08 0.10024D-08  
 0.76676D-09 0.82140D-09 0.78701D-09  
 0.52488D-09 0.50976D-09 0.47838D-09  
 0.34624D-09 0.32225D-09 0.30056D-09  
 0.23103D-09 0.21419D-09 0.20124D-09  
 0.16547D-09 0.15421D-09 0.14733D-09  
 0.12661D-09 0.12207D-09 0.11855D-09  
 0.85032D-10 0.83383D-10 0.81901D-10

R LATTICE (CM)

0.9554E+02 0.1036D+03 0.1109D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 26

0.10024D-08 0.81096D-09 0.37476D-09  
 0.78701D-09 0.66427D-09 0.40668D-09  
 0.47888D-09 0.41599D-09 0.33217D-09  
 0.30056D-09 0.27155D-09 0.24490D-09  
 0.20134D-09 0.18934D-09 0.18249D-09  
 0.14738D-09 0.14275D-09 0.14232D-09  
 0.11855D-09 0.11703D-09 0.11850D-09  
 0.81901D-10 0.82028D-10 0.83666D-10

R LATTICE (CM)

0.1109E+03 0.1189D+03 0.1262D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 27

0.24252D-08 0.21381D-08 0.25007D-08  
 0.17234D-08 0.16022D-08 0.18066D-08  
 0.10735D-08 0.10450D-08 0.11343D-08  
 0.65006D-09 0.64718D-09 0.68163D-09  
 0.39585D-09 0.39729D-09 0.40550D-09  
 0.25208D-09 0.25263D-09 0.24895D-09  
 0.17439D-09 0.17353D-09 0.16554D-09  
 0.11027D-09 0.10902D-09 0.10185D-09

R LATTICE (CM)

0.1262D+03 0.1342D+03 0.1414D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 28

0.62263D-09 0.12972D-08 0.19173D-08  
 0.63420D-09 0.10166D-08 0.14221D-08  
 0.46488D-09 0.64717D-09 0.86786D-09  
 0.32063D-09 0.35599D-09 0.48777D-09  
 0.21849D-09 0.24004D-09 0.26565D-09  
 0.15440D-09 0.15146D-09 0.14788D-09  
 0.11778D-09 0.10436D-09 0.89554D-10  
 0.79124D-10 0.64127D-10 0.48521D-10

R LATTICE (CM)

0.1414E+03 0.1495D+03 0.1566D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 29

0.19173D-08 0.29963D-08 0.66915D-08  
 0.14221D-08 0.21485D-08 0.37280D-08  
 0.86786D-09 0.12150D-08 0.10202D-08  
 0.48777D-09 0.60992D-09 0.69930D-09  
 0.26565D-09 0.29310D-09 0.30026D-09  
 0.14788D-09 0.4096D-09 0.12718D-09  
 0.89554D-10 0.70931D-10 0.49558D-10  
 0.48521D-10 0.29722D-10 0.90981D-11

R LATTICE (CM)

0.1566D+03 0.1647D+03 0.1717D+03

Z LATTICE (CM)

0.1600D+03 0.1657D+03 0.1714D+03 0.1771E+03 0.1829D+03 0.1886D+03 0.1943D+03 0.2000D+03

MATERIALWERTVERTEILUNG EEC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 30

-0.11922E-07 -0.65523D-08 -0.97126D-08  
 -0.35215E-08 -0.14786D-08 -0.25309D-08  
 -0.12274E-08 -0.75714D-09 -0.51920D-09  
 -0.45094D-09 -0.31801D-09 -0.30653D-09  
 -0.17084E-09 -0.12599D-09 -0.12520D-09  
 -0.65451E-10 -0.48581D-10 -0.40229D-10  
 -0.26300E-10 -0.18826D-10 -0.16703D-10  
 -0.15850E-10 -0.54126D-11 -0.81554D-11

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787D+03 0.1845D+03

Z LATTICE (CM)

0.1600D+03 0.1657D+03 0.1714D+03 0.1771E+03 0.1829D+03 0.1886D+03 0.1943D+03 0.2000D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 31

