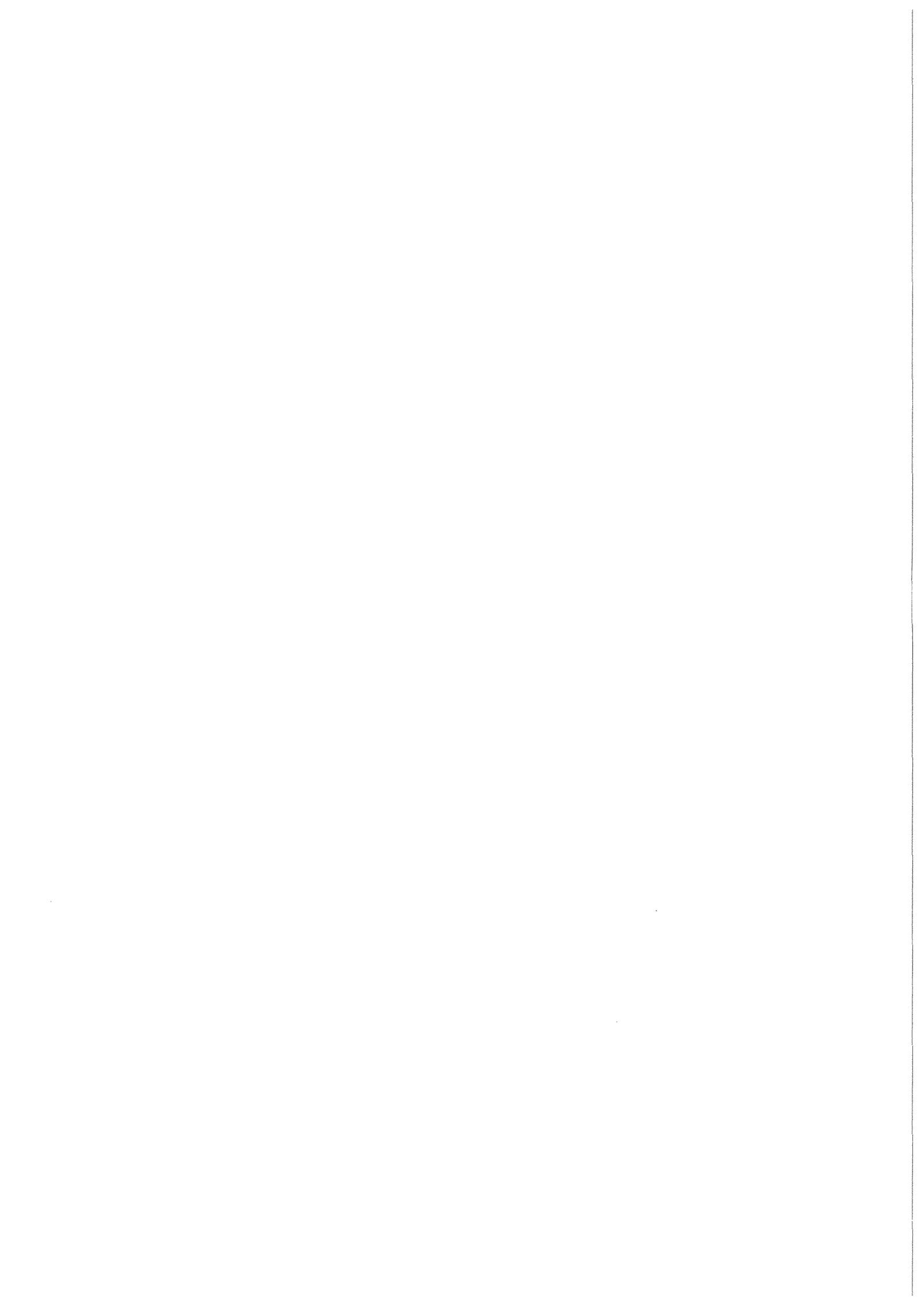


KfK 3400
Dezember 1983

Projekt Nukleare Sicherheit

Tätigkeitsbericht 1. Halbjahr 1983

Kernforschungszentrum Karlsruhe



K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R U M K A R L S R U H E

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

KfK 3400

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

Tätigkeitsbericht 1. Halbjahr 1983

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Vorwort

Im Rahmen des Projekts Nukleare Sicherheit (PNS) arbeiten die folgenden Institute und Abteilungen der Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH zusammen:

Institut für Datenverarbeitung in der Technik	IDT
Institut für Material- und Festkörperforschung	IMF
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik	INR
Institut für Reaktorbauelemente	IRB
Institut für Reaktorentwicklung	IRE
Institut für Radiochemie	IRCH
Hauptabteilung Ingenieurtechnik	IT
Hauptabteilung Sicherheit	HS
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik	LAF
Laboratorium für Isotopentechnik	LIT
Abteilung für Angewandte Systemanalyse	AFAS

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten des PNS sind Bestandteil des Reaktorsicherheitsforschungsprogramms des BUNDESMINISTERS FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (BMFT) und werden in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Herstellern und Betreibern, Gutachtern, Genehmigungsbehörden sowie anderen Forschungsinstitutionen durchgeführt.

Der vorliegende Tätigkeitsbericht für das 1. Halbjahr 1983 beschreibt die Fortschritte der Arbeiten des PNS, die von den Instituten und Abteilungen der KfK und den im Auftrag der KfK arbeitenden externen Institutionen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit durchgeführt werden, in KURZFASSUNGEN (deutsch und englisch). Es wird in diesen Berichten über

- durchgeführte Arbeiten
- erzielte Ergebnisse
- Ausblick auf den geplanten weiteren Fortgang

jedes einzelnen Forschungsvorhabens zusammengefaßt informiert.
Der Bericht wurde von der Projektleitung zusammengestellt.

NUCLEAR SAFETY PROJECT

FIRST SEMIANNUAL REPORT 1983

The semiannual progress report 1983/1 is a description of work within the Nuclear Safety Project performed in the first six month of 1983 in the nuclear safety field by KfK institutes and departments and by external institutions on behalf of KfK. The chosen kind of this report is that of short summaries, containing the topics

- work performed
- results obtained
- plans for future work

This report was compiled by the project management.

TRANSLATION OF THE GERMAN REPORTS

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Berichtsbeiträge in deutscher Sprache	1 - 61
Translation of the German Reports	62 - 121
06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW	
<u>PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktor-</u> <u>komponenten unter Störfallbedingungen</u>	1
<u>06.01.01</u> HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Bean- spruchung von Reaktoreinbauten	1
06.01.01/11A Meßtechnische Erfassung und Auswertung des PNS 4116 dynamischen Verhaltens der Versuchseinbauten im Reaktordruckbehälter (RDB) des HDR im Rahmen der HDR-Blowdown-Versuche	1
<u>06.01.02</u> Entwicklung und Verifizierung von Codes zur dynamischen Beanspruchung von RDB-Einbauten	2
06.01.02/15A Weiterentwicklung und Verifizierung von fluid/ PNS 4125 struktur-dynamischen Codes zur Analyse der Beanspruchungen von RDB-Einbauten beim Blowdown	2
06.01.02/16A Laborversuche zur Abstützung von fluid/struktur- PNS 4126 dynamischen Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühlmittelverluststörfällen	3
06.01.15/04A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes zur PNS 4127 Analyse der dynamischen Spannungen und Verfor- mungen von LWR-Containments	4
<u>06.01.18</u> Reaktorstörfalltrainer	
06.01.18/01A Der Störfalltrainer, ein Hilfsmittel zur Vertiefung PNS 4130 des kenntnisbedingten Handelns beim Führungsper- sonal in Kernkraftwerken	6
06.01.19/02A Thermoermüdung und Thermoschockverhalten von PNS 4160 Reaktorkomponenten	7
06.01.21/01A Thermo- und fluiddynamische Analysen von /02A LWR-Störfällen PNS 4270/71	9

		<u>Seite</u>
<u>06.01.03</u>	Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom- Meßverfahren und Anwendung bei den Blowdown-Experimenten	11
06.01.03/21A PNS 4137	Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kali- brieren verschiedener Zweiphasenmassenstrom- Meßverfahren	11
06.01.03/22A PNS 4139	Versuchsstand für instationäre Zweiphasen- Strömungen	12
06.01.03/23A PNS 4136	Entwicklung von Radionuklidverfahren zur Bestimmung transienter Zweiphasenmassenströme	13
06.01.03/24A PNS 4140	Entwicklung von strömungsformabhängigen Konden- sations- und Schlupfmodellen in einer Zwei- phasen-Düsenströmung	18
 <u>PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen</u>		
<u>06.01.04</u>	Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zur Beschreibung des Brennelementverhaltens bei Störfällen	19
06.01.04/25A 26A, 27A, 29A PNS 4231.1/3 4/5	Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zum Brennstabverhalten bei Reaktorstörfällen	19
<u>06.01.07</u>	Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittelverluststörfalles	22
06.01.07/11A /12A PNS 4236.1/2	Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten thermohydraulischen Randbedin- gungen (COSIMA)	22
<u>06.01.09</u>	Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles	24
06.01.09/06A PNS 4238	Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zircaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung (REBEKA)	24
06.01.20/01A PNS 4260	Brennstabsimulatoreffekte bei Flutexperimenten (SEFLEX)	26

		<u>Seite</u>
<u>06.01.16</u>	Untersuchungen zu schweren Kernschäden	27
06.01.16/17A PNS 4254	Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren bei langsamer Transienten und schweren Kernschäden	27
06.01.16/16A PNS 4253	Mechanisches und chemisches Verhalten von Zircaloy-4-Hüllrohren und UO ₂ -Brennstoff bei hohen Temperaturen	29
06.01.16/14A /15A PNS 4251.1/2	Out-of-pile Bündelexperimente zur Untersuchung schwerer Kernschäden (CORA)	31
06.01.16/13A PNS 4250	Langzeitkühlung im stark beschädigten Core (COLD)	32
<u>06.01.17</u>	Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener Druckwasserreaktoren (FDWR)	34
06.01.17/11A PNS 4240	Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter, hexagonaler Stabbündel	34
06.01.17/12A PNS 4242	Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs und der Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von FDWR-Hüllrohren	35
06.01.17/13A PNS 4243	Oxidationsverhalten von Edelstahl-Hüllrohren in Wasserdampf	36
06.01.17/14A PNS 4244	Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerkstoffen für FDWR	37
 <u>PNS-Teilprojekt 4300 - Ablauf und Beherrschung von LWR-Kernschmelzenunfällen</u>		
<u>06.01.11</u>	Reaktions-, Freisetzungs- und Aerosolverhalten beim Kernschmelzen	38
06.01.11/26A PNS 4311	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und Aerosolen in LWR-Containments	38

		<u>Seite</u>
06.01.11/27A PNS 4314	Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR- Materialien beim Coreschmelzen	40
06.01.11/28A PNS 4315	Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Frei- setzung von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen	41
<u>06.01.12</u>	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahl- schmelzen mit Beton	43
06.01.12/25A PNS 4325	Ausbreitung von Stahlschmelzen im Beton, Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung	43
06.01.12/26A PNS 4323	Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahl- schmelzen und Beton	44
06.01.12/27A PNS 4331	Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung einer Kernschmelze mit Beton	46
06.01.12/28A PNS 4334	Modellentwicklung zur analytischen Beschrei- bung von Kernschmelzenunfällen	47
<u>PNS-Teilprojekt 4400 - Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung</u> und Reduktion der Strahlenbelastung		
<u>06.01.14</u>	Abluftfilterung an Reaktoren	49
06.01.14/16A PNS 4414	Bestimmung der ¹³¹ I-Komponenten in der Ab- und Fortluft von Siedewasserreaktoren	49
06.01.14/17A PNS 4415	Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern für Störfallbedingungen	50
06.01.14/18A PNS 4416	Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter hoher Temperatur, Luftfeuchte und er- höhtem Differenzdruck	51

		<u>Seite</u>
06.02.	SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDER- AUFARBEITUNGSANLAGEN	
<u>PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung</u>		
<u>06.02.01</u>	Störfallanalysen für die große Wiederaufar- beitungsanlage (WAA)	54
06.02.01/10A PNS 4513	Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der großen Wiederaufarbeitungsanlage	54
06.03	EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN	
<u>PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkung und Beseitigung freigesetzter nuklearer Schadstoffe</u>		
<u>06.03.01</u>	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	56
06.03.01/09A PNS 4812	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt:Pu, Am, Cm und Np	56
06.03.01/10A PNS 4813	Mikrobiologische Einflüsse auf die Mobilität und Bioverfügbarkeit von Radionukliden in Böden und Sedimenten	58
<u>06.03.03</u>	Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktorunfällen unter probabilistischen Gesichts- punkten	60
06.03.03/11A PNS 4832	Unfallfolgenmodell der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke, Phase B	60
06.03.03/12A PNS 4831	Fortentwicklung des Unfallfolgenmodells Phase B der Deutschen Risikostudie	60

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktorkomponenten
unter Störfallbedingungen

06.01.01 HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Beanspruchung von
Reaktoreinbauten

06.01.01/11A Meßtechnische Erfassung und Auswertung des dynamischen
PNS 4116 Verhaltens der Versuchseinbauten im Reaktordruckbehälter
(RDB) des HDR im Rahmen der HDR-Blowdown-Versuche
(J. Kadlec, F. Eberle, G. Lang, R. Scharnowell; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die modalanalytische Auswertung der Snapback-Versuchsreihe V59.04 - V59.06 und der Blowdown-Versuchsreihe V31.2 - V33 wurde fortgesetzt. Die Auswertung des Blowdown-Versuchs V32 ergab einen deutlichen Anstieg der Eigenfrequenzen des HDR-Kernbehälters während des Blowdownvorganges. Dieses Phänomen kann durch die kontinuierliche Abnahme der Wassermasse im RDB erklärt werden.

Für die graphische Darstellung der extrahierten Eigenschwingungsformen des HDR-Kernbehälters wurden die Rechenprogramme MODAP und NETPLT erstellt. Mit Hilfe dieser Programme lassen sich die an einzelnen diskreten Punkten festgestellten Amplituden und Phasenverschiebungen der einzelnen Eigenschwingungsformen durch kontinuierliche Flächen approximieren und superponieren, wodurch u.a. auch die Darstellung der globalen Schwingungsantwort des Kernbehälters im Falle der Snapbackversuche ermöglicht wird.

Geplante Weiterarbeit

Abschluß der modalanalytischen Auswertung der Blowdown-Versuchsreihe V31.2 - V33 und der Snapback-Versuchsreihe V59.04 - V59.06. Erstellung der Abschlußdokumentation.

06.01.02 Entwicklung und Verifizierung von Codes zur
 dynamischen Beanspruchung von RDB-Einbauten

06.01.02/15A Weiterentwicklung und Verifizierung von fluid/struktur-
PNS 4125 dynamischen Codes zur Analyse der Beanspruchungen von
 RDB-Einbauten beim Blowdown
 (R. Krieg, E.G. Schlechtendahl, J. Benner, M. Geiß,
 F. Katz, H. Knüppel, A. Ludwig; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Die Entwicklung eines Modells für den Reaktorkern und der Einbau dieses Modells in den FLUX-Code (Version FLUX-5) wurden abgeschlossen. Um das gegenseitige Anschlagen benachbarter Brennelemente numerisch zu simulieren, wurde ein Abstandshaltermodell mit nichtlinearer Federcharakteristik entwickelt. Der Blowdown eines DWR wurde mit FLUX-5 parametrisch untersucht. Die zur experimentellen Abstützung dienenden Laborexperimente mit einem in Wasser schwingenden Stab Bündel wurden fortgesetzt. Zur Analyse der Beanspruchungen der Kernmantel-Einspannung wurden weitere Finite-Element-Rechnungen mit einem dreidimensionalen Modell durchgeführt.

Zur Beanspruchung des Reaktordruckbehälters unter hohen transienten Drücken wurde eine erste Analyse durchgeführt. Hierbei wurde ein dreieckförmiger Druckpuls von 1 000 bar und 2 ns Dauer auf den Behälterboden angenommen.

Erzielte Ergebnisse

Bei den Blowdownuntersuchungen zeigte sich, daß die früher in Anlehnung an die HDR-Experimente benutzte Kernmodellierung (50% der Kernmasse als Massering) konservativ ist. Erste qualitative Ergebnisse über das Verhalten des Reaktorkerns beim Blowdown erbrachten sehr komplexe Verformungszustände der Brennelemente mit Beanspruchungsmaxima in der Nähe der Einspannungsstellen.

Die Untersuchung zur Beanspruchung der Einspannung ergaben, daß das 3D-Modell insbesondere bei Belastungen, die plastische Verformungen verursachen, eine deutlich steifere Einspanncharakteristik als vergleichbare 2D-Rechnungen liefert. Dies ist offensichtlich auf die in 2D-Rechnungen vernachlässigte Torsionssteifigkeit des Kernmantel-Einspannflansches zurückzuführen. Daraus folgt, daß bei einem Blowdown allenfalls lokale plastische Verformungen an der Kernmanteleinspannung zu erwarten sind, zumal nach neueren Rechnungen die Blowdownbelastungen niedriger liegen, als früher erwartet wurde.

Die Analysen zur dynamischen Beanspruchung des Reaktordruckbehälters zeigten, daß bei der angenommenen Belastung lediglich im Behälterboden große plastische Verformungen zu erwarten sind. Die Dehnungen liegen dort in der Größenordnung von mehreren Prozent.

Geplante Weiterarbeit

Fortsetzung der parametrischen Untersuchung zum DWR-Blowdown, Dokumentation der Ergebnisse zusammen mit einer theoretischen Beschreibung des Kernmodells. Durchführung einer DWR-Blowdown-Simulation mit FLUX-5, unter Berücksichtigung von Kernmantelspielen und Flanschnachgiebigkeit.

Dokumentation der berechneten Blowdown-Beanspruchungen der Kernmanteleinspannung, Ermittlung des Versagensabstandes für die Kernmanteleinspannung im Vergleich dazu für einige andere typische Schaleneinspannungen.

Quantifizierung typischer Versagensbelastungen für den Reaktordruckbehälter.

06.01.02/16A Laborversuche zur Abstützung von fluid/struktur-dynamischen
PNS 4126 Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühlmittelverluststörfällen

 (E. Wolf; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Das Außenrohr für das 49-Stabbündel wurde montiert und einem Dichtheitstest unterworfen. Die Versuche mit dem 16-Stabbündel zur Erstellung einer geeigneten Meßtechnik für die Erfassung des Bewegungsablaufs der Einzelstäbe wurden weitergeführt.

Erzielte Ergebnisse

Der Dichtheitstest des Außenrohres für das 49-Stabbündel verlief erfolgreich. Der Bewegungsablauf der Einzelstäbe konnte durch Einsatz einer Filmkamera erfaßt werden. Die angewendete Meßtechnik ist jedoch noch nicht voll befriedigend.

Geplante Weiterarbeit

Die Meßtechnik für die Bündelgeometrie wird in Teilbereichen verbessert und erstellt. Die Versuche mit den beiden Bündelgeometrien (16-Stabbündel mit kreisförmiger Außenrandbegrenzung und 49-Stabbündel mit rechteckiger Außenrandbegrenzung) werden durchgeführt.

06.01.15/04A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes zur Analyse
PNS 4127 der dynamischen Spannungen und Verformungen von LWR-Containments
(F. Eberle, B. Göller, G. Hailfinger, J. Kadlec,
G. Messemer, E. Wolf; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Untersuchungen zur quasi-statischen Innendruckbeanspruchung des Containments wurden fortgesetzt. Zur Durchführung der Membranversuche wurden zunächst zwei Membranen mit einer überall gleichen Dicke von 2 mm und einem Durchmesser von etwa 800 mm aus dem Containmentwerkstoff hergestellt, vermessen und auf dem Versuchsstand bis zum Bersten beansprucht. Versagen trat auf bei einem Druck von 43 bar und bei maximalen Vergleichsdehnungen von rund 40%. Es entstand ein längerer Riß, der einen Teil der Membran mit mehr als 200 mm \emptyset (die Form war jedoch nicht genau kreisförmig) zu etwa 2/3 von der restlichen Membrane trennte. Ein zweiter Versuch lieferte fast genau die gleichen Ergebnisse. Begleitende Rechnungen mit dem Programm ROTMEM und die Benutzung einer experimentell ermittelten Spannungs-Dehnungs-Beziehung ergaben, daß bei rund 45 bar Versagen durch plastische Instabilität auftritt.

Die Arbeiten zum dynamischen Verhalten von Containments unter Berücksichtigung von Imperfektionen wurden fortgesetzt. Die zur experimentellen Überprüfung erforderliche formgenaue Kugelschale befindet sich in der Fertigung:

Die beiden tiefgezogenen Halbkugelrohlinge wurden am Äquator plangedreht und verschweißt. Die zwei gegossenen Rohlinge für das Stützgehäuse wurden vermessen und angedreht.

Die Rechnungen zum dynamischen Verhalten der liegenden, teilweise mit Wasser gefüllten Zylinderschale konnten noch nicht durchgeführt werden, da die Struk-

tureigenschaften der Schale wegen Fehlern in dem gekauften Finit-Element-Programm bisher nicht korrekt beschrieben werden konnten.

Für die Untersuchung der Energieübertragungsmechanismen von einer Schwingungsanregung im Fluid auf eine Zylinderschale wurde ein Versuchsstand aufgebaut. Die Messungen der Frequenzfunktionen des Systems Anregungskolben-Fluid-Zylinderschale haben begonnen.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und detaillierte Auswertung weiterer Membranversuche sowie Rechnungen zur quasi-statischen Innendruckbeanspruchung des Sicherheitsbehälters mit verbesserten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen. Besondere Berücksichtigung der Übergangsbereiche von der Containment-Schale auf dickere Ronden und der durch Schraubverbindung eingesetzten Materialschleuse.

Weiterführung der Untersuchungen zum dynamischen Verhalten dünner Kugelschalen unter Berücksichtigung von Imperfektionen. Spanabhebende Fertigung und Vermessung der formgenauen Kugelschale zur Durchführung von Experimenten.

Fertigstellung der Rechnungen zum dynamischen Verhalten der liegenden, teilweise mit Wasser gefüllten Zylinderschale.

Durchführung von Experimenten mit Schwingungsanregung im Fluid in einer Zylinderschale.

- 06.01.18 Reaktorstörfalltrainer
- 06.01.18/01A Der Störfalltrainer, ein Hilfsmittel zur Vertiefung
PNS 4130 des kenntnisbedingten Handelns beim Führungspersonal
 in Kernkraftwerken
 (K. Leinemann, R. Meyder, H. Schnauder; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Der Kleinrechner wurde beschafft und in Betrieb genommen. Die Störfalltrainer-Software wurde erstellt und getestet. Es wurden für zwei Kernkraftwerke Basisdateien erstellt, für die vier verschiedene Störfälle mit Hilfe eines prototypischen Editors aufbereitet und eingegeben wurden.

Für den Einsatz des Trainers wurde ein Unterrichtskonzept entwickelt. Mit Hilfe der vier Störfälle wurden für potentielle Kunden dieses Geräts Demonstrationssitzungen durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Bei den Demonstrationssitzungen konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Der Störfalltrainer erlaubt eine problemgerechte Wiedergabe der Störfälle.
- Die dynamische Darstellung der Störfälle zwingt zu einer raschen und konsequenten Denkweise.
- Der Störfall wird genauer verfolgt als beim Aktenstudium.
- Am Störfalltrainer "erlebte" Störungen sind einprägsamer als beim Aktenstudium.
- Durch die Einführung des Störfalltrainers wird als Nebenprodukt eine vollständige EDV-Dokumentation für jeden Störfall erstellt.

Geplante Weiterarbeit

Abhängig von der Entscheidung der KKW-Betreiber, dieses Gerät zu übernehmen, werden im nächsten Schritt die bisher erkannten Mängel beseitigt.

06.01.19/02A Thermoermüdung und Thermoschockverhalten von
PNS 4160 Reaktorkomponenten
(G. Czuck, D. Munz, H. Stamm; IRB/ZSM)

Durchgeführte Arbeiten

Experimentell: Aufbau des Prüfstandes THESPA, Messung der örtlichen und zeitlichen Temperaturverteilung und Vergleich mit Rechnungen, Optimierung der Spritzdüse, Messung der Rißausbreitung an drei Versuchsproben des Stahl 22NiCrMo37.

Theoretisch: Zur Klärung des grundsätzlichen Verhaltens und zur Durchführung von Parameterstudien wurden Temperaturen, Spannungsverteilungen und Spannungsintensitätsfaktoren für halbelliptische Oberflächenrisse im Halbraum und in der unendlich ausgedehnten Platte berechnet. Dabei wurde der Einfluß plastischer Verformungen an der Oberfläche berücksichtigt.

Für die Versuchsproben wurden durch Vergleich Theorie-Experiment die Wärmeübergangszahlen im Kühlbereich bestimmt. Aus den Ergebnissen der FE-Spannungsanalyse wurden Spannungsintensitätsfaktoren von halbelliptischen Oberflächenrisse für zahlreiche Rißgeometrien berechnet und damit der experimentell ermittelte Rißfortschritt nachgerechnet.

Entsprechende Berechnungen wurden auch im Rahmen des HDR-Projekts (Thermoschock an einer Stutzenkante) durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Experimentell: In allen drei Platten konnte für unterschiedliche Schocktemperaturen deutlicher Rißfortschritt entlang der gesamten Rißkontur erzielt werden. Der Rißfortschritt im Oberflächenbereich ist dabei teilweise besonders stark ausgeprägt. Außerdem wurden auch Rißverzweigungen beobachtet.

Theoretisch: Anhand der durchgeführten Parametervariationen können Spannungsintensitätsfaktoren in plattenähnlichen bzw. kompakten Strukturen abgeschätzt werden. Es konnten Anhaltspunkte zur näherungsweise Berücksichtigung überelastischer Beanspruchungen an der geschockten Oberfläche gewonnen werden.

Die experimentellen und theoretischen Ergebnisse für den Rißfortschritt in der Platte an der Oberfläche und am tiefsten Punkt der idealisierten halbelliptischen Risse wurden verglichen.

Geplante Weiterarbeit

- Verbesserung der experimentellen Versuchsführung (z.B. stabile Schocktemperatur.
- Bestimmung von Materialkennwerten an Laborproben.
- Weitere Thermoschockversuche mit Variation der Anfangs- und Randbedingungen.
- Entwicklung von Kriterien für instabile Rißausbildung im elastisch-plastischen Bereich.
- Einfluß von shakedown-Eigenstressungen auf Rißausbreitung.

06.01.21/01A Thermo- und fluiddynamische Analysen von
/02A LWR - Störfällen
PNS 4270/71 (W. Baumann, H. Borgwaldt, G. Jacobs, G. Willerding; INR)

Durchgeführte Arbeiten

Die 1982 von JAERI übernommene und inzwischen verbesserte IBM-kompatible Version des Codes RELAP5/MOD1 wurde näher an den neuesten Stand der Originalversion herangebracht. Begleitend wurden die neuen Zyklen der Originalversion im CYBERNET implementiert, getestet und zu Vergleichsrechnungen herangezogen. Der Arbeitsaufwand war größer als vorausgesehen. Unabhängig davon wurde ein RELAP5-Eingabemodell für einen modernen Leistungsdruckwasserreaktor von der Westinghouse-Gattung erstellt und weitgehend initialisiert.

Auf Anfrage wurde die NEA Data Bank in Saclay beratend bei Implementierung und Test von RELAP5/MOD1 auf beiden Computersystemen (CDC und IBM) unterstützt. Die Version 12.0 des Codes COMMIX-1A wurde Anfang 1983 von ANL übernommen und an unserer IBM-Anlage implementiert. Korrekturen und Ergänzungen für die Version 12.2 trafen im Juli von ANL ein.

Die Weiterentwicklung der 2-Phasen-Version COMMIX-2 erfolgte bis jetzt im Rahmen der Delegation eines Mitarbeiters ins ANL.

Der Code BODYFIT-1FE (1-Phasen-Version) war schon 1982 vom ANL in der IBM-Version übernommen worden. Die Implementierung auf der CYBER-205 wurde unmittelbar nach ihrer Verfügbarkeit, im Juni 1983, begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Zyklus 18 der Originalversion von RELAP5/MOD1 wurde auf verschiedenen CDC-Computern mit unterschiedlichen Betriebssystemen implementiert und getestet. Bei der Verbesserung der IBM-kompatiblen Version wurde Zyklus 9 erreicht. Rechnungen mit einer größeren Zahl (25) von Testbeispielen ergaben größtenteils identische Ergebnisse. Abweichungen traten bei LOFT-Testfällen auf.

Für die Version 12.0 von COMMIX-1A wurde ein lauffähiger Lademodul erstellt und am mitgelieferten Testbeispiel getestet.

