

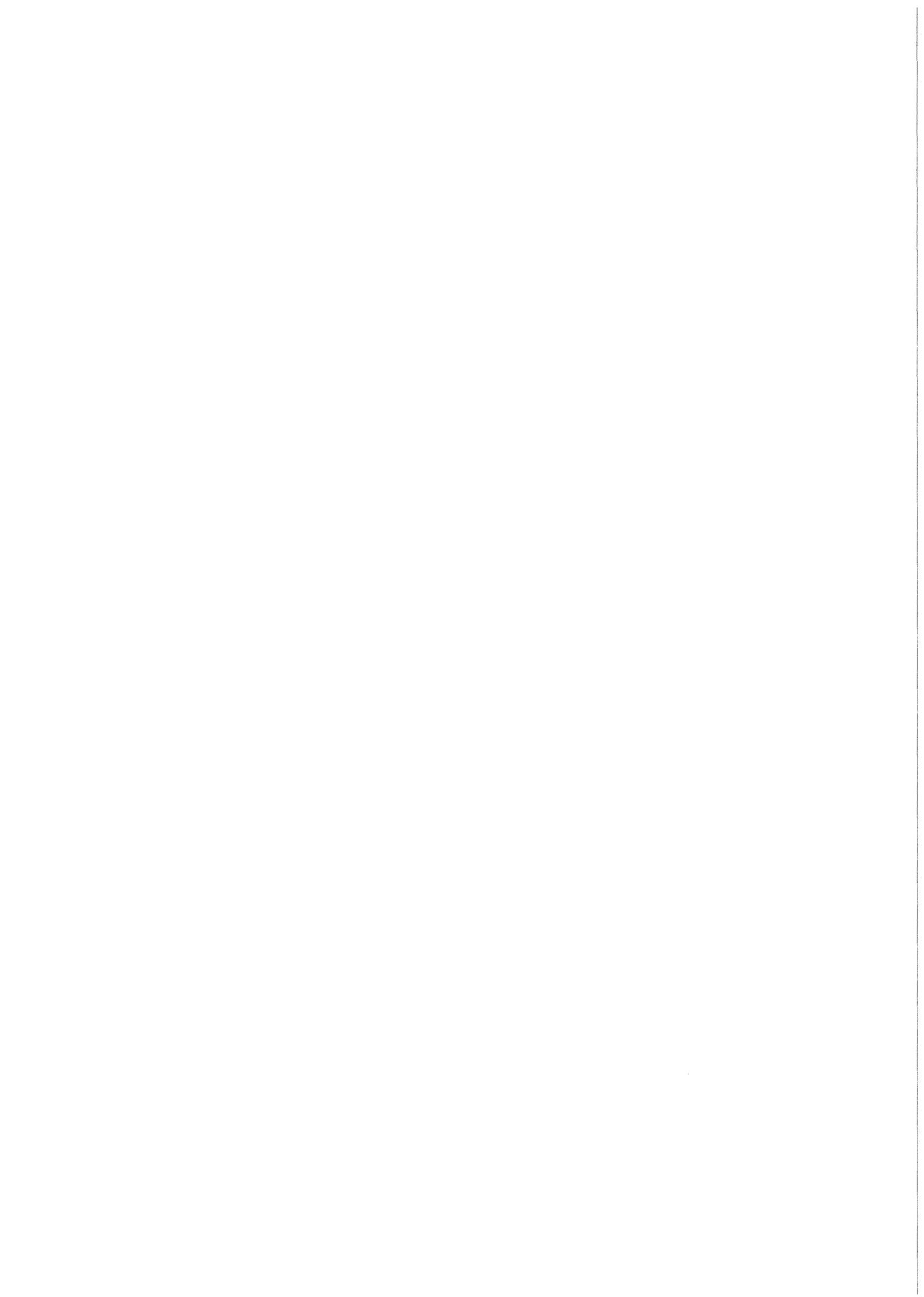
KfK 4050
November 1985

Projekt Nukleare Sicherheit

Tätigkeitsbericht 1. Halbjahr 1985

Projekt Nukleare Sicherheit

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 4050

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

Tätigkeitsbericht 1.Halbjahr 1985

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

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
Entwicklungsabteilung Kernmaterialsicherung	EKS

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

Der vorliegende Tätigkeitsbericht für das 1. Halbjahr 1985 beschreibt die Fortschritte der Arbeiten des PNS, die von den Instituten und Abteilungen der KfK und den im Auftrag der KfK arbeitenden externen Institutionen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit durchgeführt werden, in Kurzfassungen (deutsch und englisch). Es wird in diesen Berichten über

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

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

NUCLEAR SAFETY PROJECT

FIRST SEMIANNUAL REPORT 1985

The semiannual progress report 1985/1 is a description of work within the Nuclear Safety Project performed in the first six month of 1985 in the nuclear safety field by KfK institutes and departements and by external institutions on behalf of KfK. The chosen kind of this report is that of short summaries, containing the topics

- work performed
- results obtained
- plans for future work

This report was compiled by the project management.