0.64887E-08 0.29478D-08 0.19747D-08  
 0.30323E-08 0.16473D-08 0.11044D-08  
 0.11148E-08 0.78580D-09 0.54028D-09  
 0.41592E-09 0.34193E-09 0.25096D-09  
 0.15662D-09 0.14418D-09 0.11499D-09  
 0.59363D-10 0.62242D-10 0.54939D-10  
 0.21953D-10 0.29799D-10 0.29801D-10  
 0.41426E-11 0.12012D-10 0.14453D-10

R LATTICE (CM)

0.1845E+03 0.1928D+03 0.1993D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 32

0.19747E-08 0.14650D-08 0.11089D-08  
 0.11044E-08 0.77556D-09 0.54765D-09  
 0.54028E-09 0.37239D-09 0.26490D-09  
 0.25096E-09 0.17576D-09 0.12643D-09  
 0.11499E-09 0.83588D-10 0.60507D-10  
 0.54989E-10 0.41982D-10 0.30143D-10  
 0.29861D-10 0.23893D-10 0.16630D-10  
 0.14458E-10 0.12382D-10 0.85740D-11

R LATTICE (CM)

0.1998E+03 0.2081D+03 0.2150D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 33

-0.22468E-10 -0.27729D-10 -0.10526D-09  
 -0.43737E-10 -0.52871D-10 -0.19064D-09  
 -0.53626E-10 -0.11262D-09 -0.39614D-09  
 -0.20422E-09 -0.24561D-09 -0.82854D-09  
 -0.45041E-09 -0.54269D-09 -0.17295D-08  
 -0.10138E-08 -0.12344D-08 -0.37685D-08  
 -0.23019E-08 -0.29422D-08 -0.92517D-08  
 -0.39004E-08 -0.65004D-08 -0.21253D-07  
 -0.39702E-07 -0.45249D-07 -0.66451D-07

R LATTICE (CM)

0.0 0.4358D+01 0.3685D+01

Z LATTICE (CM)

0.0 0.5700E+01 0.1000D+02 0.1500E+02 0.2000D+02 0.2500D+02 0.3000D+02 0.3500D+02 0.4000D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 34

0.23447E-10 0.34602D-10 0.74496D-10 0.86459D-10 0.92907D-10  
 0.10029D-09 0.10542D-09 0.11555D-09 0.12499D-09 0.12972D-09  
 0.22624E-09 0.18053D-09 0.16500D-09 0.16506D-09 0.16411D-09  
 0.46125E-09 0.32767D-09 0.26170D-09 0.23895E-09 0.22515D-09  
 0.92737D-09 0.61387D-09 0.43883D-09 0.36950D-09 0.33001D-09  
 0.18803E-08 0.11556D-08 0.74820D-09 0.59017D-09 0.50386D-09  
 0.39182D-08 0.20972D-08 0.12415D-08 0.93968E-09 0.78081D-09  
 0.98030E-08 0.33630D-08 0.19106D-08 0.14470D-08 0.12008D-08  
 0.16597E-07 0.43258D-08 0.24959D-08 0.18972D-08 0.15656D-08

R LATTICE (CM)

0.8685E+01 0.1589D+02 0.2306D+02 0.3052E+02 0.3786D+02

MATERIALWERTVERTEILUNG ECC-B CORE

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 35

0.92907D-10 0.96796D-10 0.96626D-10  
 0.12972D-09 0.13242D-09 0.13343D-09  
 0.16411D-09 0.16361D-09 0.16566D-09  
 0.22515D-09 0.21727D-09 0.21881D-09  
 0.32001D-09 0.30555D-09 0.30090D-09  
 0.50386D-09 0.44526D-09 0.41696D-09  
 0.78081D-09 0.65958D-09 0.56106D-09  
 0.12008D-08 0.98404D-09 0.71199D-09  
 0.15656D-08 0.12354D-08 0.70117D-09

R LATTICE (CM)

0.3786E+02 0.4550D+02 0.5283D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 36

0.12835D-09 0.12098D-09 0.10610D-09  
 0.19506D-09 0.18932D-09 0.17196D-09  
 0.27872D-09 0.27795D-09 0.26570D-09  
 0.42600D-09 0.43465D-09 0.42966D-09  
 0.67462D-09 0.69880D-09 0.74469D-09  
 0.10735D-08 0.11165D-08 0.12485D-08  
 0.16742D-08 0.17201D-08 0.20139D-08  
 0.25090D-08 0.24813D-08 0.30350D-08  
 0.34082D-08 0.32199D-08 0.40910D-08