Die Berichterstattung über den aktuellen Stand der 2-Phasen-Version COMMIX-2 erfolgt bisher intern vom ANL an die NRC.

Für BODYFIT-1FE konnte, zunächst ohne spezielle Optimierung, ein auf der CYBER-205 lauffähiger Lademodul erstellt und ausgetestet werden. Die Optimierung wurde in Angriff genommen. (Die Codes COMMIX und BODYFIT haben hohe Laufzeiten und wurden daher als Testfälle für Vektorrechner-Anwendungen ausgewählt. Hierbei hat BODYFIT zunächst Vorrang, da er bei ähnlicher Struktur und gleichen Algorithmen weniger umfangreich ist als COMMIX).

Geplante Weiterarbeit

Verbesserung der IBM-kompatiblen Version von RELAP5/MOD1 bis zum Stande von Zyklus 19 und Abschluß der Konvertierungsarbeiten. Anwendungsrechnungen mit RELAP5.

Implementierung von COMMIX-1A, Version 12.2, auf der IBM Anlage und auf der CYBER 205. Weiterentwicklung von COMMIX-2. Optimierung der CYBER-205-Version von BODYFIT-1FE.

- 06.01.03 Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren und
 Anwendung bei den Blowdown-Experimenten
- 06.01.03/21A Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren verschie-
PNS 4137 dener Zweiphasenmassenstrom-Meßverfahren
 (J. Reimann, H. John, W. Seeger, C. Smoglie; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Es wurde die Eignung von Pitot-Sonden in Verbindung mit der lokalen Dichtemes-
sung zur Bestimmung des querschnittsgemittelten Massenstromes untersucht.
Es wurden Luft-Wasser sowie Dampf-Wasser-Experimente durchgeführt mit einer
traversierbaren Pitot-Sonde in einer horizontalen Teststrecke mit $D = 50$ mm
sowie Pitot-Sonden in Rohrmitte in Teststrecken mit 10 und 20 mm Durchmesser.

Mit der Teststrecke a) wurden ausführliche Luft-Wasser sowie Dampf-Wasser -
Experimente bei Systemdrücken bis zu 100 bar durchgeführt, mit nach oben,
unten und waagrecht gerichtetem Abzweig.

Mit der "kleinen Leck"-Teststrecke wurde der Abzweigdurchmesser bei nach oben
und waagrecht gerichtetem Abzweig variiert ($d=6; 12; 20$ mm). Die Strömung
im horizontalen Hauptrohr war bei diesen Versuchen geschichtet.

Erzielte Ergebnisse

Das Meßsystem zeigt gute Ergebnisse in einem weiten Massenstrombereich, falls
geeignete Modelle für die Phasenverteilung und den Impulsaustauschfaktor ver-
wendet werden. Für rotationssymmetrische Strömung (bei horizontaler Strömungs-
richtung bei Massenstromdichten $G \geq 5000$ kg/m²s erreicht), kann die Zahl der
Meßstellen im Rohrquerschnitt entscheidend reduziert werden. Bei kleineren
Massenstromdichten kann oft anstelle eines aufwendigen Gammadensitometers eine
lokale Sonde zur lokalen Dichtemessung (Void Fraction Messung) verwendet werden.

Teststreckengeometrie a): Bei horizontalem Abzweig besitzt die Kurve $x_3/x_1 =$
(G_3/G_1) (x = Dampfgehalt, G = Massenstromdichte, Index "3" = Abzweig, Index "2"
= Zustrom) ein Maximum in der Nähe $G_3/G_1 = 0,3$. Die Größe dieses Maximums wurde
durch eine empirische Beziehung beschrieben, die alle Luft-Wasser sowie Dampf-
Wasser-Versuche gut wiedergibt.

Teststreckengeometrie c): Bei nach oben gerichtetem Abzweig ist der Wasseranteil, der in den Abzweig gelangt, sehr gering aufgrund des starken Dralls der Gasströmung. Der Gasmassenstrom wird daher nur unwesentlich beeinflusst. Wesentlich für diese Versuche ist der Übergang zur Schwallströmung, der bei hohen Gasdurchsätzen auftritt.

Geplante Weiterarbeit

Auswertung mit der Teststrecke a). Weitere Experimente mit der Teststrecke b).

06.01.03/22A Versuchsstand für instationäre 2-Phasen-Strömungen
PNS 4139 (H. John, J. Reimann; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Das True Mass Flow Meter (TMFM50), das als Referenzmassenstrom-Meßgerät dient, wurde auf seine Genauigkeit durch Massenstrom-Bilanz untersucht. Nichttolerierbare Differenzen zwischen dem Massenstromintegral des Gerätes und der wirklich ausgeströmten Masse, die mit Signaldriften des TMFM-Signalgebers bei Erwärmung erklärt werden, wurden durch ein rechnerisches Verfahren erfolgreich korrigiert.

Insgesamt 15 Blowdowns wurden mit dem Meßeinsatz für LOBI (Euratom Ispra) gemacht. Mehrere Blowdowns wurden mit dem LIT-Radiotracer-Verfahren und dem LIT-6-Strahl-Gamma-Densitometer durchgeführt. Es wurden dabei zwei neue Tracer, Kr-81 für die Gasphase und Tc-99 für die Flüssigphase erprobt.

Auf der Suche nach einem einfachen, zuverlässigen Massenstrom-Meßgerät wurde ein Pitot-Rohr-Rechen, bestehend aus 4 Pitot-Rohren, entwickelt und in mehreren Blowdowns erprobt. Die Meßsignale wurden zusammen mit den Meßwerten des IRB-5-Strahl-Gamma-Densitometers nach einem speziellen Rechenverfahren zu querschnittsgemittelten Massenstromwerten errechnet und mit dem Referenzwert verglichen.

Geplante Weiterarbeit

Auswertung und Ergänzung der Tests der Massenstrommeßverfahren von:

- Euratom/Ispra: γ -Densitometer, lokale und globale Turbinen-Durchflußmesser und Drag-Bodies.
- KfK-LIT: γ -Densitometer und Radiotracer Geschwindigkeitsmeßmethode mit zwei neuen Tracern.
- UNI-Berlin: Temperatur-Korrelations-Verfahren, Ultraschall-Höhenstandsmessung.

06.01.03/23A Entwicklung von Radionuklidverfahren zur Bestimmung
PNS 4136 transienter Zweiphasenmassenströme
 (R. Löffel; E. Kurtulgil, D. Wolf, W.-D. Zeidler; LIT)

Durchgeführte Arbeiten

- Auswertung der im zweiten Halbjahr 1982 an der Teststrecke DUESE durchgeführten Dichtemessungen.
- Dichtemessungen am Versuchsstand für instationäre Zweiphasenströmungen mit dem 6-Strahl-Dichtemeßverfahren.
- Geschwindigkeitsmessungen am oben genannten Versuchsstand mit dem Radiotracerverfahren.

Erzielte Ergebnisse

Dichtemessungen an der DUESE-Teststrecke:

Im engen Querschnitt (NW 16) der DUESE wurde vorzugsweise pulsierende Pfropfenströmung festgestellt. Abb. 1 zeigt den Dichte-Signalverlauf der horizontalen und vertikalen Zentralstrahlen in der ersten und dritten Meßebene (Abstand = 440 mm) im engen Rohrquerschnitt für zwei verschiedene Versuchspunkte. Die unterschiedliche Pulsationsfrequenz wird durch die Dichtesignale gut erfaßt. Eine zusätzlich durchgeführte Signalanalyse mit dem inzwischen entwickelten ADVA-Programm (ADVA = Amplituden-Dichte-Verteilungs-Analyse) ermöglicht die Nutzung von Referenzsignalen, die die Strömung selbst liefert. Diese können zur Auswertung als zusätzliche "Eichpunkte" verwendet werden. In der Abb. 2 und der Abb. 3 sind die ADVA-Spektren gezeigt. Sie enthalten je ein Referenzpeak.

Dichtemessungen am IRB-Versuchsstand (instationär):

Bei den bisherigen Blowdown-Versuchen wurde überwiegend homogene Blasenströmung gemessen, die gegen Ende des Blowdowns in eine Wellen/Schichten-Strömung übergeht.

Geschwindigkeitsmessungen am IRB-Versuchsstand (instationär):

Die Eignung des Technetium-99m als Flüssigtracer als Nachfolgelösung des früher verwendeten Mangan-56 konnte durch erste Versuche nachgewiesen werden. Für die Markierung der Gasphase wurde noch keine Alternative (zum früher verwendeten) Argon-41 gefunden. Die Kapazität der für Anwendungen in der Nuklearmedizin bereits routinemäßig eingesetzten Rubidium/Krypton-Generatoren mit Krypton-81 als Gas-Tracer reicht in der bisherigen Ausführung noch nicht aus.

Geplante Weiterarbeit

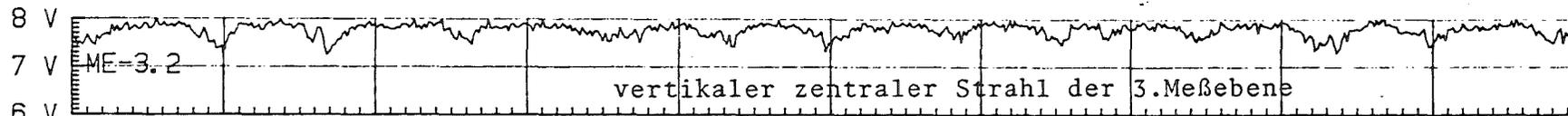
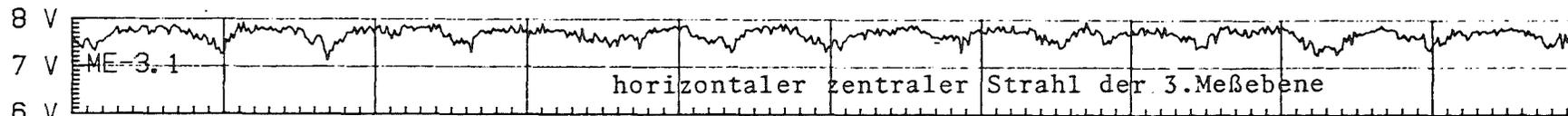
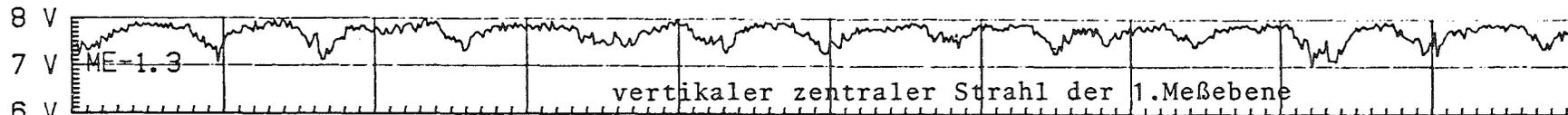
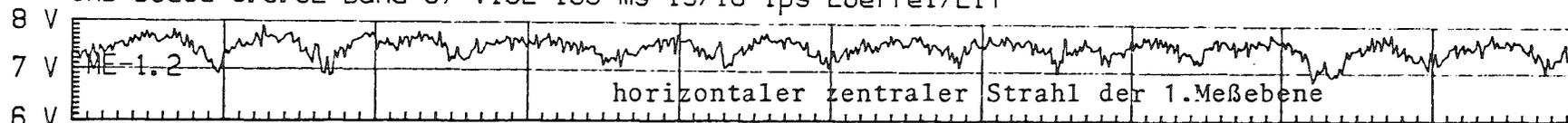
DUESE-Experimente:

- Fortsetzung der Dichtemessungen
- Geschwindigkeitsmessungen mit Tc-99m und, soweit möglich, mit Kr-81

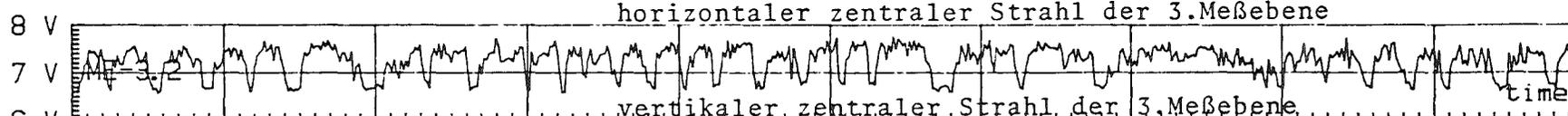
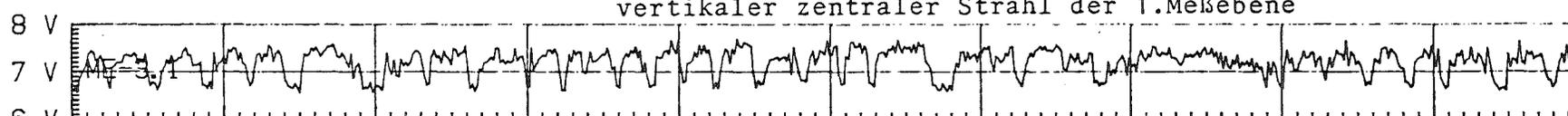
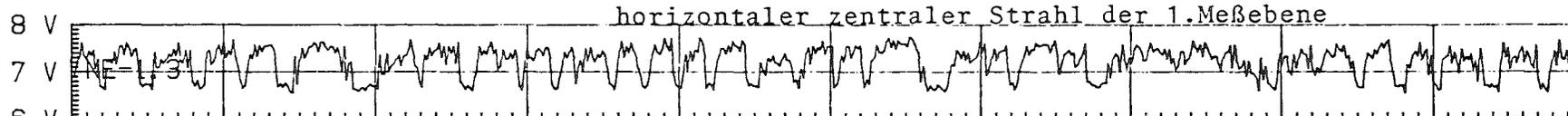
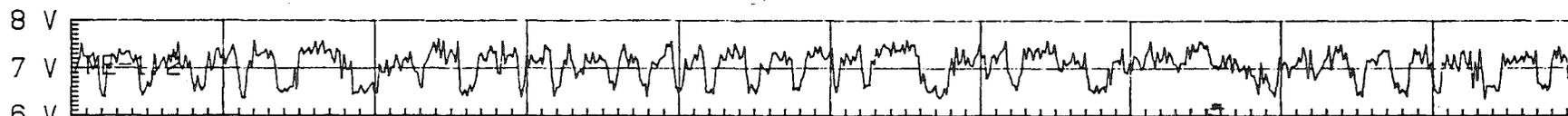
Blowdown-Experimente am IRB-Versuchsstand:

- Fortsetzung der Dichte- und Geschwindigkeitsmessungen.

IRB-Duese 6.8.82 Band 37 V102 100 ms 15/16 ips Loeffel/LIT



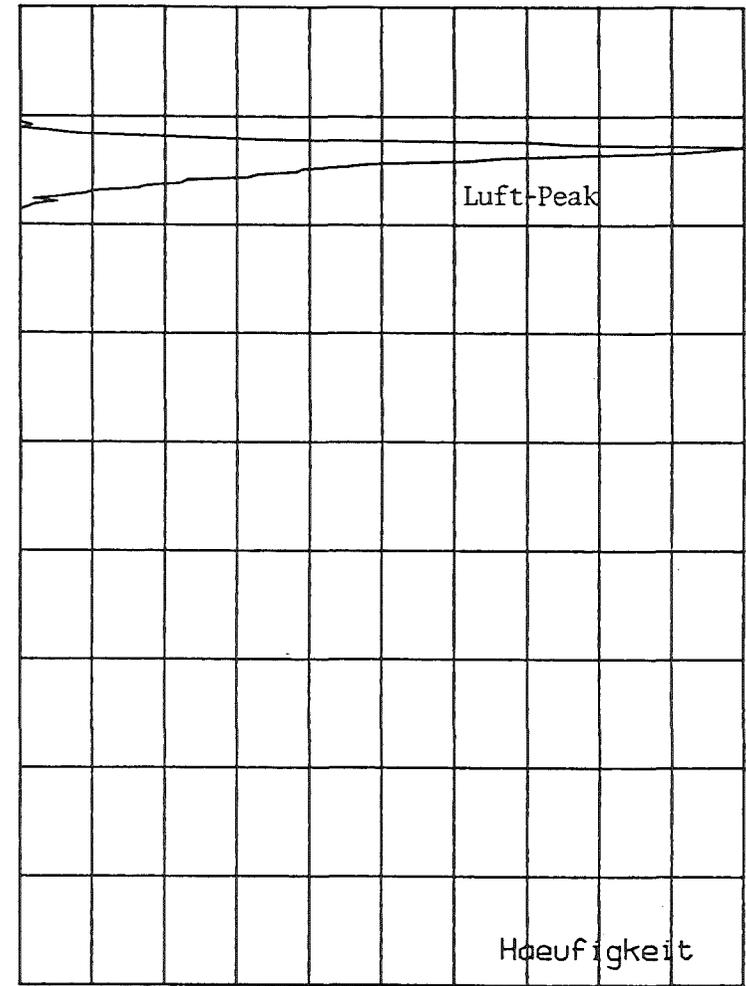
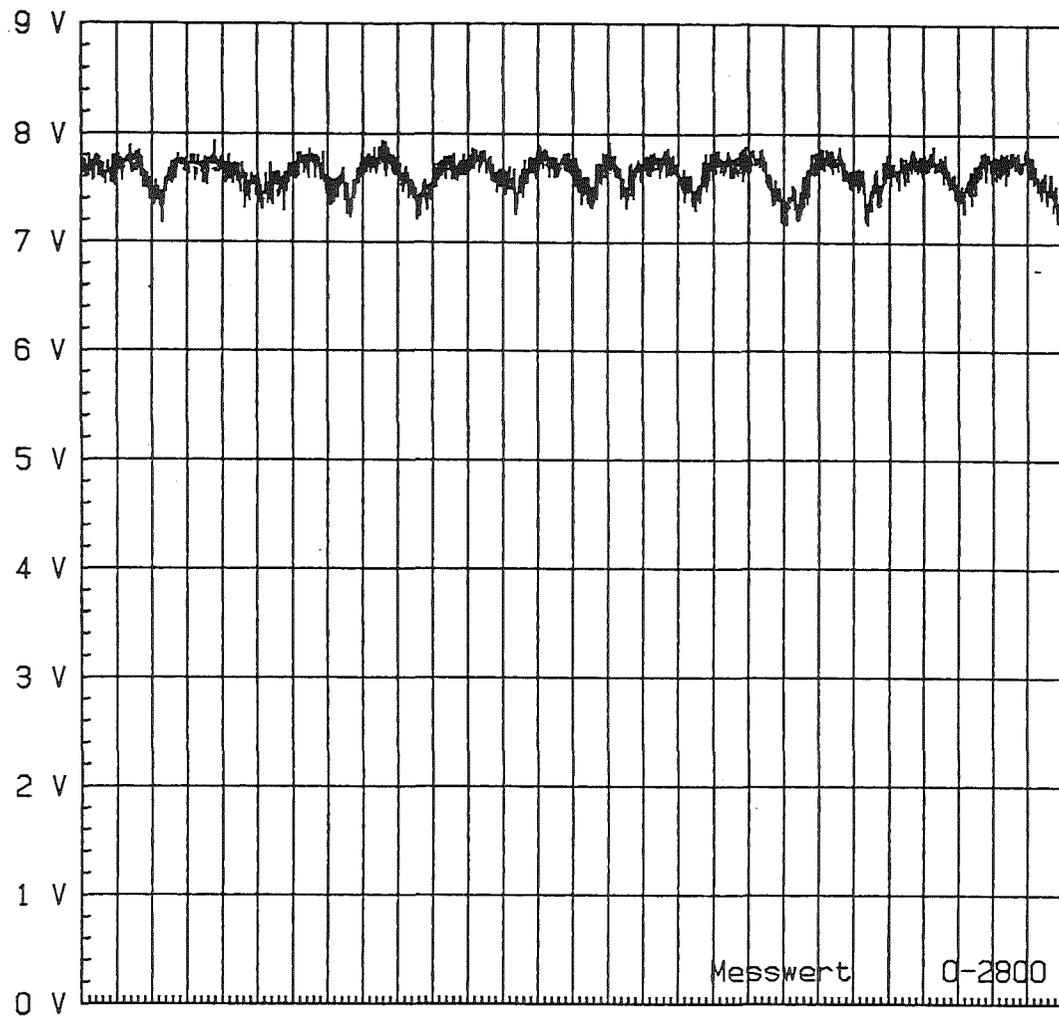
IRB-Duese 6.8.82 Band 37 V103 100ms 15/16 ips Loeffel/LIT



0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 time [sec]

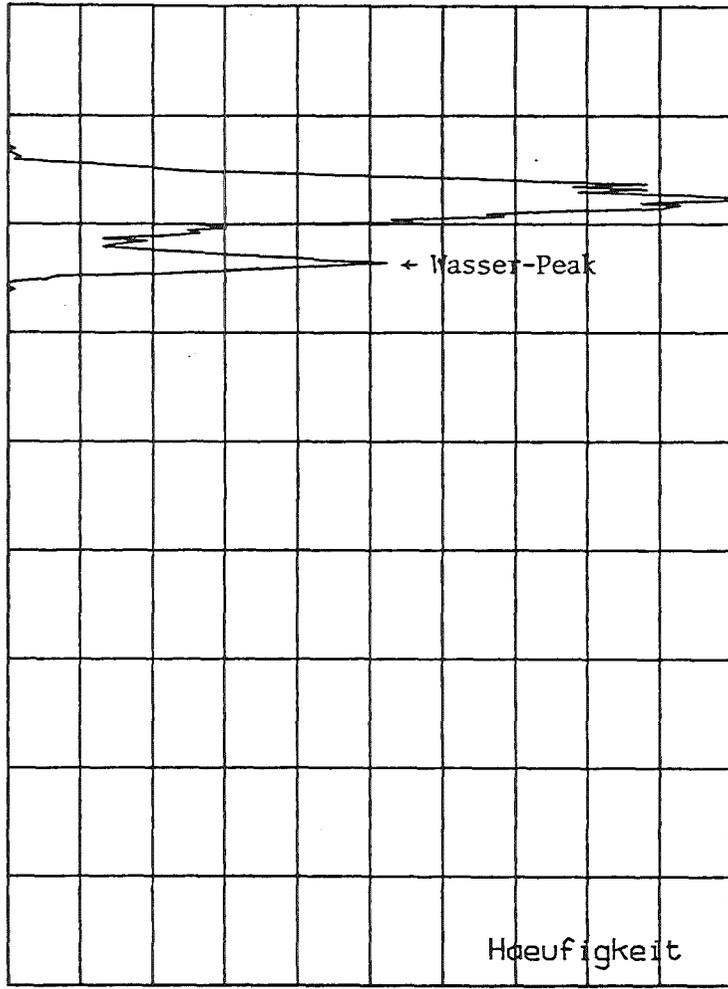
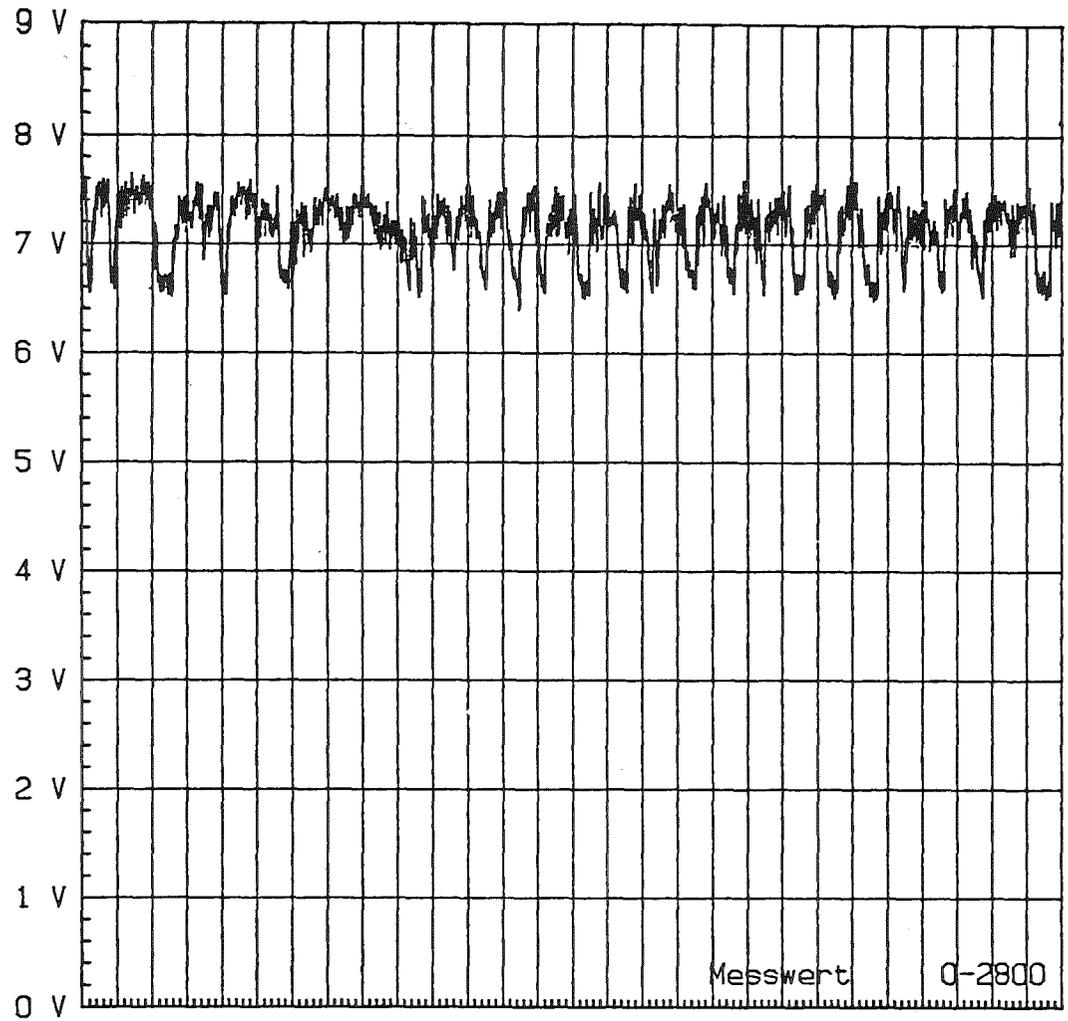
Data: 0- 641 of 1102 Start: 0 sec

Abb. 1 Gegenüberstellung der Originalsignale von V102 und V103 an der 1. und 3.Meßebene



ME3/1-V102 6.8.82 0.1 s 15/16 ips Band 37 Loeffel/LIT

Abb. 2 Amplituden-Dichte-Verteilungsanalyse des Meßsignals ME-3.1 von V102



ME3/1-V103 6.8.82 0.1 s 15/16 ips Band 37 Loeffel/LIT

Abb. 3 Amplituden-Dichte-Verteilungsanalyse des Meßsignals ME-3.1 von V103

06.01.03/24A Entwicklung von strömungsformabhängigen Kondensations-
PNS 4140 und Schlupfmodellen in einer Zweiphasen-Düsenströmung
(M. Wadle; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Die vorhandenen Daten der Versuchsserie vom Sommer 1982 wurden weiter ausgewertet und teilweise dokumentiert. Mit dem DUESE-Code wurden charakteristische Versuche nachgerechnet und mit den Experimenten verglichen.

Zur Durchführung der zweiten Versuchsserie wurden die Teststrecke umgebaut und erweitert, die Meßtechnik bereitgestellt und ein weiteres Versuchsprogramm entworfen. Zur Auswertung der Tracersignale konnte ein Auswerteprogramm entwickelt werden.

Erzielte Ergebnisse

Bei der Auswertung der bisherigen Experimente im Wasser-Dampf-Kreislauf konnten drei verschiedene Typen von Versuchen festgestellt werden. Je nach gewählten Massenströmen und Dampfgehalten stellten sich im Bereich von ca. 60% Dampfvolumentgehalt eine oder zwei kritische Stellen in der Teststrecke ein. Bei hohem Druckniveau wird nur eine am Ende der Reibphase festgestellt, während bei Drücken kleiner als ca. 35 bar schon am Übergang vom Vorlaufrohr in die eigentliche Teststrecke "choking conditions" erreicht werden.

In Abhängigkeit von der vorliegenden Strömungsform müssen das Reibgesetz und die Bläschenzahl im DUESE-CODE gesetzt werden. Alle unterkritischen und die kritischen Experimente bis zur vena contracta konnten erfolgreich nachgerechnet werden.

