

KfK 2800
Februar 1980

Projekt Nukleare Sicherheit

Halbjahresbericht 1979 / 1

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 2800

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

15. Halbjahresbericht / 1. Halbjahr 1979

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

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 15. Halbjahresbericht 1979/1 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. Detaillierte Beiträge zu allen Vorhaben finden sich in Primärberichten, die in dem anhängenden Verzeichnis aufgeführt sind. Auf den dort erläuterten Verteilermodus wird hingewiesen.

Der Bericht wurde von der Projektleitung zusammengestellt.

NUCLEAR SAFETY PROJECT

FIRST SEMIANNUAL REPORT 1979

The 15th semi-annual report 1979/1 is a description of work within the Nuclear Safety Project performed in the first six month of 1979 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.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Berichtsbeiträge in deutscher Sprache	1-53
Translation of the German reports	55-109
06.01 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW	
PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktor- komponenten unter Störfallbedingungen	1
06.01.01 HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Beanspruchung von Reaktoreinbauten	1
06.01.01/03A Auslegung, Vorausberechnung und Auswertung PNS 4115 der HDR-Blowdown-Experimente zur dynamischen Belastung und Beanspruchung von Reaktordruck- behältereinbauten	1
06.01.01/04A Meßtechnische Erfassung und Auswertung des PNS 4116 dynamischen Verhaltens der Versuchseinbauten im Reaktordruckbehälter (RDB) des HDR im Rahmen der HDR-Blowdown-Versuche	2
06.01.02 Entwicklung und Verifizierung von Codes zur dynamischen Beanspruchung von RDB-Einbauten	3
06.01.02/03A Weiterentwicklung und Verifizierung von Fluid/ PNS 4125 Strukturdynamischen Codes zur Analyse der Be- anspruchung von RDB-Einbauten beim Blowdown	3
06.01.02/04A Laborversuche zur Abstützung von fluid-struktur- PNS 4126 dynamischen Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühlmittelverluststörfällen	5
06.01.02/05A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes PNS 4127 zur Analyse der dynamischen Spannungen und Ver- formungen von LWR-Containments bei Kühlmittel- verluststörfällen	6
06.01.03 Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom-Meßver- fahren und Anwendung bei den Blowdown-Experimenten	7
06.01.03/05A Entwicklung eines Radionuklidmeßverfahrens zur PNS 4136 Massenstrommessung in instationären Mehrphasen- strömungen	7

	<u>Seite</u>
06.01.03/04A + /07A PNS 4137 PNS 4139	Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren verschiedener Zweiphasen-Massen- strom-Meßverfahren 7
06.01.03/06A PNS 4138	Entwicklung und Bau eines True mass flow meters, $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$ 11
PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen	12
06.01.04	Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zur Beschreibung des Brennelementverhaltens (SSYST) 12
06.01.04/06A bis 09A PNS 4231	Theoretische Untersuchungen zum Brennstabver- halten beim Kühlmittelverluststörfall 12
06.01.04/10A PNS 4234	Bestimmung der Nachzerfallswärme der Spalt- produkte von ^{235}U im Zeitbereich 10 - 1000. sek. 14
06.01.06	Materialverhalten von Zircaloy bei Reaktor- störfällen 16
06.01.06/06A PNS 4235.1	Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Zircaloy-Hüllmaterial 16
06.01.06/07A PNS 4235.2	Untersuchungen zur Hochtemperatur-Wasserdampf- Oxidation an Zircaloy-Hüllrohren 18
06.01.06/08A PNS 4235.3	Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffes und von Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften von Zry-Hüllrohren bei Störfall- transienten 20
06.01.06/10A PNS 4235.4	Berstversuche an Zircaloy-Hüllrohren unter kombi- nierter mechanisch-chemischer Beanspruchung (FABIOLA PROGRAMM) 23
06.01.07	Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittelverluststörfalles 24
06.01.07/03A 06.01.07/04A PNS 4236.1/2	Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten Blowdown-Bedingungen (COSIMA-Programm) 24

	<u>Seite</u>	
06.01.08	In-pile Experimente im DK-Loop des FR2	25
06.01.08/02A PNS 4237.1	Untersuchungen zum Brennstabverhalten in der 2. Aufheizphase eines Kühlmittelverlust- störfalles	25
06.01.09	Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles	28
06.01.09/02A PNS 4238	Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zirkaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung (REBEKA-Programm)	28
06.01.10	Auswirkung von Kühlkanalblockaden auf die Kern- notkühlung	31
06.01.10/02A PNS 4239	Untersuchungen zum Einfluß der Größe und Form von Kühlkanalblockaden auf die Kernnotkühlung in der Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles (FEBA-Programm)	31
PNS-Teilprojekt 4300	Ablauf und Beherrschung von LWR-Kern- schmelzenunfällen	33
06.01.11	Reaktions-, Freisetzungs- und Aerosolverhalten beim Kernschmelzen	33
06.01.11/05A PNS 4311	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltpro- dukten und Aerosolen in LWR-Containments	33
06.01.11/06A PNS 4314	Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien beim Coreschmelzen	34
06.01.11/07A PNS 4317	Materialkundliche Untersuchungen im Rahmen der BETA-Experimente	35
06.01.11/08A PNS 4315	Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kern- schmelzen	36

VIII

	<u>Seite</u>	
06.01.12	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen mit Beton	37
06.01.12/04A PNS 4325	Ausbreitung von Stahlschmelzen in Beton . der Schmelzfrontausbreitung	37
06.01.12/06A PNS 4323	Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen und Beton - Versuchsanlage BETA	39
06.01.12/07A PNS 4324	Planung und Bewertung der BETA-Experimente	41
06.01.13	Modellentwicklungen zur analytischen Beschreibung von Kernschmelzenunfällen	42
06.01.13/04A PNS 4331	Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechsel- wirkung einer Kernschmelze mit Beton	42
PNS-Teilprojekt 4400 -	Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung und Reduktion der Strahlenbelastung	43
06.01.14	Abluftfilterung an Reaktoren	43
06.01.14/05A PNS 4414	Bestimmung der Iodkomponenten in der Abluft kern- technischer Anlagen	43
06.01.14/06A PNS 4415	Untersuchung des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter Störfallbedingungen	44
06.01.14/07A PNS 4416	Abluftfilterung an Reaktoren (Alterung und Vergiftung von Iod-Sorptionsmaterialien)	46
06.02	SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEITUNGS- ANLAGEN	47
PNS-Teilprojekt 4500 -	Sicherheit der Wiederaufarbeitung	47
06.02.01	Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs- anlage (WA)	47
06.02.01/03A PNS 4511	Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs- anlage (Explosion)	47

	<u>Seite</u>
06.02.01/04A Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs- PNS 4513 anlage (Extraktion)	49
06.03 EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN	50
PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkungen und Beseitigung freigesetzter nuklearer Schadstoffe	50
06.03.01 Untersuchung des physikalischen und chemischen Ver- haltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	50
06.03.01/04A Untersuchung des physikalischen und chemischen Ver- haltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide PNS 4812 in der Umwelt. Pu, Am und Cm.	50
06.03.02 Untersuchung zum Ausbreitungsverhalten nuklearer Schadstoffe im Nah- und Fernbereich	51
06.03.02/04A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radio- aktiver Gase im regionalen Bereich (über 15 km PNS 4822 Entfernung)	51
06.03.02/05A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radio- aktiver Gase im lokalen Bereich (bis 15 km Entfer- nung) bei Emissionshöhen \geq 100 m PNS 4823	52
06.03.02/06A Ausbreitungsmodelle für besondere meteorologische PNS 4824 Situationen	53

Anhang:

Veröffentlichungen und Primärberichte zu Arbeiten im 1. Halbjahr 1979

BERICHTSBEITRÄGE IN DEUTSCHER SPRACHE

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktorkomponenten

06.01.01 HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Beanspruchung von Reaktoreinbauten unter Störfallbedingungen

06.01.01/03A Auslegung, Vorausberechnung und Auswertung der HDR-Blowdown-
PNS 4115 Experimente zur dynamischen Belastung und Beanspruchung von Reaktordruckbehältereinbauten
(U. Schumann, E. Erb, F. Eberle, J. Kadlec, F. Katz, R. Krieg, K.H. Lang, A. Ludwig, H. Mösinger, W. Olbrich, P. Philipp, E. Wolf, IRE)

Durchgeführte Arbeiten

- a) Die Schwingungsversuche ("Snapback-Experimente"), mit deren Hilfe die wesentlichen Eigenfrequenzen und weiteren Parameter des Kernmantels in Luft und Wasser bestimmt werden sollen, wurden weiter vorbereitet. Hierzu wurden die Spannvorrichtung beschafft und die Instrumentierung bestellt. Der Aufbau des Versuches und seiner Parameter wurde dokumentiert. Die begleitenden Rechnungen wurden im Detail spezifiziert und begonnen. Wegen anderer Versuche am HDR wurde die Durchführung dieser Snapback-Experimente verschoben.
- b) Die Paßstücke für die Einspannung des Kernmantelflansches wurden ausgelegt und die Stoffwerte des Kernmantels ermittelt.
- c) Um gerechnete und gemessene Ergebnisse einheitlich verarbeiten zu können, wurde ein System von Dateien und Rechenprogrammen bereitgestellt. Hiermit können Daten zwischen den Analyseprogrammen und der zentralen Meßwertfassungsanlage (ZMA) am HDR oder dem Dokumentationssystem (DOSYS) ausgetauscht werden.
- d) Für eine erste Serie (V29.1) von vorläufigen Blowdown-Versuchen am HDR, die vor allem dem Test der Versuchstechnik dienen sollen, wurde die Versuchsmatrix und der Meßstellenplan spezifiziert und die erwartete Temperaturverteilung vorausberechnet.

Erzielte Ergebnisse

Die Schwingungsversuche sind weitgehend vorbereitet. Mit den letztgültigen Vorausberechnungen der Schwingungs- und Blowdown-Experimente kann begonnen werden.

Geplante Weiterarbeit

Für die Schwingungs- und vorläufigen Blowdown-Versuche erfolgt die Abnahme und Kalibrierung der Instrumentierung. Die Spannvorrichtung wird auf einem Prüfstand getestet. Die vorläufigen Blowdown-Versuche werden letztgültig vorausberechnet. Diese Versuche, die voraussichtlich im Herbst 1979 durchgeführt werden, werden ausgewertet, so daß die folgenden, vollständig instrumentierten Blowdown-Versuche endgültig spezifiziert werden können.

06.01.01/04A Meßtechnische Erfassung und Auswertung des dynamischen
PNS 4116 Verhaltens der Versuchseinbauten im Reaktordruckbehälter
(RDB) des HDR im Rahmen der HDR-Blowdown-Versuche
(K.D. Appelt, F. Eberle, J. Kadlec, G. Lang, P. Philipp, IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Die Qualifizierungsuntersuchungen von Aufnehmertypen für die Messung der transienten Wege, Beschleunigungen, Drücke und Druckdifferenzen am HDR-Modellkernmantel wurden abgeschlossen [1]. Die für die Blowdown-Versuche V29.1 und V 29.2 benötigten Aufnehmer wurden bestellt; entsprechende Anlagen für ihre Abnahme und Kalibrierung wurden bereitgestellt. Die Abnahme und Kalibrierung der im Berichtszeitraum gelieferten Aufnehmern hat begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Die Resultate der Qualifizierungsuntersuchungen von zwei Wegaufnehmer-typen und zwei Beschleunigungsaufnehmertypen haben insoweit positive Resultate gebracht, daß diese Aufnehmer bei den Blowdown-Versuchen V29.1 und V29.2 berechtigt eingesetzt werden können. Im Falle der Absolut- und Differenzdruckaufnehmerprototypen wurden partielle Verbesserungen erzielt, die endgültige Qualifizierung wurde aber noch nicht erreicht.

Geplante Weiterarbeit

Abschluß der Abnahme und der Kalibrierung der Aufnehmer. Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der V29.1 und V29.2-Blowdown-Versuche. Fortsetzung der Qualifizierungsuntersuchungen der Absolut- und Differenzdruckaufnehmerprototypen.

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

06.01.02/03A Weiterentwicklung und Verifizierung von Fluid/Struktur-
PNS 4125 dynamischen Codes zur Analyse der Beanspruchung von RDB-
Einbauten beim Blowdown
(R. Krieg, E.G. Schlechtendahl, G. Hailfinger, A. Ludwig, IRE)

Durchgeführte Arbeiten, erzielte Ergebnisse

Die Code-Entwicklungen dieses Vorhabens zielen auf die Analyse der Blowdown-Beanspruchungen in Druckwasser-Reaktoren (DWR) ab. Da die HDR-Experimente als wichtigstes Mittel zur Verifizierung gegenüber DWR Vereinfachungen in Rand- und Anfangsbedingungen darstellen und die heute verfügbaren Codes in verschiedenen Teilbereichen auf diese vereinfachten Bedingungen zugeschnitten sind, wurde unter Einbeziehung von Informationen seitens KWU und GRS eine Studie zur Klärung der Übertragbarkeit auf DWR-Anlagen durchgeführt. Dabei wurden die in den Codes derzeit nicht berücksichtigten Effekte weitgehend quantitativ abgeschätzt. Wichtige Ergebnisse der Studie sind:

- Die dominierenden physikalischen Effekte (Wellenausbreitung, Strömung, Fluid-Strukturwechselwirkung) sind in den Codes erfaßt.
 - Die meisten nicht erfaßten Effekte beeinflussen die Ergebnisse hinsichtlich der Beanspruchung nach der Abschätzung nur im 20%-Bereich.
 - Im Hinblick auf das Globalverhalten erscheint es sinnvoll, nur noch die folgenden Modellanpassungen an DWR vorzunehmen
 - Anpassungsfähiges Strukturmodell des Kernmantels
 - Nachgiebigkeit des Reaktordruckbehälters
 - Einfluß der Reaktorkernstruktur
- zu einigen anderen Effekten (Zweiphaseneffekte, Nichtlineares Strukturverhalten)

sind getrennte Untersuchungen ohne Integration in das Globalmodell angebracht.

Zum Zweiphasencode DRIX-2D wurde die Dokumentation erstellt. Außerdem wurden Blindrechnungen zu Prallplattenexperimenten der HDR-Versuchsreihe durchgeführt. Die gemessene Druckkraft auf die Prallplatte weicht von der berechneten bis zu 20% ab. Die Abweichung wird noch untersucht. Mit dem Einsatz von DRIX-2D zur Klärung der Wechselwirkung zwischen den Brennelementen und dem umgebenden Wasser wurde begonnen.

Die Code CYLDY3 zur quasi-exakten Beschreibung der Schalendynamik des Kernmantels wurde so ergänzt, daß er die bei dem gekoppelten fluid-strukturmechanischen Rechnungen mit FLUX erforderlichen Steifigkeits- und Massenmatrizen zu liefern gestattet. Außerdem wurde damit begonnen, die Randbedingungen so zu verändern, daß an der oberen Kernmantel-Einspannung die Nachgiebigkeit des Reaktordruckbehälters berücksichtigt werden kann. Zur Behandlung von Kernmängeln mit axial abgesetzter Wandstärke wurde die Entwicklung des Codes CYLDY-F (finite Ring-Elemente) in Angriff genommen.

Zum Code STRUYA wurde die vollständige Dokumentation (Theoriebeschreibung und Handbuch) erstellt. Der Code FLUX wurde dahingehend modifiziert, daß er nun jeden beliebig linear-elastischen Strukturcode als Teilmodell für den Kernmantel verwenden kann, sofern nur dieser Strukturcode die Steifigkeits- und Massenmatrizen in geeigneter Form aufbereitet liefert. Es wurden mit FLUX verschiedene Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses von Konstruktionsvariationen (z.B. andere Wandstärken, Entlastungsklappen im Kernmantel) durchgeführt. Es wurde festgestellt, daß die Berücksichtigung der Verdampfung im Reaktorinnenraum im wesentlichen die lokale Beanspruchung des Kernmantels in Stützennähe (lokal stärkere Einbeulung) beeinflusst.

Geplante Weiterarbeit

Die Ergebnisse der Studie zur Übertragbarkeit der vorliegenden Codes auf DWR-Verhältnisse werden zu prüfen sein. Die weitere Codeentwicklung wird sich an diesen Ergebnissen orientieren.

Auf der Basis mit CYLDY3 ermittelten, sehr genauen Steifigkeits- und Massenmatrizen für den Kernmantel sind gekoppelte fluid-strukturmechanische Rechnungen mit FLUX durchzuführen. Das Ziel dieser Rechnungen ist die Ermittlung der Verformungen und der Beanspruchungen des Kernmantels. Der Code auf FEM-Basis für einen Kernmantel mit axial abgesetzter Wandstärke soll bereitgestellt werden.

Die Arbeiten zu STRUYA werden beendet. In FLUX werden neben CYLDY2 andere Strukturmodelle für den Kernmantel (CYLDY3 und ein Finite-Element-Modell) zum Einsatz kommen. Die Arbeiten zur Berücksichtigung von Strukturmodellen des RDB in FLUX werden begonnen.

06.01.02/04A Laborversuche zur Abstützung von fluid-strukturdynamischen
PNS 4126 Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühlmittelverluststörfällen

(R. Krieg, F. Eberle, G. Hailfinger, J. Kadlec, E. Wolf,
F. Kedziur, IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Auswertung der über hundert Laborexperimente zur Zweiphasenströmung mit der Düsenteststrecke wurde planmäßig weitergeführt. Mit wenigen Ausnahmen sind die aufgezeichneten Meßdaten einwandfrei zu verwenden. Eine große Zahl der Experimente wurde mit dem eindimensionalen Programm DUESE nachgerechnet. Der Vergleich zwischen Messung und Rechnung zeigt erneut die bereits früher festgestellte Abhängigkeit des Beschleunigungsdruckverlustes von der Dimensionalität der Rechnungen. Als weiteres Ergebnis ist ein deutlicher Trend im Einfluß der Modellparameter des Drift-Flux-Modells auf die Ergebnisse zu erkennen, so daß bei Abschluß der Auswertung fundierte Empfehlungen für die Wahl dieser Modellparameter in Abhängigkeit vom Strömungszustand zu erwarten sind.

Als ein erster Schritt zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Core-Struktur beim Blowdown wurden die Biegeschwingungen der Brennstäbe bei vorgegebenen horizontalen Fußpunktbewegungen abgeschätzt.

Für die Laborexperimente an einer dünnwandigen Zylinderschale mit und ohne Wasserfüllung mit periodischer Anregung für das Experiment a (stehende, oben offene Zylinderschale ohne und mit Fluidbeaufschlagung) wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse zeigen, ähnlich wie bei anderen Problemen in der gekoppelten Fluid-Strukturdynamik, einen starken, die Eigenfrequenzen erniedrigenden Einfluß der Fluidbeaufschlagung.

Geplante Weiterarbeit

Die Auswertung der Laborversuche zur Zweiphasenströmung wird bis Ende 1979

praktisch abgeschlossen werden. Schlußfolgerungen zur Wahl der Modellparameter des Dirft-Flux-Modells werden gezogen werden.

Aufgrund der gerade durchgeführten Abschätzungen (insbesondere zum dynamischen Verhalten der Core-Struktur beim Blowdown) wird geprüft, ob auf Laborexperimente vom Blowdown-Typ verzichtet werden kann.

Die Laborexperimente mit periodischer Anregung sind für den Typ a durchzuführen und mit den vorliegenden Vorausberechnungen zu vergleichen. Mit den Vorausberechnungen für andere Typen (z.B. stehende, oben geschlossene Zylinderschale oder liegende Zylinderschale ohne und mit Fluidbeaufschlagung) wird begonnen.

06.01.02/05A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes zur Analyse der dynamischen Spannungen und Verformungen von LWR-Containments bei Kühlmittelverluststörfällen
PNS 4127 (R. Krieg, B. Göller, G. Hailfinger, IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Basierend auf gekoppelten fluid-strukturdynamischen Rechnungen mit SPHERE und SING-S für ein SWR-Containment mit Druckunterdrückungssystem Baulinie 69 wurden Spannungen abgeschätzt. Außerdem wurde mit der Entwicklung eines Rechenprogramms zur Feinauflösung der Spannungen an kritischen Stellen der Kugelschale begonnen. Als Systemanregung wurde eine kollabierende Dampfblase im Wasserpool des Druckunterdrückungssystems angenommen.

Geplante Weiterarbeit

Das Rechenprogramm zur Feinauflösung der Spannungen an kritischen Stellen einer Kugelschale wird fertiggestellt. Die Rechnungen sollen auf Anregungen durch Erdbeben ausgedehnt werden.

06.01.03 Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren und Anwendung bei den Blowdown-Experimenten

06.01.03/05A Entwicklung eines Radionuklidmeßverfahrens zur Massens-
PNS 4136 trommessung in instationären Mehrphasenströmungen
 (R. Löffel, LIT)

Durchgeführte Arbeiten

Test und Vergleich des Radionuklidverfahrens mit anderen Verfahren (RS 135, RS 147 u.a.) am gemeinsamen Versuchsstand
Einsatz des Verfahrens bei den HDR-Blowdown-Experimenten

Erzielte Ergebnisse

Die am gemeinsamen Versuchsstand durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß das Radionuklidverfahren unter echten Blowdown-Bedingungen zuverlässig funktioniert und gute Ergebnisse liefert. Eine getrennte Messung der Geschwindigkeiten beider Phasen wurde erreicht. Bei den HDR-Blowdown-Experimenten wurden im Bruchstutzen Geschwindigkeiten von 0 bis 500 m/s gemessen.

Geplante Weiterarbeit

Der Einsatz des Verfahrens bei den LOBI-Blowdown-Experimenten und bei den Tests am IRB-Versuchsstand unter transienten Bedingungen wird vorbereitet. Fortsetzung der Geschwindigkeitsmessungen bei den HDR-Blowdown-Experimenten.

06.01.03/04A + 07A Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren
PNS 4137, 4139 verschiedener Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren
 (J. Reimann, H. John, IRB)

Durchgeführte Arbeiten

1. Untersuchungen in stationärer Zweiphasenströmung
- 1.1 Optimierung von Strömungshomogenisatoren

Bei horizontaler, separierter Zweiphasenströmung ergibt der lokale

Meßwert eines Drag Bodies i. a. nicht den querschnittgemittelten Wert. Deshalb wurden in Zusammenarbeit mit Battelle Frankfurt Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, die Strömung durch geeignete Einbauten zu homogenisieren. Diese Einbauten waren zusammengesetzt aus Sieben, Blenden und Schwellen (Versperrungen (Rohrsegmente) im unteren und oberen Bereich des Rohrquerschnitts). Die Phasenverteilung im Rohrquerschnitt hinter den Einbauten ($L/d=2$) wurde mit einem 5-Strahl Gamma-Densitometer gemessen; mit einer traversierbaren Doppelsonde (Pitot-Impedanz-Sonde) die Verteilung des Dampfvolumentanteils und des Impulsflusses längs des vertikalen Durchmessers. In Luft-Wasser-Strömung konnten die Umverteilungen mit Hilfe einer Plexiglas-Teststrecke beobachtet werden. Die Experimente wurden bei Luft-Wasser-Strömung ($p = 5$ bar) sowie Dampf-Wasser-Strömung ($p = 15, 50, 75$ bar) durchgeführt.

1.2 Test des Drag Body in homogenisierter Strömung

Anstelle des Gamma-Densitometers wurden in demselben Strömungsquerschnitt die Drag Bodies (Battelle Frankfurt) eingesetzt und die gleichen Versuchspunkte wie in 1.1 erneut gefahren. Wie bei RS 109 wurden 2 Drag Bodies im Querschnitt angeordnet.

1.3 Test der Phébus-Massenstrom-Instrumentierung

Die im CEN Grenoble entwickelte Massenstrominstrumentierung (Turbinendurchflußmesser, Venturidüse, Gammastrahl-Densitometer) wurde in die Testanlage eingebaut und erste Luft-Wasser-Tests durchgeführt.

2. Versuchsstand für instationäre Zweiphasenströmung

Auf Empfehlung der SK-Notkühlung und nach Aufforderung durch das BMFT wurde im Institut für Reaktorbauelemente mit Beginn des Berichtszeitraumes die Planung eines instationären Versuchskreislaufes für Zweiphasenströmung aufgenommen.

Dieser im folgenden kurz beschriebene Kreislauf soll unter realistischen Blowdown-Bedingungen das mechanische und meßtechnische Verhalten von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren testen. Dank eines eigens entwickelten True Mass Flow Meters (PNS 4138) steht ein zeitlich eng aufgelöstes Referenz-Massenstromsignal zur Verfügung, das erstmalig eine transiente Kalibrierung der Verfahren zuläßt. Wie das Schema zeigt,

hat der Kreislauf einen Druckbehälter, der von einer vorhandenen Kesselanlage mit Wasser bei annähernd Siedetemperatur aufgefüllt wird. An einem der beiden waagerechten Stützen des senkrecht stehenden Behälters ist die waagerechte Teststrecke angeschlossen, die aus einer Reihe aneinander geflanschter Rohrabschnitte unterschiedlicher Nennweiten besteht. In diese Teststrecke können die zu untersuchenden Geräte an beliebiger Stelle eingesetzt werden. Zur Simulation unterschiedlicher Einbaugeometrien können auch Rohrabschnitte mit Krümmern eingebaut werden. Hinter den Testgeräten ist das True Mass Flow Meter eingebaut. Am Ende der Teststrecke befindet sich ein Schnellöffnungsventil, das ferngesteuert öffnet und in kurzer Zeit den vollen Rohrquerschnitt freigibt und damit den Kesselinhalt durch die Teststrecke in einen Auffangbehälter abblasen läßt. Im Auffangbehälter wird der Zweiphasenstrom in kaltes Wasser dispergiert und kondensiert. Durch diese Bauweise ist der Einsatz der Radiotracer-Meßmethode möglich.

Der Druckbehälter ist in zwei Höhenpositionen einbaubar und wahlweise mit dem oberen oder unteren Stützen an die Teststrecke anschließbar. Dadurch kann ein Blowdown sowohl aus dem oberen als auch aus dem unteren Plenum simuliert werden. Eine senkrechte Teststrecke mit einer senkrechten Erstreckung von ca. 4 m kann ebenfalls installiert werden.

Durch das aus dem Schema ersichtliche Rohrleitungssystem kann der Kreislauf dank der angeschlossenen Kesselanlage mit ca. 10% des maximalen Blowdown-Massenstromes stationär gefahren werden. Die Massenstrommessung erfolgt in dem Fall durch Blendenmessung. Die zum Testen eingesetzten Geräte können auf diese Weise vor dem Blowdown einem statischen Funktions- und Eichtest unterworfen werden.

Bei Einhaltung eines minimalen Massenstromes wird mit diesem Rohrsystem ein einstellbarer Druck gehalten und dem Blowdown-Kessel aufgeprägt. Dieser kann über dem Siedepunkt der Wasserfüllung liegen. Damit wird die Funktion des Druckbehälters erfüllt.