R LATTICE (CM)

0.5283E+02 0.6054D+02 0.6784D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 37

0.82475D-10 0.55987D-10 0.24360D-10  
 0.12594D-09 0.10043D-09 0.69717D-10  
 0.17996D-09 0.16277D-09 0.13770D-09  
 0.27664D-09 0.28062D-09 0.26518D-09  
 0.43640D-09 0.49548D-09 0.51275D-09  
 0.67827D-09 0.87163D-09 0.69716D-09  
 0.99875D-09 0.14819D-08 0.19408D-08  
 0.13328D-08 0.23086D-08 0.37711D-08  
 0.14625D-08 0.29937D-08 0.61301D-08

R LATTICE (CM)

0.6784E+02 0.7421D+02 0.3008D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 38

-0.13317D-10 -0.14173D-10 -0.62707D-11  
 -0.23081D-10 -0.23880D-10 -0.14729D-10  
 -0.63212D-10 -0.57472D-10 -0.43459D-10  
 -0.15290D-09 -0.12992D-09 -0.12277D-09  
 -0.34216D-09 -0.27472D-09 -0.28221D-09  
 -0.73366D-09 -0.54516D-09 -0.62210D-09  
 -0.15354D-08 -0.99696D-09 -0.13441D-08  
 -0.31621D-08 -0.15515D-08 -0.28748D-08  
 -0.75482D-08 -0.40977D-08 -0.69884D-08

R LATTICE (CM)

0.8008E+02 0.8811D+02 0.9554D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 39

0.20779D-10 0.40400D-10 0.44132D-10  
 0.53672D-10 0.73707D-10 0.77813D-10  
 0.10637D-09 0.12253D-09 0.12596D-09  
 0.21528D-09 0.22443D-09 0.22520D-09  
 0.44020D-09 0.42537D-09 0.41686D-09  
 0.89736D-09 0.79797D-09 0.76069D-09  
 0.18044D-08 0.14282D-08 0.13178D-08  
 0.35655D-08 0.23330D-08 0.20937D-08  
 0.59515D-08 0.32426D-08 0.28548D-08

R LATTICE (CM)

0.5554E+02 0.1036D+03 0.1109D+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 40

0.44132D-10 0.34588D-10 0.13792D-10  
 0.77813D-10 0.67017D-10 0.44905D-10  
 0.12596D-09 0.11715D-09 0.98399D-10  
 0.22520D-09 0.22278D-09 0.21016D-09  
 0.41686D-09 0.43399D-09 0.44506D-09  
 0.76069D-09 0.83147D-09 0.93216D-09  
 0.13178D-08 0.15107D-08 0.19187D-08  
 0.20937D-08 0.24749D-08 0.38747D-08  
 0.28548D-08 0.34049D-08 0.65278D-08

R LATTICE (CM)

0.1109E+03 0.1189D+03 0.1262D+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.5000D+01 0.1000D+02 0.1500E+02 0.2000D+02 0.2500D+02 0.3000D+02 0.3500D+02 0.4000D+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 41

-0.10677E-10 -0.14792E-10 -0.15816E-10  
 -0.19186E-10 -0.24841E-10 -0.26451E-10  
 -0.50037E-10 -0.55265E-10 -0.62067E-10  
 -0.12053E-09 -0.12264E-09 -0.14584E-09  
 -0.27745E-09 -0.26189E-09 -0.32567E-09  
 -0.62636E-09 -0.53402E-09 -0.71385E-09  
 -0.14093E-08 -0.10146E-08 -0.15553E-08  
 -0.31872E-08 -0.16411E-08 -0.32882E-08  
 -0.83289E-08 -0.47208E-08 -0.83725E-08

R LATTICE (CM)

0.1262E+02 0.1342E+03 0.1414E+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 42

0.15882E-10 0.39485E-10 0.54240E-10  
 0.50371E-10 0.70852E-10 0.82632E-10  
 0.10507E-09 0.11511E-09 0.11610E-09  
 0.21095E-09 0.20174E-09 0.17850E-09  
 0.42282E-09 0.36566E-09 0.28934E-09  
 0.85005E-09 0.66307E-09 0.47610E-09  
 0.17091E-08 0.11612E-08 0.76871E-09  
 0.24396E-08 0.18624E-08 0.11803E-08  
 0.58544E-08 0.25291E-08 0.15659E-08