TRANSLATION OF THE GERMAN REPORTS

		<u>Seite</u>
<u>06.01.16</u>	Untersuchungen zu schweren Kernschäden	9
06.01.16/29A PNS 4254	Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren bei langsamen Transienten und schweren Kernschäden	9
06.01.16/28A PNS 4253	Mechanisches und chemisches Verhalten von Zircaloy-4-Hüllrohren und UO_2 -Brennstoff bei hohen Temperaturen	10
06.01.16/26A /27A PNS 4251.1/2	Out-of-pile Bündelexperimente für die Untersuchung schwerer Kernschäden (CORA)	12
06.01.16/25A PNS 4250	Langzeitkühlung im stark beschädigten Core (COLD)	13
06.01.16/30A PNS 4256	Entwicklung eines Rechenprogrammes zur Beschreibung der Oxidation von Zircaloy-Hüllrohren	15
<u>06.01.17</u>	Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener Druckwasserreaktoren (FDWR)	16
06.01.17/21A PNS 4240	Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter, hexagonaler Stabbündel	16
06.01.17/22A PNS 4242	Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs und der Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von Stahlhüllrohren	17
06.01.17/23A PNS 4243	Oxidationsverhalten von Edelstahl-Hüllrohren in Wasserdampf	17
06.01.17/24A PNS 4244	Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerkstoffen für FDWR	18

PNS-Teilprojekt 4300 - Ablauf und Beherrschung von LWR-Kern-
schmelzenunfällen

<u>06.01.11</u>	Reaktions-, Freisetzung- und Aerosolverhalten beim Kernschmelzen	20
06.01.11/35A PNS 4311	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spalt- produkten und Aerosolen in LWR-Containments	20
06.01.11/36A PNS 4314	Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien beim Coreschmelzen	21
06.01.11/39A PNS 4326	Untersuchungen zum Transport-, Freisetzungs- und Rückhalte Mechanismus für Spaltjod bei Reaktorstörfällen	22
<u>06.01.12</u>	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahl- schmelzen mit Beton	24
06.01.12/35A PNS 4325	Ausbreitung von Stahlschmelzen in Beton, Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung	24
06.01.12/36A PNS 4331	Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung einer Kernschmelze mit Beton	25
06.01.12/37A PNS 4334	Modellentwicklung zur analytischen Beschreibung von Kernschmelzenunfällen	26

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

<u>06.01.14</u>	Abluftfilterung an Reaktoren	28
06.01.14/23A PNS 4414	Untersuchungen zum Auftreten und zur Abschei- dung von penetrierenden Iodverbindungen in der Abluft von Kernkraftwerken	28
6.01.14/24A PNS 4415	Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern für Störfallbedingungen	29

		<u>Seite</u>
06.01.14/25A PNS 4416	Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter hoher Temperatur, Luftfeuchte und erhöhtem Differenzdruck	30
06.01.14/26A PNS 4418	Untersuchungen zur Abscheidung von Iod an Sorptionsmaterialien bei Bränden	32
06.02	SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUF- ARBEITUNGSANLAGEN	
<u>PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung</u>		
<u>06.02.01</u>	Störfallanalysen für die große Wiederaufar- tungsanlage (WAA)	34
06.02.01/13A PNS 4513	Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der Wiederaufarbeitungsanlage	34
06.03	EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN	
<u>PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkung und Beseitigung freigesetzter nuklearer Schadstoffe</u>		
<u>06.03.01</u>	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	35
06.03.01/13A PNS 4812	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	35

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktorkomponenten
unter Störfallbedingungen

06.01.15/08A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes zur
PNS 4127 Analyse der dynamischen Spannungen und Verformungen
von LWR-Containments
(R. Krieg, B. Göller, G. Hailfinger, J. Kadlec, F. Eberle,
G. Messemer, E. Wolf; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Das Rechenprogramm ROTMEM wurde angewendet, um - nach den Ronden - weitere Schwachstellen des Sicherheitsbehälters zu untersuchen. Der Sicherheitsbehälter stößt nach einer Aufweitung von 0.1 m radial gegen einen Doppel-T-Träger, der sich im Ringraum befindet. Rechnungen hierzu ergaben, daß der Träger versagt, lange bevor im Sicherheitsbehälter bedenkliche Beanspruchungen auftreten. Einzelne Stutzen stoßen nach einer Aufweitung des Sicherheitsbehälters von 0.1 mm gegen die umgebenden Betonstrukturen. Rechnungen für diesen Fall zeigten, daß hierdurch der Versagensdruck des Sicherheitsbehälters nur geringfügig auf 15.1 bar reduziert wird. Für all diese Rechnungen wurden gemessene Materialeigenschaften benutzt, die um rund 30% besser waren als die für dieses Material spezifizierten (Norm)-Werte. Mit ROTMEM durchgeführte Rechnungen ergaben, daß der Versagensdruck nur unwesentlich reduziert wird, solange nur kleine Teile (ca. 6 m \emptyset) des Sicherheitsbehälters aus dem schlechteren Material mit den spezifizierten Kennwerten bestehen.

Die Maschine zur Untersuchung des Modelles der HV-Verschraubung im Sicherheitsbehälter befindet sich in der Endphase der Teilefertigung.

Die Fertigung der formgenauen Kugelschale wurde beendet.

Die bei den Druckpulsationen in der Fluidvorlage beobachteten Diskrepanzen konnten geklärt werden. Durch Umsetzen und Umspannen des zylindrischen Tanks hatten sich ungewollt die Einspannbedingungen geändert, was zu den paradoxen Ergebnissen verschiedener Meßreihen führte. Ferner ergab sich, daß die Berücksichtigung der Unrundheit des zylindrischen Tanks in den Fluid-Struktur-Rechnungen einen großen Einfluß auf die Form und die Amplitude der dynamischen Verformungen hat.

Geplante Weiterarbeit

Um das Versagen des Sicherheitsbehälters an einer viereckigen Verdickung zu untersuchen, werden entsprechende Membranversuche durchgeführt. Zur Klärung der Frage, ob der sich im Ringraum des Containments befindende Doppel-T-Träger ein Loch in den sich verformenden Sicherheitsbehälter stanzen könnte, wird ein entsprechender Modellversuch durchgeführt. Die Rechnungen zum quasi-statischen Innendruckversagen werden abgeschlossen.