Der Referenzmassenstrom während der Blowdown-Phase wird von einem True Mass Flow Meter (TMFM) bestimmt. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung (Vergrößerung) der Version, die im stationären Kreislauf erfolgreich erprobt wurde und sich als annähernd unabhängig von der Strömungsform der Zweiphasenströmung gezeigt hat. Für die Messung der Dichte in der Teststrecke ist ein Mehrstrahl-Gamma-Densitometer geplant. Es ist eine Weiterentwicklung des seriellen 5-Strahl-Gamma-Densitometers, das ebenfalls im stationären Kreislauf erfolgreich erprobt wurde.

Die Erfassung und Verarbeitung aller Daten aus der Kreislaufinstrumen-

tierung (Referenzmessung) und den Testverfahren soll mit einer schnellen Datenverarbeitungsanlage, die z.Zt. im Institut im Rahmen von PNS 4238 geplant ist, erfolgen.

Daten des geplanten instationären Zweiphasen-Kreislaufes

Blowdown-Kessel:

Inhalt	0,7 m ³
maximaler Betriebsdruck	150 bar
Anströmstutzen	2 x NW 80
Material	13 CrMo 44 mit Innenmantel aus Edelstahl (gelocht)

Teststrecke:

Rohrdurchmesser	NW 50, NW 80, (bzw. 46 und 72 mm i. Dm.)
gesamte Länge	ca. 10 m waagrecht, 3-4 m senkrecht
Einzelabschnitte	2 m, 1 m, 0,5 m
Material	13 Cr Mo 44

Schnellöffnungsventil:

Öffnungszeit	ca. 15 - 30 ms
Freier Querschnitt	entsprechend NW 50 ($1,96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)
maximaler Massenstrom	50 kg/s

Datenerfassungsanlage (PDP 11)

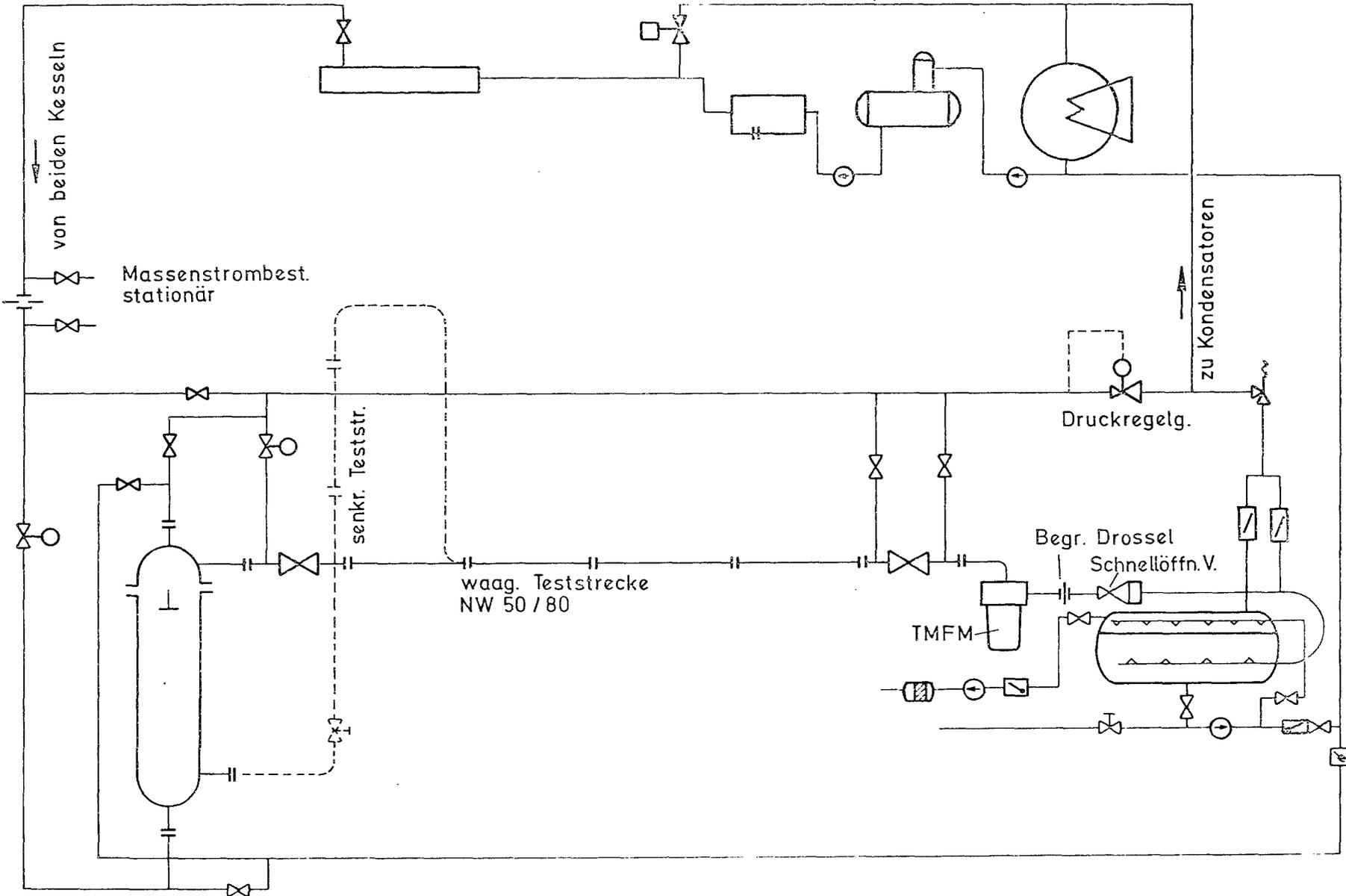
Anzahl belegbarer Kanäle	ca. 50
Anzahl erfaßbarer Daten	100.000 / s

Erzielte Ergebnisse

Zu 1.1 Als die geeignetesten Einbauten erwiesen sich nach umfangreichen Luft-Wasser-Versuchen folgende Kombinationen:

a) 3 Siebe verschiedener Maschenweite; b) Siebe + Blende; c) Siebe + Blende + Schwelle (Kreissegment)

Zu 1.2 Wie zu erwarten, bewirken die Homogenisierer eine wesentlich kleinere Streubreite der Meßfehler des Drag Bodies. Eine detaillierte Auswertung ist derzeit im Gange.



- 10A -

Instationärer Zweiphasen-Kreislauf

Zu 1.3 Erste Ergebnisse zeigen eine sehr gute Genauigkeit der Bestimmung des Massenstromes mit Hilfe der Venturidüse und des Gamma-Densitometers. Das Turbinensignal ist weniger befriedigend. Ein Grund dafür ist sicherlich die Tatsache, daß sich die Turbine direkt stromab eines 90°-Krümmers befindet.

Zu 2.2

- Die Gebäudefrage für den Kreislauf wurde geklärt.
Die Planung wurde in wesentlichen Punkten abgeschlossen und mit den Experimentatoren von Euratom-Ispra, Uni Berlin und Battelle Frankfurt und der GRS abgesprochen.
- Das Ausschreibungsverfahren wurde begonnen.
- Erste Bestellungen wurden vorbereitet.

Geplante Weiterarbeit

- Auswertung der Tests des Drag-Bodies in homogenisierter Strömung.
- Tests der Phébus-Massenstrom-Instrumentierung in Luft-Wasser- sowie in Dampf-Wasser-Strömung.
- Bestellung der Komponenten und Aufbau des instationären Kreislaufes.

06.01.03/06A Entwicklung und Bau eines True Mass Flow Meters, $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$
PNS 4138

(K. Hain, F. Brüderle, W. Butzer, F. Schloß, T. Vollmer,
K. Wagner, IT)

Durchgeführte Arbeiten

Aufbauend auf die Erfahrungen beim Betrieb der True Mass Flow Meter, $\dot{m} = 5 \text{ kg/s}$ an der COSIMA-Versuchsanlage, wurde ein erster Konstruktionsentwurf für das TMFM 50 ausgearbeitet. Anhand von ebenfalls erstellten Rechenprogrammen wurden die meßtechnischen Hauptabmessungen aufeinander abgestimmt und optimiert.

Ein neues Dämpfungssystem für die Statorschwingungen wurde am COSIMA-TMFM kalt erprobt, die Ergebnisse programmäßig beschrieben und auf die TMFM 50-Ausführung skaliert.

Am Ende des Berichtszeitraumes wurden die endgültigen Hauptabmessungen für das TMFM 50 festgehalten und ein Konstruktionsentwurf mit höherem Detaillierungsgrad erstellt.

Erzielte Ergebnisse und geplante Weiterarbeit

Nach der Fertigung der für das Meßsignal wichtigen Bauteile, werden diese in einer Testvorrichtung auf mechanischem Wege belastet und das Meßsignal eingeeicht. Parallel dazu werden die Halbzeuge für den Bau des TMFM 50 beschafft.

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 (SSYST)

06.01.04/06A Theoretische Untersuchungen zum Brennstabverhalten
07A beim Kühlmittelverluststörfall
08A
09A

PNS 4231 (R. Meyder, IRE; H. Borgwaldt, INR; S. Malang, IRB;
H. Unger, IKE Stuttgart)

Durchgeführte Arbeiten

Entwicklung von SSYST

Datenverarbeitung: Hier war die Bereitstellung von SSYST-2 für IBM-Anlagen Schwerpunkt. Damit steht nun ein System zur Verfügung, das den vollen Modulumfang von SSYST-1 besitzt, gegenüber diesem aber kürzere Rechenzeiten, eine bessere Dokumentation von Fehlern sowie eine einheitliche Ausgabe von Daten bietet. Durch die Einführung von Alias-Namen insbesondere für Testmodule konnte die Eingabe übersichtlicher gestaltet werden. Zur Erleichterung bei der Erstellung von Standardeingaben mit dem Modul VARIO wurden Programme erstellt, die für die Standard SSYST-Formate REAI und REAG eine formatfreie Eingabe erlauben. Ferner hat sich aus den ersten Anwendungen von VARIO gezeigt, daß eine einfache Festkommaarithmetik zwischen den Variablen Werten (z.B. Knotenzahl) wünschenswert ist, auch hierfür wurden Programme erstellt. Module: Der Modul ZETHYF wurde auf der IBM Anlage in Betrieb genommen und soweit getestet, daß vergleichbare Ergebnisse wie auf der CDC Anlage erhalten werden.

Mit den physikalischen und numerischen Tests wurde begonnen. Bei der Behandlung von Bündeln mittels einer Einzelstabanalyse wurde der Begriff einer Blockadeinsel definiert und als Zielgröße dieser Analyse bzw. als Schnittstelle zu Kühlbarkeitsuntersuchungen eingeführt. Programme zur Identifizierung von Blockadeinseln wurden erstellt.

Bereitstellung von Rand- und Anfangsbedingungen

Die Kopplung von COMETHE IIIJ an SSYST ist vollzogen; sie ermöglicht die problemlose Übergabe von Anfangsbedingungen für Störfalluntersuchungen. Als Alternative zum Modul WAK wurde zur Bestimmung der Systemrandbedingungen in der Wiederauffüll- und Flutphase das Programm REFLOS vom GRS in Köln übernommen.

Die Berechnung der Abbrandgeschichte eines Leistungsreaktors wurde fortgeführt.

Modellentwicklung

Zur Modellierung des Berstverhaltens von Zry-Rohrproben wurde auf der Basis der "strain fraction rule" ein erstes Berstkriterium erstellt. Dieses wird als lokales Kriterium bei Auftreten azimuthaler Temperaturvariation und als globales Kriterium im symmetrischen Fall eingesetzt. Zur Erklärung des an Simulatorstäben beobachteten exzentrischen Blähens der Hülle wurde mit theoretischen Untersuchungen begonnen.

Zur Absicherung von früher durchgeführten einfachen Abschätzungen zur Langzeitkühlung von stark verformten Bündelzonen wurden die Rechenprogramme COBRA III und BLOW-3A auf ihre Eignung zur Behandlung dieses Problems untersucht.

Erzielte Ergebnisse

Bei der Analyse des Schadensumfanges in einem Bündel mußte festgestellt werden, daß zu einer sinnvollen Interpretation der Eintrittswahrscheinlichkeit von Enddehnungen berücksichtigt werden muß, daß in einem bestimmten Schadensfall alle Stäbe im Bündel denselben "globalen" Randbedingungen ausgesetzt sind. Dies führte zur Betrachtung bedingter Eintrittswahrscheinlichkeiten, bei denen nicht mehr die Enddehnung eines einzelnen Stabes im Vordergrund steht, sondern die Größe des Bündelausschnittes, in dem große Dehnungen auftreten (Blockadeinsel).

Die Anwendung des Moduls AZI zur Beschreibung einer exzentrischen Pelletlage zeigte eine befriedigende Übereinstimmung zwischen Rechnung und Experiment für die Gesamtumfangsdehnung (GUD) abhängig von der azimutalen Temperaturdifferenz. Erste Rechnungen über den Einfluß eines kalten Regelstabführungsrohres lassen ähnlichgroße Wirkung auf die GUD erwarten wie eine Exzentrizität zwischen Pellet und Hülle.

Bei der Nachrechnung des REBEKA3 Experiments zeigte sich, daß immer noch die größte Unsicherheit in den Randbedingungen (T, α) liegt, obwohl diese für das vorliegende Experiment genauer bekannt sind als bei anderen Experimenten. Dennoch zeigte sich im Vergleich zum Experiment eine zufriedenstellende Übereinstimmung.

Die erste Rechnung für das PKL-Experiment K9 ergab einen Eindruck über die zu erwartenden Rechenkosten für einen derartigen Fall nämlich ca. 15 h Rechenzeit (IBM / 3033) für 500 sec. Problemzeit.

Bei der Kopplung von COMETHE IIIJ mit SSYST konnte festgestellt werden, daß die Übereinstimmung beider Codes bei gleichen geometrischen und thermischen Randbedingungen zufriedenstellend ist.

Bei der Untersuchung der Langzeitkühlbarkeit in stark verformten Zonen zeigte eine Analyse der im letzten Berichtszeitraum durchgeführten Rechnungen, daß die für die Kühlung angenommenen Dampfmengen nicht vorhanden sind. D.h. es muß auch im stark verformten Bereich noch Dampf erzeugt werden. Um diesen Vorgang besser zu durchleuchten, wurden COBRAIII und BLOW-3A eingesetzt, wobei letzterer als einziger erfolgversprechende Resultate zeigt.

Geplante Weiterarbeit

Für das nächste Halbjahr steht die Dokumentation von SSYST-2 und die Bestimmung von möglichen Blockadeinselgrößen im Vordergrund der Arbeiten.

06.01.04/10A Bestimmung der Nachzerfallswärme der Spaltprodukte von
PNS 4234 235 U im Zeitbereich 10 - 1000 sek.
(K. Baumung, INR)

Durchgeführte Arbeiten

In Abänderung des ursprünglichen Meßprogramms wurden die Parameter des

Mikrokalorimeters für den Betrieb als Aufheizkalorimeter in Eichmessungen bestimmt. Damit wird es möglich, die Wärmekapazität der Brennstoffproben, die zur Berechnung der Nachzerfallsleistung aus dem adiabatischen Temperaturanstieg benötigt wird, unmittelbar im Anschluß an die adiabatische Messung im selben Kalorimeter zu messen, wodurch systematische Fehler reduziert werden. Dazu wird das Kalorimeter, das bei adiabatischem Betrieb evakuiert ist, belüftet und eine definierte Temperaturdifferenz zwischen Probe und Kalorimeter aufrechterhalten. Durch Wärmeleitung im Füllgas wird dann der Brennstoffprobe eine definierte Leistung zugeführt, die nur noch von den geometrischen Abmessungen der Probe abhängt. Durch Differenzmessungen an Hohlproben mit und ohne Wasserinhalt konnte diese Leistung über den Temperaturanstieg der reinen Wassermenge und deren genau bekannten Wärmekapazität geeicht werden. Da diese Eichwerte durch Wegtoleranzen zwischen Probe und Kalorimetermantel, die beim Einbringen der Probe ins Kalorimeter auftreten, Schwankungen unterworfen sind, wurden in Meßreihen für die viervorhandenen Probenabmessungen die Standardabweichungen bestimmt. Diese liegen bei 0,7% und damit um fast zwei Größenordnungen über der Standardabweichung der Einzelmeßwerte bei festgehaltener Position, sind aber mit der vorliegenden Apparatur nicht zu verringern.

Erzielte Ergebnisse

Es liegen nunmehr alle Betriebs- und Steuerparameter sowie die Rechnerprogramme zum Betrieb des Mikrokalorimeters sowohl als adiabatischer Kalorimeter (zur Messung des adiabatischen Temperaturanstiegs der Brennstoffproben aufgrund der Nachzerfallswärme) wie als Aufheizkalorimeter (zur Messung der Wärmekapazität der bestrahlten Proben) vor. Die Standardabweichung der reinen Leistungsmessung dürfte demnach bei etwa 1% liegen.

Geplante Weiterarbeit

Es ist geplant, noch vor der Sommerpause mit den Bestrahlungsexperimenten zu beginnen.

06.01.06 Materialverhalten von Zircaloy bei Reaktorstörfällen

06.01.06/06A Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Zircaloy-
PNS 4235.1 Hüllmaterial

(M. Boček, C. Petersen, H. Schneider, B. Seith, K. Dindorf,
W. Schweiger, IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

- 1) a) Spannungszyklisierung im Zugschwellbereich an Zircaloy-4.
b) Berechnung der Standzeiten für Temperaturzyklisierung.
- 2) Untersuchung des Kavitationsverhaltens von Zircaloy-4.
- 3) Auswertung von Berstversuchen in der "FABIOLA"-Anlage.
- 4) Nachuntersuchungen von in-pile verformten Hüllrohren.

Erzielte Ergebnisse

- 1) a) Unter der Annahme der Gültigkeit der Summenregel der Lebensanteile wurde die Standzeit für zyklische Spannungsbelastung im Zugschwellbereich berechnet (1). Sechs verschiedene Belastungsarten wurden untersucht, wobei vier als zyklische Spannungsversuche mit überlagertem zeitlinearem Temperaturanstieg ausgelegt waren. Die Empfindlichkeit der Lebensdauer auf Änderungen in der Spannungsamplitude sowie in der Temperatur wurde untersucht. Die Standzeit kann für gegebene Belastungsbedingungen ohne Anpassungsverfahren allein anhand von statischen Standzeitversuchen vorherbestimmt werden. Die Rechnungen wurden im Berichtszeitraum mit entsprechenden, im α - und α - und $\alpha+\beta$ -Phasenbereich an Zircaloy-4 durchgeführten Experimenten verglichen. Die gute Übereinstimmung zeigt, daß die Summenregel der Lebensanteile eine geeignete Methode ist, nicht nur bei stetig ansteigender Belastung das Versagen bei hoher Temperatur vorauszusagen (2,3), sondern sogar die Lebensdauer von Materialien abzuschätzen, die einer zyklischen Belastung im Zugschwellbereich mit überlagerter Temperaturrampe ausgesetzt sind.
- 1) b) Nach der Methode der Summenregel der Lebensanteile wurde die Standzeit von Zircaloy-4 berechnet, das im Zugkriechversuch einer Temperaturzyklisierung unterworfen wurde. Folgende Fälle wurden behandelt:

Sägezahnförmiges Temperatur-Zeitprofil mit und ohne Haltezeiten sowie eine von Lastzyklisierung bzw. von einer Lastrampe überlagerte Temperaturzyklisierung.

Die Standzeiten für ein gegebenes Belastungsschema können anhand von Größen aus statischen Zeitstandversuchen und mittels der Belastungsbedingungen analytisch berechnet werden (4).

- 2) Von Zircaloy-4 Proben, bei denen unter dem Lichtmikroskop Kavitation beobachtet wurde (5), wurden rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Querschliffen angefertigt. Wegen der polierten Oberfläche läßt sich unter dem Rasterelektronenmikroskop keine gute Zuordnung der Poren zum Gefüge erreichen. Im Berichtszeitraum wurde deshalb aufgrund der Spannungsrißkorrosionsanfälligkeit von Zircaloy-4 unter Jodatmosphäre und des dabei auftretenden interkristallinen Bruches (6) eine Einrichtung konstruiert und in Auftrag gegeben, die es ermöglichen soll vorverformte Proben unter Jodatmosphäre interkristallin zu zerbrechen.
- 3) In der FABIOLA-Anlage wurden mehrere Versuche unter Dampf Atmosphäre mit und ohne Jod gefahren. Da es sich im derzeitigen Stadium noch um Inbetriebnahmeteste handelt, wurden lediglich zwei Versuche im Hinblick auf den zeitlichen Dehnungsverlauf ausgewertet und den Verifizierungsgruppen zur Nachrechnung zugeleitet.
- 4) In diesem Halbjahr wurden zwei in-pile Berstversuche (A2.2 u. B 1.1) im Rahmen der metallographischen Nachuntersuchung bearbeitet. Dabei handelte es sich um nicht vorbestrahlte Stäbe. Die Temperaturabschätzung aus dem Gefüge konnte weiter verfeinert werden. Die abgeschätzten Temperaturen liegen über den gemessenen und korrigierten Temperaturwerten. Außerdem wurden azimutale Gefügeunterschiede und damit Temperaturunterschiede festgestellt. Das Verformungsverhalten wies gegenüber out-of-pile verformten Prüflingen keine Besonderheiten auf.

Geplante Weiterarbeit

- 1) Durchführung von transienten Zugkriechversuchen in "INSTRON".
- 2) Untersuchung des Kavitationsverhaltens von Zircaloy.
- 3) Fortführung von Berstversuchen in der "TUBA"-Anlage (iso und transient). Auswertung von Berstversuchen in der "FABIOLA"-Anlage; Verifizierung von Berstkriterien.

- 4) Nachuntersuchungen von in-pile und out-of-pile verformten Hüllrohren.

Literatur

- (1) M. Boček, Tensile Creep Rupture at Cyclic Load Variation, J. Nucl. Mat., in press
- (2) M. Boček, Creep Rupture at Monotonous Stress and Temperature Ramp Loading. Part 1: Calculations, J. Nucl. Mat., in press
- (3) M. Boček, Creep Rupture at Monotonous Stress and Temperature Ramp Loading. Part 2: Application to Zircaloy, J. Nucl. Mat., in press
- (4) M. Boček, Creep Rupture during Temperature Cycling, Res Mechanica, in press
- (5) M. Boček, und C. Petersen, The Influence of Oxide Coatings on the Ductility of Zircaloy-4, J. Nucl. Mat. 80 (1979) 303 - 313
- (6) P. Hofmann, Influence of Jodine on the Strain and Rupture Behavior of Zircaloy-4 Tubing at High Temperatures, 4th international conference on ZIRCONIUM IN THE NUCLEAR INDUSTRY, Stratford-on-Avon, England, 26 - 29 June 1978

06.01.06/07A Untersuchungen zur Hochtemperatur-Wasserdampf-Oxidation
PNS 4235.2 an Zircaloy-Hüllrohren
(S. Leistikow, B. Bennek-Kammerichs, H. von Berg, R. Kraft,
G. Schanz, IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Im Verlauf der oxidationskinetischen Untersuchungen an Zircaloy 4-Brennstab-Hüllmaterial wurde der sogenannte Breakaway-Effekt bei 1000°C festgestellt. Es handelt sich hierbei um den schnellen Verlust der anfänglich hohen Schutzwirkung der intakten Oxidschicht durch mechanische Spannungen, die sowohl ein Auf- wie ein Abplatzen der Schicht hervorrufen als auch den Übergang von parabolischer resp. kubischer zu linearer Oxidationskinetik einleiten. Sein Auftreten wurde in oxidationskinetischer und morphologischer Hinsicht analysiert. Vorteilhaft war dabei, daß der Breakaway-Effekt erst

zu einem experimentell gut meßbaren Zeitpunkt und bei einer hohen kritischen Oxidschichtdicke auftritt, die eine verlässliche lichtmikroskopische Untersuchung des Oxids erlaubt.

Die isotherm-isobaren Rohrrinnendruck-Zeitstandversuche wurden unter der Zielsetzung einer weiteren Vervollständigung der insgesamt vorgenommenen Untersuchungen und zur Bestimmung der Streubreite der Zeitstand-Funktionen fortgesetzt. Dazu wurden etwa 80 weitere Rohrkapsel-Versuche bei 750-900°C, 50-120 bar im vorkorrodierten Zustand in Dampf durchgeführt. Weitere Rohrkapsel-Versuche wurden im nichtvorkorrodierten Zustand bei 800 und 850°C, 35-75 bar in Argon und Dampf vorgenommen.

Die temperatur-transienten/isobaren Rohrrinnendruck-Berstversuche wurden um Untersuchungen bei einer Aufheizgeschwindigkeit von 28°C/s ergänzt. Zugleich wurden Kriechberstversuche unter typischen KVS-Verläufen mit Maximaltemperaturen zwischen 900 und 1300°C durchgeführt und auf maximale Umfangsdehnung hin ausgewertet.

Erzielte Ergebnisse

Im Fall der speziellen kinetisch-morphologischen Untersuchungen zum Breakaway-Effekt wurde festgestellt, daß das mechanische Versagen des Oxids in der Bildung lateral ausgerichteter Anrisse besteht, die sich später zu einem Rißnetzwerk zusammenschließen. In späteren Stadien des Breakaway wiederholt sich diese Rißbildung periodisch und im Zusammenhang mit Oberflächenanrissen entsteht stöchiometrisches, weißes Oxid, das keine Schutzwirkung mehr aufweist. Dem mechanischen Versagen des Oxids vorausgehend bilden sich an der im Verlauf der Oxidation wellig werdenden Oxid/ α -Zr(O)-Phasengrenze Poren und Hohlräume, die als Schwachstellen die Rißbildung ermöglichen. In kinetischer Hinsicht äußert sich die Wirkung der Poren als Diffusionsbarrieren in einem verzögerten Wachstum des Oxids unmittelbar vor der drastischen Beschleunigung der Oxidation beim mechanischen Oxidversagen.

Damit ist die Ursache der den mechanischen Erscheinungen vorausgehende Porenbildung als Breakaway-Ursache erkannt. Die Porenbildung wird durch die Agglomeration von Anionenleerstellen im unterstöchiometrischen Oxid im Verlauf des Übergangs von der tetragonalen zur monoklinen Oxidmodifikation gedeutet. Diese Phasenumwandlung ist allerdings nicht direkt nachgewiesen. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Tieftemperaturbereich, andere Zirkonlegierungen oder gar andere Werkstoffe ist noch nicht geklärt.

