



KfK 2900
November 1980

Projekt Nukleare Sicherheit

Halbjahresbericht 1980 / 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 2900

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

17. Halbjahresbericht / 1. Halbjahr 1980

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 17. Halbjahresbericht 1980/1 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.



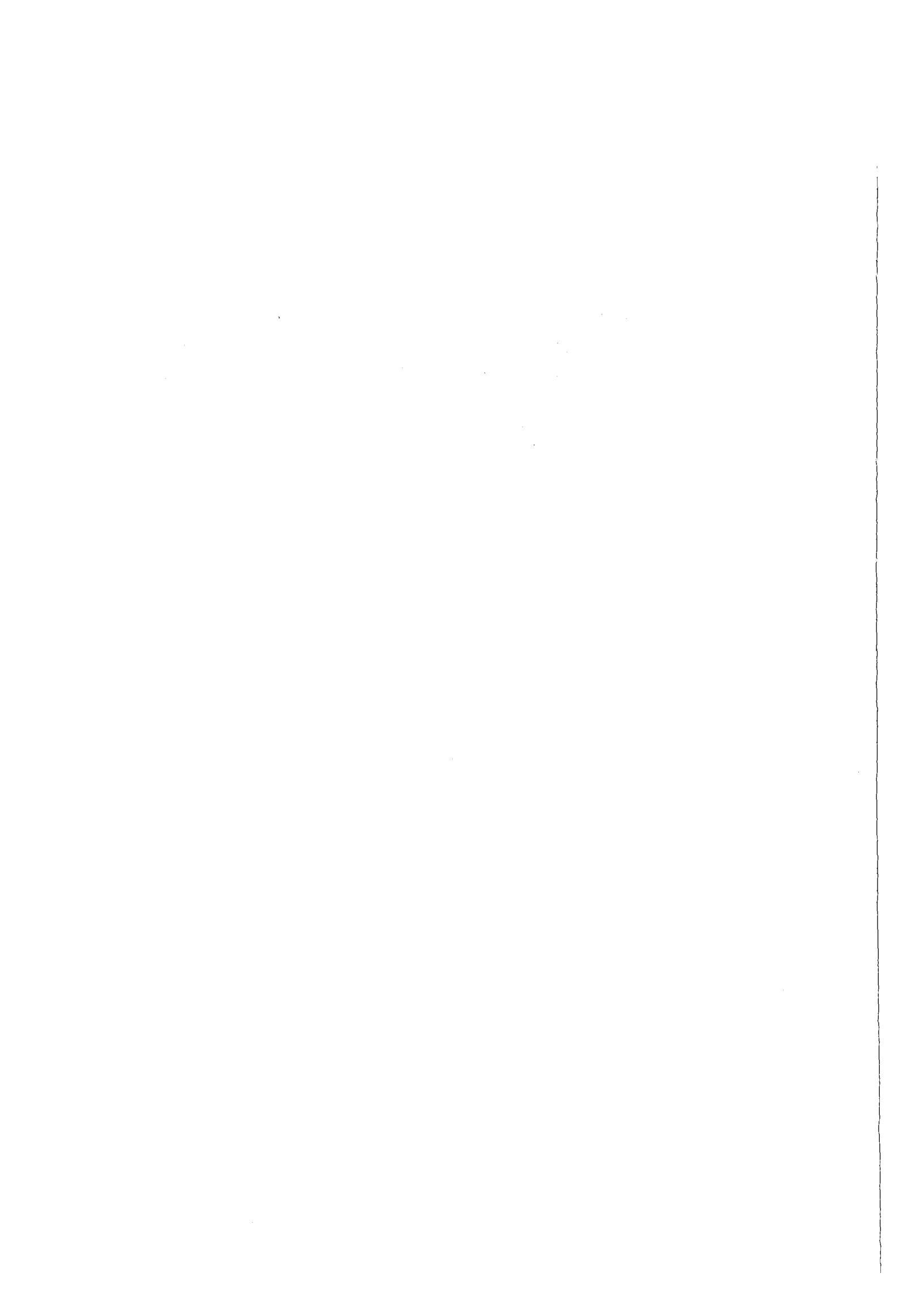
NUCLEAR SAFETY PROJECT

FIRST SEMIANNUAL REPORT 1980

The 17th semi-annual report 1980/1 is a description of work within the Nuclear Safety Project performed in the first six month of 1980 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 - 49
Translation of the German Reports	51 - 99
06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW	
<u>PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktor-</u> <u>komponenten unter Störfallbedingungen</u>	1
06.01.01 HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Beanspruchung von Reaktoreinbauten	1
06.01.01/05A PNS 4115 Auslegung, Vorausberechnung und Auswertung der HDR-Blowdown-Experimente zur dynamischen Belastung und Beanspruchung von Reaktordruckbehältereinbauten	1
06.01.01/06A PNS 4116 Meßtechnische Erfassung und Auswertung des 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
06.01.02/06A PNS 4125 Weiterentwicklung und Verifizierung von fluid/strukturdynamischen Codes zur Analyse der Beanspruchung von RDB-Einbauten beim Blowdown	3
06.01.02/07A PNS 4126 Laborversuche zur Abstützung von fluid/strukturdynamischen Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühlmittelverluststörfällen	6
06.01.03 Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren und Anwendung bei den Blowdown-Experimenten	7
06.01.03/08A PNS 4137 Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren verschiedener Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren	7
06.01.03/09A 4139 Versuchsstand für instationäre 2-Phasen-Strömungen	9
06.01.03/10A PNS 4138 Entwicklung und Bau eines True Mass Flow Meters, $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$	10

		<u>Seite</u>
<u>PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen</u>		
06.01.04	Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zur Beschreibung des Brennelementverhaltens	11
06.01.04/11A /12A PNS 4231.1/3	Entwicklung des Codesystems SSYST und Durchführung entwicklungsorientierter Anwendungsrechnungen	11
06.01.06	Materialverhalten von Zircaloy bei Reaktorstörfällen	14
06.01.06/11A PNS 4235.1	Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Zircaloy-Hüllrohrmaterial	14
06.01.06/12A PNS 4235.2	Untersuchungen zur Hochtemperatur-Wasserdampf-Oxidation an Zircaloy-Hüllrohren	16
06.01.06/13A PNS 4235.3	Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffes und von Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften von Zry-Hüllrohren bei Störfalltransienten	18
06.01.06/15A PNS 4235.4	Berstversuche an Zircaloy-Hüllrohren unter mechanischer Beanspruchung (FABIOLA-PROGRAMM)	20
06.01.07	Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittelverluststörfalles	22
06.01.07/05A /06 PNS 4236.1/2	Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten thermohydraulischen Randbedingungen (COSIMA-PROGRAMM)	22
06.01.08	In-pile-Experimente im DK-Loop des FR2	24
06.01.08/03A PNS 4237.1	Untersuchungen zum Brennstabverhalten in der 2.Aufheizphase eines Kühlmittelverluststörfalles In-pile-Versuche mit Einzelstäben im DK-Loop des FR2	24
06.01.09	Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles	27
06.01.09/03A PNS 4238	Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zircaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung (REBEKA-PROGRAMM)	27

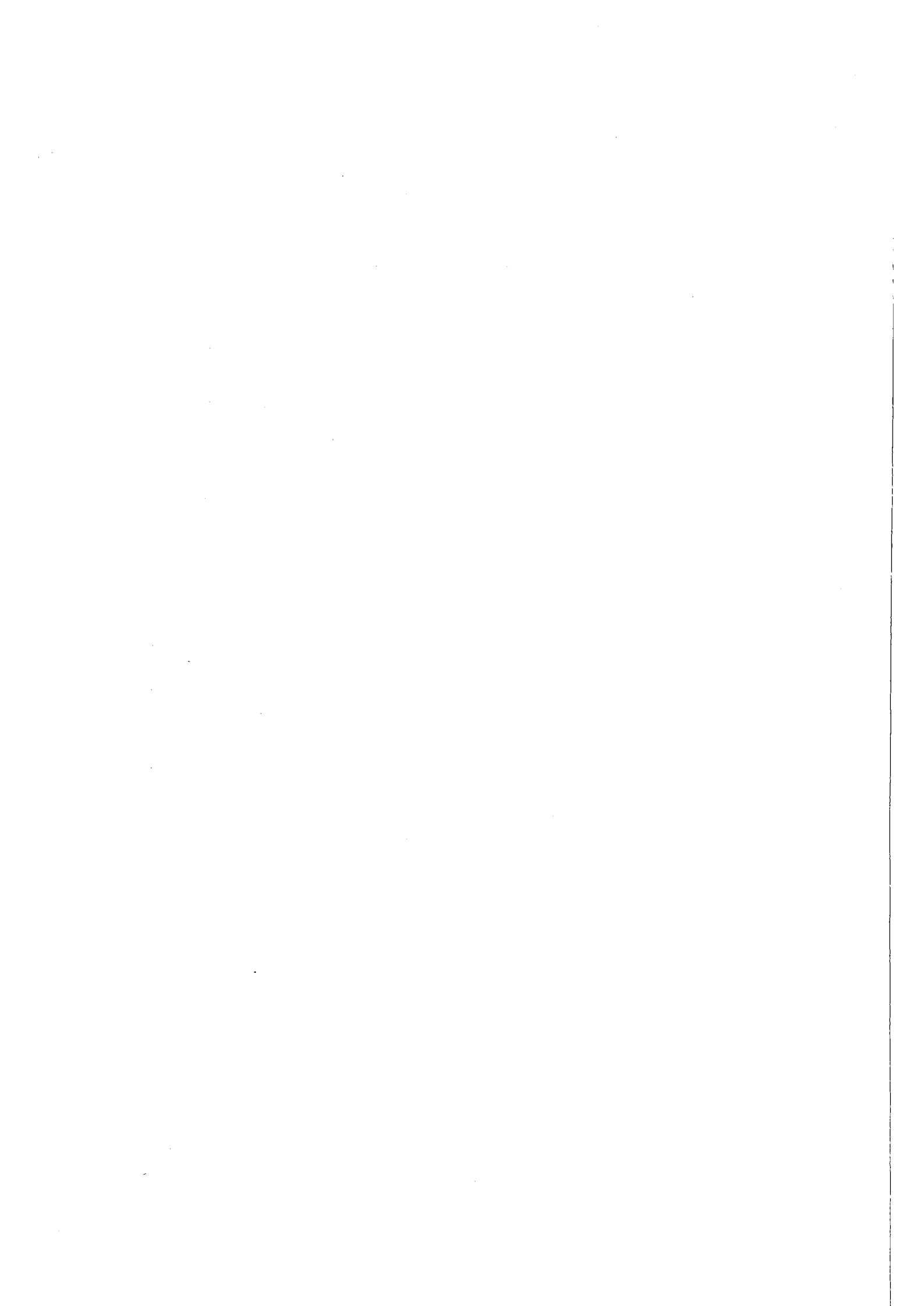
		<u>Seite</u>
06.01.10	Auswirkung von Kühlkanalblockaden auf die Kernnotkühlung	28
06.01.10/03A PNS 4239	Flutexperimente mit blockierten Anordnungen (FEBA-PROGRAMM)	28
<u>PNS-Teilprojekt 4300 - Ablauf und Beherrschung von LWR-Kernschmelzenunfällen</u>		30
06.01.11	Reaktions- Freisetzung- und Aerosolverhalten beim Kernschmelzen	30
06.01.11/10A PNS 4311	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und Aerosolen in LWR-Containments	30
06.01.11/12A PNS 4314	Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien beim Kernschmelzen	31
06.01.11/13A PNS 4317	Materialkundliche Untersuchungen im Rahmen der BETA-Experimente	32
06.01.11/14A PNS 4315	Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen	33
06.01.12	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen mit Beton	34
06.01.12/09A PNS 4325	Ausbreitung von Stahlschmelzen im Beton, Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung	34
06.01.12/10A PNS 4323	Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen und Beton	35
06.01.12/12A PNS 4331	Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung einer Kernschmelze mit Beton	37
06.01.12/13A PNS 4334	Modellentwicklungen zur analytischen Beschreibung von Kernschmelzenunfällen	38

	<u>Seite</u>
<u>PNS-Teilprojekt 4400 - Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung und Reduktion der Strahlenbelastung</u>	39
06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren	39
06.01.14/08A Bestimmung der Jodkomponenten in der Abluft von PNS 4414 Siedewasserreaktoren	39
06.01.14/09A Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern PNS 4415 für Störfallbedingungen	40
06.01.15/01A Entwicklung und Verifizierung von Codes zur dyna- PNS 4127 mischen Beanspruchung von Containment-Strukturen	42
06.02 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUF- ARBEITUNGSANLAGEN	44
<u>PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung</u>	44
06.02.01 Störfallanalysen für die große Wiederaufarbei- tungsanlage (WA)	44
06.02.01/06A Störfallanalysen für ausgewählte Anlagenteile PNS 4513 der Wiederaufarbeitungsanlage	44
06.03 EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN	45
<u>PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkungen und Beseitigung freigesetzter nuklearer Schadstoffe</u>	45
06.03.01 Untersuchung des physikalischen und chemischen Ver- haltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	45
06.03.01/05A Untersuchung des physikalischen und chemischen Ver- haltens von Pu, Am und Cm in der Umwelt PNS 4812	45
06.03.02 Untersuchung zum atmosphärischen Ausbreitungsver- halten nuklearer Schadstoffe im Nah- u. Fernbereich	46
06.03.02/07A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radio- aktiver Schadstoffe im regionalen Bereich (über 15 km PNS 4822 Entfernung)	46

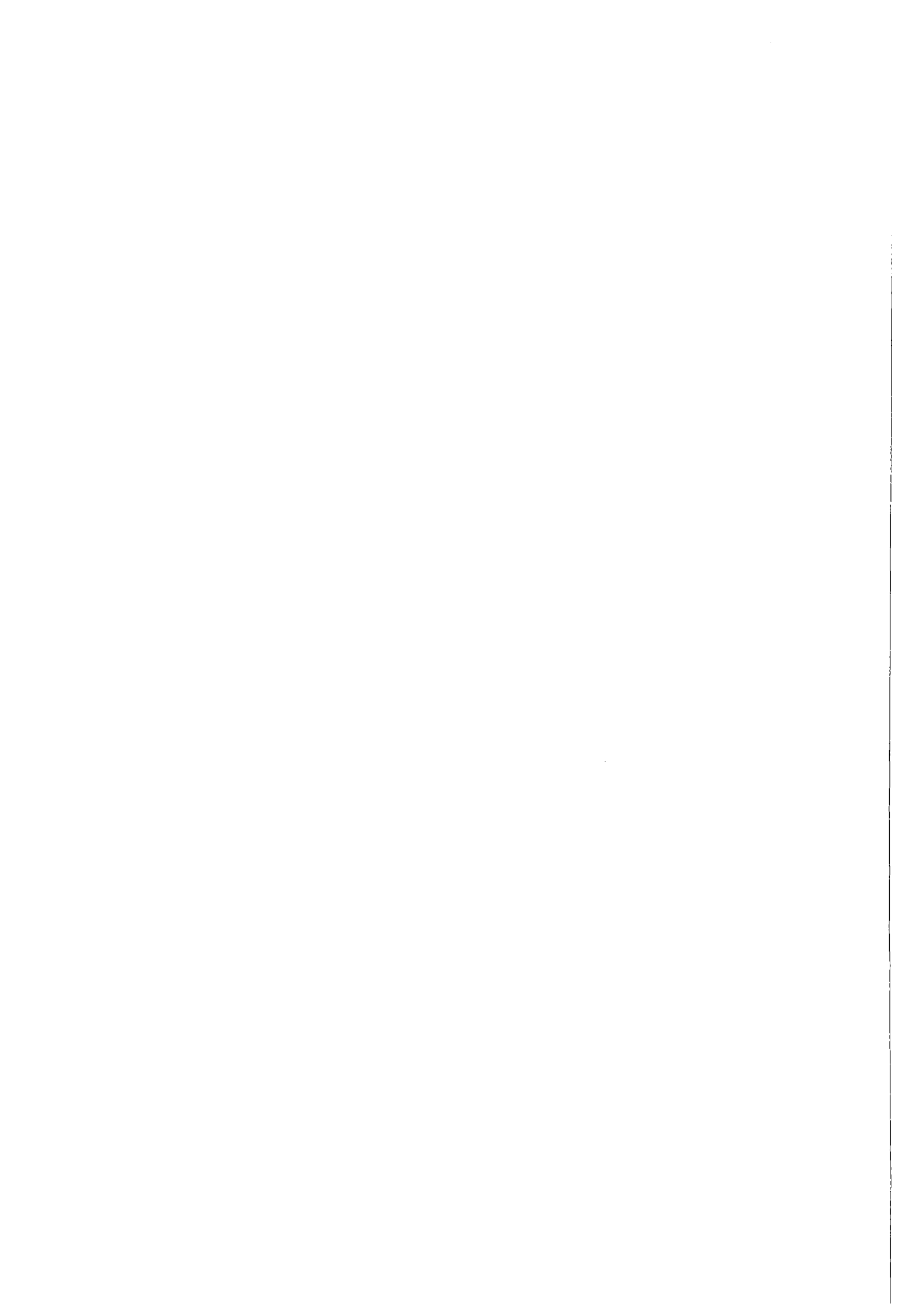
		<u>Seite</u>
06.03.02/08A PNS 4823	Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe im lokalen Bereich (bis 15 km Entfernung) bei Emissionshöhen \geq 100 m	47
06.03.02/09A PNS 4824	Ausbreitungsmodelle für besondere meteorologische Situationen	48
06.03.03	Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktor- unfällen unter probabilistischen Gesichtspunkten	49
06.03.03/05A /06A PNS 4831/32	Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktor- unfällen unter probabilistischen Gesichtspunkten	49

Anhang:

Veröffentlichungen und Primärberichte zu Arbeiten im 1. Halbjahr 1980



BERICHTSBEITRÄGE IN DEUTSCHER SPRACHE



06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktorkomponenten
unter Störfallbedingungen

06.01.01 HDR-Blowdown-Versuche zur dynamischen Beanspruchung von
Reaktoreinbauten

06.01.01/05A Auslegung, Vorausberechnung und Auswertung der HDR-Blowdown-
PNS 4115 Experimente zur dynamischen Belastung und Beanspruchung von
Reaktordruckbehältereinbauten
(U.Schumann, E.Erb, G.Enderle, J. Kadlec, F. Katz, H. Knüppel,
A.Ludwig, P.Philipp, D.G.Schlechtendahl, E.Wolf; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Die ersten drei Blowdown-Versuche V29.2, V30, V31 wurden mit den Rechenprogrammen FLUX2 unter Verwendung des neuen Strukturmodells CYLDY3 sowie mit FLUST und DRIX-2D vorausberechnet (vergleiche PNS 4125). Ebenfalls vorausberechnet wurden mit FLUX2/CYLDY3 die Schwingungsversuche ("Snapback-Experimente") für zwei verschiedene Anregungsorte in Luft und in Wasser. Die Blowdown-Versuche V29.2 sowie V31 und eine Wiederholung von V31 wurden am HDR im Frühjahr 1980 durchgeführt. Jeweils vor den Blowdown-Versuchen wurde ein Snapback-Versuch mit kleiner Anregungsamplitude ausgeführt. Die Versuchsprotokolle sind seitens PHDR weitgehend erstellt. Die "Quicklook-Reports", in denen eine erste Beurteilung der Meßergebnisse sowie deren Vergleich mit den Vorausrechnungen enthalten ist, werden gegenwärtig gemeinsam mit PHDR bearbeitet. Zur Interpretation einiger unerwarteter Versuchsergebnisse wurden Detailuntersuchungen begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Die Ergebnisse der Vorausrechnungen sind in Form von Berichten mit zahlreichen Abbildungen sowie in maschinenlesbarer Form im DOSYS des PHDR festgehalten. Ein Vergleich der Rechenergebnisse untereinander läßt deutliche Effekte der Fluid-Strukturkopplung aber auch Probleme durch physikalische und numerische Dämpfung erwarten. Eine erste Sichtung der Blowdown-Meßergebnisse zeigt, daß die Messungen als erfolgreich bezeichnet werden können. Eine Reihe von Effekten, die auf die Wirkung der Fluid-Strukturkopplung zurückzuführen sind, sind deutlich erkennbar. Recht unerwartet ist ein sehr rasches Abklingen von Druckwellen im

Blowdown-Stutzen. Die Ursache liegt vermutlich in einem Zweiphasen-Nichtgleichgewichtsvorgang (verzögerte Verdampfung und - vielleicht noch wichtiger - verzögerte Kondensation nach der ersten Wellenreflektion). Eine zunächst vermutete Abstrahlung von Druckwellenenergie über die Bruchstelle in den Außenbereich konnte ausgeschlossen werden. Die starke Reduktion der Druckwellen im Stutzen führt zu einer wesentlich (bis zu Faktor zwei) vergrößerten Belastung der Einbauten. Die maximalen Belastungen treten im Versuch, wie erwartet, in der unterkühlten Phase auf. Das Aufsieden im Behälterinneren scheint ebenfalls deutlich von Nichtgleichgewichtsvorgängen beeinflusst zu sein.

Die Schwingungsversuche zeigen, daß die Schwingungen über mehr als 20 Sekunden aufrechterhalten bleiben. Wegen anfänglicher Probleme mit erheblichen Schwingungen in der Zugstange, mit der die Anfangsauslenkung aufgeprägt wird, wurden hier konstruktive Änderungen vorgenommen.

Geplante Weiterarbeit

Die Auswertung der ersten Blowdown-Versuche wird fortgeführt. Die ersten Ergebnisse werden in Quicklook-Reports zusammen mit PHDR dokumentiert. Die eigentlichen Snapback-Experimente sollen im Sommer 1980 durchgeführt werden. Mit Ihrer Auswertung wird begonnen.

06.01.01./06A Meßtechnische Erfassung und Auswertung des dynamischen Ver-
PNS 4116 haltens der Versuchseinbauten im Reaktordruckbehälter (RDB)
 des HDR im Rahmen der HDR-Blowdown-Versuche
 (J.Kadlec, F.Eberle, G.Lang, R.Scharnowell; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Für die Blowdown-Experimente V29, V31 und V31.1 wurden acht Wegmeßketten, neun Beschleunigungsmeßketten, neun Hochtemperatur-Dehnungsmeßketten und eine Druckmeßkette am Kernmantel installiert und deren Funktionstüchtigkeit überprüft. Nach Abschluß der Blowdown-Versuche wurde mit der Auswertung der Meßergebnisse begonnen. Über durchgeführte Qualifikationsuntersuchungen an piezoelektrischen Beschleunigungsaufnehmerprototypen wurde ein Primärbericht erstellt.

Erzielte Ergebnisse

Die Funktionstüchtigkeit konnte für alle installierten Meßketten vor Beginn der Versuche nachgewiesen werden. Bei einigen der Aufnehmer erscheinen die bei den Versuchen erzielten Meßsignale als gestört. Die bisherige Auswertung ergab, daß drei Weg-, zwei Beschleunigungs- und ein Druckaufnehmer ausgefallen sind.

Geplante Weiterarbeit

Die Meßsignale aus den Blowdown-Versuchen werden weiter ausgewertet und die Ausfallursache der verschiedenen Meßketten untersucht. Für die Hauptversuche werden weitere Meßaufnehmer beschafft und kalibriert.

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

06.01.02/06A Weiterentwicklung und Verifizierung von fluid/strukturdynamischen Codes zur Analyse der Beanspruchung von RDB-Einbauten beim Blowdown

(R.Krieg, E.G.Schlechtendahl, J.Benner, B.Dolensky, H.Hailfinger
F.Katz, H.Knüppel, A.Ludwig, U.Schumann; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Der für die Blowdownberechnungen entwickelte Code FLUX2 wurde so aufbereitet, daß eine große Klasse von Strukturmodellen für den Kernmantel alternativ benutzt werden kann. Die praktische Kopplung mit dem Strukturmodell CYLDY3 ist erfolgt. Hierbei ergeben sich größere Kernmantelverformungen als bei der Kopplung mit CYLDY2. Die Kopplung mit einem STRUDL-Finit-Elemente-Modell ist in Arbeit. Für die Untersuchung zweidimensionaler Druckwellenausbreitung nach den theoretischen Grundlagen des FLUX-Modells, aber ohne Fluid-Struktur-Kopplung, wurde ein recht flexibel gehaltenes Programm WELLE2 erstellt. An den Grundlagen eines Kontinuummodells für den Reaktorkern wurde weitergearbeitet. Die dabei verwendete Theorie der Homogenisierung wurde für ein allgemeines periodisches Gemisch Fluid und Struktur formuliert. Es wurde gezeigt, daß die Trägheitskopplung zwischen Fluid- und Strukturbeschleunigungen durch einen einzigen virtuellen Dichtentensor beschrieben wird. Das Schalenprogramm CYLDY3 wurde erweitert. Es kann nun auch eine flexible Einspannung des Kernmantelflansches berücksichtigen. Ein Finite-Element-Programm mit Ringelementen (CYLDYFE) wurde entwickelt und für den HDR-Kernmantel mit CYLDY3 verglichen. Die Abweichungen in den Eigen-

frequenzen lagen unter 1%. Lediglich bei der rotationssymmetrischen Kernmantel-Verformung trat eine größere Abweichung auf.

Neben einem Blowdown durch den Einlaßstutzen wurde auch ein Blowdown durch den Auslaßstutzen untersucht. Wesentliche dynamische Beanspruchungen entstehen hierbei vor allem in den Core-Stützen im oberen Plenum. Diese Stützen haben einen Durchmesser zwischen 250 und 300 mm und enthalten die Steuerstabantriebsstangen. Bei einem Blowdown werden die Core-Stützen durch eine starke seitliche Anlaufströmung auf Biegung beansprucht. Nach Abschätzungen lassen sich diese Vorgänge in guter Näherung durch eine Potentialströmung beschreiben. Zur Analyse konnte deswegen das für komplizierte dreidimensionale Geometrien konzipierte Programm SING-S eingesetzt werden. Erste Ergebnisse zeigten, daß die resultierenden Spannungen in den Core-Stützen die Größenordnung der Fließspannung erreichen.

Zur Untersuchung von Strömungsvorgängen in Plattenkanälen mit Abzweigung (T-Kanal) (s. Abb. 06.01.02-1) wurde ein DRIX-2D-Modell entwickelt, das für konstante Temperatur für ein Wasser-Luftgemisch die Strömungsphänomene berechnet. Die Rechnungen stehen im Zusammenhang mit Experimenten, die im IRE durchgeführt werden. Die Rechnungen zeigen eine qualitative gute Übereinstimmung mit den Experimenten im Hinblick auf den in der Abzweigung entstehenden Totwasserwirbel mit hohem Luftanteil. Ein zweiter, im Experiment im geraden Rohr hinter der Abzweigung auftretender Wirbel erscheint in der Rechnung jedoch nicht.

Zur Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher numerischer Verfahren auf die Fluidodynamikmodelle wurden an einfachen Modellen verschiedene Diskretisierungen in Raum und Zeit vorgenommen. Wesentliche Verbesserungen konnten bei Geschwindigkeiten deutlich unterhalb der Schallgeschwindigkeit erzielt werden.

Erzielte Ergebnisse

Die in diesem Vorhaben entwickelten Codes FLUX2, CYLDY3, FLUST und DRIX-2D wurden erfolgreich für Voraussrechnungen der HDR-Blowdown-Experimente V29.2, V30 und V31 eingesetzt (siehe 06.01.01/05A, PNS 4115).

Mit dem Programm WELLE2 konnte die Hypothese, daß die Dämpfung von Druckwellen im Blowdownstutzen aus Energieabgabe in das Containment resultiert, falsifiziert werden. Die Theorie der Homogenisierung von Stabbündeln in einem Fluid (Kernmodell) erbrachte erste konsistente Ergebnisse. Die Spannungen in den Core-Stützen beim Blowdown aus einem heißen Stutzen können nach SING-5-Ergebnissen erhebliche Werte annehmen. Das Programm DRIX-2D erwies sich als prinzipiell anwendbar zur Untersuchung verzweigter 2-Phasenströmungen.