Die Maschine zur zweiachsigen Beanspruchung der Schraubverbindung wird gefertigt. Die formgenaue Kugelschale ist fertiggestellt. Nach einer genauen Vermessung der Form und der Wanddicken wird die Modalanalyse in Angriff genommen, zunächst am perfekten Modell, dann am Modell mit gezielt angebrachten Imperfektionen. Parallel beginnt die Entwicklung eines Rechenprogramms zur analytischen Untersuchung des Einflusses von Imperfektionen. Ferner ist geplant, eine Erdbebenanregung auf einem Shaker-Tisch zu simulieren. Nach Abschluß der dynamischen Untersuchungen soll das Modell für experimentelle Stabilitätsuntersuchungen benutzt werden. Hierzu sind noch geeignete Verfahren zu ermitteln.

06.01.19/04A Thermoermüdung und Thermoschockverhalten von
PNS 4160 Reaktorkomponenten
(K. Bethge, D. Munz, H. Stamm; IMF IV)

Durchgeführte Arbeiten

Experimentell: Die Versuche zur Ermittlung von Ermüdungsrißwachstumsparametern unter mechanischer Schwingwechselbelastung (sinusförmig und mit einer dem Thermoschockversuch angepaßten Belastungsfunktion) an Kompaktproben nach ASTM-E 647 wurden fortgesetzt (Werkstoff 20 MnMoNi 55) und in der Belastungsfrequenz auf die Thermoermüdungsversuche abgestimmt (0,2 Hz und 1/15 Hz). Die Thermoermüdungsversuche in den Anlagen THESPA I und II wurden ebenfalls fortgesetzt. Theoretisch: Die abgeschlossenen Thermoermüdungsversuche wurden ausgewertet. Der Einfluß der Temperaturabhängigkeit der Materialparameter (elast. Konstanten usw.) auf die Rißausbreitungsvorhersage wurde ermittelt. Das Verhalten von plattierten Komponenten unter zyklischer thermischer Belastung wurde an einem einfachen, elastisch plastischen Modell untersucht.

Erzielte Ergebnisse

Die Experimente an den Kompaktproben im Wasserbad ergaben wachsende Rißgeschwindigkeiten mit abnehmender Frequenz (20 Hz - 1/15 Hz) in einem den Thermoermüdungsversuchen entsprechenden Bereich der zyklischen Spannungsintensität ΔK . Bei allen thermisch ermüdeten Plattenproben wurde ein deutlicher Rißfortschritt entlang der gesamten Rißfront beobachtet (sowohl in ferritischem als auch austenitischem Stahl). Die Vorhersage des Rißfortschritts mit Rißwachstumsparametern aus mechanischen Versuchen mit entsprechenden Zykluszeiten erbrachte eine gute Übereinstimmung mit dem Experiment. Bei den thermischen Untersuchungen zum zyklischen Verhalten von plattierten Komponenten wurde das sog. "Bree Problem" für zahlreiche verschiedene Materialkombinationen gelöst.

Geplante Weiterarbeit

- Fortsetzung des Aufbaus einer Anlage für kombinierte Belastung (Thermoschock und Biegung).
- Weitere Thermoschockversuche an verschiedenen Materialien und an plattierten Proben .
- Ausdehnung der Untersuchungen an Kompaktproben auf austenitische Stähle.
- Entwicklung fraktographischer Untersuchungsverfahren im Hause.
- Theoretische Untersuchungen zum Rißausbreitungsverhalten im shakedown Bereich von plattierten Bauteilen.

06.01.21/06A Thermo- und fluiddynamische Analysen von
07A /08A LWR-Störfällen

PNS 4270-72 (G. Jacobs, K. Rehme, M. Dalle-Donne, H. Borgwaldt, W. Baumann,
G. Willerding, S.H. Mansoor, C. Ferrero, P. Cigarini; INR)

Durchgeführte Arbeiten

Die blinde Vorausrechnung des Versuchs LOBI/MOD2/A2-81 mit RELAP5/MOD1 wurde termingerecht durchgeführt. Das neue Programm RELAP5/MOD2/36 wurde auf der CRAY X-MP der KFA Jülich installiert.

Vom ANL wurde eine revidierte Version von COMMIX-1B (Stand April 1985) übernommen. Für die Plot-Ausgabe wurde, neben den Vektorfeldern und Isothermen, als letzte Option die Darstellung von Transienten implementiert. Ferner wurde die Plot-Ausgabe über das Plotsystem DISSPLA am graphischen Arbeitsplatz

(TELECTRONICS 618) realisiert. Die von Bottoni, IRE, im ANL entwickelte Pilot-Version von COMMIX-2 wurde strukturell reorganisiert und vereinfacht. Zur Analyse der Programm-Struktur während der Reorganisation wurde ein Programming-Tool OBJXREF entwickelt und eingesetzt. Die Turbulenz-Modelle der aktuellen COMMIX-1B Version wurden in COMMIX-2 eingebracht. Der Code BODYFIT-1FE wurde mit dem neuen FORTRAN-77-Compiler der CYBER-205 neu kompiliert und auf Konsistenz mit der früheren Kompilation überprüft.

Die HDR Vorversuche T32.15, T32.17 und T 32.18 wurden mit COMMIX-1B bis ca. 20 s Problemzeit voraus - bzw. nachgerechnet mit dem $k-\epsilon$ Turbulenzmodell und der 'Skewed-Upwind-Differencing'-Option. Die Rechnungen wurden teilweise mit der revidierten Version wiederholt.