Die isotherm-isobaren Rohrrinnendruck-Kriechberstversuche bestätigen die bereits gewonnenen Zeitstandfunktionen und ermöglichten, ihr Streuband schärfer zu

definieren. Die temperatur-transienten/isobaren Berstversuche, die bei 350° beginnend mit 28°C/s, 7-80 bar durchgeführt wurden, ergaben bei Innendrücken < 20 bar im Vergleich mit den untersuchten niedrigeren Aufheizgeschwindigkeiten von 5 und 10°C/s höhere Bersttemperaturen. Die Berstdehnungen hingegen passen sich voll der bekannten Höcker-Funktion mit Minimum zwischen 900-920°C an.

Die temperatur-transienten/isobaren Kriech-Berstversuche zeigten im KVS-Verlauf mit Maximaltemperaturen von 900-1300°C erneut den verfestigenden und dehnungshemmenden Einfluß einer Vorkorrosionsschicht auf das Berstgeschehen, für das nunmehr quantitative Resultate vorliegen.

Geplante Weiterarbeit

Isotherm/isobare Rohrberst-Versuche nach Vorkorrosion (5 µm) in Dampf bei 700-1000°C, 20-100 bar und Erstellung eines Abschlußberichts über diesen Versuchstyp. Untersuchungen zur Zircaloy 4-Dampfoxidation bei kleinen Leckagen; vor allem im Hinblick auf den Breakaway-Effekt.

06.01.06/08A Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffes und
PNS 4235.3 von Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften
von Zry-Hüllrohren bei Störfalltransienten

(P. Hofmann, H. Schneider, H. Zimmermann, J. Burbach, G. Gausmann, H. Metzger, H. Eckstein, B. Scheckel, IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

- Berst- und Zeitstandexperimente mit fehlerfreien (as-received), innen voroxidierten sowie vorgeschädigten Zircaloy-4-Rohrproben unter Schutzgas zur Bestimmung der kritischen Jodkonzentration oberhalb der es zum Versagen des Zircalloys infolge Spannungsrisskorrosion kommt (Versuchsapparatur: ROBERTA).
- Theoretische Abschätzung über die Möglichkeit der bruchmechanischen Beschreibung von Spannungskorrosionsrissen in Zircaloy-4-Hüllrohren bei hohen Temperaturen (500 - 800°C).
- Untersuchung der Gefügeänderungen von Zircaloy-4 in Abhängigkeit der Temperatur und Glühzeit unter Schutzgas (Versuchsapparatur: TUBA).

- Zerstörende Nachuntersuchungen (Metallographie) von nuklear aufgeheizten und geborstenen Brennstäben des PNS-Vorhabens 06.01.08/01A (PNS 4237), in dessen Rahmen in-pile Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall (LOCA) durchgeführt werden.
- Brennstoffcharakterisierung und Glühversuche mit bestrahlten UO_2 -Proben des Brennstabes F 6 (20 000 MWd/ t_U Abbrand). Dichtemessungen an Brennstoffproben der LOCA-getesteten Brennstäbe F 1 - F 4 sowie Bestimmung des im UO_2 zurückgehaltenen Spaltgasanteils an den Stäben F 1 und F 2 (die Brennstäbe stammen aus dem PNS-Vorhaben 06.01.08/01A).

Erzielte Ergebnisse

- Die kritische Jodkonzentration, oberhalb der es zum verformungsarmen Versagen des Zry-4 infolge Spannungsrisskorrosion kommt, hängt von der Hüllrohrbeanspruchung (isotherme, isobare bzw. transiente Versuchsführung), von der Hüllmaterialtemperatur sowie der mechanischen und chemischen Vorbehandlung der Hüllrohre ab. Wird die kritische Jodkonzentration überschritten, so versagen die Zircaloy-4-Hüllrohre unterhalb 850°C unter ausgeprägter Verminderung der Hüllbruchdehnung ($\epsilon_B \leq 20\%$). Oberhalb 850°C hat Jod dagegen keinen merklichen Einfluß mehr auf die Berstdehnung der Rohre. Nach ersten Versuchsergebnissen beträgt die kritische Jodkonzentration für as-received Hüllrohre bei 700°C (Zeitstandversuche) etwa $0,5 \text{ mg/cm}^3$ (entspricht etwa $0,1 \text{ mg Jod/cm}^2$ Hüllrohrinnenoberfläche). Dünne Oxidschichten auf der Hüllrohrinnenoberfläche bzw. mechanische Vorschädigungen (Kerben) der Versuchsproben bewirken eine geringe Verschiebung der kritischen Jodkonzentration zu kleineren Werten /1/.
- Die Anwendung der Bruchmechanik zur Beschreibung des Hüllrohrversagens bei normalen Reaktorbetriebsbedingungen infolge Spannungsrisskorrosion durch Jod ist möglich. Sowohl die linear-elastische Beschreibung der Rissausbreitung mit dem K_I -Konzept als auch die fließbruchmechanische Beschreibung der Rissentstehung und -ausbreitung mit Hilfe des J-Integrals führen zum Ziel. Die Diskussion beider Modelle hinsichtlich ihres Einsatzes für die Beschreibung des Spannungsrisskorrosionsverhaltens von Zircaloy-4-Hüllrohren unter Jodeinsatz bei Temperaturen bis zu 850°C führt zu einer Bevorzugung des Konzeptes der linear-elastischen Rissausbreitung. Die Berücksichtigung von Grundgedanken der Fließbruchmechanik kann u.U. jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden /2/.
- Der Gefügestand von Zircaloy-4 im spannungsfreien Zustand hängt von der Temperatur und Glühzeit ab. Eine Abschätzung der Hüllmaterialtemperatur bei out-of-pile und in-pile Experimenten anhand des Gefügestandes des Zry ist

daher im Prinzip möglich. Erste Vergleichsuntersuchungen, mit dem Ziel, die Hüllmaterialtemperatur von definiert geglühten Zry-4-Proben abzuschätzen, ergaben eine Fehlergrenze bei der Temperaturabschätzung von $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

- Die geborstenen Brennstäbe A 2.2 und B 1.1, die einer Kühlmittelverluststörfalltransiente im FR 2-Reaktor unterworfen wurden, sind u.a. im Hinblick auf das Ausmaß der Innenkorrosion metallographisch nachuntersucht worden. Wie die Ergebnisse zeigen, erfolgt die Oxidation der Hüllrohrinnenoberfläche axial und radial nicht gleichmäßig. In der Umgebung der Berststelle ist die Innenoxidation des Hüllrohres am stärksten; in größeren Entfernungen von der Berststelle sind z.T. Bereiche vorhanden, wo keine Oxidation erfolgte. Sehr wahrscheinlich erfolgt die Innenoxidation des Hüllrohres hauptsächlich durch den nach dem Bersten in den Brennstab eindringenden Wasserdampf /3/.
- Die ersten Nachuntersuchungsergebnisse im Hinblick auf das Spaltgasverhalten ergeben eine Spaltgasfreisetzung aus dem bestrahlten UO_2 (20 000 MWd/ t_{U}) von $6 \pm 2\%$ während der kurzzeitigen Aufheizung des Brennstoffes in den LOCA-Tests F 1 - F 4. Die Brennstoffschwellung ist i. a. kleiner 0,3%. Bei den Glühversuchen des bestrahlten Brennstoffes bei hohen Temperaturen wurden diffusionsgesteuerte Langzeiteffekte wirksam, die zeitabhängige Spaltfreisetzungen und Brennstoffschwellungen zur Folge hatten /4/.

Geplante Weiterarbeit

- Weiterführung der Versuche mit vorgeschädigten und fehlerfreien Zry-4-Hüllrohren zur Ermittlung des Einflusses von Jod und anderen flüchtigen Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften der Hüllrohre bei simulierten speziellen LWR-Transienten.
- Erste Experimente mit vorgeschädigten Rohrproben in Gegenwart von Jod zur Verifizierung des bruchmechanischen Modells zur Beschreibung des Spannungsrisskorrosionsverhaltens von Zircaloy-4-Hüllmaterial.
- Fortführung der Untersuchungen zur Gefügeänderung von Zry-4 in Abhängigkeit von der Temperatur und Zeit.
- Zerstörende Nachuntersuchungen von bestrahlten Brennstäben aus dem PNS-Vorhaben 06.01.08/01A (PNS 4237).
- Fortsetzung der Nachbestrahlungs- und Nachglühuntersuchungen an Brennstoffproben der F-Serie (20 000 MWd/ t_{U} Abbrand) und Glühversuche mit UO_2 -Proben des Stabes G1. 6 (35 000 MWd/ t_{U} Abbrand).
- Chemisch-analytische Untersuchungen des Zry-Hüllmaterials, des Brennstoffes und der simulierten Spaltprodukte.

06.01.06/10A Berstversuche an Zircaloy-Hüllrohren unter kombinierter
PNS 4235.4 mechanisch-chemischer Beanspruchung (FABIOLA PROGRAMM)

(L. Schmidt, IMF, H. Lehning, K. Müller, D. Piel,
H. Schleger, IMF III)

Durchgeführte Arbeiten

Die Montagearbeiten am FABIOLA-Versuchsstand - Dampfversorgungsanlage, Teststrecke einschließlich der speziellen Instrumentierung, Druckgasversorgung für den Brennstabsimulator, Röntgenkinematographie-Anlage mit der notwendigen Strahlenabschirmung - wurden abgeschlossen und mit der Inbetriebnahme nach Einholung der verschiedenen behördlichen Genehmigungen im März begonnen. Parallel dazu wurde die Meßdatenerfassungsanlage vervollständigt und das Plotter-system installiert und erprobt. Damit lassen sich mit geringem zeitlichen Aufwand die relevanten Meßgrößen sehr exakt für die anschließende Versuchsauswertung darstellen.

Die ersten Berstexperimente wurden mit Al_2O_3 -gefüllten Brennstabsimulatoren, von denen einige mit Jod geimpft waren, durchgeführt und dabei die Kenngrößen der Testeinrichtung ermittelt und überprüft.

Der Aufbeulvorgang am Zircaloy-Hüllrohr wird röntgenkinematographisch erfaßt.

Die Anordnung besteht aus einer 160 kV-Röntgenröhre, einem Bildverstärker und einer Filmkamera. Bei der direkten Beheizung des Dampfführungsrohres mit Strömen bis 1.000 A traten Störungen am Bildverstärker auf, die spezielle, relativ aufwendige Maßnahmen wie z.B. die komplette magnetische Abschirmung der Teststrecke und des Bildverstärkers erforderlich machten.

Gemäß dem Testprogramm wurden Berstexperimente unter Heißstabbedingungen ($F_q = 2,5$) durchgeführt, wobei einmal das Dampfführungsrohr auf konstanter Temperatur von $600^{\circ}C$ gehalten und zum anderen mit der gleichen Temperaturrampe wie der Brennstabsimulator aufgeheizt wurde.

Für die nachfolgenden Experimente ist eine weitere Serie von einseitig verschweißten Zircaloy-Hüllrohren angefertigt worden, von denen ein Teil mit UO_2 -Pellets beladen werden soll.

Erzielte Ergebnisse

Bei konstanter Temperatur am Dampfführungsrohr von ca. $600^{\circ}C$, einer Starttemperatur am Zircaloy-Hüllrohr von $600^{\circ}C$ und Temperaturanstiegsgeschwindigkeiten von ca. 10 K/s bei konstanten Innendruckbelastungen von 100 bis 140 bar

wurden Berstdehnungen bis 35 % gemessen. Die Deformationsform an der Berststelle sowie die relativ niedrigen Dehnungen lassen auf größere azimutale Temperaturunterschiede auf dem Hüllrohr schließen.

Mit Jod geimpfte Brennstabsimulatoren zeigten unter den gleichen Versuchsbedingungen Berstdehnungen bis 10 %.

Bei allen diesen Versuchen wurde der Brennstabsimulator außen von Dampf (600°C, 1,5 bar, ca. 3 m/s) umströmt.

Die gemessenen Standzeiten ergaben eine gute Übereinstimmung mit den nach Boček (Journal of Nuclear Materials, Band 82 (1979) S. 329) berechneten Werten.

Nachfolgende Versuche, bei denen dann das Dampfführungsrohr mit der gleichen Temperaturrampe wie der Brennstabsimulator gefahren wurde, brachten bei z. B. 100 bar Innendruck und einer Temperaturanstiegsgeschwindigkeit von 9 K/s Berstdehnungen um 60 %. Auch hier zeigte der Vergleich der gemessenen Standzeit mit der berechneten gute Übereinstimmung.

Geplante Weiterarbeit

- Inbetriebnahme der on-line Dehnungsmeßeinrichtung.
- Modifikationen an der Beheizung des Dampfführungsrohres und den Brennstabsimulatorheizern zur gezielten Lokalisierung der Berstzone auf die pyrometrische Temperaturmeßstelle.
- Spezifikation und Beschaffung einer Stromversorgung für den Brennstabsimulatorheizer, die es gestattet, unterschiedliche Temperaturfunktionen zu fahren.
- Bereitstellung weiterer Brennstabsimulatoren mit Al_2O_3 - und UO_2 -Beladung.
- Berstversuche unter Heißstabbedingungen.

06.01.07 Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittelverluststörfalles

06.01.07/03A Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten

06.01.07/04A Blowdown-Bedingungen (COSIMA-Programm)

PNS 4236.1/2

(G. Class, IRE)

(K. Hain, F. Brüderle, F. Schloß, T. Vollmer, K. Wagner, IT)

Durchgeführte Arbeiten

Das Experimentierprogramm mit COSIMA wurde im ersten Halbjahr stark

reduziert, einmal wegen Personalschwierigkeiten bei der Auswertung der gefahrenen Versuche, zum anderen wegen dem Einsatz der Experimentiermannschaft zur Weiterentwicklung des Zweiphasenmassenstrommeßgerätes True mass flow meter für einen Massenstrom von 50 kg/s.

Trotz dieser Einschränkung wurden im Berichtszeitraum 5 Blowdown-Experimente des geplanten Experimentierprogrammes durchgeführt. Weitere 4 Blowdown-Versuche wurden gefahren in Vorbereitung auf die Untersuchung des Einflusses außen auf das Hüllrohr angebrachter Thermoelemente auf das rewetting-Verhalten. Diese Versuche dienen zur Klärung der bei den LOFT-Versuchen aufgetretenen Unterschiede zwischen Experiment und Voraussrechnung und werden in Zusammenarbeit mit EG&G durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 2 Simulatoren nach USA gesandt, um dort mit Thermoelementen in LOFT-Bauweise instrumentiert zu werden.

Erzielte Ergebnisse und geplante Weiterarbeit

Nach dem Eintreffen der Stäbe aus USA werden bei Unterbrechung der TMFM-Arbeiten die TE-Versuche in der COSIMA-Anlage durchgeführt.

06.01.08 In-pile-Experimente im DK-Loop des FR2.

06.01.08/02A Untersuchungen zum Brennstabverhalten in der 2. Aufheizphase
PNS 4237.1 eines Kühlmittelverluststörfalles

(B. Räßple, E. Karb, A. Grünhagen, G. Harbauer, M. Hespeler,
W. Knappschneider, W. Legner, W. Leiling, H. Lukitsch,
M. Prüßmann, K. Wagner, IT)

Durchgeführte Arbeiten

Zur Vorbereitung der Referenzversuche mit elektrisch beheizten Brennstabsimulatoren (BSS) wurden

- die Einzelteile für die erste Versuchsserie beschafft und zur Montage bereitgestellt,
- sämtliche Zry-Hüllrohre mit US-Verfahren vermessen und
- die Begleitrechnungen zu den BSS-Versuchen im IKE fertiggestellt.

Ein Vorbestrahlungseinsatz mit 6 Nuklearstäben wurde im FR2 bis zu einem Abbrand von 2500 MWd/t_u bestrahlt. Fünf dieser Prüflinge wur-

den in den Versuchen C 1 bis C 5 eingesetzt. Der Stab C 6 wurde reserviert für spezielle Nachuntersuchungen wie Abbrandbestimmung etc. Die Bestrahlung eines weiteren Vorbestrahlungseinsatzes für 10000 MWd/t_U Abbrand begann im 2. Quartal 1979.

Von allen getesteten Stäben wurden vor und nach dem Versuch Neutronografien angefertigt.

Die Nachuntersuchungen in den HZ wurden wie folgt weitergeführt:

HZ-Arbeiten 1. Halbjahr 1979

	Zerstörungsfreie NBU	Zerstörende NBU
Arbeiten fertiggestellt	G 1.2, G 1.3 BSS 12	F 2, F 3, F 4, F 5, G 1.6
Angefangen, in Arbeit	G 1.4, G 2.1, G 2.2, G 3.1, G 3.3,	G 1.1, G 1.5, BSS 12
In Vorbereitung	G 3.2, G 3.6, B 1.7	G 1.2, G 1.3, G 1.4

Das mechanische Brennstoffverhalten der vorbestrahlten Prüflinge im Versuch (Zerbröckeln der Brennstofftabletten) wurde mit Hilfe von verschiedenen Rechenprogrammen analytisch untersucht. Benutzt wurden die Rechenprogramme CARO, COMETHE und FRAP-3 bzw. FRAPCON. Es sollte herausgefunden werden, ob sich die FR2-Versuchsstäbe bezüglich der Stabtemperaturen und Spaltweiten wesentlich anders als DWR-Brennstäbe verhalten. Dabei wurde vorausgesetzt, daß die FR2-Versuchsstäbe unter FR2-Kühlmittelbedingungen, die DWR-Stäbe unter DWR-Kühlmittelbedingungen bestrahlt wurden. Beide Stabtypen sollten dem gleichen Leistungsverlauf ausgesetzt sein.

Erzielte Ergebnisse

Bei der BSS-Hüllrohrvermessung ergaben sich generell keine Qualitäts-

unterschiede gegenüber den Hüllrohren der Nuklearversuche. Die Fertigungstoleranzen für Durchmesser und Wandstärke wurden nur zu einem geringen Teil ausgenutzt.

Die Ergebnisse der BSS-Begleitrechnungen zeigen nach einem Vergleich mit Meßergebnissen aus den Vorversuchen (BSS 5) gut angenäherte Temperaturverläufe und Aufheizraten am Zry-Hüllrohr und am Dampfrohr (im Reaktoreinsatz) während der transienten Aufheizung.

Die Berstdaten der Versuche C 1 bis C 5 blieben im Streuband der bisher erzielten Versuchsergebnisse des Experimentes:

Versuch	Berstdruck bar	korr. Bersttemperatur °C
C 1	45,7	900
C 2	30,2	945
C 3	98,2	749
C 4	65,4	815
C 5	21,9	916

Die Versagensstelle lag bei vier Stäben außerhalb der instrumentierten Zone und wurde daher von Thermokabeln nicht gestört.

Aus den NERA-Aufnahmen der C-Stäbe ist zu sehen, daß die Bruchstruktur der Brennstofftabletten nach der Vorbestrahlung bzw. nach dem Versuch vergleichbar ist mit dem Brennstoffzustand hochabgebrannter (20000, 35000 MWd/t_U) Prüflinge. Dies betrifft auch die Mobilität der Brennstoffpartikel.

Die Ergebnisse der Rechnungen zum Stabverhalten bei der Vorbestrahlung zeigen etwa niedrigere Brennstofftemperaturen und größere Spaltweiten der FR2-Versuchsstäbe gegenüber den DWR-Stäben. Nur die Ergebnisse der CARO-Rechnungen (KWU) zeigen größere Abweichungen zwischen den beiden Stäben.

In der Studie mit den Programmen FRAP-S und FRAPCON /9.18/ wurde auch der radiale Temperaturgradient im Brennstoff für beide Stabtypen untersucht. Dieser Parameter wird als verantwortlich für das Cracken des Brennstoffs angesehen. Die FRAP- bzw. FRAPCON-Ergebnisse zeigen

für den FR2-Versuchsstab wenig Unterschied im radialen Temperaturgradienten im Vergleich zum Reaktorstab. Aus der analytischen Studie ergaben sich damit keine Hinweise, daß die Bestrahlungsbedingungen im FR2 zu einem atypischen mechanischen Brennstabverhalten der Versuchsstäbe bei einem der Bestrahlung folgenden LOC-Experiment führen.

Geplante Weiterarbeit

Die Nachuntersuchungen an den getesteten Stäben in den HZ werden wie bisher weitergeführt, die Ergebnisse zunächst in Teilberichten dokumentiert.

Die Vorbestrahlung des Einsatzes für Zielabbrand 10000 MWd/t_U läuft bis zum Jahresende 1979.

Im 2. Halbjahr 1979 sind - neben der Auswertung zurückliegender Nuklearversuche - fünf Referenzversuche mit BSS geplant.

06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles

06.01.09/02A Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden
PNS 4238 Zirkaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung (REBEKA-Programm)

(K. Wiehr, IRB, F. Erbacher, U. Harten, W. Just, H.J. Neitzel,
P. Schäffner, He. Schmidt, IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum lagen die Schwerpunkte auf der Durchführung folgender Arbeiten:

- Auswertung des Bündelversuchs 3 und Vergleich der Ergebnisse mit Bündelversuch 1 und 2
- theoretische Arbeiten zur Erstellung eines Berstkriteriums
- begleitende Einzelstabberstuntersuchungen mit verkürzten Brennstabsimulatoren unter adiabaten Versuchsrandbedingungen
- Bestellarbeiten zur Erweiterung der REBEKA-Versuchsanlage für 49-Stabbündel einschließlich rechnergesteuerter Meßdatenerfassung-

anlage.

- Fertigung weiterer Brennstabsimulatoren (BSS) für 49-Stabbündel.
- Arbeiten zur Fertigung eines kontinuierlichen cosinusförmigen Leistungsprofils für BSS.
- Vorbereitung des 4. Bündelversuchs zur Ermittlung des Einflusses eines kalten Regelstabführungsrohres.

Erzielte Ergebnisse

Der Bündelversuch REBEKA 3 wurde mit folgendem Testparametersatz durchgeführt:

- Anfangsinnen-He-Druck der Stäbe: 70 bar
- elektrisch simulierte Nachwärmeleistung in der Mittelebene der Stäbe: 20 W/cm
- Wärmeübergang bei abwärtsgerichteter Dampfströmung in der Wiederaufheizphase: $\sim 30 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- konstante kalte Flutrate bei Zwangseinspeisung $\sim 3 \text{ cm/s}$
- Flutwassertemperatur 130°C
- Systemdruck 4.5 bar
- maximale Hüllrohrtemperatur bei Flutbeginn nach Aufheizrate von 7 K/s : 760°C

Dies bedeutete, daß die plastische Verformung der Zirkaloyhüllrohre in drei Phasen unterschiedlicher thermohydraulischer Verhältnisse stattfand:

- während einer abwärtsgerichteten Dampfströmung mit einer abwärtsgerichteten Verschiebung des axialen Temperaturprofils bei schwacher Kühlung.
- während einer 6 Sekunden dauernden Phase stagnierenden Dampfes ohne weitere Verschiebung des axialen Temperaturmaximums.
- und schließlich während der Zweiphasenkühlung durch Zwangseinspeisung des Flutwassers mit Verschiebung des axialen Temperaturprofils in Aufwärtsrichtung.

Unter diesen thermohydraulischen Versuchsrandbedingungen ergab sich folgendes Bild plastischer Verformung der Hüllrohre:

- geringe Verformung um die Abstandshalter
- die axiale Verschiebung des Dehnungsmaximums zwischen zwei Abstandshaltern ist das systematische Ergebnis der axialen Temperaturverteilungsgeschichte und das Dehnungsmaximum liegt überwiegend in der

axialen Mitte des Stabbündels

- das maximale axiale Temperaturprofil zwischen den beiden mittleren Abstandshaltern lag bei etwa 32 K und die gemessene azimutale Temperaturdifferenz in axialer Mittelposition bei etwa 30 K.
- dies führte zu maximalen Berstumfangsdehnungen von 44% im Mittel
- die maximale Kühlkanalversprerrung betrug 52%
- der mittlere Berstdruck lag bei 51 bar und die mittlere Bersttemperatur bei 830°C.

Zur Ausbildung der azimutalen Temperaturdifferenz während des Verformungsvorganges ist folgendes zu sagen:

- In der Wiederaufheizphase trat praktisch keine Temperaturdifferenz auf dem Umfang auf.
- In der Flutphase vergrößerte sich die azimutale Temperaturdifferenz sehr gleichmäßig mit der Flutzeit.
- Die Abnahme der Wandstärke der Zirkaloyhüllrohre auf dem Umfang läßt sich exakt der azimutalen Temperaturverteilung zuordnen.

Ein Vergleich der Verformungsergebnisse des Bündelexperimentes REBEKA 3 mit den bisher in REBEKA 1 und 2 (1 = überwiegende Verformung in der Flutphase, 2 = alle Verformung in der Wiederaufheizphase) gewonnenen Ergebnisse bestätigt die bereits früher aufgezeigten Zusammenhänge zwischen dem Einfluß der sich während der Verformung ausbildenden axialen und azimutalen Temperaturverläufe auf das gesamte Verformungsbild im Bündel. Die Ergebnisse von REBEKA 3 fügen sich systematisch in dieses Bild ein.

Auch in diesem Versuch geben die Berstfolge und die Berstrichtung der Rohre keinen Hinweis auf eine mechanische Stab zu Stab Beeinflussung mit einer Stabversagensfortpflanzung.

Für die Erstellung einer Berstbeziehung für Brennstabhüllrohre unter innerem Überdruck wurde davon ausgegangen, daß das Bersten dadurch gegeben ist, daß die Deformation gegen unendlich strebt. Es wurde angenommen, daß die plastische Deformation durch sekundäres Kriechen kontrolliert wird. Durch Integration der Kriechbeziehung bis zur Polstelle des zeitlichen Dehnungsverlaufes erhält man den Berstzeitpunkt. Bei bekannter Berstzeit kann nun, da die Temperatur- und Druckverläufe als Funktion der Zeit bekannt sind, die Bersttemperatur und der Berstdruck errechnet werden. Mit Hilfe einer weiteren empirischen Beziehung zwischen Berstspannung und -temperatur kann die

Berstdehnung bestimmt werden.

Geplante Weiterarbeit

- Einzelstabversuche an verkürzten Brennstabsimulatoren unter definierten Randbedingungen zur Überprüfung einer Beziehung für die Bersttemperatur, zur Anwendung auf Stoffgesetze für plastische Verformung von Zirkaloyhüllrohren sowie zur Überprüfung eines Berstkriteriums.
- Durchführung eines Bündelversuchs mit Brennstabsimulatoren voller Länge und axialem Leistungsprofil an einer 5x5-Stabanordnung unter Fluten und mit einem Regelstabführungsrohr anstelle des Zentralstabes zur Untersuchung des Einflusses kalter Regelstabführungsrohre auf das Deformations- und Benetzungsverhalten im Stabbündel.
- Vorbereitung und Durchführung von Thermoelementbündelversuchen zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Thermoelementanordnungen auf die wahre Hüllrohrtemperatur und das Wiederbenetzungsverhalten der Zirkaloyhüllrohre in Abhängigkeit von Heizleistung, Spaltwiderstand und äußerem Wärmeübergang.
- Erweiterung der REBEKA-Versuchsanlage für 7x7-Stabbündelversuche einschließlich autarker rechnergesteuerter Datenerfassungsanlage.
- Begleitende theoretische Arbeiten.