R LATTICE (CM)

0.1414E+02 0.1455E+03 0.1566E+02

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 43

0.54240E-10 0.64013E-10 0.69162E-10  
 0.82632E-10 0.89316E-10 0.92329E-10  
 0.11610E-09 0.11396E-09 0.11107E-09  
 0.17850E-09 0.15761E-09 0.14189E-09  
 0.28934E-09 0.23071E-09 0.19912E-09  
 0.47610E-09 0.34715E-09 0.25597E-09  
 0.76871E-09 0.52430E-09 0.34184E-09  
 0.11803E-08 0.78551E-09 0.44135E-08  
 0.15659E-08 0.10231E-08 0.48817E-09

R LATTICE (CM)

0.1566E+03 0.1647E+03 0.1717E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 44

0.10846E-09 0.10382E-09 0.10201E-09  
 0.16779E-09 0.16280E-09 0.15504E-09  
 0.24655E-09 0.24076E-09 0.22907E-09  
 0.38572E-09 0.37545E-09 0.36200E-09  
 0.62138E-09 0.60218E-09 0.59052E-09  
 0.10024E-08 0.96710E-09 0.96750E-09  
 0.15844E-08 0.15176E-08 0.15591E-08  
 0.24129E-08 0.22690E-08 0.24234E-08  
 0.34107E-08 0.31367E-08 0.34592E-08

R LATTICE (CM)

0.1717E+03 0.1787E+03 0.1845E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 45

0.65021E-10 0.48185E-10 0.33360E-10  
 0.86336E-10 0.67850E-10 0.49226E-10  
 0.11113E-09 0.89294E-10 0.68362E-10  
 0.15130E-09 0.12931E-09 0.10497E-09  
 0.21811E-09 0.20245E-09 0.17453E-09  
 0.32391E-09 0.33452E-09 0.30578E-09  
 0.48252E-09 0.57063E-09 0.55043E-09  
 0.70697E-09 0.58943E-09 0.59701E-09  
 0.90605E-09 0.15475E-08 0.16549E-08

R LATTICE (CM)

0.1845E+03 0.1928E+03 0.1998E+03

INPUT MATERIAL WORTH FOR REGION 46

0.33360E-10 0.21761E-10 0.13212E-10  
 0.49226E-10 0.33378E-10 0.21078E-10  
 0.68362E-10 0.48705E-10 0.32623E-10  
 0.10497E-09 0.78333E-10 0.55096E-10  
 0.17453E-09 0.13526E-09 0.98437E-10  
 0.30578E-09 0.24468E-09 0.18168E-09  
 0.55043E-09 0.45303E-09 0.34101E-09  
 0.59701E-09 0.84631E-09 0.64489E-09  
 0.16549E-08 0.14867E-08 0.12184E-08

R LATTICE (CM)

0.1998E+03 0.2081E+03 0.2150E+03

Z LATTICE (CM)

0.0 0.5000E+01 0.1000E+02 0.1500E+02 0.2000E+02 0.2500E+02 0.3000E+02 0.3500E+02 0.4000E+02

MATERIALVERTEILUNG ECC-B CORE

Kernkonfiguration		BEC-A	EEC-B
mittlere Neutronen-Lebensdauer	sec	$4.535 \cdot 10^{-7}$	$4.556 \cdot 10^{-7}$
Anteil verzögerter Neutronen	-	$3.896 \cdot 10^{-3}$	$3.743 \cdot 10^{-3}$
maximaler positiver Void-Koeffizient	$\Delta k$	0.020	0.024
Doppler-Konstanten des Kerns bei nominalen Betriebsbedingungen			
naß	$- T \frac{dK}{dT}$	$7.8 \cdot 10^{-3}$	$7.3 \cdot 10^{-3}$
trocken		$4.7 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 7-10 Sicherheits-relevante Kenngrößen des SNR-2000 Kernentwurfs