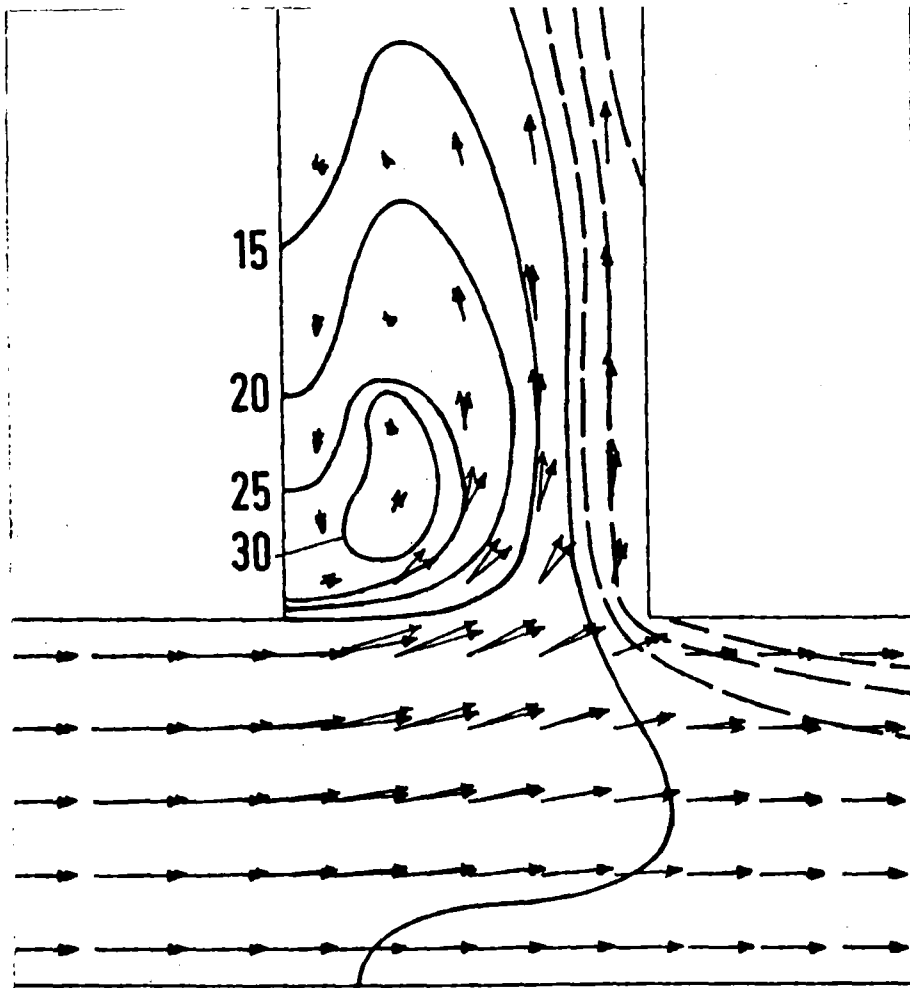


Abb. 06.01.02-1: Geschwindigkeitsfeld von Wasser und Luft
im T-Kanal. Die Parameter geben den Luftanteil an

Geplante Weiterarbeit

Die schon länger vorgesehene Kopplung von DRIX und FLUX erweist sich aufgrund erster HDR-Ergebnisse als vorrangig. Die Arbeiten zum Kernmodell und zur Kopplung von FLUX mit einem Strukturmodell des RDB werden weitergeführt. Die Ergebnisse zur Beanspruchung der Corestützen werden durch weitere Rechenläufe mit SING-S abgestützt. Die Detail-Spannungsverteilung am kronenförmig ausgebildeten Stützenfuß wird mittels einer Finite-Element-Analyse ermittelt.

06.01.02/07A Laborversuche zur Abstützung von fluid-strukturdynamischen
PNS 4126 Rechenprogrammen zur Beschreibung der Anfangsphase bei Kühl-
mittelverluststörfällen
(E.Wolf; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Die Dokumentation der Düsenexperimente zur Zweiphasenströmung sowie der entsprechenden Code-Verifizierung wurde abgeschlossen.

Zu den Experimenten an Stabstrukturen wurden die Konstruktionszeichnungen für die Experimentiereinrichtung und die erste Versuchsgeometrie erstellt. Mit der Fertigung der Teile wurde begonnen. Es handelt sich dabei um ein Doppelpendel, das einer analytischen Berechnung zugänglich ist. Zur Erfassung der Schwingungsvorgänge wurde ein kapazitives Wegmeßsystem mit berührungslosen Meßaufnehmern erprobt. Im Rahmen der Erprobung weiterer geeigneter Wegaufnehmer wurde ein berührungsloses induktives Meßsystem bestellt, das auch in Fluiden mit hoher Dielektrizitätskonstante einsetzbar ist.

Erzielte Ergebnisse

Die abschließende Dokumentation der Düsenexperimente zur Zweiphasenströmung ergab gegenüber dem Stand der bisherigen Auswertung keine neuen Ergebnisse. Bei der Erprobung des kapazitiven Wegmeßsystems für die Experimente an Stabstrukturen hat sich gezeigt, daß dieses System in Luft als Umgebungsmedium erfolgreich eingesetzt werden kann, während es innerhalb des Umgebungsmediums Wasser aufgrund eines starken Abfalls der Empfindlichkeit nicht mehr brauchbar ist.

Geplante Weiterarbeit

Die Arbeiten zu den Düsenexperimenten der Zweiphasenströmung sind abgeschlossen. Zu den Experimenten an Stabstrukturen werden die Bauteile für die Experimentiereinrichtung montiert und die Schwingungsversuche mit der ersten Versuchsgeometrie durchgeführt. Parallel dazu wird ein induktives Wegmeßsystem erprobt. Mit der Auslegung einer Stabbündelgeometrie zur Simulierung eines Brennelements wird begonnen.

- 06.01.03 Entwicklung von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren und Anwendung bei den Blowdown-Experimenten
- 06.01.03/08A Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren verschiedener Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren
PNS 4137 (J. Reimann, H. John; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

1. Analyse der Tests der PHEBUS-Massenstrom-Instrumentierung

Die Meßergebnisse der im September 1979 durchgeführten Luft-Wasser- sowie Dampf-Wasser-Tests wurden analysiert und ein Modell entwickelt, das die Ergebnisse gegenüber üblichen Auswertemethoden beträchtlich verbessert.

2. Tests des Battelle-Drag Bodies

Es wurden erneut Tests des Battelle-Drag Bodies in Luft-Wasser-Strömung durchgeführt, a) in ungestörter Strömung und b) in durch Einbauten homogenisierter Strömung.

3. Zweiphasenströmung in Rohrverzweigungen

Es wurden erste Versuche zur Umverteilung einer Zweiphasenströmung bei Durchströmung eines T-Stückes (alle Schenkel $d = 50$ mm, horizontale Zuströmung) durchgeführt. Zur Sichtbarmachung der Strömung wurde eine Plexiglasteststrecke verwendet. Die Teilmassenströme wurden mit Venturidüsen und dem 5-Strahl- γ -Densimeter gemessen. Diese Meßmethode wird so lange verwendet, bis die eigentliche Meßinstrumentierung (Separationsprinzip) verfügbar ist.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Tabelle 1 zeigt mittlere Werte und Standardabweichungen des gemessenen Massenstromes \dot{m}_{V-T} und Dampfgehaltes x_{V-T} , bezogen auf die Referenzwerte. Der Index cal bedeutet, daß das Kalibrierungsmodell verwendet wurde. Bei aufwärtsgerichteter Strömung ergeben sich Verbesserungen hinsichtlich der Dampfgehaltsbestimmung, bei abwärtsgerichteter Strömung hinsichtlich der Massenstrombestimmung.

Zu 2: Es zeigte sich, daß die experimentell gemessenen Widerstandskoeffizienten stark von den angegebenen abweichen und von der Einbauposition abhängig sind. Die Signale der Dehnungsmeßstreifen neigen nach Lastwechsel stark zum Driften. Ein häufiger Null-Abgleich war deshalb erforderlich. Unter Berücksichtigung dieser Punkte konnten Massenstrommessungen mit den Drag-Bodies durchgeführt werden, die einen Gesamtfehlerbereich unter 30% hatten. Das Vorschalten

eines Homogenisierers, bestehend aus 3 Sieben, brachte keine Verbesserung dieses Wertes.

Zu 3: In Abb. 1 ist dargestellt, wie sich für einen Betriebspunkt p_0, \dot{m}, x_0 der Flüssig- und Gasmassenstrom \dot{m}_{1l} und \dot{m}_{1g} im geraden Schenkel 1 verhalten bei Durchfahren einer Drosselkurve (Variation von $\dot{m}_1 = 0$ bis $\dot{m}_1 = \dot{m}_0$) Dabei war der Abzweig waagrecht angeordnet. Ändert sich der Massenanteil des Gases im Schenkel 1 gegenüber den Zuströmbedingungen 0 nicht, so liegen die Punkte auf der 45° -Diagonale. Die Abbildung zeigt die starke Abweichung von der Gleichgewichtslinie: das T-Stück bewirkt eine Phasenseparation: durch den Abzweig 2 strömt ein sehr viel größerer Gasanteil als durch den Schenkel 1.

p (bar)	$\frac{K_V - T}{K_{Ref}}$		$\frac{K_V - T}{V_{Ref}}$		$\frac{\dot{m}_V - T_{cal}}{\dot{m}_{Ref}}$		$\frac{K_V - T_{cal}}{K_{Ref}}$	
	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ	
30	0.988	0.060	0.896	0.084	1.022	0.061	1.010	0.074
40	1.020	0.086	0.852	0.107	1.055	0.093	1.001	0.103
50	0.994	0.072	0.900	0.123	1.004	0.085	1.020	0.203
70	0.986	0.041	0.921	0.067	1.015	0.034	0.947	0.082
90	0.993	0.037	1.026	0.137	1.017	0.038	1.019	0.143
\bar{p}	0.996	0.060	0.917	0.115	1.020	0.068	0.981	0.168
30	0.918	0.155	0.920	0.171	1.039	0.193	0.976	0.202
50	0.810	0.116	1.168	0.182	0.980	0.110	0.076	0.157
70	0.825	0.076	1.192	0.262	1.080	0.070	0.845	0.119
\bar{p}	0.838	0.121	1.116	0.230	1.031	0.128	0.978	0.181

TABLE 11: MEAN VALUES AND STANDARD DEVIATIONS

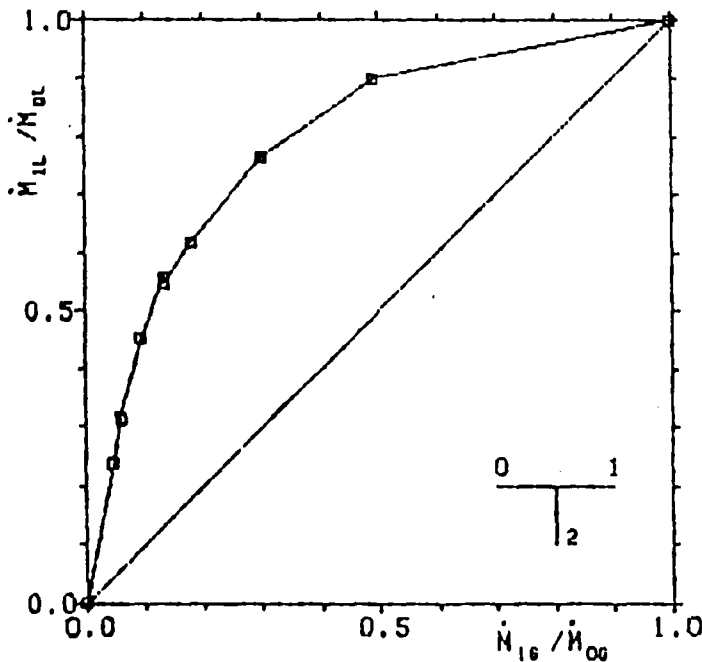


Abb. 1:
Phasenverteilung im T-Stück
(Luft-Wasser-Strömung,
waagerechter Abzweig,
 $p_0 = 6,5$ bar,
 $\dot{M}_0 = 1500 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$, $x_0 = 0,1\%$)

Geplante Weiterarbeit

- Dokumentation der Tests der PHEBUS-Instrumentierung.
- Test der Battelle-Drage Bodies in Dampf-Wasser-Strömung; Analyse aller Versuche.
- Vorversuche mit Dampf-Wasser-Strömung in Rohrverzweigungen. Bestellung der Instrumentierung zur Messung der einphasigen Massenströme in den einzelnen Zweigen.

06.01.03/09A Versuchsstand für instationäre 2-Phasen-Strömungen
PNS 4139 (H.John; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die Aufbauarbeiten an dem Versuchsstand wurden weitergeführt.

- Die gesamten Rohrleitungen wurden detailliert spezifiziert und zur Ausschreibung versandt.
- Das Gesamtschema für die Meß- und Regeltechnik und die Signalverarbeitung wurden erarbeitet. Die meisten meß- und regeltechnischen Komponenten wurden in Auftrag gegeben.
Die Anpassung der Signalverarbeitung an die vorhandene Rechenanlage wurde detailliert und notwendige Erweiterungen weitgehend in Auftrag gegeben.
- Mit der Konstruktion eines seriellen γ -Densitometers für instationäre Referenzdichtemessungen wurde begonnen.
- Das Schnellöffnungsventil ist annähernd fertiggestellt.
- Für die Datenverarbeitung (software) wurde ein Konzept entwickelt.

Erzielte Ergebnisse

Starke Verzögerungen beim Beginn der notwendigen Baumaßnahmen, bedingt durch Probleme bei der abwassertechnischen Genehmigung, verschieben die Montagearbeiten für den Kreislauf voraussichtlich auf das 4. Quartal dieses Jahres.

Geplante Weiterarbeit

- Ausführung der Gebäudebauarbeiten
- Vergabe der Rohrleitung
- Erprobung des Schnellöffnungsventils und des True Mass Flow Meters im stationären Betrieb
- Aufstellung der Programme für die Datenverarbeitung.

06.01.03/10A Entwicklung und Bau eines True Mass Flow Meters, $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$
PNS 4138 (K. Hain, IT)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Werkstattzeichnungen für alle Einzelteile wurden fertiggestellt und mit der Anfertigung der Übersichtsdarstellungen begonnen.

Die Fertigung der Einzelkomponenten wurde abgeschlossen und ein erster Zusammenbau der druckführenden Bauteile vorgenommen. Eine anschließende Wasserdruckprüfung im Beisein des TÜV ergab keine Beanstandung.

Für den Reluktanzmotor des Rotorantriebes (14 kW) wurde eine Anlaufschaltung entwickelt und gebaut, die ein ruckfreies Hochfahren der Rotoreinheit auf Nenndrehzahl ermöglicht.

Mit der Feinmontage des Meßsystems wurde begonnen.

Geplante Weiterarbeit

Nach dem Einbau des Meßsystems erfolgt eine mechanische Funktionsprüfung des zur Erprobung fertigmontierten True Mass Flow Meters. Anschließend werden Kaltwasser-Luft-Versuche im Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren von Zweiphasen-Massenstrom-Meßverfahren im IRB durchgeführt.

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
06.01.04/11A /12A PNS 4231.1/3	Entwicklung des Codesystems SSYST und Durchführung entwicklungsorientierter Anwendungsrechnungen (R.Meyder; IRE, H. Borgwaldt, G.Jacobs, W.Baumann, G.Willerding; INR)

Durchgeführte Arbeiten

In verschiedenen In-pile-Experimenten (FR2, PBF) wurde festgestellt, daß der Brennstoff in einem abgebrannten Stab nicht mehr in Form von Pellets vorliegt, sondern in viele Stücke zerbrochen ist. Dies hat zur Folge, daß nach Durchführung des Experiments i.a. innerhalb der Hülle eine lose Schüttung dieser Stücke vorliegt, die den ganzen zur Verfügung stehenden Raum ausfüllen. Dabei ist im Moment noch unklar, ob die Umordnung des Brennstoffs noch während des Deformationsvorganges stattfindet und ihn beeinflussen kann oder ob sie erst nach dem Bersten erfolgt und dann keinen Einfluß mehr auf die Verformung und die erreichten Enddehnungen hat. Mögliche Folgen einer Umordnung während des Deformationsvorganges sind die Zunahme der linearen Stableistung in den deformierten Zonen und die Reduktion der azimuthalen Temperaturdifferenz mit der Folge größerer Umfangsdehnung. Zur Simulation dieser Effekte mit einfachen Mitteln wurde der Modul KRUEMEL erstellt, der nach Überschreiten einer vorgegebenen maximalen Spaltweite im Knoten die Umsetzung der Pellets in eine Schüttung vornimmt. Dehnt sich die Hülle in diesen Knoten weiter, so wird aus axial darüberliegenden Knoten Brennstoff nachgeliefert. Das Modell ist formuliert. Erste Testrechnungen wurden durchgeführt.

Im Berichtszeitraum wurden ferner die Arbeiten zur probabilistischen Behandlung des Brennstabverhaltens ausführlich dokumentiert. Ebenso wurde die Eingabebeschreibung von SSYST-2 fertiggestellt. Sie wird in Kürze veröffentlicht.

Zur Beschreibung der dreidimensionalen plastischen Deformation der Hülle wurde der zu lösende Satz von Differentialgleichungen aufgestellt. Infolge der sich mit der Zeit ständig ändernden Gestalt der Hülle, galt es eine Schalentheorie zu entwickeln, die die dreidimensionalen kontinuumsmechanischen Grundgleichungen eines Volumenelementes, (Gleichgewicht, Kompabilität) auf ein allgemeines

Flächenelement reduziert. Bei der Berücksichtigung der konstitutiven Gleichungen wurde besonders darauf geachtet, daß keine wesentlichen Einschränkungen für die Formulierung des Kriechgesetzes entstehen. Da die nun vorliegenden Differentialgleichungen auch die Änderung der Wanddicke beschreiben, geht das entwickelte Modell über die allgemeine technische Schalentheorie hinaus. Ob sich die Lösung des nichtlinearen Differentialgleichungssystems über ein Variationsprinzip (finite Elemente) oder mit einem anderen numerischen Verfahren angehen läßt, ist nun im weiteren zu prüfen.

Bei der Entwicklung des Moduls ZETHYF wurden die ein- und homogenen zweiphasigen Modelle erfolgreich getestet. Zur Zeit ist die Entwicklung des Dispersed-Flow-Regimes in Arbeit.

Die SSYST-Moduln ZET-2D (zweidimensional, zeitabhängig) und STT-2D (stationär) wurden in einem Modul kombiniert. Der eindimensionale Modul ZET-1D wurde auf implizite Integration umgestellt und durch einen stationären Modul STT-1D ergänzt. Im Modul ZETHYD wurden für die Wärmeleitung ein implizites und für die Enthalpieschichtung ein einfaches explizites Integrationschema mit Zeitschritt-automatik eingeführt.

Die Arbeiten zum Deutschen Standardproblem Nr. 2 (PKL-Flutversuch K9) mit RELAP4/MOD6 wurden mit Korrektur- und Nachrechnungen weitergeführt. Auf dieser Grundlage wurde ein neues Eingabemodell erstellt.

Mit RELAP4/MOD6 wurden weitere Testrechnungen für die Blowdown-Phase eines DWR-KMVS durchgeführt. Die mit dieser Code-Version mögliche Modellierung des Notkühlsystems und der Rückwirkungen vom Containment wurden eingeführt. Zusätzliche Anwendungsfälle waren das COSIMA-Experiment 82 und ein FEBA-Blockade-Experiment.

Als zusätzlicher Primärsystem-Code wurde der GRS-Code BRUCH-DO6 verfügbar gemacht. Die von ORNL übernommene IBM-Version des Bündel-Codes COBRA4i wurde an unserer Anlage lauffähig gemacht und ausgetestet. COBRA4i sowie die von Battelle-Frankfurt bereitgestellten Codes COBRA3c/MIT und THERMIT wurden auf ihren Einsatz unter für FEBA-Blockade-Experimente typischen Bedingungen untersucht.

Erzielte Ergebnisse

Bei Anwendung des für den α -Phasen-Bereich von Zry abgeleiteten Verfestigungsmodells in NORA im Gebiet der α - β -Phasen-Umwandlung ergaben sich teilweise unbefriedigende Ergebnisse: Eine sorgfältige Überprüfung der Zug- und Kriechversuche lassen vermuten, daß dort bei größeren Deformationsgeschwindigkeiten ein anderer Verfestigungsmechanismus wirkt. Vorstellungen für ein Modell werden geprüft.

Die Testversion von ZET-1D zeigt gegenüber der Standardversion erheblich bessere Stabilität bei Kopplung mit anderen Modulen, insbesondere dem Wärmeübergangsmo-
dul WUEZ. Mit der neuen Version von ZETHYD konnte erstmals der COSIMA-Versuch 44
ohne numerische Instabilitäten voll durchgeführt werden.

Die Übereinstimmung zwischen Voraussrechnung und Experiment beim PKL-Versuch K9
ist bei den einzelnen Vergleichsgrößen unterschiedlich. Der Verlauf der Hüll-
rohrtemperaturen der unteren Bündelhälfte liegt im Feld der Meßergebnisse. Die
maximale Hüllrohrtemperatur, Aufheizspanne sowie Quenchzeit liegen nahe den
experimentellen Werten. Die Hüllrohrtemperaturverläufe oberhalb der Bündelmitte
zeigen eine vom Wandermaschenmodell nicht erfaßte obere Quenchfront, die aller-
dings langsamer fortschreitet als im Experiment. Die aufgerechneten Quenchzei-
ten im oberen Bereich sind dadurch zu hoch. Andere verglichene Größen, wie Mas-
senströme in den Loops, Druckdifferenzen, zeigen streckenweise einen abweichenden
Verlauf, erklärbar durch die schlagartige Gleichgewichtskondensation am
Einspeisewasser. Die Nachrechnungen beweisen, daß der Wassermittelschlag und die Wärme-
abgabe an den Flüssigkeitsanteil in der Tröpfchenströmung das Geschehen im Bün-
delbereich und damit im ganzen Primärsystem wesentlich beeinflußt. Dem zu hoch
berechneten Füllstandverlauf entspricht eine zu niedrige Dampfproduktion im Kern,
was eine Verschiebung der Massenbilanz zur Folge hat.

Die Anwendung zweier Ausströmmodelle, nach Moody oder Henry-Fauske, für die DWR-
Blowdown-Rechnungen mit RELAP4/MOD6 liefern qualitativ unterschiedliche Verläufe,
primär für den Massenstrom. Für das Henry-Fauske-Modell ergab sich gute Überein-
stimmung mit der bisher im KfK benutzten Code-Version RELAP4/MOD2 (modifiziert).
Verbleibende Diskrepanzen können u.a. durch das veränderte Stab-Wärmeübergangs-
modell erklärt werden. Rechnungen mit Modellierung des Notkühlsystems und des
Containments liefern bezüglich Massenstrom im Core und Druckaufbau im Contain-
ment befriedigende Ergebnisse. Die Nachrechnung von COSIMA-82 ist bisher nicht
voll befriedigend. Die Ergebnisse werden über die Wärmeübertragungslogik extrem
stark durch die Nodalisierung beeinflußt.

Die RELAP4/MOD6-Analyse des FEBA-Blockade-Experiments wurde mit einem stark
vereinfachten 8-Volumen-Modell und den verschiedenen möglichen Wärmeübergangs-
funktionen vorgenommen. Die berechneten Wandtemperaturen im oberen Blockadebe-
reich liegen in allen Fällen wenig oberhalb der Sättigungstemperatur und nahe
den am inneren Eckkanal gemessenen Werten.

Die untersuchten Bündel-Codes sind bei den für das FEBA-Blockade-Experiment
typischen niedrigen Drücken und Massendurchsätzen numerisch noch stabil. Diese
Aussage gilt in vollem Umfange für THERMIT; bei den COBRA-Versionen wurde je-
weils nur eine Option getestet. Alle 3 Codes müßten jedoch unter den FEBA-Be-

dingungen bezüglich der Wärmeübergangslogik erheblich verbessert werden.

Geplante Weiterarbeit

Die Dokumentation der Modelle in SSYST-2. Kopplung von RELAP4/MOD6 mit SSYST-2. Der Abschluß der Arbeit zur Zry-Modellentwicklung. Erste Anwendung der probabilistischen Methodik auf ein Bündel. Weiterführung der Nachrechnungen von COSIMA-Experimenten mit RELAP4/MOD6. Implementierung des Zweiphasen-Thermohydraulik-Systemcodes RELAP5/MOD0. Verbesserung der Wärmeübergangslogik in THERMIT und COBRA4i.

06.01.06 Materialverhalten von Zircaloy bei Reaktorstörfällen

06.01.06/11A Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Zircaloy-
PNS 4235.1 Hüllrohrmaterial
 (M.Bocek, C.Petersen, H.Schneider, E.H.Toscano; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

1. Zugversuche an Zircaloy-4 bei hohen Temperaturen.
2. Nachrechnung von Experimenten aus verschiedenen Labors mit Hilfe der Summenregel der Lebensanteile.
3. Zerstörende Nachuntersuchungen von in-pile verformten Hüllrohren.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Die Zugversuche für die Verifizierung der Zustandsgleichung zur Beschreibung des Materialverhaltens und des NORA-Modells wurden fortgeführt. Besonders im Temperaturbereich um 900°C wurden zusätzliche Experimente gefahren, um den Effekt der Verfestigung, der bei dieser Temperatur auftritt, modellmäßig zu beschreiben.

Zu 2: Die Gültigkeit der Summenregel der Lebensanteile wurde an experimentellen Daten aus den Versuchseinrichtungen FABIOLA und REBEKA für höhere Bersttemperaturen überprüft. Auch experimentelle Daten aus ANL-Versuchen (1) wurden nachgerechnet. Bis 840°C entsprechen die berechneten Bersttemperaturen, Berstzeiten und Berstdrucke in guter Übereinstimmung den gemessenen Werten. Im Zweiphasenbereich und im β -Bereich des Zircaloy-4 streuen die Werte sehr stark. Wie erwartet, treten größere Abweichungen von den gerechneten Werten im Zwei-

phasengebiet des Zircaloy auf. Verglichen mit Ergebnissen der FABIOLA-Tests sind die berechneten Bersttemperaturen kleiner als die gemessenen. Das Modell liefert somit konservative Voraussagen.

Zu 3: Die metallographische Nachuntersuchung der nicht vorbestrahlten in-pile Berstversuche wurde mit der Untersuchung der Stäbe A2.1 und B3.2 abgeschlossen. Eine zusammenfassende Quantifizierung der Umfangsdehnung und der Beulenform in Längsachse im Vergleich mit der aus der Literatur entnommenen out-of-pile-Werten wurde versucht.

- a) Die Definition eines Umfangsdehnungsparameters W_{θ} wurde von H.M. Chung und T.F. Kassner (1) vorgeschlagen. Der Vergleich der 11 ausgewerteten in-pile Testergebnisse mit den out-of-pile Ergebnissen aus (1) zeigt keinen Einfluß der Bestrahlung auf den Umfangsdehnungsparameter. Lediglich die Beheizungsart (indirekte Beheizung bei den in-pile-Tests und direkte Beheizung bei den out-of-pile-Tests) hatte einen Einfluß auf den Umfangsdehnungsparameter (2).
- b) Der Axialdehnungsparameter W_z wurde in Anlehnung an den Umfangsdehnungsparameter definiert. Auch hier wurden die in-pile-Testergebnisse mit out-of-pile-Tests von RFL (3) verglichen. Auch ein Einfluß der Bestrahlung konnte nicht gefunden werden und die Unterschiede in der Beheizungsart traten hier nicht auf. Nach der Definition des Axialdehnungsparameters werden bei bestimmten Bedingungen für Innendruck und Temperaturanstieg Werte unter 0,5 erreicht und dabei lange Beulen erhalten. Die in-pile verformten Hüllrohre zeigten alle Werte über 0,5, wobei die Testbedingungen dieselben waren, bei denen auch die RFL-Rohre definierte kurze Beulen hatten. Die Schlußfolgerung aus diesen Auswertungen ist, daß bei niedrigen Innendrücken und langsamen Temperaturanstiegen (kleine Lecks) die Möglichkeit besteht, lange Beulen zu erhalten.

Geplante Weiterarbeit

Instron-Umrüstung auf neue Datenverarbeitungsanlage (Hewlett-Packard).

Fortführung von Berstversuchen unter transienter Beanspruchung an Brennelementsimulatoren ohne Gap in FABIOLA.

Druckzyklierversuche an Zircaloy-Hüllrohren.

Zerstörende Nachuntersuchungen an vorbestrahlten in-pile verformten Rohren und an out-of-pile verformten Rohren.

Literatur

- (1) H.M. Chung und T.F. Kassner
Deformation Characteristics of Zircaloy Cladding in Vacuum and Steam under Transient Heating conditions: Summary Report ANL-77-31, July 1978.
- (2) E. Karb et. al.
KfK in-pile tests on LWR Fuel-Rod Behavior During the Heatup Phase of a LOCA
Veröffentlichung als KfK-Bericht in Vorbereitung.
- (3) K.M. Rose, C.A. Mann und E.D. Hindle
Axial distribution of deformation in the cladding of pressurized water reactor fuel rods in a loss-of-coolant accident.
Nucl. Technol. 46, 2(220-227) Dec. 1979.

06.01.06/12A Untersuchungen zur Hochtemperatur-Wasserdampf-Oxidation
PNS 4235.2 an Zircaloy-Hüllrohren
(S. Leistikow, B. Bennek-Kammerichs, H.v. Berg, R. Kraft,
G. Schanz, D. Jennert; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Untersuchungen über die Kinetik der isothermen Wasserdampf-Oxidation

- im Temperaturbereich 900 - 1100°C während 360 Minuten und
- im Temperaturbereich 1300 - 1450°C während maximal 30 Minuten.

Untersuchungen über die Kinetik der temperatur-transienten Wasserdampf-Oxidation

- bei Aufheizgeschwindigkeiten von 10 - 200°C/s bis etwa 1750°C während maximal 140 Sekunden.

Die Auswertung der metallographischen Heißzellen-Untersuchung von Brennstäben nach in-pile-Experimenten (PNS 4237) wurde fortgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Die Untersuchungen der Oxidationskinetik von Zircaloy 4 in Wasserdampf bei 900 - 1100°C über die bis zu 6 Stunden verlängerte Zeitdauer hatten folgende

wichtige Ergebnisse:

Bei 900 und 950°C trägt dem nach 50 - 80 Minuten eintretenden beschleunigten Reaktionsablauf der Übergang von einem anfänglich kubischen Zeitgesetz der Gewichtszunahme auf ein parabolisches Rechnung. Bei 1000°C konnte der nach parabolischem Verlauf über 30 - 40 Minuten beobachtete Übergang in eine beschleunigte Reaktion reproduziert und über Zeiten bis zu 6 Stunden durch eine lineare Funktion angenähert dargestellt werden.