06.01.10 Auswirkung von Kühlkanalblockaden auf die Kernnotkühlung

06.01.10/02A Untersuchungen zum Einfluß der Größe und Form von Kühlkanal-
PNS 4239 blockaden auf die Kernnotkühlung in der Flutphase eines
 Kühlmittelverluststörfalles (FEBA-Programm)

(P. Ihle, W. Götzmann, G. Hofmann, H. Kreuzinger, K. Rust,
H. Schneider, S. Malang, IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die Auswertung der abgeschlossenen Experimente mit der 5-Stub-Reihe wurde fortgesetzt. Begonnen wurden die in Kapitel 3.2 genannten Versuche mit dem 25-Stub-Bündel. Die Entwicklung von Sonden zur Bestimmung der Dampfüberhitzung führte aufgrund der Ergebnisse aus den in der 5-Stub-Reihe durchgeführten Tests zur Fertigung eines neuen Sonden-Typs, der in den folgenden Experimenten eingesetzt wird. Für die Impedanz-Sonden zur Be-

stimmung der Anwesenheit von Wasser in Dampfströmung wurde eine einheitliche elektronische Ausrüstung erstellt und getestet, um die Signale verschiedener Sonden besser vergleichen zu können.

Erzielte Ergebnisse

Die Experimente mit der 5-Stab-Reihe zur qualitativen Untersuchung des Einflusses der Größe und Form von Blockaden (Zwangsfluten, alle Unterkanäle verengt) führten zu folgenden kurzgefaßten Ergebnissen:

- verbesserte Kühlung nach der Blockade bei gleichem Durchsatz
- die axiale Reichweite der verbesserten Kühlung ist kurz im Vergleich zur Bündellänge
- die Verbesserung der Kühlung nach Blockaden und die axiale Reichweite sind bei plattenförmigen Blockaden (scharfkantig) größer als bei Hülsen (abgerundet) mit vergleichbarem Druckverlust.
- Die axiale Reichweite wächst mit steigender Flutgeschwindigkeit.
- Meßtechniken zur Bestimmung der Zweiphasenströmungsbedingungen wurden für transiente Strömungen weiterentwickelt. Sie ermöglichen zusätzlich zur gemessenen lokalen Hülltemperatur Blockadeeffekte zu analysieren.

Geplante Weiterarbeit

Die mit dem 25-Stab-Bündel begonnen Experimente werden fortgesetzt. Die Ziele dieser Serie sind insbesondere:

- Bessere meßtechnische Erfassung der Zweiphasenströmung mit den o. g. Sonden
- Ermittlung der lokalen Kühlungsänderung
 - durch Abstandshalter
 - durch Teilblockaden (qualitativ)
 - durch unterschiedliche Blockadesimulatoren
- Quasistationäre Experimente zum Problem Langzeitkühlung mit einem bis zu 90% blockierten 16-Stab-Bündel in der 25-Stab-Teststrecke.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

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

06.01.11 Reaktions-, Freisetzungs- und Aerosolverhalten beim
Kernschmelzen

06.01.11/05A Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und
PNS 4311 Aerosolen in LWR-Containments
(W. Schöck, H. Bunz, M. Koyro, LAF I)

Durchgeführte Arbeiten

Wegen notwendiger Reparaturen und Umbauarbeiten am Versuchsstand wurde im Berichtszeitraum die Kondensationsmeßreihe an Metalloxidaerosolen unterbrochen. Es wurde stattdessen eine Serie von Versuchen an löslichen Aerosolen durchgeführt. Eine thermostatisierte Probenahme-strecke für die Erfassung der festen Aerosolfraktion wurde aufgebaut, die zur Bestimmung der Partikelanteile des dreiphasigen Aerosolsystems benötigt wird. Die Konstruktion der Komponenten für die Experimente zur Wandkondensation wurde begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Die Einführung der Bilanzierung von festen und flüssigen Aerosolan-teilen im Modell ist abgeschlossen. Die hierzu noch notwendige Veri-fikation wird am Ende der Kondensationsversuche erfolgen. Aus den Rechnungen folgt eine deutliche Bestätigung des dominierenden Ein-flusses der Wasserdampfkondensation auf den Spaltproduktabbau. Beim Aussedimentieren der Tröpfchen wird der weitaus größte Anteil der Spaltprodukte mit den Tröpfchen transportiert und abgeschieden. Der übrigbleibende geringe Rest ist allerdings länger luftgetragen, seine Masse hängt sehr stark vom Ablauf der Unfallsequenz, insbesondere von den Wasserdampfquellen, ab. Die Notwendigkeit der exakten Modellierung der Kondensationsvorgänge und ihre experimentelle Absicherung wird hier erneut bestätigt.

Es wurden 43 Expansionsversuche mit Natriumnitrat als Modellsubstanz für lösliche Aerosole durchgeführt. Die Auswertung ist noch nicht abgeschlossen. Es läßt sich jedoch vorab feststellen, daß das Kondensationsverhalten sich von dem der Metalloxidaerosole grundsätzlich unterscheidet. Aerosole aus löslichen Substanzen sind schon im untersättigten Bereich tröpfchenförmig, die Kondensation findet vollständig an allen Partikeln statt.

Geplante Weiterarbeit

Die noch ausstehenden Experimente mit Metalloxidaerosolen zur Bestimmung der Kondensationsformfaktoren werden durchgeführt. Damit kann der Kondensationsmodul im NAUA-Modell vervollständigt werden. Es folgt die Einführung von realistischen Dampfquellen in das Modell und deren experimentelle Absicherung durch die Untersuchung der Wandkondensation und der Verteilung der festen Partikeln in den Tröpfchen.

06.01.11/06A Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien
PNS 4314 beim Kernschmelzen
(H. Holleck, A. Skokan, H. Schneider, G. Schlickeiser, IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Die während des Kernschmelzens ablaufenden chemischen Reaktionen und ihr Einfluss auf das integrale und partielle Abdampfverhalten wurden untersucht.

Erzielte Ergebnisse

Starkes Abdampfen aus einer Kernschmelze setzt erst bei Temperaturen um 2500 - 2600°C ein. Die abdampfende Menge steigt mit dem Stahlgehalt der Schmelze an. Zunehmende Oxidation der Schmelze verringert die abdampfende Masse bei Temperaturen zwischen 2500 und 2600°C und erhöht sich bei Temperaturen um 2700°C. Dies kann auf einen bevorzugt thermodynamischen Einfluss bei den tieferen Temperaturen und auf einen bevorzugt kinetischen Einfluß bei höheren Temperaturen zurückgeführt werden.

Untersuchungen zum Einfluß des Sauerstoffpotentials auf das Abdampfverhalten von Cs und Mo im Temperaturbereich von 800 bis 1500°C verdeutlichten den starken Einfluß dieses Parameters auf die Freisetzung.

Geplante Weiterarbeit

- Abdampfversuche an Schmelzen und festen Proben mit unterschiedlichem Oxidationszustand in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit zur Ermittlung des selektiven Abdampfens.
- Schmelzpunktbestimmungen an Beton-Corium-Mischproben.

06.01.11/07A Materialkundliche Untersuchungen im Rahmen der BETA-Experimente
PNS 4317 (A. Skokan, G. Schlickeiser, H. Janzer, IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

In einer ersten Versuchsreihe wurden in widerstandsbeheizten Öfen verschiedene Oxide (UO_2+ZrO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , BaO , CeO_2) im Vergleich zu UO_2 zusammen mit silikatischem Beton aufgeschmolzen (Tiegelmaterial Thoriumoxid, inerte Atmosphäre, Temperaturen 1500°C, 1700°C und 1900°C, Versuchsdauer 0,5 h).

Erzielte Ergebnisse

- Mischungsverhalten: Bei den Versuchstemperaturen von 1500, 1700 und 1900°C und der gewählten Anordnung (Beton oben, Oxid unten) wurden nach halbstündiger Schmelzdauer keine signifikanten Unterschiede in der Auflösungsgeschwindigkeit von UO_2 bzw. UO_2+ZrO_2 einerseits und Al_2O_3 andererseits in der darüber liegenden Betonschmelze nachgewiesen. Die anderen untersuchten Oxide verhielten sich unterschiedlich.
- Schmelz- und Erstarrungstemperaturen: Die Schmelz- und Erstarrungstemperaturen der Beton/ Al_2O_3 -Mischungen sind niedriger als die der entsprechenden Beton/ UO_2+ZrO_2 -Mischungen.

Geplante Weiterarbeit

- Vergleichende Tiegelschmelzversuche mit UO_2+ZrO_2 und anderen Oxiden (bes. Al_2O_3) in Wechselwirkung mit Beton und Stahl bei induktiver Heizung.
- Berechnung der Reaktionswärmen für die Standard-Thermitmischung und für alternative Thermitmischungen.

- Materialkundliche Nachuntersuchung von Proben aus Thermitschmelzversuchen.

06.01.11/08A Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung
PNS 4315 von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen
(H. Albrecht, V. Matschoß, K. Nolte, H. Wild, Institut für
Radiochemie)

Durchgeführte Arbeiten

Es wurde eine Serie von insgesamt 13 Freisetzungsversuchen in Luft durchgeführt, bei denen die aktiven Bestandteile des Schmelzgutes in 9 Fällen aus Fissium mit einem simulierten Abbrand von 40 000 MWd/t und in 4 Fällen aus aktivierten Stahl- und Zircaloy-Komponenten bestanden. Die UO_2 - bzw. Fissium-Pellets befanden sich jeweils in 3 Hüllrohren von 7,2 cm Länge. Diese waren an ihrem unteren Ende von einem konzentrischen Stahlring umgeben, so daß die Schmelzgutzusammensetzung näherungsweise mit der von Corium A (65% UO_2 , 18% Zry, 17% Stahl) übereinstimmte. Die Aufheizung erfolgte induktiv mit Hilfe eines Wolfram-Suszeptors, der den ThO_2 -Schmelztiegel umgab und gegen die Ofenatmosphäre (Luft) isoliert war.

Versuchsparameter:

Schmelzgutmasse	146 - 200 g
Atmosphärendruck	0.5 - 2.0 bar
Luftdurchsatz	10 - 50 l/min
Aufheizgeschwindigkeit	110 - 150°C/min
maximale Schmelzguttemperatur	2200 - 2800°C
Haltezeit bei T = const.	≤ 20 min

Erzielte Ergebnisse

Die Versuchsanlage und der Vergleich der Ergebnisse sind noch nicht abgeschlossen; die nachfolgenden Aussagen sind daher als vorläufig und unvollständig anzusehen.

- a) Die Freisetzung der leicht- und mittelflüchtigen Spaltprodukte zeigt bei einer mittleren Aufheizgeschwindigkeit von 130°C/min in einer Atmosphäre von 2 bar Luft folgende Temperatur-Abhängigkeit:

Aufheizung und 1 min Haltezeit bei	Freisetzung (%)						
	J	Cs	Se	Te	Mo	Sb	Ag
2000°C	80 \pm 10	40 \pm 5	4.3 \pm 1.2	4.3 \pm 1.5	1.0 \pm 0,5	0,7 \pm 0,3	2.1 \pm 0,6
2200°C	100	75 \pm 10	5.6 \pm 1.8	9.6 \pm 4.0	1.2 \pm 0.6	1.5 \pm 0.5	5.0 \pm 2.5
2400°C	100	95 \pm 5	9.0 \pm 2.0	21.5 \pm 5.0	1.3 \pm 0.6	1.6 \pm 0.6	15 \pm 4

- b) Für die gleichen Randbedingungen wie unter a) ergab sich für die schwerflüchtigen Spaltprodukte:

Aufheizung und 1 min Haltezeit bei	Freisetzung (%)				
	Zr	Ru	Ba	Ce	Nd
2350 \pm 50°C	< 0.01	< 0.02	0.48 \pm 0.24	< 0.02	< 0.02
2800 \pm 100°C	0.08 \pm 0.04	0.24 \pm 0.12	3.05 \pm 1.50	0.14 \pm 0.07	0.14 \pm 0.07

Geplante Weiterarbeit

- a) Abschluß und Auswertung der Versuchsserie mit 150-200 g Schmelzgut unter Luft; dabei soll versucht werden, besonders für die leicht- und mittelflüchtigen Spaltprodukte die Freisetzungsraten als Funktion der Temperatur, des Drucks und der Haltezeit bei konstanter Temperatur zu ermitteln.
- b) Durchführung einer analogen Versuchsserie unter Wasserdampf.
- c) Vorbereitung von Freisetzungsversuchen mit Schmelzgutmassen von 1-3 kg unter Einschluß von Beton.

06.01.12 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen mit Beton

06.01.12/04A Ausbreitung von Stahlschmelzen im Beton, Bestimmung der
PNS 4325 Schmelzfrontausbreitung
(S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K. Wallenfels, IT)

Durchgeführte Arbeiten

Die Schmelzfrontausbreitung wird durch Thermoelemente und durch Ultraschall gemessen. Für die Thermoelementmessung wurde ein Verfahren zur exakten Positio-

nierung der Thermoelemente im Versuchstiegel durch Einbringen in ein Meßprisma aus Beton entwickelt. Die relative Lage der Thermoelemente im Meßprisma ist genau bekannt. Die Prismen wiederum können definiert im Tiegel eingebracht werden.

Es wird ein Ultraschall-Echoverfahren mit getrenntem Sucher- und Empfänger-Meßkopf verwendet. Die Ultraschallfrequenz wurde zwischen 0,5 MHz und 0,1 MHz variiert.

Für die kontinuierliche Messung des Feuchtigkeitsverhaltens wurde ein Detektor entwickelt, der den elektrischen Widerstand im Beton als Maß für die Feuchtigkeit ausnutzt.

Erzielte Ergebnisse

Zur Überprüfung der Meßmethoden für die Bestimmung der Eindringgeschwindigkeit von flüssigem Stahl in Beton wurde das Ultraschallverfahren mit Thermoelementmessungen verglichen. Die ersten Auswertungen von Versuchen mit Thermit-Schmelzen in Betontiegeln zeigen eine Übereinstimmung von ± 1 mm bei einer Eindringtiefe von ca. 40 mm in 80 sec.

Die Positionierung der Thermoelemente in Betonmeßprismen für die Bestimmung der Temperatur- und Ausbreitungsmessung hat sich damit als geeignet erwiesen. Die Ultraschallmessung gestattet eine kontinuierliche Messung der Eindringgeschwindigkeit.

Die Ausnutzung der Feuchteabhängigkeit des elektrischen Widerstandes im Beton für die Feuchtigkeitsmessung ist erfolgreich. Der Widerstand für den Detektor mit einem Elektroden-Abstand von 1 cm verändert sich bei ausgetrocknetem Boden von 10 M Ω auf 0,5 Ω bei 10 % Feuchtigkeit.

Es war damit möglich, die Freisetzung des Wassers und seine Ausbreitung im Beton qualitativ zu verfolgen.

Geplante Weiterarbeit

Das Ultraschallmeßverfahren soll über die Verwendung zur Messung der Eindringtiefe hinaus zur Gewinnung von Aussagen über den Aufbau von Gasschichten an der Grenze Schmelze - Beton genutzt werden. Dies ist durch die Auswertung der Amplitude des reflektierten Signals möglich, die von dem Impedanzverhältnis der angrenzenden Schichten abhängig ist.

Bei der Weiterentwicklung des Feuchtefühlers soll der Versuch unternommen diese Detektoren durch gravimetrische Verfahren zu kalibrieren, um quantitative

Aussagen zu ermöglichen. Dabei muß die Abhängigkeit des Widerstandes im Beton von der Temperatur- der Zusammensetzung und der Struktur berücksichtigt werden.

06.01.12/06A Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen
PNS 4323 und Beton - Versuchsanlage BETA
(D. Perinić, W. Höhn, A. Mack, IT)

Durchgeführte Arbeiten

Betontiegel-Thermitversuche zur Entwicklung der Meßtechnik und der Betontiegel

Versuchsstände für die Erprobung der Meßtechnik wurden geplant und erstellt. 4 Thermitversuche wurden durchgeführt.

Entwicklung und Beschaffung der Schmelzanlage einschließlich der MF-Stromversorgung

Arbeiten zur Durchführung der Vorversuche wurden begonnen.

Entwicklung und Beschaffung der Anlagenmeßtechnik

Arbeiten für die Beschaffung der Betriebsmeßtechnik wurden fortgesetzt.

Durchführung der Baumaßnahmen einschließlich des Genehmigungsverfahrens.

Die Planungsarbeiten für die Erstellung der BETA-Halle wurden weitergeführt.

Erzielte Ergebnisse

Betontiegel-Thermitversuche zur Entwicklung der Meßtechnik und der Betontiegel

Mit den Tauchsonden können Schmelzbadtemperaturen bis max. 2300^oC gemessen werden.

Eine Beeinflussung der Temperaturanzeige bei gestaffelter Anordnung der Meßsonden konnte bei den durchgeführten Versuchen nicht nachgewiesen werden.

Die Geschwindigkeit der Reaktionsfront in der Thermitschüttung beträgt 11 cm/s.

Eine Tiegelbruchsicherung mit Lichtleiter und Kurzschlußdrähten wurde erprobt. Beide Methoden erwiesen sich als geeignet für die Detektion eines Tiegelbruchs.

Alle Versuche wurden mit einer Fernsehanlage aufgezeichnet. Informationen über die Aussteuerung der Fernsehkamera bei den extrem hohen Beleuchtungsstärken wurden gewonnen.

Ausmauerungstechniken und Ausmauerungsmaterialien für eine Tiegelabdeckhaube wurden erprobt. Als optimal erwies sich eine mit Streckmetall armierte Klebsandschicht.

Ein Versuchsstand für die Erprobung der Ultraschallmeßtechnik wurde erstellt.

Entwicklung und Beschaffung der Schmelzanlage einschließlich der MF-Stromversorgung

Keine der angeschriebenen Firmen war in der Lage, ein Festpreisangebot abzugeben, weil die technischen Unsicherheiten nicht überschaubar sind. Zur Abdeckung der Risiken wurden von allen Firmen Vorversuche gefordert. Nach Spezifikation und Ausschreibung der Vorversuche wurde die Firma AEG mit der Durchführung beauftragt. Die erforderlichen Betontiegel wurden bei TU-Karlsruhe in Auftrag gegeben.

Entwicklung und Beschaffung der Anlagenmeßtechnik

Für Ofenperiskop und Tauchsondenanlage wurden Spezifikationen erstellt. Die Ausschreibungen wurden abgeschlossen. Ein Beschaffungsauftrag für ein Ofenperiskop wurde erteilt. Für die Tauchsondenanlage wurde eine Durchführbarkeitsstudie in Auftrag gegeben.

Durchführung der Baumaßnahmen einschließlich des Genehmigungsverfahrens

Die Grüne Mappe für die BETA-Halle wurde erstellt und der OFD-Karlsruhe zur Stellungnahme vorgelegt.

Geplante Weiterarbeit

Betontiegel-Thermitversuche zur Entwicklung der Meßtechnik und der Betontiegel

Durchführung von Thermitversuchen zur Erprobung der Ultraschallmeßtechnik. Gleichzeitig werden andere Meßtechniken wie Tauchsonde, Gasanalyse, Tiegelinstrumentierung u. a. erprobt.

Entwicklung und Beschaffung der Schmelzanlage einschließlich der MF-Stromversorgung

Durchführung der Vorversuche bei AEG-Elotherm. Nach Vorliegen der Versuchsergebnisse Beschaffung der BETA-Anlage.

Entwicklung und Beschaffung der Anlagenmeßtechnik

Beschaffung der Anlagenmeßtechnik.

Durchführung der Baumaßnahmen einschließlich des Genehmigungsverfahrens

Nach Vorliegen der Genehmigung Auftragsvergabe für BETA - Halle.

06.01.12/07A Planung und Bewertung der BETA-Experimente

PNS 4324 (G. Fieg, INR)

Durchgeführte Arbeiten

Nach intensiven Gesprächen mit allen an BETA beteiligten Arbeitsgruppen, die sowohl interne als auch externe Beteiligte (KWU/Erlangen, IVA/Hannover) mit einschlossen, kam mit dem Unternehmen AEG/ELOTHERM, Remscheid, ein Vertrag für ein ausführliches experimentelles Testprogramm zustande. Es soll im wesentlichen noch folgende offene Fragen klären, bevor eine BETA-Anlage nach bisherigem Konzept erstellt werden soll:

- a) Der Ankopplungsgrad des Induktionsfeldes an die Schmelze bei verschiedenen geometrischen Konfigurationen soll an einer Induktionsspule mit Originalgröße, jedoch bei kleinerem Leistungsniveau ermittelt werden. Dabei müssen zur Energiebilanzbestimmung umfangreiche elektrische und kalorimetrische Größen an der gesamten Versuchsanlage ermittelt werden.

- b) Die Frage nach dem Einfluß der elektromagnetischen Kräfte (Lorentzkräfte) auf die Badbewegung der Schmelze im Beton wird in den Vorversuchen höchste Priorität beigemessen, da sichergestellt sein muß, daß sich die Schmelze im Induktionsfeld nicht von den Wänden trennt, so daß die thermische Kopplung zwischen Schmelze und Beton gewährleistet ist. Darum wird sich der größte Teil der Vorexperimente mit dem Fragenkomplex beschäftigen, wozu ein umfangreiches Meßprogramm konzipiert wurde.

Geplante Weiterarbeit

Anschließend an die Mitarbeit und Auswertung der BETA-Vorexperimente wird eine Phase intensiver Planung der eigentlichen BETA-Anlage erfolgen.

Weiterhin wird auch das SUPER-THERMIT-Experiment einen größeren Teil der Aktivitäten auf sich ziehen. Das Ziel dieses Experiments ist der vorläufige Vergleich bestehender Codes anhand eines geeignet spezifizierten experimentellen Standard-Test-Programmes.

06.01.13 Modellentwicklungen zur analytischen Beschreibung
 von Kernschmelzenunfällen

06.01.13/04A Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechsel-
PNS 4331 wirkung einer Kernschmelze mit Beton
 (M. Reimann, H. Alsmeyer, K. Dres, IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Spezifikation der Meßdatenerfassungsanlage für die BETA-Versuchsanlage (PNS 4323)
- Überarbeitung des WECHSL-Codes.
- Dokumentation des WECHSL-Codes.

Erzielte Ergebnisse

Für den BETA-Versuchsstand wird ein Meßdatenerfassungssystem beschafft, das auf 200 Kanälen Signale unterschiedlicher Eingangspegel (Thermoelemente, Druck- und Feuchtefühler etc.) mit hohen Datenraten aufnehmen kann. Die Daten werden auf ein Magnetband gespeichert, das auf IBM weiterverarbeitet werden kann.

Der Rechencode WECHSL wurde in Bezug auf numerische Eigenschaften und Rechenzeit überarbeitet. Die Dokumentation des derzeitigen Standes von WECHSL (WECHSL-Mod 1) wurde abgeschlossen.

Geplante Weiterarbeit

- Weiterentwicklung der physikalischen Modelle in WECHSL mit begleitenden Modellexperimenten.
- Umprogrammierung von WECHSL in ein modulares System.
- Voraus- und Nachrechnung von Simulationsexperimenten, erste Berechnungen für die vierte Phase eines KSU.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

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

06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren

06.01.14/05A Bestimmung der Iodkomponenten in der Abluft kern-
PNS 4414 technischer Anlagen
 (H. Deuber, LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Die Messungen mit diskriminierenden Iodsammlern in der Kaminfortluft und den verschiedenen Abluftströmen eines Kernkraftwerks (DWR 3) wurden fortgeführt.

Es wurden Versuche zur Abscheidung von I_2 am Sorptionsmaterial DSM 35 durchgeführt. (Von DSM 35 wird eine bessere Trennung von I_2 und CH_3I bei Anwesenheit von Stickoxiden erwartet, als sie das vorher getestete Sorptionsmaterial DSM 34 ermöglicht.)

Erzielte Ergebnisse

Die Digestorienabluft war weiterhin die Hauptquelle des in die Umgebung freigesetzten elementaren ^{131}I bei Leistungsbetrieb. Von den die Digestorienabluft bildenden Abluftströmen, nämlich Abluft des Abzugs, in dem die Primärwasserproben entnommen werden, und Abluft der Abzüge, in denen die Primärwasserproben verarbeitet werden, erwies sich letztere als bei weitem größte Quelle für elementares ^{131}I .

Bei ^{133}I zeigten sich im Vergleich zu ^{131}I sowohl hinsichtlich der Konzentrationen als auch hinsichtlich der Anteile der Iodkomponenten im allgemeinen nur geringe Unterschiede.

Der Abscheidegrad von DSM 35 für I_2 war bei 0,2 s Verweilzeit bei $70^\circ C$ und 20% r. F. bzw. 80% r. F. größer als 99%, auch nach Behandlung mit Stickoxiden. Nach diesen Versuchen ist DSM 35 als I_2 -Sorptionsmaterial für diskriminierende Iodsammler, die in stickoxidhaltiger Abluft eingesetzt werden können, geeignet.

Geplante Weiterarbeit

Die Messungen mit diskriminierenden Iodsammlern im DWR 3 werden abgeschlossen. Es werden Versuche zur Abscheidung von CH_3I an DSM 35 durchgeführt. In der Abluft einer Wiederaufarbeitungsanlage werden diskriminierende Iodsammler eingesetzt.

06.01.14/06A Untersuchung des Verhaltens von Schwebstoffiltern
PNS 4415 unter Störfallbedingungen

(H.G. Dillmann, V. Rüdinger, H. Pasler, A. Hengst, H. Schmidt, LAF II)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Zur Prüfung der Einflüsse der Betriebsparameter des Plasmabrenners auf die Aerosolcharakteristika wurde ein Testrohr für $40 \text{ m}^3/\text{h}$ Luftdurchsatz und kurze

Betriebszeiten aufgebaut und erprobt. Die vorhandene Dosiereinrichtung wurde durch einen pneumatischen Probenteiler ergänzt, so daß die Pulverzufuhr zwischen 20 g/h und 0,15 g/h geregelt werden kann. Zur Ermittlung der Teilchengrößenverteilung, deren Häufigkeitsmaximum im Submikronbereich liegen muß, werden Proben auf Kernporenfilter gezogen und die rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen ausgewertet.

Durch Ausfall des Aerosolnachweisgerätes traten Verzögerungen bei der Untersuchung alternativer Aerosolsubstanzen ein.

Die marktgängigen Schwebstofffilter zur Prüfung bei 200°C und 95% r. F. wurden, soweit eingetroffen, den Abnahmetests unterworfen.