Kernkonfiguration	BEC-A		EEC-B	
	$\beta_i$	$\lambda_i/\text{sec/}$	$\beta_i$	$\lambda_i/\text{sec/}$
1	$7.8205 \cdot 10^{-5}$	0.01296	$7.7427 \cdot 10^{-5}$	0.01296
2	$8.0493 \cdot 10^{-4}$	0.03111	$7.7699 \cdot 10^{-4}$	0.03116
3	$6.9964 \cdot 10^{-4}$	0.13331	$6.7543 \cdot 10^{-4}$	0.13374
4	$1.4497 \cdot 10^{-3}$	0.34694	$1.3861 \cdot 10^{-3}$	0.34598
5	$6.7788 \cdot 10^{-4}$	1.41320	$6.4461 \cdot 10^{-4}$	1.40368
6	$1.8580 \cdot 10^{-4}$	3.7578	$1.8211 \cdot 10^{-4}$	3.74847
Summe	$3.8961 \cdot 10^{-3}$	$\bar{\lambda} = 9.3055 \cdot 10^{-2}$	$3.7427 \cdot 10^{-3}$	$\bar{\lambda} = 9.2478 \cdot 10^{-2}$

Tabelle 7-11 Anteil ( $\beta_i$ ) und Zerfallskonstanten ( $\lambda_i$ ) der verzögerten Neutronengruppen für den SNR-2000 Kernentwurf

## 8. LITERATURVERZEICHNIS

- /1/        Struwe, D., Maschek, W., Heusener, G.,  
          Kiefhaber, E., Kleefeld, K., Hübel, H.:  
          Safety Analysis Aspects of a 2000 MWe  
          LMFBR Core.  
          Proc. International Meeting on Fast  
          Reactor Safety and Related Physics,  
          Chicago (Oct. 1976)  
          CONF-761001
- /2/        Heusener, G., Kiefhaber, E., Kleefeld, K.,  
          Pilate, S., Spenke, H.:  
          Entwurfsstudien für das SNR-2 Core.  
          Atoomenergie 18 (1976) 211
- /3/        Fröhlich, R., Royl, P., Schmuck, P.,  
          Düsing, R., Senglaub, M.:  
          Analyse schwerer hypothetischer Störfälle  
          für den SNR-300 Mark 1A Reaktorkern.  
          KFK 2310 (1976)
- /4/        Heusener, G., Kessler, G., Lauber, H.:  
          Analysis of Hypothetical Accidents for the  
          SNR-300.  
          KFK 1834 (1973)
- /5/        Slember, R.:  
          Safety Related Design Considerations for  
          the Clinch River Breeder Reactor Plant.  
          Proc. International Meeting on Fast  
          Reactor Safety and Related Physics,  
          Chicago (Oct. 1976)  
          CONF-761001

- /6/ Antonakas, D., Fortunato, M.,  
Meyer-Heine, A., Francois, P.:  
Some Problems Concerning Fast  
Reactor Safety.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P3
- /7/ Struwe, D.:  
Das Verhalten des Kerns eines natrium-  
gekühlten Schnellen Brutreaktors von  
2000 MWe bei Störfällen sehr geringer  
Eintrittswahrscheinlichkeit.  
KFK 2490 (1977)
- /8/ Bethe, H.A., Tait, J.H.:  
An Estimate of the Order of Magnitude  
of the Explosion when the Core of a  
Fast Reactor Collapses.  
UKAEA-RHM (56)/113
- /9/ Hübel, H.J.:  
The Safety Related Criteria and Design  
Features for the SNR-300.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P1
- /10/ Höbel, W.:  
DIXY/Ein 2-dimensionales Diffusionsprogramm  
mit Störungs- und Auswerteteil.  
Persönliche Mitteilung

- /11/ Rumble, E.T., Kastenber, W.E., Okrent, D., et al.:  
Fuel Movement Investigations During LMFBR  
Overpower Excursions Using a New Model.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P3
- /12/ Struwe, D., Royle, P., Wirtz, P.,  
Angerer, G., et al.:  
CAPRI-A Computer Code for the Analysis of  
Hypothetical Core Disruptive Accidents in  
the Predisassembly Phase.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P3
- /13/ Schmuck, P., Arnecke, G., Jacobs, G.:  
Untersuchungen und Programmentwicklungen  
zu Disassembly-Vorgängen in natriumge-  
kühlten Reaktoren  
KFK 1272/4
- /14/ Sha, W.T., Hughes, T.H.:  
VENUS: A Two-dimensional Coupled Neutronics-  
Hydrodynamics Computer Program for  
Fast-reactor Power Excursions.  
ANL-7701 (1970)
- /15/ Jackson, J.F., Nicholson, R.B.:  
VENUS II: A LMFBR Disassembly Program.  
ANL-7951 (1972)
- /16/ Weber, D.P., Ganapol, B.D.:  
Multifield Hydrodynamic Disassembly  
Calculations with Space-Time Kinetics:  
FX2/VENUS-III.  
Proc. International Meeting on Fast  
Reactor Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct 1976)  
CONF-761001