Geplante Weiterarbeit

Die zweite Serie findet im Sommer 1983 statt. Es sollen als zusätzliche Effekte die getrennten Phasengeschwindigkeiten mittels der Tracertechnik gemessen werden. Nach der Auswertung der Signale können dann weitere Nachrechnungen mit den verschiedenen Codes erfolgen.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen

06.01.04 Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zur
Beschreibung des Brennelementverhaltens bei Störfällen

06.01.04/25A Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems
26A, 27A, 29A zum Brennstabverhalten bei Reaktorstörfällen
PNS 4231.1/3 (J. Hackenbroich, R. Meyder; IRE, H. Borgwaldt, INR,
4/5 W. Sengpiel; IRE, H.J. Neitzel; IRB, K.H. Wagner; IT)

Durchgeführte Arbeiten

SSYST-3:

Die Erstellung der Eingabebeschreibung zu SSYST-3 ist weit fortgeschritten und wird im nächsten Halbjahr abgeschlossen werden.

Die Integration des Physik-Moduls REFLOS in SSYST-3 wurde verbessert.

Kleinere Fehler in den Hilfs-Modulen KOMBL, MITTEL und RSYFKT, die sich bei Anwendungen zeigten, wurden umgehend beseitigt.

Die GRS-Köln wurde bei der Implementierung von SSYST-3 unterstützt.

Zum "Deutschen Standardproblem Nr. 7", dem 6. REBEKA-Bündelversuch, wurden sowohl von GRS/PNS als auch von IRE blinde Vorausrechnungen mit SSYST-3 durchgeführt. Über den Vergleich von Experiment und Rechnungen wird von GRS bis Ende des Jahres ein Bericht erstellt.

SFD-Untersuchungen:

Anhand eines Experimentes der ESSI-Versuchsserie (Vorhaben 06.01.16) wurde untersucht, inwieweit die gemessene Außentemperatur der Zircaloy-Hülle für das Erreichen des Schmelzpunktes maßgebend ist. Dazu wurde mit dem im IRB entwickelten Zircaloy-Oxidationscode SIMTRAN, welcher neben der Sauerstoff-Konzentrationsverteilung auch die Temperaturverteilung der Zircaloy-Hülle berechnet, für das Experiment ESSI 4 der Temperaturabfall über die Hülle bestimmt.

Das Rechenprogramm STATI-4 wurde auf Real x 8 Variable umgestellt.

Die Aufgaben zur genaueren Bestimmung der Stoffwerte der im ESSI-4 benutzten Wärmedämm-Materialien wurde festgelegt.

Zur Interpretation der ESSI-4-Versuche wurden mit STATI-4 Parametervariationen der nicht genau gekannten Parameter, insbesondere Wärmeübergangszahlen und Wärmeleitfähigkeiten durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Für den Preprocessor-Code PREPRO des Programmsystems SSYST-3 wurde eine Funktions- und Eingabebeschreibung erstellt.

Die Rechnungen mit SIMTRAN zum Versuch ESSI-4 zeigten bei Annahme eines unbegrenzten Sauerstoffangebots einen zeitlich ansteigenden Temperaturabfall über die Hülle bis zu 64 K.

Eine Parameterstudie ergab, daß bei einer Begrenzung des Sauerstoffstromes aus dem Kühlkanal der Temperaturabfall über die Hülle sich zeitlich schwächer ausbildete. Die Rechnungen zu ESSI-4 mit dem Programm STATI-4 wurden eindimensional etwa in Stabmitte ohne Oxidation des Zry-4 durchgeführt und bei Erreichen des Schmelzpunktes abgebrochen. Bis 1500 K konnte eine gute Übereinstimmung von Rechnung und Messung erzielt werden.

Bei der Entwicklung des 3D Schalenmodells für die Hüllrohrdeformation zwischen zwei Abstandshaltern konnte mit den ersten Rechnungen die früher aufgestellte Behauptung bestätigt werden, daß die im IRB an Einzelstabexperimenten beobachtete Deformationsart im oberen Bereich des α -Zircaloy in erster Linie auf die Einspannung und nicht so sehr auf die Anisotropie des Zircaloy zurückzuführen ist. Die Rechnungen zeigen ferner, daß eine Berücksichtigung der geometrischen Nichtlinearität, d.h. die Gleichgewichtsbetrachtung am verformten Körper erst ab 15% Dehnung erforderlich wird.

Neben der Entwicklung des 3D Schalenmodells wurde die Auswertung der photogrammetrisch vermessenen gerasterten Hüllrohre fortgesetzt. Es zeigte sich dabei, daß die Verteilung der Dehnung am Umfang nicht so gleichförmig ist, wie sie z.B. vom SSYST Modul AZI berechnet wird.

Die Auswertung dieser Proben wird mit der Vermessung der azimuthalen Wandstärkeverteilungen demnächst abgeschlossen.

Geplante Weiterarbeit

Erweiterung des SSYST-Systemkerns zur Behandlung von Programmschleifen und Zeitintervall-Steuerung.

Erstellung eines SSYST-Moduls zur Modellierung der UO_2 -Zircaloy-Wechselwirkung.

Implementierung und Test des Rechenprogramms SCDAP.

Begleitende Analysen zu Experimenten aus dem Vorhaben 06.01.6 (ESSI, ESBUE).

- 06.01.07 Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittel-
verluststörfalles
- 06.01.07/11A Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten
/12A thermohydraulischen Randbedingungen (COSIMA).
PNS 4236.1/2 (G. Class; IRE, K. Hain; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurden mehrere Systemtests zur Überprüfung einiger Anlagekomponenten durchgeführt. Es wurde eine weitere Nodalisierungsstudie mit RELAP4/MOD6 zu verschiedenen Versuchen durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Die bisherigen Nachrechnungen der COSIMA-Blowdown-Versuche mit RELAP4/MOD6 erbrachten stets systematische Abweichungen zwischen den gerechneten und gemessenen Druckverläufen. Hierzu wurden im Berichtszeitraum zwei Untersuchungen durchgeführt.

- a) Einfluß der Wandheizer-Nodalisation auf die Rechnung
- b) Variation der Plena-Nodalisation

Zu a) Das Aufprägen einer Leistung auf die Wandheizer führt zu einer reaktorähnlichen Aufheizspanne über die Meßstrecke und zu einer nichtisothermen Wandstruktur. Die nicht ausreichende Instrumentierung in diesem Strukturbereich führt zu einer Unsicherheit in der Beschreibung des thermodynamischen Ausgangszustandes der Strecke vor Blowdownbeginn. Eine Parameter-Rechnung mit RELAX (dreidimensionales-transientes Wärmeleitprogramm) wurde durchgeführt und die Ergebnisse in der Nodalisierung berücksichtigt. Der Vergleich der Ergebnisse mit bisher durchgeführten Rechnungen erbrachte nur geringe Ergebnisverschiebungen.

Zu b) In den bisherigen RELAP4/MOD6 Rechnungen wurden die kugelförmigen Plena mit drei ('fein') bzw. einem ('grob') Volum-Knoten nodalisiert. Die Darstellung in zwei Volum-Knoten mit der Unterteilung unmittelbar unterhalb der Lecköffnung erbrachte eine im Gegensatz zu den bisherigen Rechnungen sehr gute Übereinstimmung zwischen der Messung und der Rechnung des Druckverlaufes. Dieses sehr sensitive Verhalten war nicht erwartet worden und bedarf noch der genaueren Überprüfung.

Geplante Weiterarbeit

- Eine Versuchsreihe zum Problemkreis Pelletrelocation bei aufgeweitetem Hüllrohr ist geplant.
- 'Einfache' Hydraulikversuche zur Überprüfung von Einzelphänomenen.
- Die zu den RELAP4/MOD6 vergleichenden Rechnungen mit DRUFAN 02 stehen noch aus.
- Abschließende Zusammenfassung der COSIMA-Experimente.

- 06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase
eines Kühlmittelverluststörfalles
- 06.01.09/06A Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden
PNS 4238 Zircaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung
(REBEKA).
(K. Wiehr, F. Erbacher, H.J. Neitzel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Vorbereitung, Durchführung und Beginn der Auswertung von Bündelversuch REBEKA-6 (Deutsches Standardproblem Nr. 7 (DSP7) und Internationales Standardproblem Nr. 14 (ISP14)).

Erzielte Ergebnisse

Der REBEKA-6-Bündelversuch mit Fluten in 7x7-Anordnung hatte das Ziel, die Kenntnis über den Einfluß der Durchströmungsrichtung auf die Zircaloy-Hüllrohrverformung und die Kühlkanalblockade abzurunden. Da in diesem Experiment keine Umkehr der Strömungsrichtung zwischen Aufheiz- und Flutphase simuliert wurde, d.h. gleiche Strömungsrichtung in beiden Phasen vorherrschte, wurde als Folge davon eine erhöhte Koplanarität der Berststellen erwartet, ähnlich wie dies in den NRU-Tests festgestellt wurde.

Wegen der relativ einfachen Kühlbedingungen ohne Strömungsumkehr wurde dieses Experiment auch als das DSP 7 und ISP 14 ausgewählt.

Bei zwei Stäben im Bündel wurde keine Druckerhöhung von 5 auf 60 bar vorgenommen, um aus den Temperaturmessungen auf den unverformten Hüllen Wärmeübergangszahlen des Experimentes berechnen zu können (Vorgabe für Standardproblem). Der Zentralstab wurde durch ein Fluidthermoelementführungsrohr ersetzt. Die übrigen Stäbe wurden druckbeaufschlagt und verformten. Der Versuch wurde am 24.3.83 erfolgreich durchgeführt.

Das Bündel wurde bei 4 bar mit Dampf auf 150°C von unten nach oben durchströmt. (Massendurchsatz 11,5 g/s). Nach Erreichen einer konstanten Temperatur im gesamten Bündel, erfolgte die Druckaufgabe auf die Stäbe mit 60 bar. Das Bündel wurde mit einer Leistung von 7,8 KW/stab aufgeheizt, bis eine Hüllrohrtemperatur von 765°C erreicht war. Bei dieser Hüllrohrtemperatur (gemessen auf axialer Position von 1850 mm) wurde die Leistung auf 6,6 KW/stab reduziert und das Bündel mit 3 cm/s (Massendurchsatz 173 g/s) geflutet. Flutwassertemperatur 130°C. Die Leistung blieb bis Versuchsende auf 6,6 KW/stab stehen, bis das oberste Stabende wieder benetzt war. Die axiale Hüllrohrtemperatur ergab sich aus lokaler Leistungsaufnahme der Stäbe, örtlichen Kühlbedingungen der Dampfströmung bzw. des Zweiphasengemisches und der Verformung der Zircaloyhüllen.

Die begonnene Auswertung bestätigt den erwarteten Einfluß der Durchströmungsrichtung auf das Verformungsbild im Bündel. Bei erhöhter Koplanarität der Berststellen beträgt die maximale Kühlkanalversperrung 60%.

Geplante Weiterarbeit

- Abschließende Einzelstabversuche zum LOCA und Auswertung.
- 7x7 Stabbündelversuch mit mehreren Regelstabführungsrohren.

06.01.20/01A Brennstabsimulatoreffekte bei Flutexperimenten
PNS 4260 (SEFLEX)
(P. Ihle, K. Rust, H. Schneider; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die wesentlichen bisher gewonnenen Erkenntnisse zum Simulatorverhalten bei Flutversuchen wurden zusammengestellt. Die Vorbereitung der Experimente ist bis auf Bündel- und Teststreckenmontage abgeschlossen.

Erzielte Ergebnisse

Der Vergleich experimenteller Daten, die mit Brennstäben und Brennstabsimulatoren verschiedenen Aufbaues gewonnen wurden, zeigt qualitativ folgende Merkmale:

- Eine Brennstabhülle wird bei gleichen Flutbedingungen aufgrund der geringeren Wärmespeicherung eines Brennstabes im Vergleich zu Simulatoren etwas schneller aufgeheizt, aber auch wieder schneller abgekühlt, als die Hüllen von Simulatoren.
- Brennstäbe und Simulatoren mit Spalt zwischen Hüllrohr und Pellets betreten deutlich früher als Simulatoren ohne Spalt.
- Daten für quantitative Aussagen fehlen.
- Es gibt keine Rechenprogramme, die diese Unterschiede hinreichend gut beschreiben.

Geplante Weiterarbeit

Die SEFLEX-Versuche werden im zweiten Halbjahr 1983 durchgeführt, und die Daten werden mit den FEBA-Ergebnissen verglichen.

- 06.01.16 Untersuchungen zu schweren Kernschäden
- 06.01.16/17A Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren
PNS 4254 bei langsamen Transienten und schweren Kernschäden
 (S. Leistikow, H.v. Berg, G. Schanz; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Ergänzende metallographische und analytische Auswertung von isothermen Hochtemperatur-Oxidationsversuchen an Zircaloy-4-Hüllrohrabschnitten in Wasserdampf bei 600 - 1600°C. Durchführung und Auswertung von temperaturtransienten Oxidationsversuchen im breakaway-transienten Temperatur- und Zeitbereich. Versuche zur Kinetik der Oxidation von Zircaloy-4 in Luft bei 750 - 1200°C unter Variation der Startbedingungen in isotherme Verläufe, d.h. mit und ohne Unterdrückung des anfänglichen Temperaturpeaks.

Erzielte Ergebnisse

Mit der ergänzenden metallographischen Untersuchung ausgewählter Proben ist nunmehr eine systematische und abgeschlossene Übersicht über das komplizierte, langzeitige Materialverhalten erreicht, das sich aus dem Auftreten des sog. breakaway-Effekts ergibt. Diese Ergebnisse wurden in einem Tagungsbeitrag dokumentiert. Zum Einfluß der beobachteten Wasserstoffaufnahme auf das Oxidationsverhalten wurden weitere Heißextraktionsanalysen durchgeführt. Es wurde nachgewiesen, daß die Wasserstoffaufnahme im Verlauf des breakaway beschleunigt fortschreitet.

Die transienten Versuche bestanden aus linearen Temperaturrampen $\pm 0,1 \text{ Ks}^{-1}$ nach isothermer Voroxidation bis in den Grenzbereich des breakaway. Auch im transienten Fall wurde nachgewiesen, daß die Rißbildung in der ZrO_2 -Schicht bei einer kritischen Schichtdicke einsetzt, wodurch die Oxidation beschleunigt wird. Andererseits kommt die Rißbildung dann zum Stillstand, wenn das kritische Schichtdicke/Temperatur-Gebiet verlassen wird. Damit können die isothermen Ergebnisse auf den transienten Fall übertragen werden. Das Auftreten des breakaway-Effektes ist auf den Fall einer starken Oxidation bei Temperaturen von $\leq 1050^\circ\text{C}$ begrenzt.

Die Kinetik der Oxidation von Zircaloy-4 - Rohrabschnitten in Luft wurde unter dem Aspekt der Brandgefahr in einer Wiederaufarbeitungsanlage untersucht. Dabei wurde die anfängliche Temperaturabweichung bei Lufteinlaß an einer in Schutzgas auf Reaktionstemperatur befindlichen Probe als Funktion des Ausgangszustandes und des Luftangebotes gemessen. An metallischen, d.h. nicht voroxidierten Proben wurde bei 750°C ein ΔT von 25°C, bei 1200°C eines von 670°C gemessen. Bei 1100°C wurde eine mit der vorher in Dampf erzeugten Oxidschichtdicke sich stetig vermindernde Tendenz zur plötzlichen Energiefreisetzung festgestellt. Gleiches gilt für diese bei Verminderung des Luftangebotes auf 10 resp. 1% des Ausgangswerts von 60-85 mg/s (1 m/s).

Bei Versuchen in Luft (750-1200°C) mit Unterdrückung des Temperatur-Peaks durch Einbeziehung der freigesetzten Wärme in den Aufheizvorgang wurde eine mit den Versuchen in Dampf qualitativ ähnliche Kinetik, jedoch auf höherem Niveau der Massenzunahme und bei frühzeitiger einsetzendem Breakaway, gemessen.

Geplante Weiterarbeit

Dokumentation der obigen Untersuchungen.

Parameterstudien zum Einfluß verminderten Dampfangebots und von Wasserstoffanteilen in Dampf auf die Oxidationskinetik von Zircaloy-4. Die in Vorbereitung begriffenen Versuche werden in Atmosphären aus Dampf, Wasserstoff und Argon durchgeführt. Argon soll dabei als Trägergas zum gleichmäßigen Wasserstoffdurchsatz beitragen und die mit dem Wasserstoff verbundenen Sicherheitsrisiken vermindern. Der einzustellende geringe Dampfdruck erfordert eine Modifikation der vorhandenen Labor-Dampfkreisläufe.

06.01.16/16A Mechanisches und chemisches Verhalten von Zircaloy-4-Hüll-
PNS 4253 rohren und UO_2 -Brennstoff bei hohen Temperaturen
(P. Hofmann, Ch. Braun, D. Kerwin-Peck, G. Gausmann,
H. Metzger, K. Kurz, E. Nold; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

- UO_2 /Zry-Reaktionsexperimente mit ca. 100 mm langen Brennstababschnitten zwischen 1400°C und dem Schmelzpunkt von Zircaloy-4 (ca. 1760°C) in Argon.
- Studium der chemischen Wechselwirkung zwischen flüssigem Zircaloy und festem UO_2 .
- UO_2 /Zircaloy-Reaktionen oberhalb 3000°C .

Erzielte Ergebnisse

Die UO_2 /Zry-Reaktionsexperimente unter Schutzgasbedingungen wurden abgeschlossen; die Versuchsergebnisse sind in /1,2/ zusammengefaßt. Die technische Bedeutung dieser Experimente liegt in dem Nachweis, daß bei LWR-Kühlungsstörungen (bei denen es zum Kollabieren des Hüllrohres auf den Brennstoff kommt) das Zry-Hüllrohr durch den UO_2 -Brennstoff von innen oberhalb 1100°C gleich schnell oxidiert werden kann wie durch den Wasserdampf im Kühlsystem von außen. Durch die zusätzliche Sauerstoffaufnahme von innen kommt es daher zu einer beschleunigten Versprödung der Zry-Hülle, die zur Fragmentierung der Brennstäbe führen kann. Infolge Reduktion des UO_2 durch das Zry unter Bildung von metallischem Uran und α -Zry (0) können unterhalb des Schmelzpunktes von Zry (ca. 1760°C) bis zu 9 Vol.% des UO_2 chemisch aufgelöst werden. Es ist daher mit einer erhöhten Freigabe der gasförmigen und leicht flüchtigen Spaltprodukte zu rechnen.

Bei temperaturtransienten Experimenten mit kurzen Brennstababschnitten bis zu maximalen Temperaturen von 2000°C mit verschiedenen Aufheizgeschwindigkeiten und Differenzdrücken kommt es zu einer unterschiedlich starken Auflösung des UO_2 durch das geschmolzene Zry /3/. Bei niedrigen Aufheizraten (2 K/s) und guten UO_2 /Zry-Kontaktverhältnissen ($\Delta p \sim 40$ bar) kommt es während der Aufheizung zu einer Umwandlung des Zry in α -Zr(0) infolge Reaktionen mit dem UO_2 . Dadurch erhöht sich der Schmelzpunkt, die Menge an flüssigem Zry geht zurück, und es wird weniger UO_2 aufgelöst. Bei schnellen Aufheizraten (10 K/s) und schlechten UO_2 /Zry-Kontaktverhältnissen kommt es oberhalb ca. 1760°C zum Schmelzen der nahezu unoxidierten Hülle. Die am Brennstoff herablaufende Zry-Schmelze löst dabei große Mengen an UO_2 auf /3/.

Die Erstellung eines UO_2/Zry -Gefügekataloges wurde fortgesetzt. Dazu werden UO_2/Zry - und $\text{UO}_2/\text{ZrO}_2/\text{Zry}$ -Mischungen mit verschiedenen Mengenanteilen der Ausgangskomponenten in einem Lichtbogenofen geschmolzen und nachfolgend bei $1400^\circ\text{C}/30$ min homogenisiert. Das Gefüge der erstarrten Schmelzproben mit definierten chemischen Zusammensetzungen dient als Referenzgefüge für die UO_2/Zry -Reaktionsexperimente oberhalb des Schmelzpunktes von Zry. Durch einen Vergleich der Referenzgefüge mit dem der Schmelzproben kann man den Anteil von gelöstem UO_2 in geschmolzenem Zry metallographisch abschätzen /3/. Dieses Verfahren kann auch auf komplexere out-of-pile- und in-pile-Abschmelzexperimente von LWR-Brennstäben übertragen werden.

Geplante Weiterarbeit

- UO_2/Zry -Reaktionsexperimente unter oxidierenden Bedingungen.
- Ermittlung der Auflösungsgeschwindigkeit von festem UO_2 durch flüssiges Zry in Abhängigkeit der Temperatur und Zeit. Inbetriebnahme einer neuen Schmelzapparatur (LAVA).
- Quantitative Ermittlung der Gefügeanteile in Schmelzproben definierter Ausgangszusammensetzung.

Literatur

- /1/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck; $\text{UO}_2/\text{Zircaloy-4}$ chemical interactions and reaction kinetics from 1000 to 1700°C , KfK 3552 (1983), Final Report
- /2/ P. Hofmann; Out-of-pile $\text{UO}_2/\text{Zircaloy-4}$ experiments under severe fuel damage conditions, OECD-NEA-CSNI/IAEA Specialists' Meeting on Water Reactor Fuel Safety and Fission Product Release in Accident Conditions, RISØ, Denmark, May 16-20, 1983
- /3/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck; Chemical Interaction of Zircaloy-4 with UO_2 above 1700°C under Nonoxidizing Conditions, International Meeting on LWR Severe Accident Evaluation, Cambridge, MA, USA, August 28 - September 1, 1983.

06.01.16/14A Out-of-pile Bündelexperimente zur Untersuchung schwerer
PN /15A Kernschäden (CORA)
PNS 4251.1/2 (S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek; IT/CP, S.O.Peck,
H. Hain, F. Brüderle, Th. Vollmer; IT/PC)

Durchgeführte Arbeiten

Anlagenerstellung CORA:

Die Erfahrung der laufenden Experimente hat gezeigt, daß für eine gute Ausnutzung der Länge des Brennelementsimmers eine Erhöhung der Dampfeintrittstemperatur auf ca. 1000°C notwendig ist. Die technische Realisierung dieses Konzeptes befindet sich in der Bearbeitung. In diesem Zusammenhang wurden auch Rechnungen über die Dampfverteilung im Bündel in Abhängigkeit von der Stabanordnung und der Ausführung des umgebenden Bündelkastens vorgenommen.

Eine spezielle Abgasstrecke wurde konzipiert und in Auftrag gegeben. Mit diesem Ausbau können Auswirkungen einer Wasserstoff/Luft-Reaktion auf das nachgeschaltete allgemeine Abgassystem angeschlossen werden. Dies gilt auch für die Filter, selbst wenn die Reaktion an der "Verdünnungsstelle" des Wasserstoff-Argongemisches stattfindet.

Vorversuche:

Von den im NIELS-Versuchsstand durchgeführten Einzelstab- und Bündelexperimenten zum Eskalationsverhalten der Temperatur wurden metallographische Schliffe angefertigt. Diese Schliffe werden mit dem Metallmikroskop und der Mikrosonde untersucht. Ferner wurde mit den Einzelstabexperimenten in Sauerstoff/Argon-Gemischen begonnen. Diese Versuche sollen als Parallelversuche in Dampf/Argon-Gemischen Auskunft über den Einfluß des entstehenden Wasserstoffs auf die Temperaturskalation geben.

Erzielte Ergebnisse

Anlagenerstellung CORA:

Für die Stabentwicklung wurden Vorversuche in einer Testeinrichtung mit einem 1:1 Simulator durchgeführt. Die Simulation dieser Vorversuche mit einem Rechenprogramm verlief erfolgreich. Die Übereinstimmung war für uns die Rechtfertigung, dieses Programm auf die in der CORA-Anlage vorhandenen geometrischen Randbedingungen anzuwenden.

Vorversuche:

Die metallographischen Untersuchungen zeigen, daß die erstarrte Schmelze aus der Wechselwirkung zwischen dem flüssigen Zircaloy und dem UO_2 -Pellet entstanden ist. UO_2 hat sich in der Schmelze gelöst. In der erstarrten Schmelze findet man 3 Phasen: α -Zr(O) mit einem geringen U-Gehalt, eine uranreiche (U,Zr)-Legierung und ein (U,Zr) O_2 Mischoxid.

Die Temperaturmessungen in verschiedenen Höhen bei den Experimenten in Sauerstoff/Argon zeigen, daß die Eskalation sich in den Bereich des Bündels und von dort nach unten fortsetzt.

Geplante Weiterarbeit

Die Experimente zum Einfluß des Wasserstoffs auf das Eskalationsverhalten werden fortgesetzt. Insbesondere soll das Reaktionsverhalten durch Temperaturmessungen in verschiedenen Höhen und durch Nachweis des Wasserstoffs mit Hilfe eines Massenspektrometers näher untersucht werden.

06.01.16/13A Langzeitkühlung im stark beschädigten Core (COLD)
PNS 4250 (G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Ein quasi-stationäres Modell zur rechnerischen Verfolgung des Dryout-Vorganges wurde entwickelt und auf Beispiele aus den Experimenten angewandt.

Eine Versuchsanordnung für Experimente mit hohen Schüttbetten und variablem Kühlmittelzufluß von unten wurde entworfen. Die Suche nach einer geeigneten Methode für die Messung des Flüssigkeitsgehaltes in einer Schüttung (Sättigung) wurde mit Vorversuchen fortgesetzt.

Erzielte Ergebnisse

Nachdem im Vorjahr in Dryout-Experimenten gemessen worden war, daß zwischen einer Erhöhung der der Schüttung zugeführten Leistung und dem Auftreten der ersten trockenen Stelle eine stetige Änderung des Flüssigkeitsinhalts der Schüttung (Sättigungstransiente) stattfindet, die nennenswerte Zeiten dauern kann, wurde auf den Ansätzen des stationären Dryout-Modells von Lipinski /1/

basierend ein Rechenmodell entwickelt, das es erlaubt, die Sättigungstransiente als eine Folge von quasi-stationären Zuständen zu berechnen. Das gewählte Verfahren hat gegenüber den voll transienten Modellen von Turland/Moore /2/ und Gorham-Bergeron /3/ den Vorteil, daß es mit geringem Rechenaufwand alle Bereiche der Transienten bis zum Dryout zu berechnen erlaubt, ohne zur Vereinfachung auf Glieder aus dem zugrundeliegenden Modellansatz verzichten zu müssen. Es zeigte sich, daß die Genauigkeit des mit quasi-stationären Stufen rechnenden Näherungsverfahrens sehr gut ist. Ein Vergleich der gerechneten mit gemessenen Sättigungstransienten bis hin zum Ort des ersten Austrocknens bestätigte die Vermutung, daß es zweckmäßig ist, die bisher angenommene kubische Abhängigkeit der relativen Permeabilitäten von der Sättigung etwa durch einen Exponenten 4 zu ersetzen.

Geplante Weiterarbeit

Aufbau einer Versuchsanordnung für hohe Betten mit variablem Kühlmittelzufluß von unten und Durchführung von Experimenten.

Literatur

- /1/ J.R. Lipinski; A Model for Boiling and Dryout in Particle Beds;
NUREG/CR-2646 (June 1982)
- /2/ B.D. Turland, K. Moore; One Dimensional Models of Boiling and Dryout;
Proceedings of the International Information Exchange Meeting on Post
Accident Debris Cooling, Karlsruhe (July 1982), p. 192
- /3/ E. Gorham-Bergeron; A One Dimensional Time-Dependent Debris Bed Model;
Proceedings of the ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conf., Honolulu
March 1983, p. 23

- 06.01.17 Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener
 Druckwasserreaktoren (FDWR)
- 06.01.17/11A Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter,
PNS 4240 hexagonaler Stabbündel
 (F. Erbacher, W. Just, H.J. Neitzel, P. Schöffner,
 H. Schmidt, E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Verbesserung des Herstellungsverfahrens der Brennstabsimulatoren
- Serienfertigung der Brennstabsimulatoren
- Berstversuche an glatten Stahlhüllrohren

Erzielte Ergebnisse

Das Verfahren zur Herstellung des Heizleiterprofils mittels einer rechnergesteuerten Fräsvorrichtung wurde verbessert. Hierdurch können nunmehr Heizleiter mit hoher Genauigkeit und Gleichmäßigkeit des axialen Leistungsprofils gefertigt werden. Die Entwicklungsarbeiten zur Herstellung der elektrisch beheizten Brennstabsimulatoren können hiermit als abgeschlossen betrachtet werden.

Die Serienfertigung von etwa 120 elektrisch beheizten Brennstabsimulatoren wurde begonnen.