Im Hinblick auf die experimentelle Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit von Schwebstofffiltern durch hohe Differenzdrucke (hohe Strömungsgeschwindigkeiten) wurde eine Zusammenarbeit mit den Los Alamos Scientific Laboratory (USA) eingeleitet. Unter Berücksichtigung einiger Modifikationen ist der dortige Versuchsstand für erste Versuchsserien geeignet. Die Zusammenarbeit wird im Rahmen einer Testserie zu Beginn des 4. Quartals 1979 beginnen. Ein entsprechendes Versuchsprogramm mit den ergänzenden Untersuchungen wurde ausgearbeitet.

Geplante Weiterarbeit

Das Studium des Einflusses der Betriebsparameter der Aerosolerzeugung auf die Charakteristika des Aerosols werden verstärkt weitergeführt.

Nach Reparatur des Aerosolmeßgerätes wird die Prüfung alternativer Aerosolsubstanzen wieder aufgenommen.

Bis zum Ende des 3. Quartals 1979 werden die Vorbereitungen für die erste Testserie zur Belastbarkeit von Schwebstofffiltern durch hohen Differenzdruck abgeschlossen.

06.01.14/07A Abluftfilterung an Reaktoren
PNS 4416 (Alterung und Vergiftung von Iod-Sorptionsmaterialien)
(J. Furrer , R. Kämpfer, R. Gerhard, LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Aktivkohle zur Radioiodabscheidung in Probefiltern mit einer Auslegung, die MWS-Filtern entspricht, wurde 3 Monate mit der Anlagenraumabluft eines DWR-KKW beaufschlagt. Anschließend wurde der Abscheidegrad der beaufschlagten sowie frischer Iodisorptionskohlen gegenüber ^{131}I in der Feuchtluftapparatur bestimmt. Während der Beaufschlagungsdauer wurden die zehn wichtigsten Filterschadstoffe in der Anlagenraumabluft mit kontinuierlich arbeitenden Gaschromatographen quantitativ gemessen.

Erzielte Ergebnisse

Nach 3-monatiger Dauer der Beaufschlagung wurde ein Absinken des Abscheidegrades auf den ersten beiden Betten (entspr. 10 cm Bett-Tiefe) der beaufschlagten gegenüber frischer Aktivkohle festgestellt (95,5% gegen 99,6%). Auf dem dritten Bett (3 Betten = 15 cm Bett-Tiefe) waren die Unterschiede der Abscheidegrade gering (99,6% gegen 99,98%). Die ersten 3 Betten entsprechen den Schadstoff-Vorabscheider eines MWS-Filtern. Bei den nachgeschalteten Filtern mit insgesamt 15 cm Bett-Tiefe wurde keine Beeinträchtigung des Abscheidegrades festgestellt. Dieser Abschnitt entspricht dem Iod-Sorptionsteil des MWS-Filtern.

Die Auswertung der Gaschromatogramme der Anlagenraumabluft zeigte, daß die Lösungsmittelkonzentration zwischen $2,2 - 6,5 \text{ mg/m}^3$ lag (7.2.-16.4.79). In der Zeit vom 17.4. - 2.5. und 2.5. - 8.5.1979 stieg die Lösungsmittelkonzentration der Anlagenraumabluft auf $10,3$ bzw. $16,5 \text{ mg/m}^3$ an, in der folgenden Woche wurden $5,3 \text{ mg/m}^3$ gemessen.

Geplante Weiterarbeit

Die Beaufschlagung von Probefiltern mit einer Auslegung, die MWS-Filtern entspricht mit anschließender Bestimmung des Abscheidegrades wird fortgesetzt. Dabei ist ein Wechselzyklus vorgesehen, bei dem die nachgeschalteten Filter als Vorabscheider eingesetzt werden, um weitere Optimierungs-

daten zu erhalten.

Diese Arbeiten werden durch die kontinuierliche gaschromatographische Messung von Filterschadstoffen in der Anlagenraumabluft ergänzt.

06.02. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEITUNGS-
ANLAGEN

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

06.02.01 Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs-
anlage (WA)

06.02.01/03A Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs-
PNS 4511 anlage (Explosion)
 (L. Caldarola, K. Schleisiek, IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Physikalisch-Chemische Grundlagen von Explosionen

Verbrennungsvorgänge in der Gasphase pflanzen sich, wenn man von der Vorreaktion (Kalte Flamme) absieht, im wesentlichen nach zwei Mechanismen fort: a) in Form einer Deflagrationswelle von wenigen m/s bzw. b) in Form einer Detonationswelle von einigen km/s, die als Kombination einer Stoßwelle und nachfolgender Deflagrationswelle mit derselben Geschwindigkeit angesehen werden kann.

Im Berichtszeitraum wurde durch das Studium der einschlägigen Literatur untersucht, unter welchen Bedingungen (Druck, Temperatur, Geometrie, Inertisierung) bei aliphatischen Kohlenwasserstoffen (z.B. n-Dodekan) eine Deflagration bzw. Detonation eintreten kann.

Um die sehr komplizierten Zusammenhänge etwas übersichtlicher zu gestalten, wurde damit begonnen, diese für ein Dodekan-Luftgemisch in einer Art Ursache-Wirkungsdiagramm darzustellen.

Zuverlässigkeitsmodelle

Bei der Entstehung von Explosionen wirken zahlreiche langsame chemische Vorgänge zusammen.

Aus diesem Grunde kann man sich bei Zuverlässigkeitsbetrachtungen nicht nur auf statische bzw. stationäre Modelle wie das Fehlerbaummodell beschränken, vielmehr müssen auch quasidynamische, wenn nicht gar dynamische Modelle herangezogen werden.

Unter den untersuchten Modellen kann möglicherweise das Modell der "Phased Mission", das aus einer Folge von Fehlerbäumen zu verschiedenen Zeitpunkten besteht, für die WAA eingesetzt werden.

Erzielte Ergebnisse

Physikalische-Chemische Grundlagen von Explosionen

Die Voranalyse wurde mit dem folgenden Ergebnis abgeschlossen: In der geplanten WAA sind, wenn man die uns bekannten prozeßchemischen und anlagen-spezifischen Gegebenheiten zugrunde legt, Detonationen im Gegensatz zu Deflagrationen praktisch unmöglich. Da uns jedoch einige wichtige Einheiten wie z.B. die Rohrpläne der WAA fehlen, können wir nicht völlig ausschließen, daß auch Detonationen in WAA stattfinden.

Mechanismen von explosiven Vorgängen und Stoffdaten

Es wurde für Explosionen in WAA erst Ursache-Wirkungsdiagramme aufgestellt.

Geplante Weiterarbeit

Mechanismen von explosiven Vorgängen und Stoffdaten

Zusammenstellung der wichtigsten Mechanismen, nach denen explosive Verbrennungsvorgänge in der Gasphase ablaufen, um die für die WAA gesammelten Stoffdaten klassifizieren zu können.

Exemplarisches Beispiel

Vervollständigung der Ursache-Wirkungsdiagramme zu Explosionen in WAA und deren exemplarische Anwendung auf ein noch auszuwählendes Teilsystem der WAA wie z.B. die Deflagration in einer Zelle.

Stochastische Modelle

Weitere Recherchen nach stochastischen Modellen, mit denen Zuverlässigkeitsprobleme bei explosiven Verbrennungen behandelt werden können.

06.02.01/04A Störfallablaufanalyse für die große Wiederaufarbeitungs-
PNS 4513 anlage (Extraktion)
(R. Avenhaus, K. Nagel, G. Weber, IDT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurde eine deterministische Analyse zur Frage einer Knallgasexplosion, die wegen des elektrolytisch erzeugten Wasserstoffs nicht ausgeschlossen werden kann, und eines Brandes in der 2B-Batterie in der Extraktion in der WAK durchgeführt: Es wurden Fehlerbäume für das Versagen der Spannungsüberwachung, der automatischen Temperaturüberwachung und der Spülluftüberwachung und, daraus abgeleitet, Fehlerbäume für die Knallgasexplosion und den Brand in der Batterie aufgestellt.

Erzielte Ergebnisse

Es wurde geklärt, welche physikalischen Bedingungen erfüllt sein müssen, und welche technischen Komponenten ausfallen bzw. falsch reagieren müssen, damit es zur Knallgasexplosion bzw. zum Brand in der 2B-Batterie kommen kann.

Geplante Weiterarbeit

Die bisherigen Arbeiten stellen deterministische Analysen dar; nach Maßgabe der Verfügbarkeit der Daten zum Verhalten technischer Komponenten soll eine probabilistische Analyse durchgeführt werden. Darüber hinaus soll die Möglichkeit der Ausbreitung eines Kerosinbrandes über die ursprüngliche Zelle hinaus quantitativ untersucht werden.

06.03. EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN

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

06.03.01 Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt

06.03.01/04A Untersuchung des physikalischen und chemischen Ver-
PNS 4812 haltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide
in der Umwelt. Pu, Am und Cm.
(H. Schüttelkopf, M. Pimpl, H. Bailer, G. Hefner, J. Hiller, HS)

Durchgeführte Arbeiten

1. Die Entwicklung von analytischen Methoden für die Bestimmung von Am und Cm in Umgebungsproben wurde durchgeführt. Die Trennung von Am/Cm und Pu durch HPLC wurde erreicht.
2. Die Emissionen von Pu mit Abgas und Abwasser aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe werden monatlich gemessen.
3. Die Verteilung von Pu in den Sedimenten des Altrheins wurde studiert. 5 automatische Wasser-Sammelstationen wurden installiert. Biologische Proben wurden im Altrhein gesammelt.
4. Erdproben von landwirtschaftlicher Bedeutung wurden gesammelt.

Erzielte Ergebnisse

1. Die Auslaugung und die Elektrodeposition von Am und Cm wurden studiert. Die verwendete Auslaugelösung löst Aktiniden quantitativ. Mit der Methode der Elektrodeposition von Pu werden 90 - 100% von Am und Cm abgeschieden. Mit dem System Milchsäure/Ammoniumlactat wurde eine quantitative Trennung von Pu und Am/Cm erreicht. Die getrennten Elemente waren jedes in weniger

als 2 ml der chromatographischen Lösung enthalten.

2. Die monatliche gemessenen Pu-Emissionen mit der Abluft der WAK schwanken über mehrere Größenordnungen. Die Gesamtemission von Pu-238 und Pu-239-240 liegt wesentlich unter der Gesamtalphaemission. Im Abwasser werden im Durchschnitt 0,1 - 1 pCi Pu/l gefunden.
3. Einige Hundert Sedimentproben wurden gesammelt, getrocknet, verascht und analysiert auf Pu. Die Verteilung von Pu im Altrhein wurde bestimmt.
- Die Pu-239, 240-Kontamination der Sedimente reicht von 2 bis 100 fCi/g.

Geplante Weiterarbeit

Entwicklung analytischer Methoden zur Bestimmung von Pu, Am und Cm, Messung der Pu-, Am- und Cm-Freisetzungen aus der WAK, Aktinidenkonzentration in der Umgebung der WAK werden bis 1979 fortgesetzt.

Messung der Transferfaktoren, Boden/Futterpflanze und Futterpflanze/Haustier, Laborexperimente zur Erhöhung der Mobilität der Aktiniden im Boden werden Ende 1979 begonnen.

06.03.02 Untersuchung zum Ausbreitungsverhalten nuklearer Schadstoffe im Nah- und Fernbereich

06.03.02/04A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Gase im regionalen Bereich (über 15 km Entfernung)
PNS 4822
(W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, S. Vogt, HS)

Durchgeführte Arbeiten

Die Bahndaten des Tetroons wurden bisher vom Radargerät lediglich gedruckt. Zur besseren Auswertung dieser Daten war es notwendig, diese auf Lochstreifen zu bringen. Ein Interface zum Anschluß eines Lochstreifenstanzers an das Radar wurde erstellt und - zusammen mit dem Lochstreifenstanzer - getestet. Der Auftrag zur Fertigung der Transponder wurde von der Lieferfirma zurückgegeben,

da die Herstellung in der zunächst vorgesehenen Weise zu aufwendig wäre. Die Verhandlungen zur Herstellung einer fertigungstechnisch geänderten Version dauern noch an. Unabhängig von diesen Schwierigkeiten stand das Radar des Amtes für Wehrgeophysik seit Ende 1978 nicht mehr zur Verfügung.

Erzielte Ergebnisse

Wegen der Nichtverfügbarkeit des Radargerätes konnten keine neuen Ergebnisse gewonnen werden.

Geplante Weiterarbeit

Sobald das Radargerät wieder zur Verfügung steht, werden weitere Tetronflüge mit den bisher fertiggestellten Transpondern durchgeführt.

06.03.02/05A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radio-
PNS 4823 aktiver Gase im lokalen Bereich (bis 15 km Entfernung)
bei Emissionshöhen ≥ 100 m
(W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, K. Nester,
M. Becker, HS)

Durchgeführte Arbeiten

Es fanden drei Ausbreitungsversuche bei den Kategorien B, D und B/C statt. Dabei wurden simultan die Tracer CF_2Br_2 bzw. CFCl_3 von der 160 m- bzw. der 190 m-Plattform des meteorologischen Mastes durch Verdampfung freigesetzt. Die automatische Probenahme erfolgte in zwei Perioden á 30 min. Dauer an mehr als 50 Positionen im Lee des Mastes. Der Verdampfungsvorgang wurde genauer hinsichtlich konstanter Verdampfungsrate und eventuellem Siedeverzug untersucht. Die Verdampfer wurden mit schreibenden Füllstandsmessern ausgerüstet.

In der Nähe der Ortschaft Spöck ist auf einem Wiesengelände (Rauhigkeitsstufe II) ein Kurbelmast aufgestellt. Dort werden die Meßwerte σ_ϕ und σ_θ der in 15 m Höhe montierten Vektorfahne analog registriert. Zusätzlich ist der Mast in 2 m, 5 m und 15 m Höhe mit je einem Schalensternanemometer bestückt. Zur Meßdatenerfassung wird ein tragbares netzunabhängiges und wetterfestes Gerät verwendet. Dieses wurde nach langwierigen Umrüstungen, Verbesserungen und Reparaturen nunmehr erfolgreich in Betrieb genommen. Damit wird auch das

Windgeschwindigkeitsprofil registriert.

Erzielte Ergebnisse

Mit der KFA Jülich wurde eine Vereinbarung zur Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit 100 m Emissionshöhe erzielt. Dazu wurden die Versuche mit dieser Emissionshöhe neu klassifiziert und mit einer geänderten Windgeschwindigkeit (Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe) ausgewertet.

Geplante Weiterarbeit

Die Ausbreitungsversuche werden mit Emissionshöhen über 100 m fortgeführt.

06.03.02/06A Ausbreitungsmodelle für besondere meteorologische

PNS 4824 Situationen

(W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, K. Nester, M. Becker, HS)

Durchgeführte Arbeiten

Die Zusammenstellung bereits vorhandener Modellansätze wurde begonnen.

Erzielte Ergebnisse

-

Geplante Weiterarbeit

Die bereits vorhandenen Modellansätze werden auf ihre Brauchbarkeit überprüft.

TRANSLATION OF THE GERMAN REPORTS

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

06.01.01/03A Design, Precomputation and Evaluation of the HDR-Blow-
PNS 4115 down Experiments on Dynamical Loadings and Deformations
of Reactor-Pressure-Vessel Internals
(U. Schumann, E. Erb, F. Eberle, J. Kadlec, F. Katz, R. Krieg,
K.H. Lang, A. Ludwig, H. Mössinger, W. Olbrich, P. Philipp,
E. Wolf, IRE)

Work performed

- a) The snapback experiments, which are to determine the main eigenfrequencies and other parameters of the core shell in air and water, were prepared further. For this purpose, the deflection device was purchased and the instrumentation ordered. Completion of the experimental setup and its parameters were documented. Accompanying calculations were specified in detail and begun. As a result of other experiments conducted on the HDR the performance of the snapback experiments was delayed.
- b) The fittings for clamping of the core shell flange were designed and the materials data of the core shell were determined.
- c) For processing of calculated and measured results, a system of data files and computer programs was made available. It can be used to exchange data between the analytical programs and the central measured data acquisition system (ZMA) of the HDR or the documentation system (DOSYS).
- d) For a first series (V29.1) of preliminary blowdown tests on the HDR, which are mainly carried out to test the experimental technology, the test matrix and the plan of measuring points were specified and the expected temperature distribution was precalculated.

Results obtained

Preparation of the snapback experiments is largely complete. The valid and final precalculations of the snapback and blowdown experiments can now be started.

Plans for future work

Acceptance tests and calibration of the instrumentation for the snapback and preliminary blowdown experiments will be carried out. The deflection device will be tested on a test rig. The preliminary blowdown tests will be precalculated for their final and valid version. These tests which will probably be performed in the fall of 1979, will be evaluated so that the following, fully instrumented blowdown tests can be specified.

06.01.01/04A Experimental Data Acquisition and Processing of the
PNS 4116 Dynamic Behavior of the Pressure Vessel Test Internals
in the HDR-Blowdown-Experiments
(K.D. Appelt, F. Eberle, J. Kadlec, G. Lang, P. Philipp, IRE)

Work performed

The qualification studies of types of transducers for measuring transient displacements, accelerations, pressures and differential pressures in the HDR model core shell were completed /1/. The transducers required for blowdown tests V29.1 and V29.2 have been ordered; appropriate systems for their acceptance and calibration have been made available. Acceptance and calibration of the transducers delivered in the period under review has begun.

Results obtained

The results of qualification studies of two types of displacement transducers and two types of acceleration transducers have produced positive results in so far as these transducers can now be validly employed in the blowdown tests V29.1 and V29.2. In the case of the transducer prototypes for absolute and differential pressures some partial improvements have been achieved, but their final qualification has not yet been attained.

Some other effects (two-phase effects, non linear structural behavior) require separate studies to be performed without being integrated in the global model.

The documentation on the DRIX-2D two-phase code has been completed. Moreover, blind calculations were carried out on baffle plate experiments in the HDR test series. The compression force measured on the baffle plate deviates from the calculated value by up to 20%. This deviation is still under investigation. The use of DRIX-2D to clarify the interaction between fuel elements and the surrounding water has been begun.

The CYLDY3 code for the quasi-exact description of the shell dynamics of the core barrel has been supplemented so that stiffness and mass matrices can be calculated which are necessary for the coupled fluid-structural dynamics analysis using FLUX. Moreover, the boundary conditions are now being changed so that the flexibility of the reactor pressure vessel can be taken into account at the upper flange of the core barrel. To treat core barrels with axially stepped wall thicknesses the development of the CYLDY-F code (finite ring elements) has been started.

The complete documentation (theoretical description and manual) has been compiled on the STRUYA code. The FLUX code has been modified so that it can now use any linear-elastic structural code as a submodel for the core barrel, provided this structural code yields the stiffness and mass matrices in a suitable format. FLUX was used for various studies on the influence of design variants (e.g., different core barrel wall thicknesses, relieve valves in the core barrel. It was found that consideration of the evaporation in the interior of the reactor mainly influences the local stress on the core barrel close to the pipe nozzles (more pronounced local bulging).

Plans for future work

The results of the study on the extrapolability of the present codes to PWR conditions will have to be examined. Future code development will have to be based on these results.

On the basis of the very precise stiffness and mass matrices for the core barrel determined by CYLDY3 coupled fluid-structural dynamics calculations

will be carried out by means of FLUX. The FEM code for core barrels with axially stepped wall thicknesses is to be made available.

Work on STRUYA will be completed. In addition to CYLDY2, FLUX will use other structural models for the core shell (CYLDY3 and a finite element model). Work on considering structural flexibility of the reactor pressure vessel in FLUX will be started.

06.01.02/04A Laboratory Experiments for Validation and Enhancement
PNS 4126 of Fluid/Structure Dynamics Codes Relevant to Initial
Phases of LOCA
(R. Krieg, F. Eberle, G. Hailfinger, J. Kadlec, E. Wolf,
F. Kedziur, IRE)

Work performed and results obtained

Evaluation of the more than one hundred laboratory experiments on the two-phase flow in the nozzle test section was continued according to plans. With a few exceptions the measured data recorded can be used without any difficulty. A large number of experiments were recalculated with the one-dimensional DUESE program. Comparisons of measurements and calculations again exhibit the dependency detected earlier of the acceleration pressure loss on the dimensionality of the calculations. Another result apparent is a clear trend in the influence of model parameters of the drift flux model on the results; accordingly, completion of the evaluation is likely to produce thoroughly elaborated recommendations for the choice of these model parameters as a function of the flow condition.

As a first step in studying the dynamic behavior of the core structure under blowdown conditions the bowing oscillations of the fuel rods were estimated for given horizontal foot movements.

For the laboratory experiments with periodic excitation preparatory work was continued. Precalculations for experiment A (vertical cylindrical shell, open at the top, empty and filled with water) were completed. Similar to other problems in coupled fluid-structural dynamics, the results show that the fluid inside the shell reduces the eigenfrequencies significantly.

Plans for future work

Evaluation of the laboratory experiments on two-phase flows will be practically completed by late 1979. Conclusions will be drawn on the choice of model parameters in the drift flux model.

In the light of the estimates now being made (especially on the dynamic behavior of the core structure under blowdown conditions) it will be decided whether laboratory experiments of the blowdown type are necessary.

The laboratory experiments with periodic excitation will be carried out for type A and compared with existing precalculations. Precalculations for other types (e.g., vertical cylindrical shell closed at the top or horizontal cylindrical shell both, empty and filled with water) will be started.

06.01.02/05A Development and Verification of Codes for Analysis of
PNS 4127 Dynamic Stresses and Deformations of LWR-Containments
during LOCA
(R. Krieg, B. Göller, G. Hailfinger, IRE)

Work performed and results obtained

On the basis of coupled fluid-structural dynamics calculations using SPHERE and SING-S for a LWR containment with a pressure suppression system (German type 69), stresses have been estimated. Moreover, the development of a computer program has been started for the fine resolution of stresses at critical points of the spherical shell. A collapsing steam bubble in the water pool of the pressure suppression system has been assumed to excite this system.

Plans for future work

The computer program for fine resolution of the stresses at critical points of a spherical shell will be completed. Calculations are to be extended so as to include excitations by earthquakes.

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

06.01.03/05A Development of a Radionuclide Method of Mass Flow Measure-
PNS 4136 ment in Non-Steady State Multiphase Flows
 (R. Löffel, LIT)

Work performed

Tests and comparisons of the radionuclide technique with other techniques
(RS 135, RS 147, etc.) in the joint test rig.

Use of the technique in HDR blowdown tests.

Results obtained

The tests carried out at the joint test rig have shown that the radio-
nuclide method works reliably under genuine blowdown conditions and
furnishes good results. Separate measurement of the velocities of both
phases has been achieved. In the HDR blowdown tests velocities between
0 and 500 m/s were measured in the outlet pipe.

Plans for future work

The use of the method in the LOBI blowdown tests and in the tests performed
in the IRB test rig under transient conditions is being prepared. Velocity
measurements in the HDR blowdown tests will be continued.

06.01.03/04A + 07A Joint Test Rig for Tests and Calibration of Different
PNS 4137, 4139 Methods of Two-Phase Mass Flow Measurement
 (J. Reimann, H. John, IRB)

Work performed

1. Studies in Steady-state Two-phase Flows

1.1 Optimization of Flow Homogenizers

In horizontal, separated two-phase flows the local reading of a drag

body generally does not reflect the value averaged over the cross section. For this reason, studies have been carried out in cooperation with the Battelle Institute of Frankfurt in order to homogenize the flow by means of suitable internals. These internals were composed of sieves, orifices and blockages (pipe segments in the lower and upper areas of the pipe cross sections). The phase distribution in the pipe cross section downstream of the internals ($L/d = 2$) was measured by means of a 5-beam gamma densitometer; a traversable double probe (Pitot impedance probe) was used to measure the distribution of the steam volume fraction and the impulse flow along the vertical diameter. In the air-water flow it was possible to observe the redistributions by means of a plexiglass test section. The experiments were performed in air-water flows ($p = 5$ bar) and steam-water flows ($p = 15, 50, 75$ bar).

1.2 Test of the Drag Body in a Homogenized Flow

Instead of the gamma densitometer the drag bodies (Battelle, Frankfurt) were inserted into the same flow cross section and the same test points as in 1.1 were scanned again. As in RS 109, two drag bodies were arranged in the cross section.

1.3 Test of the Phébus Mass Flow Instrumentation

The mass flow instrumentation developed at CEN Grenoble (turbine flowmeters, Venturi nozzle, gamma beam densitometer) was installed in the test facility and the first air-water tests were carried out.

2. Test Rig for Non-steady-state Two-phase Flow

Following a recommendation by the Emergency Core Cooling Subcommittee and a request by the Federal Ministry for Research and Technology, the Institut für Reaktorbauelemente has begun to plan a non-steady-state test loop for two-phase flows with the beginning of the period under review.

This loop, which will be briefly described below, is to allow tests to be carried out under realistic blowdown conditions of the mechanical and measuring behavior of two-phase mass flow measuring techniques. Thanks to a true mass flowmeter specially developed (PNS 4138) a reference mass current signal with narrow time resolution is available which permits a transient calibration of the method for the first time. As the schematic shows, the loop

has a pressure vessel filled by an existing boiler plant with water approximately at boiling temperature. The horizontal test section, which consists of a series of pipe sections of different nominal widths flanged onto each other, is connected to one of the two horizontal pipe nozzles of the vertical tank. The equipment to be examined can be loaded into the test section at any point. To simulate different installation geometries it is also possible to install pipe sections with elbows. Downstream of the test equipment there is the true mass flow-meter. At the end of the test section there is a quick opening valve which opens by remote control, releasing the full pipe cross section within a short period of time and thus allowing the contents of the boiler to be blow down into a collection tank through the test section. In the collection tank the two-phase flow is dispersed and condensed in cold water. In this way the use of the radio-tracer measuring technique is possible.

The pressure vessel can be installed at two elevations and can be connected alternatively to the upper or the lower pipe nozzles of the test section. In this way blowdowns can be simulated both from the upper and the lower plenums. A vertical test section with a vertical distance of approx. 4 m can also be installed. The piping system, which can be seen from the schematic, allows the loop to be operated in a steady state with about 10% of the maximum blowdown mass flow, thanks to the boiler system connected. Measurement of the mass flow in this case is carried out by means of orifices. The equipment used for testing can in this way be subjected to steady-state functional and calibration tests before the blowdown.

While a minimum mass flow is observed, the pipe system maintains a pressure level which can be preset and is also imposed upon the blowdown boiler. This level may be above the boiling point of the water charge. This fulfils the function of a pressurizer.

The reference mass flow during the blowdown phase is determined by a true mass flowmeter (TMFM). This is an advancement (scale-up) of the version successfully tested in the steady-state loop and found to be approximately independent of the flow pattern of the two-phase flow. A multibeam gamma densitometer is planned for measurement of the density in the test section. This is a further development of the standard 5-beam gamma densitometer also tested successfully in the steady-state loop.