- /17/        Menzies, D.C.:  
            The Equation of State of Uranium Dioxide at  
            High Temperatures and Pressures.  
            UKAEA TRG Report 1119 (D) (1966)
- /18/        Fischer, E.A., Kinsmann, P.R., Ohse, R.W.:  
            Critical Assessment of Equation of State  
            Data for UO<sub>2</sub>.  
            J. Nucl. Mat., 59 (1976) 125
- /19/        Bogensberger, H.G., Fischer, E.A.,  
            Royle, P., Arnecke, G.:  
            Analysis of LMFBR Overpower Accidents,  
            Including Fission Gas Effects in the  
            Predisassembly and Disassembly Phase.  
            Proc. International Meeting on Fast  
            Reactor Safety and Related Physics,  
            Chicago (Oct. 1976)  
            CONF-761001
- /20/        Calderola, L.:  
            A Theoretical Model for the Molten Fuel  
            Sodium Interaction in a Nuclear Fast Reactor.  
            Nucl. Eng. Design, Vol. 22 (1972), 175
- /21/        Cho, D.H., Ivins, R.O., Wright, R.W.:  
            Pressure Generation by Molten Fuel Coolant  
            Interactions under LMFBR Accident Conditions.  
            Conf. on New Developments in Reactor  
            Mathematics and Applications  
            Idaho Falls (March 1971)  
            CONF-710302 Vol. 1

- /22/ Bogensberger, H.G., Ronchi, C.:  
Effects due to Fission Gas During  
Unprotected Overpower Transients  
in an LMFBR.  
Nuclear Technology 29 (1976), 73
- /23/ Jackson, J.F.:  
Maintenance and Improvement of  
VENUS-II Disassembly Code.  
ANL-RDP-46 (Dec. 1975)
- /24/ King, L.D.P., Ackworth, D., Geer, W.V.,  
Fenstermacher, G.A., et al.:  
Description of the KIWI-TNT Excursion  
and Related Experiments.  
LA-3350 MS
- /25/ Jackson, J.F., Rhoades, W.F.,  
Moss, L.I.:  
Analysis of Snaptran-1 and-2  
Reactor Kinetics Experiments.  
NAA-SR-11850
- /26/ Bott, T.F., Jackson, J.F.:  
Experimental Comparison Studies with  
the VENUS-II Disassembly Code.  
Proc. International Meeting on Fast  
Reactor Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /27/ Jackson, J.F., Stevenson, M.G.,  
Marchaterre, J.F., Sevy, R.H.,  
Avery, R., Ott, K.O.:  
Trends in LMFBR Hypothetical  
Accident Analysis.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P2

- /28/ Smith, L.L., Boudreau, J.E., Bell, G.R.,  
Bleiweis, P.J., Barnes, J.F., Travis, J.R.:  
SIMMER-I, An LMFBR Disrupted Core  
Analysis Code.  
Proc. International Meeting on Fast  
Reactor Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /29/ Weber, D.P., et al.:  
VENUS-III: An Eulerian Disassembly Code.  
Trans. Am. Nucl. Soc., 21 (1975), 219
- /30/ Bleiweis, P.B., Kastenber, W.E.,  
Okrent, D.:  
Computational Models for the Study of  
Azimuthally Dependent Disassembly of  
Liquid-Metal Fast Breeder Reactors.  
Nucl. Sci. and Eng. 56 (1975), 152
- /31/ Bleiweis, P.B., Okrent, D.,  
Kastenber, W.E.:  
A Comparison Study and Analysis of  
Models for 1000 MWe and 4000 MWe  
LMFBR Hypothetical Accidents.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P2
- /32/ Armstrong, D.R., Testa, F.J., et al.:  
Molten  $UO_2$ -Sodium Dropping Experiments  
Trans. Am. Nucl. Soc. 13 (1970), 660