Die erste Versuchsreihe der Berstversuche an verkürzten Einzelstäben erstreckte sich auf glatte Stahlhüllrohre (10,1 x 0,4 mm) aus dem Werkstoff 1.4970. Etwa 100 Versuche wurden in leicht strömendem Dampf, bei zeitlich konstantem Rohrinnendruck sowie einer zeitlich konstanten Aufheizrate von etwa 5 K/s durchgeführt. Der Rohrinnendruck wurde in einem Bereich von 20 bis 140 bar variiert. Die gemessenen Bersttemperaturen der Stahlhüllrohre lagen im gesamten Druckbereich um etwa 250 K höher als bei Zircaloy-Hüllrohren (10,75 x 0,725 mm). Die gemessenen Berstumfangsdehnungen lagen bis zu einer Bersttemperatur von etwa 950°C bei nur etwa 10%, bei Bersttemperaturen von etwa 1100°C wurden jedoch Berstumfangsdehnungen bis etwa 70% gemessen.

Geplante Weiterarbeit

- Fertigung von Brennstabsimulatoren
- Zusammenbau und Instrumentierung des 61er Versuchsbündels
- Berstversuche an verkürzten Einzelstäben zur Deformation von Stahlhüllrohren mit und ohne Wendelrippen
- Bündelversuch mit Fluten an 61er Stabbündel mit Zircaloy-Hüllrohren.

06.01.17/12A Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs und der
PNS 4242 Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von FDWR-
Hüllrohren

(P. Hofmann, J. Burbach, H. Metzger; IMF)

Durchgeführte Arbeiten

Kurzzeit-Zeitstandexperimente mit Spaltprodukt enthaltenden 1.4970-Rohrproben zwischen 800 und 1200°C.

Erzielte Ergebnisse

Von den untersuchten Spaltproduktelementen (Cs, J, Te) und Brennstoff (UO_{2+x})/Spaltproduktmischungen besitzt nur Tellur einen ausgeprägten Einfluß auf die Berstdehnung und Standzeit der 1.4970-Hüllrohre. Im direkten Kontakt mit flüssigem Tellur ($T_m \sim 450^\circ C$) versagen die Rohrproben bei allen untersuchten Temperaturen (800 - 1200°C) und 45% (1000°C) der spaltproduktfreien Vergleichsproben. Die Standzeit dieser Proben wird um mehrere Faktoren reduziert.

In weiterführenden Experimenten wurde auch der Einfluß von gasförmigem Te auf die mechanischen Eigenschaften von 1.4970-Rohren untersucht. Die Wirkung von gasförmigem Tellur ist deutlich geringer als von flüssigem, besonders bei Temperaturen $< 900^\circ C$, und ist stark vom Te-Partialdruck abhängig. Es kommt dabei ebenfalls zu einem verformungsarmen und z.T. beschleunigten Versagen der Hüllrohre.

Geplante Weiterarbeit

- Untersuchungen der chemischen Wechselwirkungen zwischen rostfreiem Stahl 1.4970 bzw. Zircaloy-4 und UO_{2+x} oberhalb $1000^{\circ}C$.
- Fortführung der Zeitstandexperimente mit 1.4970-Rohrproben in Gegenwart von Tellur. Ermittlung der kritischen Tellurkonzentration.

06.01.17/13A Oxidationsverhalten von Edelstahl-Hüllrohren in
PNS 4243 Wasserdampf
 (S. Leistikow, G. Schanz, Zb. Zurek; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Vergleichende Untersuchungen über die Kinetik der Wasserdampf-Oxidation von Rohrabschnitten der Werkstoffe Nr. 1.4914, 1.4970 und Zircaloy-4 von SNR-resp. LWR-Abmessungen bei $600^{\circ}C$ - $1300^{\circ}C$ bis zu max. 6 Stunden. Nachuntersuchungen durch Gravimetrie, Metallographie und Mikroanalytik.

Erzielte Ergebnisse

Der doppelseitige Angriff von Wasserdampf auf die Rohrwandungen von Zircaloy-4 und hochwarmfesten Stählen bei Temperaturen weit oberhalb der für den Langzeiteinsatz verbindlichen technischen Beständigkeitsgrenzen erbrachte interessante Ergebnisse.

Der Verlauf der Sauerstoffaufnahme aller untersuchten Werkstoffe läßt sich für den Bereich sehr hoher Temperaturen und gewisser Zeiten an einem parabolischen Zeitgesetz beschreiben. Die daraus berechneten parabolischen Geschwindigkeitskonstanten werden als Funktion der reziproken abs. Temperatur nach Arrhenius wiedergeben und lassen einen ersten Materialvergleich zu: am beständigsten verhält sich der austenitische Stahl Nr. 1.4970, am unbeständigsten der ferritische Stahl Nr. 1.4914, dazwischen liegt das Zircaloy-4.

Dieses Verhalten kommt durch einen relativ ungestörten Oxidschichtaufbau beiderseits der dem oxidativen Konsum unterworfenen Rohrwandung zustande. Die Produkte bilden in sich geschlossene Schutzschichten im haftfesten Verbund mit der metallischen Unterlage.

Bei Temperaturen $< 1050^{\circ}C$ ist für Zircaloy-4 eine mechanische Instabilität des Schichtaufbaus (breakaway) die Ursache eines Übergangs von einem anfänglich parabolischen auf ein lineares Schichtwachstum. Im Versuchszeitraum werden dadurch jedoch Oxidabplatzungen oder ein Verlust des Probenzusammenhalts nicht

beobachtet. Andere Abweichungen vom parabolischen Verlauf treten erst bei beginnendem Totalkonsum der Rohrwandungen ein. Die beobachteten Reaktionen kommen langsam mangels zu oxidierender metallischer Masse zum Erliegen. Dimensionsänderungen in schwerwiegendem Ausmaß treten zwar auf, ihre technische Bedeutung kann jedoch nur auf der Basis der Auslegung der jeweiligen Kernstruktur beurteilt werden.

Die Oxidationsprodukte unterscheiden sich in einem wesentlichen Punkt: ZrO_2 schmilzt erst bei $2700^{\circ}C$, die Eisenoxide jedoch schon bei Temperaturen um $1500^{\circ}C$. Bei höheren als den hier gewählten Reaktionstemperaturen würden die Stähle und ihre Oxide also schmelzflüssige Phasen bilden.

Geplante Weiterarbeit

Untersuchungen am Werkstoff Nr. 1.4914 bei $600 - 900^{\circ}C$ im lösungsgeglühten Zustand.

06.01.17/14A Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerk-
PNS 4244 stoffen für FDWR

(C. Petersen; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Durchführung von Zugkriechversuchen an dem Stahl 1.4970.

Erzielte Ergebnisse

Wegen mangelnder Kühlwasserqualität konnten die Zugprüfmaschinen mit Hochvakuumöfen im Berichtszeitraum für die vorgesehenen Versuche nicht in Betrieb genommen werden.

Geplante Weiterarbeit

Fortführung der Zugversuche und Zugkriechversuche.
Prüfung von bestehenden Versagensmodellen im Hinblick auf die Anwendbarkeit bei den zu untersuchenden Materialien.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4300 - Ablauf und Beherrschung von LWR-Kernschmelzen-
unfällen

06.01.11 Reaktions-, Freisetzung- und Aerosolverhalten
beim Kernschmelzen

06.01.11/26A Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten
PNS 4311 und Aerosolen in LWR-Containments
(H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck; LAF I)

Durchgeführte Arbeiten

Der NAUA-Code wurde überarbeitet und gestrafft, um sämtliche unnötigen Doppelberechnungen von Größen zu vermeiden und somit Rechenzeit einzusparen. Insbesondere die rechenzeitaufwendige Berechnung der Partikelkoagulation wurde vereinfacht, ohne das bewährte Prinzip der Diskretisierung der Partikelgrößenverteilung aufgeben zu müssen. Im Zuge dieser Optimierungsarbeiten wurde untersucht, wie sich die Maschinengenauigkeit auf die Rechenergebnisse auswirkt, da prinzipiell ein Aufaddieren des Rundungsfehlers durch die in NAUA verwendete Iteration nicht ausgeschlossen ist.

Zur Durchführung der ANS-Source-Term-Studie wurde das NAUA-Programm an Stone & Webster, Boston, USA, übergeben. Die Rechnungen sollen in enger Abstimmung mit KfK erfolgen. Eine Reihe Programmänderungen zur Anpassung an die Erfordernisse dieser Studie wurden in das NAUA-Programm eingefügt.

Die Versuche zur Auslegung und Konstruktion des Aerosolgenerators für DEMONA wurden durchgeführt und abgeschlossen. Eine Konstruktionsempfehlung an die KWU wurde ausgearbeitet.

Es wurden für den vorgesehenen Lecktest des Modellcontainments vier Apparaturen von BF, EIR, KfK und KWU vorgeschlagen und realisiert. Wegen der Schwierigkeit der Messung wurde beschlossen, alle vier Methoden einzusetzen. Im LAF I wurde eine Methode zur direkten Messung der Gaszusammensetzung der Containmentatmosphäre erprobt. Der Lecktest ist für September 1983 vorgesehen.

Der Auftrag zur Konstruktion des Doppelkalorimeters zur Messung der Tröpfchenbeladung der Containmentatmosphäre wurde an die Universität Karlsruhe vergeben.

Erzielte Ergebnisse

Durch die Überarbeitung konnte die Rechenzeit des NAUA-Programms für alle Fälle ohne Wasserdampfkondensation um etwas mehr als einen Faktor 2 reduziert werden, ohne die Rechenergebnisse selbst zu verändern. Der Speicherplatzbedarf des Programms wird durch die Änderungen erheblich vergrößert, was aber bei modernen Maschinen ohne Bedeutung ist. Durch Vergleich von Rechnungen, die einmal mit einfacher und einmal mit verdoppelter Rechengenauigkeit durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, daß es kein systematisches Auseinanderlaufen der Ergebnisse gibt, sondern daß die Differenz zwischen beiden Rechnungen auch nach einigen tausend Iterationsschritten noch kleiner als ca. 3% ist.

Zur Frage der Auslegung des Aerosolgenerators wurden mit einem von der KWU zur Verfügung gestellten Plasmabrenner eine Reihe von Aerosolerzeugungstests durchgeführt, von denen ca. 20 auswertbare Ergebnisse lieferten. Die Tests wurden in verschiedenen Atmosphären, mit und ohne Dampf, und mit verschiedenen Pulvern von Eisen, Zinn und Silber, durchgeführt.

Mit Eisen und Zinn ließen sich die geforderten Massenkonzentrationen problemlos erreichen, wenn man von den Schwierigkeiten absieht, die durch den speziellen Brennertyp bei den Vorversuchen verursacht wurden. Insbesondere wurden die Massenkonzentrationen unabhängig davon erreicht, ob die Versuche mit Dampf-Atmosphäre oder nur mit trockener Luft durchgeführt wurden.

Es zeigte sich, daß die leistungsbezogene Ausnutzung des zugespeisten Pulvers mit der Korngröße abnimmt. Feine Pulversorten sind zu bevorzugen, lassen sich aber schlechter fördern. Eine störungsfreie Förder- und Dosiervorrichtung ist für den geplanten Generator besonders wichtig.

Die Rückhaltung von Aerosol in der Transportleitung vom Generator in das Containment wurde abgeschätzt. Der wichtigste Beitrag wird durch thermophoretische Abscheidung verursacht. Die Menge des für den Transport vorgesehenen Dampfs muß erhöht werden, um die Verluste in erträglichen Grenzen zu halten.

Eine Empfehlung für die Konstruktion des Generators wurde an die KWU abgegeben.

Die Durchführung des Lecktests des Containments mußte wegen Störungen an der Anlage verschoben werden. Die Verzögerung kommt der Erprobung und Optimierung des Meßverfahrens zugute. Das von LAF I einzusetzende Verfahren ist davon allerdings nicht betroffen, da es seit Juni 83 erprobt ist und einsatzbereit zur

Verfügung steht. Das Verfahren beruht auf der direkten Messung der Luft- und Dampfanteile von Proben der Containmentatmosphäre. Aus der Abnahme des Luftanteils läßt sich die Leckrate berechnen. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in seiner apparativen Einfachheit und Unempfindlichkeit. Dafür muß ein etwas größerer Fehler von bis zu 15% in der einzelnen Bestimmung des Luftanteils in Kauf genommen werden. Da das Verfahren kontinuierlich arbeitet, läßt sich der Fehler statistisch auf genügende Werte erniedrigen.

Der Prototyp des Doppelkalorimeters wurde von der Universität Karlsruhe fertiggestellt. Er soll während des Lecktests eingesetzt werden, um seine Funktionsfähigkeit zu beweisen. Danach kann mit der Produktion der drei benötigten Exemplare begonnen werden.

Geplante Weiterarbeit

Im September 1983 wird der Lecktest durchgeführt. Die Erprobung und Inbetriebnahme des Aerosolgenerators soll noch in diesem Jahr erfolgen.

Parallel dazu laufen die Vorausrechnungen der Versuche mit den Modellen NAUA und COCMEL. Dazu soll eine gemeinsame Datenbasis sowie ein geeigneter Datentransfer für beide Programme entwickelt werden. Das NAUA-Programm soll um einen Programmanteil zur Beschreibung der Diffusiophorese erweitert werden.

Der Beginn der Hauptversuche ist Anfang 1984. Bis zu diesem Zeitpunkt wird auch die gesamte Meßtechnik nach Erprobung und Kalibrierung im LAF I fertiggestellt.

06.01.11/27A Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien
PNS 4314 beim Coreschmelzen
(A.Skokan, V.Schauer, Ch. Braun, K.Biemüller, H.Janzer,
G. Reiser, G. Schlickeiser; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

1. Die Simulationsversuche zum Studium der Wechselwirkung zwischen Kernschmelze und eisenoxidhaltigem Schwerbeton wurden im Labormaßstab fortgesetzt. Die während der Wechselwirkung aus dem Schwerbeton freigesetzten Gase wurden gaschromatographisch analysiert.
2. Die Glüh- und Schmelzversuche zur Untersuchung der Phasengleichgewichte im ternären System U-Zr-O im Temperaturbereich zwischen 1500 und 2000°C wurden fortgesetzt.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Bei den Wechselwirkungsversuchen wurden die folgenden freigesetzten Gase nachgewiesen:

- a) H_2 , H_2O , CO , CO_2 : aus dem Beton und durch die Reduktion durch die metallische Schmelze freigesetzt.
- b) Ar: als Trägergas.
- c) N_2 , O_2 : Luft, aus den Betonporen freigesetzt.
- d) CH_4 und höhere Kohlenwasserstoffe: durch Nebenreaktionen des Wasserstoffs mit Kohlendioxid sekundär gebildet.

Zu 2: Die Phasengleichgewichte im ternären System bei 1600 und $1800^\circ C$ und im ternären Schnitt UO_2 -Zr zwischen 1500 und $2000^\circ C$ wurden grob ermittelt.

Geplante Weiterarbeit

- Fortführung der Konstitutionsuntersuchungen im System U-Zr-O.
- Fortführung der Untersuchungen an abgebrannten LWR-Brennstoffen unter anderen Aufheizbedingungen.
- Weitere experimentelle Untersuchungen zur Wechselwirkung von Schwerbeton mit metallischer Kernschmelze.
- Materialkundliche Untersuchungen an thermitischen Schmelzproben.

06.01.11/28A Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung von
PNS 4315 Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen

(H. Albrecht, H. Wild; IRCH)

Durchgeführte Arbeiten

1. Zur Untersuchung des chemischen und physikalischen Verhaltens von Jod und Caesium wurden Freisetzungsexperimente mit Fissium-Proben durchgeführt, die die beiden Spaltelemente in unterschiedlicher chemischer Form enthielten: als HJO_3 , Cs_2CO_3 und CsJ. Ferner wurde untersucht, in welchem Umfang freigesetztes Jod mit dem aus den Absorberstäben verdampfenden Silber reagiert und dabei wasserunlösliches AgJ bildet. Zu diesem Zweck wurden die Löslichkeit der Niederschläge in der Aerosol-Transportstrecke und auf den

Glasfaserfiltern in Wasser (70°C) und Natrium-Thiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ bestimmt.

2. Die Versuche zur Spaltprodukt-Freisetzung während der Schmelze/Beton-Wechselwirkung wurden nach der Durchführung und Auswertung eines zweiten Versuchs vorläufig abgeschlossen.
3. Zur Messung der Ablagerung von J, Cs und Te auf heißen Stahloberflächen ($T = 300 \dots 800^\circ\text{C}$) wurde ein Versuchskonzept entwickelt und teilweise erprobt.

Erzielte Ergebnisse

- a) CsJ erweist sich im Brennstoff bis mindestens 2000°C als thermodynamisch stabil. Es ist jedoch denkbar, daß es kurz nach der Freisetzung bei Umgebungstemperatur $\geq 1500^\circ\text{C}$ und unter der Einwirkung von H_2 und H_2O zerfällt. Das Jod kann dann mit freigesetztem Silber reagieren bzw. im Bereich tieferer Temperaturen ($\leq 1200^\circ\text{C}$) mit Cs rekombinieren.
- b) Die Freisetzung von J und Cs aus Fissium mit HJO_3 und/oder Cs_2CO_3 erfolgt bei ca. 300°C tieferen Temperaturen als aus Fissium mit CsJ. Nach dem thermischen Zerfall von Cs_2CO_3 und HJO_3 im Brennstoff wird also kein oder nur sehr wenig CsJ gebildet.
- c) Die Löslichkeitsversuche ergaben, daß $25 \pm 3\%$ des freigesetzten Jods in Form von AgJ vorlag.
- d) Die Freisetzungsversuche während der Schmelze/Beton-Wechselwirkung zeigten, daß während der ersten 2-3 Minuten, in denen die Reaktion besonders heftig abläuft, die Elemente Te und Ag Freisetzungsraten von ca. 10%/min aufweisen. Bei Sb betrug die maximale Freisetzungsrates 1.1%/min, bei Mo und Ru waren es 0.015%/min.

Geplante Weiterarbeit

- Bestimmung des Anteils gasförmiger Jodspezies unter verschiedenen Randbedingungen
- Versuche gemäß 3.
- Entwicklung eines möglichst realistischen Versuchskonzepts zur Bestimmung der Ag/J-Wechselwirkung im Kernbereich.

- 06.01.12 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen
 mit Beton
- 06.01.12/25A Ausbreitung von Stahlschmelzen im Beton -
PNS 4325 Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung
 (S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K.P.Wallenfels; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurde die Meßwertverarbeitungsanlage in der Schaltwarte der BETA-Halle installiert und die Meßleitungen zur BETA-Halle gelegt. Ferner wurden vier Tiegel instrumentiert. Pro Tiegel wurden 108 Thermoelemente und 16 Feuchtefühler eingebaut. Hiervon befinden sich 48 Thermoelemente im Tiegelboden und 60 in der Tiegelwandung.

Erzielte Ergebnisse

Beim Positionieren der Detektoren in den BETA-Tiegeln war es wegen der größeren Dimensionen (ca. 3 m Höhe; 1,2 m Durchmesser; 5 t Beton) notwendig, das hierfür verwendete Glasstabgerüst an die höheren Belastungen anzupassen. Hierfür wurden die Verbindungsstellen elastisch aufgebaut, indem der vorher starre Kleber durch einen elastischen Kleber ersetzt und durch einen zusätzlichen Nylonfaden abgesichert wurde. Die Übergangsstelle vom Glasgerüst zum Tiegelkern wurde ebenfalls elastisch ausgebildet. Für die Serienherstellung der Glasgerüste wird die Möglichkeit überprüft, die Glasstäbe durch Schmelzen zu verbinden, die Unversehrtheit der Gerüste durch Lichtleitung in den Quarzstäben zu überprüfen und die Quarzstäbe mit einem elastischen Überzug zu versehen.

Geplante Weiterarbeit

Nach Fertigstellung der BETA-Anlage wird mit den gefertigten Tiegeln die Funktionsfähigkeit der Meßmethoden im starken Induktionsfeld überprüft. Danach kann mit den endgültigen Versuchen entsprechend dem Versuchsprogramm begonnen werden.

06.01.12/26A Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen
PNS 4323 und Beton

(D.Perinić, R.Döbele, W.Egry, H.Gutzeit, M.Hespeler,
W.Höhn, B.Kammerer, U. Kirchhof, W.D.Klotz, H.Lukitsch,
A.Mack, N.Paroth, G.Prokott, G.Sebold, K.Trautwein,
D. Zimmerlin; IT)

Durchgeführte Arbeiten

1. Konzipierung, Planung und Bau der Versuchsanlage BETA für Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen und Beton.
2. Entwicklung und Beschaffung der Anlagenmeßtechnik.
3. Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Vorversuchen.
4. Koordination der Baumaßnahmen einschl. des Genehmigungsverfahrens.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Kondensatorbatterie, Stromschiene, Induktor mit Abschirmbehälter und Schallschutz sind fertigmontiert. Damit ist die Montage der Verfahrenstechnik, Lieferumfang AEG-Elotherm, abgeschlossen.

Abnahmeprüfungen für den Kühlturmkreislauf, die Hubbühne und den Transportwagen wurden durchgeführt.

Die Tauchsondenanlage mit Arbeitsbühne wurde fertigmontiert und ist nach erfolgreichem Funktionstest "kalt" bereit für die Funktionsprüfung "heiß" mit Schmelze.

Das Abgassystem wurde in Auftrag gegeben. Die Abnahmeschmelzversuche können voraussichtlich Anfang 1984 beginnen.

Zu 2: Die Bestückung des Schaltwartenpultes, elektrische Überprüfung und Aufstellung in der Warte sind erfolgt. 19"-Schränke in der Warte und Verteiler- sowie Meßverstärkerschränke in der Halle sind bestückt und aufgestellt. Die Verkabelung der Schränke in der Warte untereinander und auch zum Pult ist erfolgt. Abschirmleitungskanäle in der Halle und Warte sind montiert. In der Warte sind die verschiedenen Signalleitungen aufgelegt (Lötverbindungen). Die Verlegung der Stromversorgungs- und Meßleitungen zwischen Halle und Warte ist weitgehend fertig. Ein Teil der Meßumformer und -aufnehmer ist installiert, desgl. die z.T. notwendigen Kühlwasserleitungen. Der Aufbau der optoelektronischen Tiegelüberwachungseinrichtung ist beendet.

Zu 3: Im ersten Halbjahr 1983 wurde ein Versuch mit einem BETA-Tiegel durchgeführt. 600 kg Thermit R70/SSH wurden im Tiegel gezündet. Ein 1 m langes Abgasrohr war am Ausgangsflansch der Abdeckhaube angeschlossen. Das Auslaufen der Schmelze in den Schmelzabscheider wurde simuliert. Bei diesem Versuch (B1) wurde eine keramische Dichtschnur zwischen Tiegel und Haube für den Einsatz in der BETA-Anlage getestet. Über Federwaagen (Kranwaage 5 und 10t) und Kettenzüge wurde eine der BETA-Anlage entsprechende Anpreßkraft von 8K kN aufgebracht und der Anstieg während des Versuchs gemessen. Zur Herstellung der Tiegelauflagen wurde eine Metallschalung (Negativform) angefertigt, mit Glasfasermatten und Furanharz innen beschichtet und danach mit hochfestem Beton gefüllt. Der untere Teil der Tiegelauflage wurde aus austenitischem Stahl hergestellt. Die Auflage wurde mit Lichtleitern zur Tiegelbruchsignalisation bestückt und in die Anlage eingebaut.

Zwei Tiegelschutzrohre aus Asbestzement und aus glasfaserverstärktem Kunststoff wurden in Auftrag gegeben. Die Abdichtung der Rohre zur Tiegelabdeckhaube erfolgt über pneumatisch anpreßbare Vitonformringe.

Für die Abnahmeversuche sind bisher vier Tiegel mit kompletter Instrumentierung hergestellt worden.

Zu 4: Nach weitgehend termingerechtem Abschluß aller Gewerkeleistungen konnten die erforderlichen TÜV-Abnahmen für die allgemeine elektrische Energieversorgung, für die Erdungsanlage und für das Hebezeug der Rauchgasanlage durchgeführt werden. Darüber hinaus fanden die Funktionsabnahmen der haustechnischen Versorgungseinrichtungen: Heizung, Lüftung, Sanitär und Elektrotechnik sowie deren Übergabe an die jeweiligen Wartungs- und Reparaturbetriebe statt.

Noch ausstehende einzelne Restarbeiten, z.B. Beschichtung des Hallenbodens, Nachbesserungen usw. können erst nach abgeschlossener Montage der Verfahrenstechnik ausgeführt werden.

Geplante Weiterarbeit

Weiterverfolgung der beschriebenen Arbeiten.

06.01.12/27A Hydrodynamische und thermische Modelle zur
PNS 4331 Wechselwirkung einer Kernschmelze mit Beton
 (M. Reimann, S. Stiefel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Weiterentwicklung der Modellierung des Wärmeübergangs in Verbindung mit dem instationären Krustenwachstum.
- Implementierung der Modelle in WECHSL.
- Programmierarbeiten zum Jodmodell.

Erzielte Ergebnisse

Die Erstarrungsvorgänge in der Schmelze haben starke Rückwirkungen auf den Wärmeübergang. Von der beginnenden Krustenbildung bis zum Vorliegen einer vollständig erstarrten Schmelze werden verschiedene, recht komplexe Zustände durchlaufen. Die sich ausbildenden Krusten sind zunächst dünne Häute, die mit der Bewegung des Schmelzbades mitgeführt werden und somit den Antriebsmechanismus der Gase auf die Schmelzbadkonvektion noch nicht nennenswert beeinflussen. Mit zunehmender Dicke stabilisiert sich die Kruste und bleibt schließlich als feste Wand stehen. Bei dicken festen Krusten, durch die Wärme durch instationäre Leitungen transportiert wird, bestehen dann für den Wärmeübergang jeweils zwischen Schmelzbad und Krusteninnenseite und zwischen der Krustenaußenseite und dem Beton die folgenden prinzipiellen Möglichkeiten:

- | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| - Blasenmodell | gasdurchlässige Kruste | Filmmodell |
| - Blasenmodell | gasdurchlässige Kruste | zwischenphasiges Modell |
| - Naturkonvektion | gasundurchlässige Kruste | zweiphasiges Modell |

Die Einzelmodelle wurden in verschiedenen Forschungsvorhaben erarbeitet; zuletzt das zweiphasige Modell (PNS 4332), bei dem der Spalt zwischen Kruste und Beton durch erschmolzene Betonprodukte und Gasblasen ausgefüllt ist. Eine offene Frage ist noch, bei welcher Krustendicke ein Übergang von einem Wärmeübergangsmodus auf den nachfolgenden erfolgt. Diese Übergänge hängen sicher von den Ausführungseigenschaften des Materials ab. So wird eine Metallkruste sicher früher gasdicht als eine porös erstarrende Oxidkruste. Die Frage wird einerseits durch Modellexperimente und andererseits durch die Nachrechnung der entsprechenden BETA-Experimente bei teilerstarrem Schmelzen gelöst werden können. In Verbindung mit instationärer Wärmeleitung im Beton kann dann auch das langfristige Verhalten der Kernschmelze in der realen Kastengeometrie berechnet werden.

Geplante Weiterarbeit

Entwicklung von physikalischen Modellen.

Voraus- und Nachrechnung von Simulationsexperimenten.

Weitere Berechnungen für die Auswirkung eines KSU.

06.01.12/28A Modellentwicklung zur analytischen Beschreibung von
PNS 4334 Kernschmelzenunfällen
 (H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Experimente zum Strömungs- und Wärmeübergangsverhalten in simulierten Kernschmelzen bei Existenz von Krusten.

Erzielte Ergebnisse

Wenige Stunden nach Eintritt der Schmelze-Beton-Wechselwirkung beginnt die Erstarrung der Schmelze in den an den Beton angrenzenden Bereichen, wobei Wärmeübergang, Schmelzfrontfortschritt und Gasfreisetzung stark reduziert werden. Im Verlauf der Krustenbildung sind zunächst nur dünne Krusten zu erwarten, die die Transportprozesse noch wenig beeinflussen. Mit wachsender Krustendicke schließen sich die Krusten zunächst an den vertikalen, später an den horizontalen Wänden und behindern den Durchgang der Gase durch die Schmelze. Schließlich ist langfristig die Schmelze so weit erstarrt, daß die aus dem Beton entweichenden Gase die erstarrte Schmelze im Spalt zwischen Beton und Kruste umströmen.

In dieser Situation kann die erstarrte Schmelze auch dann noch in den Beton eindringen, wenn die Krustentemperatur oberhalb der Schmelztemperatur des Betons liegt. Der Spalt zwischen Beton und Kruste ist dann gefüllt mit Silikatschmelze und wird von den gasförmigen Zersetzungsprodukten des Betons durchströmt. Eine dimensionslose Wärmeübergangsbeziehung für den Wärmedurchgang durch den Spalt wurde experimentell erarbeitet /1/. Da die Strömung Grenzschichtcharakter aufweist, ist der Wärmeübergang weitgehend unabhängig von der Spaltbreite. Das seitliche Einströmen der Gase in den Spalt verursacht eine Zunahme der Re-Zahl mit der Spalthöhe. Der Wärmeübergang kann,

wie experimentell gezeigt wurde, durch Integration der in /1/ angegebenen Beziehung beschrieben werden.