Bei 1100°C wurde über eine Reaktionszeit von 6 Stunden ein sich verlangsamer Reaktionsablauf, d.h. die Beibehaltung eines klassisch parabolischen Verlaufs und damit das Ausbleiben des Break-away-Effektes im Versuchszeitraum, gemessen. Bei metallographischer Betrachtung ergaben der Zustand der Oxidschicht und die Dicke der α -Zr(O)-Schicht einen direkten Zusammenhang mit der gemessenen Gewichtszunahme. So konnte der gemäßigte Break-away-Effekt bei 900 und 950°C in Zusammenhang gebracht werden mit lokalen Ausheilvorgängen und einer nur partiellen Aufgabe des schützenden Zusammenhalts der oxidischen Bedeckung in sich unter Beibehaltung einer gleichmäßigen α -Zr(O)-Teilschicht. Der klassische Breakaway bei 1000°C wurde wieder korreliert mit dem periodischen Auftreten einer vor allem horizontalen Rißstruktur. Beim Auftreten vertikaler Risse wurde ein lokal verstärkter Angriff in die Tiefe des metallischen Gefüges beobachtet. Vor allem dort, aber auch allgemein unterhalb der Defektstruktur, wurde eine α -Zr(O)-Teilschichtbildung weitgehend unterdrückt.

Die Resultate der isothermen Untersuchungen an induktiv beheizten Rohrabschnitten bei 1300°C - 1450°C konnten über maximale Expositionszeiten von 30 Minuten durch parabolische Zeitgesetze angenähert werden. Die erzeugten Oxidschichten waren bis dahin haftfest, die metallische β -Phase wurde nach Ablauf von 5 min (1350°C) und 3 min (1400°C) vollständig in α -Zr(O) umgewandelt. Die Durchführbarkeit dieser Untersuchungen bei noch höheren Temperaturen und längeren Zeiten wurde begrenzt durch die Ankoppelungsfähigkeit des metallischen der beidseitigen Oxidation unterworfenen Restquerschnitts. Diese sank aufgrund der mit der Temperatur zunehmenden Diffusionsgeschwindigkeit des Sauerstoffs auf immer kürzere Zeiten, d.h. geringere Sauerstoffaufnahmen. Während bei 1300°C bis dahin etwa 4000 mg/dm² Sauerstoff aufgenommen wurden, waren es bei und oberhalb 1450°C nur noch etwa 2000 mg/dm². Die bis zum Schmelzpunkt des Zircalloys (etwa 1710°C) bei Aufheizgeschwindigkeiten von 10 - 211°C/s durchgeführten transienten oxidationskinetischen Untersuchungen ergaben je nach Versuchsdauer (7 - 140 s) unterschiedliche Oxidationszustände, die sich noch in der Auswertung befinden.

Bei den metallographischen Heißzellen-Nachbestrahlungsuntersuchungen von im FR 2-KVS-exponierten Brennstäben konnte die örtlich erreichte Maximaltemperatur der nicht vorbestrahlten Brennstäbe auf etwa $+ 30^{\circ}\text{C}$ genau nach dem Zustand des Zry-Gefüges abgeschätzt werden. Azimutale Temperaturunterschiede bis ca. 60°C wurden nachgewiesen.

Geplante Weiterarbeit

Oxidationskinetische Untersuchungen bei $600 - 900^{\circ}\text{C}$ über Zeiten bis zu mehreren Stunden. Umfangreiche Auswertungen und Dokumentation der vorausgehenden Untersuchungen.

06.01.06/13A Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffes und von
PNS 4235.3 Spaltprodukten auf die mechanischen Eigenschaften von Zry-
Hüllrohren bei Störfalltransienten

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

Durchgeführte Arbeiten

- Berst- und Zeitstandexperimente mit Spaltprodukt enthaltenden Zircaloy-4-Hüllrohren unter Schutzgas und Wasserdampf im Temperaturbereich $500 - 1000^{\circ}\text{C}$.
- Untersuchung des Einflusses von mechanisch eingebrachten axialen Innenkerben auf die Berstdehnung und Standzeit von Zircaloy-Rohrproben in Gegenwart von Jod bei 600 und 700°C .
- Bestimmung der Hüllrohrinnenkorrosion. Ermittlung der Spaltgasfreisetzung während einer LOCA Transiente und bei Nachbestrahlungsglühungen.

Erzielte Ergebnisse

- Von den untersuchten Spaltproduktelementen und -verbindungen haben nur Jod sowie die flüchtigen Jodverbindungen ZrJ_4 , I_2O_5 und TeI_4 , nicht jedoch CsJ , einen ausgeprägten Einfluß auf die Berstdehnung. Oberhalb einer kritischen Jodkonzentration kommt es zu einem verformungsarmen Versagen des Hüllmaterials. Der Einfluß von Jod auf die Berstdehnung nimmt mit steigender Temperatur ab und ist ab etwa 900°C zu vernachlässigen /1/.
- Mit zunehmender Standzeit, d.h. abnehmendem Innendruck, geht der Einfluß der eingebrachten Kerben zurück. Es scheint einen minimalen Druck zu geben

(entsprechend einer unteren Grenzspannung) unterhalb dessen der Einfluß sowohl der Vorschädigung als auch des Jods nicht mehr zum Tragen kommt.

- Eine Oxidation der Hüllrohrinnenoberfläche erfolgt nur in der Umgebung der Berststelle, die hauptsächlich durch den in den Brennstab eindringenden Wasserdampf verursacht wird.

Die Spaltgasfreisetzung in den LOCA-getesteten Brennstäben der Versuchsreihe F mit 2,4% Abbrand betrug maximal 6% und wird hauptsächlich durch Ribbildung hervorgerufen. Der Sättigungswert der Spaltgasfreisetzung bei isothermen out-of-pile Glühversuchen betrug bei 1500°C ca. 15% und bei 1600°C etwa 25%. Die Freisetzung des Spaltgases erfolgt hierbei u.a. durch Korngrenzentrennung des UO₂-Gefüges /2/.

Geplante Weiterarbeit

- Abschluß der Zircaloy/Jod-Experimente.
- Bestimmung der Streckgrenze und Bruchfestigkeit von Zircaloy-4-Hüllrohren (500 - 800°C).
- Experimente mit innen vorgekerbten Proben bei 500°C.
- Nachbestrahlungsuntersuchungen von LOCA-getesteten Brennstäben.
- Chemisch analytische Untersuchungen des Hüllmaterials, des Brennstoffes und der simulierten Spaltprodukte.

Literatur

- /1/ P.Hofmann; Corrosion induced failure of internally pressurized Zircaloy tubes at high temperatures, European Symposium on "The Interaction between Corrosion and Mechanical Stress at High Temperatures", May 13-14th, 1980, Petten,
- /2/ H. Zimmermann; Investigations on fission gas behavior in LWR fuel rods under LOCA conditions, Enlarged Halden Programme Group Meeting, June 1-6th, 1980, Lillehammer, Norway.

06.01.06/15A Berstversuche an Zircaloy-Hüllrohren unter mechanisch-
PNS 4235.4 chemischer Beanspruchung (FABIOLA- Programm)
(L. Schmidt, H. Lehning, K. Müller, D. Piel, H. Schleger;
IMF III)

Durchgeführte Arbeiten

Die Berstexperimente an Zircaloy-4-Hüllrohren unter Heißstabbedingungen wurden weitergeführt. Daneben wurde in verschiedenen Versuchen die kritische Jod-Konzentration für die FABIOLA-Brennstabsimulator-Anordnung ermittelt.

Weitere Experimente dienen zum Nachweis des Einflusses von Jod auf das Verformungsverhalten bei höheren Temperaturen im $\alpha+\beta$ -Phasenbereich des Zircaloy 4. Ebenso sollte für diesen Bereich die Gültigkeit des von M. Bocek entwickelten Rechenmodells (Journal of Nuclear Materials, Band 82 (1979), S. 329) überprüft werden.

Der Aufbeulvorgang wird on-line mit einem neuartigen TV-Breitenmeßsystem erfaßt. Die Software für die gleichzeitige Datenerfassung des Hüllrohrverformungsvorganges und der relevanten Meßgrößen (Temperatur- und Druckverläufe) wurde fertiggestellt und ausgetestet. Ebenso wurden die Arbeiten für die Erstellung der Rechenprogramme zur Versuchsauswertung und Ergebnisdokumentation abgeschlossen.

Für die modellmäßige Bestimmung der Hüllrohrverformung ist eine Eingabegröße die Kriechgeschwindigkeit. Aus diesem Grund wurde die Entwicklung eines Rechenverfahrens in Angriff genommen, das es ermöglichen soll, aus den gemessenen Originaldaten des Dehnungsverlaufes die Kriechgeschwindigkeit zu berechnen. Hier stellt sich das Problem, aus den gemessenen diskreten Werten des Dehnungsverlaufes, die naturgemäß innerhalb des Bereiches der Meßgenauigkeit streuen, einen geglätteten stetigen Verlauf zu ermitteln, der die Charakteristik der Messung nicht verfälscht und differenzierbar ist.

Erzielte Ergebnisse

Die kritische Jodkonzentration für die FABIOLA-Brennstabsimulatoren wurde mit 20 mg/cm^3 freies Volumen einschließlich des außerhalb liegenden Gasplenums ermittelt. Bei dieser Konzentration ist für das Versagen der Hülle die Spannungsrißkorrosion dominant. Der kritische Wert liegt wesentlich über den in Einzel-effektuntersuchungen ermittelten Konzentrationen (P.Hofmann, "Einfluß des Spaltproduktelementes Jod auf das Verformungs- und Bruchverhalten von Zry-4-Hüllrohren bei Temperaturen zwischen 600 und 1000°C , KfK 2661, Sept. 1978).

Diese höhere Jodkonzentration wird zurückgeführt auf den speziellen Aufbau des Brennstabsimulators.

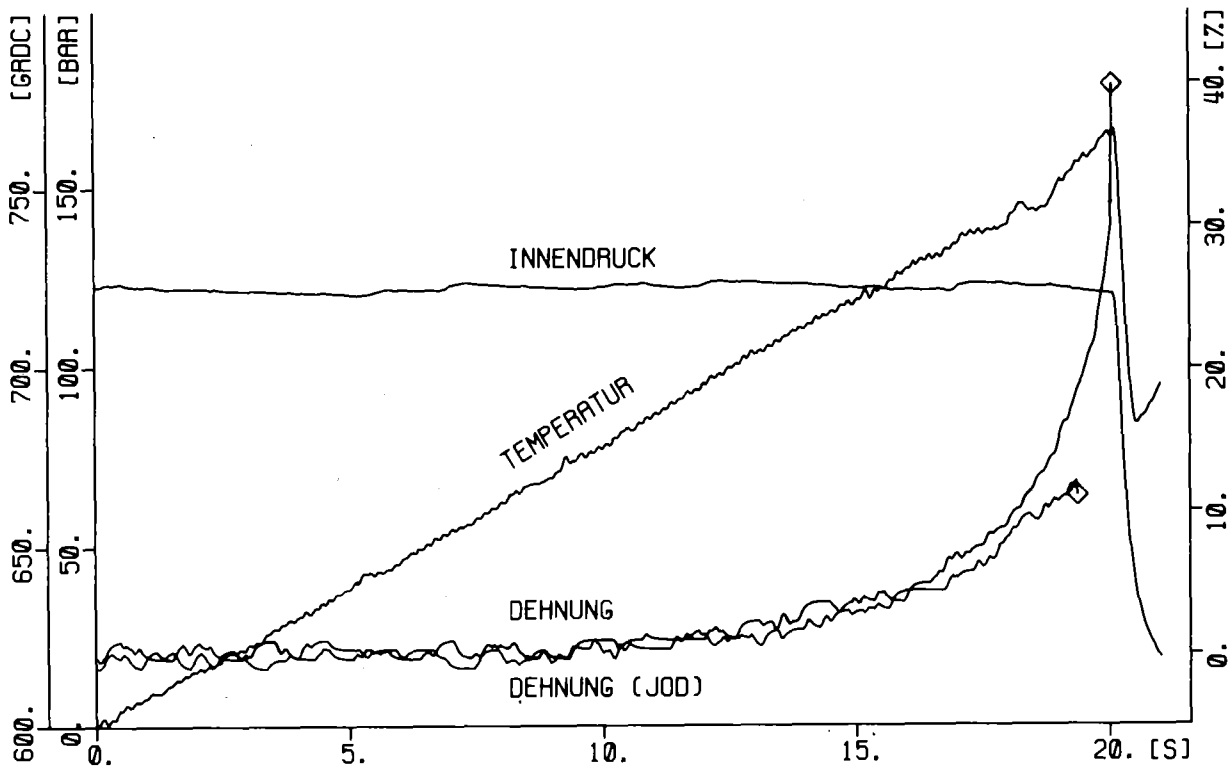
Im $\alpha+\beta$ -Phasenbereich, also bei Bersttemperaturen über etwa 830°C konnte ein Einfluß des Jods auf das Verformungsverhalten, wie auch schon im vorgenannten Bericht erwähnt, nicht festgestellt werden. Die Berstdehnungen lagen bei den jodfreien und den Stäben mit Jod um ca. 50%. Beim Vergleich der experimentell ermittelten Standzeiten mit denen nach dem erwähnten Rechenmodell errechneten, treten im $\alpha+\beta$ -Phasenbereich größere Abweichungen auf. Die errechneten Werte liegen im allgemeinen um mehr als 20% niedriger als die experimentellen. Im α -Phasenbereich wurde eine recht gute Übereinstimmung zwischen Experiment und Rechnung festgestellt.

Bei den durchgeführten Versuchen konnte nachgewiesen werden, daß die Dynamik des TV-Breitenmeßsystems für die Meßfrequenz von 25 Bildern/s ausreichend ist. Die Charakteristik des Dehnungsverlaufes zeigt, daß diese Meßfrequenz nur gegen Ende des Versuchs bei schnell zunehmender Hüllrohrverformung erforderlich ist. Durch die variable Meßfrequenz über die Versuchsdauer wird die Datenmenge in Grenzen gehalten. Bei den Versuchen mit jodfreien und jodgeimpften Stäben wurde jeweils für die Erfassung des Dehnungsverlaufes ein Stabausschnitt von etwa 120 mm Länge vermessen. Dabei konnten auch die geringen Dehnungen bei den Stäben mit Jod, die im α -Phasenbereich um 10% liegen, exakt erfaßt werden. Filmaufzeichnungen mit derart geringen Dehnungen waren bisher nicht auswertbar.

Die Abbildung zeigt einen Plot aus Meßdaten von zwei Experimenten mit und ohne Jodeinfluß. Druck und Temperaturanstiegsgeschwindigkeiten betragen in beiden Versuchen 120 bar bzw. 8 K/s. Es ergaben sich nahezu gleiche Standzeiten bei sehr unterschiedlichen Berstdehnungen.

Geplante Weiterarbeit

- Berstversuche unter Heißstabbedingungen an jodfreien und Stäben mit Jod.
- Weiterführung der Arbeiten zur Berechnung der Kriechgeschwindigkeit.
- Erweiterung der Datenspeicherkapazität für längere Versuchszeiten.
- Vorversuche mit elektrischen Heizern für höhere Temperaturen.



FABIOLA TEST-ERGEBNISSE

- 06.01.07 Brennstabverhalten in der Blowdown-Phase eines Kühlmittelverlustrstörfalles
- 06.01.07/05A Untersuchungen zum Brennstabverhalten unter gesteuerten
/06A thermohydraulischen Randbedingungen (COSIMA-Programm)
- PNS 4236.1/2 (G.Class; IRE, K.Hain, F.Brüderle, F.Schloß, T.Vollmer,
K.Wagner; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurden 33 Blowdown-Experimente an der COSIMA-Anlage durchgeführt, die folgenden Untersuchungen dienten:

1. Einfluß außen auf das Hüllrohr nach LOFT-Spezifikation angebrachter Thermo-elemente auf das Stabverhalten.

Hierzu wurden mit 4 Stäben, von denen einer mit Thermo-elementen bestückt war, Serien von Transienten mit dem jeweils gleichen Steuerprogramm gefahren. Die Versuche ergaben einen deutlichen Einfluß der außen auf dem Stab befestigten Thermo-elemente auf den Blowdown-Ablauf.

2. Auswirkungen der Blowdown-Anzahl pro Stab auf die Pelletverlagerung (Fuel-Relocation).

In zwei Versuchsserien wurde das reaktortypische Verhalten des verwendeten Bremstabsimulators SIM II in Hinsicht auf die radiale Pelletverlagerung der beim Blowdown-Vorgang gesprungenen Ringpellets untersucht.

3. Wirkung der Spaltgasart auf die Hüllrohrtemperatur in einem Stab mit gesprungenen Pellets.

Hierzu wurde mit einem Stab, der hinsichtlich der Pelletverlagerung seinen Endzustand erreicht hatte, zwei Versuche mit verschiedenen Spaltgasen (Argon und Helium) gefahren.

4. Einfluß der Abstandshalter auf die Thermohydraulik in einem Unterkanal. Da die bekannten Thermohydraulik-Codes (z.B. RELAP) die Modellierung eines Abstandshalters nicht vorsehen, ein Einfluß aber zweifellos gegeben ist, wurde in zwei Transienten die örtliche Lage der Abstandshalter verändert.

5. Nachfahren der LOFT-Transiente L2-3.

Für weiterführende Versuche zum Punkt 1 wurde in einer Versuchsreihe ein an die LOFT-Transiente angenäherter Blowdown-Ablauf experimentell bestimmt.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Der Einfluß der außen auf dem Hüllrohr angebrachten (LOFT-spezifischen) Thermolemente macht sich in einem späteren DNB-Zeitpunkt, einer niedrigeren Peak-Claddingtemperatur und einem früheren Wiederbenetzen des Hüllrohres in der zweiten Blowdown-Hälfte bemerkbar. Ein diesbezüglicher Bericht wird zur Zeit zusammengestellt.

Zu 2: Es zeigte sich deutlich ein Einfluß im Simulatorverhalten bezüglich der Hüllrohrtemperaturen auch bei Stäben, die mehrere Blowdown-Transienten durchlaufen haben. Es ergibt sich dadurch die Notwendigkeit, die Rechenmodelle hinsichtlich Fuel-Relocation zu erweitern.

Die Punkte 3 und 4 bedürfen noch weiterer Versuche, um eine belastbare Aussage zu erreichen.

Geplante Weiterarbeit

In Fortführung des Experimentierprogrammes sind zum Problemkreis Pellet-Relocation Blowdown-Versuche mit einem erweiterten Hüllrohr, mit vergrößertem Innenspalt zwischen Graphitheizer und Ringpellet, sowie mit ThO_2 als Pelletmaterial anstelle A_2O_3 vorgesehen.

Die Versuche zur Einflußabschätzung der Abstandshalter auf die Thermohydraulik werden um solche mit exzentrisch zum Kühlkanal sitzenden Abstandshaltern erweitert. Die Blowdown-Experimente mit dem mit (LOFT-spezifischen) Thermoelementen instrumentierten Simulator nach 1) werden um eine Versuchsserie in Anlehnung an die LOFT-L2-3-Transiente ergänzt.

Nachdem in den vorangegangenen theoretischen Untersuchungen gezeigt worden war, daß die im Experiment beobachteten Erscheinungen (insbesondere die Hüllrohrtemperaturen) von den Codes RELAP4 (Mod 5) und SSSYST gut nachgebildet werden, verlagert sich die Arbeit nunmehr auf die als wesentlich erkannten Teilfragen (Nodalisierungseinfluß, Wärmeübergangslogik, Wärmeentspeicherung aus den Wandstrukturen).

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

06.01.08/03A Untersuchungen zum Brennstabverhalten in der 2. Aufheizphase
PNS 4237.1 eines Kühlmittelverluststörfalles.

In-pile-Versuche mit Einzelstäben im DK-Loop des FR2.
(E.Karb, G.Harbauer, M.Hespeler, W.Knappschneider, W.Legner,
W.Leiling, H.Prüßmann, L.Sepold, K.Wagner; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Fünf Versuche der Serie E (Abbrand 8.000 MWd/t) wurden durchgeführt. Mit der Versuchsgruppe E wurde das Testprogramm des Vorhabens beendet. Die Versuchsdaten der Serie F (Abbrand 20.000 MWd/t) wurden dokumentiert, ebenso die gesamten Vorbestrahlungsdaten der Versuchsserien C, E, F, G 1 und G 2/3.

Erzielte Ergebnisse

Die Berstdaten der Versuche E1 bis E5 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Sie liegen im Streuband der übrigen Versuche dieses Vorhabens, wie Abb. 1 zeigt.

Tabelle

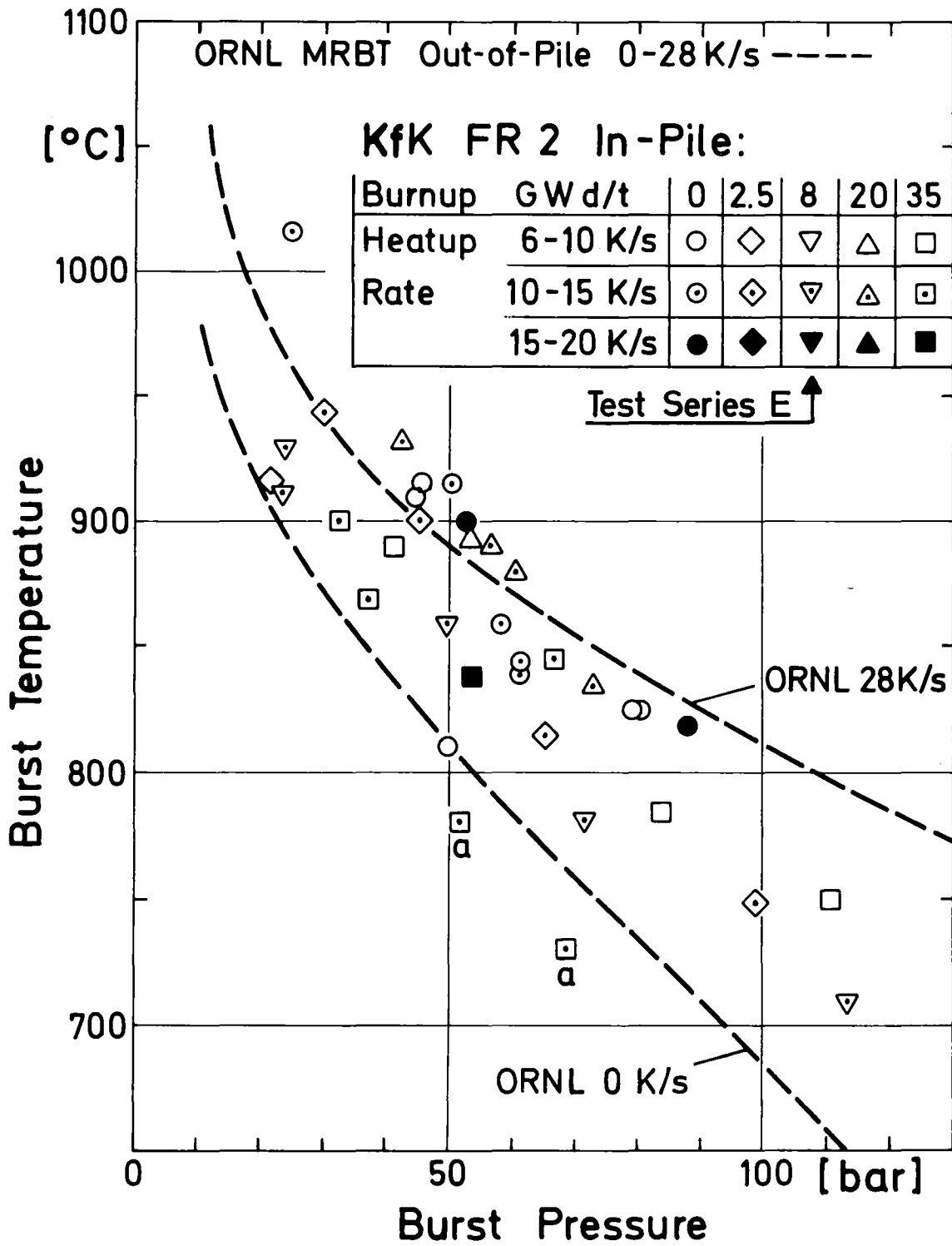
Berstdaten der Versuche E 1 bis E 5

Versuch	Berstdruck (bar)	Korr.Bersttemperatur (°C)
E 1	23,2	910
E 2	113,4	708
E 3	49,5	860
E 4	71,9	781
E 5	23,7 ⁺	929 ⁺

⁺vorläufig

Geplante Weiterarbeit

- Auswertung der Versuche der Gruppe E
- Dokumentation der Versuchsserie G 1
- Dokumentation der Versuchsserie G 2/3
- Nachrechnung ausgewählter Versuche mit SSYST
- Nachuntersuchung der Prüflinge aus der Versuchsserie C.



a) burst during temperature plateau

FR2 In-Pile Tests:

Burst Temperature vs. Burst Pressure

06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase
eines Kühlmittelverluststörfalles

06.01.09/03A Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden
PNS 4238 Zirkaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung
(REBEKA-Programm)
(K.Wiehr, F.Erbacher, U.Harten, W.Just, H.J.Neitzel,
P.Schäffner, He. Schmidt; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Analyse der Bündelversuche 3 und 4 auf mögliche Stab-zu-Stab-Beeinflussung.
- Theoretische Arbeiten zur Erstellung eines Berstkriteriums.
- Begleitende Einzelstabuntersuchungen mit verkürzten Brennstabsimulatoren unter adiabaten Versuchsrandbedingungen.
- Montage des Testbündels und Durchführung der ersten sieben Thermoelementbündeltests
- Fortsetzung der Arbeiten zur Fertigung eines kontinuierlichen cosinusförmigen Leistungsprofils für Brennstabsimulatoren.

Erzielte Ergebnisse

Eine detailliertere Untersuchung der Bündelversuche 3 und 4 ergab erste Hinweise auf eine mögliche Beeinflussung zwischen benachbarten Stäben mit Propagationsfolgen. Es konnte gezeigt werden, daß ein lokaler spontaner Temperaturanstieg der Zirkaloyhülle als Folge des Gasaustritts nach dem Bersten eines Nachbarstabes auftrat. Zum Zeitpunkt des Berstens des Nachbarstabes lagen folgende Verhältnisse vor:

Eine von ihrer Wärmequelle abgehobene Zirkaloyhülle, eine Temperaturdifferenz zwischen Pelletsäule und Zirkaloyhülle von 150 K sowie eine Zweiphasenkühlung mit einer Wärmeübergangszahl von etwa $130 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Durch eine Verringerung des Wärmestromes von der Hülle an das Zweiphasengemisch durch die Zumischung des heißen Heliums erfolgte ein Temperaturanstieg der Hülle mit etwa 40 K/s um 25 K über einen Zeitraum von etwa 8 Sekunden. Welchen Anteil diese Temperaturerhöhung an der Berstumfangsdehnung von 79% des beeinflussten Zirkaloyhüllrohres hatte, muß noch geklärt werden.

Für die Verifikation des Rechenmodells für das vorliegende Berstkriterium wurden weitere Einzelstabexperimente im $\alpha+\beta$ - und im niedrigen β -Bereich durchgeführt. Es zeigte sich, daß kleine Aufheizraten im β -Bereich zu niedrigeren

Berstufungsdehnungen führten als höhere Aufheizraten. Zur Beschreibung dieses Phänomens wurde das mathematische Modell um einen Oxydationsmodul erweitert.

Nach Fertigstellung und Einbau des Testbündels für die Thermoelementbündelversuche wurden die ersten sieben Versuche durchgeführt. Variiert wurden die Hüllrohrtemperatur zu Flutbeginn, die kalte Flutwassersteiggeschwindigkeit sowie die Flutwassertemperatur.

Geplante Weiterarbeit

- Auswertung der bereits durchgeführten Thermoelementbündelversuche.
- Weitere Thermoelementbündelversuche.
- Weitere Einzelstabversuche in der β -Phase.
- Theoretische Arbeiten zur Beschreibung des Hüllrohr-Deformationsmechanismus in der β -Phase.

06.01.10 Auswirkung von Kühlkanalblockaden auf die Kernnotkühlung

06.01.10/03A Flutexperimente mit blockierten Anordnungen

PNS 4239

(FEBA-Programm)

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

Durchgeführte Arbeiten

Fortsetzung der Versuchserien mit dem 25-Stab-Bündel mit Zwangsfluten unter Variation der Flutparameter.

Serie IV: 5x5-Bündel mit hohlen Hülsen an 9 Stäben (3x3), wodurch in der Mitenebene des Bündels einige Unterkanäle um 62% verengt werden.

Auswertung der Serien I, II und III

Vorbereitung der Experimente mit dem 50-Stab-Bündel. Experimente zur Messung der Dampfüberhitzung.

Erzielte Ergebnisse

Teilblockade, 90% Versperrung der Unterkanäle von 3x3 Stäben in 5x5 Bündel: Durchschnittlich 20 K, maximal 50 K, Erhöhung der Maximaltemperatur an den Hüllrohren unmittelbar nach der Blockade, z.B. bei 4 bar Systemdruck und 3.4 cm/s Flutgeschwindigkeit. Die Verminderung des Wärmeüberganges nach der Blockade ist zeitabhängig. Während des Flutens mit konstanter Einspeisung fällt das Verhältnis der Wärmeübergangszahlen blockiert zu unblockiert von etwa 1 zu Beginn des Flutens auf etwa 0.65 kurz vor Benetzung des betrachteten Bereiches. 62% Versperrung der Unterkanäle von 3x3 Stäben (Serie IV) zeigt ähnliche, aber kleinere Effekte. Die Benetzung in der Blockade erfolgt jedoch deutlich früher als neben der Blockade.