Acquisition and processing of all data from the loop instrumentation (reference measurement) and the different tests are to be organized in a fast data processing system presently in the planning stage at the Institute within the framework of PNS 4238.

Data of the Planned Non-steady-state Two-phase Loop

Blowdown Boiler:

Volume	0.7 m ³
Maximum operating pressure	150 bar
Inlet nozzle	2 x NW 80
Material	13 CrMo 44 with an inner lining of stainless steel (perforated)

Test Section:

Pipe diameters	NW 50, NW 80 (and 46 and 72 mm i.d., respectively)
Overall length	approx. 10 m horizontal, 3 - 4 m vertical
Individual sections	2 m, 1 m, 0.5 m
Material	13 Cr Mo 44

Quick Opening Valve:

Opening time	approx. 15 - 30 ms
Free cross section	corresponding to NW 50 ($1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)
Maximum mass flow	50 kg/s

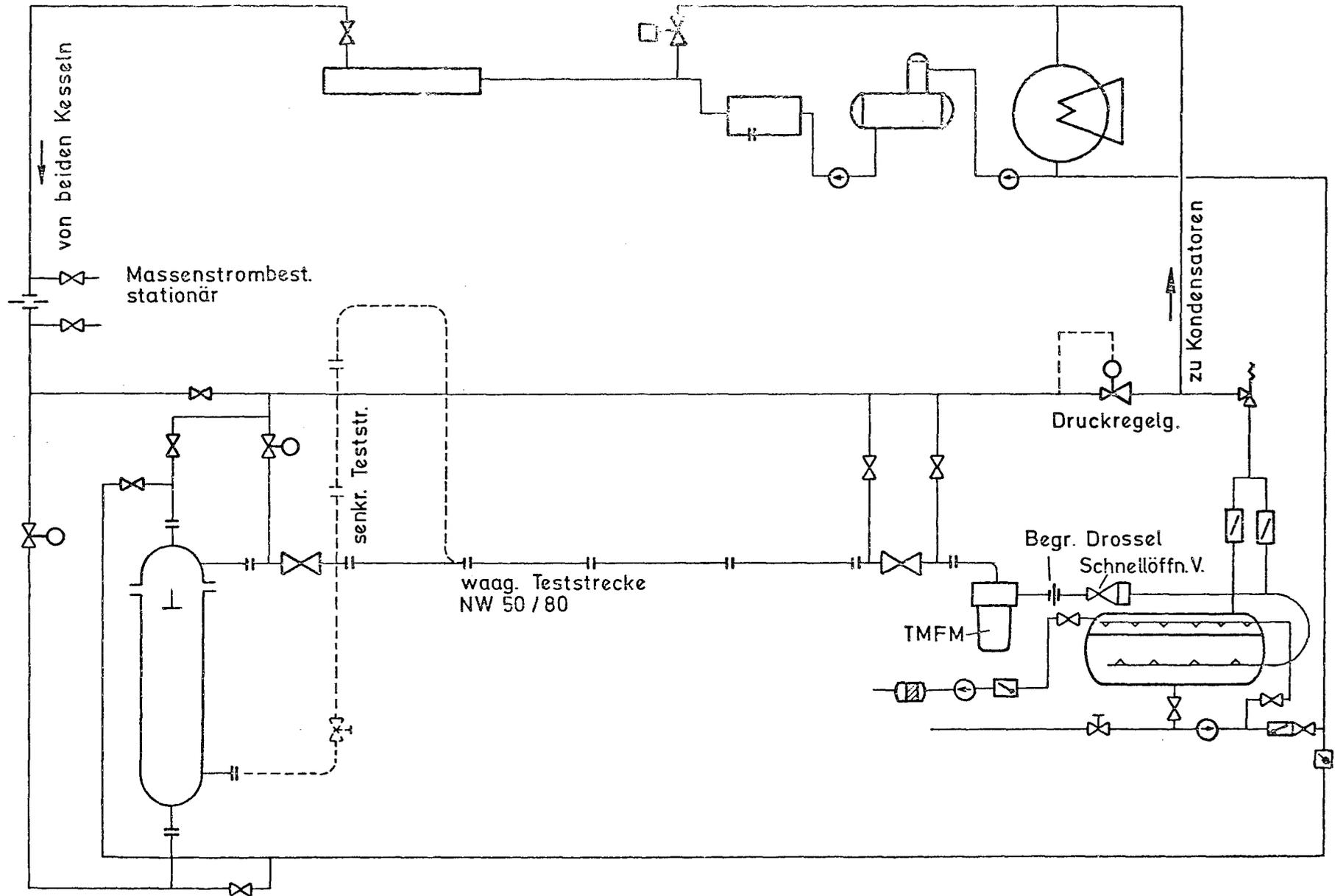
Data Acquisition System (PDP 11):

Number of channels to be loaded	approx. 50
Number of data which can be acquired	100,000/s

Results obtained

Ad. 1.1: After extensive air-water experiments the following combinations were found to be the most suitable internals:

- (a) 3 sieves of different mesh widths; (b) sieves + orifice;
- (c) sieves + orifice + blockage (circular segment).



Instationärer Zweiphasen-Kreislauf

Ad. 1.2: As was to be expected, the homogenizers result in a greatly reduced scatter of the measuring errors of the drag body. A detailed evaluation is presently under way.

Ad. 1.3: The first results show excellent accuracy of the determination of the mass flow by means of the Venturi nozzle and the gamma densitometer. The turbine signal is less satisfactory. One reason is certainly the fact that the turbine is located directly downstream of an 90° elbow.

Ad 2.2:

- The problem of the building for the loop has been settled.
- Planning has been completed in most major respects and harmonized with experimentalists of Euratom, Ispra; Berlin University, Battelle Frankfurt, and GRS.
- Invitation of bids has been started.
- The first orders have been prepared.

Plans for future work

- Evaluation of the tests of the drag body in a homogenized flow.
- Test of the Phébus mass flow instrumentation in air-water and steam-water flows.
- Ordering the components and building the non-steady state loop.

06.01.03/06A Design and Construction of a True Mass Flow Meter,
PNS 4138 $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$
(K. Hain, F. Brüderle, W. Butzer, F. Schloß, T. Vollmer,
K. Wagner, IT)

Work performed

On the basis of experience accumulated in the operation of the true mass flowmeter, $\dot{m} = 5 \text{ kg/s}$ in the COSIMA test facility, a first design draft for the TMFM 50 has been elaborated. The controlling dimensions of the measuring system have been harmonized and optimized by means of the computer programs established.

A new damping system for the stator vibrations has been cold tested in the COSIMA TMFM; the results have been described in terms of programs and

scaled up to the TMFM 50 design.

At the end of the period under review the final controlling dimensions of TMFM 50 were determined and a design draft with more detail was completed.

Results obtained and plans for future work

After fabrication of the components important for the measured signal, these will be loaded mechanically in a test system and the measuring signal will be calibrated. This step will be paralleled by purchasing the semi-finished products for the construction of TMFM 50.

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 (SSYST)

06.01.04/06A Theoretical Investigations on Fuel Behavior under
07A Accident Conditions
08A
09A

PNS 4231 (R. Meyder, IRE; H. Borgwaldt, INR; S. Malang, IRB;
H. Unger, IKE Stuttgart)

Work performed

Development of SSYST

Code-system development: Under this heading the completion of SSYST-2 for IBM computers was the most important fact. This has made a system available which has the full scope of SSYST-1, but has shorter computer times compared with the former version, better error documentation and a more simple data output control. The introduction of aliases, especially for test modules, has made it possible to design the input in a much clearer fashion. To facilitate the establishment of standard inputs by

the VARIO module, programs have been created which allow format free inputting for the REAI and REAG standard SSYST formats. Moreover, it has become apparent from the first few applications of VARIO that a simple fixed point arithmetic is desirable between the variable values (e.g., number of knots); programs have been established also to satisfy this need.

Modules: The ZETHYF module has been adapted on the IBM system and tested to such an extent as to furnish results comparable with those obtained on the CDC system. Physical and numerical tests have been begun. In the treatment of subassemblies by means of single-rod analysis the term "blockage island" has been defined and introduced as a target parameter of this analysis and as an interface, respectively, to cooling capability studies. Programs for identifying blockage islands have been established.

Establishment of Boundary and Initial Conditions

The coupling of COMETHE IIIJ to SSYST has been completed; it allows the easy transfer of initial conditions for accident studies. As an alternative to the WAK module, the REFLOS program has been accommodated by GRS of Cologne to determine the system boundary conditions in the refilling and flooding phases.

Calculation of the burnup history of power reactor has been continued.

Model Development

For modeling the rupture behavior of Zry pipe specimens a first rupture criterion has been established on the basis of the strain fraction rule. This is used as a local criterion for rods with azimuthal temperature variations and as a global criterion in the symmetric case. Theoretical studies have been started to explain the excentric ballooning of the cladding observed in simulator rods. To back up earlier simple estimates on the long-time cooling of highly deformed subassembly zones the COBRA III and BLOW-3A computer programs have been examined with a view to their suitability for the treatment of this problem.

Results obtained

In analyzing the extent of damage in a subassembly it was found that a meaningful interpretation of the probability of occurrence of ultimate elongations must take into account the fact that, in a specific case of damage, all rods in the subassembly are exposed to the same "global" boundary conditions. This gave rise to the consideration of conditional probabilities of occurrence in which it is no longer the ultimate elongation of one single rod which is in the foreground of interest, but the size of the subassembly section in which major elongations occur (blockage island).

Application of the AZI module to describe an excentric pellet position showed satisfactory agreement between the calculation and the experiment for the overall circumferential elongation as a function of the azimuthal differential temperature. Some preliminary calculations of the influence of a cold control rod guide tube seem to indicate a similar effect on the total circumferential elongation as the excentricity between the pellet and the cladding.

In recalculating the REBEKA3 experiment it was seen that the greatest uncertainty is still included in the (T, α) boundary conditions, although for this experiment they are known much more precisely than in any other experiment. Yet, comparison with the experiment showed satisfactory agreement.

The first calculation for the K9 PKL experiment has given an impression of the computer costs to be expected for such a case, namely approx. 15 h of computer time (IBM/3033) for 500 s of problem time.

In coupling COMETHE IIIJ to SSYST it was found that agreement between the two codes is satisfactory under the same geometric and thermal boundary conditions.

In studies of the long-term cooling capability of strongly deformed zones analysis of the calculations performed in the last period under review indicated that the steam volumes assumed for cooling are not really present. This means that steam must still be generated even in a strongly deformed area. In order to shade more light on this event, CORBRA III and BLOW-3A were used, the latter code being the only to show promising results.

Plans for future work

For the next six months the documentation of SSYST-2 and the assessment of possible sizes of blockage islands are in the foreground of interest.

06.01.04/10A Decay heat measurement of ^{235}U Fission products in the
PNS 4234 time period from 10 to 1000 sec.
(K. Baumung, INR)

Work performed

In a revision of the original measuring program the parameters of the micro-calorimeter were determined in calibration measurements for operation as a heating calorimeter. In this way it is possible to measure the heat capacity of the fuel specimens, which is required for calculation of the decay heat from the adiabatic temperature rise, right after the adiabatic measurement in the same calorimeter, which reduces systematic errors. For this purpose, the calorimeter, which is evacuated in adiabatic operation, is vented and a defined temperature difference is maintained between the sample and the calorimeter. Heat conduction in the gas charge then adds a defined power to the fuel sample which is only a function of the geometric dimensions of the sample. Differential measurements carried out on hollow samples with and without water in them allowed this power to be calibrated as a function of the temperature rise, the amount of water and its heat capacity, which was known precisely. Since these calibrated values are subject to variations due to tolerances in the distances between the sample and the calorimeter jacket, the standard deviations were determined in series of measurements for the four dimensions of samples available. They are 0.7%, which is almost two orders of magnitude above the standard deviation of the individual measured values in a fixed position; however, they cannot be reduced in the present apparatus.

Results obtained

All the operating and control parameters and the computer programs for operation of the microcalorimeter both as an adiabatic calorimeter (for measurement of the adiabatic temperature rise of the fuel samples due to decay heat) and as a heating calorimeter (for measurement of the heat

capacity of irradiated samples) are now available. Accordingly, the standard deviation of pure power measurements is probably going to be around 1%.

Plans for future work

In-pile experiments are scheduled to begin still before the summer break.

06.01.06 Material Behaviour of Zry-4 under Accident Conditions

06.01.06/06A Investigation of the Mechanical Behavior of Zircaloy

PNS 4235.1 Cladding Material under Transient Conditions

(M. Bocek, C. Petersen, H. Schneider, B. Seith, K. Dindorf,
W. Schweiger, IMF II)

Work performed

- 1) a) Tensile stress cycling in Zircaloy-4.
b) Calculation of the time-to-rupture for temperature cycling.
- 2) Investigation of the cavitation behavior of Zircaloy-4.
- 3) Evaluation of rupture tests in the FABIOLA facility.
- 4) Post-irradiation examinations of cladding tubes blown under in-pile conditions.

Results obtained

- 1) a) Under the assumption of the validity of the life fraction rule the (LFR) time-to-rupture was computed for tensional stress cycling (1). Six different loading types were examined, four of them being designed as cyclic stress tests with superimposed temperature ramp. The sensitivity of the lifetime to changes in the stress amplitude and in temperature was studied. For given loading conditions the time-to-rupture can be estimated solely on the basis of static time-to-rupture tests without any fitting procedures. The calculations were compared with the corresponding experiments performed on Zircaloy-4 in the α and $\alpha + \beta$ phase regions. The good agreement found shows that the LFR is a suitable method not only to predict failure at high temperature for monotonous loading (2,3), but also to estimate the lifetime of materials subjected to cyclic tensile loads

with the temperature ramp superimposed.

- b) The time-to-rupture of Zircaloy-4 subjected to temperature cycling in a tensile creep test was computed on the bases of the validity of the LFR. The following cases were treated:

Saw tooth type temperature-time profiles with and without holding times and temperature cycling superimposed by load cycling and a load ramp, respectively.

The times-to-rupture for a given loading scheme can be calculated analytically on the basis of parameters from static time-to-rupture tests and by means of loading conditions (4).

- 2) Scanning electron microscopic pictures of transverse microsections were made of Zircaloy-4 specimens in which cavitation had been observed under the optical microscope (5). Because of the polished surface it is not possible under the scanning electron microscope to find good assignment of the pores to the structure. For this reason, a device has been designed and committed in the period under review, which is to enable predeformed specimens to be fractured in an intercrystalline manner in an iodine atmosphere which is known to facilitate intercrystalline fracture due to stress corrosion cracking (6).
- 3) Several experiments in a steam atmosphere with and without iodine were run in the FABIOLA facility. Since these are still commissioning tests at the present stage, only two experiments have been evaluated with respect to the development of straining as a function of time and supplied to the verification groups for recalculation.
- 4) In this period of six months two in-pile rupture tests (A2.2 and B1.1) were studied within the framework of metallographic post-irradiation examination. The objects involved were non-preirradiated rods. The temperature estimates on the bases of structure examination have been further refined. The estimated temperatures lie above the measured and corrected temperature levels. Moreover, azimuthal structural differences and, corresponding temperature variations were found. The deformation behavior did not exhibit any peculiarities compared with specimens deformed out-of-pile.

Plans for future work

- 1) Performance of transient tensile creep experiments in INSTRON.
- 2) Studies of the cavitation behavior of Zircaloy.
- 3) Continuation of rupture tests in the TUBA facility (under iso and transient conditions). Evaluation of rupture tests in the FABIOLA facility; verification of rupture criteria.
- 4) Post-irradiation examinations of cladding tubes deformed in-pile and out-of-pile.

Bibliographical data

- (1) M. Boček^V, Tensile Creep Rupture at Cyclic Load Variation, J. Nucl. Mat., in press
- (2) M. Boček^V, Creep Rupture at Monotonous Stress and Temperature Ramp Loading. Part 1: Calculations, J. Nucl. Mat., in press
- (3) M. Boček^V, Creep Rupture at Monotonous Stress and Temperature Ramp Loading. Part 2: Application to Zircaloy, J. Nucl. Mat., in press
- (4) M. Boček^V, Creep Rupture during Temperature Cycling, Res Mechanica, in press
- (5) M. Boček^V, und C. Petersen, The Influence of Oxide Coatings on the Ductility of Zircaloy-4, J. Nucl. Mat. 80 (1979) 303 - 313
- (6) P. Hofmann, Influence of Jodine on the Strain and Rupture Behavior of Zircaloy-4 Tubing at High Temperatures, 4th international conference on ZIRCONIUM IN THE NUCLEAR INDUSTRY, Stratford-on-Avon, England, 26 - 29 June 1978

06.01.06/07A Investigation into the High Temperature Steam Oxidation
PNS 4235.2 of Zircaloy Cladding Tubes
(S. Leistikow, B. Bennek-Kammerichs, H. von Berg, R. Kraft,
G. Schanz, IMF II)

Work performed

In the course of oxidation kinetic studies of Zircaloy-4 fuel rod cladding

material the so-called breakaway effect was found at 1000°C. This effect refers to the rapid loss of the high initial protective action of the undamaged oxide layer by mechanical stresses causing the layer both to rupture and to peel off and thus initiating the transition from a parabolic or cubic to a linear type of oxidation kinetics. The occurrence of this effect was analyzed in terms of oxidation kinetics and morphology. One advantage in this study was the fact that the breakaway effect occurs at a point in time which can well be measured experimentally and in thick critical oxide layers which allow reliable examination of the oxide under the optical microscope.

The isothermal-isobaric stress-rupture tests at internal pressure were continued with the objective of further completing the studies so far conducted and also to determine the variance in the stress-rupture functions. For this purpose, some 80 more tube capsule experiments were conducted at 750 - 900°C, 50 - 120 bar in steam in a pre-corroded condition. Other tube capsule tests were carried out in a non-corroded stage in argon and steam at 800 and 850°C, 35 - 75 bar.

The temperature transient/isobaric rupture tests at internal pressure were supplemented by studies conducted at a rate heating of 28°C/s. At the same time, creep-rupture tests were conducted with typical LOCA-curves at maximum temperatures between 900 and 1300°C and evaluated with respect to maximum circumferential expansions.

Results obtained

In the special kinetic-morphological studies of the breakaway effect it was found that the mechanical failure of the oxide is due to the formation of incipient cracks extending laterally which will later combine in a system of cracks. At subsequent stages of the breakaway phenomenon this cracking is repeated periodically, and stoichiometric white oxide, which has no more protective action, is generated in combination with incipient surface cracking. The mechanical failure of the oxide is preceded by the formation of pores and voids at the oxide/ α -Zr(O) phase boundary which is becoming more and more wavy in the course of oxidation. These pores and voids, being weak spots, allow cracking to take place. Kinetically, the action of the pores as diffusion barriers is reflected in delayed growth of the oxide immediately before a drastic acceleration of oxidation in mechanical oxide failure.

Now the cause of pore formation preceding these mechanical phenomena has been recognized to be cause of breakaway. Pore formation is explained by the agglomeration of anion vacancies in the substoichiometric oxide during transition from the tetragonal to the monoclinic oxide modification. However, this phase transition has not yet been proved directly. Extrapolability of the results to the low-temperature range, to different zirconium alloys or even different materials has not yet been elucidated.

The isothermal-isobaric creep-rupture tests at internal pressures confirm the creep-rupture functions previously obtained and allow sharper definitions to be given to their variances. The temperature-transient/isobaric rupture tests carried out at 350°C beginning at 28°C/s, 7 - 80 bar, resulted in higher rupture temperatures at internal pressures < 20 bar compared with the lower heating rates examined of 5 and 10°C/s. However, the rupture strains fully fit the well known hump function with a minimum between 900 and 920°C.

Temperature transient(isobaric creep-rupture tests again showed the strengthening and strain inhibiting effect of pre-corrosion on the burst phenomena at temperatures of 900 - 1300°C, for which quantitative results have now become available.

Plans for future work

Isothermal/isobaric tube rupture tests following pre-corrosion (5 µm) in steam at 700 - 1000°C, 20 - 100 bar and compilation of a final report on this type of experiment. Studies on the zircaloy-4 steam oxidation in minor leakages, above all with respect to the breakaway effect.

06.01.06/08A Investigations on the Influence of Oxide Fuel and
PNS 4235.3 Fission Products on the Mechanical Properties of
Zry-Cladding Tubes under Transient Conditions
(P. Hofmann, H. Schneider, H. Zimmermann, J. Burbach, G. Gaus-
mann, H. Metzger, H. Eckstein, B. Scheckel, IMF I)

Work performed

- Burst and creep rupture experiments with as - received internal
pre-oxidized and pre-damaged Zircaloy-4 tube specimens under inert gas conditions

to determine the critical iodine concentration above which Zircaloy fails as a result of stress corrosion cracking (test facility: ROBERTA).

- Theoretical estimate of the possibility to describe stress corrosion cracks in Zircaloy-4 cladding tubes at high temperatures (500 - 800°C) in terms of fracture mechanics.
- Investigation of structural changes in Zircaloy-4 as a function of temperature and annealing time under inert gas conditions (test facility: TUBA).
- Destructive post-irradiation examinations (metallography) of nuclearly heated and ruptured fuel rods of PNS Project 06.01.08/01A (PNS 4237) within the framework of which in-pile experiments are conducted on fuel rod behavior in loss-of-coolant accidents (LOCA).
- Fuel characterization and annealing tests on irradiated UO_2 samples of the F 6 fuel rod (burnup 20.000 MWd/t_U). Density measurements of fuel specimens of fuel rods F 1 - F 4 subjected to LOCA tests and determination for the fission gas fraction retained in the UO_2 of rods F 1 and F 2 (the rods come from PNS Project 06.01.08/01A).

Results obtained

- The critical iodine concentration above which there is a low ductility failure of Zircaloy-4 as a result of stress corrosion cracking is a function of cladding stresses (isothermal, isobaric and transient experimental regimes, resp.), of the cladding temperature and the mechanical and chemical pre-treatment of the cladding tubes. If the critical iodine concentration is exceeded, the Zircaloy-4 cladding tubes will fail below 850°C, showing a distinct reduction in rupture strain of the cladding ($\epsilon_B < 20\%$). Above 850°C iodine has no longer any marked influence on the rupture strain of the tubes. After some preliminary test results the critical iodine concentration for as-received cladding tubes at 700°C (stress-rupture tests) is found to be approx. 0.5 mg/cm³ (approximately corresponding to 0.1 mg of iodine/cm² of inner surface of the cladding tube). Thin oxide layers on the inner surface of the cladding tube and preceding mechanical damage (notches) of the test specimens slightly shifted the critical iodine concentrations towards lower values /1/.

- Applying fracture mechanics to the description of cladding tube failure under normal reactor operating conditions due to stress corrosion cracking initiated by iodine is possible. Both the linear-elastic description of crack propagation by the K_I concept and the description in terms of fracture mechanics of the initiation and propagation of cracks by means of the J integral will both lead to the desired goal. The discussion of both models with respect to their use (in describing the stress corrosion cracking behavior of Zircaloy-4 cladding tubes under the influence of iodine at temperatures of up to 850°C leads to a preference for the concept of linear elastic crack propagation. However, some basic aspects of yield fracture mechanics may perhaps not be completely excluded from consideration /2/.

- The structural condition of Zircaloy-4 in the stress free condition is a function of temperature and annealing time. For this reason, it is possible in principle to estimate the temperature of the cladding material in out-of-pile and in-pile experiments on the basis of the structural condition of Zry. Some preliminary intercomparison studies carried out with the purpose to estimate the cladding material temperature of Zry-4 specimens annealed under defined conditions resulted in an error limit in the temperature estimate of $\pm 20^\circ\text{C}$.

- The ruptured fuel rods, A 2.2 and B 1.1 which had been subjected to a loss-of-coolant accident transient in the FR2 reactor, have been subjected to metallographic post-irradiation examinations also with respect to the extent of internal corrosion. Results indicate that the oxidation of the inner surface of the cladding tube is not a uniform axial and radial process. Oxidation of the inside of the cladding tube is most pronounced in the environment of the rupture point; at greater distances away from the rupture point there are some areas where there is no oxidation at all. Most probably, most of the inner oxidation of the cladding tube is brought about by the steam entering the fuel rod after rupturing /3/.

- First post-irradiation examination results available with respect to the fission product gas behavior indicate fission gas releases from the irradiated UO_2 (20.000 MWd/t_U) of $6 \pm 2\%$ in the short period of heating of the fuel in LOCA tests F 1 - F 4. Fuel swelling is generally less than 0.3%. In the annealing experiments of the irradiated fuel at high temperatures some diffusion controlled long term effects became active which resulted in time dependent fission gas releases and in fuel swelling /4/.

Plans for future work

- Continuation of the experiments on predamaged and as-received Zircaloy-4 cladding tubes to determine the influence of iodine and other volatile fission products on the mechanical properties of the cladding tubes in simulated special LWR transients.
- Some first experiments on predamaged tube specimens in the presence of iodine to verify the rupture mechanics model describing the stress corrosion cracking behavior of Zircaloy-4 cladding material.
- Continuation of the studies of structural changes in Zircaloy-4 as a function of temperature and time.
- Destructive post-irradiation examinations of irradiated fuel rods from PNS Project 06.01.08/01A (PNS 4237).
- Continuation of the post-irradiation and post-annealing examinations of fuel specimens of the F series (burnup 20.000 MWd/t_U) and annealing tests on UO₂ specimens of rod G1.6 (burnup 35.000 MWd/t_U).
- Chemical analysis of the Zry cladding material, the fuel and the simulated fission products.

06.01.06/10A Burst Tests of Zircaloy Cladding Tubes under Combined
PNS 4235.4 Mechanical and Chemical Load (FABIOLA-Program)
(L. Schmidt, H. Lehning, K. Müller, D. Piel, H. Schleger, IMF III)

Work performed

Assembly work on the FABIOLA-test facility (steam generation system, test section including special instrumentation, pressure gas supply for the fuel rod simulator, X-ray cinematographic system with the necessary radiation shielding) has been completed; commissioning has been started in March after the necessary official permits have been obtained. Parallel with these efforts the measured data acquisition system was completed and the plotting system installed and tested. In this way it is possible to represent, with little expense in terms of time, the important test data in a very precise way for subsequent experimental evaluation.

The first burst-tests were performed on fuel rod simulators filled with Al_2O_3 , some of which had been injected iodine, and in this process the characteristic parameters of the test facility had been determined and verified.

Ballooning of the Zircaloy cladding tube is recorded by X-ray cinematography.

The system consists of a 160 kV X-ray tube, an image intensifier and a movie camera. When the shroud was heated directly with currents up to 1000 A there were some problems in the image intensifier which required some specific and relatively expensive precautions, such as the complete magnetic shielding of the test section and the image intensifier.

In accordance with the test program burst-tests carried out under hot rod conditions ($Fq = 2.5$), in which once the shroud was kept at a constant temperature of 600°C and, in another case, the shroud was heated with the same temperature ramp as the fuel rod simulator.