Geplante Weiterarbeit

Aussagen zu Gültigkeitsbereich der Wärmeübergangsmodelle bei Existenz von Krusten.

Langzeitverhalten mit Krusten.

Vorbereitung von BETA-Experimenten.

Literatur

/1/ H. Alsmeyer, E. Neitzel:

Wärmeübergang in einem flüssigkeitsgefüllten senkrechten Spalt bei Durchgang von Gasblasen, Reaktortagung Berlin 1983.

06.01 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4400 - Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung und
Reduktion der Strahlenbelastung

06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren

06.01.14/16A Bestimmung der ^{131}I -Komponenten in der Ab- und
PNS 4414 Fortluft von Siedewasserreaktoren
 (H. Deuber; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Aufnahme des kontinuierlichen Betriebs von diskriminierenden Iodsammlern in der Kaminfortluft und in einzelnen Abluftströmen eines Siedewasserreaktors (SWR 5).

Erzielte Ergebnisse

Aus den bisher ausgewerteten Messungen geht folgendes hervor (Leistungsbetrieb): In der Kaminfortluft war der Anteil des radiologisch entscheidenden elementaren ^{131}I höher als der des organischen ^{131}I . Die Maschinenhausabluft war die Hauptquelle für das in die Umgebung freigesetzte elementare ^{131}I .

Geplante Weiterarbeit

Fortsetzung und Abschluß der Messungen mit diskriminierenden Iodsammlern in SWR 5 nach einer Meßzeit von einem Jahr.

06.01.14/17A Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern für
PNS 4415 Störfallbedingungen
 (H.-G. Dillmann, H. Pasler, R. Maier, H. Schmitt, LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

1. Ermittlung der Belastung von Unfallfilteranlagen nach schweren Störfällen:

Da zur Zeit die Eingangsdaten für den auf Kernschmelzen-Unfälle angewandten. Es zeigt sich aber, daß die Belastungen für eine Abluftfilteranlage niedriger werden als bisher in die Rechnungen eingesetzt. Da die Ergebnisse der ersten Rechnungen als einwandfrei von einer Unfall-Abluftfilteranlage beherrschbar betrachtet werden, sind Reserven in der Entwicklung vorhanden.

2. Ermittlung der mechanischen Festigkeit und des Abscheidegrades neuentwickelter Schwebstofffilter auf der Basis von Metallfasern. Durchführung entsprechender parametrischer Untersuchungen:

Die Untersuchung an Metallfaserfiltern wurden fortgesetzt. An 2 µm Faserfiltern wurden die ersten Experimente unter Dampfeinwirkung bei 145°C und 1 bar durchgeführt. Wegen der Problematik der Probennahme unter Dampfeinwirkung wurde die Probennahmetechnik weiterentwickelt.

Die Aerosolspektrometer zur Bestimmung der Abscheidewirkung als Funktion des Faser- und Partikeldurchmessers wurden getestet. Ein Auswerteprogramm wurde erstellt und getestet.

Die Untersuchungen an Keramikfaserfiltern wurden weitergeführt.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: -

Zu 2: Die ersten Versuche zeigten bisher gleiches Abscheideverhalten wie bei Luft als Medium. Schwierigkeiten ergeben sich in der Probennahmetechnik. Hierbei mußten wesentliche Erweiterungen und Umbauten vorgenommen werden. Das für die Untersuchung der Staubspeicherfähigkeit erstellte Programm wurde On-line getestet in Verbindung mit den hierzu beschafften Aerosolspektrometern. Es arbeitet einwandfrei.

Mit keramischen Faserfiltern wurde S-Qualität erreicht, bzw. überschritten.

Geplante Weiterarbeit

Zu 1: Die Arbeiten werden mit neuen Eingangsdaten fortgesetzt sobald diese belastbar aus laufenden Arbeitsprogrammen anfallen.

Zu 2: Die Untersuchungen an Metallfaserfiltern unter Dampfeinwirkung werden weitergeführt.

Die Ganzmetall-Vorfilter sollen auf Abscheidewirkung und Staubspeicherfähigkeit als Funktion der unterschiedlichen Faserdurchmesser und der Partikeldurchmesser untersucht werden.

Die Untersuchung an keramischen Fasern für Heißgasfiltration wird ebenfalls weitergeführt.

06.01.14/18A Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter
PNS 4416 hoher Temperatur, Luftfeuchte und erhöhtem Differenzdruck
 (V. Rüdinger, Th. Arnitz, U. Ensinger, C.J. Ricketts,
 U. Geckle, G. Trippel; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

1. Untersuchung des Abscheideverhaltens bei hohen Temperaturen einschließlich Entwicklung eines geeigneten Prüfverfahrens:

Die Entwicklung des Nachweisverfahrens für die Testaerosole wurde mit der Verbesserung des Aufschlusses und der Optimierung der Analysentechnik abgeschlossen. Die Analysentechnik wurde auf die Elemente Ca und Cr ausgedehnt. Die Planungen für einen Filterprüfstand zur Erprobung des Verfahrens und zum Vergleich mit drei Standardmethoden bei Umgebungsbedingungen wurde abgeschlossen.

Verbesserung der Feuchtemeßtechnik und Untersuchung des Druckverlustes von Schwebstofffiltern unter hoher relativer Feuchte:

Die Untersuchungen zum Verhalten von Schwebstofffiltern unter Feuchteeinwirkung wurden mit vier Dauerversuchen über jeweils etwa 150 Stunden weitergeführt.

3. Prüfung der Belastbarkeit von Schwebstofffiltern gegenüber erhöhtem Differenzdruck unter Raumlufbedingungen:

Eine vierte und letzte Testserie am Prüfstand des Los Alamos National Laboratory zur Untersuchung der mechanischen Belastbarkeit unter Raumlufbedingungen wurde vorbereitet. Mit der Durchführung wurde begonnen.

4. Planung und Bau einer Prüfanlage zur kombinierten Beanspruchung von Schwebstofffiltern durch erhöhten Differenzdruck, hohe rel. Feuchte und/oder hohe Temperaturen:

Die Detailplanung der neuen Filterprüfanlage BORA ist abgeschlossen. Mit der Komponentenfertigung wurde begonnen. Die Umbaumaßnahmen der Raumgruppe im FR2-Betriebsgebäude wurden vorbereitet und konnten z.T. in Angriff genommen werden. Der Komplex F+E-Meßtechnik, Datenauswertung und optische Registrierungssysteme werden bearbeitet. Mit der Durchführung von Rechnungen zur Gasdynamik in der Anlage BORA wurde begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Als Resultat der Verbesserungs- bzw. Optimierungsarbeiten sind Aerosolmengen von 500 ng/Filter (Vanadium) und 1000 ng/Filter (Titan) mit guter Genauigkeit nachweisbar, was die Bestimmung von Dekontaminationsfaktoren in der Größenordnung 10^4 zuläßt. Die Elemente Ca und Cr sind trotz hoher Nachweisempfindlichkeit nicht geeignet, da zu hohe Umgebungskontaminationen bzw. Filterblindwerte vorliegen. Die Ausschreibung für den Filterprüfkanal läuft.

Zu 2: Die neuen Tests haben bestätigt, daß bei länger andauernder Beanspruchung durch hohe Luftfeuchte, insbesondere durch Nebel, hohe Differenzdrücke auftreten und sowohl neue als auch beladene Filterelemente im allgemeinen erheblich beschädigt werden. Zur genaueren Beschreibung der Versuchsbedingungen ist die Messung der Nebelnässe erforderlich.

Zu 3: Das Versuchsprogramm dauert an.

Zu 4: Der Aufbau der Anlage BORA verläuft weitgehend planmäßig. Teilprobleme der F+E-Meßtechnik und der optischen Registrierung sind gelöst. Das erworbene Programm TVENT wurde erheblich erweitert und erfolgreich getestet.

Geplante Weiterarbeit

Zu 1: Das neue Abscheidegradprüfverfahren für Störfallbedingungen wird mit TiO_2 bzw. VC als Aerosolsubstanzen bei Umgebungsbedingungen erprobt und mit den Standardprüfverfahren verglichen. Untersuchungen zu eventuellen chemischen

Veränderungen der Aerosolsubstanz im Plasma und zum Agglomerationsverhalten bei hohen Aerosolkonzentrationen sind vorgesehen. Der Testkanal wird aufgebaut und in Betrieb genommen.

Zu 2: Die Feuchtetests werden weitergeführt. Die Prüfstands-Instrumentierung wird vor allem durch ein Gerät zur Messung der Nebelnässe erweitert. Mit der Eichung und Optimierung des IR-Gerätes zur Feuchtemessung wird begonnen.

Zu 3: Die vierte Testserie wird abgeschlossen. Die Auswertung erfolgt zusammen mit der Restauswertung der dritten Testserie.

Zu 4: Der Bau der Anlage BORA soll mit Montage und Übergabe zum Jahreswechsel abgeschlossen werden. Die F+E-Meßtechnik, Datenauswertung und optische Registrierung werden beschafft bzw. entwickelt. Mit Hilfe des erweiterten Programmes TVENT wird die Anlage BORA modelliert und Rechnungen zum Umschaltvorgang zur Filterbeanspruchung durchgeführt.

06.02 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEI-
 TUNGSANLAGEN

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

06.02.01 Störfallanalysen für die große Wiederaufarbei-
 tungsanlage (WAA)

06.02.01/10A Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der
PNS 4513 großen Wiederaufarbeitungsanlage
 (K. Nagel, S. Fenyi, G. Weber, H. Wenzelburger; IDT)

Durchgeführte Arbeiten

- Die Jodfreisetzung aus einer Wiederaufarbeitungsanlage und die Temperaturverläufe des Abgases bei Erhitzerausfall wurden zeitabhängig modelliert.
- Der Abscheidegrad des Fangrillenabscheiders wurde aufgrund neuerer experimenteller Ergebnisse detailliert beschrieben.
- Der Adsorptions- und Spülprozeß der Anlage ADAMO wurden zeitabhängig beschrieben.
- Für die Freisetzung von Jod in der PASSAT wurden aufgrund der relevanten Zustände des Systems Markoff-Erneuerungsprozesse mit 3 bis maximal 6 Zustands-"klassen" mathematisch formuliert. Dabei wurde für die Freisetzung in erster Näherung ein linearisierter aber erwartungstreuer und für die exakte Theorie ein monotoner Ansatz benutzt.

Erzielte Ergebnisse

- Der modellierten Jodfreisetzung wurden Ergebnisse aus der WAK zugrundegelegt. Danach erreicht sie innerhalb der ersten Stunde ihr Maximum und fällt dann langsam ab. Der Temperaturverlauf des Abgases nach Ausfall eines oder beider Erhitzer wird durch Exponentialfunktionen gut wiedergegeben.
- Der Aerosolabscheidegrad des Fangrillenabscheiders zeigt entgegen bisherigen Vorstellungen eine kompliziertere Gasgeschwindigkeitsabhängigkeit.

- Die experimentellen Ergebnisse über Adsorption von Krypton und Xenon an Silikagelbetten und Molsiebschüttungen und die anschließende Spülung können zeitabhängig mit Hilfe mathematischer Funktionen beschreiben werden.
- Im einfachsten Modell der PASSAT für die im ersten Störfall freigesetzte mittlere Jodmenge konnten die bisher nur simulativ erhaltenen numerischen Werte durch eine analytische Rechnung bestätigt werden.

Gepplante Weiterarbeit

- Zeitabhängige Beschreibung der Transportzellen KRETA und REDUKTION.
- Weitere Detaillierung vorhandener Transportzellen.
- Überprüfung der Eingangsdaten für die PASSAT (Ausfallraten für die Erhitzer etc.) und Ermittlung besserer Schätzwerte mit dem Bayes'schen Verfahren.
- Weitere numerische Auswertung der stochastischen simulativen bzw. analytischen Modelle für die Jodfreisetzung in der PASSAT. Schwerpunkt: mittel- und langfristige Vorhersage der freigesetzten Jodmengen in den Markoff-Erneuerungsmodellen.

06.03. EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN

PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkung und Beseitigung
freigesetzter nuklearer Schadstoffe

- 06.03.01 Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt
- 06.03.01/09A Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
PNS 4812 biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt
Pu, Am, Cm und Np
(H.Schüttelkopf, M.Pimpl, W.Schmidt, G.Hefner, J.Hiller; HS)

Durchgeführte Arbeiten

- Die Entwicklung eines analytischen Verfahrens zur Bestimmung von Np parallel zu Pu, Am und Cm wurde weiter bearbeitet.
- Die Emissionen von Pu mit Abgas und Abwasser aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe wurden monatlich gemessen.
- Versuche zur Erhöhung der Mobilität von Pu, Am und Cm in Erdzylindern wurden weitergeführt.
- Mit der Messung von Transferfaktoren im Gewächshaus wurde begonnen.
- Arbeiten zur konventionellen Bodenanalytik wurden weitergeführt.

Erzielte Ergebnisse

- Mit ^{239}Np als Tracer wurde ein Verfahren ausgearbeitet, das die Bestimmung von Np in Umgebungsmaterialien parallel zu Pu ermöglicht. Die Dekontaminationsfaktoren für andere α -Strahler müssen noch überprüft werden, bevor das Verfahren auf Umweltproben mit ^{237}Np angewendet werden wird.
- Insgesamt 20 Bodenkerne von 30 cm Durchmesser und 80 cm Länge, die ungestört aus 9 verschiedenen landwirtschaftlich wichtigen Bodenflächen entnommen wurden, wurden im Gewächshaus installiert. Durch Gießen entsprechend 750 mm Niederschlag/s wurden bodenphysikalisch konstante Bedingungen eingestellt, so daß nun mit den Migrationsversuchen begonnen werden kann.

- Die vorbereitenden Arbeiten zur Ermittlung geeigneter Arbeitstechniken zur Pflanzenaufzucht auf kontaminierten Böden wurden abgeschlossen. Für die im Gewächshaus anzubauenden Pflanzen wurden geeignete Klimaparameter überprüft und festgelegt. Auf zwei Böden - einem Kreideboden und einer Granitverwitterung - wurde mit der Messung des Transfers von Pu, Am, Cm und Np in Nutzpflanzen begonnen. Weizen, Mais und Kartoffeln wurden in 3 verschiedenen großen Behältern auf kontaminiertem Boden angebaut. Die Kontamination des Bodens beträgt im Mittel 200 pCi/g Erde je für Pu und Am, für Cm und Np je bis zum fünffachen weniger. Neben dem Anbau dieser Nutzpflanzen in Kick-Brauckmann-Gefäßen mit 8 kg Bodenfüllung und 0,035 m² Oberfläche werden die Pflanzen in größeren Wannen mit 250 kg Boden und 0,6 m² Oberfläche aufgezogen und in Lysimetern mit 0,5 m² Oberfläche, in denen der entsprechende Boden in ungestörter Lagerung bis zu 80 cm Tiefe eingefüllt ist. Lediglich die Ackerkrume bis 20 cm Tiefe wurde bei diesen Lysimetern mit Pu, Am, Cm und Np kontaminiert. Nach der ersten Vegetationsperiode soll auf diesen Böden in den gleichen Gefäßen der in der Landwirtschaft übliche Fruchtwechsel durchgeführt werden. Weitere Böden werden z.Z. für Transferfaktormessungen vorbereitet.
- Ein Verfahren zur kontinuierlichen Messung des Redoxpotentials in Böden mit geeigneten Elektroden wurde optimiert. Die Änderung des Redoxpotentials eines Kreidebodens, auf dem Mais angebaut wurde, im Verlauf einer Vegetationsperiode wird z.Z. gemessen.

Geplante Weiterarbeit

Die Messung der Freisetzungen von Aktiniden aus der WAK wird fortgesetzt. Die Laborexperimente zur Erhöhung der Mobilität von Aktiniden im Boden werden weitergeführt, ebenso die Arbeiten zur konventionellen Bodenanalytik. Die Messungen des Transfers Boden - Pflanze werden fortgesetzt und der Untersuchungsumfang wird erweitert.

06.03.01/10A Mikrobiologische Einflüsse auf die Mobilität und
PNS 4813 Bioverfügbarkeit von Radionukliden in Böden und
Sedimenten
(S. Strack, A. Müller; HS)

Durchgeführte Arbeiten

- Seit März 1983 wurde an der Referenzstelle kontinuierlich Bodenmaterial aus der am dichtesten belebten Humusschicht entnommen und der quantitative (Lebendkeimzahl) und qualitative (Artenverteilung) Besatz mit Mikroorganismen ermittelt. Die Probenahme und die Methode der indirekten Keimzahlbestimmung (Oberflächenplattierung) wurden standardisiert.
- Laborversuche zur Messung der Migrationsrate von ^{14}C -markierten Aminosäuren an künstlich gepackten und beregneten, sterilisierten bzw. sterilisierten und mit frischem Bodenmaterial beimpften Bodensäulen wurden durchgeführt.
- Die Anwendbarkeit von zur Bestimmung der Stoffwechselaktivität der Mikroflora in landwirtschaftlich genutzten Böden (speziell Ackerböden) gebräuchlichen, biochemischen Methoden auf das zu untersuchende Bodenmaterial wurde geprüft: CO_2 -Freisetzung, kolorimetrische Bestimmung der Dehydrogenase-Aktivität.
- Die Untersuchung an präparierten, mit ^3H -bzw. ^{14}C -markierten Bodenproben, mittels Mikroautoradiographie in Verbindung mit Fluoreszenzmikroskopie wurde weitergeführt.

Erzielte Ergebnisse

- Im Beobachtungszeitraum März - Juni zeigt die Besiedlungsdichte/g Boden mit steigender Bodentemperatur die zu erwartende Zunahme an vermehrungsfähigen, stoffwechselaktiven Keimen (Gesamtlebendzellzahl). Gleichzeitig ist eine Verschiebung der Artenzusammensetzung zugunsten von Pilzen und Streptomycceten festzustellen, begünstigt durch einen pH-Wert des Bodens von 4,1. Die häufigsten Vertreter der systematischen Gruppen wurden isoliert und in einer Stammbank aufbewahrt.
- Säulenversuche: Eine Auswertung der Percolationsversuche in den Bodensäulen durch Messung des Eluats im LSC war aufgrund der hohen maximalen Wasserkapazität des stark humushaltigen Bodens nicht möglich. An der Ent-

wicklung einer geeigneten Autoradiographiemethode, um die räumliche Verteilung der aufgegebenen Radionuklide nachweisen zu können, wird gearbeitet.

- Die laufenden Untersuchungen der Feinverteilung der Nuklide in der Bodenmatrix mittels Fluoreszenzmikroskopie und Mikroautoradiographie (stripping film) wurden fortgesetzt. Die in der Filmschicht auftretenden Schwärzungen konnten stoffwechselaktiven, ^3H - und ^{14}C -markierten Zellen zugeordnet werden. An einer Verbesserung der Versuchsdurchführung wird gearbeitet, da bei mit ^{14}C -Verbindungen durchgeführten Versuchen eine räumliche Zuordnung zu einzelnen Zellen nicht eindeutig nachzuweisen war.

Geplante Weiterarbeit

Entwicklung verbesserter Autoradiographietechniken und Aufbau von geeigneten Percolationsapparaturen. Durchführung von Versuchen mit ^{125}I .

06.03.03 Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktorunfällen
 unter probabilistischen Gesichtspunkten

06.03.03/11A Unfallfolgenmodell der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke,
PNS 4832 Phase B
 (W. Hübschmann, S. Vogt, P. Wittek; HS)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen der Phase B der Deutschen Risikostudie (DRS) wurde ein verbessertes Modell der Behandlung von Niederschlag und Washout im Unfallfolgenmodell erarbeitet und implementiert. Insbesondere durch die Auswahl realistischerer Washoutkoeffizienten wurde die Anzahl der Frühschäden merklich reduziert.

Geplante Weiterarbeit

Der Vertrag über die Forschungsarbeit im Rahmen der Phase B der DRS läuft Mitte 1983 aus. Daran schließt sich die Entwicklung der Methodologie der Ermittlung radiologischer Folgen von Reaktorunfällen an.

06.03.03/12A Fortentwicklung des Unfallfolgenmodells Phase B
PNS 4831 der Deutschen Risikostudie
 (A. Bayer, K. Burkart, J. Ehrhardt; INR)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden durchgeführt:

- Abschließende Arbeiten zum internationalen Vergleich der Unfallfolgenmodelle (OECD)
- Erarbeiten von Überlegungen zu einem Teilmodell "Wasserpfad"
- Unfallfolgerechnungen und Risikoabschätzungen mit dem modifizierten Rechenprogramm UFOMOD/B3
- Entwicklung von Rechenprogrammen zur Berechnung und graphischen Darstellung häufigkeitsbewerteter Individual- und Kollektivdosen.

Geplante Weiterarbeit

Es werden Teilmodelle des Unfallfolgenmodells überarbeitet und mit neueren charakteristischen Daten versehen.

BERICHTSBEITRÄGE IN DEUTSCHER SPRACHE

<u>Content</u>	<u>Page</u>
Translation of the German Reports	62 - 121
06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS	
<u>PNS-Subproject 4100 - Dynamic Loads and Strains of Reactor Components under Accident Conditions</u>	
<u>06.01.01</u> HDR-Blowdown-Experiments on Dynamical Loadings on Reactor Internals	62
06.01.01/11A Experimental Data Acquisition and Processing PNS 4116 of the Dynamic Behavior of the Pressure Vessel Test Internals in the HDR-Blowdown-Experiments	62
<u>06.01.02</u> Development and Verification of Codes for Dynamic Stress Analysis of Reactor Components	63
06.01.02/15A Development and Verification of Coupled Fluid- PNS 4125 Structure Dynamic Codes for Analysis of Dynamic Stresses and Deformations of Reactor Vessel Internals during LOCA	63
06.01.02/16A Laboratory Experiment for Validation and PNS 4126 Enhancement of Fluid/Structure Dynamics Codes Relevant to Initial Phases of LOCA	64
06.01.15/04A Development and Verification of Codes for PNS 4127 Analysis of Dynamic Stresses and Deformations of PWR-Containments	65
<u>06.01.18</u> Accident Presentator	67
06.01.18/01A The Accident-Presentator, a Tool for Training PNS 4130 the Staff of Engineers in a Nuclear Power Plant to Analyse Off-normal Situations	67
06.01.19/02A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior PNS 4160 of Reactor Components	68

		<u>Page</u>
06.01.21/01A /02A PNS 4270/71	Thermohydraulic Analysis of LWR-Accidents	70
<u>06.01.03</u>	Development of Two Phase Mass Flow Measurement Techniques and Application at Blowdown Experiments	72
06.01.03/21A PNS 4137	Joint Test Rig for Tests and Calibration of Different Methods of Two-Phase Mass Flow Measurements	72
06.01.03/22A PNS 4139	Experimental Facility for Nonsteady State Two-Phase Flows	73
06.01.03/23A PNS 4136	Development of Radionuclide Methods for Measuring Transient Two-Phase Mass Flows	74
06.01.03/24A PNS 4140	Development of Condensation- and Slipmodels of Two-Phase Flow Computer Codes	79
<u>PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions</u>		
<u>06.01.04</u>	Development and Assessment of a Fuel Behavior Code System	80
06.01.04/25A 26A, 27A,29A PNS 4231.1/3 4/5	Development and Verification of a Code-System of Fuel Behavior at Loss-of-Coolant Accidents	80
<u>06.01.07</u>	Fuel Rod Behavior in the Blowdown-Phase of a LOCA	83
06.01.07/11A /12A PNS 4236.1/2	Investigation on the Fuel Rod Behavior under Controlled Thermal Hydraulic Boundary Conditions (COSIMA)	83
<u>06.01.09</u>	Fuel Rod Behavior in the Refill and Reflood Phase of a LOCA	84
06.01.09/06A PNS 4238	Investigations of the Interaction between Ballooning Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling (REBEKA)	84

		<u>Page</u>
06.01.20/01A PNS 4260	Fuel Rod Simulator Effects in Flooding Experiments (SEFLEX)	86
<u>06.01.16</u>	Investigations on Severe Core Damage	87
06.01.16/17A PNS 4254	Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding	87
06.01.16/16A PNS 4253	Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 Cladding and UO ₂ Fuel during Severe Core Damage Transients	88
06.01.16/14A /15A PNS 4251.1/2	Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel Damage (CORA)	90
06.01.16/13A PNS 4250	Long Term Coolability of Severely Damaged Cores (COLD)	92
<u>06.01.17</u>	Investigations on the Accident Behavior of Advanced Pressurized Water Reactor (FDWR)	94
06.01.17/11A PNS 4240	Flooding and Deformation Behavior of Closely Packed Hexagonal Fuel Rod Bundles	94
06.01.17/12A PNS 4242	Investigations of the Influence of Oxide Fuel and Fission Products on the Mechanical Properties of Steel Cladding Tubes	95
06.01.17/13A PNS 4243	Oxidation Behavior of Stainless Steel Cladding Tubes in Steam	96
06.01.17/14A PNS 4244	Investigations of the Mechanical Behavior of Cladding Material for APWR	97
<u>PNS-Subproject</u>	<u>4300 - Investigation and Control of LWR Core-Meltdown Accidents</u>	
<u>06.01.11</u>	Reaction Behavior, Activity Release and Transport of Fission Products during Core-Meltdown	98
06.01.11/26A PNS 4311	Investigations on the Interaction of Fission Products and Aerosols in LWR-Containments	98

		<u>Page</u>
06.01.11/27A PNS 4314	Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at Core Melting Conditions	100
06.01.11/28A PNS 4315	Experimental Determination of Fission and Activation Product Release During Core Meltdown Accidents	101
<u>06.01.12</u>	Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete	103
06.01.12/25A PNS 4325	Erosion of Concrete by Steel Melts Investigations of the Melt Front Velocity	103
06.01.12/26A PNS 4323	Experiments on the Interaction between Steel Melts and Concrete	104
06.01.12/27A PNS 4331	Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction of a Core Melt with Concrete	106
06.01.12/28A PNS 4334	Development of Models for the Analytical Determination of Core Meltdown Accidents	107
<u>PNS-Subproject</u>	<u>4400 - Improvement of Fission Product Retention and Reduction of Radiation Load</u>	
<u>06.01.14</u>	Offgas Filters in Nuclear Power Stations	109
06.01.14/16A PNS 4414	Determination of the ¹³¹ I Species in the Exhaust Air of Boiling Water Reactors	109
06.01.14/17A PNS 4415	Development and Improvement of Exhaust Air Filters for Accident Conditions	110
06.01.14/18A PNS 4416	Investigations into the Behavior of HEPA- Filters at High Temperature, High Air Humidity and Elevated Differential Pressure	111

	<u>Page</u>	
06.02	SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS	
<u>PNS-Subproject 4500 - Safety of the Reprocessing</u>		
<u>06.02.01</u>	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant	114
06.02.01/10A PNS 4513	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant (Extraction)	114
06.03	MITIGATION OF CONSEQUENCES	
<u>PNS-Subproject 4800- Behavior, Impact and Removal of Released Nuclear Pollutants</u>		
<u>06.03.01</u>	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness	116
06.03.01/09A PNS 4812	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness: Pu, Am, Cm, and Np	116
06.03.01/10A PNS 4813	Microbiological Influences on the Mobility and Bioavailability of Radionuclides in Soils and Sediments	118
<u>06.03.03</u>	Investigation of the Radiological Impact of Reactor Accidents under Probabilistic Aspects	120
06.03.03/11A PNS 4832	Consequence Model of the German Reactor Risk Study, Phase B	120
06.03.03/12A PNS 4831	Improvement of the Consequence Model, Phase B of the German Reactor Risk Study	120

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR
POWER PLANTS

PNS-Subproject 4100 - Dynamic Loads and Strains of Reactor Components
under Accident Conditions

06.01.01 HDR-Blowdown-Experiments on Dynamical Loadings on
Reactor Internals

06.01.01/11A Experimental Data Acquisition and Processing of the
PNS 4116 Dynamic Behavior of the Pressure Vessel Test Internals
in the HDR-Blowdown-Experiments
(J. Kadlec, F. Eberle, G. Lang, R. Scharnowell;IRE)

Work performed, results obtained

The modal-analytical evaluation of the blowdown test series V31.2-V33 and of the snapback test series V59.04-V59.06 has been continued. The evaluation of the blowdown test V32 revealed a remarkable increase of eigenfrequencies of the HDR-core barrel during the blowdown. This reflects the continuous decrease of the water content of the reactor pressure vessel.

To facilitate plotting of extracted mode shapes of the HDR-core barrel the computer codes MODAP and NETPLT have been developed. These codes offer the possibility of approximating the extracted amplitudes and phase shifts of individual mode shapes through continuous surfaces and the superimpose of them. This makes easier the visualisation of the time history of the global dynamic response of the core barrel in snapback tests.