Abstandshaltereffekt:

Die Anwesenheit der Abstandshalter (AH) führt dazu, daß das axiale Temperaturprofil nicht stetig ansteigt, sondern hinter jedem AH eine Temperaturabsenkung stattfindet. Die so entstehenden Abweichungen von einem "mittleren" axialen Temperaturverlauf betragen zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums der entsprechenden Stellen: ca. + 15 K 150 mm vor dem AH und ca. - 30 K 100 mm nach dem AH. Die lokale Verbesserung des Wärmeüberganges nach einem AH ist (ebenfalls) zeitabhängig: Das Verhältnis Wärmeübergangszahl (WÜZ) mit AH zu WÜZ ohne AH beträgt zur Beginn des Flutens 1.15 bis 1.50 je nach Flutbedingung (2-6 bar, 3.4 - 5.2 cm/s) und fällt mit Beginn des Filmsiedens gegen 1.0.

Geplante Weiterarbeit

Fortsetzung und Auswertung der Versuche mit 25-Stab-Bündel, Vorbereitung der Versuche mit 50-Stab-Bündel.

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

06.01.11/10A Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten
PNS 4311 und Aerosolen in LWR-Containments
(W. Schöck, H. Bunz, M. Koyro; LAF I)

Durchgeführte Arbeiten

Weitere Rechnungen des Aerosolverhaltens bei realistischen Unfallabläufen wurden durchgeführt, wobei auch die in die Umgebung freigesetzte Aerosolmasse untersucht wurde.

Die Kondensationsexperimente mit UO_2 -Aerosol wurden abgeschlossen. Die Ergebnisse wurden in das NAUA-Modell übernommen.

Erzielte Ergebnisse

Rechnungen mit dem NAUA-Code ergaben, daß die durch Leckagen aus dem Containment freigesetzte Aerosolmasse bereits nach einem halben Tag ihren Endwert erreicht. Darüber darf jedoch nicht vergessen werden, daß im Containment noch sehr viel länger eine erheblich größere Menge Aerosol luftgetragen bleibt, die bei einem Containmentversagen zusätzlich freigesetzt werden kann. Das Aerosolinventar im Containment ist erst nach drei Tagen soweit abgebaut, daß ein Containmentversagen keine zusätzliche Belastung der Umgebung durch Aerosole, über die bereits durch die Leckagen verursachte hinaus, mehr bedeutet. Daraus ergeben sich zwei Notwendigkeiten für die Minimierung der Umgebungsbelastung: Die Leckraten des Containments müssen klein sein, insbesondere in den ersten Stunden, und die Containmentintegrität ist mindestens drei Tage zu erhalten.

Bei den Kondensationsexperimenten wurde die Umformung der Aerosolpartikeln zur Kugelform durch Kondensationsprozesse in allen Fällen bestätigt. Damit entfällt die Problematik der Formfaktorbestimmung für alle Einzelprozesse und kann durch eine gemeinsame Bestimmung der Partikeldichte ersetzt werden. Die Dichte wurde noch nicht gemessen, scheint jedoch unerwartet hoch zu sein, was den Aerosolabbau beschleunigen würde. Diese Ergebnisse wurden in den NAUA-Code übernommen.

Geplante Weiterarbeit

Die Dichtebestimmung der UO_2 -Aerosolpartikeln wird durchgeführt. Mit der Entwicklung des Modells zum dynamischen Wasserdampfverhalten wird begonnen; dazu werden auch die Ergebnisse der Wandkondensationsversuche benötigt, die begonnen haben.

06.01.11/12A Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien
PNS 4314 beim Kernschmelzen
 (H.Holleck, A.Skokan, H.Schneider, G.Reiser; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Bestimmung der Erstarrungstemperatur an Proben aus Corium (A+R bzw. E+R in oxidiertem und nichtoxidiertem Zustand) und Beton US-amerikanischer Herkunft ("Limestone concrete" mit Zuschlagsgestein vom Clinch River, überlassen von W.B. Murfin, Sandia Laboratories, Albuquerque). Analyse des Zuschlaggesteins.

Erzielte Ergebnisse

Das Zuschlagsgestein besteht zum überwiegenden Teil aus Karbonaten (75% Ca (Mg,Sr)CO₃). Der SiO₂-Gehalt liegt bei 5%, der Glühverlust von ~46% stimmt gut mit dem errechneten CO₂-Gehalt von ~47% überein. Entsprechend dieser Zusammensetzung konnte erwartet werden, daß die Schmelz- und Erstarrungstemperaturen der Beton-Coriummischungsreihe zwischen den früher ermittelten Werten /1/ für Mischungen mit rein silikatischem und rein karbonatischem Beton liegen. Diese Erwartung wurde durch die Messungen bestätigt.

Geplante Weiterarbeit

Abdampfverhalten an Schmelzen und festen Proben mit unterschiedlichem Oxidationszustand in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit zur Ermittlung des selektiven Abdampfens.

Literatur

/1/ A.Skokan, H. Holleck, M.Pechs,
Nuclear Technology, 46 (Dec. 1979), 255-62

06.01.11/13A Materialkundliche Untersuchungen im Rahmen der
PNS 4317 BETA-Experimente
(A.Skokan, H.Janzer, G.Reiser, G.Schlickeiser; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Materialkundliche Untersuchungen an thermitischen Schmelzproben:

- a) Metallographische Untersuchungen an Proben, die mit Probenahmesonden aus der Schmelze gezogen wurden.
- b) Röntgenographische Phasenanalyse von Proben aus geschnittenen Tiegeln.

Erzielte Ergebnisse

Zu a): Die eingesetzten Probenahmesonden (Samp-O-Line der Fa. Elektro/nite n.v.) haben sich als tauglich erwiesen. Die aus 5 mm Höhe über den Tiegelboden gezogenen Proben sind nahezu rein metallisch. Dieses Resultat stützt die bisherigen Annahmen einer Schichtung der Schmelze.

Zu b): Die Proben aus dem Tiegelbeton und dem Meßprismenbeton stimmen in ihrem Hauptphasenbestand überein. Die Unterschiede in der Festigkeit und in der Aufschmelzrate werden möglicherweise durch unterschiedliche Porenvolumen verursacht.

Geplante Weiterarbeit

- Tiegelschmelzversuche an Beton + Oxid ($\text{UO}_2 + \text{ZrO}_2$, Al_2O_3 , ZrO_2 u.a.) + Stahl mit direkter Ankopplung der Stahlschmelze in einer leistungsstärkeren Apparatur.
- Materialkundliche Untersuchungen an thermitischen Schmelzproben.
- Untersuchung alternativer Thermitreaktionen.

06.01.11/14A Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung
PNS 4315 von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen
 (H.Albrecht, H.Wild; IRCH)

Durchgeführte Arbeiten

Die Umrüstung der Schmelzanlage SASCHA für Wasserdampfbetrieb und Schmelzproben im kg-Maßstab wurde abgeschlossen. Da zusätzlich aufgrund behördlicher Vorschriften eine Reihe technischer Prüfungen durchzuführen waren, konnte der Experimentierbetrieb erst Ende April 1980 wieder aufgenommen werden. Die ersten Versuche unter Wasserdampf wurden unter folgenden Randbedingungen durchgeführt:

Schmelzgutmasse	150 g (Corium A mit schwach aktivem Fissium)
Atmosphärendruck	2 bar
Dampfdurchsatz	10 l/min
max. Schmelzguttemperatur	2000 - 2400°C

In der Aufheizkurve wurden zwischen 1400°C und T_{\max} verschiedene Plateaus von 5-10 min Haltezeit eingelegt, um so die Freisetzungsraten als Funktion der Temperatur möglichst genau bestimmen zu können.

Zur Untersuchung der Aerosolpartikeln wurde ein 8-stufiger Kaskaden-Impaktor eingesetzt, der während der Freisetzungsversuche für 1-90 sec beaufschlagt wurde.

Erzielte Ergebnisse

Die Versuchsauswertung ist noch nicht abgeschlossen. Erste Abschätzungen lassen erkennen, daß bei mittleren Aufheizraten von 20°C/min bis etwa 1800°C eine quantitative Freisetzung von J und Cs erfolgt. Für den Kaskaden-Impaktor erwiesen sich Beaufschlagungszeiten von 20-50 sec (bei 2000°C Schmelzguttemperatur) als geeignet zur Messung der Partikel-Größenverteilung.

Geplante Weiterarbeit

- Fortsetzung der Freisetzungsversuche unter Wasserdampf mit 150 g Schmelzgut.
- Untersuchung der Größenverteilung und der Zusammensetzung der Aerosolpartikeln als Funktion der Größe.
- Vorversuche mit Schmelzen von 1-3 kg (inaktiv) unter Einbeziehung von Beton.

06.01.12 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen
 mit Beton

06.01.12/09A Ausbreitung von Stahlschmelzen im Beton,
PNS 4325 Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung
 (S.Hagen, H.Malauscek; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Im 1.Halbjahr 1980 haben wir die Entwicklung und Erprobung von Meßverfahren für die Bestimmung der Temperaturverteilung, des Feuchtigkeitsverhaltens und der Schmelzfrontausbreitung fortgesetzt. Im Zusammenhang mit der Erprobung der Tiegelherstellung und einer für die Gasmessungen geeigneten Haube wurde eine Serie von 6 Thermitschmelzversuchen mit 100 kg Thermit in Betontiegeln (60 cm \emptyset , 100 cm Höhe) mit einer Ausgangskaverne von 40 cm \emptyset und 50 cm Tiefe durchgeführt.

In diese Tiegel waren Thermoelemente, Feuchtefühler und eine Kombination der beiden in Form eines Doppeldetektors nach verschiedenen Positionierungsverfahren eingebaut.

Der Doppeldetektor besteht aus einem Mantelthermoelement und einer zusätzlichen Elektrode; wobei der Mantel des Thermoelements als zweite Elektrode für den Feuchtefühler benutzt wird.

Bei den Ende 1979 bei AEG-Elotherm in Remscheid durchgeführten Versuchen zum Einfluß des Induktionsfeldes auf die Schmelzfrontausbreitung wurde auch die Funktionsfähigkeit der Thermoelemente, der Feuchtefühler und die Ultraschallmethode im Induktionsfeld erprobt.

Programme für die Auswertung und graphische Darstellung dieser Meßwerte wurden entwickelt. Mit der Erprobung eines photographischen Verfahrens für die Vermessung des Endzustandes der Schmelzfrontausbreitung wurde begonnen.

Erzielte Ergebnisse

Die Temperatur-, Feuchte-, Trocken- und Schmelzfronten lassen sich mit Hilfe der Thermoelemente, Feuchtefühler und Doppeldetektoren erfolgreich messen. Auch mit den bei den AEG-Elotherm-Versuchen verwendeten Feldern von bis zu 70 Gauß sind die verwendeten Meßfühler noch voll verwendungsfähig. Um auch schwache Störungen zu vermeiden, mußten die Ultraschallmeßköpfe mit einer wassergekühlten Kupferspule umhüllt werden.

Die Temperaturverteilung ist gekennzeichnet durch steile Temperaturgradienten vor der sich ausbreitenden Schmelze (bis $1000^{\circ}\text{C}/\text{mm}$) und langsamem Temperaturausgleich in größerem Abstand von der erstarrten Schmelzfront (10 Stunden in 400 mm Abstand).

Die mit Thermiterschmelze gemessenen Geschwindigkeiten der Schmelzfrontausbreitung liegen in axialer Tiegelrichtung im Bereich um 0,3 - 1 mm/sec, wobei die Geschwindigkeiten über 0,6 mm/sec mit induktiv zusätzlich beheizten Schmelzen erreicht wurden. Die radialen Ausbreitungsgeschwindigkeiten lagen stets niedriger als die axialen.

Die Messungen mit den Feuchtedektoren zeigen, daß sich vor der Schmelzfront eine Zone mit deutlich erhöhter Feuchtigkeit in den Beton hineinbewegt, der eine Trockenfront folgt. Nach dem Erstarren der Schmelzfront bewegen sich diese Fronten noch weiter mit ständig abnehmender Geschwindigkeit in den Beton hinein.

Geplante Weiterarbeit

Die Fertigstellung der Apparatur für die gravimetrische Kalibrierung der Feuchtefühler hat sich verzögert, da Teilkomponenten nicht rechtzeitig angeliefert wurden. Nach Eintreffen dieser Komponenten soll mit der Erprobung der quantitativen Feuchtevermessung begonnen werden. Für die Vermessung der Tiegelschnitte ist ein photogrammetrisches Verfahren vorgesehen.

06.01.12/10A Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen und
PNS 4323 Beton

 (D.Perinic, R. Döbele, W.Höhn, B. Kammerer, W.D. Klotz,
 H.Lukitsch, A.Mack, N.Paroth, D.Zimmerlin; IT)

Durchgeführte Arbeiten

1. Die Planungsarbeiten für die Versuchsanlage BETA wurden weitergeführt.
2. Arbeiten zur Entwicklung und Beschaffung der Anlagenmeßtechnik wurden fortgesetzt.
3. Es wurden Vorversuche mit Thermiterschmelzen zur Entwicklung und Erprobung der Meßtechnik und der Tiegeltechnologie durchgeführt.
4. Verschiedene Hallenstandorte und -Konzepte wurden untersucht.
5. Umbauarbeiten wurden durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Als Ergebnis der zweiten Ausschreibung der Anlage BETA liegt ein Angebot vor. Mit dem Anbieter wurde über technische Fragen Übereinstimmung erzielt.

Zu 2: Bei der Entwicklung und Beschaffung der Meßtechnik wurden folgende Fortschritte erreicht: Das Periskop für Film- und TV-Kamera wurde in Auftrag gegeben. Der Periskopkühler ist gefertigt und von der Fertigungskontrolle abgenommen. Die Ausschreibung der Pyrometerperiskope wurde abgeschlossen. Die Vorstudie für die Tauchsondenanlage wurde fertiggestellt. Die Ausschreibung wurde eingeleitet.

Zu 3: Es wurden 8 Versuche mit Betontiegeln und 100 kg Thermitmassen zur Untersuchung und Erprobung der Tiegelkonstruktion und der Meßtechnik durchgeführt. Untersucht wurden verschiedene Ausführungen folgender Anlagenkomponenten: Periskopkopfatrappe für Film- und TV-Kamera; Dichtung zwischen Abdeckhaube und Betontiegel; Zwillingsstauchlanzen für Schmelzbadtemperatur. Erprobt wurden verschiedene Tiegelkonstruktionen mit variabler Betonzusammensetzung- und Bewehrung.

Zu 4: Im Vergleich zur explosionsgeschützten Bauweise der Versuchshalle wurden andere bautechnische Konzepte, wie u.a. Leichtbauweise, untersucht und damit in Verbindung alternative Hallenstandorte.

Zu 5: Die Umbauarbeiten der Anlage SASCHA sind abgeschlossen. Die Anlage steht für die Experimentierbetrieb zur Verfügung.

Geplante Weiterarbeit

Zu 1: Vergabe der Arbeiten zur Erstellung der Anlage BETA an eine Industriefirma.

Zu 2: Beschaffung der Anlagenmeßtechnik.

Zu 3: Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Versuchen zur Entwicklung der Meßtechnik und der Tiegeltechnologie.

Zu 4: Fortführung der Detailplanung der Halle, Beginn der Bauarbeiten.

06.01.12/12A Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung
PNS 4331 einer Kernschmelze mit Beton
(M. Reimann, H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Programmierung von WECHSL in restart-fähiger Version.
Konzipierung eines instationären Betonzerstörungsmodells und Vorbereitung zum Einbau in WECHSL.

Erzielte Ergebnisse

Zur Verwendung des Rechencodes WECHSL in einem größeren Codesystem, dem von KWU in Zusammenarbeit mit IKE-Stuttgart erstellten System KESS, war es notwendig, WECHSL in restart-fähiger Form umzuprogrammieren. Diese Version wurde zum Einbau in KESS an KWU übergeben. mit KESS kann der gesamte Ablauf eines Kernschmelzenunfalles berechnet werden, die Verwendung von WECHSL mit Containment-Codes wird die zeitabhängige Berechnung des Druckaufbaus im Sicherheitsbehälter zulassen.

Bislang wurde WECHSL für den Fall konzipiert, daß beide Schichten der Schmelze flüssig sind. Wie Berechnungen des KSU gezeigt haben, sinken jedoch die Schmelzbadtemperaturen rasch in die Nähe der entsprechenden Erstarrungstemperaturen ab, wobei es zu Krustbildung kommen kann.

Zur Beschreibung dieser Phase wird ein instationäres Wärmeleitungs- und Betonzerstörungsmodell benötigt. Es wurde eine Lösung der instationären Energiegleichung über einen beliebig berandeten rotationssymmetrischen Bereich unter Berücksichtigung von Phasenwechsel allgemein formuliert. Besonderen Wert wurde auf kurze Rechenzeiten gelegt. Zur Zeit erfolgt der Einbau in den WECHSL-Code.

Geplante Weiterarbeit

Weiterentwicklung der physikalischen Modelle in WECHSL.
Voraus- und Nachrechnung von Simulationsexperimenten, weitere Berechnungen für die vierte Phase eines KSU.

06.01.12/13A Modellentwicklungen zur analytischen Beschreibung von
PNS 4334 Kernschmelzenunfällen
(H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Test und Inbetriebnahme einer Laboreinrichtung zur Herstellung von Simulationsmaterialien für aufschmelzenden Beton.
- Aufbau einer Versuchseinrichtung zur zeitabhängigen Messung des Wärmeüberganges bei Simulationsexperimenten zur Betonzerstörung.

Erzielte Ergebnisse

Die Laboreinrichtung zur Herstellung von Simulationskörpern, die das Verhalten des unter hohen Temperaturen aufschmelzenden Betons simulieren, wurde getestet und in Betrieb genommen. Für den Aufbau des Betonsimulators wurden als "Silikat-Simulator" verschiedene organische Flüssigkeiten eingesetzt, wobei geeignete, nicht aggressive Materialien mit Erfolg erprobt wurden.

Zur Messung der Wärmeübertragung von einem Flüssigkeitsbad an den sich zersetzenden Betonsimulator wurde eine Versuchsapparatur aufgebaut. Dabei wird der Wärmeübergang durch die aus dem Simulator gasförmig entweichenden Gasvolumenströme ermittelt. Die Temperatur des Flüssigkeitsbades kann während des Experimentes durch Nachheizung konstant gehalten werden oder zum Studium der Erstarrungsvorgänge in der Badflüssigkeit entsprechend der an den Betonsimulator abgeführten Wärme abfallen.

Geplante Weiterarbeit

Verwendung der Betonsimulatoren im Modellexperiment zum Studium des Wärmeüberganges und der Gasfreisetzung ohne Ausfrieren der Modellflüssigkeit.
Qualitative Untersuchungen des Ausfrierverhaltens von Modellflüssigkeiten verschiedener Prandtl-Zahlen in Kontakt mit dem Betonsimulator.

- 06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW
- PNS-Teilprojekt 4400 - Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung und Reduktion der Strahlenbelastung
- 06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren
- 06.01.14/08A Bestimmung der Jodkomponenten in der Abluft von
PNS 4414 Siedewasserreaktoren
(H.Deuber; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Laufender Einsatz von diskriminierenden Jodsammlern in der Kaminfortluft eines Siedewasserreaktors (SWR 3) außerhalb der Revision in Zusammenarbeit mit dem Betreiber des KKW.

Erzielte Ergebnisse

Im I. Quartal 1980 wurde während 11 Wochen die Nachweisgrenze für ^{131}I (ca. 10^{-14}Ci/m^3) überschritten. In diesem Zeitraum wurden als Mittelwerte der in den einzelnen Wochen festgestellten Anteile der ^{131}I -Komponenten folgende Ergebnisse erzielt:

Anteil des elementaren ^{131}I :	38 ± 6%
Anteil des organischen ^{131}I :	53 ± 7%

Der Anteil des schwebstoffförmigen ^{131}I lag unter 10%.

Geplante Weiterarbeit

Fortsetzung der Messungen mit diskriminierenden Jodsammlern in der Kaminfortluft des SWR 3. Aufnahme entsprechender Messungen in allen Abluftströmen eines SWR, sobald Personal dafür zur Verfügung steht.

06.01.14/09A Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern für
PNS 4415 Störfallbedingungen
(H.G.Dillmann, V.Rüdinger, H.Pasler, T.Tran Anh; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Die Ermittlung von effektiven Filterbelastungen durch Störfälle im Ringraum wurde durchgeführt. Mit veränderten Randbedingungen wurden Temperatur- und Strahlenbelastung von Filteranlagen neu gerechnet.

Im Hinblick auf die Schwebstofffilterprüfung unter Störfallbedingungen wurde einerseits die Erzeugung von speziellen Testaerosolen und deren rasterelektronenmikroskopische Analyse weitergeführt. Die Palette der Ausgangssubstanzen wurde durch einige hochschmelzende, chemisch weitestgehend inerte Metalloxide, -Boride und -Karbide ergänzt. Da die REM-Analyse der Teilchen unter $0,05 \mu\text{m}$ Durchmesser bereits schwierig ist, wurden ergänzende transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen aufgenommen und hierzu verschiedene Präparations-techniken erprobt. Weiterhin wurden die Aerosolmeß- und Abscheideverfahren in Hinsicht auf ihre Eignung zur Massenkonzentrationsmessung bei der Prüfung des Abscheidegrades eingehend analysiert und bewertet. Derzeit wird geprüft, welches elementspezifische Analysenverfahren sich zum quantitativen Nachweis abgeschiedener Aerosolmengen im ng-Bereich am besten eignet.

Im Rahmen der Arbeiten zur Filterentwicklung wurde ein Schwebstofffilterprototyp mit Metallfasermatten gebaut und erste Abscheidegradmessungen unter Normalbedingungen durchgeführt.

Über die erste Versuchsserie zur mechanischen Belastbarkeit handelsüblicher Schwebstofffilter wurde ein Bericht fertiggestellt. Mit den Vorbereitungen für eine zweite Serie wurde begonnen. Die Filtertests wurden durch Untersuchungen an Filterpapieren im Hinblick auf die Schadensmechanismen ergänzt. In Hinsicht auf den Bau eines Prüfstandes für Belastbarkeitstests, auch unter hohen Feuchten bzw. erhöhten Temperaturen, wurden die Auslegungsdaten spezifiziert und die Durchführung einer Konzeptstudie in Angriff genommen.

Im Zusammenhang mit einem Unfall sind die Untersuchungen des Abscheideverhaltens von HI an Sorptionsmaterialien und das Desorptionsverhalten von I interessant. Ein Verfahren zur Herstellung von H^{131}I , das für solche Untersuchungen erforderlich ist, wurde erfolgreich erprobt.

Erzielte Ergebnisse

Die Rechnungen zeigten, daß auch durch stark verzögerte Inbetriebnahme einer Abluftanlage nach einem Unfall mit hoher Spaltproduktfreisetzung, die durch einen kleineren Durchsatz bedingten höheren Temperaturen nicht wirksam vermieden werden können.

Bei den untersuchten Aerosolen wurden relativ enge Kornverteilungen mit x_{50} -Werten der Anzahlsummenkurve von 0,04 bis 0,06 μm gemessen. Die Bestimmung der Aerosolmassenkonzentration ist wegen der notwendigen Partikelgröße nur diskontinuierlich möglich. Hierzu wurden mit einem speziellen Impaktor und der Probenahme mittels Kernporenfilter zwei Abscheideverfahren ausgewählt, mit denen sich trotz extrem niedriger Reinluftkonzentration (0,1 - 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) noch annehmbare Sammelzeiten ergeben. Zur Bestimmung der abgeschiedenen Mengen bietet sich vor allem die Neutronenaktivierungsanalyse und spezielle Varianten der Atomabsorption bzw. -Emission an. Die ersten Messungen ergaben einen Abscheidegrad von ca. 96% bei einer Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s.

Eine Vorschädigung des Filterpapiers durch die bei der Herstellung erfolgte Faltung konnte nachgewiesen werden. Die zweite Versuchsserie, ebenfalls bei Umgebungstemperatur und niedriger Feuchte, wird sich neben der Prüfung weiterer Filtertypen auf die Belastbarkeit vorbelasteter Filter sowie auf das Druckverlustverhalten konzentrieren. Der zu erstellende Prüfstand soll sowohl für Belastbarkeitstests bei 30 bis 90°C und 100% r.F. sowie bei 350°C, als auch für strömungstechnische Untersuchungen ausgelegt sein.

Geplante Weiterarbeit

Die Rechnungen werden weitergeführt.

Die Arbeiten zur Erzeugung und Analyse der Testaerosole werden zu einem Abschluß gebracht und die Untersuchung des Aerosolverhaltens in feuchter Atmosphäre vorbereitet. Mit der Erprobung der Abscheideverfahren und der Analysemethoden wird begonnen.

Ein in Richtung auf höhere Abscheidegrade verändertes Metallfaserfilter wird untersucht. Mit der Prüfung des Verhaltens handelsüblicher Schwebstofffilterelemente unter Einwirkung hoher Temperaturen und Feuchten wird begonnen.

Die 2. Versuchsserie zur mechanischen Belastbarkeit ist für Ende 1980 geplant. Die Konzeptstudie für den Prüfstand wird abgeschlossen und mit der Klärung der mit dem Bau zusammenhängenden Fragen begonnen.

06.01.15/01A Entwicklung und Verifizierung von Codes zur dynamischen
PNS 4127 Beanspruchung von Containment-Strukturen
(R.Krieg, F.Eberle, B.Göller, G.Hailfinger, J.Kadlec; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Untersuchungen zu den Siedewasserreaktor-Containmentschwingungen (Baulinie 69), ausgelöst durch Kondensationsvorgänge im Druckunterdrückungssystem, wurden abgeschlossen. Eine entsprechende Veröffentlichung ist nahezu fertiggestellt.

Die Untersuchungen umfassen

- das strukturdynamische Verhalten der kugelförmigen Containmentschale, beschrieben mit dem Programm SPHERE-DYNA (geschlossene Lösung für spezielle Randbedingungen, Berücksichtigung einer hohen Zahl von Eigenschwingungsformen)
- eine Feinauflösung der Spannungen in der kugelförmigen Containmentschale, beschrieben mit dem Programm SPHERE-STRESS (geschlossene Lösungen für quasi statisches Verhalten, beliebige Randbedingungen)
- die fluid-strukturdynamische Wechselwirkung zwischen Containmentschale und Wasserpool des Druckunterdrückungssystems, beschrieben in dem Programm SING-S (Boundary Integral Equation Methode für den kugelig berandeten Wasserpool).

Als Ergebnisse werden sogenannte Kondensations-Szenarien angegeben, die gerade noch zulässige Containmentspannungen hervorrufen. Bei einer adäquaten Containmentsauslegung gegen Kondensationsstöße müssen die zulässigen Kondensations-Szenarien eine Einhüllende für die zu erwartenden - und experimentell untersuchten - Kondensationsereignisse darstellen.

Die Programme wurden anhand mehrerer Testprobleme überprüft. Insbesondere wurden auch einige Kondensationsexperimente mit einem Kondensationsrohr in einen zylindrischen mit einer flexiblen Wand ausgestatteten Behälter (GKM II-Versuche) nachgerechnet.

Die Experimente zur Ermittlung der Eigenschwingungen einer wassergefüllten Zylinderschale (Modalanalyse) wurden fortgesetzt. Aufgrund erster, nicht voll befriedigender Messungen wurde die Bodenverankerung wesentlich verbessert. Die bisher ermittelten Eigenfrequenzen liegen durchweg unterhalb der mit SING-S berechneten Werte. Detaillierte Informationen über die konstruktive Gestaltung von Volldruck-Containments und die wesentlichen Gesichtspunkte für ihre Auslegung wurden beschafft.

Geplante Weiterarbeit

Beginn mit der Analyse für Siedewasserreaktor-Containmentschwingungen, ausgelöst durch Erdbeben. Fortführung der Experimente an einer wassergefüllten Zylinderschale. Diskussion der Einflüsse von Imperfektionen. Konzeption für Festigkeitsuntersuchungen für Volldruck-Containments.

06.02. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEITUNGS-
ANLAGEN

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

06.02.01 Störfallanalysen für die große Wiederaufarbeitungs-
anlage (WA)

06.02.01/06A Störfallanalysen für ausgewählte Anlagenteile der Wieder-
PNS 4513 aufarbeitungsanlage
(R.Avenhaus, K.Nagel, G.Weger; IDT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurden die Verfahren zur Erzeugung von Zufallsreihen mit großen Perioden, deren Zufälligkeit praktischen Anwendungen genügen sollten, erarbeitet. Es wurden zusätzlich Literaturstudien über die Abgasstrecke der großen Wiederaufarbeitungsanlage durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Eine Entscheidung über tatsächlich einzusetzende Verfahren zur Erzeugung von Zufallszahlenreihen steht noch aus.

Geplante Weiterarbeit

Die erarbeiteten Verfahren sollen dazu dienen, Generatoren zu finden, die sich gut in Mikroprozessoren realisieren lassen.

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

06.03.01/05A Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
PNS 4812 von Pu, Am und Cm in der Umwelt
(H.Schüttelkopf, M.Pimpl, H.Bailer, G.Hefner, J.Hiller; HS)

Durchgeführte Arbeiten

1. Die Entwicklung einer naßchemischen Methode für die Bestimmung von Am und Cm in Umgebungsproben wurde abgeschlossen.
Die Entwicklungsarbeiten zur automatisierten Trennung von Pu, Am und Cm mittels HPLC wurden weitergeführt.
2. Die Emissionen von Pu mit Abgas und Abwasser aus der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe werden monatlich gemessen.
3. An sechs verschiedenen Stellen des Altrheins wurden kontinuierlich Wasserproben entnommen. Biologische Proben, wie Pflanzen und Fische, wurden auf Plutonium analysiert. Bodenproben aus der Umgebung der WAK werden analysiert.