For all following experiments another series of Zircaloy cladding tubes welded on one side have been manufactured some of which are going to be loaded with UO_2 pellets.

Results obtained

At a constant temperature of the shroud of approx. 600°C , a starting temperature on the Zircaloy cladding tube of 600°C and a rate of temperature rise of approx. 10 K/s with constant internal pressure of 100 to 140 bar, rupture strains up to 35% were measured. The shape of the deformation at the rupture area and the relatively low strains are indicative of major azimuthal differential temperatures on the cladding tube surface.

Fuel rod simulators which had been injected iodine showed rupture strains up to 10% under the same experimental conditions.

In all these experiments the fuel rod simulator was exposed externally to a steam flow (600°C , 1.5 bar, approx. 3 m/s).

The measured times-to-rupture were in good agreement with the values calculated in accordance with M. Boček (Journal of Nuclear Materials, vol. 82 (1979),

p. 329).

Subsequent experiments in which the shroud was heated with the same temperature ramp as the fuel rod simulator resulted in rupture strains of approx. 60% at, e.g., 100 bar internal pressure and a rate of temperature rise of 9 K/s. Again, the comparison between the measured time-to-rupture and the calculated one showed good agreement.

Plans for future work

- Start-up of the on-line TV-width analyser
- Modifications of the heating system of the shroud and the fuel rod simulator heaters so as to localize the rupture area specifically at the pyrometric point of temperature measurement.
- Specification and purchase of a power supply system for the fuel rod simulator heater which allows different temperature functions to be set.
- Provision of further fuel rod simulators loaded with Al_2O_3 and UO_2 .
- Burst tests under hot rod conditions.

06.01.07 Fuel Behavior in the Blowdown-Phase of a LOCA

06.01.07/03A Investigations of the Fuel-Rod-Behavior under controlled

06.01.07/04A Blowdown-conditions (COSIMA)

PNS 4236.1/2 (G. Class, N.N., IRE)

(K. Hain, F. Brüderle, F. Schloß, T. Vollmer, K. Wagner, IT)

Work performed

The experimental program with COSIMA was greatly reduced in the first six months, on the one hand, because of personnel difficulties in the evaluation of the tests already run and, on the other hand, because of the test team with the further development of the two-phase mass flowmeter, the true mass flowmeter, for a mass flow of 50 kg/s.

Despite these limitations five blowdown tests of the planned experimental program were performed in the period under review. Another four blowdown tests were run in preparation of studies of the influence upon the rewetting behavior of thermocouples attached to the outside of the cladding tube. These experiments serve to clarify the differences which have come up in the LOFT experiments between experiment and precalculation and are performed in cooperation with EG&G. For this purpose, two simulators were sent to the United States for instrumentation with thermocouples in the LOFT mode.

Results obtained and plans for future work

After the rods will have come back from the United States, TE experiments will be carried out in the COSIMA facility while the TMFM work will be interrupted.

06.01.08 In-pile Experiments in the DK Loop of the FR2 Reactor

06.01.08/02A Investigations of Fuel Behavior in the 2nd Heatup Phase
PNS 4237.1 of a LOCA .

(B. Räßle, E. Karb, A. Grünhagen, G. Harbauer, M. Hespeler,
W. Knappschneider, W. Legner, W. Leiling, H. Lukitsch,
M. Prüßmann, K. Wagner, IT)

Work performed

In preparation of the reference tests with electrically heated fuel rod simulators (BSS)

- the components for the first test series were obtained and made ready for assembly,
- all Zry cladding tubes were measured by ultrasonic techniques, and
- the calculations accompanying the fuel rod simulator tests were completed at IKE.

An in-pile rig with six nuclear rods for pre-irradiation was irradiated in the FR2 to a burnup of approx. 2500 MWd/t_U. Five of these test specimens were used in experiments C 1 to C 5. Rod C 6 was reserved for special post-irradiation examinations, such as burnup assays, etc. Irradiation of another in-pile rig for pre-irradiation to a burnup of 10.000 MWd/t_U was begun in the second quarter of 1979.

Neutron radiographs were made of all the rods tested before and after the tests.

Post-irradiation examinations in the Hot Cells were carried out as follows:

Hot Cell activities, 1st half of 1979

	Non-destructive Post-irradiation Examination	Destructive Post-irradiation Examination
Work completed	G 1.2, G 1.3 BSS 12	F 2, F 3, F 4, F 5 G 1.6
Work started and in hand	G 1.4, G 2.1, G 2.2, G 3.1, G 3.3,	G 1.1, G 1.5, BSS 12
In preparation	G 3.2, G 3.6, B 1.7	G 1.2, G 1.3, G 1.4

The mechanical fuel behavior of the pre-irradiated test specimens in the test (crumbling of the fuel pellets) was studied analytically by means of various computer programs. The CARO, COMETHE and FRAP-3 and FRAPCON, respectively, computer programs were used. This step served to find out whether the FR2 test rods would behave very much different from PWR fuel rods with respect to rod temperatures and gap widths. It was assumed that the FR2 test rods were irradiated under FR2 coolant conditions and PWR rods under PWR coolant conditions. Both types of rods should be exposed to the same power, versus-time curve.

Results obtained

In the measurements of the cladding tubes of fuel rod simulators no differences in quality were found compared to the cladding tubes of the nuclear tests.

Fabrication tolerances for diameters and wall thicknesses were utilized only to a very little extent.

The results of the calculations accompanying the fuel rod simulator tests, after a comparison with results measured in the preliminary tests (BSS 5), showed temperature curves and heating rates at the Zry cladding tube and the steam carrying tube (in the in-pile section) during transient heating, which agreed well.

The rupture data of experiments C 1 to C 5 remained within the range of scatter of the test results so far achieved in the experiment:

Test	Rupture Pressure bar	Corrected Rupture °C
C 1	45,7	900
C 2	30,2	945
C 3	98,2	749
C 4	65,4	815
C 5	21,9	916

In four rods the failure points were outside the instrumented zones and, for that reason, were not disturbed by thermocables. From the NERA images of the C-rods it can be seen that the rupture structure of the fuel pellets after pre-irradiation and after the test, respectively, is comparable with the condition of the fuel of highly burnt up specimens (20.000; 35.000 MWd/t_U). This is also true of the mobility of the fuel particles.

The results of the calculations of rod behavior during pre-irradiation exhibits slightly lower fuel temperatures and increased gap widths of the FR2 test rods compared with the PWR rods. Only the results of the CARO calculations (KWU) indicate major differences between the two rods.

In the study using the FRAP-S and FRAPCON programs /9.18/ also the radial temperature gradient in the fuel was investigated for the two types of rods. This parameter is regarded as being responsible for cracking of the fuel. The FRAP and FRAPCON results, respectively, show little difference in the radial temperature gradient for the FR 2 test rod compared with the reactor rod. Hence, the analytical study provides no indication that the in-pile

cold control rod guide thimble.

Results obtained

The REBEKA 3 bundle test was carried out with the following set of test parameters:

- Initial inner helium pressure of the rods: 70 bar.
- Electrically simulated decay heat power at the mid-plane of the rods: 20 W/cm.
- Heat transfer of a downward steam flow during refill phase: approx. $30 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Constant cold flooding rate in forced feeding: approx. 3 cm/s.
- Temperature of flooding water: 130°C .
- Systems pressure: 4.5 bar.
- Maximum cladding temperature at start of flooding following a heating rate of 7 K/s: 760°C .

This meant that plastic deformation of the Zircaloy cladding tubes occurred in three phases of different thermohydraulic conditions:

- During a downward steam flow with a downward shift of the axial temperature profile during low cooling.
- During a 6-second phase of stagnant steam without further shift of the axial temperature maximum.
- Finally, during two-phase cooling, by forced feeding of the flooding water with an upward shift in the axial temperature profile.

Under these thermohydraulic boundary test conditions the following picture of plastic deformation of the cladding tubes was found:

- Slight deformation around the spacers.
- The axial displacement of the peak strain between two spacers is the systematic result of the axial temperature distribution history, and in most cases the peak strain will be in the axial center of the rod subassembly.
- The maximum axial peak temperature profile between the two central spacers was around 32 K, the measured azimuthal differential temperature

in the axial mid-position at approx. 30 K.

- This resulted in maximum rupture circumferential strains of 44 % on the average.
- The maximum cooling channel blockage was 52%.
- The mean rupture pressure was 51 bar, the mean rupture temperature 830°C.

With respect to the generation of the azimuthal differential temperature during the straining process the following information is now available:

- In the refill phase there was practically no differential temperature on the circumference.
- In the flooding phase the azimuthal differential temperature increased very uniformly with the flooding time.
- The decrease in wall thickness of the Zircaloy cladding tubes around the circumference can be correlated precisely to the azimuthal temperature distribution.

Comparison of the strain results of the REBEKA 3 bundle experiment with the results previously obtained in REBEKA 1 and 2 (1 = deformation mainly in the flooding phase, 2 = all deformation occurring in the refill phase) confirms the relations shown earlier between the influence of the axial and azimuthal temperature profiles produced during deformation upon the whole strain pattern in the bundle. The results of REBEKA 3 can be systematically integrated into this pattern.

Also in this experiment the sequence and the direction of rupture of the tubes provide no indication of a mechanical rod-to-rod influence with a rod failure propagation mechanism.

In establishing a rupture criterion for fuel rod cladding tubes at internal overpressure it was assumed that rupturing occurs as a result of the strain moving towards infinity. It was assumed that plastic deformation is controlled by secondary creep. Integration of the creep relation up to the singularity of the strain-versus-time curve provides the time to rupture. If the time to rupture is known, the rupture temperature and the rupture pressure can be calculated because the temperature and pressure curves are known as a function of time. The rupture strain can be determined by means of another empirical relation between the rupture stress and the rupture temperature.

Plans for future work

- Single-rod tests on shortened fuel rod simulators under defined boundary conditions to verify a relation for the rupture temperature, which is designed for application to the laws guiding the behavior of materials under plastic strains in Zircaloy cladding tubes and for verification of a rupture criterion.

- Performance of a bundle test on full length fuel rod simulators with an axial power profile in a 5 x 5 rod array under flooding conditions and with a control rod guide thimble instead of the central rod to study the influence of cold control rod guide thimbles upon the deformation and wetting behavior in the rod bundle.

- Preparation and performance of thermocouple bundle tests to determine the influence of various thermocouple arrangements upon the true cladding tube temperature and the rewetting behavior of the Zircaloy cladding tubes as a function of the heating power, the gap resistance and the external heat transfer.

- Expansion of the REBEKA test facility to 7 x 7 rod bundle tests including an independent computer control data acquisition system.

- Supporting theoretical work.

06.01.10 Influence of Coolant Channel Blockages upon Core Cooling in
 the Reflood Phase of a LOCA

06.01.10/02A Influence of the Size and Shape of Coolant Channel Blockages
PNS 4239 upon Core Cooling in the Reflood Phase of a LOCA (FEBA-Program)
 (P. Ihle, W. Götzmann, G. Hofmann, H. Kreuzinger, K. Rust,
 H. Schneider, S. Malang, IRB)

Work performed

Evaluation of the experiments completed in the 5-rod row series has been continued. The experiments on the 25-rod subassembly have been started. Because of the results of the tests conducted in the

5-rod row series, the development of probes used to determine steam superheating has resulted in the fabrication of a new type of probe which will be used in all following experiments. For the impedance probes used to determine the presence of water in a steam flow a standardized electronic outfit has been developed and tested so as to be able to better compare the signals from various probes.

Results obtained

Experiments within the 5-rod series on the qualitative examination of the influence of the shapes and sizes of blockages (forced flooding, all subchannels restricted) led to the following summary results:

- Improved downstream of the blockage cooling at the same mass flow.
- The axial extension of improved cooling is short compared with the length of the subassembly.
- The improvement of the cooling downstream of blockages and the axial extension are more pronounced in plate-type blockages (with sharp edges) than in sleeves (with rounded edges) with comparable losses of pressure.
- The axial extension increases with rising flooding rate.
- Measuring techniques to determine two-phase flow conditions have been further developed for transient flows. In addition to the local cladding temperature measured they allow blockage effects to be analyzed.

Plans for future work

The experiments started on the 25-rod bundle will be continued. This test series serves the following objectives in particular:

- Improved measurement of two-phase flows by the probes mentioned above.
- Determination of local cooling changes
 - by spacers
 - by partial blockages (qualitative)
 - by different blockages simulators.
- Quasi-steady state experiments on the long-term cooling problem with a 16-rod bundle 90% blocked in the 25-rod test section.

06.01 SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER
PLANTS

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

06.01.11/05A Investigations on the Interaction of Fission Products
PNS 4311 and Aerosols in LWR-Containments
(W. Schöck, H. Bunz, M. Koyro, LAF I)

Work performed

Because of necessary repair and modification work on the NAUA facility the series of condensation measurements in metal oxide aerosols had to be interrupted in the period under review. Instead, a series of tests were conducted on soluble aerosols. A thermostat equipped sampling section was built up for the detection of the solid aerosol fraction which is required to determine the particular fractions in the three-phase aerosol system. Design of the components for the experiments on wall condensation was begun.

Results obtained

The introduction of balancing of solid and liquid aerosol fractions in the model have been completed. The verification still necessary will be possible at the end of the condensation tests. The calculations indicate a clear confirmation of the dominating influence of water vapor condensation on the reduction of fission products. In the course of sedimentation of the droplets by far the largest fraction of fission products is carried along and removed with the droplets. However, the small residue is airborne for a longer period of time; its mass is very strongly dependent on the sequence of accident steps, especially on the sources of water vapor. This reconfirms the need for reliable modeling of the condensation events and its experimental backing. 43 expansion experiments were conducted with sodium nitrate as a model substance for soluble aerosols. Evaluation has not yet been completed. However, it can already be stated that the condensation behavior differs fundamentally from

that of metal oxide aerosols. Aerosols from soluble substances have droplet character already in the undersaturated regime, condensation is complete on all particles.

Plans for future work

The experiments yet to be conducted on metal oxide aerosols to determine the condensation form factors will be performed. This allows the condensation module in the NAUA model to be completed. This will be followed by the introduction of realistic vapor sources in the model and their experimental backing by studies of wall condensation and the distribution of solid particles in the droplets.

06.01.11/06A Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at
PNS 4314 Core Melting Conditions
(H. Holleck, A. Skokan, H. Schneider, G. Schlickeiser, IMF I)

Work performed

The chemical reactions occurring during core meltdown and their influence on the integral and partial vaporization behavior have been studied.

Results obtained

Pronounced vaporization from a molten core will not start below temperatures of approx. 2500 - 2600°C. The vaporization volume increases with the steel content of the melt. Increasing oxidation of the melt reduces the vaporizing mass at temperatures between 2500 and 2600°C, increasing it at temperatures around 2700°C. This is probably due to a preferential thermodynamic influence at lower temperatures and a preferred kinetic influence at higher temperatures.

Studies of the influence of the oxygen potential on the vaporization behavior of Cs and Mo in the range of temperatures between 800 and 1500°C indicated the strong influence of this parameter on the release.

Plans for future work

- Vaporization experiments on melts and solid specimens with different states of oxidation as a function of temperature and time to determine selective

vaporization.

- Determinations of melting points of samples of concrete-corium mixtures.

06.01.11/07A Materials Investigations in the Frame of the BETA-
PNS 4317 Experiments
(A. Skokan, G. Schlickeiser, H. Janzer, IMF I)

Work performed

In a first series of experiments various oxides (UO_2+ZrO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , BaO , CeO_2) were molten in resistance heated furnaces compared with basaltic concrete (thorium oxide as the crucible material, inert atmosphere, temperatures 1500, 1700 and 1900°C duration of the experiment 0.5 h).

Results obtained

- Mixing patterns: At the test temperatures of 1500, 1700 and 1900°C and in the arrangement chosen (concrete at the top, oxide at the bottom) no significant differences in the dissolution rates were found after 30 minutes of melting between UO_2 and UO_2+ZrO_2 , on the one hand, and Al_2O_3 , on the other hand, in the concrete melt situated above. The other oxides studied showed different kinds of behavior.
- Melting and solidification temperatures: The melting and solidification temperatures of the concrete/ Al_2O_3 mixtures are lower than those of the corresponding concrete/ UO_2+ZrO_2 mixtures.

Plans for future work

- Intercomparison crucible melting tests with UO_2+ZrO_2 and other oxides (especially Al_2O_3) in an interaction with concrete and steel under induction heating.
- Calculation of the heats of reaction for the standard thermite mixture and for alternative thermite mixtures.
- Post-experimental examination of samples from thermite melting tests in

order to determine materials properties.

06.01.11/08A Experiments on Determination and Limitation of Fission
PNS 4315 and Activation Product Release during Core Meltdown
(H. Albrecht, V. Matschoß, K. Nolte, H. Wild, IRCH)

Work performed

A series including 13 release tests in air were performed in which the radioactive constituents of the melt in nine cases consisted of fission with a simulated burnup of 40.000 MWd/t and in four cases of activated steel and Zircaloy components. The UO_2 and fission pellets, respectively, were each contained in three cladding tubes 7.2 cm long. These were surrounded by concentric steel rings at their bottom ends so that the composition of the melt roughly corresponded to that of corium A (65% UO_2 , 18% Zry, 17% steel). Heating was achieved inductively by means of a tungsten susceptor surrounding the ThO_2 melting crucible and insulated against the furnace atmosphere (air).

Test parameters:

Mass of the melt	146 - 200 g
Atmospheric pressure	0.5 - 2.0 bar
Air flow rate	10 - 50 l/min
Heating rate	110 - 150 °C/min
Maximum temperature of melt	2200 - 2800 °C
Dwell time at T = const.	<u>≤</u> 20 min

Results obtained

Evaluation of the experiments and a comparison of the results have not yet been completed; hence, the information given below should be regarded as preliminary and incomplete.

- (a) Releases of highly and moderately volatile fission products at a mean heating rate of 130°C/min in an atmosphere of 2 bar of air showed the following dependence on temperature:

Release (%)

Heating and 1 min of Dwell Time at	I	Cs	Se	Te	Mo	Sb	Ag
2000°C	80±10	40± 5	4.3±1.2	4.3±1.5	1.0±0.5	0.7±0.3	2.1±0.6
2200°C	100	75±10	5.6±1.8	9.6±4.0	1.2±0.6	1.5±0.5	5.0±2.5
2400°C	100	95± 5	9.0±2.0	21.5±5.0	1.3±0.6	1.6±0.6	15± 4

(b) For the same boundary conditions as under (a) the release of the low-volatile fission products was found to be:

Heating and 1 min of Dwell Time at	Zr	Ru	Ba	Ce	Nd
2350± 50°C	< 0.01	< 0.02	0.48±0.24	< 0.02	< 0.02
2800± 100°C	0.08±0.04	0.24±0.12	3.05±1.50	0.14±0.07	0.14±0.07

Plans for future work

- (a) Completion and evaluation of the test series using 150 - 200 g of melt in air; it is to be attempted, especially for the highly and moderately volatile fission products, to determine the release rates a function of temperature, pressure and the dwell time at constant temperature.
- (b) Execution of an analogous test series under water vapor.
- (c) Preparation of release tests with masses of 1 - 3 kg of corium with varying additions of concrete.

06.01.12 Investigations on the Interaction of Steel Melts
 and Concrete

06.01.12/04A Erosion of Concrete by Steel Melts - Investigation of the
PNS 4325 Melt Front Velocity
 (S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K. Wallenfels, IT)

Work performed

The propagation of the front of a melt is measured by thermocouples and by ultrasonic techniques. For measurement by thermocouples, a method of precise positioning of the thermocouples in the test crucible has been developed by means of introduction into a measuring prism of concrete. The relative position of the thermocouples in the measuring prism is known exactly. The prisms, in turn, can be introduced into the crucible in a defined way.

A ultrasonic echo technique with separate search and receiver measuring heads is used. The ultrasonic frequency was varied between 0.5 and 0.1 MHz.

For continuous measurement of the humidity behavior a detector has been developed which uses the electric resistivity in concrete as an indication of moisture.

Results obtained

To verify the methods of measurement available to determine the rate of penetration of liquid steel into concrete the ultrasonic method was compared with thermocouple measurements. Initial evaluations of tests on thermit melts in concrete crucibles showed agreement of ± 1 mm at a depth of penetration of approx. 40 mm within 80 s.

Thermocouple positioning in concrete measuring prisms for determinations of temperature and propagation thus has been found to be a suitable technique. Ultrasonic measurement permits continuous measurement of the rate of penetration.

Using the dependence on moisture of the electric resistivity in concrete for purposes of humidity measurement is a successful technique. The resistance

for our detector with an electrode spacing of 1 cm varies between 10 M ohms and 0.5 k ohms for dried concrete and 10% humidity, respectively.

In this way it was possible to trace qualitatively the release of water and its propagation in concrete.

Plans for future work

The ultrasonic measuring technique is to be used above and beyond its application for measuring the depth of penetration to provide information about the buildup of gas layers at the melt-concrete interface. This is possible by evaluating the amplitude of the reflected signal, which is a function of the impedance ratio of the adjacent layers.

In a further development step of the humidity detector it is to be attempted to calibrate those detectors by gravimetric methods in order to obtain quantitative information. In this calibration the dependence of the resistance in concrete on temperature, composition and structure must be taken into account.

06.01.12/06A Experiments on the Interaction of Steel Melts and
PNS 4323 Concrete
(D. Perinić, W. Höhn, A. Mack, IT)

Work performed

Thermite experiments for the development of the measuring techniques and of the concrete crucibles

Test rigs for testing the measuring system were planned and set up. Four thermite experiments were performed.

Development and installation of the melting furnace with current supply

Work on the execution of the preliminary experiments was begun.

Development and installation of the controlling techniques

Work on procuring the operating measuring systems was continued.

Installation and licening procedures

Planning work for the BETA hall to be constructed was continued.

Results obtained

Thermite experiments for the development of the measuring techniques and of the concrete crucibles

The immersion probes can be used to measure melting bath temperatures to a maximum of 2300°C.

In the experiments conducted no influence on the temperature indication of a staggered arrangement of the measuring probes was found.

The velocity of the reaction front in the thermit pebble bed is 11 cm/s.

A safety fuse protecting against rupture of the crucible and including photoconductors and short circuit wires was tested. Both methods turned out to be suitable for the detection of crucible ruptures.

All experiments were recorded by means of a closed circuit TV system. Information about the driving of the TV camera at the extremely high light intensities was obtained.

Brick-up techniques and brick lining materials for a crucible hood were tested. The optimum material turned out to be a layer of refractory clay reinforced with a metal mesh.

A test rig for testing the ultrasonic measuring system was established.

Development and installation of the melting furnace with current supply

None of the companies contacted were able to submit a firm price quotation because the technical uncertainties are not clear. Preliminary tests were required of all companies in order to cover the risks. After specification and invitation of bids for the preliminary tests the AEG company was asked to carry out the tests. The concrete crucibles needed were commissioned with the Karlsruhe Concrete Institute.

Development und installation of the controlling techniques

Specifications were drafted for the furnace periscope and the immersion probe facility. Bidding documents have been completed. The purchasing order for one furnace periscope was placed. A feasibility study of the immersion probe facility was commissioned.

Installation and licening procedures

The construction documents for the BETA hall were completed and submitted to the "Oberfinanzdirektion Karlsruhe" for comments.

Plans for future work

Thermite experiments for the development of the measuring techniques and of the concrete crucibles

Execution of thermit experiments to test the ultrasonic measuring system. At the same time, other measuring techniques such as the immersion probe, gas analysis, crucible instrumentation etc. will be tested.

Development and installation of the melting furnace with current supply

Performance of the preliminary tests at AEG-Elotherm. As soon as the test results will have become available, the BETA system will be purchased.

Development und installation of the controlling techniques

Acquisition of plant measuring system.

Installation and licening procedures

As soon as a permit will have been granted, orders will be placed for the BETA hall.

06.01.12/07A Planning and Valuation of the BETA-Experiments
PNS 4324 (G. Fieg, INR)

Work performed

After intensive discussions with all working parties participating in BETA, which included both external (KWU, Erlangen, IVA Hannover) and internal participants, a contract was worked out with the AEG/ELOTHERM company of Remscheid for an extensive test program. It is to clarify, above all, the following open questions before a BETA facility will be built under the present concept:

(a) Degree of coupling of the induction field to the melt in various geometric configurations is to be ascertained by means of a full scale induction coil, but at a lower power level. For the energy balance, extensive electrical and calorimetric quantities will have to be determined in the whole test system.

(b) The problem of the influence of electromagnetic forces (Lorentz forces) on the movement of the molten pool in the concrete is given top priority in the preliminary tests, because it must be ascertained that the melt in the induction field will not separate from the walls, which means that thermal coupling between the melt and the concrete must be ensured at all times. For this reason, most of the preliminary experiments will be concerned with investigating this complex problem, for which purpose an extensive measuring program has been conceived.

Results obtained

Not appropriate at the present time, because the preliminary experiments planned in the period under review will not be carried out until the second half of 1979.

Plans for future work

After contributions to and evaluation of the preliminary BETA experiments a phase of intensive planning of the BETA facility proper will follow.

Moreover, also the SUPER-THERMIT experiment will concentrate a large part of the activities. This experiment serves as a preliminary comparison of existing codes on the basis of a properly specified experimental standard test program.

06.01.13 Model Development for Analytical Description of Core-Meltdown Accidents

06.01.13/04A Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction
PNS 4331 of a Core Melt with Concrete
 (M. Reimann, H. Alsmeyer, K. Dres, IRB)

Work performed

- Specification of the measured data acquisition system for the BETA test facility (PNS 4323).
- Revision of the WECHSL code.
- Documentation of the WECHL code.

Results obtained

For the BETA test facility a measured data acquisition system will be purchased which is able to record, on 200 channels, signals of different input levels (thermocouples, pressure and humidity detectors, etc.) with high data rates. The data are stored on a magnetic tape which can be further processed on IBM.

The WECHSL computer code was revised with respect to its numerical properties and computation time. Documentation of the present status of WECHSL (WECHSL-Mod 1) was completed.

Plans for future work

- Further development of the physical models in WECHSL accompanied by model scale experiments.
- Reprogramming of WECHSL in a modular system.
- Pre- and post-calculation of simulation experiments, initial calculations for the fourth phase of a core meltdown accident.

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

06.01.14/05A Determination of the Iodine Species in the Exhaust
PNS 4414 Air of Nuclear Installations
(H. Deuber, LAF II)

Work performed

Measurements with discriminating iodine samplers in the stack vent air and the different vent air streams of a nuclear power plant (DWR 3) were continued.

Experiments were conducted on the removal of I_2 by the DSM 35 sorption material. (DSM 35 is expected to provide better removal of I_2 and CH_3I in the presence of nitrogen oxide than was possible by the DSM 34 sorption material tested previously.)