- /33/ Fistedis, S.H., Chang, Y.W., Marciniak, T.J.,  
Nagumo, G., Gvildys, J.:  
Fast Reactor Containment Analysis, Recent  
Improvements, Applications and Future  
Development.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (1974)  
CONF-740401-P2
- /34/ Doerbecker, K.:  
ARES: Ein zweidimensionales Rechenprogramm  
zur Beschreibung der kurzzeitigen Auswir-  
kungen einer hypothetischen unkontrollierten  
nuklearen Exkursion auf Reaktortank, Dreh-  
deckel und Einbauten, gezeigt am Beispiel  
des SNR-300.  
Reaktortagung Hamburg, 11.-14.4.1972
- /35/ Marchaterre, J., Marciniak, T.,  
Bratis, J., Fauske, H.:  
Work-Energy Characterization for  
Core Disruptive Accidents.  
Proc. Intern. Meeting on Fast  
Reactor Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /36/ Henry, R.E., Erickson, E.G., Goldfuss, G.T.,  
Heiberger, J.J., Quinn, D.J., Roth, R.L., et al.:  
Experiments on Pressure-Driven Fuel compaction  
with Reactor Materials.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001

- /37/ Fauske, H.K.:  
The Role of Energetic Mixed-Oxide-Fuel-Sodium  
Thermal Interactions in Liquid Metal Fast  
Breeder Reactor Safety.  
Proc. Third Specialist Meeting on Sodium/Fuel  
Interaction in Fast Reactors  
Tokyo, Japan, March 22 - 26 (1976)
- /38/ Cho, D.H., Epstein, M., Fauske, H.K.:  
Work Potential Resulting from a Voided  
Core Disassembly.  
Trans. Am. Nucl. Soc. 18 (1974), 220
- /39/ Theofanus, T.G., Grolmes, M.A.,  
Lambert, G.A., Epstein, M.:  
Transient Development of Two Phase Jets:  
LMFBR/HCDA Energy Yield and Core Material  
Transport.  
15. National Heat Transfer Conference,  
San Francisco, 10 - 13. Aug. 1975
- /40/ Royl, P., Kuczera, B.:  
Effects of Failure Incoherence in an LMFBR  
Hypothetical Overpower Accident.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /41/ Speis, T.P., Allen, C.L., Alcouffe, R.E.,  
Denise, R.P., Meyer, J.F.:  
Studies of Core Disruptive Accidents and  
Licensing Aspects of Fast Breeder Reactors,  
Trans. Am. Nucl. Soc. 20 (1975), 534

- /42/ Speis, T.P., Denise, R.P., Starostecki, R.W.,  
Lois, L., Meyer, J.F.:  
LMFBR Accident Energetics and their Role in  
Licensing.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /43/ Essig, C., Froehlich, R., Schmuck, P.:  
Influence of Fuel-Coolant-Interactions on  
Loss of Flow Type Core Disruptive Accidents  
for the SNR-300.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /44/ Angerer, G.:  
Transport von Kernmaterialien während Unfällen  
in schnellen natriumgekühlten Reaktoren.  
KFK 1935 (1974)
- /45/ Maschek, W.:  
Untersuchung des Rekritikalitätspotentials  
eines großen natriumgekühlten Schnellen Brutreaktors  
KFK 2492 (in Vorbereitung)
- /46/ Epstein, M., Henry, R.E., Grolmes, M.A.,  
Fauske, H.K., Goldfuss, G.T., Quinn, D.J.,  
Roth, D.J.:  
Analytical and Experimental Studies of  
Transient Fuel Freezing.  
Proc. International Meeting on Fast  
Reactor Safety and Related Physics.  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001