Erzielte Ergebnisse

1. Mit diesem einfachen Analysenverfahren können Am und Cm mit hohen chemischen Ausbeuten in Umgebungsproben nachgewiesen werden. Aus 100 g Asche werden Am und Cm quantitativ herausgelöst, in einem einzigen chemischen Schritt quantitativ von Matrixelementen und in einem weiteren Schritt von Lanthaniden abgetrennt. Nach Elektroplattieren werden Am und Cm α -spektrometrisch bestimmt.

Eine Literaturrecherche über den Einsatz der HPLC zur Trennung von mehrwertigen Kationen wurde durchgeführt und ausgewertet. Ein Verfahren zur reproduzierbaren Trennung von Pu, Am und Cm auf einer Ionenaustauschersäule wurde ausgearbeitet, so daß nun der nächste Schritt - die Abtrennung

von Pu, Am und Cm von den Matrixelementen der Umgebungsproben auf einer geeigneten Vorsäule - in Angriff genommen werden kann.

2. Von Mai 1979 bis Juni 1980 wurden mit kontinuierlich arbeitenden Geräten an sechs Stellen des Altrheins Wasserproben entnommen. Monatsmischproben wurden getrennt nach Schwebstoffen und filtriertem Wasser auf Plutonium analysiert. Gegenüber dem durch Fallout-Plutonium verursachten Untergrund wurde im Altrheinwasser, unmittelbar hinter der Abwassereinleitungsstelle, eine maximal 5-fach höhere Plutoniumkonzentration gefunden, die jedoch flußabwärts schnell abnimmt, so daß nach 3,5 km nur noch der Untergrundwert meßbar ist. Die Plutoniumkonzentration in den abfiltrierten Schwebstoffen zeigt das gleiche ortsabhängige Verhalten, ist aber etwa doppelt so hoch wie die im abfiltrierten Wasser. In Pflanzen- und Fischproben ist gegenüber Vergleichsproben keine signifikante Plutoniumanreicherung feststellbar.

Geplante Weiterarbeit

Die Arbeiten zur automatischen Trennung mittels HPLC werden fortgesetzt, ebenso die Messung der Freisetzungen aus der WAK und die Bestimmung der Aktinidenkonzentration in der Umgebung der WAK. Neben der Durchführung von Laborexperimenten zur Erhöhung der Mobilität von Aktiniden im Boden wird mit der Messung von Transferfaktoren begonnen.

06.03.02 Untersuchung zum atmosphärischen Ausbreitungsverhalten nuklearer Schadstoffe im Nah- und Fernbereich

06.03.02/07A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver
PNS 4822 Schadstoffe im regionalen Bereich (über 15 km Entfernung)
(W.Hübschmann, H.Schüttelkopf, P.Thomas, S.Vogt; HS)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum stand das Radargerät des Geophysikalischen Beratungsdienstes der Bundeswehr nicht zur Verfügung. Daher konnten keine weiteren Tetronflüge durchgeführt werden.

Nach weiteren Verhandlungen mit der für die Entwicklung der Transponder vorgesehenen Firma wurde der Auftrag zur Entwicklung verbesserter Transponder und zur Fertigung einer Transponderserie erteilt. Diese Transponder werden auch

mit einem Radargerät der Lieferfirma verfolgt werden können, welches bereits für die Zeit ab Frühjahr 1981 gemietet wurde.

Erzielte Ergebnisse

Infolge der Verzögerung der Entwicklung und Fertigung der Transponder einerseits und der Nichtverfügbarkeit des Radargerätes andererseits wurden keine neuen Ergebnisse erzielt.

Geplante Weiterarbeit

Im 2. Halbjahr 1980 sind weitere Tetroonflüge mit passiven Radarreflektoren vorgesehen. Dazu wird der Meßzug in Neuhausen ob Eck (Amt für Wehrgeophysik) zur Verfügung stehen.

06.03.02/08A Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver
PNS 4823 Schadstoffe im lokalen Bereich (bis 15 km Entfernung)
 bei Emissionshöhen \geq 100 m
 (.W.Hübschmann, H.Schüttelkopf, P.Thomas, K.Nester,
 M.Becker; HS)

Durchgeführte Arbeiten

Es wurden fünf weitere Ausbreitungsversuche mit Emission der Tracer CF_2Br_2 und CFCl_3 in 160 bzw. 195 m Höhe durchgeführt. Für die letzten drei Versuche wurden die beiden Tracer untereinander getauscht, um den Tracer der besseren Nachweisempfindlichkeit (CF_2Br_2) auf der höheren Plattform (195 m) einsetzen zu können. Beim ersten der fünf Versuche herrschte die Kategorie C, bei den übrigen die Kategorie D. Der letzte der fünf Versuche wurde gemeinsam mit einem Team des Joint Research Center Ispra durchgeführt. Dieses emittierte den Tracer SF_6 von der 195 m-Plattform des meteorologischen Mastes aus. Die SF_6 -Proben wurden vom KfK-Personal an denselben, allerdings nicht an allen, Stellen genommen, an denen auch die Probenahmegeräte des KfK aufgestellt waren. Dieser Versuch dient einem Vergleich der Tracer und der Auswertetechnik.

An der Außenmeßstelle in Stutensee wurde neben den Meßdaten der Vektorfahne auch das Windprofil registriert, so daß nunmehr die Auswertung der Profildaten erfolgen kann.

Erzielte Ergebnisse

Entsprechend einer Vereinbarung mit der KFA Jülich wurden die Versuche mit den Emissionshöhen 160 und 195 m so ausgewertet, daß nunmehr die Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe (bisher: über das Windprofil bis zur Emissionshöhe gemittelte Windgeschwindigkeit) bei Ausbreitungsrechnungen zu verwenden ist. Ein entsprechendes Verfahren wurde auch bei der Erarbeitung einer gemeinsamen σ -Kurvenschar des KfK und der KFA für 100 m Emissionshöhe angewendet. Diese Datensätze wurden den zuständigen Beratungsgremien zur Anwendung in der Bundesrepublik Deutschland empfohlen. Eine Auswertung der in Stutensee gemessenen Windprofile über den begrenzten Zeitraum von einigen Monaten zeigte, daß die Rauigkeitslänge, wie erwartet, der Rauigkeitsstufe II (Rauigkeitslänge etwa 30 cm) entspricht.

Geplante Weiterarbeit

Die Versuche mit Emissionshöhen von 160/195 m werden 1980 abgeschlossen. Die Feldmessungen in Stutensee werden weitergeführt.

06.03.02/09A Ausbreitungsmodelle für besondere meteorologische
PNS 4824 Situationen
 (W. Hübschmann, H. Schüttelkopf, P.Thomas, K. Nester,
 M. Becker; HS)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Eine Analyse gemessener Schadstoffkonzentrationen in der Nähe von Kraftwerken zeigt, daß die höchsten Kurzzeitkonzentrationen bei leichtem Wind und starker Konvektion (Kategorie A) auftreten. Dies bestätigt die Bedeutung der Erforschung auch der windschwachen Situationen für die Schadstoffausbreitung. Die Ausbreitungsparameter des KfK für die Kategorie A ergeben eine relativ gute Übereinstimmung mit den gemessenen Schadstoffkonzentrationen auch dann, wenn die Emissionshöhe > 200 m ist, während die Übereinstimmung bei anderen Ausbreitungsparametern (Pasquill/Gifford, BNL und KFA Jülich) schlechter ist.

Geplante Weiterarbeit

Für das 2. Halbjahr ist die Durchführung einiger Ausbreitungsversuche bei windschwachen Situationen mit Tracer-Emission in Höhen bis zu 100 m vorgesehen. Bis zu diesem Zeitpunkt werden die Verdampfer für die Emission der Tracer in größeren Höhen (160 und 195 m) benötigt.

- 06.03.03 Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktorunfällen unter probabilistischen Gesichtspunkten
- 06.03.03/05A Untersuchung der radiologischen Folgen von Reaktorunfällen unter probabilistischen Gesichtspunkten
 /06A
- PNS 4831/32 (A.Bayer, K.Burkart, J.Erhardt; INR
 (W.Hübschmann, S.Vogt; HS)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des von der OECD/NEA organisierten CSNI - Arbeitskreises "Internationales Standardproblem zur Berechnung von Unfallfolgen" wurden für den Teil 1 "Vergleich der Modelle zur atmosphärischen Ausbreitung" entsprechende Rechnungen mit dem Karlsruher Unfallfolgenmodell durchgeführt und zusammen mit den Rechenergebnissen der übrigen vierzehn Gruppen ausgewertet. Die Federführung für die vergleichende Auswertung dieses Teiles 1 liegt bei KfK/PNS.

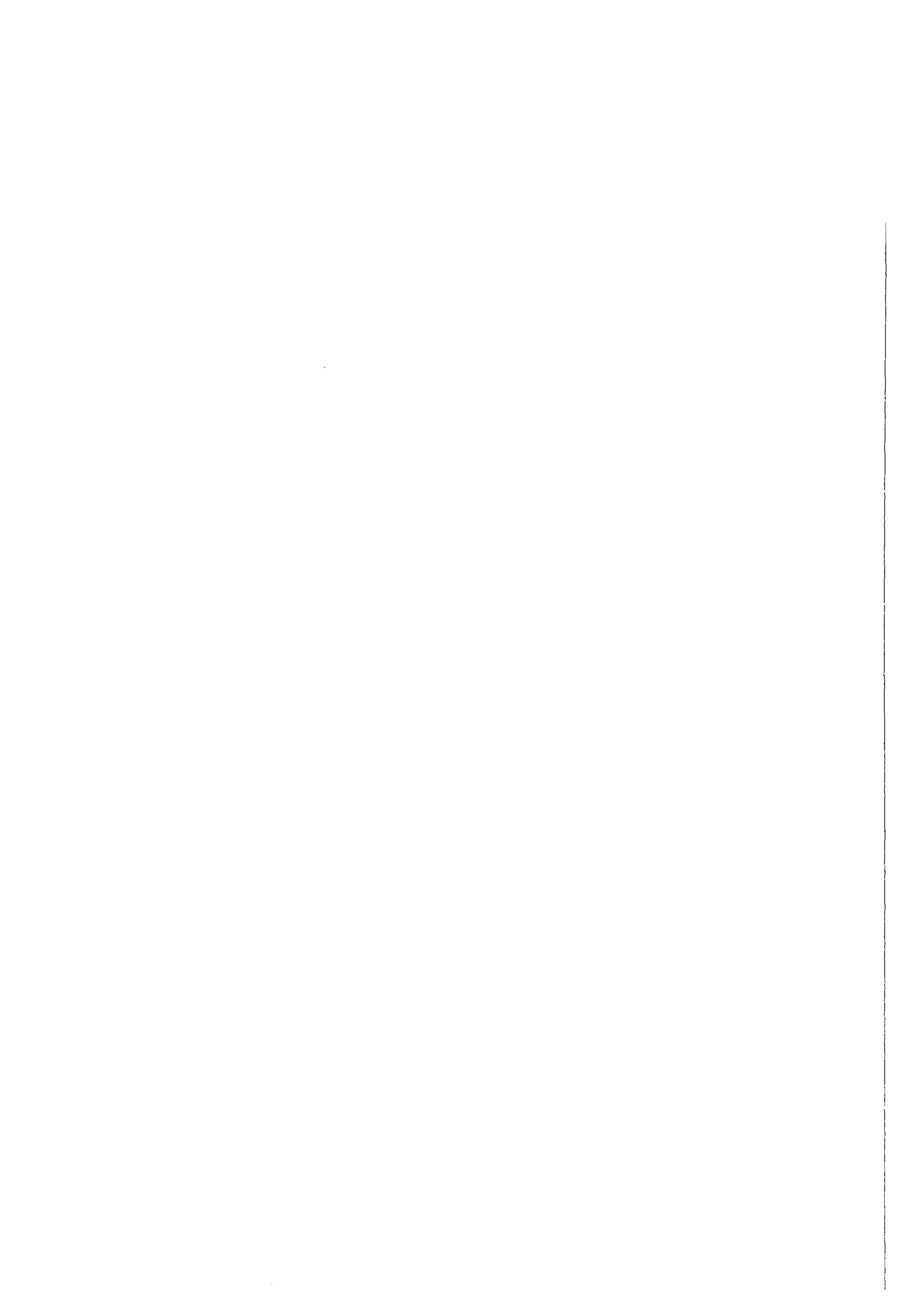
Nach Vorliegen korrigierter Bevölkerungsdaten wurden Nachrechnungen für die Phase A der Deutschen Risikostudie vorgenommen. Die damit erzielten neuen Ergebnisse unterscheiden sich in ihrer wesentlichen Aussage nicht von der vorherigen.

Die Ergebnisse der Risikostudie Phase A wurden der Strahlenschutzkommission sowie der Reaktorsicherheitskommission vorgestellt und erläutert.

Geplante Weiterarbeit

Innerhalb der Phase B der Risikostudie werden die einzelnen Teilmodelle des Unfallfolgenmodells entsprechend dem neuesten Kenntnisstand überarbeitet. Im Rahmen des CSNI-Arbeitskreises "Internationales Standardproblem zur Berechnung von Unfallfolgen" werden der Reihe nach die übrigen Teilmodelle der vergleichenden Analyse unterzogen.

TRANSLATION OF THE GERMAN REPORTS



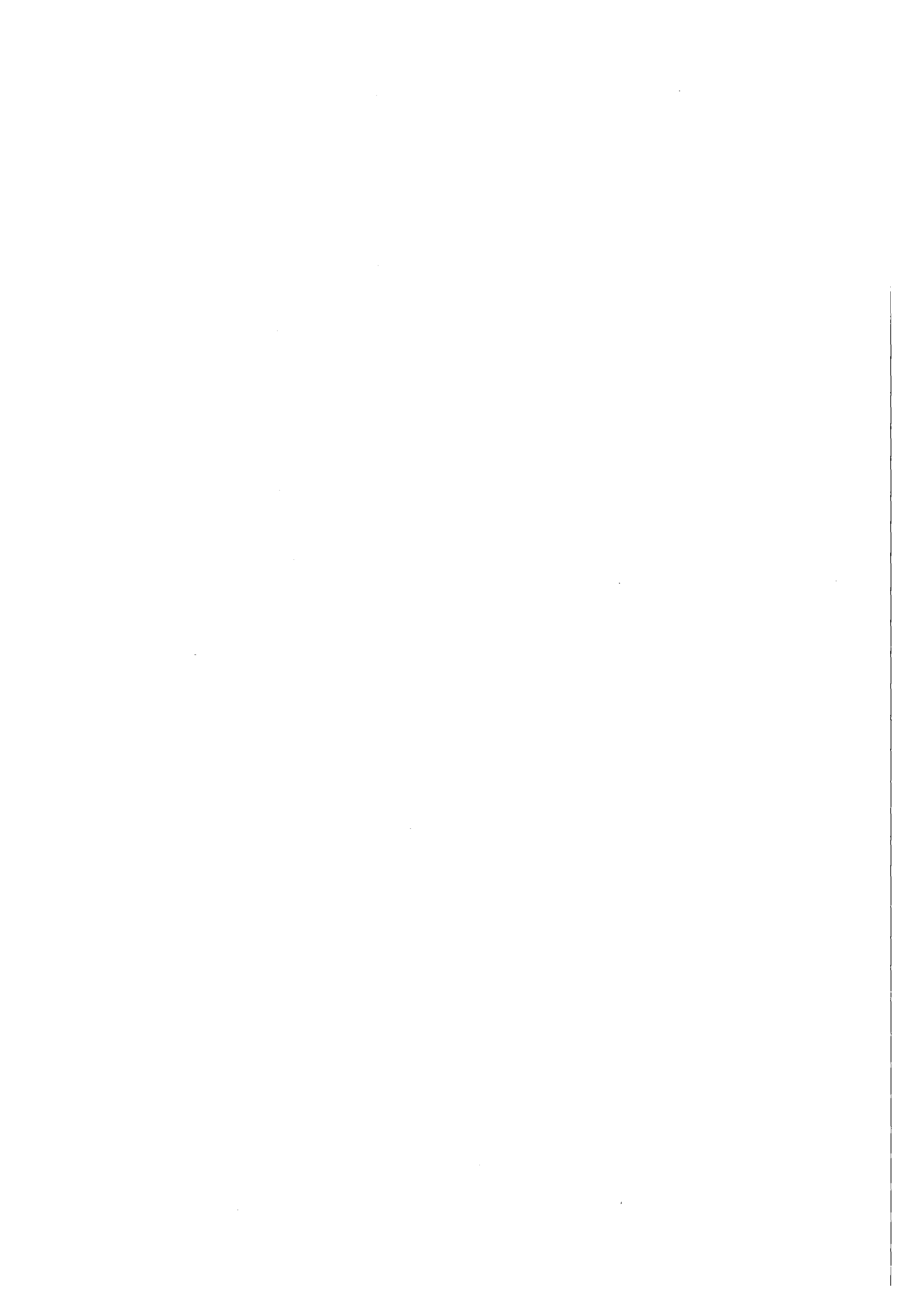
<u>Content</u>	<u>Page</u>
Translation of the German reports	51 - 99
06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS	51
<u>PNS-Subproject 4100 - Dynamic Loads and Strains of Reactor Components under Accident Conditions</u>	51
06.01.01 HDR-Blowdown-Experimente on Dynamical Loadings on Reactor Internals	51
06.01.01/05A Design, Precomputation and Evaluation of the PNS 4115 HDR-Blowdown Experiments on Dynamical Loadings and Deformations of Reactor-Pressure-Vessel Internals	51
06.01.01/06A Experimental Data Acquisition and Processing of PNS 4116 the Dynamic Behavior of the Pressure Vessel Test Internals in the HDR-Blowdown-Experiments	52
06.01.02 Development and Verification of Codes for Dynamic Stress Analysis of Reactor Components	53
06.01.02/06A Development and Verification of Coupled Fluid- PNS 4125 Structure Dynamic Codes for Analysis of Dynamic Stresses and Deformations of Reactor Vessel Internals During LOCA	53
06.01.02/07A Laboratory Experiments for Validation and PNS 4126 Enhancement of Fluid/Structure Dynamics Codes Relevant to Initial Phases of LOCA	56
06.01.03 Development of Two Phase Mass Flow Measurement Techniques and Application at Blowdown Experiments	57
06.01.03/08A Joint Test Rig for Tests and Calibration of PNS 4137 Different Methods of Two-Phase Mass Flow Measurement	57
06.01.03/09A Experimental Facility for Non-Steady State Two- PNS 4139 Phase Flows	59

	<u>Page</u>
06.01.03/10A PNS 4138	Design and Construction of a True Mass Flow Meter $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$ 60
<u>PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions</u> 61	
06.01.04	Development and Assessment of a Fuel Behavior Code System 61
06.01.04/11A /12A PNS 4231.1/3	Development of the Code-System SSYST and Develop- ment Oriented Calculations 61
06.01.06	Material Behavior of Zry-4 under Accident Conditions 64
06.01.06/11A PNS 4235.1	Investigation of the Mechanical Behavior of Zircaloy Cladding Material under Transient Conditions 64
06.01.06/12A PNS 4235.2	Investigation into the High Temperature Steam Oxidation of Zircaloy Cladding Tubes 66
06.01.06/13A PNS 4235.3	Investigations on the Influence of Oxide Fuel and Fission Products on the Mechanical Properties of Zry-Cladding Tubes under Transient Conditions 67
06.01.06/15A PNS 4235.4	Burst Tests of Zircaloy Cladding Tubes under Combined Mechanical and Chemical Load (FABIOLA-Program) 69
06.01.07	Fuel Behavior in the Blowdown-Phase of a LOCA 72
06.01.07/05A /06A PNS 4236.1/2	Fuel rod Behavior under Controlled Thermohydraulic Boundary Conditions (COSIMA-Program) 72
06.01.08	In-pile Experiments in the DK Loop of the FR2 Reactor 74
06.01.08/03A PNS 4237.1	Investigations of Fuel Rod Behavior in the 2nd Heatup Phase of a LOCA. In-pile Experiments with Single Rods in the DK Loop of the FR2 Reactor 74

		<u>Page</u>
06.01.09	Fuel Rod Behavior in the Refill and Reflood Phases of a LOCA	76
06.01.09/03A PNS 4238	Investigation of the Interaction between Ballooning Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling (REBEKA-Program)	76
06.01.10	Influence of coolant Channel Blockage upon Core Cooling in the Reflood Phase of a LOCA	77
06.01.10/03A PNS 4239	Flooding Experiments with Blocked Arrays (FEBA-Program)	77
<u>PNS-Subproject 4300 - Investigation and Control of Core-Meltdown</u>		79
	<u>Accidents</u>	
06.01.11	Reaction Behavior, Activity Release and Transport of Fission Products during Core-Meltdown	79
06.01.11/10A PNS 4311	Investigations on the Behavior of Fission Products and Aerosols in the Atmosphere of an LWR-Containment	79
06.01.11/12A PNS 4314	Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at Core Melting Conditions	80
06.01.11/13A PNS 4317	Materials Investigations in the Frame of the BETA-Experiments	81
06.01.11/14A PNS 4315	Experiments on Determination and Limitation of Fission and Activation Product Release during Core Meltdown	82
06.01.12	Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete	83
06.01.12/09A PNS 4325	Erosion of Concrete by Steel Melts - Investigation of the Melt Front Velocity	83
06.01.12/10A PNS 4323	Experiments on the Interaction of Steel Melts and Concrete	85

	<u>Page</u>
06.01.12/12A PNS 4331	Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction of a Core Melt with Concrete 86
06.01.12/13A PNS 4334	Development of Models for the Analytical Determination of Core Meltdown Accidents 87
<u>PNS-Subproject 4400 - Improvement of Fission Product Retention</u>	
<u>and Reduction of Radiation Load</u>	
06.01.14	Offgas Filters in Nuclear Power Stations
06.01.14/08A PNS 4414	Determination of the Iodine Species in the Exhaust Air of Boiling Water Reactors 89
06.01.14/09A PNS 4415	Development and Improvement of Exhaust Air Filters for Accident Conditions 90
06.01.15/01A PNS 4127	Development and Verification of Codes Describing the Dynamic Behavior of Containment Structures 92
06.02.	SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS 94
<u>PNS-Subproject 4500 - Safety of the Reprocessing</u>	
06.02.01	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant 94
06.02.01/06A PNS 4513	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant (Extraction) 94
06.03	MITIGATION OF CONSEQUENCES 95
<u>PNS-Subproject 4800 - Behavior, Impact and Removal of Released</u>	
<u>Nuclear Pollutants</u>	
06.03.01	Investigation of the Physical and Chemical Environ- mental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness 95
06.03.01/05A PNS 48 12	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Pu, Am, Cm 95

		<u>Page</u>
06.03.02	Investigations on the Spreading Behavior of Nuclear Pollutants in the Short Range and the Mesoscale	96
06.03.02/07A PNS 4822	Investigation on the Atmospheric Dispersion of Radioactive Substances in the Mesoscale (≥ 15 km)	96
06.03.02/08A PNS 4823	Investigation on the Atmospheric Dispersion of Radioactive Substances in the Local Range (up to 15 km Distance) Source Height ≥ 100 m	97
06.03.02/09A PNS 4824	Atmospheric Diffusion Models for Particular Meteorological Situations	98
06.03.03	Investigation of the Radiological Consequences of Reactor Accidents on a Probabilistic Basis	99
06.03.03/05A /06A PNS 4831/32	Investigation of the Radiological Consequences of Reactor Accidents on a Probabilistic Basis	99



- 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
- 06.01.01/05A Design, Precomputation and Evaluation of the HDR-Blowdown Experiments on Dynamical Loadings and Deformations of Reactor-Pressure-Vessel Internals
PNS 4115 (U.Schumann, E.Erb, G.Enderle, J.Kadlec, F.Katz, H.Knüppel, A.Ludwig, P.Philipp, D.G.Schlechtendahl, E.Wolf; IRE)

Work performed

The first three HDR-Blowdown experiments V29.2, V30, V31 have been precomputed with the computer code FLUX2 using the new shell model CYLDY3 and also with FLUST and DRIX-2D. Moreover, the snapback experiments have been precomputed for two different excitation locations in air and water. The blowdown experiments V29.2 and V31 and a repetition of V31 have been performed at the HDR in spring 1980. Shortly before each blowdown experiment a snapback test was run with small excitation amplitudes. Most of the experimental reports have been issued by the project PHDR. The so called Quicklook-Reports, in which a first critical evaluation of the measured results and a comparison with the precomputations are contained, are presently being prepared together with PHDR. For interpretation of some unexpected experimental results some investigations have been initiated.

Results obtained

The results of the precomputations are documented in internal reports with many plots and also stored in machine readable form in the documentation system DOSYS of PHDR. A comparison between results of different computer models shows clearly the effects of fluid-structure interactions. From a first view over the blowdown measurements it can be concluded that the experiments have been successful. Several effects, which are consequences of fluid-structure-interactions, are clearly shown up. Rather unexpected is a drastic reduction of pressure waves in the blowdown nozzle. It is assumed

that the reason is a two phase nonequilibrium effect (delayed evaporation and - probably more important - delayed condensation after the first wave reflection). A possible explanation of the wave reduction due to pressure wave energy which is radiated in the outflow domain has been ruled out. The strong wave reduction (damping) in the blowdown nozzle causes a considerably (up to factor of two) increased loading of the vessel internals. The maximum loadings are found in the experiment in the subcooled period, as expected. The onset of evaporation in the vessel interior seems to be largely influenced by nonequilibrium effects too.

The snapback experiments show large oscillations over a period of more than 20 seconds. In the first tests a disturbing oscillation has been caused by the pull rod which is used to impose the initial deflection; constructive changes have been prepared for this device, therefore.

Plans for future work

The evaluation of the first series of blowdown tests will be continued. The main snapback tests are scheduled for summer 1980. Their evaluation will be started.

06.01.01/06A Experimental Data Acquisition and Processing of the
PNS 4116 Dynamic Behavior of the Pressure Vessel Test Internals
 in the HDR-Blowdown-Experiments
 (J.Kadlec, F.Eberle, G.Lang, R.Scharnowell; IRE)

Work performed

For the blowdown tests V29, V31 and V31.1 eight displacement measuring chains, nine acceleration measuring chains, nine high-temperature strain measuring chains and one pressure measuring chain were installed at the core shell and their performance was verified.

After the blowdown tests had been completed evaluation was started of the measured results. A primary report was written describing the qualification tests made on prototypes of piezoelectric acceleration transducers.

Results obtained

The performance was demonstrated for all measuring chains installed prior to startup of the tests. With some of the transducers there seems to be a disturbance of the measuring signals obtained during the tests. Previous evaluation has shown that three displacement transducers, two acceleration transducers and one pressure transducer had failed.

Plans for future work

The measuring signals from the blowdown tests will be evaluated also in future and the causes of failure of the different measuring chains will be examined. Further measuring chains will be acquired and calibrated for use in the main tests.

- 06.01.02 Development and Verification of Codes for Dynamic Stress
 Analysis of Reactor Components
- 06.01.02/06A Development and Verification of Coupled Fluid-Structure
PNS 4125 Dynamic Codes for Analysis of Dynamic Stresses and Defor-
 mations of Reactor Vessel Internals During LOCA
 (R.Krieg, E.G.Schlechtendahl, J.Benner, B.Dolensky,
 H.Hailfinger, F.Katz, H.Knüppel, A.Ludwig, U.Schumann; IRE)

Work performed

The code FLUX 2 for analysis of blowdown effects on reactor pressure vessel internals has been modified. It can now be coupled with a large class of structural models for the core barrel. Coupling with the recently finished structural model CYLDY3 has been performed. With this model larger structural deformations are predicted than with CYLDY2. Coupling with a finite element model produced by the STRUDL code is underway.

For analysis of two-dimensional pressure wave problems with the FLUX theory (without structural coupling) a flexible code WELLE 2 has been developed. The theoretical basis of a core model has been further refined. The theory of homogenization was applied and formulated for a general periodic mixture of fluid and structure. A single density tensor was determined, that describes the

effect of inertial fluid-structure interaction.

The shell code CYLDY3 has been improved to include flexible support of the core barrel. A shell code CYLDYFE with finite ring elements has been developed and compared with CYLDY3. For the HDR core barrel eigenfrequencies agree within 1%. Only the breathing modes exhibit a larger difference. Besides blowdowns through the inlet nozzle also blowdowns through the outlet nozzle have been investigated. Significant transient lateral loads may be exerted upon the core support columns. These columns of 250 to 300 mm diameter contain the control rod drives. According to some rough estimates, the problem may be described adequately by potential flow theory. Therefore the code SING could be applied. First results indicate stress maxima close to the yield point.

For investigation of mixed air-water flow with separation in a T-channel (see fig. 06.01.02-1) a DRIX model was established. The model corresponds to experiments in the IRB. First results indicate good qualitative agreement with the experiment, in that a high void wake region in the 90° leg of the channel appears. A second wake in the straight section behind the 90° leg is found in the experiment, but not in the calculation.

In simple 1D and 2D geometry the effect of different numerical schemes upon fluid dynamics results has been investigated. Considerable improvement has been achieved in the low velocity region by appropriate adjustment of numerical parameters.

Results obtained

The codes FLUX2, CYLDY3, FLUST and DRIX-2d have been used successfully to predict HDR-blowdown experiment V 29.2, V 30 and V 31 (see 06.01.01/05).

With the code WELLE 2 a hypothesis for the cause of pressure wave damping in the blowdown nozzle could be falsified. The hypothesis assumed energy losses into the containment. The homogenization theory produced first consistent results for a fuel rod bundle model. The stresses in the core support columns become significant during a hot leg blowdown according to SING results. The program DRIX-2D is principally applicable to separating flow of two phases.