Results obtained

The vent air from the fume cupboards continued to be one of the main sources of elemental ^{131}I released into the environment in power operation. Among the vent air streams making up the vent air from the fume cupboards, namely the vent air from the cupboard in which the primary water samples are taken and the vent air from the cupboards in which the primary water samples are processed, the latter by far turned out to be the larger source of elemental ^{131}I .

In ^{133}I generally very little difference was found in comparison with ^{131}I , both with respect to concentration and also with respect to the fractions of iodine components.

The removal efficiency to I_2 of DSM 35 was in excess of 99% at 0.2 s dwell time at 70° C and 20% relative humidity and 80% relative humidity, respectively, even after treatment with nitrogen oxides. According to these experiments, DSM 35 may be used as an iodine sorption material for discriminating iodine

collectors which can be used in vent air containing nitrogen oxides.

Plans for future work

The measurements with discriminating iodine collectors in DWR 3 will be completed. Experiments on the removal of CH_3I on DSM 35 will be performed. Discriminating iodine collectors will be used in the vent air of a reprocessing plant.

06.01.14/06A Investigation of HEPA Filters under Incident Conditions
PNS 4415 (H.G. Dillmann, V. Rüdinger, H. Pasler, A. Hengst, H. Schmidt, LAF II)

Work performed and results obtained

To test the influence of plant parameters of the plasma torch upon aerosol characteristics, a test tube was built and tested for $40 \text{ m}^3/\text{h}$ air flow and short operating periods. The existing dosage system was supplemented by a pneumatic sample divider so that the powder feed could be controlled between 20 g/h and 0.15 g/h . To determine the particle size distribution, whose frequency peak must be in the submicron range, samples are put on pore filters and the scanning electron microscope images are evaluated.

Failure of the aerosol detection unit has given rise to some delays in the examination of alternative aerosol substances.

Commercial particulate air filters for tests at 200°C and 95% of relative humidity were subjected to acceptance tests to the extent they had arrived.

With respect to the experimental assessment of the mechanical load carrying capacity of particulate air filters under the impact of high differential pressures (high flow velocities) cooperation has been instituted with the Los Alamos Scientific Laboratory (USA). With some modifications taken into account the test rig available at Los Alamos can be used for the first series of experiments. Cooperation will begin within the framework of a series of tests to be conducted early in the fourth quarter of 1979. A corresponding test program with supplementary studies has been elaborated.

Plans for future work

The influence of plant parameters in aerosol generation upon the characteristics of the aerosols will be studied on an intensified scale.

After repair of the aerosol measuring unit tests on alternative aerosol substances will be resumed.

By the end of the third quarter of 1979 preparations will have been completed for the first series of tests on the load carrying capacity of particulate air filters under the impacts of high differential pressures.

06.01.14/07A Off Gas Filtering in Reactor Stations (Ageing and Poisoning
PNS 4416 of Iodine Sorption Materials)
(J. Furrer, R. Kämpfer, R. Gerhard, LAF II)

Work performed

Activated carbon for radio-iodine removal in test filters of an arrangement corresponding to multi-way-sorption-filters was exposed to the vent air of the plant compartment of a PWR nuclear power plant for a period of three months. Subsequently, the removal efficiency of the exposed and of fresh iodine adsorption carbon relative to iodine 131 was determined in the humid air system. During the period of exposure the ten most important filter pollutants contained in the vent air from the plant compartment were measured quantitatively by means of continuous gas chromatographs.

Results obtained

After three months of exposure a reduction of removal efficiency was found in the first two beds (corresponding to a bed depth of 10 cm) of the exposed activated carbon relative to fresh one (95.5% as against 99.6%). In the third bed (3 beds = 15 cm of bed depth) the differences in removal efficiency were slight (99.6% as against 99.98%). The first three beds correspond to the initial pollutant removal stage of a multi-path adsorption filter. In the downstream filters with an overall bed depth of 15 cm no decrease in removal efficiency was found. This part corresponds to the iodine sorption fraction of a multi-way-sorption-filter.

Evaluation of the gas chromatograms in the vent air from the plant compartment showed that the solvent concentration was between 2.2 and 6.5 mg/m³ (Feb. 7 - April 16, 1979). In the periods April 17 - May 2 and May 2 - May 8, 1979 the solvent concentration in the vent air of the plant compartment rose to 10.3 and 16.5 mg/m³, respectively; in the following week 5.3 mg/m³ was measured.

Plans for future work

Exposure of test filters of an arrangement corresponding to MWS filters with subsequent determinations of removal efficiency will be continued. An alternating cycle is planned in which the downstream filters will be used as initial removal stages so as to produce further data for optimization.

These studies will be supplemented by continuous gas chromatographic measurements of filter pollutants in the vent air of plant compartments.

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

06.02.01/03A Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant
PNS 4511 (Explosion)
(L. Caldarola, K. Schleisiek, IRE)

Work performed

Physico-chemical Phenomena underlying Explosions

Combustion processes in the gas phase propagate mainly by two mechanisms, if the initial reaction (cold flame) is disregarded: (a) as a deflagration wave of a few m/s and (b) as a detonation wave of a few km/s, which may be regarded as a combination of a shock wave followed by a deflagration wave of the same velocity.

In the period under review it was investigated in studies of the technical literature under what conditions (pressure, temperatures, geometries, inertization) deflagrations and detonations, respectively, may occur in aliphatic hydrocarbons (e.g., n-dodecane).

In order to arrange the rather complicated situation in a more understandable pattern some first steps have been taken in an attempt to represent this situation for a dodecane-air mixture in a sort of cause-effect diagram.

Reliability Models

In the generation of explosions a number of slow chemical events worked together.

Consequently, reliability considerations cannot be limited to static or steady state models, such as the fault tree model, but quasi-dynamic, perhaps even dynamic models will have to be used as well.

Among the models studied possibly the "phased mission" model, which consists of a sequence of fault trees at different points in time, can be used for a reprocessing plant.

Results obtained

The preliminary analysis has been completed with the following result: In the planned reprocessing plant, on the basis of the process chemical and plant specific conditions known to us, detonations, unlike deflagrations, are practically impossible. However, since we do not have some important details, such as the piping charts of the reprocessing plant, we cannot completely exclude the occurrence also of detonations in that reprocessing plant.

Some preliminary cause-effect diagrams have been plotted for explosions in the reprocessing plant.

Plans for future work

Mechanisms of Explosive Events and Materials Data

Compilation of the most important mechanisms by which explosive combustion processes in the gas phase occur so as to be able to classify the materials

data collected for the reprocessing plant.

Example

Completion of the cause-effect diagrams on explosions in reprocessing plants and their application, by way of example, to a subsystem of a reprocessing plant yet to be selected, such as deflagration in a cell.

Stochastic Models

Continued research into stochastic models which can be used to treat reliability problems in explosive combustion processes.

06.02.01/04A Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant
PNS 4513 (Extraction)
(R. Avenhaus, K. Nagel, G. Weber, IDT)

Work performed

In the period under review a deterministic analysis was carried out on the problem of an oxyhydrogen gas-explosion, which cannot be excluded because of the hydrogen generated electrolytically, and a combustion in the 2 B battery of WAK. Fault trees were set up for the failure of voltage control, automatic temperature control and sweep air control and, as a consequence from these, fault trees were plotted for the oxyhydrogen explosion and combustion in the battery.

Results obtained

It was clarified which physical conditions have to be fulfilled and which technical components have either to fail or to react wrongly to allow an oxyhydrogen gas explosion and a combustion respectively, to occur in the 2B battery.

Plans for future work

Work conducted so far represents deterministic analyses; subject to the availability of data on the behavior of technical components a probabilistic analysis is to be carried out. Moreover, the possibility of the propagation

of a kerosene combustion beyond the original cell is to be examined quantitatively.

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

06.03.01/04A Investigation of the Physical and Chemical Enviromental
PNS 4812 Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular
Biological Effectiveness - Pu, Am, Cm
(H. Schüttelkopf, M. Pimpl, H. Bailer, G. Hefner, J. Hiller, HS)

Work performed

Analytical methods have been developed for assays for Am and Cm in environmental samples. The separation of Am/Cm and Pu by means of HPLC has been achieved.

Emissions of Pu with the gaseous and liquid effluents from the Karlsruhe reprocessing plant (WAK) are measured monthly.

The distribution of Pu in the sediments of the Altrhein, a stagnant branch of the Rhine river, has been studied. Five automatic water sampling stations have been installed. Biological samples have also been collected in the Altrhein.

Soil samples of agricultural significance have been taken.

Results obtained

Leaching and electrodeposition of Am und Cm have been studied. The leaching solution used dissolves actinides quantitatively. 90 - 100% Am and Cm are removed by means of electrodeposition of Pu. The lactic acid/ammonium lactate system was used to achieve quantitative separation of Pu and Am/Cm. Each of the

elements separated were contained in less than 2 ml of the chromatographic solution.

The Pu emissions measured monthly in the exhaust air of WAK vary over several orders of magnitude. The bulk emissions of Pu-238 und Pu-239+240 are greatly below the bulk alpha emission. In the liquid effluent 0.1 - 1 pCi of Pu/l is found on an average.

Several hundreds of sediment samples were taken, dried, incenerated and analyzed for Pu. The distribution of Pu in the Altrhein was determined. The Pu-239, - 240 contamination of the sediments ranges between 2 and 100 fCi/g.

Plans for future work

The following topics will be continued until 1979:

- Development of analytical methods for the determination of Pu, Am and Cm.
- Determination of Pu, Am and Cm releases from the Karlsruhe reprocessing plant.
- Concentrations of actinides in the environment of the Karlsruhe reprocessing.

In late 1979 will be started:

- Determination of transfer processes, especially soil/plant and plant/animal.
- Experiments to increase the mobility of actinides in soil.

06.03.02 Investigations on the Spreading Behavior of Nuclear
Pollutants in the Short Range and the Mesoscale

06.03.02/04A Investigation on the Atmospheric Dispersion of
PNS 4822 Gases in the Mesoscale (> 15 km)
 (W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, S. Vogt, HS)

Work performed

The tracking data of the tetroon have so far merely been printed by the radar.set. For better evaluation of these data it was necessary to transmit these to punched tapes. An interface for connection of a tape puncher to the radar set has been developed and tested together with the tape puncher. The order for fabrication of the transponders has been returned by the supplying company because production in the way initially planned would

have been too expensive. Negotiations are still conducted on the production of a version to be fabricated in a different way. Independent of these difficulties the radar set of the Amt für Wehrgeophysik has not been available since late 1978.

Results obtained

Because of the unavailability of the radar set no new findings have been made.

Plans for future work

As soon as the radar unit is available again, more tetron flights will be carried out with the transponders completed so far.

06.03.02/05A Investigation on the Atmospheric Dispersion of Radio-
PNS 4823 active Gases in the Near Distance Region (up to 15 km)
at Source Heights ≥ 100 m
(W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, K. Nester,
M. Becker, HS)

Work performed

Three dispersion experiments were performed during the diffusion categories B, D and B/C. Tracers CF_2Br_2 and CFCl_3 were released simultaneously from the 160 and 190 m platforms, respectively, of the meteorological tower by means of evaporation. Automatic sampling was conducted in two periods of 30 minutes each at more than 50 positions on the downwind side of the tower. The evaporation process was studied more closely with respect to constant evaporation rate and potential delayed boiling. The evaporators were equipped with recording level meters.

Close to the village of Spöck, a 15 m high tower has been set up on a meadow (roughness grade II). The readings of σ_ϕ and σ_θ of the vector vane attached at a level of 15 m are recorded in the analog mode. In addition, the tower carries one cup anemometer each at the levels 2, 5 and 15 m. For measured data acquisition a portable, independently powered, all weather unit is used. This has now been commissioned successfully after lengthy modifications, improvements and repairs. The unit is employed to record also the wind velocity profile.

Results obtained

Agreement has been reached with the Jülich Nuclear Research Center to combine test results at emission levels of 100 m.

For this purpose tests at this emission level have been reclassified and re-evaluated at a different wind velocity (wind velocity at emission level).

Plans for future work

The dispersion tests will be continued at emission levels above 100 m.

06.03.02/06A Atmospheric Diffusion Models for Particular Meteorological
PNS 4824 Situations

(W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, K. Nester, M. Becker, HS)

Work performed

The compilation of existing model setups was begun,

Results obtained

-

Plans for future work

The model setups already existing will be tested for their usefulness.

Literaturnachweis

I. Veröffentlichungen

II. Primärberichte

14. Halbjahresbericht / 2. Halbjahr 1978 des Projektes Nukleare Sicherheit, KfK 2750, September 1979

Aldrich, D.; Bayer, A.; Schückler, M.:

Effect of cross-plume concentration model on calculated accident consequences.

KfK - 2767 (Mai 1979)

Bayer, A.; Aldrich, D.; Burkart, K.; Horsch, F.; Hübschmann, W.; Schückler, M.; Vogt, S.:

The consequence model of the German reactor safety study.

American Nuclear Society. Transactions, 31 (1979) S. 347-49

Caldarola, L.:

Fault tree analysis with multistate components.

KfK - 2761 (Februar 1979)

Schlechtendahl, E.G.:

Coupled fluid-structural analysis for LWR in the Federal Republic of Germany.

Nuclear Safety, 20 (1979) S. 551 - 63.

Aldrich, D.C.; Bayer, A.; Schückler, M.:

A proposed wind shift model for the German reactor safety study.

KfK - 2791 (April 1979)

Schumann, U.:

Analysis of the RS16B experiment on fluid-structure interactions during PWR-blowdown.

Jaeger, T.A.; Boley, B.A. (Hrsg.):

Transactions of the 5. Internat. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin, August 13-17, 1979. Vol. B.

Luxembourg: Commission of the European Communities 1979. S. B6/4, 1-6

Katz, F.; Schlechtendahl, E.G.:

Coupled fluid-structure analysis of the core barrel behaviour during blow-down.

Jaeger, T.A.; Boley, B.A. (Hrsg.):

Transactions of the 5. Internat. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin, August 13-17, 1979. Vol. B.

Luxembourg: Commission of the European Communities 1979. S. B6/6, 1-8

Hofmann, P.; Burbach, J.; Metzger, H.; Scheckel, B.:

Simulation of the chemical state of irradiated oxide fuel; influence of the internal corrosion on the mechanical properties of Zry-4 tubing.

Internal Fuel Rod Chemistry, IAEA, Spec. Meeting, Erlangen, January 23-25, 1979
KfK - 2785 (März 79)

Schumann, U.; Enderle, G.; Katz, F.; Ludwig, A.; Mösinger, H.; Schlechtendahl, E.G.:
Fluid-structure interactions in PWR vessels during blowdown - code development at Karlsruhe and results.

Jaeger, T.A.; Boley, B.A. (Hrsg.):

Transactions of the 5. Internat. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology, Berlin, August 13-17, 1979. Vol.B. Luxembourg: Commission of the European Communities 1979. S.B6/1⁺, 1-9

Grötzbach, G.:

Numerical investigation of radial mixing capabilities in strongly buoyancy-influenced vertical, turbulent channel flows.

Nuclear Engineering and Design, 54 (1979), S. 49-66

Göller, B.:

Schalendynamisches Verhalten des kugelförmigen Containments eines Siedewasserreaktors bei Dampfkondensation im Druckabbausystem.

Dissertation, Univ. Karlsruhe 1979

KfK - 2778 (Mai 1979)

Leistikow, S.; Schanz, G.; Berg, H. von:

Untersuchungen zur temperatur-transienten Dampfoxidation von Zircaloy 4-Hüllmaterial unter hypothetischen DWR-Kühlmittelverlust-Störfallbedingungen.

KfK - 2810 (April 1979)

Hailfinger, G.; Krieg, R.:

Fluid-Struktur-Schwingungen eines kugelförmigen Siedewasserreaktor-Containments mit Druckunterdrückungssystem. Rechnungen mit SING-S für einen 120°-Ausschnitt bei vorgegebenen Dampfblasenkollapsen.

KfK - 2779B (Mai 1979)

Hofmann, P.:

Influence of iodine on the burst strain of Zircaloy-4 cladding tubes under simulated reactor accident conditions.

Journal of Nuclear Materials, 87 (1979) S. 49-69

Hofmann, G.; Ihle, P.; Rust, K.:

Influence of coolant channel disturbances on transient two-phase flow in rod bundles, investigated in reflood experiments.

Association for Hydraulic Research,

18. Congress, Cagliari, Italy, September 10 - 15, 1979

Reimann, M.; Murfin, W.B.; Alsmeyer, H.:

On the penetration of hot melts into concrete structures.

Nuclear Power-Option for the World, European Nuclear Conf., Hamburg,

Mai 6-11, 1979

American Nuclear Society, Transactions, 31 (1979) S.371-73

Hübschmann, W.:

Hypothetische Unfälle in Kernkraftwerken und mögliche Gegenmaßnahmen zum Schutze der Bevölkerung.

Arbeitskreis des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesärztekammer,

Genf, 5.-6. Juni 1979

Class, G.; Hain, K.; Schloss, F.; Wagner, K.H.:

True mass flow meter. Entwicklung und Einsatz eines Massenstrom-Meßgerätes für instationäre Zweiphasenströmungen.

KfK - 2790 (Juli 1979)

Schumann, U.:

Core barrel oscillations during blowdown of a pressurized water reactor.

IAHR (Int. Ass. f. Hydraulic Research)/IUTAM (Int. Union of Theoretical and Applied Mechanics) Symp. on Practical Experiences with Flow-Induced Vibrations,

Karlsruhe, September 3 - 8, 1979

Schumann, U.:

On the stability of fluid-structure computations. Fluid-Structure Interaction in LWR Systems, 1. Internat. Seminar, Berlin, August 20-21, 1979

Krieg, R.:

Boundary integral methods for BWR analysis discussion of the approximation

aspects. Belytschko, T. (Hrsg.) Preprints of the 1. Internat. Seminar on

Fluid-Structure Interaction in LWR Systems, Berlin, August 20-21, 1979.

Held in Conjunction with the 5. Internat. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology. Berlin: Bundesanst. f. Materialprüfung 1979.

Seminar Preprints 3 S. 101-05

Schlechtendahl, E.G.; Müller-Dietsche, W.; Scholl, K.H.:

HDR-experiments for investigation of fluid-structural coupling.

Belytschko, T. (Hrsg) Preprints of the 1. Internat. Seminar on Fluid-Structure Interaction in LWR-Systems, Berlin, August 20-21, 1979.

Held in Conjunction with the 5. Internat. Conf. on Structural Mechanics in Reactor Technology. Berlin: Bundesanst. für Materialprüfung 1979.

(Seminar Preprints 3) S. 7-17

Hofmann, P.:

Influence of iodine concentration on the stress corrosion cracking behavior of Zircaloy-4 cladding tubes at temperatures g.e. 700°C.

Fluid-Structure Interaction in LWR, 5. SMIRT Post Conf., Berlin, August 13-17, 1979

Deuber, H.; Wilhelm, J.G.:

Recent non-industrial research and development in the Federal Republic of Germany concerning exhaust air cleaning in nuclear power plants.

IAEA Technical Committee Meeting, Moskau, 12,-16. Juni 1979

Bayer, A.; Schückler, M.:

The radiological impact of the Rhein-Mass-region from nuclear facilities under normal operation.

Nuclear Power-Option for the World, European Nuclear Conf., Hamburg, Mai 6-11, 1979

American Nuclear Society. Transactions, 31 (1979) S. 457-61

Perinic, D.; Kammerer, B.; Knauss, H.; Mack, A.; Stuka, B.:

Betontiegelversuche mit Thermitschmelzen.

KfK - 2572 (Juli 1979)

Horsch, F.

Neue Ergebnisse der Reaktorsicherheitsforschung.

PNS-Jahreskolloquium 1978.

KfK-Nachrichten, 11 (1979) No 1, S. 53-59

Horsch, F.

Sicherheitsforschung.

In: Energie/Kernenergie. Hamburg

Spiegel-Verl. 1979. S. 191-98 (Märkte im Wandel. 8.)

Sdouz, G.; Dagbjartsson, S.:

Two-dimensional temperature distributions in fuel rods under blowdown conditions.

Nuclear Power-Option for the World, European Nuclear Conf., Hamburg, Mai 6-11, 1979

American Nuclear Society. Transactions, 31 (1979) S. 422-24

Ergänzende Dokumentation (Primärberichte)

Folgende Berichte enthalten unveröffentlichte Informationen von vorläufigem und betriebsinternem Charakter. Eine Zurverfügungstellung der Berichte ist nach entsprechender einzelvertraglicher Vereinbarung über die Nutzung des darin enthaltenen know how (know-how-Vertrag) möglich. Entsprechende Anfragen sind an die Stabsabteilung Patente und Lizenzen (PAL) des KfK zu richten.

Primärbericht 06.01.01/03A, 1979

Schumann, U.; Olbrich, W.:

Datentransfer zwischen Rechenprogrammen und der KfK-IBM und der zentralen Meßdatenerfassungsanlage (ZMA) am HDR.

Primärbericht 06.01.01/03B, 1979

Schumann, U.; Erb, E.; Kadlec, J.; Katz, F.; Krieg, R.; Müller, K.; Philipp, Paul P.; Wolf, E.:

Design of the HDR Snapback Experiments.

Primärbericht 06.01.01/03C, 1979

Schumann, U.; Katz, F.; Olbrich, W.:

Specification of Computations for "HDR Snapback-Experiments".

Primärbericht 06.01.01/03D, 1979

Schumann, U.; Schlechtendahl, E.G.; Müller-Dietsche, W.; Scholl, K.-H.:
HDR-Experiments for Investigation of Fluid-Structural Coupling.

Primärbericht 06.01.02/03A, 1979

Schlechtendahl, E.G.; Enderle, G.; Göller, B.; Hailfinger, G.; Katz, F.; Krieg, R.; Ludwig, A.; Mösinger, H.; Schumann, U.:
Fluid- und Strukturdynamik in Leichtwasserreaktoren.

Primärbericht 06.01.02/03B, 1979

Schlechtendahl, E.G.; Schumann, U.:

Einfluß der Fluid-Struktur-Kopplung bei einem Reaktor vom Typ KMK.

Primärbericht 06.01.02/03C, 1979

Schlechtendahl, E.G.; Schumann, U.:

On the Stability of Fluid-Structure-Computations.

Primärbericht 06.01.02/03D, 1979

Schlechtendahl, E.G.; Schumann, U.:

Core Barrel Oscillations during Blowdown of a pressurized Water Reactor.

Primärbericht 06.01.02/04A, 1979

Schlechtendahl, E.G.; Büchner, E.W., Uni Karlsruhe, Kedziur, F.:
Computation of an ideal gas nozzle flow with basically different codes.

Primärbericht 06.01.04/06A, 1979

Meyder, R.; Class, G.:
Vorschlag zur Behandlung des Brennstabverhaltens beim Kühlmittelverlust-
störfall im Rahmen von Sicherheitsanalysen.

Primärbericht 06.01.04/06B, 1979

Meyder, R.:
Nachrechnung der ersten COSIMA-Experimente mit dem Programmsystem SSYST.

Primärbericht 06.01.04/06C, 1979

Meyder, R.; Sengpiel, W.:
AZI ein SSYST-Modul zur Beschreibung nicht rotationssymmetrischer Effekte
an einem DWR - Brennstab beim LOCA.

Primärbericht 06.01.04/07A, 1979

Unger, H., IKE Stuttgart:
Bericht über Arbeiten zum Projekt Nukleare Sicherheit der KfK für den
Zeitraum Januar - März 1979.

Primärbericht 06.01.04/09A, 1979

Malang, S.; Politzky, M.:
Funktions-Software für die Zeichensysteme CALCOMP, STATOS und XYNETICS.

Primärbericht 06.01.06/07A, 1979

Leistikow, S.; Bennek-Kammerichs, B.; v. Berg, H.; Jennert, D.; Kraft, R.;
Schanz, G.:
Metallographische Untersuchung von Zircaloy 4-Rohrproben nach Vorkorrosion
und KVS-typisch temperatur-transienter Oxidation in Dampf.

Primärbericht 06.01.06/08A, 1979

Zimmermann, H.; Burbach, J.:
In-pile-Experimente zum LWR-Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall.

Primärbericht 06.01.07/04A, 1979

Hain, K.; Vollmer, T.:

Blähfähiger, elektrisch indirekt beheizter Simulationsbrennstab.

Primärbericht 06.01.07/04B, 1979

Hain, K.; Class, G.; Schloß, F.; Wagner, K.H.:

True mass flow meter, Entwicklung und Einsatz eines Massenstrom-Meßgerätes für instationäre Zweiphasenströmungen. (Als KfK-Bericht veröffentlicht)

Primärbericht 06.01.08/02A, 1979

Räpple, B.; Karb, E.; Harbauer, G.; Prüßmann, M.:

In-pile-Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall, Teilbericht I über Nuklearversuch A 1.2.

Primärbericht 06.01.08/02B, 1979

Räpple, B.; Harbauer, G.; Prüßmann, M.; Karb, E.:

In-pile-Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall.

Primärbericht 06.01.08/02C, 1979

Räpple, B.; Sepold, L.:

Vergleich der Vorbestrahlung der FR2-Versuchsstäbe F6 und G1.6 im FR2-Reaktor mit der von Brennstäben im Leistungsreaktor.

Nachrechnungen mit den Rechenprogrammen FRAP-S3 und FRAPCON-1.

Primärbericht 06.01.08/02D, 1979

Räpple, B.; Steiner, D.:

Begleitrechnungen zu den Vorversuchen mit elektrisch beheiztem Brennstabsimulator im Dampfkontaminationskreislauf am FR2.

Primärbericht 06.01.08/02E, 1979

Karb, E.; Sepold, L.:

Nachrechnungen des FR2-LOCA-Versuchs A 2.3 mit dem Rechenprogramm FRAP-T.

Primärbericht 06.01.10/02A, 1979

Ihle, P.; Hofmann, G.; Rust, K.:

Einfluß von Kühlkanalstörungen auf transiente Zweiphasenströmung in Stabbüdeln, untersucht bei Flutexperimenten.

Primärbericht 06.01.14/04A, 1979

Zimmermann, W.:

Einsatzmöglichkeiten von Besprühsystemen in Reaktorgebäuden zur Dekontamination nach Störfällen.

Primärbericht 06.03.02/05A, 1979

Hübschmann, W.; Vogt, S.:

Vierparametrische Ausbreitungsstatistik.

Primärbericht 06.03.02/05B, 1979

Hübschmann, W.; Vogt, S.:

Andauer von Ausbreitungskategorien.

Primärbericht 06.03.02/05C, 1979

Hübschmann, W., Thomas, P.:

Experimentelle Bestimmung der atmosphärischen Ausbreitungsparameter bei 100 m Emissionshöhe.

Primärbericht 06.03.03/03A, 1979

Hübschmann, W.; Vogt, S.:

Bestandsaufnahme der bei HS/M vorhandenen meteorologischen Daten anderer Stationen.