Für die FDWR-Anwendungen wurden die Verdampfungs- und Kondensationsmodelle sowie die Finite-Differenzen-Form der Impulsgleichungen in RELAP5/MOD1 verbessert. Außerdem wurden neue Druckverlustbeziehungen implementiert, die den gesamten Re-Bereich für FDWR-Geometrie abdecken. Die Korrelationen sind bereits geprüft.

Berechnungen der Wiederauffüll- und Flutphase nach einem Kühlmittelverluststörfall für einen DWR und einen FDWR nach KfK-INR-Konzept wurden mit dem Code FLUT durchgeführt. Rechnungen mit FLUT, die Ergebnisse von RELAP5 am Ende der Druckentlastungsphase als Randbedingung verwenden, sind in Vorbereitung.

Erzielte Ergebnisse

Ein erster Vergleich der ISP18-Rechenergebnisse mit den experimentellen Daten hat ergeben, daß der Gesamtmassenstromverlust durch das Leck in der Rechnung ca. 35% größer ist als im Experiment. Die Rechnung ergibt daher einen schnelleren Druckabbau und einen größeren Voidanteil im Primärsystem, sowie eine Verschiebung der Energieabfuhr von der Sekundärseite zum Leck.

Die Restrukturierung von COMMIX-2 führte zum Wegfall von ca. 600 Fehlermeldungen des FORTRAN77-Compilers. Die in COMMIX-2 eingebrachten Turbulenzmodelle sind im Teststadium.

Im Vergleich mit den HDR-Experimenten liefern die COMMIX-1B Rechnungen weitgehend zufriedenstellende Ergebnisse; nicht für alle Meßstellen wurde eine gute Übereinstimmung erzielt. Die Konvergenzprobleme sind noch nicht völlig überwunden. Die Rechenzeiten sind groß.

Gegenüber früheren Rechnungen wurden mit der modifizierten RELAP5/MOD1-Version weitgehend stabilere Ergebnisse sowohl für DWR als auch für FDWR-Anlagen erreicht. Das Maximum des Druckanstiegs bei Hauptwärmesenkenausfall (ATWS) liegt für den FDWR mit 208 bar deutlich höher als beim DWR (185 bar), jedoch ist der FDWR-Wert niedriger als der Auslegungsdruck der Druckhaltersicherheitsventile. Aus den bisherigen Flutrechnungen ergibt sich, daß das Notkühlsystem eines DWR auch einen FDWR wiederauffüllen und benetzen kann. Genauere Quenchzeiten werden von den angelaufenen Rechnungen erwartet, die RELAP-Ergebnisse als Anfangsbedingungen haben.

Geplante Weiterarbeit

Abschluß der RELAP5-Rechnungen zum ISP18. Installierung von RELAP5/MOD2 auf der CYBER-205.

Weitere Optimierungsmaßnahmen an COMMIX-2, Anschluß des Plot-Pakets und Beginn der Vektorisierung für die CYBER-205. Übernahme der 'Skewed-Upwind-Differencing' Option von COMMIX-1B.

Vorausrechnung von HDR-Hauptversuchen mit COMMIX-1B.

Weiterführung der RELAP5-Rechnungen für den FDWR, Nachweis der Kühlbarkeit eines heterogenen FDWR-Kerns nach Wasserverluststörfall.

Einbringen neuer Beziehungen zur Druckverlustberechnung in FLUT-Nachrechnung der im IRB vorgesehenen Flutexperimente.

06.01.22/02A Untersuchungen zu transienten Austauschvorgängen in
PNS 4280 Zweiphasenströmungen (NOVA-Programm)
 (G. Class, F. Eberle, R. Meyder, G. Gering, G. Lang,
 P. Philipp, W. Sengpiel; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Neben einer Reihe von Experimenten an einphasigen Wasserströmungen, die der Überprüfung der Meßtechniken und der Untersuchung der Teststrecken- und Kreislaufeigenschaften dienten, sind erste Experimente an Luft-Wasser-Blasenströmungen mit relativ niedrigen Blasendichten durchgeführt worden. Die Auswertung dieser und der zukünftigen Experimente machte die Entwicklung von Rechenprogrammen zur Datenanalyse notwendig. Hierbei geht es besonders um die Separation der überlagerten Signale der Gas- und der Flüssigkeitsphasen aus den Messungen mit Heißfilmsonden, um turbulente Intensitäten und Turbulenzspektren bestimmen zu können. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen.

Im Zusammenhang mit der Einführung der Computertomographie sind Vorversuche durchgeführt worden, anhand derer die prinzipielle Eignung eines aus Miniatur-Geiger-Müller-Zählrohren bestehenden preiswerten Sensorsystems nachgewiesen werden konnte. Darauf aufbauend wurde eine Spezifikation der Röntgenanlage erstellt und die Ausschreibung gestartet.

Mit dem Rechenprogramm EFFP/TEACH sind eine Reihe von Testrechnungen durchgeführt worden, die die prinzipielle Brauchbarkeit des Programms zur Simulation disperser Zweiphasenströmungen nachwiesen. Bei einigen Rechnungen ergaben sich jedoch numerische Schwierigkeiten, deren Ursachen noch untersucht werden.

Geplante Weiterarbeit

Im zweiten Halbjahr 1985 werden die Zweiphasenexperimente weitergeführt. Außerdem beginnen die Konstruktionsarbeiten an einer erweiterten Teststrecke, die auch Experimente an abwärtsgerichteten Blasenströmungen erlaubt. Eine dafür vorgesehene entlang der Teststrecken verfahrbare und um die Rohrleitungen schwenkbare Meßplattform, die als Instrumententräger vor allem für die Computertomographie dienen wird, wird entwickelt.