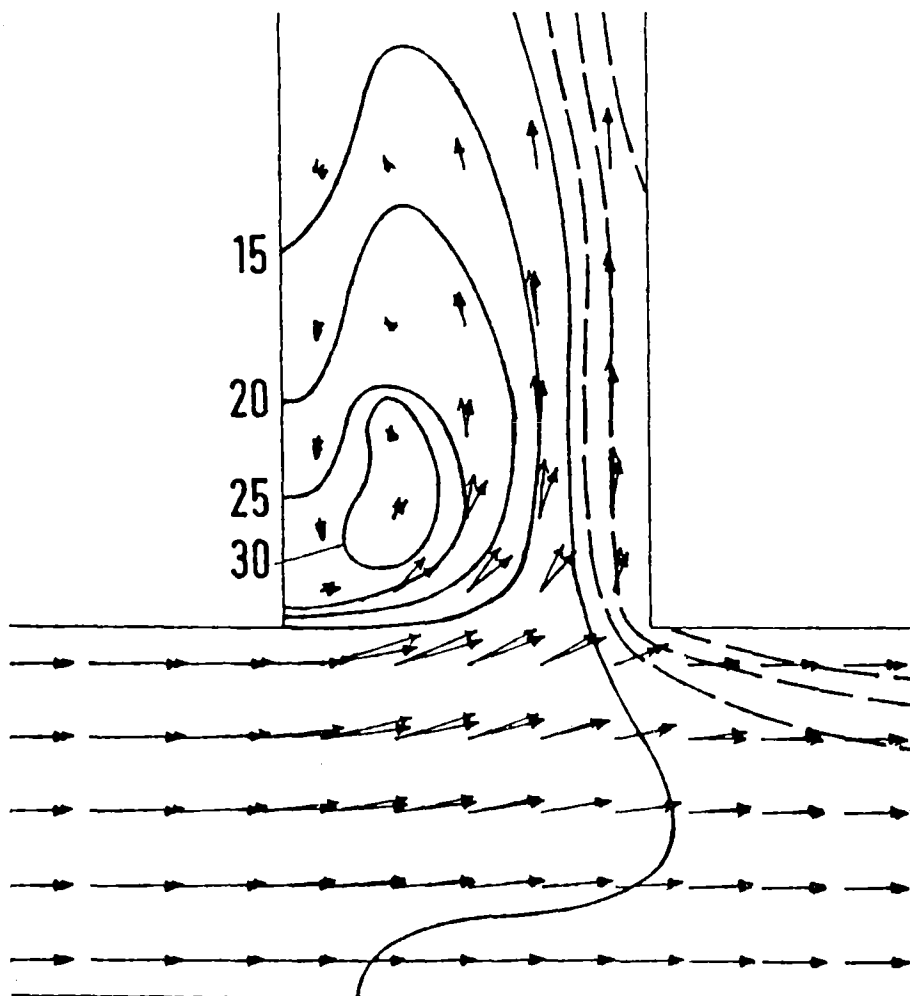


Fig. 06.01.02-1: Velocity field of water and air and void distribution in a T-channel. The parameters indicate the void fraction.

Plans for future work

First HDR results indicate high priority for the previously planned coupling of DRIX-2D and FLUX. Work on the core model and on incorporating a pressure vessel structural model in FLUX will continue. The problem of stresses in the core support columns will be investigated further with SING-S. Finite element analysis will be done to determine details of the stress distribution.

06.01.02/07A Laboratory Experiments for Validation and Enhancement
PNS 4126 of Fluid/Structure Dynamics Codes Relevant to Initial
 Phases of LOCA
 (E. Wolf; IRE)

Work performed

The documentation of the nozzle experiments on two-phase flow and the respective code verification were completed.

Regarding the experiments on rod structures the constructional drawings for the experimental facility and the first test geometry were elaborated. Fabrication of parts has started. It concerns a double pendulum which is accessible for analytical computation. A capacitance system of displacement measurement by contactless transducers was tested in order to record vibrational processes. Within the framework of testing further suitable displacement transducers a contactless induction type measuring system was ordered which can be used also in fluids characterized by a high dielectricity constant.

Results obtained

The final documentation of the nozzle experiments on two-phase flow did not yield new results as compared with the status achieved by previous evaluation.

It appeared from tests of the capacitance system of displacement measurement for experiments on rod structures that this system can be successfully used in air as the ambient medium whilst it is no longer useful within the ambient medium of water on account of a considerable decrease in sensitivity.

Plans for future work

Work on the nozzle experiments involving two-phase flow has been completed.

Regarding the experiments on rod structures the components will be assembled for the experimental facility and the vibration tests will be made with the first test geometry. An induction type system of displacement measurement will be tested in parallel.

Design will start of a rod bundle geometry for simulating a fuel element.

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

06.01.03/08A Joint Test Rig for Tests and Calibration of Different
PNS 4137 Methods of Two-Phase Mass Flow Measurement
(J.Reimann, H.John; IRB)

Work performed

1. Analyses of the PHEBUS Mass Flow Rate Instrumentation Tests

The test results of the air-water and steam-water tests performed in Sept. 79 were analysed. A model was developed which improved considerably the results compared with conventional evaluation procedures.

2. Test of the Battelle-Drag Body

The Battelle-Drag Body was again tested in air-water flow a) in undisturbed flow b) in homogenized flow (using flow homogenizers)

3. Two-Phase Flow in Pipe Junctions

First experiments to investigate the two-phase flow in a T-junction were performed (all diameters 50 mm, horizontal in-flow). For flow visualization a lucite test section was used. Mass flow rates were measured with venturi nozzles and the 5 beam γ -densitometer. This instrumentation is used until the final instrumentation (based on phase separation) is available.

Results obtained

to 1: Table 1 shows the mean values and standard deviations of the measured mass flow rate \dot{m}_{V-T} and quality X_{V-T} normalized with the reference values. The index cal means that the calibration model is used. There are improvements in the quality evaluation for upward flow, for downward flow also in mass flow rate evaluation.

to 2: It showed that the measured drag coefficients deviated from the values given by Battelle. The strain gage signals shifted caused by load reversal. Therefore, often a zero balance was made. Taking these problems into account mass flow rate was measured with an error less than 30%. These values were not improved if a flow homogenizer consisting of 3 different meshes was positioned upstream of the drag body.

to 3: Fig. 1 shows for a constant test point (P_o, M_o, X_o) the liquid and gas mass flow rate in the run if the total mass flow rate in the run is varied from $M_1=0$ to $M_1=M_o$. The branch was orientated horizontally. If the quality in the run is not changed compared to the inflow values 0 the points are on the 45° curve. The Figure shows the considerable deviation from this equilibrium curve: the T-junction causes phase separation. In the branch 2 the gas mass flow rate is much higher than in the run 1.

P (bar)	$\frac{n_{V-T}}{n_{Ref}}$	σ	$\frac{n_{V-T}}{n_{Ref}}$	σ	$\frac{h_{V-Tcal}}{h_{Ref}}$	σ	$\frac{h_{V-Tcal}}{h_{Ref}}$	σ	
30	0.988	0.060	0.896	0.084	1.022	0.061	1.010	0.076	upward flow
40	1.020	0.086	0.852	0.107	1.055	0.093	1.001	0.103	
50	0.994	0.072	0.900	0.123	1.004	0.085	1.020	0.203	
70	0.986	0.041	0.921	0.067	1.015	0.034	0.947	0.082	
90	0.995	0.037	1.026	0.137	1.017	0.038	1.019	0.143	
\bar{p}	0.996	0.060	0.917	0.115	1.020	0.068	0.981	0.168	
30	0.918	0.155	0.920	0.171	1.059	0.193	0.976	0.202	downward flow
50	0.810	0.116	1.168	0.182	0.980	0.110	0.076	0.157	
70	0.825	0.076	1.192	0.262	1.080	0.070	0.845	0.119	
\bar{p}	0.838	0.121	1.116	0.230	1.031	0.128	0.978	0.181	

TABLE 1: MEAN VALUES AND STANDARD DEVIATIONS

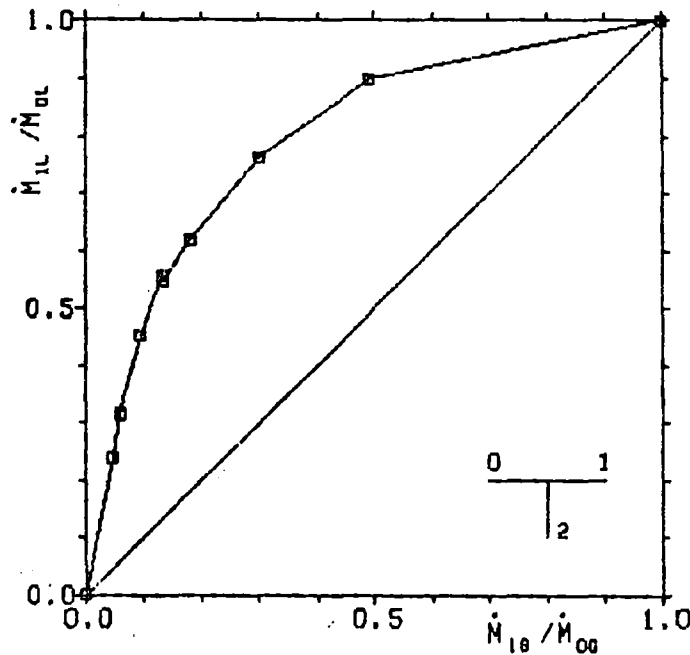


Fig. 1:
Phase Distribution in the T-junction (air-water-flow horizontal branch)
($P_o = 6,5$ bar,
 $M_o = 1500 \text{ kg/m}^2\text{s}$, $x_o = 0,1\%$)

Plans for future work

- Documentation of the PHEBUS-instrumentation tests.
- Test of the Battelle-Drag Bodies in Steam-Water-Flow; Analysis of the experiments.
- Experiments with Steam-Water-Flow in pipe branching. Ordering the instrumentation for measuring of the single phase massflows in the pipe branches.

06.01.03/09A Experimental Facility for Non-Steady State Two-Phase Flows
PNS 4139 (H. John; IRB)

Work performed

The work of building up the test loop has been continued.

- The piping were designed, specified and sent up for quotation.
- The measuring and control system has been developed and most of the components are ordered.

The adaption of the data aquisition system to the installed computer has been prepared and most of the necessary additional computer components are ordered.

- Design work on a serial gamma-densitometer for transient flow has been started.
- Fabrication of the quick opening valve has been nearly finished.
- Work for the computer program has been planed.

Results obtained

The start time for mounting the loop has been postponed to the end of this year caused by strong delay in the rebuilding work for the test building. Problems in getting a waste-water licence are the reason.

Plans for future work

- Finishing of the rebuilding work of the test loop building.
- Ordering of the piping.
- Test of the quick opening valve and stationary test of the True Mass Flow Meter.
- Construction of the gamma-densitometer.
- Development of the software for the data aquisition.

06.01.03/10A Design and Construction of a True Mass Flow Meter
PNS 4138 $\dot{m} = 50 \text{ kg/s}$
(K. Hain; IT)

Work performed

The working drawings for all single components were completed and preparation of general drawings started.

Fabrication of the individual components was terminated and the pressurized structural parts were assembled in a first step. A subsequent hydraulic test supervised by the Technical Inspectorate did not give rise to complaints.

A starting gearshift for the reluctance motor of the rotor power system (14 kW) was developed and built; it allows jerkless acceleration of the rotor up to its nominal speed.

Precision assembly of the measuring system started.

Results obtained

-

Plans for future work

After installation of the measuring systems a mechanical test of the fully assembled TMFM will follow, then the coldwater-air-experiments in the test rig for testing and calibration of measuring devices of two phase mass flow are performed.

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER
PLANTS

PNS-Subprojekt 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions

06.01.04 Development and Assessment of a Fuel Behavior
Code System

06.01.04/11A Development of the Code-System SSYST and Development-
/12A Oriented Calculations

PNS 4231.1/3 (R.Meyder; IRE, H.Borgwaldt, G.Jacobs, W.Baumann,
G.Willerding; INR)

Work performed

Several in-pile Experiments (FR2, PBF) show, that fuel even with low burnup has no more the form of a pellet. It is broken in a number of individual parts. This has the consequence, that after an experiment normally fuel fragments are within the cladding, filling all space available. At this time it is not yet clear whether the relocation of the fragmented fuel occurs during cladding deformation or after the burst. Possible consequences of a relocation of the fragmented fuel during cladding deformation are:

increase of linear power in bulged areas and a reduction of the azimuthal temperature difference causing increased final strains. To simulate these effects the module KRUEMEL was set up. When gap width passes an maximum input value in this axial position a transition from pellet to pellet fragments forming a rubble bed takes place characterised by a constant residual input gap width and a change in material properties. The porosity of the rubble bed is given by the free volume available at this time.

If the cladding continues to deform then it is assumed, that the generated new volume is filled with cracked fuel from the node above that considered.

The module is programmed. First test cases are calculated.

During the time reported a users manual for SSYST-2 was completed, as well as a documentation of the probabilistic models in SSYST-3.

The set of differential equations was defined, to describe the 3D plastic deformation of the cladding, Since during deformation the shape of a cladding element is continuously changed a special shell theory had to be deduced to reduce the basic 3D equation for compatibility and balance of force. In formulating the constitutive equations great emphasis was given that only minor limitations arise for the formulation of the creep law. The integration

technique for the differential equations has to be selected in the next step. The development of the ZETHYF-module was continued. At this time the dispersed flow regime is under development.

The SSYST-modules ZET-2D (two-dimensional, transient) and STT-2D (stationary) have been combined into one module. The one-dimensional module ZET-1D has been converted to implicit integration, and a stationary module STT-1D has been added. An implicit integration scheme has been introduced in the heat conduction routines of the module ZETHYD, as well as a simple explicit scheme with automatic time step reduction for computing the enthalpy along the subchannel.

The analysis of the German Standard Problem Nr. 2 (i.e. PKL reflood experiment K9) using RELAP4/MOD6 has been continued with corrections and post-calculations. On this basis a new input model has been established.

For the blowdown phase of a PWR LOCA additional test calculations have been performed. Modelling of the emergency core cooling system (ECCS) and containment back pressure, which are possible with this code version, have been introduced. Other problems of application have been the COSIMA experiment 82 and a FEBA blockage experiment.

The GRS code BRUCH-DO6 has been made available as an additional primary system code.

The IBM-version of the two-phase bundle thermal-hydraulics code COBRA4i obtained from ORNL has been adapted to our computer system and checked out. COBRA4i as well as the codes COBRA3C/MIT and THERMIT made available by Battelle-Frankfurt have been tested for their applicability under conditions typical for FEBA blockage experiments.

Results obtained

In application the strain hardening model of Zry deduced from the α -phase region on the $\alpha+\beta$ phase transition region partly poor agreement was found. A detailed revision of all data available showed, that in the strain rate range considered apparently two different creep modes exist.

The test version of ZET-1D is much more stable, compared to the standard version, when coupled with other modules, especially with the gap conductance module WUEZ. With the new version of ZETHYD the first complete calculation of the experiment COSIMA-44 could be performed, without numerical instability.

The degree of agreement between pre-calculated and measured data for the PKL experiment K9 depends on the types compared. Cladding temperature transients in the lower bundle section lie in the range of measurements. Maximum cladding temperatures, total temperature increase, and quenching times are near the experimental data. Computed cladding temperatures in the range above the bundle centre indicate an upper quench front, although not supported by the moving mesh model. Yet this second quench front progresses more slowly than observed. Computed quench times in the upper bundle section are, therefore, too high. Other quantities compared, e.g. mass flow in the loops and pressure drops, show temporary deviations, which in part can be explained by code limitations for subcooled ECC injection. Post-calculations prove, that the transients in the bundle region and, consequently, in the whole primary system are strongly influenced by liquid entrainment and heat transfer to the liquid portion of the dispersed flow. The calculation underestimates the rate of evaporation in the core. This fact corresponds to a collapsed liquid level in the core that is too high.

Calculations with RELAP4/MOD6 for PWR blowdown, using two critical flow models, viz. Moody and Henry-Fauske, show qualitatively differing transients, primarily for mass flow. The Henry-Fauske model gives good agreement with the code version RELAP4/MOD2 (modified) used previously at KfK. Remaining discrepancies can be explained, e.g. by the improved heat conduction model for the rod. Calculations with modelling of ECCS and containment back pressure lead to satisfactory results for in-core mass flow and containment pressure build-up.

Post-calculations for COSIMA-82 have not been completely satisfactory so far. Nodalisation details show excessive influence on results via the heat transfer logics.

RELAP4/MOD6 analysis of a FEBA blockage experiment was performed with a highly simplified 8-volume model, testing applicable heat transfer models of the code. In all cases computed wall temperatures in the upper blockage region are slightly above saturation and near the data measured at the inner corner channel.

All bundle codes tested remain numerically stable under the conditions of low pressures and mass flows typical for FEBA blockage experiments. This holds mainly for THERMIT; as for the COBRA versions, in each case only one option could be tested thoroughly. Under FEBA conditions, however, all 3 codes need considerable improvements in their heat transfer models.

Plans for future work

Documentation of the physical models in SSYST-2. Completion of Zry-creep model. Investigation of bundle experiments. Coupling of RELAP4/MOD6 with SSYST-2. Continued analyses of COSIMA experiments with RELAP4/MOD6. Implementation of the two-phase thermal-hydraulics system-code RELAP5/MOD0. Improvements in the heat transfer models of THERMIT and COBRA4i.

06.01.06 Material Behavior of Zry-4 under Accident Conditions

06.01.06/11A Investigation of the Mechanical Behavior of Zircaloy
PNS 4235.1 Cladding Material under Transient Conditions

(M.Bocek, C.Petersen, H.Schneider, E.H. Toscano; IMF II)

Work performed

- Tensile tests on Zircaloy-4 at higher temperatures.
- Comparison of life time predictions by means of the life fraction rule with results of burst tests.
- Destructive postexamination of in-pile ballooned tubes.

Results obtained

- Further experiments were conducted to assess the constitutive equation (NORA) for inelastic deformation. Attention was paid to model work hardening at higher temperature.
- The validity of the life fraction rule was checked by comparison of the predictions with experimental results obtained in different test facilities. As expected large deviations from calculated values appear in the two phase region. Compared to results obtained in the FABIOLA test facility the life time predictions by means of the life fraction rule turned out to be conservative.
- With the examination of the test specimens A2.1 and B3.2 the destructive investigation of non-preirradiated fuel rods blown in the FR-2 loop were finished.

An analysis of the strain distribution was carried out in two ways:

- a) By means of the radial strain localization parameter W_{θ} introduced by H.M. Chung and T.F. Kassner /1/ the failure modulus of the ballooned

cladding can be characterized. According to experiments performed in the FR-2 the parameter W_{θ} has shown to be insensitive to irradiation. However, W_{θ} is influenced by the heating type (direct/indirect heating) /2/.

- b) In analogy to W_{θ} an axial strain localization parameter W_z was used to characterize the shape of the blown cladding. This parameter W_z is defined in the way that $0 \leq W_z \leq 1$, when small W_z - values are indicative for axially uniform deformation (axially extended balloons) and large W_z - values are representative to localized balloons. The parameter W_z is insensitive to irradiation and heating type as well, but it is definitely influenced by the temperature ramp rate T and low internal pressures: conditions promote the development of axially extended balloons.

Plans for future work

- Adaptation of Hewlett-Packard data acquisition and analysis system to the Instron tensile machine.
- Burst tests with gapless fuel rod simulators in the FABIOLA facility.
- Pressure cycling on Zircaloy-cladding.
- Destructive postexaminations on preirradiated and in-pile blown tubes. Comparison with unirradiated material.

References

- /1/ H.M. Chung and T.F. Kassner
Deformation Characteristics of Zircaloy Cladding in Vacuum and Steam under Transient Heating conditions: Summary Report ANL-77-31, July 1978.
- /2/ E. Karb et. al.
KfK in-pile tests on LWR Fuel-Rod Behavior During the Heatup Phase a LOCA
To be published as KfK report.
- /3/ K.M. Rose, C.A. Mann and E.D. Hindle
Axial distribution of deformation in the cladding of pressurized water reactor fuel rods in a loss-of-coolant accident.
Nucl. Technol. 46, 2(220-227) Dec. 1979.

06.01.06/12A Investigation into the High Temperature Steam Oxidation
PNS 4235.2 of Zircaloy Cladding Tubes

(S. Leistikow; B. Bennek-Kammerichs, H.v. Berg, R. Kraft,
G. Schanz, D. Jennert; IMF II)

Work performed

Isothermal Zircaloy 4/steam oxidation kinetic experiments

- in the temperature range of 900 to 1100°C during 360 minutes,
- in the temperature range of 1300 to 1450°C during \leq 30 minutes.

Temperature-transient Zircaloy 4/steam oxidation kinetic experiments

- at heating rates of 10 - 211°C/s up to 1750°C during \leq 140 seconds.

Evaluation of hot cell metallography work, done on Zircaloy 4 cladding material after exposure within in-pile-LOCA experiments (FR 2).

Results obtained

The oxidation experiments performed at 900 - 1100°C and up to 6 hours had the following important results:

At 900 and 950°C, the increase in reaction rate which occurred after 50 - 80 minutes could be described by a transition from a cubic to a parabolic rate law. At 1000°C, the transition of an originally parabolic rate law to a linear one was reproduced as taking place after about 30 - 40 minutes and continuing linearly up 360 minutes. At 1100°C, a classical parabolic rate law governs to whole exposure time up to 360 minutes, so that in fact higher weight gains were measured at 1000°C after 360 minutes.

The metallographic evaluation showed a close relationship between the state of the oxide scale, the thickness of the α -Zr(O)-layer, and the measured weight gain. The moderate breakaway-effect at 900 and 950°C was related to a partial destruction of the protective character of the scale under retention of a continuous α -Zr(O)-layer. The well-known breakaway phenomena were again correlated to the periodical appearance of a horizontal crack pattern. In case of vertical cracks, an accelerated local attack into the depth of the bulk of the metal was observed. Especially there, but also under the defect structure in general, the formation of a α -Zr(O) sublayer was nearly completely suppressed.

The results of the oxidation kinetic experiments at 1300 - 1450°C, using inductively heated tube sections, could be approximated up to 30 minutes by parabolic functions. The oxide scales were adherent, the metallic β -phase was completely transformed into α -Zr (O) after 5 minutes at 1350°C, and after 3 minutes at 1400°C. The performance of these experiments at higher temperatures and longer exposure times was limited by the non-ability of the metallic, both-sided oxidized cross-sections to couple with the coil of the high frequency inductive heating system until complete oxidation took place. The ability decreased with increasing temperature, so that at 1450°C only about 2000 mg/dm² oxygen were taken up until decoupling occurred. Temperature transient experiments to the melting point of Zircaloy 4, which were performed at heating rates from 10 to 211°C/s, resulted in various states of oxidation and destruction, which are still under metallographic evaluation.

The metallographic post-irradiation evaluation of LOCA-exposed non-preirradiated single rods in the hot cell laboratory was able to estimate the local maximum temperature with an exactitude of about 30°C, determined as to the state of the Zircaloy bulk structure. Azimuthal temperature differences up to 60°C could be detected.

Plans for future work

Oxidation kinetic experiments at 600 - 900°C during exposure times of several hours. Evaluation and documentation of prior experiments.

06.01.06/13A 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.Eckstein, H.Schneider, J.Spino, H.Zimmermann,
J.Burbach, G.Gausmann, H.Metzger, B.Scheckel; IMF I)

Work performed

- Burst and creep rupture tests with fission products containing Zircaloy-4 cladding tubes under inert gas and steam performed in the temperature range of 500 - 1000°C.
- Investigation into the influence exerted by mechanically applied axial inner notches on the burst strain and time to rupture of Zircaloy tube specimens in the presence of iodine at 600 and 700°C.

- Evaluation of cladding tube inner corrosion. Determination of fission gas release during a LOCA transient and in the course of post-irradiation annealings.

Results obtained

- Among the fission product elements and compounds investigated only iodine as well as the volatile iodine compounds ZrI_4 , I_2O_5 and TeI_4 , but not CsI, exert a marked influence on burst strain. Above a critical iodine concentration low ductility failure of the cladding material takes place. The influence of iodine on burst strain decreases with increasing temperature and can be neglected as from approx. $900^{\circ}C$ /1/.
- With increasing time to rupture, i.e., decreasing inner pressure, the influence of the notches applied diminishes. A minimum pressure (corresponding to a lower limit tension) seems to exist below which the influence of both predamaging and iodine will no longer be felt.
- The cladding tube inner surface undergoes oxidation only in the vicinity of the burst point; this oxidation is mainly caused by water steam penetrating into the fuel rod.
The fission gas release in the LOCA tested fuel rods of the F-test series with 2.4% of burnup reached 6% at the maximum and is mainly due to crack formation. The saturation value of fission gas release in isothermal out-of-pile annealing tests was about 15% at $1500^{\circ}C$ and about 25% at $1600^{\circ}C$. The fission gas released inter alia by the separation of grain boundaries in the UO_2 structure /2/.

Plans for future work

- Completion of the Zircaloy/iodine experiments.
- Determination of the yield point and ultimate tensile strength of Zircaloy-4 cladding tubes ($500-800^{\circ}C$).
- Experiments at $500^{\circ}C$ made with specimens prenotched internally.
- Post-irradiation examinations of LOCA tested fuel rods.
- Chemical analytical investigations into the cladding material, the fuel and the simulated fission products.

References:

- /1/ P. Hofmann; Corrosion induced failure of internally pressurized Zircaloy tubes at high temperatures, European Symposium on "The Interaction between Corrosion and Mechanical Stress at High Temperatures", May 13-14th, 1980, Petten
- /2/ H. Zimmermann; Investigations on fission gas behavior in LWR fuel rods under LOCA conditions, Enlarged Halden Programme Group Meeting, June 1-6th, 1980, Lillehammer, Norway.

06.01.06/15A Burst Testes 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

The burst experiments on the Zircaloy-4 cladding tubes under hot rod conditions were continued. Moreover, the critical iodine concentration for the FABIOLA fuel rod simulator assembly was determined by several tests. Further experiments served to detect the influence of iodine on the deformation behavior at elevated temperatures within the $\alpha+\beta$ phase region of Zircaloy-4. Likewise, the validity of the mathematical model developed by M. Bocek (Journal of Nuclear Materials, Volume 82 (1979), p. 329) was to be verified in the region indicated.

The process of ballooning on the Zircaloy cladding tube is recorded on-line with a novel TV-width measuring system. The software for simultaneous recording of data of the cladding tube contour and other important test data (temperature and pressure) was completed and tested. Also work was terminated for elaboration of computer programs for test evaluation and documentation of results.

In the determination of cladding tube deformation by a mathematical formula the creep rate constitutes one input variable. For this reason development of a computing technique was started which is to allow to calculate the creep rate from the measured original data of strain curve. Here the problem arises of determining from the measured discrete values of strain curve - which, evidently scatter within the limits of measuring accuracy - a smoothed continuous course which does not falsify the characteristic of the measurement and can be differentiated.

Results obtained

The critical iodine concentration for the FABIOLA fuel rod simulators was found to be 20 mg/cm^3 of free volume inclusive of the gas plenum outside. At this concentration stress corrosion cracking is the dominant factor governing the failure of the cladding. The critical value lies considerably above the concentrations determined in single effect investigations (P.Hofmann, "Einfluß des Spaltproduktelementes Jod auf das Verformungs- und Bruchverhalten von Zry-4 Hüllrohren bei Temperaturen zwischen 600 und 1000°C ", KfK 2661, September 1978). The higher iodine concentration is attributed to the special layout of the fuel rod simulator.

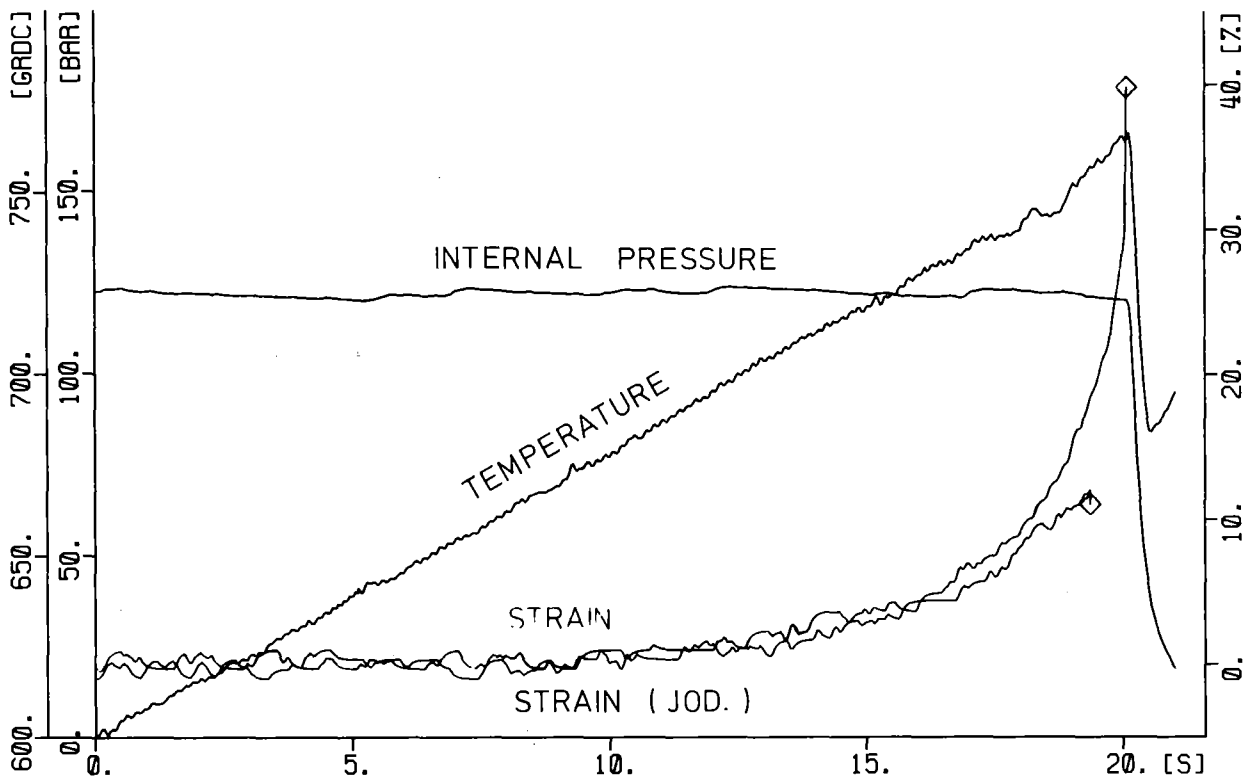
In the $\alpha+\beta$ phase region, i.e. at burst temperatures above 830°C , an influence of iodine on the deformation behavior, as already mentioned in the report indicated above, was not observed. In the rods without iodine as well in the rods containing iodine the burst strains attained about 50%. In the comparison of the times-to-rupture determined in the experiment with that calculated, major deviations occur in the $\alpha+\beta$ phase region. The calculated values generally are lower by more than 20% than the experimental values. Within the α -phase region a rather good agreement was found between the experiment and the calculation.