Plans for future work

Termination of the modal analytical evaluation of the blowdown test series V31.2-V33 and of the snapback test series V59.04-V59.06. Edition of the final report.

- 06.01.02 Development and Verification of Codes for Dynamic Stress
 Analysis of Reactor Components
- 06.01.02/15A Development and Verification of Coupled Fluid-Structure
PNS 4125 Dynamic Codes for Analysis of Dynamic Stresses and Defor-
 mations of Reactor Vessel Internals during LOCA
 (R. Krieg, E.G. Schlechtendahl, J. Benner, M. Geiß,
 F. Katz, H. Knüppel, A. Ludwig; IRE)

Work performed

The development of a reactor core model and the implementation of this model into the FLUX-code (version FLUX-5) have been finished. For the numerical simulation of impacts between neighbouring fuel elements, a spacer model with nonlinear springs has been developed. A number of parametric calculations have been performed in order to study the PWR blowdown. The HDR-Laboratory experiments, which are designed to form an experimental basis for the core model, have been continued. To analyze the loadings on the upper core barrel clamping, further Finite Element calculations with a three dimensional model have been performed.

The analysis of the loadings on the reactor pressure vessel under high transient pressures has been started. For this a pressure pulse of 1000 bar within 2 nsec, which has the form of a triangle, has been assumed.

Results obtained

The blowdown calculations showed that the former core model of the FLUX-code (mass ring of 50% core mass), which had been chosen in respect to the HDR experiments, is conservative. The first qualitative results on the behavior of the reactor core internals during the blowdown accident showed very complex deformations of the fuel rods, with maximal loadings near the clampings.

The investigation of the core barrel-clamping loadings showed strong differences between two-dimensional and three-dimensional simulations. The three-dimensional model yields a much stiffer clamping than the two-dimensional model, especially for loadings which cause plastic deformations. This can be explained by the

neglection of the torsional stiffness in the two-dimensional calculations. Therefore only local plastic deformations of the core barrel clamping have to be expected during the blowdown, the more as new blowdown simulations show that the loadings are not as high as expected earlier.

The investigation of the dynamic loadings of the reactor pressure vessel showed, that under the assumed pressure peak plastic deformations have to be expected only at the bottom of the vessel. Here the strains reach values of some percents.

Plans for future work

Continuation of the parametrical PWR-blowdown calculations, documentation of the results, together with a theoretical description of the core model. Simulation of a PWR-blowdown with FLUX-5 with consideration of core barrel clearances and a flexible core barrel flange.

Documentation of the calculated core barrel clamping loadings during blowdown, investigation of the load carrying capacity for the core barrel clamping and, in comparison, for some other typical clampings.

Quantification of typical failure loadings for the reactor pressure vessel.

06.01.02/16A Laboratory Experiment for Validation and Enhancement
PNS 4126 of Fluid/Structure Dynamics Codes Relevant to Initial
 Phases of LOCA
 (E. Wolf; IRE)

Work performed

The external tube for the 49-rod bundle was mounted and subjected to a leak test. The tests with the 16-rod bundle were continued with a view to developing an appropriate measuring technique allowing to record the sequence of motions of the individual rods.

Results obtained

The leak test of the external tube for the 49-rod bundle was successful. It was possible to record the sequence of motions of the individual rods by a film camera. However, the measuring technique applied has not been fully satisfactory.

Plans for future work

The measuring technique for the bundle geometry will be improved in some respects and developed, respectively. The tests with the two bundle geometries (16-rod bundle with circular boundary line and 49-rod bundle with rectangular boundary line) will be continued.

06.01.15/04A Development and Verification of Codes for Analysis of
PNS 4127 Dynamic Stresses and Deformations of PWR-Containments
 (F. Eberle, B. Göller, G. Hailfinger, J. Kadlec,
 G. Messemer, E. Wolf; IRE)

Work performed, results obtained

The investigations concerning the PWR-Containment under internal pressure loading were concentrated on the behavior of the material under a bi-axial state of stresses. Two membranes with a constant thickness of 2 mm and a diameter of 800 mm were fabricated. measured in detail and loaded with uni-lateral hydraulic pressure until rupture. Rupture occurred at an overpressure of 43 bar with maximum equivalent strains of 40%. During rupture, a large part of the membrane with a diameter of approximately 200 mm was nearly completely separated from the remainder of the membrane. The second experiment yielded nearly the same results. Parallel computations with the programm ROTMEM, taking into account a measured stress-strain-relation of the material, yielded that plastic instability of the membrane should occur at an overpressure of 45 bar.

The works concerning the dynamic behavior of the containment with imperfections were continued. The spherical shell for the experiments is going to be fabricated: the two half shells were deep drawn and welded together at the equator; the two parts of the casing were fabricated and prepared for assembly.

The computation for the lying cylindrical shell partly filled with water could not yet be done, as the structural properties could not be described appropriately due to errors in the finite element programme.

The experimental set-up for the investigation of fluid-structure interaction problems in case of an excitation within the fluid was erected. First measurements to study the frequency response function between the piston, exciting the fluid, and the flexible cylindrical walls were performed.

Plans for future work

Additional bulge tests and parallel computations will be carried through. Special attention will be directed to the transition region between thin and thickened parts of the shell, as well as to the bolted connection between material lock and containment.

The manufacturing of the thin spherical shell model will go on.

The computation for the lying cylindrical shell partly filled with water are to be performed.

Experiments with excitations within the fluid of the cylindrical shell are to be performed.

06.01.18 Accident Presentator

06.01.18/01A The Accident-Presentator, a Tool for Training the Staff
PNS 4130 of Engineers in a Nuclear Power Plant to Analyse Off-normal
Situations
(K. Leinemann, R. Meyder, H. Schnauder; IRE)

Work performed

The software of the reactor accident presentator was written, implemented and tested on a appropriate hardware (minicomputer with hard disk, five displays and two printers).

A prototype of a special editor was prepared. It was used to implement the data of two nuclear power plants and four accidents.

To support the training of the reactor personnel with the accident presentator, a training method was developed.

For potential customers we organized a training session to demonstrate the capabilities of the system.

Results obtained

The demonstration sessions yielded the following results:

- The system is able to present accidents in an appropriate way.
- The dynamic presentation forces the trainee to quick and consequent way of thinking.
- The trainee recognizes more details of the accident than by reading a report of the accident.
- An accident which is seen dynamically is better kept in mind than by reading a report.
- A valuable by-product of the introduction of this accident presentator is the complete documentation of accidents.

Plans for future work

Dependent on the decision of the utility management, whether they accept the system or not.

06.01.19/02A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior
PNS 4160 of Reactor Components
(G. Czuck, D. Munz, H. Stamm; IRB/ZSM)

Work performed

Experimental: Construction of the THESPA testing bench, measurement of spatial and temporal temperature distributions and comparison with theoretical results, optimization of the spraying nozzle, crack growth measurements in three different test specimens made of 22 NiCrMo 37 steel.

Theoretical: Temperatures, stresses and stress intensity factors for semi-elliptical surface cracks in a semi-infinite solid and in an infinitely extended plate were calculated to clarify the general behavior and to perform parameter studies. At the same time, the influence of plastic deformations near the surface was considered.

By comparing theory and and experiment, the heat transfer coefficients in the cooling area of the specimens were determined. From the results of an FE stress analysis stress intensity factors of semi-elliptical surface cracks were calculated for several crack geometries and used to verify the experimentally measured crack growth.

Similar calculations were performed in the framework of the HDR-project (thermal shock of a nozzle corner).

Results obtained

Experimental: In all three plates distinct crack growth along the whole crack front was obtained for different shock temperatures.

In some specimens crack growth near the surface is very large.

Besides crack branching was observed.

Theoretical: By using the above mentioned parameter studies stress intensity factors can be estimated in structures which are similar to plates or compact structures. Criteria were obtained allowing to take into account in an approximation the overelastic loading at the surface exposed to thermal shock.

The experimental and theoretical results of crack growth in the plate both at the surface and at the deepest point of the idealized semi-elliptical cracks were compared.

Plans for future work

- Improvement of the experimental conditions (e.g. stable shock temperature).
- Determination of material parameters on laboratory specimens.
- Further thermal shock experiments with variation of initial and boundary conditions.
- Development of criteria of unstable crack growth in the elastic-plastic region.
- Influence of shakedown residual stresses on crack growth.

06.01.21/01A Thermalhydraulic Analyses of LWR-Accidents
/02A

PNS 4270/71 (W. Baumann, H. Borgwaldt, G. Jacobs, G. Willerding; INR)

Work performed

The IBM-compatible code-version of RELAP5/MOD1, obtained in 1982 from JAERI and improved in the meantime, has been further updated to obtain alignment with the original version. In parallel, in the CYBERNET new Update Cycles of the original version were implemented, tested, and used for comparison calculations. The necessary effort was higher than foreseen. Independently, a RELAP5 input-model for a modern Westinghouse type light-water power-reactor was set up and largely initialized.

On request by NEA Data Bank, Saclay, the organisation was given support and advice in implementing and testing RELAP5/MOD1 on both computer-systems (i.e. CDC and IBM).

In early 1983, version 12.0 of the code COMMIX-1A was obtained from ANL and implemented on our IBM-computer. In July, corrections and enhancements for version 12.2 arrived from ANL.

Up till now, development of the 2-phase version COMMIX-2 was performed within the frame of a delegation of one scientist to ANL.

The code BODYFIT-1FE (1-phase version) had been obtained in 1982 from ANL as an IBM-code. Code-implementation on the CYBER-205 was started in June 1983, immediately after the vector-computer became available.

Results obtained

Cycle 18 of the original version of RELAP5/MOD1 has been implemented and tested on several CDC-computers with differing operating systems. In updating the IBM-compatible version Cycle 9 was reached. Recalcul-

ation of a larger number (25) of test samples showed complete agreement between IBM- and CDC-version in most cases. Some discrepancies were noticed for LOFT test-applications.

For version 12.0 of COMMIX-1A an executable load module was created and tested with the sample problem supplied.

Progress and actual status of the 2-phase version COMMIX-2 have, up till now, been reported directly from ANL to the NRC.

On the CYBER-205 an executable load module of BODYFIT-1E could be created and successfully tested. For this first version, no special optimisation effort was incurred. But optimisation of the code has been started.

(Both codes, COMMIX und BODYFIT, having high running times, were selected as test-cases for vector-computer applications. At present, priority is given to BODYFIT as, although exhibiting a similar structure and identical algorithms, it is not so large as COMMIX.)

Plans for future work

Updating the IBM-compatible version of RELAP5/MOD1 to the level of Cycle 19, and finalizing the conversion task. Application runs with RELAP5.

Implementation of COMMIX-1A, version 12.2, on the IBM-computer and on the CYBER-205.

Continued development of COMMIX-2.

Optimisation of the CYBER-205 version of BODYFIT-1FE.

06.01.03 Development of Two Phase Mass Flow Measurement
Techniques and Application at Blowdown Experiments

06.01.03/21A Joint Test Rig for Tests and Calibration of Different
PNS 4137 Methods of Two-Phase Mass Flow Measurements
(J. Reimann, H. John, W. Seeger, C. Smoglie; IRB)

Work performed

The capability of Pitot tubes was investigated for the measurement of the cross-section averaged mass flow rate. The Pitot tube measurements were combined with local density measurements. Air-water and steam-water experiments were performed with a traversable Pitot tube in a horizontal test section with an inner diameter of $D = 50$ mm and Pitot tubes fixed in the pipe axis in test sections of $D = 16$ and 20 mm.

Extensive air-water and steam-water experiments were performed with test section a) at system pressure up to 100 bar with a vertical upward, downward and horizontal branch.

With the "small break" test section the branch diameter was varied ($D = 6; 12; 20$ mm) at a vertically upward and horizontally oriented flow. The flow pattern in the horizontal pipe was stratified.

Results obtained

The measurement technique gives good results for a wide mass flow rate range if appropriate models are used for the phase distribution and the momentum exchange factor. For flow patterns of rotational symmetry (which occurs at horizontal flow at mass fluxes ≥ 5000 kg/m²s), the number of measurement positions in the pipe cross-section can be reduced significantly. For lower mass fluxes a local void fraction probe can be used instead of the gamma densitometer.

Test section a): The curve $x_3/x_1 = f(G_3/G_1)$ has a maximum value near $G_3/G_1 = 0,3$ ($x =$ quality, $G =$ mass flux, index 1 = inflow, index 3 = branch). The maximal value was described by an empirical correlation which fits satisfactorily all air-water and steam-water experiments.

Test section c): For the vertical upward branch the branch quality is very close to one due to the strong vorticity of the gas flow. Therefore, the gas mass flow rate did not change significantly. However, the transition to slug flow is very important which occurs at high gas flow rates.

Plans for future work

Evaluation of the experiments with the test section a). Further experiments with test section b).

06.01.03/22A Experimental Facility for Nonsteady State Two-Phase
PNS 4139 Flows
(H. John, J. Reimann; IRB)

Work performed

The accuracy of the True Mass Flow Meter (TMFM 50), that has the function of the reference mass flow measuring device in the transient loop, has been tested by mass inventory balance. Non acceptable deviations between the measured total mass and the real mass inventory of the blowdown vessel probably caused by drifts of the TMFM strain gages have been successfully corrected by a special computer drift correction program.

15 blowdowns have been performed together with the LOBI spool piece of Euratom Ispra. Several blowdowns were made with the LIT radio tracer method and the 6 beam gamma densitometer of the LIT. Two new tracers Kr-81 for the gaseous and Tc-99 for the liquid phase have been tested.

Looking for a simple reliable mass flow rate measuring device a rate with 4 Pitot tubes has been developed and tested in several blowdowns together with the serial-5-beam gamma densitometer.

Results obtained

The use of the TMFM as a reference mass flow rate measuring device in the test loop for transient two-phase flow is established, when a special correction of the data is applied.

The results of the experiments with the LOBI spool piece and radio tracer technique are in calculation now and will be published soon.

The mass flow rate evaluation based on the Pitot tube signals in combination with the measurements of the 5 gamma beams produced results which are in good agreement with the corrected reference mass flow measurements. It shows that the Pitot tube rake is a useful instrument for future two-phase flow rate measurements in steady state and transient flows.

Plans for future work

Evaluation and interpretation of the experimental data gained from the different devices and comparison of the calculated mass flow rates with the reference mass flow rate.

Continuing of mass flow rate measuring tests.

Test of an ultrasonic measuring system for detecting of a level in a two phase mixture.

06.01.03/23A Development of Radionuclide Methods for Measuring
PNS 4136 Transient Two-Phase Mass Flows
 (R. Löffel, E. Kurtulgil, D. Wolf, W.-D. Zeidler;LIT)

Work performed

- Evaluation of density measurements at the test facility DUESE
- density measurements with the 6-beam-gamma-densitometer at the transient test loop
- measurement of phase velocities at the transient test loop.

Results obtained

Density measurements at the test facility DUESE:

Plug flow has been identified at the small cross section of the nozzle in the most cases. Figure 1 shows the density signals of the horizontal and vertical central beams at the first and third measuring position. The different pulsation frequency could be registered clearly by the density signals.

The additional evaluation of the density signals by means of the amplitude-frequency-analysis uses reference signals which are delivered from the flow himself. The figures 2 and 3 show the amplitude-frequency-spectrum of two different signals and their reference peaks.

Density measurements at the transient loop:

The homogeneous bubble flow has been detected in the most cases. It is transformed to stratified wave flow at the end of the blowdown.

Velocity measurements at the transient test loop:

The applicability of the liquid tracer Tc-99m instead of Mn-56 could be demonstrated. No other solution has been founded to replace Ar-41 for labelling of gas phase. The activity of the Rb/Kr-generators (commonly applied in the nuclear medicine) is too low.

Plans for future work

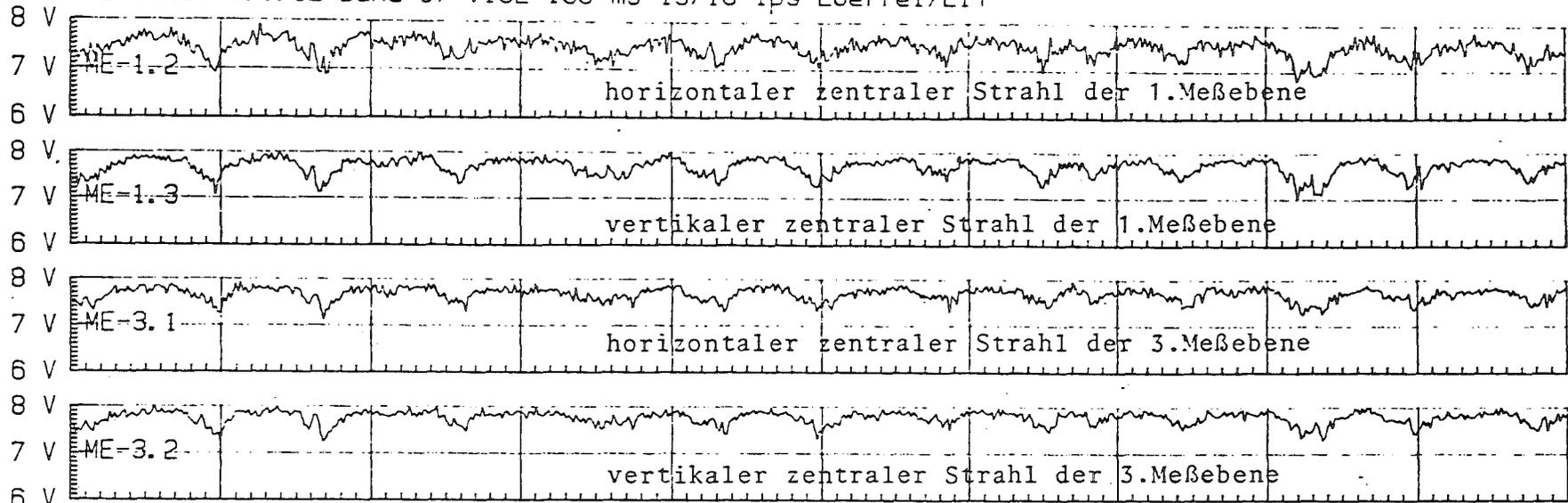
Experiments at the test loop DUESE:

- continuation of density measurements
- velocity measurements using Tc-99m and if possible using Kr-81

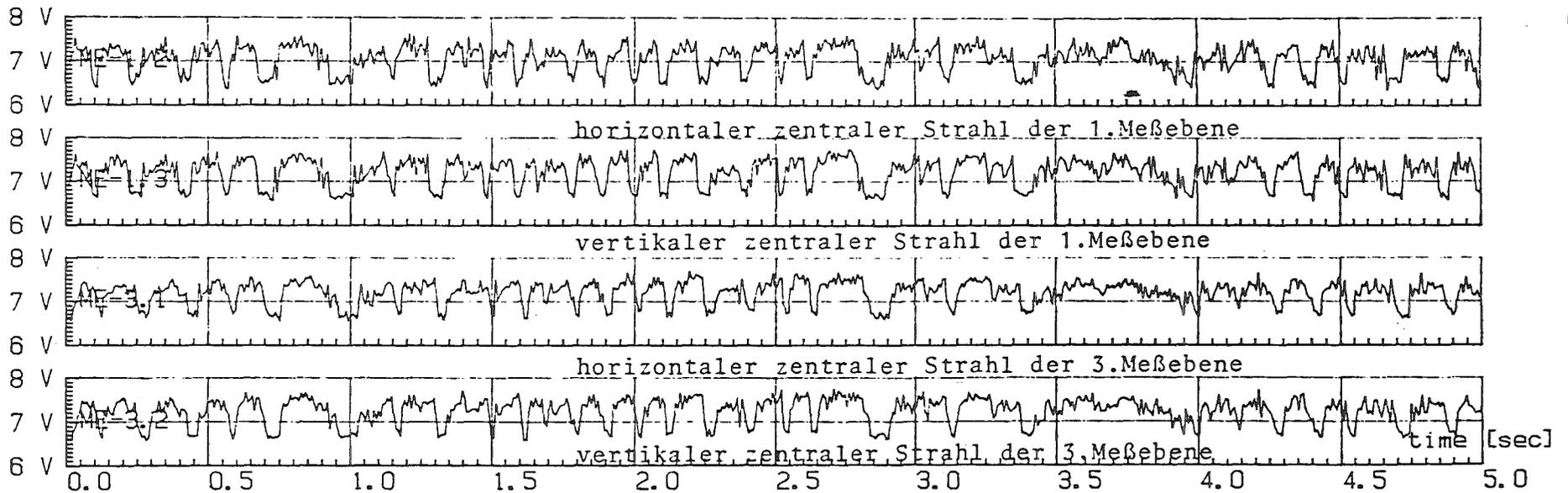
Blowdown experiments at the transient test loop:

- continuation of density and velocity measurements.

IRB-Duese 6.8.82 Band 37 V102 100 ms 15/16 ips Loeffel/LIT

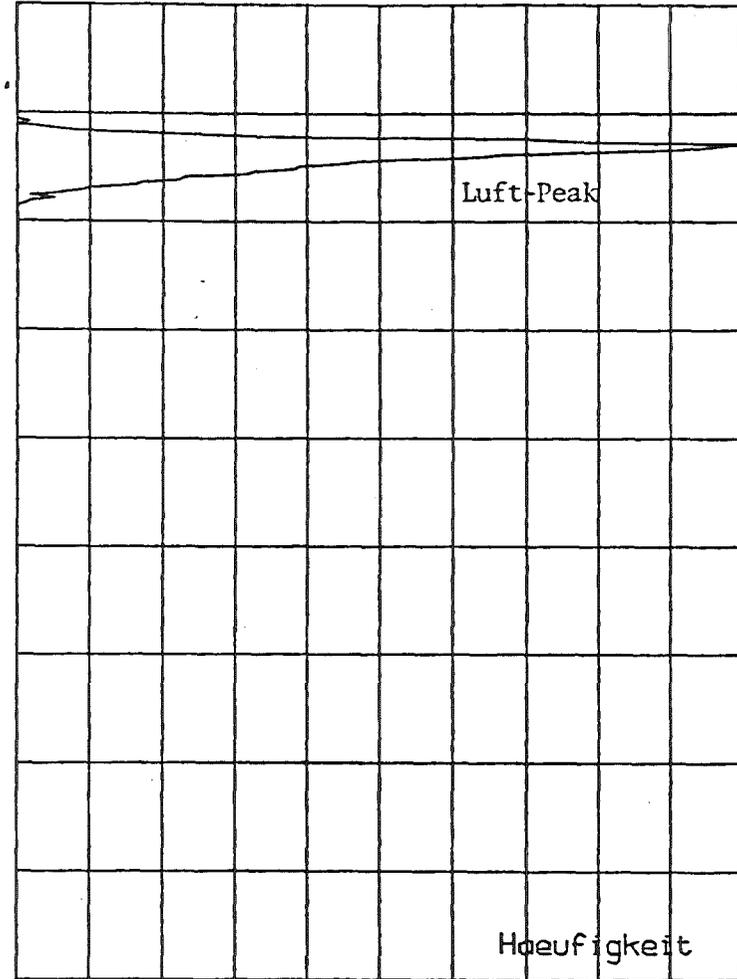
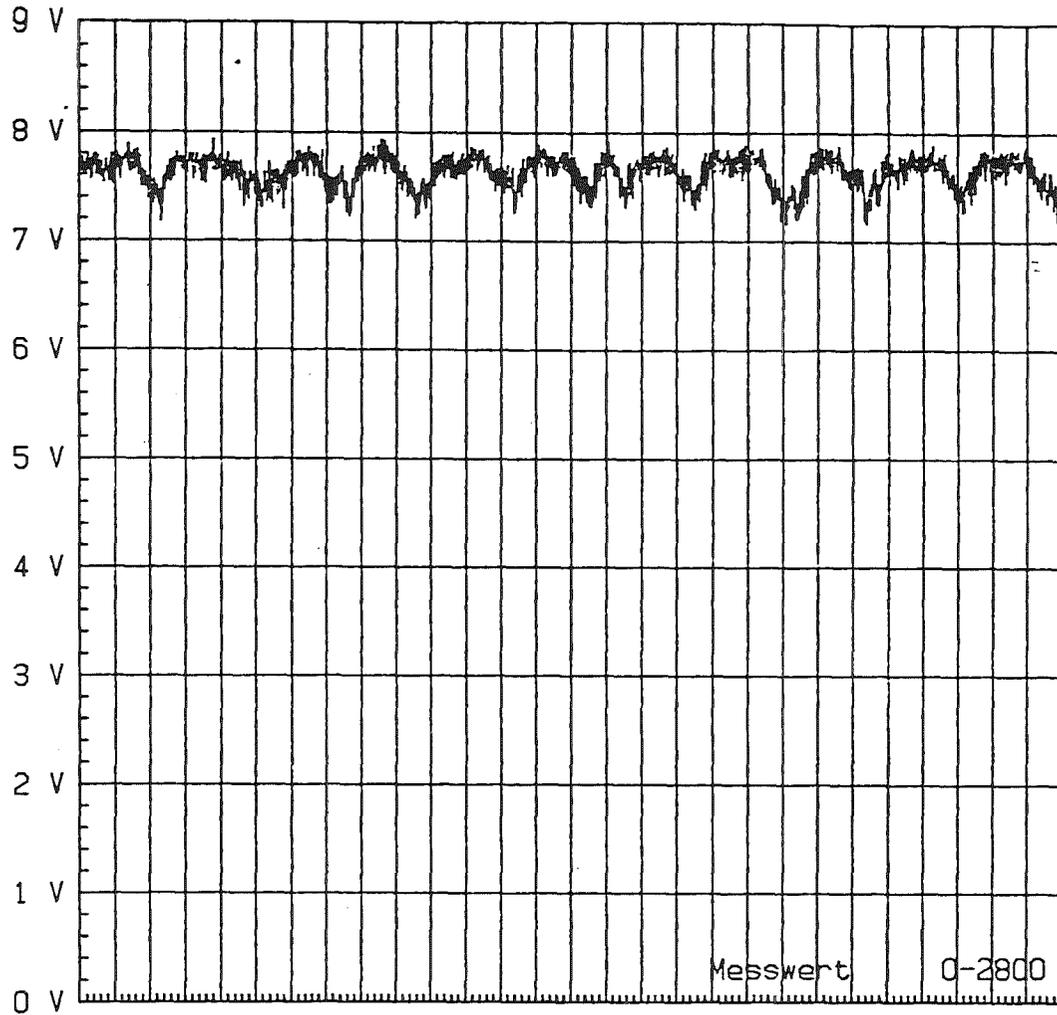