- /47/ Fauske, H.K.:  
The Role of Core Disruptive Accidents in  
Design and Licensing of LMFBRs.  
Nuclear Safety 17 (1976), 550
- /48/ Reynolds, A.B., Erdman, C.A., Kirbiyik, M.:  
Fuel Vapor Generation in LMFBR Core Dis-  
ruptive Accidents.  
Nucl. Technology 26 (1975), 165
- /49/ Dhir, V.K., Castle, J.N., Catton, I.,  
Kastenberg, W.E., Doshi, J.B.:  
Role of Wall Heat Transfer and other System  
Variables on Fuel Compaction and Recriticality.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /50/ Ostensen, R.W., Henninger, R.J.,  
Jackson, J.F.:  
The Transition Phase in LMFBR Hypothetical  
Accidents.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /51/ Boudreau, J.E., Jackson, J.F.:  
Recriticality Considerations in LMFBR Accidents.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P1
- /52/ Smidt, D.:  
Selection of Safety Design Basis of Fast Reactors  
in the Federal Republic of Germany.  
Proc. Fast Reactor Safety Meeting,  
Beverly Hills (April 1974)  
CONF-740401-P1

- /53/ Pollak, R.:  
Druckwellenbelastung des Primärkreislaufs  
(SNR-300) unter Berücksichtigung elastisch-  
plastischer Rohrverformungen.  
Reaktortagung Düsseldorf (April 1976)
- /54/ Fauske, H.K.:  
The Importance of Dispersal and Fluidization  
in Assessing Recriticality in LMFBR Core  
Disruptive Accidents,  
Trans. Am. Nucl. Soc. 21 (1975), 285
- /55/ Fauske, H.K.:  
Seminar des Institutes für Reaktorentwicklung  
Karlsruhe, 6 - 8. Oct. 1975, unveröffentlicht
- /56/ Catton, I.:  
Seminar des Institutes für Reaktorbauelemente  
Karlsruhe 20 - 22. April 1976, unveröffentlicht
- /57/ Granner, N., Hansen, G., Henny, W., Voj, P.:  
Hydraulische Versuche an Kernelementen des  
SNR-300 in Hinblick auf den Notkühlfall.  
KTG Fachtagung, Stuttgart (Jan. 1975)
- /58/ Tzanos, C.P., Barthold, W.P., van Erp, J.B.:  
Unprotected Loss of Flow Transients in  
Large LMFBRs.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor  
Safety and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001

- /59/ Tzanos, C.P., Barthold, W.P., Bowers, C.H.,  
Ferguson, D.R., Prohammer, F.G., van Erp, J.B.:  
Design Related Inherent Safety Characteristics  
in Large LMFBR Power Plants  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor Safety  
and Related Physics, Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /60/ Mougnot, M., et al.:  
Gains de régénération dès réacteurs rapides à  
combustible oxyde de réfrigérant sodium.  
Proc. of the European Nuclear Conference  
of Nuclear Energy Maturity, Paris (April 1975)  
Ed.: Pierre Zaleski, Pergamon Press
- /61/ Wehmann, U.:  
Safety Aspects in Nuclear Core Design of LMFBRs.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor Safety  
and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /62/ Sehgal, B.R., Lin, C., Naser, J., Loewenstein, W.B.:  
Low Sodium Void Coefficient LMFBR Cores.  
Proc. Intern. Meeting on Fast Reactor Safety  
and Related Physics,  
Chicago (Oct. 1976)  
CONF-761001
- /63/ Fischer, E.A., Arnecke, G.:  
Further Development of the LMFBR Accident Analysis  
Codes HOPE and KADIS  
KFK-2546 (1977)

/64/

Proctor, J.F.:

Adequacy of Explosion-response Data in Estimating  
Reactor-vessel Damage

Nucl. Safety 8 (1967) 565

Danksagung

=====

Herrn Dr. Dankward Struwe danke ich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit während der Durchführung der Sicherheitsanalyse des SNR-2000 sowie für zahlreiche Diskussionen und die freundliche Überlassung einiger Bilder, welche in diesem Bericht verwendet wurden. Herrn Dr. Reimar Fröhlich sei für die kritische Durchsicht des Manuskriptes sowie für viele wertvolle Hinweise und Verbesserungsvorschläge gedankt. Außerdem möchte ich den Herren Dr. Reinhard Frölich, Dr. Edgar Kiefhaber sowie Herrn Arno Polch für die Bereitstellung der ortsabhängigen Reaktivitätskoeffizienten danken. Schließlich danke ich noch Frl. Sigrid Kemm und Frau Karin Mayer für ihre Geduld und Sorgfalt bei der Herstellung einer schreibmaschinengeschriebenen Reinschrift dieses Berichtes.