It was demonstrated in the tests performed that the dynamics of the TV-width measuring system is sufficient for a measuring frequency of 25 frames/s. The characteristic of the strain curve shows that this measuring frequency is necessary only towards the end of the test in case of quickly increasing cladding tube deformation. By variation of the measuring frequency over the test period the amount of data is kept within limits. In the tests involving iodine free and iodine injected rods a rod segment of about 120 mm length each was measured to record the strain curve. This allowed to record exactly also the strains occurring in the rods with iodine and which attain about 10% within the α -phase region. It has not been possible until now to evaluate cinematographic records of such low strains.

The figure shows a plot of measured data from two experiments with and without the influence of iodine. The pressure in both tests was 120 bar and the rate of temperature rise was 8 K/s. Nearly the same times-to-rupture were obtained for very differing burst strains.

Plans for future work

- Burst tests under hot rod conditions performed on rods with and without iodine.
- Continuation of work for calculation of the creep rate.
- Extension of the capacity of data storage for longer test periods.
- Preliminary tests with electric heaters for higher temperatures.



FABIOLA - TEST RESULTS

- 06.01.07 Fuel Behavior in the Blowdown-Phase of a LOCA
- 06.01.07/05A Fuel rod Behavior under Controlled Thermohydraulic
 /06A Boundary Conditions (COSIMA-Program)
- PNS 4236.1/2 (G. Class; IRE, K. Hain, F. Brüderle, F. Schloß, T. Vollmer,
 K. Wagner; IT)

Work performed

During the period of reporting 33 blowdown experiments were performed at the COSIMA facility which related to the following investigations:

1. Influence on the rod behavior by thermocouples fixed on the external side of the cladding tube according to the LOFT specification.
In this context, series of transients were run with the same control program each and involving four rods, one of them provided with thermocouples. The tests yielded a remarkable influence on cladding temperatures during the blowdown exerted by the thermocouples fixed on the external side of the rod.
2. Effects of the number of blowdowns per rod on fuel relocation. Within two test series the "reactor typical" behavior of the SIM II fuel rod simulator was investigated with respect of radial fuel relocation of cracked annular pellets during blowdown.
3. Effect of gas type inside of the rod simulator on cladding temperature, the rod contained cracked pellets.
For this purpose two tests were performed with argon and helium involving a rod which had attained its final condition as regards fuel relocation.
4. Influence of the spacers on the thermohydraulics in a subchannel. Since the known thermohydraulic codes (e.g. RELAP) do not provide a model for a spacer although an influence obviously exists, the position of the spacers was varied in two transients.
5. Simulation of the LOFT-transient L2-3.
To carry on tests related to Item 1 a blowdown control program was determined experimentally in a test series to approximate the LOFT transient.

Results obtained

Ad 1: The influence of the (LOFT-specific) thermocouples fixed on the external side of the cladding tube results in a later onset of DNB, a lower peak cladding temperature and earlier rewetting of the cladding tube during the second half of blowdown. A report on this subject is presently prepared.

Ad 2: An influence on the simulator behavior was clearly evident as regards the cladding tube temperatures also for rods which have undergone several blowdown transients. This leads to the necessity of extending the computer codes take into account fuel relocation.

Further tests are required in connection with Items 5.3 and 5.4 so that a reliable statement can be made.

Plans for future work

In continuation of the experimental program blowdown tests are planned on the fuel relocation problems, involving a cladding tube with increased diameter and bigger internal gap between the graphite heater and the annular pellet and with ThO_2 instead of Al_2O_3 as the pellet material.

The tests allowing to estimate the influence of the spacers on the thermo-hydraulics will be extended by tests involving spacers located in an excentric position with respect to the cooling channel. The blowdown tests with the simulator instrumented by the (LOFT-specific) thermocouples according to 5.1 will be supplemented by a test series similar to the LOFT-L2-3-transient.

Since the preceding theoretical studies have shown that in general phenomena observed in the experiment (above all the cladding temperatures) are well simulated by the codes RELAP 4 (Mod 5) and SSYST, the future work will concentrate on special aspects (influence of nodalization, heat transfer logic, heat flow out from the wall structures).

06.01.08 In-pile Experiments in the DK Loop of the FR 2 Reactor

06.01.08/03A Investigations of Fuel Rod Behavior in the 2nd Heatup Phase
PNS 4237.1 of a LOCA. In-pile Experiments with Single Rods in the
DK Loop of the FR2 Reactor

(E.Karb, G.Harbauer, M.Hespeler, W.Knappschneider, W.Legner,
W.Leiling, H.Prüßmann, L.Sepold, K.Wagner; IT)

Work performed

Five tests of the series E (burnup 8000 MWd/t) were successfully performed.
With test series E the test program was completed.

The test data of the series F (burnup 20000 MWd/t) were documented as well
as the pre-irradiation data of the series C, E, F, G1 and G2/3.

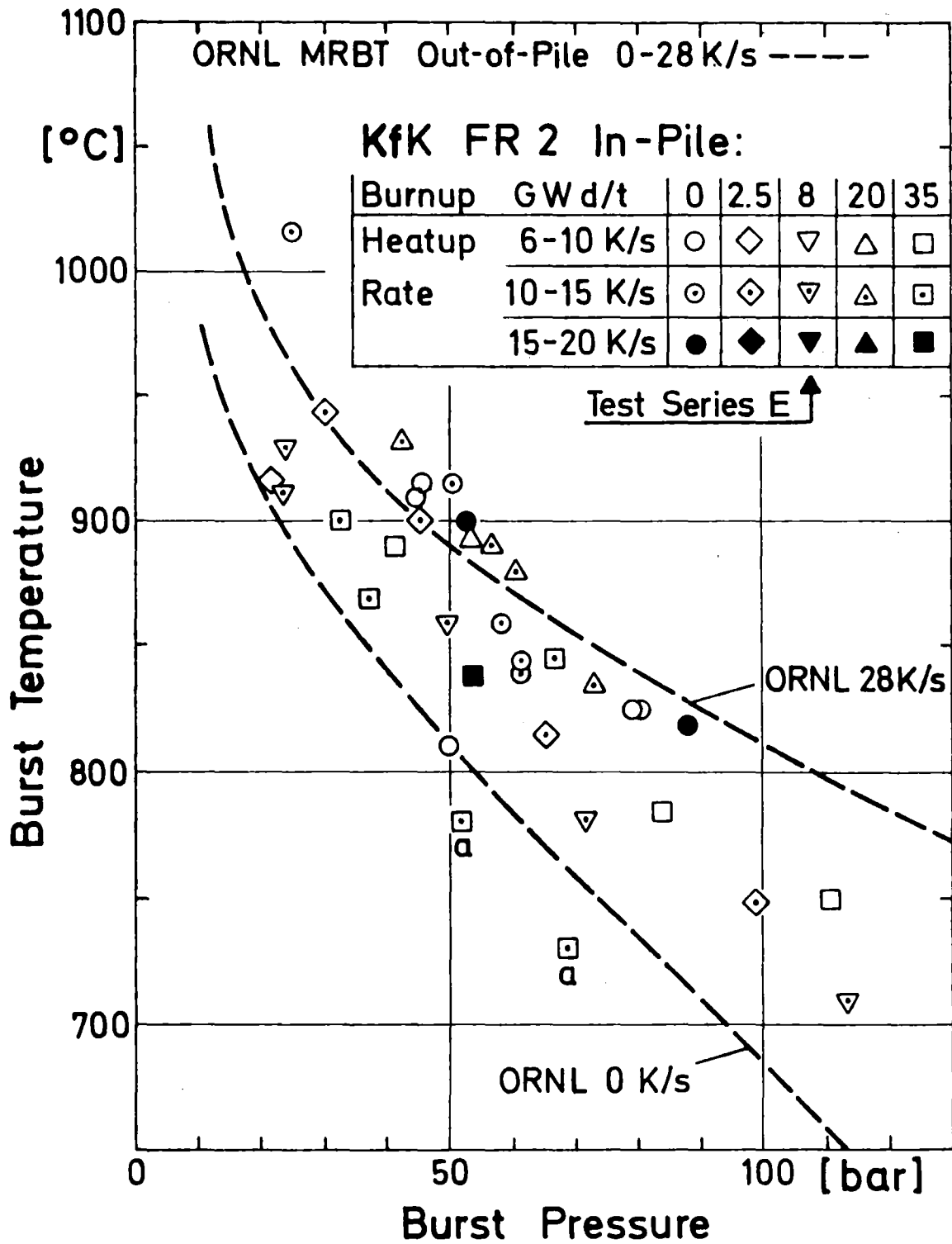
Results obtained

The burst data of the Tests E1 through E5 are listed in the following Table.
As Fig. 1 indicates, the burst temperatures and pressures lie in the scatter
band of the other tests within this program.

Table: Burst Data from Test E1 through E5

Test	Burst pressure	corrected burst temperature
E 1	23,2 bar	910°C
E 2	113,4 bar	708°C
E 3	49,5 bar	860°C
E 4	71,9 bar	781°C
E 5	23,7 bar ⁺	929°C ⁺

⁺ preliminary



a) burst during temperature plateau

FR2 In - Pile Tests:

Burst Temperature vs. Burst Pressure

Fig. 1

Plans for future work

- Evaluation of the test series E
- Documentation of the test results from series G1 and G 2/3
- Posttest calculations of selected tests with the SSYST code
- Posttest examinations of the specimens from test series C.

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

06.01.09/03A Investigation of the Interaction between Ballooning
PNS 4238 Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling
 (REBEKA Program)
 (K.Wiehr, F.Erbacher, U.Harten, W.Just, H.J.Neitzel,
 F.Schäffner, He.Schmidt; IRB)

Work performed

- Further evaluation of bundle test 3 and 4 with respect to a possible rod to rod interaction.
- Theoretical work to develop a burst criterion.
- Single rod experiments under adiabatic conditions.
- Completion of test bundle and conduction of the first seven thermocouple-bundle-tests.

Results obtained

A detailed evaluation of bundle test 3 and 4 gave first hints on a possible interaction between neighboring rods with the consequence of a failure propagation. It could be shown that a local sudden increase of the temperature of the Zircaloy cladding was initiated by the burst of the neighboring rod as a consequence of a gas jet after burst. At burst of the neighboring rod the situation was the following: a Zircaloy cladding which had lifted from its heat source, a temperature difference between pellets and Zircaloy cladding of about 150 K and a two phase flow cooling with a heat transfer coefficient of about $130 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. An increase of the cladding temperature of 25 K with a gradient of 40 K/s over a time period of 8 seconds was measured. This is the result of the reduction of the heat flux from the cladding to the two phase cooling due to the mixing with the hot helium gas.

The quantity of circumferential burst strain of 79% of the influenced Zircaloy cladding by this temperature increase has to be analysed.

For verification of the computer model to describe the deformation and rupture of a Zircaloy cladding further single rod experiments in the $\alpha+\beta$ - and the low β -phase were conducted. It could be shown that low heating rates produce smaller circumferential burst strains than higher heating rates. To describe this phenomenon the mathematical model was extended by an oxidation modul.

After completion and set up of the test bundle for the thermocouple bundle experiment the first seven tests were conducted. The parameters were the cladding temperature at start of flooding, the cold flooding rate and the flooding water temperature.

Plans for future work

- Evaluation of the thermocouple bundle test conducted.
- Further thermocouple bundle tests.
- Further single rod test in the β -phase.
- Theoretical work to describe the Zircaloy cladding deformation mechanism in the β -phase.

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

06.01.10/03A Flooding Experiments with Blocked Arrays (FEBA-Program)
PNS 4239 (P. Ihle, W. Götzmann, G. Hofmann, H. Kreuzinger, K. Rust,
H. Schneider, S. Malang; IRB)

Work performed

The 25-rod bundle test series have been continued. The flooding parameters have been varied, forced feed has been used.

Series IV: 5x5-bundle with hollow sleeves on 9 rods (3x3) blocking 62% of the flow area of the corresponding subchannels at the midplane of the bundle.

Analysis of the data obtained from Series I, II and III.

Preparation of the 50-rod bundle tests.

Experiments for steam superheat temperature measurements.

Results obtained

Influence of a partial blockage, 90% local blockage at 3x3-rod cluster in the 5x5-bundle: Increase of the maximum cladding temperatures 20 K (average) or 50 K (maximum) just downstream of the blockage top end. The values apply to a system pressure of 4 bar and a flooding velocity of 3.4 cm/s. The decrease of heat transfer downstream of the blockage is time-dependent. The ratio of the heat transfer coefficients blocked to unblocked decreases during flooding from about 1.0 at the very beginning of flooding to about 0,65 a short time before quenching of the corresponding region. A 62% local blockage in a 3x3-rod cluster shows similar, but smaller effects. Quenching of the sleeve surfaces within the blockage occurs earlier than quenching of the rod surfaces in the bypass area.

Spacer grid effects: There is no steady increase in the axial temperature profile. Due to the spacer grids the axial temperature profile shows local temperature decrease downstream of each spacer grid. At the time of maximum temperature at the corresponding level the deviations from a "mean" axial temperature profile are: about + 15 K 150 mm upstream of the spacer, about - 30 K 100 mm downstream of the spacer. The local increase of heat transfer downstream of a spacer grid is time-dependent. The ratio of heat transfer coefficients (HTC) with to HTC without spacer grid is between 1.15 und 1.5 depending on the flooding conditions (2-6 bar, 3.4-5.2 cm/s) at the beginning of flooding. This ratio decreases down to 1.0 at the beginning of film bouling.

Plans for future work

Tests with the 25-rod bundle and analysis will be continued. Experiments with a 50-rod bundle will be prepared.

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

06.01.11/10A Investigations on the Behavior of Fission Products
PNS 4311 and Aerosols in the Atmosphere of an LWR-Containment
(W. Schöck, H. Bunz, M. Koyro; LAF I)

Work performed

The calculations of aerosol behavior have been continued, and leaked masses have been calculated.

The experimental investigation of steam condensation onto UO_2 -aerosol was finished. The results were transferred into the NAUA-model.

Results obtained

Calculations of leaked masses show that the final value of the total leaked mass is almost reached after only a half day. It should, however, not be overlooked that a much greater amount of aerosol mass remains airborne inside the containment for a longer period which will be released to the environment in case of a containment failure. The aerosol in the containment will then contribute to the environmental impact during three days after the start of the melt down.

Therefore, in order to minimize the aerosol mass escaped from the containment two conditions should be fulfilled: The leak rate should be low, especially at the beginning, and the containment should not fail during the first three days.

In all experiments on condensation of steam on aerosol particles the spherification due to condensation - evaporation was confirmed. As an immediate result the shape factor problem does exist no more. It is replaced by the necessity to measure the porosity, or 'effective density' of the particles.

Plans for future work

The density of UO_2 -aerosol particles will be measured. A model describing the dynamic behavior of steam in the containment will be developed, a series of related wall condensation experiments has begun.

06.01.11/12A Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials
PNS 4314 at Core Melting Conditions
(H. Holleck, A. Skokan, H. Schneider, G. Reiser; IMF I)

Work performed

Solidification temperatures have been measured of a series of samples containing corium A+R or E+R in different oxidation states and limestone concrete from the US (gratefully accepted from W.B. Murfin, Sandia Laboratories, Albuquerque, N.M., USA). The aggregates of the limestone concrete (Clinch river type) have been analyzed.

Results obtained

The aggregates mainly consist of carbonates (75 weight-% $Ca(Mg,Sr)CO_3$). The SiO_2 content is about 5%, the loss on ignition ($\sim 46\%$) and the CO_2 content ($\sim 47\%$) are in good agreement. According to this analysis, the solidification temperatures of the corium + concrete samples were expected to be between the earlier reported values of mixtures containing either pure basaltic or pure limestone concrete. This was proved by the experiments.

Plans for future work

Investigation of the vaporization behavior of molten and solid samples varying in their degree of oxidation in order to determine the selective vaporization in dependence of temperature and time.

06.01.11/13A Materials Investigations in the Frame of the BETA-
PNS 4317 Experiments
(A. Skokan, H. Janzer, G. Reiser, G. Schlickeiser; IMF I)

Work performed

Examinations of thermite melt samples

- a) metallographic examination of samples which were taken from the melt by special sample taking probes.
- b) X-ray diffraction phase analysis of samples taken from cut crucibles.

Results obtained

Ad. a): The sample taking probes used (Samp-O-Line from Electro/nite n.V) proved to be suitable. The samples which were drawn from the melt 5 mm above the bottom of the crucible were nearly pure metallic. This finding supports the assumption that the melt is layered.

A. b): The concrete samples from the crucible and from the prisms containing the thermocouples were shown to consist of the same major mineral phases. The differences in their durability and in the rate of melting are probably caused by different pore volumes.

Plans for future work

- Crucible melting tests of concrete + oxide ($\text{UO}_2 + \text{ZrO}_2$, Al_2O_3 , $\text{ZrO}_2 \dots$) + steel by direct coupling of the steel melt.
- Metallographic and ceramographic examination of thermite melt samples.
- Investigation of alternative thermite reactions.

06.01.11/14A Experiments on Determination and Limitation of Fission
PNS 4315 and Activation Product Release during Core Meltdown
(H. Albrecht, H. Wild; IRCH)

Work performed

All technical modifications of the melting plant SASCHA which are required for experiments in steam atmosphere and with samples in the kilogram mass range have been completed. After some additional tests and inspections specified by licensing authorities, the experimental program was resumed at the end of April 1980. The first release tests in steam atmosphere were conducted with the following boundary conditions:

mass of melt specimens	150 g (corium A including slightly radioactive fission)
system pressure	2 bar
steam flow rate	10 l/min
max. melt temperature	2000 - 2400°C

During the heat-up procedure, the temperature was kept constant for 5-10 min at several plateaus above 1400°C in order to determine release rates as a function of temperature.

For investigation of the aerosol particles, an 8-stage cascade impactor was used for 1 - 90 sec during the release tests.

Results obtained

The evaluation of the experiments described above is not yet complete. Preliminary estimates indicate that a total release of iodine and cesium can be expected when temperatures of 1800°C are applied in combination with average heat-up rates of less or equal 20°C/min. As to the use of the cascade impactor, it was found that 20 - 50 sec is the most appropriate time duration for the collection of aerosol particles at a melt temperature of 2000°C.

Plans for future work

- Continuation of the release experiments in steam with samples of 150 g.
- Determination of the aerosol particle size distribution.
- Investigation of the chemical composition as a function of particle size.
- Preliminary experiments with melt masses of 1 - 3 kg (inactive) with inclusion of concrete.

06.01.12 Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete

06.01.12/09A Erosion of Concrete by Steel Melts- Investigation of the
PNS 4325 Melt Front Velocity
 (S. Hagen, H. Malauschek; IT)

Work performed

During the first half year of 1980 we have continued the development and testing of methods for the determination of the temperature distribution, the humidity behavior and the melt front propagation. In connection with the testing of the stability behavior of the crucible and a hood, suited for the gas measurements, we performed a series of 6 thermite melt experiments. 100 kg thermite was ignited in the cavern (40 cm \emptyset , 50 cm depth) of a concrete crucible of 60 cm diameter and a height of 100 cm.

Thermocouples, humidity counters and a combination of both in the form of a double detector were inbedded in the concrete with the help of different positioning methods. The double detector consists of a sheathed thermocouple and an additional electrode. The sheath of the thermocouple acts as the second electrode of the humidity counter.

In the scoping experiments of the influence by the induction heating on the melt propagation at AEG in Remscheid we have checked the functionality of thermocouples, humidity detectors and the ultrasonic method in the magnetic field.

Programs for the evaluation and the graphical representation of the measured values were developed.

We started the development of a photographic method for the measurement of the melt penetration in crucible cross sections.

Results obtained

Thermocouples, humidity detectors and double detectors allow the successful measurement of the temperature distribution, the humidity behaviour and melt front movement. Also in the magnetic fields of up to 70 Gauss we can use our detectors. Only the ultrasonic transducers had to be shielded with a watercooled copper coil to avoid some ripple on the measuring signal.

The temperature distribution shows a very steep gradient in front of the propagating melt ($1000\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{mm}$) and a slow temperature adjustment in longer distances from the frozen melt front (10 h in 400 mm distance).

In the thermite melting experiments we have measured axial penetration velocities between 0,3 and 1 mm/sec. The velocities above 0,6 mm/sec were founded only in experiments with additional induction heating. The radial penetration was in all cases slower.

The measurements with the humidity detectors show that in front of the penetrating melt we have a region of enlarged humidity which is followed by a zone of dried concrete. After stopping of the melt penetration this two regions move into the concrete with decreasing velocity. For instance, the distance of 10 mm from the original cavern bottom is reached by the humidity maximum after 10 sec, by the drying front after 13 sec and from the melt after 22 sec. The distance of 100 mm was reached for a melt stopped at 30 mm, from the moisture maximum after 1200 sec and from the drying front after 2500 sec.

Plans for future work

The completion of the apparatus for the gravimetric calibration of the humidity counters was delayed by the non arrival of some components. After getting these parts we start testing the quantitative humidity measurements. For the economical measurement of the crucible cross sections a photogrammetric method will be developed.

06.01.12/10A Experiments on the Interaction of Steel Melts and Concrete
PNS 4323 (D. Perinić, R.Döbele, W.Höhn, B.Kammerer, W.D. Klotz,
H. Lukitsch, A.Mack, N.Paroth, D. Zimmerlin; IT)

Work performed

- Planning for the BETA test facility was continued.
- Work on the development and acquisition of the measuring technology for the plant was carried on.
- Preliminary tests were made with thermite melts for development and testing of the measuring technology and the crucible technology.
- Different sites and concepts for the hall were examined.
- Conversion work was carried out.

Results obtained

- Following the second tender for the BETA facility on bid had been received. Agreement was reached with the bidder concerning technical matters.
- The following progress was made in development and acquisition of the measuring technology: The periscope for the film and TV camera was ordered. The periscope cooler has been fabricated and accepted by the fabrication inspection service. Tender for the pyrometer periscopes was completed. The preliminary study on the immersion probe system was terminated. The tendering process was initiated.
- Eight tests were made with concrete crucibles and 100 kg of thermite masses in order to study and test the crucible design and the measuring technology.
- Various versions of the following plant components were investigated: sampling probes in the temperature range of 1500 - 2000 °C; safety devices against crucible rupture; mockup of the periscope head for film and TV camera; sealing and cap, respectively, and concrete crucible; twin immersion lances to measure the temperature of the melting bath. Different crucible

designs of variable concrete compositions and reinforcements were tested.

- As a comparison with the explosion-proof construction of the experimental hall other engineering concepts were examined such as light weight construction and, in connection with this question, alternative sites for the hall.
- Conversion work of the SASCHA facility has been terminated. The facility is available for test operation.

Plans for future work

- Placement of orders to an industrial firm for construction of the BETA facility.
- Acquisition of the measuring technology for the facility.
- Planning, preparation, performance and evaluation of tests for development of the measuring technology and the crucible technology.
- Continuation of detailed planning of the hall, start of construction work.

06.01.12/12A Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction of
PNS 4331 a Core Melt with Concrete
(M. Reimann, H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Work performed

- Programming of WECHSL in a version capable of restart.
- Conception of a transient concrete decomposition model and preparations for the inclusion in WECHSL.

Results obtained

For the use of the WECHSL code in a more general code system, i.e. the KESS system prepared by KWU in cooperation with IKE Stuttgart, it was necessary to prepare a WECHSL version capable of restart. This version was delivered to KWU for the inclusion in KESS. With KESS, the complete course of a core melt down accident can be computed. The use of WECHSL together with a containment code will allow to determine the time dependent pressurization of the containment.

Till now, WECHSL considers the case that both layers of the pool are liquid. As shown in computations for core melt down accidents, the pool temperatures decrease in a relatively short period of time close to the correspondent freezing temperatures of the layers. Consequently, crust formation will occur. To describe this phase, a transient heat conduction and concrete decomposition model is needed. A numerical solution of the transient energy equation in rotational symmetric coordinates and including change of phase was derived. Special care was taken to reach short computation times. At present, this model is included in WECHSL.

Plans for future work

- Further improvement of the physical models in WECHSL.
- Computations of simulation experiments and of core melt down accidents.

06.01.12/13A Development of Models for the Analytical Determination
PNS 4334 of Core Meltdown Accidents
(H. Alsmeyer, K. Dres, IRB)

Work performed

- Test and first operation of a laboratory device to prepare simulant materials for decomposing concrete.
- Assembly of an experimental apparatus for the time dependent heat transfer measurement during simulation experiments of the decomposing concrete.

Results obtained

- The laboratory device for the fabrication of materials simulating the decomposition of concrete under the influence of high temperatures was tested and operated. To build up the simulating material, different organic components have been used to simulate the silicate aggregate, where suitable non-aggressive materials were tested successfully.

- An experimental apparatus was built up to measure the heat transfer rate of a liquid pool to the decomposing concrete simulator. The heat transfer rate is determined from the gas flow rates developing from the decomposing simulator. The temperature of the liquid pool may be kept constant during the experiment by heating the pool, or may decrease according to the heat removal to the simulator. This option may be used to study the freezing processes of the liquid pool.

Plans for future work

Study of heat transfer and gas release in model experiments using the simulant materials of concrete, without freezing of the liquid pool.

Qualitative investigation of the freezing processes in the liquid pool in contact with the concrete simulators, using pool materials of various Prandtl-numbers.

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

06.01.14/08A Determination of the Iodine Species in the Exhaust Air of
PNS 4414 Boiling Water Reactors
(H. Deuber, LAF II)

Work performed

Continuous operation of radioiodine species samplers in the stack effluent of a boiling water reactor (BWR 3) during power operation jointly with the operator of the nuclear power plant.

Results obtained

In the first quarter of 1980, the detection limit for ^{131}I (ca. 10^{-14} Ci/m³) was exceeded during 11 weeks. For this period the following percentages of the ^{131}I species were obtained (averages of the weekly percentages):

percentage of elementary	^{131}I :	$38 \pm 6 \%$;
percentage of organic	^{131}I :	$53 \pm 7 \%$.

Thus the proportion of particulate ^{131}I was less than 10 %.

Plans for future work

Continuation of the measurements with radioiodine species samplers in the stack effluent of BWR 3. Initiation of corresponding measurements in all the exhausts of a BWR as soon as personnel can be disposed of for this purpose.

06.01.14/09A Development and Improvement of Exhaust Air Filters for
PNS 4415 Accident Conditions

(H.G.Dillmann, V.Rüdinger, H.Pasler, T. Tran Anh; LAF II)

Work performed

Investigations of effective loads of filter elements resulting from incidents in the annular room have been carried out. Earlier calculations of temperatures and radiation doses have been revised using new marginal conditions.

In view of the efficiency testing of HEPA-filters under incident or accident conditions the generation of special test aerosols and their subsequent SEM-analysis have been continued. The number of initial substances has been increased by addition of some high-melting, highly inert metal oxides, borides and carbides. Since SEM-analysis of particles smaller than 0,05 μm is difficult, supplementary TEM-analyses have been started testing several techniques of sample preparation. Furthermore, the different methods of aerosol analysis and sampling have been thoroughly investigated and evaluated in view of their suitability for measurement of mass concentration required to determine the filter efficiency. Studies are being made in order to find out the element specific analytical method best suited for the determination of the mass of aerosol samples deposited in the ng-range.

In the framework of activities on filter development a particulate filter prototype using metal fiber packs was manufactured and first efficiency tests were performed under normal operation conditions.

A report summarizing the results of the first test series on the structural integrity of commercial HEPA-filters has been completed. Preparations for the second test program have been started. In addition to the structural tests REM analysis of the filter papers have been carried out in view of the failure mechanisms.

In a first step towards construction of a facility for structural tests to be performed at high relative humidity and elevated temperatures the respective specifications have been worked out and a concept study was started.

Investigations into the HI removal behavior of sorption materials and the desorption characteristics of iodine are of interest with respect to an accident.

A procedure for the preparation of $H^{131}I$, which is necessary for such investigations, has been tested successfully.