IRB-Duese 6.8.82 Band 37 V103 100ms 15/16 ips Loeffel/LIT



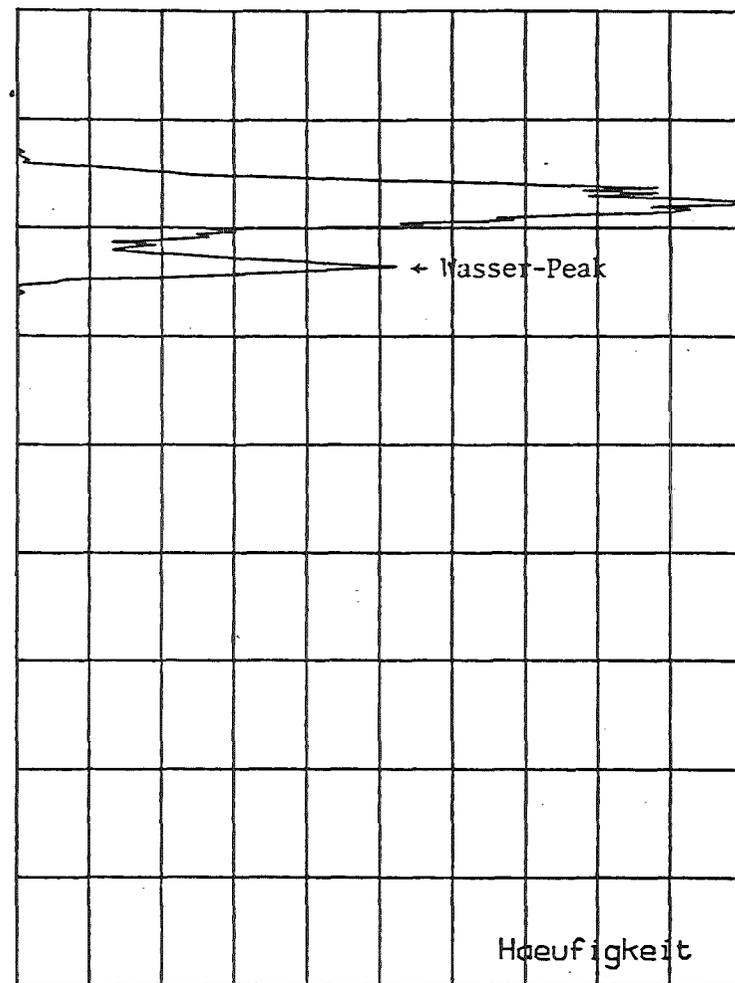
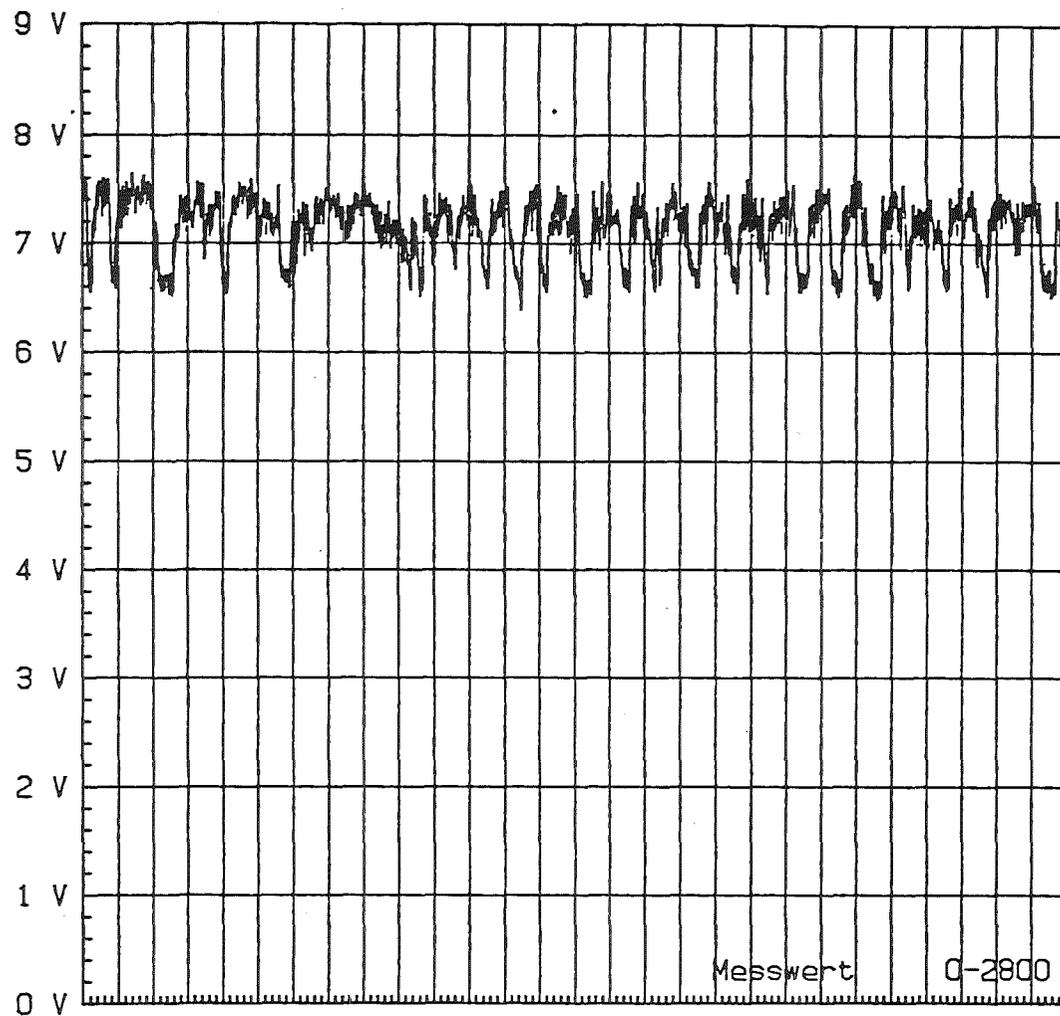
Data: 0- 641 of 1102 Start: 0 sec

Abb. 1 Gegenüberstellung der Originalsignale von V102 und V103 an der 1. und 3.Meßebene



ME3/1-V102 6.8.82 0.1 s 15/16 ips Band 37 Loeffel/LIT

Abb. 2 Amplituden-Dichte-Verteilungsanalyse des Meßsignals ME-3.1 von V102



ME3/1-V103 6.8.82 0.1 s 15/16 ips Band 37 Loeffel/LIT

Abb. 3 Amplituden-Dichte-Verteilungsanalyse des Meßsignals ME-3.1 von V103

06.01.03/24A Development of Condensation- and Slipmodels of
PNS 4140 Two-Phase Flow Computer Codes
(M. Wadle; IRE)

Work performed

Evaluation and documentation of the 1982's experimental series is still going on. Representative experiments were calculated with the DUESE-Code and the theoretical results were compared with experimental data. The test section was modified and prepared for the second series. A new experiment matrix has been established. To evaluate the tracesignals of the coming series a computer program has been developed.

Results obtained

From the experimental data, three types of flows can be distinguished. Depending on mass flow rate and quality, at about 60% vapor quality one or two choking locations develop in the test section. At high pressure levels choking conditions were achieved, only at the end of the friction dominated part of the nozzle, while at pressure levels below 3,5 MPa at the entrance of the test section a second vena contracta appeared.

Dependent on the prevailing flow pattern, the correlation for the friction parameters and the number of droplets in the Drift-flux approximation must be specified as input data in the DUESE-Code. All subcritical and supercritical experiments could be successfully calculated (for supercritical flow, up to the vena constructa only).

Plans for future work

The second series of experiments will take place in summer 1983. In addition, the different phase velocities will be measured by means of the radioactive tracer technique. After evaluation of experimental data, calculations with different codes will follow.

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF
NUCLEAR POWER PLANTS

PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions

06.01.04 Development and Assessment of a Fuel Behavior Code System

06.01.04/25A Development and Verification of a Code-System of Fuel
26A, 27A, 29A Behavior at Loss-of-Coolant Accidents

PNS 4231.1/3 (J. Hackenbroich, R. Meyder; IRE, H. Borgwaldt, INR,
4/5 W. Sengpiel; IRE, H.J. Neitzel; IRB, K.H. Wagner; IT)

Work performed

SSYST-3:

The preparation of the input description for SSYST-3 has well advanced and will be completed during the coming half year.

The integration of the REFLOS physics module into SSYST-3 has been improved. Minor errors appearing during application in the auxiliary modules KOMBL, MITTEL and RSYFKT were eliminated.

Assistance was given to GRS Cologne in implementing SSYST-3.

Regarding the "German Standard Problem No.7," the 6th REBEKA bundle experiment, both GRS/PNS and IRE performed blind precalculations using SSYST-3. GRS will prepare by the end of this year a report on the comparison of experiment with calculations.

SFD Investigations:

Based on an experiment of the ESSI test series (Project 06.01.16) it was investigated to which extent the measured external temperature of the Zircaloy cladding is determinant of the attainment of the melting point. For this purpose, the Zircaloy oxidation code SIMTRAN, developed at the IRB and calculating both the distribution of oxygen concentration and the temperature distribution in the Zircaloy cladding, was used to determine the temperature drop across the cladding for the experiment ESSI-4.

The STATI-4 computer code was adapted to Real x 8 Variable.

The tasks were fixed for a more precise determination of the characteristics of the thermal insulation materials used in ESSI-4.

To interpret the ESSI-4 experiment parameter variations were performed with STATI-4 of the parameters not precisely known, especially heat transfer coefficients and thermal conductivities.

Results obtained

For the PREPRO preprocessor code of the SSYST-3 program system a performance and input description was written.

Computations performed with SIMTRAN on the experiment ESSI-4 showed that on the assumption of an unlimited oxygen offer the temperature drop across the cladding increases in terms of time to 64 K.

A parameter study has shown that in case of limitation of the oxygen stream from the coolant channel the temperature drop across the cladding increases at a slower rate with the time. The computations on ESSI-4 using the STATI-4 code were performed for a one-dimensional geometry approximately in the rod mid-plane without oxidation of the Zry-4 and discontinued upon attainment of the melting point. Up to 1500 K a good agreement was reached of computation and measurement.

In the development of the 3D shell model describing cladding tube deformation between two spacers the assertion made earlier was confirmed by the calculation that the type of deformation observed in the upper zone of the alpha-Zircaloy in single-rod experiments performed at the IRB was attributable primarily to clamping and not so much to the anisotropy of the Zircaloy. The computations have further shown that taking into account the geometric non-linearity i.e. considering the equilibrium on deformed bodies, is necessary only from 15% strain onward.

Besides the development of the 3D shell model the evaluation of the photogrammetrically measured screened cladding tubes was continued. It became evident that the distribution of circumferential strain is not so uniform as e.g. calculated by the SSYST module AZI.

The evaluation of these specimens will be completed shortly by measurement of the azimuthal distributions of wall thicknesses.

Plans for future work

Expansion of the nucleus of the SSYST system for treatment of program loops and time step control.

Elaboration of an SSYST module for modeling the UO_2 -Zircaloy interaction.
Implementation and testing of the SCDAP computer code.

Analyses accompanying the experiments performed under the Project 06.01.16 (ESSI, ESBU).

06.01.07 Fuel Rod Behavior in the Blowdown-Phase of a LOCA

06.01.07/11A Investigation on the Fuel Rod Behavior under Controlled
 /12A Thermal Hydraulic Boundary Conditions (COSIMA)

PNS 4236.1/2 (G. Class; IRE, K. Hain; IT)

Work performed

During the period reported here, additional tests have been performed with the true mass flow meters of COSIMA. For the RELAP4/MOD6 analysis a new nodalisation of COSIMA has been set up.

Results obtained

The recalculation of the COSIMA tests V82 und V129 using RELAP4/MOD6 up to now had a systematic overestimation of the pressure, compared to the measured data. To investigate this problem we looked at

- a) influence of nodalisation of guard heaters
- b) influence of nodalisation of plena

ref. a) The guard heaters in COSIMA have a complex structure and were strongly simplified for the RELAP analysis. A more detailed investigation of this heat transfer problem using the 3D computer code RELAX, however, revealed that the representation was rather good.

ref. b) The representation of the globular lower and upper plenum of COSIMA was done using one or three volumes. A recent test calculation with two volumes, however, turned out to give better results for the calculated pressure than the other representations. This effect will be investigated in more detail.

Plans for future work

- experiments to investigate the pellet relocation
- 'simple' thermo-hydraulic experiments with COSIMA
- recalculation of COSIMA with DRUFAN
- final report for COSIMA

06.01.09 Fuel Rod Behavior in the Refill and Reflood Phase
of a LOCA

06.01.09/06A Investigations of the Interaction between Ballooning
PNS 4238 Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling
(REBEKA)
(K. Wiehr, F. Erbacher, H.J. Neitzel; IRB)

Work performed

Preparation, performance and beginning of evaluation of bundle test REBEKA-6 (German Standard Problem No. 7 (DSP 7) and International Standard Problem No. 14 (ISP 14)).

Results obtained

The REBEKA-6 bundle test with flooding had the aim to investigate the influence of the flow direction on Zircaloy cladding deformation and the coolant channel blockage. In this experiment the flow direction during the refill and the reflood phases was unchanged and as a consequence a higher coplanarity of the bursts was expected, similar to that observed in the NRU tests.

Because of the relatively simple cooling conditions without a change in the flow direction this experiment was chosen as DSP 7 and ISP 14. The cladding temperature readings of the two unpressurized undeformed rods were used to calculate the heat transfer coefficients of the experiment. (Input data for the Standard Problem). The central rod was replaced by a dummy tube for fluid thermocouples. All other rods were pressurized and deformed during the test. The experiment has been performed successfully on March 24, 1983.

The test conditions were the following:

steam flow upwards through the bundle at 4 bar and an inlet temperature of 150°C (mass flow 11,5 g/s). When a constant temperature in the whole bundle was obtained, the rods have been pressurized from 5 to 60 bar. With a power of 7.8 KW/rod the bundle has been heated up to a cladding temperature of 765°C. This temperature was measured at an axial elevation of 1850 mm. Reaching this temperature the power has been reduced to 6.6 KW/rod and at the same time flooding has been initiated with a flooding rate of about 3 cm/s

(mass flow 173 g/s). The flooding water temperature was 130°C. The power was kept constant until the whole bundle was rewetted (quenched). The axial cladding temperature obtained were the result of the local specific power of the rods, the local heat transfer conditions of the steam - and the two-phase flow and the plastic deformation of the Zircaloy claddings.

First evaluations of the experimental data proved the expected influence of the flow direction on bundle deformation. Higher coplanarity led to a maximum of the coolant channel blockage of 60%.

Plans for future work

- Completion of single rod experiments concerning LOCA conditions and evaluation.
- Bundle experiment with flooding in a 7x7 array with several control rod guide tubes.

06.01.20/01A Fuel Rod Simulator Effects in Flooding Experiments

PNS 4260 (SEFLEX)

(P. Ihle, K. Rust, H. Schneider;IRB)

Work performed

The state of knowledge concerning the thermal-hydraulic behavior of different fuel rod simulators in reflood experiments has been determined.

The test facility except the bundle is ready.

Results obtained

The comparison of results obtained with fuel rods as well as with fuel rod simulators of different designs shows the following characteristics:

- For the same initial and flooding conditions the cladding of a fuel rod is heated up and cooled down faster than those of fuel rod simulators. This is due to the lower heat capacity of fuel rods.
- Fuel rods as well as fuel rod simulators with a gap between the cladding and the heat source are rewetting earlier than fuel rod simulators without gap.
- Data for quantitative statements are missing.
- There are no computer code models to describe these differences sufficiently well.

Plans for future work

It is planned to perform SEFLEX-tests during the remaining months of 1983. The experimental data will be compared with FEBA-data.

06.01.16 Investigations on Severe Core Damage

06.01.16/17A Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding

PNS 4254

(S. Leistikow, H. v. Berg, G. Schanz; IMF II)

Work performed

Additional microstructural and analytical evaluation of isothermal high temperature oxidation experiments of Zircaloy-4 tube sections in steam at 600-1600°C. Temperature transient oxidation experiments in a temperature-time range for which the breakaway effect is of dominant influence.

Investigations towards the kinetics of Zircaloy-4 oxidation in air at 750-1200°C under variation of the starting conditions into isothermal exposures, i.e. with and without suppression of the initial temperature peak.

Results obtained

With the additional microstructural evaluation of selected specimens a systematic and complete overview has now been reached of the complicated long-term material behavior resulting from the occurrence of the breakaway effect. These results have been documented as a conference paper. With respect to the influence of the observed hydrogen uptake on the oxidation behavior additional hot extractions have been carried out. The hydrogen uptake was realized to accelerate parallel to the breakaway oxidation.

The transient experiments consisted of linear temperature ramps ($\pm 0.1 \text{ K s}^{-1}$) after isothermal pre-oxidation into the boundary range of the breakaway. It was confirmed for the transient case, that cracking of the ZrO_2 layer occurs after a critical thickness and that the oxidation is accelerated. The events of scale cracking are not continued on the other hand when the critical layer thickness/temperature regime is left again. It can be concluded therefore, that isothermal results can be transcribed to the transient case. The occurrence of the breakaway effect is limited to the case of strong oxidation at temperatures $\leq 1050^\circ\text{C}$.

The oxidation kinetics of Zircaloy-4 tube sections in air were investigated under the aspect of fire hazard in a reprocessing plant. For the specimen held at reaction temperature under inert gas the initial temperature increase ΔT after air inlet was measured as function of specimen initial condition and air supply.

For metallic, i.e. non-preoxidized specimens a peak of 25 K and 670 K was registered for 750°C and 1200°C, respectively. At 1100°C it was realized, that the tendency to sudden energy release diminished gradually with the increase in the thickness of scales formed during prior steam exposure. The same trend holds for air supply reduction to 10 or 1%, respectively, of the standard value of 60-85 mg/s (1 m/s).

If the release of heat occurs parallel to and contributes to a heatup phase, the temperature peak can be suppressed. A series of experiments in air (750-1200°C) with this test conduct condition resulted in oxidation kinetics which were qualitatively similar to steam but characterized by a higher level of mass increase and an earlier breakaway transition.

Plans for future work

Documentation of the above investigations. Parameter studies towards the influence of reduced steam supply and of hydrogen contents in steam on the oxidation kinetics of Zircaloy-4. The tests are in preparation and will be performed in atmospheres of steam, hydrogen and argon. Argon as carrier gas will contribute to an equalized hydrogen flow and will minimize the safety hazards of the hydrogen. The available laboratory steam loops will be modified in order to stabilize the necessary small steam flow rates.

06.01.16/16A Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 Cladding
PNS 4253 and UO₂ Fuel during Severe Core Damage Transients
(P. Hofmann, Ch. Braun, D. Kerwin-Peck, G. Gausmann,
H. Metzger, K. Kurz, E. Nold; IMF I)

Work performed

- UO₂/Zry-4 reaction experiments with 100 mm long fuel rod segments, performed in argon between 1400°C and the melting point of Zircaloy-4 (about 1760°C).
- Solid UO₂/liquid zircaloy chemical interaction experiments in argon up to about 2000°C.
- UO₂/zircaloy reaction experiments in argon above 3000°C.

Results obtained

- The UO_2/Zry isothermal solid state reaction experiments performed under inert gas conditions were completed and the test results have been compiled /1,2/. It has been shown that, when the cladding tube collapses onto the fuel, the Zry oxidizes from the inside surface above 1100°C due to interaction with the UO_2 at the same rate as from the outside surface due to steam. The additional uptake of oxygen from the inside surface accelerates the embrittlement of the cladding and increases the possibility of fuel rod fragmentation. Due to the reduction of UO_2 by Zry, during which metallic uranium and $\alpha\text{-Zr(O)}$ form, up to 9 vol.% of the UO_2 may be chemically dissolved. Therefore, increased release of gaseous and highly volatile fission products must be expected.
- In temperature transient experiments performed in argon with short fuel rod segments up to 2000°C , UO_2 was dissolved to different extents by molten Zry, depending on heatup rate and external pressure /3/. At low heatup rates (2 K/s) with good UO_2/Zry contact (external pressure of 40 bar), the Zry was completely transformed into $\alpha\text{-Zr(O)}$ during heatup as a result of the reaction with UO_2 . The cladding therefore melted at a higher temperature (melting point of $\alpha\text{-Zr(O)}$ is 1970°C) and less UO_2 was dissolved since the cladding was saturated with oxygen. At high heatup rates (10 K/s) with poor UO_2/Zry contact (external pressure of 1 bar), the nearly unoxidized cladding began to melt at approximately 1760°C . The oxygen-poor Zry melt dissolved large amounts of UO_2 as it run down the fuel stack /3/.
- Preparation of a UO_2/Zry structure catalog is in progress. UO_2/Zry and $\text{UO}_2/\text{ZrO}_2/\text{Zry}$ mixtures containing varying fractions of the initial components have been melted in an arc furnace and subsequently homogenized at 1400°C for 30 minutes. The final phase structures of the solidified specimens will serve as reference structures for UO_2/Zry and steam/ UO_2/Zry reaction experiments performed above the melting point of Zry. The fraction of dissolved UO_2 in molten Zry containing varying amounts of O can therefore be estimated by comparison of the metallographic results of test specimens with those of the reference specimens /3/. This technique can be used for complex out-of-pile and in-pile LWR fuel rod experiments.

Plans for future Work

- Investigation of the UO_2/Zry reaction under oxidizing conditions.
- Determination of the rate of dissolution of solid UO_2 by liquid Zry as a function of temperature and time. A new melting apparatus (LAVA) has been purchased and is in operation.
- Quantitative determination of the final phase fractions in reference UO_2/Zry melt samples.

References

- /1/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck; $UO_2/Zircaloy-4$ chemical interactions and reaction kinetics from 1000 to 1700°C, KfK 3552 (1983), Final Report
- /2/ P. Hofmann; Out-of-pile $UO_2/Zircaloy-4$ experiments under severe fuel damage conditions, OECD-NEA-CSNI/IAEA Specialists' Meeting on Water Reactor Fuel Safety and Fission Product Release in Accident Conditions, RISØ, Denmark, May 16-20, 1983
- /3/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck; Chemical Interaction of Zircaloy-4 with UO_2 above 1700°C under Nonoxidizing Conditions, International Meeting on LWR Severe Accident Evaluation, Cambridge, MA, USA, August 28 - September 1, 1983

06.01.16/14A Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel Damage (CORA)
/15A
PNS 4251.1/2 (S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek; IT/CP, S.O. Peck, EG&G,
H. Hain, F. Brüderle, Th. Vollmer; IT/PC)

Work performed

Construction of the CORA facility:

Experience with the current experiments has shown that the steam inlet temperature must be raised to around 1000°C to better utilize the whole length of the fuel rod simulators. Construction of a steam inlet preheater is in progress. In this context calculations have been performed for the bundle steam distribution as a function of the rod arrangement and shroud construction.

A special gas outlet line was designed and ordered to avoid the possible influence of a hydrogen/air reaction on the general gas outlet system.

Preliminary tests:

Cross sections of the temperature escalation experiment rods and bundles were prepared as part of the posttest destructive examination- Metallographic and microprobe analyses have been completed.

Single rod tests investigating escalation behavior in an argon/oxygen mixture have been begun. In comparison to argon/steam tests these experiments should provide data on the influence of hydrogen produced during the zircaloy/steam reaction.

Results obtained

Construction of the CORA facility:

Experiments with full scale fuel rod simulators have been completed.

Calculations of the temperature behavior in these experiments with a computer program were successful. As a result this program will be used to predict the temperature behavior of the fuel rod simulators in the CORA geometry.

Preliminary tests:

Metallographic, scanning electron microscope, and electron microprobe investigations have shown that the melt developed due to the interaction of liquid zircaloy and UO_2 pellets. The UO_2 was dissolved by the liquid zircaloy. Three phases were found in the refrozen melt: α -Zr(O) with a low uranium content, an uranium rich (U,Zr) alloy and a (U,Zr) O_2 mixed oxide. Temperature measurements at different elevations in the experiments with argon/oxygen mixtures have shown that the escalation in the bundle starts in the upper part and progresses toward the lower end.

Plans for future work

Experiments on the influence of hydrogen on the escalation behavior are continuing. To better understand the reaction behavior, experiments with temperature measurements at different elevations and measurements of the hydrogen produced with a mass spectrometer are planned.

06.01.16/13A Long Term Coolability of Severely Damaged Cores (COLD)
PNS 4250 (G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Work performed

A quasi-steady-state model to follow up the transient dryout behavior of particulate beds was developed and was applied to predict experimental results. An experimental apparatus for tests with deep beds and variable liquid flow into the bottom was designed. The search for an appropriate method of measuring the saturation in the bed was continued with pre-tests.

Results obtained

Last year's dryout experiments have demonstrated that there is a continuous change of the liquid inventory (saturation transient) in the bed between the time of critical power increase and the time of the appearance of the first dry spot. On the basis of Lipinski's steady-state dryout model /1/ a computer model was developed that allows to calculate the saturation transient as a sequence of quasi-steady-state steps. As compared with the fully transient treatments of Turland/Moore /2/ and Gorham-Bergeron /3/ the method has an advantage: with reasonable computer time the transient can be calculated up to the point of incipient dryout without being forced for calculational reasons to abandon terms of the basic model equations. It has been demonstrated that the accuracy of the quasi-steady-state approximation is very good. A comparison of calculated and measured saturation transients has confirmed a preference for exponent of approximately 4 rather than 3 in the turbulent relative permeability functions.

Plans for future work

Construction of an experimental apparatus for tests with deep beds and variable liquid flow into the bottom and performance of experiments.

References

- /1/ R.J. Lipinski:
A Model for Boiling and Dryout in Particle
Beds; NUREG/CR-2646 (June 1982).
- /2/ B.D. Turland, K. Moore:
One Dimensional Models of Boiling and Dryout;
Proc. of the International Information Exchange
Meeting on Post Accident Debris Cooling, Karlsruhe, July 1982, P. 192
- /3/ E. Gorham-Bergeron:
A One Dimensional Time-Dependent Debris Bed Model;
Proc. of the ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conf.,
Honolulu (March 1983), p. 23.

06.01.17 Investigations on the Accident Behavior of Advanced
 Pressurized Water Reactor (FDWR)

06.01.17/11A Flooding and Deformation Behavior of Closely Packed
PNS 4240 Hexagonal Fuel Rod Bundles
 (F. Erbacher, W. Just, P. Schäffner, H. Schmidt,
 E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Work performed

- Improvements in the fabrication process for fuel rod simulators.
- Series production of fuel rod simulators.
- Burst tests on smooth SS-claddings.

Results obtained

The process to machine the axial profile of the heater tube by a computer controlled milling device has been improved in order to obtain a higher accuracy and uniformity of the profile.

The development work for the electrically heated fuel rod simulators has been completed successfully. The series production of about 120 fuel rod simulators was initiated.

Some 100 burst tests on shortened single rods with smooth SS-claddings (material 1.4970, 10.1 x 0.4 mm) have been performed in steam at constant internal pressure within the tube and constant heating rate of about 5 K/s. Their internal pressure was varied as a parameter in the range of 20 to 140 bar.

The burst temperatures measured are higher by about 250 K compared to Zircaloy claddings (10.75 x 0.725 mm). The circumferential burst strains amount to about 10% at burst temperatures up to approx. 950°C. At burst temperatures of approx. 1100°C circumferential burst strains up to 70% have been measured.

Plans for future work

- Fabrication of fuel rod simulators.
- Assembly and instrumentation of the 61-rod test bundle.
- Burst tests on shortened single rods to investigate the deformation of smooth SS-cladding tubes and those with six integral helical fins.
- Bundle test with flooding on a 61-rod bundle with Zircaloy cladding tubes.

06.01.17/12A Investigations of the Influence of Oxide Fuel and Fission
PNS 4242 Products on the Mechanical Properties of Steel Cladding Tubes
(P. Hofmann, J. Burbach, H. Metzger; IMF)

Work performed

Short-term creep rupture tests performed from 800 to 1200°C with fission-product-containing 1.4970 tubular specimens.

Results obtained

Of all of the elemental fission products (Cs, I, Te) and fuel (UO_{2+x})/ fission product mixtures investigated, only tellurium exerted a distinct influence on the burst strain and time-to-failure of the 1.4970 cladding tubes. In direct contact with liquid tellurium ($T_m \sim 450^\circ\text{C}$), the tubular specimens exhibited low ductility failure at all temperatures investigated (800 to 1200°C). The burst strains in all cases were less than 1%, compared with burst strains between 5% (800°C) and 45% (1000°C) for the reference specimens (without fission products). The times-to failure of the specimens were also significantly reduced.

In follow-up experiments, the influence of gaseous tellurium on the mechanical properties of 1.4970 tubes was studied. The effect of gaseous tellurium is markedly less than that of liquid tellurium, particularly below 900°C, and depends greatly on the tellurium partial pressure. As with liquid tellurium, accelerated low ductility cladding failure took place.

Plans for future work

- Investigation of the chemical interactions between UO_{2+x} and 1.4970 stainless steel and between UO_{2+x} and Zircaloy-4 above 1000°C.
- Continuation of the creep rupture tests with tubular specimens in the presence of tellurium. Determination of the critical tellurium concentration.

06.01.17/13A Oxidation Behavior of Stainless Steel Cladding
PNS 4243 Tubes in Steam
(S. Leistikow, G. Schanz, Zb. Zurek; IMF II)

Work performed

Comparative investigations of the kinetics of the steam oxidation of tube sections of the materials 1.4914, 1.4970, and Zircaloy-4 of SNR and LWR dimensions at 600-1300°C up to 6 hours. Evaluations by gravimetry, metallography and microanalysis.

Results obtained

The double-sided attack of steam on the tube walls of Zircaloy-4 and high-temperature creep resistant steels at temperatures far above their resistance limits for suitable technical long-term service yielded interesting results.

The time dependence of oxygen uptake can be described as parabolic for all the investigated materials and the regime of very high temperatures and limited times. The parabolic rate coefficients calculated thereof are given as functions of the reciprocal absolute temperature according to Arrhenius and allow a first comparison of the materials: The austenitic steel No. 1.4970 is the most resistant, the ferritic steel No. 1.4914 the least resistant and Zircaloy-4 is between both.

This behavior results from a relatively undisturbed morphology of oxide growth from both sides into the exposed tube wall. The oxidation products are closed barrier layers forming a strongly adhesive compound with the underlying metallic substrate.

For Zircaloy-4 at temperatures below 1050°C mechanical instability of the scale microstructure (breakaway) is the reason for the transition from an initially parabolic to a linear scale growth. Oxide spalling or the loss of the specimen integrity, however, are not observed during the investigated time range. Other deviations from the parabolic behavior are realized only after the onset of total consumption of the tube walls. The observed reactions are terminated slowly by the final lack of oxidizing metallic matter.