Die theoretischen Arbeiten werden Verbesserungen des Lösungsalgorithmus des EFFP/TEACH-Codes einschließen. Die Modellentwicklungen (Turbulenzmodell für Blasenströmungen, Modell zur Beschreibung des Kutta-Joukowski-Effekts) werden fortgesetzt.

06.01.03/31A Untersuchung des transienten Verhaltens der TMFM-
PNS 4140 Ausführungen 2.5 und 50
 (J. Kadlec; IRE)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Fertigung der Einzelteile, Montage und Inbetriebnahme der Testanlage für die Messung der Frequenzgangfunktion der TMF-Ausführung 2.5.

Geplante Weiterarbeit

Messung der Übertragungscharakteristiken des TMF-Prototyps 2.5. Erarbeitung der Abschlußdokumentation.

06.01 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen

- 06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles
- 06.01.09/08A Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden
PNS 4238 Zircaloy-Hülle und einsetzender Kernnotkühlung
(REBEKA-Programm)
(K. Wiehr, F. Erbacher, U. Harten, W. Just, H.J. Neitzel,
P. Schäffner, E. Vogel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Weitere Einzelstabversuche an teilrekristallisierten Rohren.
- Auswertung des REBEKA-7 Bündelexperimentes.

Erzielte Ergebnisse

Das letzte Bündelexperiment REBEKA-7 wurde erfolgreich am 31. Oktober 1984 durchgeführt. Dieses Experiment wurde, ähnlich wie REBEKA-6, ohne Strömungs-umkehr zwischen dampfgekühlter Wiederaufheizphase und Flutphase gefahren. Alle 49 Brennstabsimulatoren wurden vor Versuchsbeginn mit 60 bar He-Innendruck beaufschlagt. Im Bereich der erwarteten Berststellen wurden nur sehr wenige Mantthermoelemente auf der Zry-4-Hülle aufgepunktet. Die Hauptmeßebeine für den Leistungsabgleich vor dem Experiment befand sich 150 mm unterhalb der axialen Bündelmitte.

Diese Maßnahmen ließen eine ungestörte und maximale Wechselwirkung der Zircaloyhüllrohre in einem Bündelverband und ein ähnliches Bild der axialen Hüllrohrverformungen und der Kühlkanalblockade wie bei REBEKA-6 erwarten. Das experimentell erzielte Ergebnis läßt sich wie folgt darstellen:

- In der 1850 mm Ebene gemessenen Hüllrohrtemperaturen zeigten über einen längeren Zeitraum in der Flutphase ein Temperaturniveau von etwa 800°C.
- Der Mittelwert der am nächsten zu den Berststellen gemessenen Hüllrohrtemperaturen lag bei 755°C.
- Durch Auswertung von axialen und azimutalen Temperaturverteilungen läßt sich eine mittlere Bersttemperatur von 790°C abschätzen.
- Starkes Absinken der Hüllrohrtemperatur in der 1850 mm Ebene in den letzten 10-15 Sek. vor dem Bersten. Negative Temperaturrampe: etwa -9 K/s.
(Einfluß von Spalt und Kühlung).

- In axial tiefer liegenden Bereichen fiel Hüllrohrtemperatur nicht, so daß diese axialen Bereiche wärmer wurden als höher liegende (geringerer Spalt zwischen Wärmequelle und Hülle).
- Folge: Hüllrohrverformung bei 1850 mm blieb stehen und tiefer liegende axiale Hüllrohrbereiche begannen sich zu verformen.
- Axiale Erstreckung stärker gedehnter Hüllrohrbereiche war größer als bei bisherigen REBEKA-Experimenten.
- Längste mittlere Verformungszeiten in der Flutphase von 40 Sekunden (verglichen mit früheren REBEKA-Experimenten).
- Bis auf 57 bar absinkender mittlerer Berstdruck.
- Mittlere Berstumfangsdehnungen von 55%.
- Höchste unter Flutbedingungen erreichte Kühlkanalversperrung von 66%.

Das Bild der vorliegenden Hüllrohrverformung und der daraus resultierenden Kühlkanalversperrung ist das Ergebnis der Wechselwirkung einer sich verformenden Hülle und der Kühlung.

Durch die gleichgerichtete Strömung in der Wiederaufheiz- und Flutphase hatte sich das Temperaturmaximum in den oberen Bereich zwischen den mittleren Abstandshaltern verschoben. Hier begann die Verformung. Die Kühlung in diesem Experiment war gerade groß genug, um die Verformung stoppen bzw. verlangsamen zu können, aber nicht zu groß, um tiefer liegende axiale, weniger verformte Hüllrohrbereiche deutlich abkühlen zu können. Diese Bereiche waren jedoch heiß genug und die Innendruckbelastung noch hoch genug, um nun auch verformen zu können.

Dieser negative Temperaturrückkopplungseffekt, der das Zusammenspiel ganz bestimmter Verhältnisse erfordert, führte im REBEKA-7 Experiment zu höheren Umfangsdehnungen über einen größeren axialen Bereich und damit auch zu der größten Kühlkanalversperrung, die in REBEKA-Bündelexperimenten mit Fluten erzielt wurde.

Geplante Weiterarbeit

- Weitere Auswertung und Dokumentation von REBEKA-7.
- Erstellung von Datenberichten.
- Abschlußbericht des REBEKA-Programms.