Results obtained

Calculations proved that even in case of a strongly delayed start up of the exhaust air cleaning system after an accident involving high fission product release, high temperatures cannot be avoided due to the reduced air flow.

Analysis of aerosols generated showed relatively narrow particle size distributions, with D_{50} -values of cumulative number distributions ranging between 0.04 and 0.06 μm . Because of the low particle size necessary for filter testing only discontinuous techniques are applicable for the determination of aerosol mass concentrations.

For this purpose, a special impactor and, alternatively, "Nuclepore" filters were selected for sampling. With these two methods acceptable sampling times are obtained, in spite of extremely low concentrations in the downstream air ($0.1 - 1 \mu g/m^3$). Neutron activation analysis and special techniques of atomic adsorption and emission, respectively, seem to be suitable for the measurement of the quantities deposited.

First tests gave filter efficiencies of about 96 % at a linear air velocity of 0.5 m/s.

The filter paper is partly damaged by folding in the production process. The second test program, to be carried out again at room temperature and at low relative humidity, will concentrate on the structural integrity of other filter types unloaded and preloaded and on pressure drop characteristics. With the test facility to be built, structural tests should be possible at temperatures between $30^{\circ}C$ and $90^{\circ}C$, rel. humidity 100 % and at $300^{\circ}C$. The facility should also be designed for flow investigations.

Plans for future work

Calculations on the temperature reached in loaded filters

Work on the generation and analysis of test aerosols will be terminated and investigations of the behavior of aerosols in humid atmosphere are being prepared. Testing of the sampling techniques and analytical methods will start. A metal fiber filter, modified to increase filtration efficiency, will be tested.

Examination will start of the behavior of commercial HEPA-filters at high temperatures and humidities. The second test series on structural integrity is scheduled for the end of this year. The concept study for the test facility will be completed and questions related to the construction will be treated.

06.01.15/01A Development and Verification of Codes Describing the
PNS 4127 Dynamic Behavior of Containment Structures
 (R. Krieg, F.Eberle, B.Göller, G.Hailfinger, J.Kadlec; IRE)

Work performed and Results obtained

The investigations of BWR containment oscillations (German type 69) due to steam condensation in the pressure suppression system have been finished. A corresponding publication will be available very soon.

The investigations include

- the structural dynamics of the spherical containment shell described by the program SPERE-DYNA (closed form solution for special boundary conditions, consideration of a high number of oscillation modes),
- a high resolution stress analysis with the program SPHERE-STRESS (closed form solution for quasi static behavior, any boundary conditions),
- the fluid-structure interaction between containment shell and water pool of the pressure suppression system described by the program SING-S (Boundary Integral Equation Method for spherically shaped water pool):

As results so-called condensation scenarios are given. The containment stresses caused by these scenarios reach the allowed values. For an adequate containment design the condensation scenarios must be upper bounds of the anticipated condensation events which have been investigated on experimental basis.

The programs have been checked by several test problems, including condensation experiments in a cylindrical shell with a plane flexible wall (GKM II-tests).

The experimental investigation of the eigenoscillations of a cylindrical shell filled with fluid has been pursued. As a consequence of some shortcomings in first results, the clamping at the ground has been considerably improved. All the eigenfrequencies measured so far are smaller than the values calculated with the program SING-S.

Furthermore, detailed information about the design of PWR-containments have been collected.

Plans for future work

Begin with analysis of BWR containment oscillations due to earthquake loading. Further experimental investigations of the eigenoscillations of cylindrical shells filled with water. Discussions of the influences of imperfections. Continuation of the stress analysis program for PWR-containments.

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

06.02.01/06A Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant

PNS 4513 (Extraction)

(R.Avenhaus, K.Nagel, G.Weber; IDT)

Work performed

Methods for generating random sequences of large periods have been investigated. The aim was the application of these sequences in simulation procedures and their realisation on microprocessors.

Additionally studies in literature have been performed concerning the offgas handling at a large reprocessing plant.

Results obtained

The decision which procedure is generating good random numbers for our purpose has not yet been made.

Plans for future work

The chosen random number generators should be optimized for application in microprocessors.

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

06.03.01/05A Investigation of the Physical and Chemical Environmental
PNS 4812 Behavior of Pu, Am, Cm

(H.Schüttelkopf, M.Pimpl, H.Bailer, G.Hefner, J.Hiller; HS)

Work performed

1. The development of an analytical method for the determination of Am and Cm in environmental samples was performed. The development of an automated separation of Pu, Am and Cm by means of HPLC was continued.
2. The releases of Pu with gaseous and liquid effluents of the Karlsruhe reprocessing plant were measured monthly.
3. At 6 positions alongside the Old Rhine River water samples were taken continuously. Plutonium was determined in biological samples e.g. plants and fish. Soil samples taken in the environment of the Karlsruhe reprocessing plant were analysed.

Results obtained

1. This simple analytical method allows the determination of Am and Cm in environmental samples with high chemical yield. Am and Cm were quantitatively leached from 100 g of ash, separated from the matrix elements in one chemical step, and then in a further step separated from the lanthanide elements. After electroplating Am and Cm were measured with α -spectrometry. The literature was investigated to survey the use of HPLC for the separation of inorganic cations of higher valence. A procedure for the reproducible separation of Pu, Am and Cm with an ionexchange column was performed. The next step - the separation of Pu, Am and Cm from the matrix of environmental samples with a suitable precolumn - can be started.

2. From May 1979 until June 1980 at 6 positions alongside the Old Rhine River water samples were collected with automated instruments. The plutonium-content in the monthly collected and combined samples was determined in suspended material and in filtrated water separately. Compared to the background caused by fallout the plutonium concentration in the water of the Old Rhine River immediately downstream of the point of discharge was five time higher at the maximum. Alongside the Old Rhine River downstream the plutonium concentration decreases rapidly; after 3,5 km only the fallout level was reached. The plutonium concentration of the filtrated suspended material showed the same location dependent behavior, however the concentration was twice as high as in water. In biological samples no significant enrichment of plutonium compared to reference samples could be observed.

Plans for future work

The development of an automated separation of Pu, Am and Cm by means of HPLC will be continued as well as the monthly measuring of the releases of Pu from the Karlsruhe reprocessing plant and the determination of the actinide concentrations in the environment of this plant. In addition to experiments to increase the mobility of actinides in soil, the measuring of transferfactors will be started

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

06.03.02/07A Investigation on the Atmospheric Dispersion of
PNS 4822 Radioactive Substances in the Mesoscale (≥ 15 km)
(W.Hübschmann, H.Schüttelkopf, P.Thomas, S.Vogt; HS)

Work performed

During the report period the radar equipment of the "Geophysikalischen Beratungsdienst" der Bundeswehr (MBVR-120) was not available; therefore no further tetron flights could be performed.

After further negotiations with a radar supplier the development of improved transponders and their manufacturing has been ordered. These transponders will be traceable not only by the MBVR-120, but also by a radar of the manufacturer,

which is rented for a time period starting in spring 1980.

Results obtained

Due to the delay in the development and manufacturing of the transponders on the one hand and the radar not being available on the other hand no further results have been gained.

Plans for future work

In the second half of 1980 further flights of tetroons equipped with passive radar reflectors are scheduled, as far as the radar equipment of the Amt für Wehrgeophysik, located at Neuhausen o.E., will be available.

06.03.02/08A Investigation on the Atmospheric Dispersion of Radioactive
PNS 4823 Substances in the Local Range (up to 15 km Distance),
 Source Height \geq 100 m

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

Work performed

During the report period five diffusion experiments have been performed. The tracer substance CF_2Br_2 and CF_1_3 have been emitted from the meteorological tower at the height of 160 and 195 m, respectively. After the first two experiments the tracers were exchanged. By that way the tracer of the lower detection limit (CF_2Br_2) could be applied at the highest emission height (195 m). The diffusion category was C during the first, and D during the following experiments. The last experiment has been performed in cooperation with a team of the Joint Research Center Ispra, which emitted the tracer SF_6 from the 195 m platform of the meteorological tower. The SF_6 -samples have been collected by the KfK personnel at the same - but not at all - locations of the KfK sampling. This test serves as a comparison of the tracer behavior and the evaluation techniques.

At the external measuring station at Stutensee the wind velocity profile has been registered, and the evaluation of the profile characteristics has been started.

Results obtained

Due to an agreement between KfK and KFA Jülich the experiments with the emission heights of 160 and 195 m have been reevaluated. Now the wind velocity measured at the emission height is to be used, whereas before the wind velocity had been averaged from ground up to the emission height.

The same procedure had been applied when preparing the common σ -curve family of the KfK and the KFA Jülich for the 100 m emission height. These curve families have been recommended to the consultant commissions for general application in the Federal Republic of Germany.

The evaluation of the wind velocity profiles measured in Stutensee during a time period of several months showed that the roughness length corresponds as expected to the roughness grade II (roughness length of about 30 m).

Plans for future work

The experiments with emission heights of 160/195 m are planned to be terminated in 1980. The field measurements in Stutensee will be continued.

06.03.02/09A Atmospheric Diffusion Models for Particular Meteorological
PNS 4824 Situations
 (W.Hübschmann, H. Schüttelkopf, P. Thomas, K.Nester,
 M.Becker; HS)

Work performed and Results obtained

An analysis of measured pollutant concentrations in air around power stations shows, that the maximum short-term concentrations are observed when light winds and strong convection (diffusion category A) are prevailing. This confirms the importance of the research on low wind velocity situations for the dispersion of atmospheric pollutants. The category A dispersion parameters of the KfK, if applied in dispersion calculations, resulted in calculated pollutant concentrations which corresponded well to measured ones even if the effective emission height was above 200 m, whereas the correspondence is worse when other parameters (Pasquill/Gifford, BNL of KFA Jülich) are applied.

Plans for future work

In the second half of 1980 the performance of some diffusion experiments with low wind velocity and emission heights up to 100 m is planned.

06.03.03/05A Investigation of the Radiological Consequences of
 /06A Reactor Accidents on a Probabilistic Basis
PNS 4831/32 (A.Bayer, K.Burkart, J.Erhardt, INR;
 W.Hübschmann, S.Vogt, HS)

Work performed and Results obtained

In the framework of the OECD/NEA sponsored CSNI working group "International Standard Problem for Consequence Modelling" calculations with the Karlsruhe consequence model were performed for part I "Comparison of the Atmospheric Dispersion Models". These results were evaluated together with those of the other 14 participating groups by KfK/PNS in Karlsruhe.

The calculations for phase A of the German Risk Study had to be revised on the basis of modified population data. The new results do not differ in their essential meaning from the original ones.

The results of the Risk Study phase A were presented to the Advisory Committee on Radioprotection as well as to the Advisory Committee on Reactor Safety.

Plans for future work

Within phase B of the Risk Study the individual submodels of the consequence model are revised on the basis of most recent developments. In the framework of the CSNI-working group the other submodels will be compared by calculation of specific standard problems.

Literaturnachweis

I. Veröffentlichungen

II. Primärberichte

1000

16. Halbjahresbericht / 2. Halbjahr 1979 des Projekts Nukleare Sicherheit, KfK 2850 (August 1980)

Fiege, A.:

Ergebnisse der Untersuchungen zum transienten Brennstabverhalten - Bewertung und Folgerungen zum weiteren Vorgehen.

1. GRS-Fachtagung über Reaktorsicherheitsforschung, Ergebnisse und Tendenzen, Köln, 29. - 30. Mai 1980

Hübschmann, W.; Bayer, A.; Burkhardt, K.; Vogt, S.:

On the extent of emergency actions for the protection of the public after accidental activity releases from nuclear power plants.

5th Internat. Congress of the Internat. Radiation Protection Association, Jerusalem, March 9-14, 1980

Jerusalem: Israel Health Physics Soc. 1980, Vol. II, S. 337-40

Hübschmann W.; Jacobi, W.:

Verbesserung der Modelle für die atmosphärische Ausbreitung radioaktiver Stoffe und deren Wirkung auf den Menschen.

1. GRS-Fachtagung über Reaktorsicherheitsforschung, Ergebnisse und Tendenzen, Köln, 29. - 30. Mai 1980

Hübschmann, W.; Vogt, S.:

The model of atmospheric diffusion and deposition adopted for the German Reactor Risk Study (phase A)

Europäisches Seminar über Radioaktive Ableitungen bei einem hypothetischen Reaktorunfall und ihre atmosphärische Ausbreitung, Risø, DK, 22. - 25. April 1980

Pimpl, M.; Schüttelkopf, H.:

Plutonium as a tracer for studies of settling processes in a slow body of running water.

4th Internat. Conf. on Nuclear Methods in Environmental and Energy Research, Columbia, Miss., April 14-17, 1980

Thomas, P.:

Atmosphärische Ausbreitungsversuche am Kernforschungszentrum Karlsruhe.
Europäisches Seminar über Radioaktive Ableitungen bei einem hypothetischen
Reaktorunfall und ihre atmosphärische Ausbreitung, Risø, 22.-25. April 1980

Vogt, S.:

Sensitivitätsanalyse des meteorologischen Modells der DRS.
Europäisches Seminar über Radioaktive Ableitungen bei einem hypothetischen
Reaktorunfall und ihre atmosphärische Ausbreitung, Risø, 22.-25. April 1980

Weber, G.:

Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Fehlerbaumanalyse und Störfallanalyse
am Beispiel des Photometer-Leitfähigkeits-Meßstandes, KfK 2909 (Febr. 1980)

Bayer, A.; Burkart, K.; Horsch, F.; Hübschmann, W.; Schückler, M.;

Vogt, S.; Jacobi, W.; Paretzke, H.; Trott, K.R.:

Das Unfallfolgenmodell der deutschen Risikostudie Kernkraftwerke.
Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980, Berlin, 25.-27. März 1980.
Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 323-26

Bayer, A.; Burkart, K.; Horsch, F.; Hübschmann, W.; Schückler, M.;

Vogt, S.:

Accidental risk assessment in the German Reactor Safety Study.
Annual Nat. Meeting of the American Nuclear Society, Las Vegas, Nev.,
June 8-13, 1980
Transactions of the American Nuclear Society, 34 (1980) S. 442-44

Heuser, F.W.; Bayer, ;.:

Zwischenbilanz der Reaktorsicherheit.
Grundzüge und Ergebnisse der Deutschen Risikostudie.
Atomwirtschaft-Atomtechnik, 25 (1980), S. 46-51

Bocek, M.; Hoffmann, M.:

Creep rupture at superimposed non-stationary stress and temperature loading.

Journal of Nuclear Materials, 89 (1980) S. 62-70

Hofmann, P:

Einfluß von flüchtigen Spaltprodukten auf die Verformung und Standzeit von Zircaloy-Hüllrohren bei simulierten Störfalltransienten.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980, Berlin. 25-27. März 1980

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980, S. 610-13

Hofmann, P.:

Corrosion induced failure of internally pressurized zircaloy tubes at high temperatures.

European Symp. on 'The Interaction between Corrosion and Mechanical Stress at High Temperatures', Petten, NL, May 13-14, 1980

Lehning, H.; Müller, K.; Piel, D.; Schmidt, L.:

Berstversuche an Zircaloy-Hüllrohren unter kombinierter mechanisch-chemischer Beanspruchung (FABIOLA).

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980.

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S.231-34

Zimmermann, H.:

Untersuchungen zum Spaltgasverhalten in LWR-Brennstäben bei Kühlmittelverluststörfällen.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980.

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 243-46

Zimmermann, H.:

Investigations on fission gas behaviour in LWR fuel rods under LOCA conditions.

Enlarged Halden Programme Group Meeting 1980, Lillehammer, N,
June 1-6, 1980

Frank, R.; Reimann, J.; John, H.:

Mass flow rate and quality measurements with a venturi nozzle and a turbine meter in steam-water flow.

European Two-Phase Flow Group Meeting, University of Strathclyde,
Glasgow, GB, June 3 - 6, 1980

Ihle, P.; Rust, K.:

Einfluß der Stababstandshalter auf den Wärmeübergang in der Flutphase eines DWR-Kühlmittelverluststörfalles.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980.

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 145-48

Ihle, P.; Müller, St.:

Transient two-phase flow conditions in heated rod bundles.

ANS Topical Meeting on Thermal Reactor Safety, Knoxville, Tenn.,

April 8 - 11, 1980

Müller, U.; Reimann, M.; Alsmeyer, H.:

WECHSL, a computer code describing molten LWR core interaction with concrete.

Lecture pres. to a Committee of the Japan Atomic Safety Research Association, Sept. 20, 1979 (in engl. Sprache)

Gen An Kyo. Dayori 54 (1980), No. 2, S. 3-10. (in jap. Sprache)

Reimann, M.:

The erosion behavior of different concrete types interaction with a core melt.

ANS Topical Meeting on Thermal Reactor Safety, Knoxville, Tenn.

April 8 - 11, 1980

Wiehr, K.; Erbacher, F.; Neitzel, H.J.:

Einfluß eines kalten Regelstabführungsrohres auf das Verformungsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren in der Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980
Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 235-38

Albrecht, H.; Matschoß, V.; Wild, H.:

Untersuchungen zur Aktivitätsfreisetzung beim LWR-Kernschmelzen.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980
Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 315-18

Malinauskas, A.P.; Lorenz, R.A.; Albrecht, H.; Wild, H.:

LWR source terms for loss-of-coolant and core melt accidents.

2. CSNI Specialist Meeting on Nuclear Aerosols in Reactor Safety,
Gatlinburg, Tenn., April 15-17, 1980

Caldarola, L.:

Grundlagen der Booleschen Algebra mit beschränkten Variablen.

KfK-2915 (Febr. 80)

EUR-6405d (Febr. 80)

Caldarola, L.:

Coherent systems with multistate components.

Nuclear Engineering and Design, 58 (1980)

S. 127-39

Hailfinger, G.; Krieg, R.; Eberle, F.; Kadlec, J.:

Beschreibung gekoppelter fluid-strukturdynamischer Probleme mit Hilfe des Computerprogramms SING-S.

Rechenbeispiele für Platte, Kugelschale und Zylinderschale.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980
Kerntechnische Ges. e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 173-76

Kedziur, F.:

Untersuchung einer Zweiphasen-Düsenströmung und Überprüfung verschiedener Rechenprogramme anhand der experimentellen Ergebnisse.

KfK-2946 (März 1980)

Dissertation, Univ. Karlsruhe 1980

Raff, S.; Meyder, R.:

Entwicklung und Verifizierung eines Deformations- und Berstmodells für Zry-4 unter Kühlmittelverluststörfallbedingungen.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.-27. März 1980

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 247-50

Sengpiel, W.; Borgwaldt, H.; Meyder, R.:

Probabilistische Untersuchungen des Verhaltens von Brennstab-Bündeln beim Kühlmittelverluststörfall (KMVS).

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25. - 27. März 1980

Kerntechnische Ges. e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 255-58

Sengpiel, W.; Borgwaldt, H.:

Probabilistic analysis of PWR fuel behaviour during a LOCA using the response surface method.

ANS Topical Meeting on Thermal Reactor Safety, Knoxville, Tenn.,

April 8 - 11, 1980

Karb, E.; Prüßmann, M.; Sepold, L.:

In-pile-Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall.

Bericht über die Versuchsserie F.

KfK-2956 (Mai 1980)

Karb, E.H.:

In-pile tests at Karlsruhe of LWR fuel-rod behaviour during the heatup phase of a LOCA.

Nuclear Safety, 21-1 (1980) S. 26-37

Bunz, H.; Schöck, W.:

Berechnung des Aufbaus der partikelförmigen Aktivität im Containment beim LWR-Kernschmelzen mit dem NAUA-Modell.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25. - 27. März 1980

Kerntechnische Ges.e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 319-22

Bunz, H.; Schöck, W.:

The natural removal of particulate radioactivity in an LWR-containment during core meltdown accidents.

ANS Topical Meeting on Thermal Reactor Safety, Knoxville, Tenn.,

April 8 - 11, 1980

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

Untersuchungen zur Optimierung des Filterkonzepts von Druckwasserreaktoren.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25.- 27. März 1980

Kerntechnische Ges. e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980. S. 880-83

Kämpfer, R.; Furrer, J.; Wilhelm, J.G.:

Betriebsverhalten und Auslegung von Aktivkohlefiltern zur Radiojodabscheidung in KKW.

Jahrestagung Kerntechnik 80. Reaktortagung 1980. Berlin, 25. - 27. März 1980

Kerntechnische Ges. e.V. Deutsches Atomforum e.V.

Eggenstein-Leopoldshafen:

Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik 1980, S. 876-79

Schreibmaier, J.; Matschoß, V.; Albrecht, H.; Mack, A.:

Herstellung von Kernbrennstoff mit simuliertem Abbrand (Fissium) an der Anlage FIFA.

KfK-2991 (Juni 80)

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 06.01.10 P 03A, 1980

P. Ihle, St. Müller:

Erfahrungen mit Dampf- und Wasserdetektions-Sonden für
transiente Tropfenströmung in heißen Stabbündeln

Primärbericht 06.01.10 P 03B, 1980

K. Rust, P. Ihle:

Wärmeübergang und Kühlmittelströmung beim Fluten blockierter
Anordnungen

Primärbericht 06.01.04 P 08D, 1980

W. Baumann:

Eingabebeschreibung und Benutzeranleitung für den amerikanischen
Zweiphasen-Code COBRA-IIIC

Primärbericht 06.01.02 P 06A, 1980

U. Schumann:

Schnittstelle zwischen den Fluid- und Strukturmodellen im Rechen-
programm FLUX2

Primärbericht 06.01.06 P 11A, 1980

E.H. Toscano, M. Bocek, C. Petersen:

The Prediction of Failure Strain for Zry-4 Subjected to Non-Stationary
Loading Conditions

Primärbericht 06.03.02 P 08A, 1980

W. Hübschmann, K. Nester:

Interpolation von Ausbreitungsparametern

Primärbericht 06.01.06 P 12A, 1980

P. Hofmann, C. Petersen, G. Schanz, B. Burbulla, F. Weiser:

Inpile-Experimente zum LWR-Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall
Teilbericht über den Nuklear-Versuch B1.6; Ergebnisse der zerstörenden
Nachuntersuchung (Metallographie)

Primärbericht 06.01.04 P 07D, 1980

W. Bernnat, W. Gulden, D. Lutz, A. Wörner:

Bericht über Arbeiten zum Projekt Nukleare Sicherheit des KfK für den
Zeitraum Oktober - Dezember 1979

Primärbericht 06.01.06 P 12B, 1980

S. Leistikow, H. v. Berg, R. Kraft, G. Schanz:

Untersuchungen zur Hochtemperatur-Wasserdampf-Oxidation von
Zircaloy-4-Hüllrohren

Primärbericht 06.01.08 P 03C, 1980

K. Wagner:

Vorläufige Nachrechnung des Inpile-Brennstabverhaltensversuches
A2.3 mit dem Programmsystem SSYST

Primärbericht 06.01.05 P 05A, 1980

P. Hofmann, H. Zimmermann:

Auswirkungen der Bestrahlungsvorgeschichte auf den Zustand von Spaltgasen
und leicht flüchtigen Spaltprodukten im abgebrannten Brennstoff

Primärbericht 06.01.06 P 11C, 1980

P. Hofmann, C. Petersen, G. Schanz, B. Burbulla, F. Weiser:

Inpile-Experimente zum LWR-Brennstabverhalten beim Kühlmittelverlust-
störfall

Teilbericht über den Nuklear-Versuch B 3.1; Ergebnisse der zerstörenden
Nachuntersuchung (Metallographie)

Primärbericht 06.01.02 P 06B, 1980

U. Schumann:

Homogenized Equations of Motion for Rod Bundles in Fluid with
Periodic Structure.

Primärbericht 06.01.01 P 05B, 1980

U. Schumann, H. Knüppel, A. Ludwig:

Vorausrechnung der HDR-Blowdown-Versuche V29,2, V30, V31 mit FLUX2/
CYLDY3

Primärbericht 06.01.01 P 05C, 1980

U. Schumann, H. Knüppel, A. Ludwig:

Vorausrechnung der HDR-Snapback-Versuche V59 mit FLUX2/CYLDY3

Primärbericht 06.01.06 P 12D, 1980

P. Hofmann, C. Petersen, G. Schanz, B. Burbulla, F. Weiser:

Inpile-Experimente zum LWR-Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall
Teilbericht über den Nuklear-Versuch B 1.3; Ergebnisse der zerstörenden
Nachuntersuchung (Metallographie)

Primärbericht 06.01.17 P 02A, 1980

R. Pejsa:

Hochkonverter - Studie über Hüllmaterialauswahl

Primärbericht 06.01.01 P 05A, 1980

E. Erb, P. Philipp, E. Wolf:

Spannvorrichtung für die HDR-Snap-back-Versuche

Primärbericht 06.01.06 P 11E, 1980

M. Jamil:

Elastic stress analysis of compound hollow cylinders with interlayer stresses

Primärbericht 06.01.06 P 13D, 1980

Inpile-Experimente zum LWR-Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall

Teilbericht über den Nuklear-Versuch B 3.2; Ergebnisse der zerstörenden Nachuntersuchung (Metallographie)

Primärbericht 06.01.08 P 03A, 1980

W. Legner, A. Grünhagen, M. Prüßmann:

Inpile-Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall

Meßdaten der Versuche F 1 bis F 5

Primärbericht 06.01.08 P 03B, 1980

W. Legner, R. Heine, W. Leiling, L. Sepold:

Inpile-Experimente zum Brennstabverhalten beim Kühlmittelverluststörfall

Vorbestrahlungsdaten der Versuchsstäbe

Primärbericht 06.01.07 P 06A, 1980

T. Vollmer:

Wärmeleitrechnungen für einen blähfähigen Simulationsbrennstab

SIM mit Quarzglasringpellets

Blowdownversuchsanlage COSIMA

Primärbericht 06.01.01 P 05D, 1980

K.H. Bechler, G. Enderle:

Vorausrechnung der HDR-Blowdown-Versuche V29.2, V30, V31 mit
FLUST.

Primärbericht 06.01.02 P 06C, 1980

Clovis Sperb de Barcellos:

Eigen-oscillations of a PWR-Core Barrel
Computed by a Ring Type of Finite Element Program
CYLDYFE

Primärbericht 06.01.10 P 03C, 1980

P. Ihle, M. Politzky, K. Rust:

FEBA - Flooding Experiments with Blocked Arrays
Heat Transfer in Partly Blocked 25-Rod Bundle

Primärbericht 06.01.01 P 06A, 1980

K.D. Appelt, F. Eberle, J. Kadlec, G. Lang, P. Philipp:

Qualifikationsuntersuchungen der piezoelektrischen Beschleunigungs-
aufnehmer Typ A 52 F

Primärbericht 06.03.02 P 09A, 1980

W. Hübschmann, K. Nester, P. Thomas, S.Vogt:

Radioaktive Freisetzungen und deren Ausbreitung in der Atmosphäre
nach einem hypothetischen Reaktorunfall
Seminar der Europäischen Kommission in Risø, Dänemark, 22./25. April 1980

Primärbericht 06.02.01 P 05A, 1980

B. Dorr:

Physikalisch-chemische Bedingungen zur Einleitung von Explosionen in
Wiederaufarbeitungsanlagen.

Primärbericht 06.01.04 P 12A, 1980

L. Perneczky:

BRUCH-D-06

Übernahme des Rechenprogramms BRUCH-D-06 zur Analyse von LOCA- und
ATWS-Störfällen bei Druckwasserreaktoren oder bei Versuchskreisläufen

Primärbericht 06.01.06 P 11G, 1980

M. Bocek:

The Life Time and Failure Strain Prediction for Material Subjected to Non Stationary Tensile Loading Conditions. Applications to Zircaloy-4.

Primärbericht 06.01.06 P 15A, 1980

D. Piel:

Berührungslose on-line Dehnungsmessung bei Zircaloy-Hüllrohr-Berstversuchen durch ein Video-System mit Rechnerkopplung.

Primärbericht 06.01.15 P 01A, 1980

B. Göller:

Einfluß eines inneren Überdruckes auf das Verhalten dünner Zylinder- und Kugelschalen.

Primärbericht 06.01.07 P 06C, 1980

F. Brüderle, K. Hain:

Die Teststrecke der Blowdown-Versuchsanlage COSIMA Ausführung, Instrumentierung und Anrißlastwechselzahl der Hochdruck-heißwasserstrecke bei den vorliegenden extremen Temperaturänderungsgeschwindigkeiten.

Primärbericht 06.03.03 P 06A, 1980

J. Ehrhardt:

Überlegungen zu einem Kostenmodell innerhalb des Unfallfolgenmodells der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke.

Primärbericht 06.01.04 P 11B, 1980

K.H. Bechler, W. Olbrich:

RELAPPLT, ein REGENT-Subsystem zur graphischen Auswertung und 2-dimensionalen Darstellung von RELAP-Plotdaten mittels GIPSY.

Primärbericht 06.01.02 P 06E, 1980

F. Katz:

DRIX-2D-Untersuchung zur Strömung von Wasser-Luftgemisch mit T-förmigen Plattenkanal.

Primärbericht 06.01.04 P 11A, 1980

W. Sengpiel, H. Borgwaldt:

Probabilistic Analysis of PWR Fuel Rod Behaviour During a LOCA Using
the Response Surface Method

Primärbericht 06.01.08 P 03D, 1980

L. Sepold:

Bericht über das "Topical Meeting on Thermal Reactor Safety" im
April 1980 in Knoxville, Tenn. (USA)

Primärbericht 06.01.01 P 05E, 1980

F. Katz, U. Schumann, H. Knüppel:

Vorausrechnung des HDR-Blowdown-Versuches V31 mit DRIX-FLUX-CYLDY3