Dimensional changes of serious extent are occurring. Their technical relevance, however, can only be judged on the basis of the design criteria of the respective core structure.

The oxidation products differ in one essential item: ZrO_2 is melting as high as $2700^{\circ}C$, whereas the iron oxides already melt at about $1500^{\circ}C$. At temperatures higher than those chosen here as reaction temperatures, the steels and their oxides would thus form molten phases.

Plans for future work

Investigation of the material No. 1.4914 at $600-900^{\circ}C$ in the solution treated condition.

06.01.17/14A Investigations of the Mechanical Behavior of Cladding
PNS 4244 Material for APWR
(C. Petersen; IMF II)

Work performed

Performance of tensile creep tests on 1.4970 steel.

Results obtained

It was not possible to operate the tensile test machines with high vacuum furnaces to perform the tests planned for the period of reporting on account of inadequate quality of the cooling water.

Plans for future work

Continuation of the tensile tests and tensile creep tests. Verification of existing failure models with a view to their application to the materials to be investigated.

PNS-Subproject 4300 - Investigation and Control of LWR Core-Meltdown
Accidents

06.01.11 Reaction Behavior, Activity Release and Transport of
 Fission Products during Core-Meltdown

06.01.11/26A Investigations on the Interaction of Fission Products
PNS 4311 and Aerosols in LWR-Containments
 (H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck, LAF I)

Work performed

The NAUA-code was revised to save computation time by avoiding all unnecessary double calculations of parameters. Especially the time consuming calculation of the particle coagulation could be simplified without giving up the discretisation to the particle size. Doing this work the influence of the machine accuracy on the results was investigated too.

The NAUA-code was transferred to Stone & Webster, Boston, USA, who participate in the ANS-Source-Term-Study. The calculations will be carried out in cooperation with the KfK. Some changes had to be inserted into the code for the special purpose of the study.

Preliminary aerosol generator tests with a small unit have been finished. A proposal for the construction of the large unit was made to KWU.

During the leakage test of the model containment BF, EIR, KfK and KWU will participate with different measurement apparatus. LAF I developed a method for the direct measurement of the steam-air-composition of the containment atmosphere.

The calorimeter for measuring the droplet concentration in the containment atmosphere is being developed at the University of Karlsruhe.

Results obtained

The computation time of the NAUA-code could be reduced by a factor of 2 for all cases without steam condensation. Comparing results achieved on the one hand with single precision and on the other hand with double precision it was found that no systematic difference occurs even after

several thousand time steps. The difference is usually in the order of about 1 to 3 %.

About 20 aerosol production tests with the small plasma torch unit were successful. The tests were carried out in normal atmosphere and in steam saturated atmosphere at temperatures $> 100^{\circ}\text{C}$ using different powder species of Ag, Fe and Sn.

The necessary mass concentrations were easily reached with Fe and Sn. No influence of the steam atmosphere on the production process was noticed.

Powders with grain sizes of $< 10\ \mu\text{m}$ gave the best results, the feeding of such fine powders is difficult, however. Special attention has to be paid for the powder feeders for the large generator units.

The aerosol losses in the transport pipe from the generator to the containment were assessed. Additional steam is needed to increase the transport velocity and to keep losses low.

The leakage test of the model containment find to be postponed until september due to problems with the facility.

The delay is utilized to improve the methods for measuring the leak rate. Also, the construction of the calorimeter for measuring the droplet concentration can be finished. The calorimeter will then be tested during the leakage test.

Plans for future work

The leakage test will be carried out in September. The aerosol generator will be tested and will be put into operation this year.

In parallel the precalculations of the experiments will be performed with the codes NAUA and COCMEI. To do this a linking module between the two code has to be developed. The NAUA-code has to be extended by a module describing the diffusiophoresis.

The main experiments will be started at the beginning of 1984. At this time the whole measuring technique will be ready after being tested and calibrated in the LAF I.

06.01.11/27A Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at
PNS 4314 Core Melting Conditions
(A. Skokan, V. Schauer, Ch. Braun, K. Biemüller,
H. Janzer, G. Reiser, G. Schlickeiser; IMF I)

Work performed

- The investigation of the interaction between steel melt and high density concrete (containing iron oxide) was continued. Laboratory scale interaction tests were performed and the released gases were analyzed.
- The experimental investigation (annealing and melting tests) of the phase relations in the ternary U-Zr-O system at temperatures between 1500 and 2000°C was continued.

Results obtained

- The following gas species were analyzed during the interaction tests:
 - a) H₂, H₂O, CO, CO₂: from the concrete and by chemical reduction due to interaction with the metallic melt;
 - b) Ar: carrier gas;
 - c) N₂, O₂: air, released from the concrete pores;
 - d) CH₄ and other high-molecular hydrocarbon compounds: formed by chemical reaction between hydrogen and carbon monoxide.
- The phase relations in the ternary U-Zr-O system at 1600 and 1800°C and in the ternary join UO₂-Zr at temperatures between 1500 and 2000°C were roughly determined.

Plans for future work

- Continuation of the investigations in the U-Zr-O system.
- Further fission product release tests on burnt-up LWR fuel at different heating rates.
- Further experiments on the interaction between steel melt and high-density concrete.
- Examination of thermite melt samples.

06.01.11/28A Experimental Determination of Fission and Activation
PNS 4315 Product Release During Core Meltdown Accidents
(H. Albrecht, H. Wild; IRCH)

Work performed

- a) The chemical and physical behavior of iodine and cesium was investigated by performing release experiments with fissium samples in which these fission products were contained in varying chemical forms, such as HIO_3 , Cs_2CO_3 , and CsI . Additional tests were carried out to determine the amount of water insoluble AgI which is formed by interaction of the released iodine with silver evaporated from the Ag-In-Cd control rods. For this aim the solubility of the precipitates on the walls of the aerosol transport line and on the glass fiber filters were examined with respect to solubility in water (70°C) and sodium thiosulphate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
- b) The experiments on fission product release during melt/concrete interaction were for the present brought to an end after evaluation of the second test.
- c) Additional experimental arrangements for investigating the deposition of I, Cs, and Te on hot stainless steel surfaces ($300 \dots 800^\circ\text{C}$) were developed and partly tested.

Results obtained

- a) CsI was found to be thermodynamically stable up to at least 2000°C inside the fuel; it is possible, however, that it decomposes directly after the release at ambient temperatures $\geq 1500^\circ\text{C}$ and by the influence of H_2 and steam. Iodine may then react with released silver or recombine with cesium at lower temperatures ($\leq 1200^\circ\text{C}$).
- b) The release of I and Cs from fissium containing HIO_3 and/or Cs_2CO_3 occurs at temperatures about 300°C less than from fissium containing CsI . That means: the thermal decomposition of Cs_2CO_3 and HIO_3 does not lead to a substantial formation of CsI within the fuel.
- c) As a result of the solubility tests it was found that $25 \pm 3\%$ of the released iodine was insoluble in water but soluble in $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. This fraction was interpreted to be AgI .

d) From the release tests during melt/concrete interaction it was found that during the first 2-3 minutes (where the interaction was very violent) the release rates of Te and Ag were on the order of 10%/min. The maximum release rate of Sb was 1.1%/min, that of Mo and Ru was 0.015%/min and 0.0014%/min, respectively.

Plans for future work

- Determination of gaseous iodine species under varying experimental conditions.
- Investigation of the interaction between fission aerosols and hot stainless steel surfaces (see 1c).
- Development of a realistic experimental procedure for investigation of the Ag/I interaction in the core region.

06.01.12 Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete

06.01.12/25A Erosion of Concrete by Steel Melts Investigations

PNS 4325 of the Melt Front Velocity

(S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K.P. Wallenfels; IT)

Work performed

In the reporting period the data processing facility was installed in the BETA control room and measuring cables laid from the control room to the experimental hall. Four crucibles of BETA size were instrumented. Each crucible contains 108 thermocouples and 16 humidity detectors.

48 thermocouples were used in the bottom of the crucibles and 60 in the walls.

Results obtained

During positioning of the detectors in the BETA crucibles it was necessary, due to the larger dimensions (about 3 m in height, 1.2 m diameter, 5 tons of concrete), to adjust the glass rod frames to the greater loads.

The contact points were made elastic by replacing the solid glue with an elastic glue and securing it with an additional nylon thread. The contact points between glass and crucible core were likewise constructed with elastic elements. For the production of a large number of glass rods the possibility to connect the glass rods by melting is checked. In addition, the possibility of checking the intact state of the glass rods by light, and to cover the rods with an elastic cover is investigated.

Plans for future work

After completion of the BETA facility the functioning of the measurement methods in strong induction fields will be checked with the finished crucibles. Afterward, the final tests corresponding to the test program can begin.

06.01.12/26A Experiments on the Interaction between Steel Melts and
PNS 4323 Concrete

(D. Perinić, R. Döbele, W. Egry, H. Gutzeit, M. Hespeler,
W. Höhn, B. Kammerer, U. Kirchhof, W.D. Klotz, H. Lukitsch,
A.Mack, N. Paroth, G. Prokott, G. Sebold, K. Trautwein,
D. Zimmerlin; IT)

Work performed

Work relating to following items of research program has been carried on:

1. Concept, planning, construction of the BETA test facility
for experiments on the interaction of steel melts and concrete.
2. Development and acquisition of the measuring technology for the facility.
3. Planning, preparation, implementation and evaluation of preliminary
experiments.
4. Coordination of construction measures including the licensing procedure.

Results obtained

Ad 1: Assembly work in the areas of the capacitor banks, the power bus bar and the inductor with the shielding tank has been completed. The "cold" acceptance tests have been started. The acceptance tests for the cooling tower circuit, the elevating platform and the transport car have been carried out.

The immersion probe facility with the working platform is completely assembled and has been cold tested. The offgas system has been ordered. After installation of the offgas duct the "hot" acceptance tests can be started probably in early 1984.

Ad 2: The control console has been equipped, electrically checked and set up in the control room. The 19["]-consoles in the control room and distributor and measurement amplifier consoles in the hall have been fitted and set up. The consoles in the control room have been interconnected by cables and also hooked up with the control proper. Shielded cable ducts in the hall have been installed. In the control room, various signal lines have been put in place (soldered connections). Most of the power supply and measurement cables between the hall and the control room have been run. Some of the measurement transformers and transducers have been installed,

and so have been the cooling water pipes, which are required in some cases. Installation of the optoelectronic crucible monitoring system has been completed.

Ad 3: In the first six months of 1983, one experiment was carried out with a BETA crucible. 600 kg of R70/SSH thermite were ignited in the crucible. An exhaust gas pipe of 1 m length had been connected to the exhaust flange of the hood. The discharge of the melt separator was simulated. In this (B1) experiment, a ceramic gasket cord between the crucible and the hood was tested for use in the BETA facility. Spring balances (5 and 10 to crane type balances) and chain hoists were used to generate an adhesion pressure force of 8 kN, corresponding to a BETA facility, and the increase during the test was measured. A metal form (negative mold) was made to prepare the crucible supports, coated with fiberglass and furane resin on the inside and then filled with high density concrete. The bottom part of the crucible support was made of austenitic steel. The support was fitted with fiber optical light guides for indication of crucible breaks and then installed in the facility.

Two crucible protection pipes made of asbestos cement and fiberglass reinforced plastic material were ordered. The pipes are sealed relative to the crucible hood by means of formed Viton rings pressed pneumatically against their seats.

So far four crucibles complete with their instrumentations have been produced for acceptance tests.

Ad 4: After completion of all construction lots largely on time, the required acceptance work by the Technical Inspectorate (TÜV) for the general electric power supply system, the earthing system and the hoisting facility of the flue gas system has been carried out. In addition, functional acceptance tests were made of the in-house supply facilities: heating, ventilation, hygiene and electrical engineering, and these systems were taken over by the respective maintenance and repair units. Some jobs still to be finished, such as putting the cover on the hall floor, repair work etc., can be done only after completion of the assembly of the technical process system.

Plans for future work

Continuation of work on 1, 2, 3, and 4.

06.01.12/27A Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction
PNS 4331 of a Core Melt with Concrete
(M. Reimann, S. Stiefel; IRB)

Work performed

- Development of the modelling of the heat transfer in connection with the transient crust growth
- Implementations of the models in WECHSL
- Programming work for the iodine model

Results obtained

The freezing phenomena of the melt have a strong feedback on the heat transfer. From the beginning formation of crusts till to the existence of a completely frozen melt layer, a number of different and rather complex situations are passed through. The growing crusts are at first thin skins which flow with the movements of the melt layer. Thus, the driving mechanism of the gas bubbles on the convective motion inside the molten pool is not influenced considerably. With increasing thickness, the crust is stabilized and it ends up finally as a solid wall. For a thick solid crust with transient heat conduction, the following possibilities exist in principle for the heat transfer mechanisms, each between the molten pool and the inner side of the crust and between the outside of the crust and the concrete:

- * discrete bubble model - crust permeable for gases - film-model
- * discrete bubble model - crust permeable for gases - two-phase model
- * natural convection - crust impermeable for gases - two-phase model

The separate models have been developed in different research programs, at last the two-phase model (PNS 4334) where the gap between the crust and the concrete is filled by molten concrete decomposition products and gas bubbles. It is still an open question at what crust thickness a transition from one heat transfer mechanism to another occurs. These transitions depend

certainly on the freezing properties of the material. Thus, a metal crust will be earlier gas tight than a porously freezing oxide crust. However, this question may be solved at one hand by model experiments and on the other hand by the calculation of those relevant BETA experiments with partially frozen layers. In connection with the transient heat conduction in the concrete, it will be possible to predict the long term behavior of the core melt in real reactor dimensions.

Plans for future work

- Development of physical models
- Computation of simulation experiments.

06.01.12/28A Development of Models for the Analytical Determination of
PNS 4334 Core Meltdown Accidents
 (H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Work performed

- Experiments on heat transfer and fluid flow in simulated core melts with existing crusts.

Results obtained

Several hours after contact of the core melt with the concrete basement solidification of the melt begins in the regions close to the concrete with the consequence of a significant reduction of heat transfer, melt front propagation rate, and gas release. Solidification starts with the formation of thin crusts which have only small influence on the transport processes. With growing thickness the crust at the vertical and subsequent at the horizontal surfaces becomes more and more impermeable for gases and liquids thus suppressing the gas flow through the melt. For longer times the melt is solidified in such a way, that all gases released from the decomposing concrete pass the melt through the gap between concrete and melt crust.

In this situation, the solidified melt may penetrate into the basement when the temperature of the crust is higher than the melting temperature of the concrete. In this case, the gap between crust and decomposing concrete is filled with silicious melt. Heat transfer from the core material to the

concrete through the gap is largely enhanced by the agitation of the gas bubbles in the gap, generated from the decomposing concrete. A generalized dimensionless heat transfer relation has been determined from experiments for this heat transfer problem. As the flow in the gap is characterized by boundary layers close to the walls, heat transfer is largely independent of the gap width. The injection of gas from the sidewall of the gap increases gas flow rate and Reynolds number with the gap height. As proved by the experiments heat transfer may be described by integration of the heat transfer relation.

Plans for future work

Assessment of the applicability of heat transfer relations in the presence of crusts.

Long time behavior of crusts.

Preparation of BETA-experiments.

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS

PNS-Subproject 4400 - Improvement of Fission Product Retention and
Reduction of Radiation Load

06.01.14 Offgas Filters in Nuclear Power Stations

06.01.14/16A Determination of the ^{131}I Species in the Exhaust Air
PNS 4414 of Boiling Water Reactors
(H. Deuber; LAF II)

Work performed

Start of continuous operation of radioiodine species samplers in the stack exhaust and in individual exhausts of a boiling water reactor (BWR 5).

Results obtained

From the measurements evaluated so far, the following conclusions can be drawn for power operation:

In the stack exhaust the percentage of the radiologically decisive elemental ^{131}I was higher than that of the organic ^{131}I . The exhaust from the turbine building contributed most of the elemental ^{131}I released to the environment.

Plans for future work

Continuation and termination of the measurements with radioiodine species samplers in BWR 5 after a measurement time of 1 year.

06.01.14/17A Development and Improvement of Exhaust Air Filters
PNS 4415 for Accident Conditions
(H.G. Dillmann, H. Pasler, R. Maier, H. Schmitt; LAF II)

Work performed

Since at present the input data for the NAUA code to be applied to core meltdown accidents are being discussed, the computations have been interrupted for the time being. However, it appeared that the challenges of a vent air filter system are lower than the values previously used in the computations. Since the results of the initial computations are considered to be perfectly controllable by a post-accident vent air filter system, the development has provided reserves.

The investigations into metal fiber filters were carried on. The first experiments were performed on 2 μm fiber filters exposed to vapor at 145°C and 1 bar. On account of problems encountered in sampling under vapor the sampling technique was further developed.

The aerosol spectrometers for the determination of the removal efficiency as a function of the fiber and particle diameters were tested. A program of evaluation was formulated and tested.

The investigations of ceramic fiber filters were carried on.

Results obtained

The first experiments have so far shown a removal behavior similar to that of air as the medium. Difficulties were encountered in sampling. Major expansions and conversions had to be performed. The program elaborated with a view to examine the capability of dust storage was tested on-line using the aerosol acquired for this purpose. The program operates without trouble.

Grade S quality was attained or even exceeded with the ceramic fiber filters.

Plans for future work

Work will continue with new input data as soon as reliable values have been obtained from working programs under way.

The investigations of metal fiber filters exposed to vapor will be continued.

It is intended to examine the all-metal roughing filters with a view to their removal efficiency and capability of dust storing as a function of the different fiber and particle diameters.

Likewise, the study will be continued of ceramic fibers to be used in hot gas filtering.

06.01.14/18A Investigations into the Behavior of HEPA-Filters at High
PNS 4416 Temperature, High Air Humidity and Elevated Differential
Pressure
(V. Rüdinger, Th. Arnitz, U. Ensinger, C.J. Ricketts,
U. Geckle, G. Trippel; LAF II)

Work performed

The development of the method for aerosol mass concentration measurement was concluded with the improvement of the method for solubilization and the optimization of atomic absorption spectroscopy analysis. In addition to the elements tested earlier, the suitability of Ca and Cr was investigated. Design of a filter test rig to be built for proving the newly developed procedure and for comparative measurements with three standard procedures at ambient conditions was completed.

Within the framework of the humidity test program four more HEPA filters were tested during some 150 h each.

Test series no 4 at the facility of the Los Alamos National Laboratory for investigations into HEPA filter structural limits under ambient conditions was prepared. Execution of the test program has begun.

Detailed design of the new filter test facility BORA was completed. Fabrication of the components is in progress. Final solutions for R+D measurement methods, data recording and reduction as well as for the two systems for optical recording are being worked out. Calculations on gas dynamics of the BORA facility were started.

Results obtained

As a result of the improvements and optimizations, aerosol masses of 500 ng VC/nuclepore filter and 100 ng TiO_2 /nuclepore filter can be determined with high accuracy so that decontamination factors as high as 10^4 can be measured.

In spite of high detection sensitivities Ca and Cr are not suitable, due to high ambient concentrations and relatively content in nuclepore filters, respectively. Preparations for the construction of the filter test rig were initiated.

The latest tests have confirmed, that with extended exposure to air with high moisture content, especially to fog, high differential pressures at design flow rate develop. As a consequence both new and preloaded filters in general showed severe structural damage.

The HEPA filter tests are in progress.

The construction of the test facility BORA is for the most part on schedule. Various solutions of R+D instrumentation and video/cinematographic recording were worked out. The computer program TVENT of LANL was extensively modified and the new version successfully tested.

Plans for future work

The new efficiency test procedure suitable for accident conditions will be proven under ambient conditions, respectively with TiO_2 - and VC-aerosols and also checked against standard test procedures. Investigations into possible chemical reactions of the aerosol substance during passage through the plasma and also into agglomeration behavior at high particle concentrations are foreseen. The filter test rig will be constructed and put into operation.

The filter tests with high relative humidity air will be continued using the filter test facility TAIFUN. The instrumentation will be augmented with the addition of an instrument for the measurement of the water droplet content of the test air. The calibration and optimization of the infra-red absorption instrument for the measurement of humidity will be begun.

The test series will be completed. The data reduction will be done together with that remaining from the third test series.

The construction of the test facility BORA including assembly and transfer to KfK should by year's end be completed. The remaining R+D instrumentation data reduction and video/cinematographic registration will be purchased or developed. With the aid of the modified computer program TVENT the test facility BORA will be modelled in order to predict the control valve timing, which will allow the generation of desired pressure transients at the test filter.

06.02 SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS

PNS-Subproject 4500 - Safety of the Reprocessing

06.02.01 Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant

06.02.01/10A Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant

PNS 4513

(Extraction)

(K. Nagel, S. Fenyi, G. Weber, H. Wenzelburger; IDT)

Work performed

- Iodine released during dissolution in a reprocessing plant as well as the decrease of the off-gas temperature caused by failure of a heater have been modelled time-dependent.
- Based on new experiments the decontamination factor of a wave plate droplet separator has been described in more detail.
- Adsorption of Xe and Kr by ADAMO could be demonstrated in time-dependence by mathematical functions.
- For the release of iodine in PASSAT on the basis of the relevant states of the system Markov-renewal processes have been mathematically formulated (using 3 to 6 state classes).
Here for the release as a first approximation a linearized but unbiased and for the exact theory a monotone approach has been used.

Results obtained

- The time-dependent release of iodine is based on results of WAK (reprocessing plant Karlsruhe). In this case maximum of released iodine will be reached within the first hour, afterwards a slowly decreasing release occurs. The change of the off-gas temperature of one or both heaters can be described by exponential functions.
- The decontamination factor of the wave plate droplet separator was modelled dependent of flow rate and droplet diameter.
- Adsorption of krypton and xenon on silicon gel and molecular sieve can be described time-dependent using analytical functions.

- In a simple model of PASSAT for the first failure the average amount of released iodine (which was until now only known as simulated numerical value) could be confirmed by an analytical evaluation.

Plans for future work

- Time-dependent modelling of the following units: KRETA and REDUKTION.
- Improvement of existing models.
- Checking input data for PASSAT (failure rates for heaters etc.) and improvement of estimators using the Bayesian method.
- Further numerical evaluation of stochastic (simulative or analytic) models for release of iodine in PASSAT. Main emphasis: Prediction for medium and longtime intervals of the release of iodine using Markov-renewal models (this is not restricted to the first failure).

06.03 MITIGATION OF CONSEQUENCES

PNS-Subproject 4800 - Behavior, Impact and Removal of Released

Nuclear Pollutants

- 06.03.01 Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness
- 06.03.01/09A Investigation of the Physical and Chemical Environmental
PNS 4812 Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness: Pu, Am, Cm, and Np
(H. Schüttelkopf, M. Pimpl, W. Schmidt, G. Hefner, J. Hiller; HS)

Work performed

- The development of an analytical procedure for the determination of Np in parallel to Pu, Am, and Cm was continued.
- The releases of Pu with gaseous and liquid effluents of the Karlsruhe reprocessing plant were measured monthly.
- Experiments were continued to increase the mobility of actinides in soil columns.
- The measurement of transfer factors soil to plant was started up for Pu, Am, Cm, and Np in a green house.
- Investigations on the field of conventional soil analysis were continued.

Results obtained

- With ^{239}Np as a tracer an analytical procedure was developed which allows the determination of Np in environmental samples in parallel to Pu, Am, and Cm. The decontamination factors for other alpha emitters must be proved, before the procedure will be applied to environmental samples containing ^{237}Np .
- In total, 20 soil columns of 30 cm diameter and 80 cm of length were taken undisturbed at 9 locations of different soil types, which were important for agricultural use. After the columns had been installed in a greenhouse, they were irrigated with distilled water according to 750 mm rainfall/year, until soil physical conditions were constant. Migration experiments can now be started.

- The preliminary work to evaluate special cultivation technics for growing plants on contaminated soils are terminated. For all plants to be cultivated in the greenhouse, suitable climatic conditions were proved and established. The measurement of the soil to plant transfer of Pu, Am, Cm, and Np was started up on two soils - a chalky soil and a weathered granite. Wheat, corn, and potatoes were sown in 3 types of containers of different volume on contaminated soils. The mean level of contamination is 200 pCi/g for Pu and Am. The contamination with Np and Cm is lower up to a factor of 5. Crops are grown in pots filled with 8 kg soil with 0,035 m² surface area, as well as in containers of 0,6 m² surface area filled with 250 kg soil from the top soil layer 0-30 cm. In addition lysimeters of 0,5 m² surface area were used in which the soil is present in undisturbed layers. In this lysimeters only the top soil layer 0-20 cm was contaminated with Pu, Am, Cm, and Np. After the first harvest in all these pots, containers, and lysimeters a crop rotation used in agricultural practice will be done. At the moment other soils are prepared for the measurement of the soil to plant transfer.
- A procedure to measure continuously the redox-potential in soils with special electrodes was proved and established. The variation of the redoxpotential during one growing season will be measured in a chalky soil on which corn is cultivated.

Plans for future work

The monthly measuring of the releases of Pu from the Karlsruhe reprocessing plant and the determination of the actinide concentrations in the environment of this plant will be continued as well as the experiments to increase the mobility of actinides in soil and the work on conventional soil analysis. The measuring of transfer factors will be continued and extended.

06.03.01/10A Microbiological Influences on the Mobility and
PNS 4813 Bioavailability of Radionuclides in Soils and Sediments
(S. Strack, A. Müller; HS)

Work performed

- Beginning in March 1983 soil samples were regularly collected at the reference point from the humus layer with the highest density of living organisms and the quantitative (number of living germs) and qualitative (distribution of species) occupancy by micro-organisms was determined. Sampling as well as the method of indirect determination of the number of germs (surface plating) were standardized.
- Laboratory tests were performed to measure the migration rate of ^{14}C -labeled amino-acids on artificially packed and irrigated, sterilized soil columns and on soil columns both sterilized and inoculated with fresh soil material, respectively.
- It was examined whether the biochemical methods currently used in the determination of the metabolic activity of the microflora in agricultural soils (especially arable soils) can be equally applied to the soil material to be investigated: CO_2 -release, colorimetric determination of the dehydrogenase activity.
- The investigation was continued of conditioned soil samples labeled with ^3H and ^{14}C , respectively, using micro-autoradiography combined with fluorescence microscopy.

Results obtained

- During the period of observation from March until June the population density per gram of soil showed with rising soil temperature the expected increase in reproductive metabolically active germs (total number of living cells). At the same time a shift of the composition of species in favor of fungi and streptomycetes was observed which was promoted by the pH 4.1 of the soil. The most abundant representatives of the systematic groups were isolated and kept in a bench of strains.
- Column test: An evaluation of the percolation experiments performed in the soil columns by measurement of the eluate in the LSC was ruled out on account of the high maximum water capacity of the soil rich in humus.

Work is under way to develop a suitable autoradiographic method allowing to detect the spatial distribution of the radionuclides deposited.

- The current investigations into the fine distribution of the nuclides in the matrix of the soil by means of fluorescence microscopy and micro-autoradiography (stripping film) were continued. Blackening in the film layer was attributed to metabolically active cells labeled with ^3H and ^{14}C . Efforts are being taken to improve the experimental procedure because in tests involving ^{14}C compound a clear attribution in terms of space to the individual cells has not been detected.

Plans for future work

Development of advanced autoradiographic techniques and setup of suitable percolation apparatuses. Performance of experiments involving ^{125}I .

06.03.03 Investigation of the Radiological Impact of Reactor
Accidents under Probabilistic Aspects

06.03.03/11A Consequence Model of the German Reactor Risk Study,
PNS 4832 Phase B
(W. Hübbschmann, S. Vogt, P. Wittek; HS)

Work performed, Results obtained

Under the Phase B of the German Reactor Safety Study an improved model of precipitation description and washout has been developed and implemented. Especially by the application of more realistic washout coefficients the number of early fatalities has been considerably decreased.

Plans for future work

The research work under the Phase B of the German Reactor Safety Study is contracted up to the middle of 1983. It will be followed by the development of a methodology for evaluating the radiological consequences of radioactive effluents released in accidents.

06.03.03/12A Improvement of the Consequence Model. Phase B
PNS 4831 of the German Reactor Risk Study
(A. Bayer, K. Burkart, J. Ehrhardt; INR)

Work performed, Results obtained

Within the repeat period the following investigation have been performed

- Final investigations for the international comparison of offsite consequence models (OECD)
- Investigations on a submodel concerning the exposure via the "water-pathway"
- Accident consequence calculations and risk assessments with the modified computer code UFOMOD/B3
- Development of computer codes for the calculation and graphical presentation of individual and collective radiation doses and probabilistic aspects.

Plans for future work

Submodels of the offsite consequence model will be reevaluated and more recent characteristic data will be implemented.