06.01.16 Untersuchungen zu schweren Kernschäden

06.01.16/29A Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren bei
PNS 4254 langsamen Transienten und schweren Kernschäden
 (S. Leistikow, I. Cambien, G. Schanz; IMF II

Durchgeführte Arbeiten

Parameterstudien zum Einfluß verminderten Dampfangebots und von Wasserstoffanteilen in Dampf auf die Oxidationskinetik und das mechanische Verhalten von Zircaloy-4: Auswertung experimenteller Untersuchungen bei 900 und 1000°C zum Oxidationsverhalten und zur Wasserstoffaufnahme von Zircaloy-4 in Gasgemischen aus Dampf, Wasserstoff und Argon. Aufnahme entsprechender Untersuchungen bei 1100 - 1300°C. Abschluß von Kriechberstuntersuchungen an Zircaloy-4 Rohrkapseln bei 100°C in Dampf, Dampf/Argon-Gemischen und Argon, sowie deren oxidationskinetische Auswertung.

Erzielte Ergebnisse

Die Reaktionsversuche in langsam strömendem Dampf zum Einfluß von Dampfmenge sind dokumentiert. Die entsprechenden oxidationskinetischen Versuche in Dampf/Wasserstoff/Argon-Mischatmosphären werden mit ersten Versuchen bei 1100-1300°C fortgeführt. Die Versuche bei 900 und 1000°C sind abgeschlossen und metallographisch ausgewertet, während die chemisch analytischen Ergebnisse noch nicht vorliegen.

Die metallographische Nachuntersuchung dieser Versuche hat ergeben, daß die Aufnahme von Wasserstoff zu Gefügeveränderungen im metallischen Kern des Hüllrohres führt. Demnach wird aus wasserstoffhaltigen Atmosphären Wasserstoff aufgenommen, während in Atmosphären ohne zudosierten Wasserstoff die Aufnahme entstandenen Wasserstoffs unter der Nachweisgrenze bleibt. Die Aufnahme wächst, in Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen für 800°C, mit abnehmendem Dampfangebot und mit zunehmender Reaktionsdauer. Für 900°C ist bei einem H_2/H_2O -Verhältnis von 1/1 und darüber Wasserstoffaufnahme nachweisbar. Für 1000°C, im Stabilitätsbereich der β -Phase, ist die Aufnahme weniger deutlich erkennbar. Stärkere Unterschiede im Ausmaß der Oxidation an der äußeren und der inneren Rohroberfläche lassen erkennen, daß der Dampf-Antransport aus der Atmosphäre als Einzelprozeß der Oxidationsreaktion an Bedeutung gewinnt.

Die Begrenzung der Reaktionsgeschwindigkeit beginnt im Rohrinnelementen wirksam zu werden und verstärkt ihren Einfluß mit abnehmendem Dampfgehalt der Atmosphäre

auch auf der Außenseite. Ein separater, spezifischer Einfluß von Wasserstoff auf die Oxidationskinetik (hydrogen blanketing) ist auch bei diesen Temperaturen nicht nachgewiesen worden.

In Ergänzung zum gegenwärtigen experimentellen Programm wurde grundsätzlich betrachtet, welche Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß schützenden Charakters vorhandener Oxidschichten und der Kinetik der fortgesetzten Oxidation bestehen. Außerdem wurde der Einfluß der Oxidation von Zircaloy-4 im Verlauf eines Kühlmittelverlust-Störfalles im Vergleich zu bestehenden Genehmigungskriterien und vorgeschlagenen Versprödungskriterien einer zusammenfassenden Wertung unterworfen.

Geplante Weiterarbeit

Analytische Nachuntersuchung, Auswertung und Dokumentation der kinetischen Versuche bei 900 und 1000°C; Fortführung der Untersuchung für 1100 bis 1300°C.

06.01.16/28A Mechanisches und chemisches Verhalten von Zircaloy-4-Hüll-
PNS 4253 rohren und UO₂-Brennstoff bei hohen Temperaturen

 (P. Hofmann, G.Gausmann, H. Metzger, E.Kurz, E. Nold;
 H. Uetsuka; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

- Temperaturtransiente UO₂/Zry-Reaktionsexperimente mit ca. 100 mm langen Brennstababschnitten zwischen 1000°C und 2000°C unter oxidierenden Versuchsbedingungen.
- UO₂-Tiegelexperimente mit flüssigem Zircaloy in der Schmelzanlage LAVA.
- Spaltgasverhalten in bestrahltem UO₂ bei out-of-pile-Glühungen.

Erzielte Ergebnisse

- Die temperaturtransiente Experimente wurden mit Aufheiz- und Abkühlraten von 0,25, 1, 5 und 10 K/s durchgeführt. Die maximale Temperatur variierte zwischen 1000 und 2000°C; die Haltezeit bei T_{max} betrug einheitlich 10 s. Ziel der Experimente war, festzustellen, ob und bei welcher Temperaturanstiegsgeschwindigkeit es zu einer unkontrollierten Temperatureskalation kommt. Außerdem stellen diese Experimente eine Datenbasis für die Verifikation des Modells PECLOX dar, das in der Lage ist, die Dicke der Reaktionszonen und die Sauerstoffverteilung in den entstehenden Reaktionsschichten in Abhängigkeit von der Temperatur und Zeit zu berechnen //.

Wie die Versuchsergebnisse zeigen, kam es in keinem Fall zu einer unkontrollierten Temperatureskalation infolge der entstehenden Oxidschicht. Bei Versuchstemperaturen oberhalb des Zircaloy-Schmelzpunktes (ca. 1760°C) verflüssigt sich der metallische Teil des Hüllrohres. Aufgrund der stabilen äußeren ZrO_2 -Schicht, die während der Aufheizung entsteht, wird ein Herablaufen der Schmelze verhindert. Das Aufheizen der Brennstababschnitte auf 2000°C und deren Abkühlung auf 1000°C resultiert in eine vollständige Umwandlung des Hüllrohres in ZrO_2 , selbst bei einer Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit von 10 K/s.

- In der Schmelzanlage LAVA wurden die ersten reaktionskinetischen Experimente zwischen festem UO_2 und geschmolzenem Zircaloy-Hüllmaterial durchgeführt. Die Schmelze befindet sich dabei in einem UO_2 -Tiegel. Die untersuchten Temperaturen variierten zwischen 1800 und 2300°C bei maximalen Reaktionszeiten von einer Stunde. Der Reaktionsumfang wurde anhand der Menge an gelöstem UO_2 bestimmt. Dies kann durch chemische Analysenmethoden oder einfacher und schneller durch quantitative Ermittlung der einzelnen Gefügebestandteile erfolgen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine vernünftige Korrelation zwischen Menge an gelöstem UO_2 mit der Temperatur und Zeit. Bei Temperaturen von 2300°C wird die UO_2 -Tiegelwand innerhalb von einigen Minuten von der Zircaloy-Schmelze vollständig penetriert.
- UO_2 -Proben mit Abbränden zwischen 0,3 und 3,8% wurden in induktiv erwärmten Kapseln geglüht. Die Temperaturen reichten von 1700 bis 2000°C und die Glühzeiten von 2,5 bis 30 Minuten. Nach der Glühung wurde die Spaltgasfreisetzung bestimmt. Die Freisetzung nimmt zu mit steigender Temperatur und Glühzeit. Nach Glühzeiten von 5 bis 15 Minuten bei 2000°C liegt sie bei Proben mit Abbränden $\geq 0,9\%$ zwischen 40 und 60 %.

Geplante Weiterarbeit

- Verifikation des PECLOX-Modells mit den vorhandenen Versuchsergebnissen.
- Fortführung der Experimente zur Bestimmung der Auflösungsgeschwindigkeit von festem UO_2 durch flüssiges Zircaloy.
- Herstellung von UO_2 /Zry/Inconel 718-Referenzschmelzproben definierter Ausgangszusammensetzung zur Beschreibung des Reaktionsverhaltens der Brennstabbündel-Komponenten bei komplizierten Abschmelzexperimenten.

Literatur

P. Hofmann, H.J. Neitzel; Experimental and Theoretical Results of Cladding Oxidation under Severe Fuel Damage Conditions. 7th International Conference on "Zirconium in the Nuclear Industry", 24.-27. June 1985, Strasbourg, France.

- 06.01.16/26A Out-of-pile Bündelexperimente für die Untersuchung
/27A schwerer Kernschäden (CORA)
- PNS 4251.1/2 (S.Hagen, K. Hain, W. Butzer, A.Grünhagen, G.Harbauer,
J. Hauschild, W. Lange, W. Leiling, H. Malauschek, G.Müller,
N. Paroth, F. Schloß, T. Vollmer, K.P. Wallenfels; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Anlagenerstellung CORA.

Die letzte größere Hauptkomponente, die Verdampfer/Überhitzereinheit wurde angeliefert und im Containment montiert. Mit der schaltungsmäßigen Einbindung in die Gesamtanlage sowie dem Rohrleitungsanschluß wurde begonnen.

In Detailbereichen wurden die Inbetriebnahmeversuche stufenweise aufgenommen und für den ersten Stabbündeltest ein Testbündel aufgebaut. Dieses Testbündel ohne Brennstoff und mit vereinfachten Brennstabsimulatoren dient zur Erprobung der Bündelheizung einschließlich Instrumentierung bis zu einem Temperaturbereich von ca. 1000°C.

Vorversuche in der NIELS-Anlage:

Im Berichtszeitraum wurde die Untersuchung des Einflusses der Absorberstabmaterialien auf das Schadensverhalten fortgesetzt. Es wurden zwei weitere Bündelversuche aus 3x3 Brennstabsimulatoren mit zentralem Absorberstab durchgeführt. Die 80Ag15In5Cd-Legierung befand sich in dem Original-Absorber-Hüllrohr aus Chrom-Nickel-Stahl und war von einem Zry-Führungsrohr umgeben. Dieses wiederum war durch einen Inconel-718-Abstandshalter im Bündel zentriert. Die maximale Temperatur bei diesen Versuchen betrug 1850°C und 1400°C. Diese Versuche sollten die Schadensentwicklung mit zunehmender Temperatur aufzeigen. In der Abluftleitung wurden die entstehenden Aerosole auf einem Glasfaserfilter gesammelt.

Erzielte Ergebnisse

Die Versuche haben ergeben, daß das Absorberhüllrohr bei ca. 1200°C versagt. Die Absorberlegierung schmilzt bei ca. 800°C und steht wegen des hohen Dampfdruckes des Cd unter einem erheblichen Druck. Die austretende Schmelze hat auch das umgebende Zry-Hüllrohr durchdrungen und ist an den äußeren Brennstabsimulatoren in den unteren Bereich des Bündels geflossen und dort erstarrt. Nach der augenblicklichen Erkenntnis ist das frühe Versagen des Absorber-Hüllrohres bei 1200°C mehr durch Wechselwirkung zwischen dem Zircaloy des Führungsrohres und dem Edelstahl des Hüllrohres als durch den Druckaufbau in der Schmelze zu erklären. Die Versuche zeigen einen starken Angriff der Absorberschmelze auf Zircaloy.

Eine merkliche Reaktion zwischen der Absorberschmelze und dem Edelstahl des Absorberhüllrohres konnte nicht festgestellt werden. Bei allen Versuchen zeigte die Untersuchung der abgegebenen Aerosole ein deutlich bevorzugtes Abdampfen des Cadmiums. Der Anteil des verdampften Silbers nimmt mit der maximalen Temperatur ab.

Geplante Weiterarbeit

Die Inbetriebnahmeversuche werden nach Abschluß der Montagearbeiten weitergeführt. Terminziel ist, gegen Jahresende ein Teststabbündel in Originalaufbau jedoch mit Al_2I_3 -Pellets bestückt - eine Umgangsgenehmigung für Kernbrennstoffe ist leider nicht in Aussicht - zu betreiben, um den kompletten Anlagenbetrieb funktionsmäßig und in Stufen aufnehmen zu können.

Die Untersuchung der Absorberstabmaterialien wird fortgesetzt. Insbesondere soll der Einfluß von Edelstahl-Führungsrohren und Zircaloy-Abstandshaltern auf das Schadensverhalten untersucht werden. Die Bündel der durchgeführten Versuche werden durch Querschliffe und metallographische Methoden nachuntersucht.

06.01.16/25A Langzeitkühlung im stark beschädigten Core
PNS 4250 (COLD)
(G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die Dryout-Versuche in hohen Schüttbetten mit einem Durchmesser von 60 mm wurden fortgesetzt. In Schüttungen aus 3 mm-Kugeln wurden Betthöhen zwischen 45 und 11 cm untersucht; zusammen mit den Experimenten des vorigen Halbjahres stehen damit die Daten für eine Aussage über die Dryout-Wärmestromdichte in Abhängigkeit von der Betthöhe bis zu 103 cm zur Verfügung.

Eine entsprechende Versuchsreihe mit Betthöhen zwischen 14.5 und 103 cm wurde mit Schüttungen aus zylindrischen 1 mm-Partikeln (Länge = Durchmesser) durchgeführt. Mit einem 103 cm hohen Bett aus zylindrischen 3 mm-Partikeln wurde durch Vergleich mit einem entsprechenden Bett aus 3 mm-Kugeln ein Formfaktor für die Teilchengometrie ermittelt.

Zur Vorbereitung des DCC-3 Inpile-Experiments im SANDIA Nat. Lab. wurde ein geschichtetes Bett aus 3 mm-Kugeln mit einer überlagerten 5 cm-Schicht aus 1 mm - oder 2 mm-Kugeln untersucht.

Parallel zu allen Experimenten wurden Rechnungen mit dem Modell von Lipinski durchgeführt; die Ergebnisse wurden verglichen.

Erzielte Ergebnisse

Die Betthöhenabhängigkeit ist, besonders bei 3 mm-Partikeln, verhältnismäßig schwach und verschwindet bei Betthöhen über 40-60 cm völlig. Sie entspricht damit gut der Vorhersage mit dem Rechenmodell, das auch quantitativ zu fast gleichen Ergebnissen kommt. In hohen Betten ergaben sich keine Hinweise auf unerwartete Mechanismen, die sich ungünstig auf die Kühlbarkeit auswirken. Wenn der Wasserspiegel im Behälter sehr hoch über dem oberen Bettrand lag, wurden periodische Oszillationen der Wassersäule über dem Bett beobachtet, die besonders bei kleinen Partikeln mit einer deutlichen Erhöhung der Dryout-Wärmestromdichte einhergingen.

Mit den gemessenen axialen Druckunterschieden wurde der Dryout als ein Ereignis im Verlauf einer Aussiede-Transiente bestätigt. Die Transiente wird durch einen nicht ausreichenden Nachschub an Flüssigkeit ausgelöst, der durch den Gegenstrom der beiden Phasen verursacht wird.

Bei den geschichteten Betten ergaben sich extrem kleine Dryout-Leistungen und starke Hinweise auf eine durch Kapillarwirkung an der Schichtgrenze stabilisierte Phasengrenze, die den Abwärtstransport von Flüssigkeit blockiert.

Geplante Weiterarbeit

Auswertung und Dokumentation der durchgeführten Experimente. Experimente mit variablem Kühlmittelzufluß durch einen permeablen Boden von unten.

06.01.16/30A Entwicklung eines Rechenprogrammes zur Beschreibung
PNS 4256 der Oxidation von Zircaloy-Hüllrohren
 (H.J. Neitzel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Mit dem Diffusions-Modell PECLOX wurden nicht-isotherme Experimente zur kombinierten Innen- und Außenoxidation der Zircaloy-Brennstabhüllen nachgerechnet.

Die Experimente von P. Hofmann (KfK, IMF/I) bestanden jeweils aus Aufheizphase konstanter Temperaturrate, einer Haltezeit von 10 Sekunden auf Maximaltemperatur und einer Abkühlphase mit einer Temperaturrate gleichen Betrages wie bei der Aufheizung.

Parameter bei den Experimenten waren Temperaturrate und Maximaltemperatur. Die Rechnungen wurden für die Aufheizraten 0,25 K/s und 1 K/s und Maximaltemperaturen zwischen 1100°C und 1700°C durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Schichtdicken der Reaktionsprodukte wurde für die Fälle erreicht, bei denen am Ende des Versuchs noch eine Schicht metallischen β -Zircaloy vorhanden ist oder gerade verschwunden ist. Für die Versuche, die weit über das Verschwinden der β -Schicht hinaus andauern, sei es aufgrund sehr hoher Maximaltemperatur oder sehr langsamer Aufheizrate, ergeben sich größere Unterschiede zwischen Rechnung und Experiment.

Es wird vermutet, daß dies mit der Auflösung der (U, Zr)-Legierungsschicht bei fortgeschrittener Oxidation und der damit verbundenen Stoffwert-Änderungen zusammenhängt.

Geplante Weiterarbeit

Weitere Verifikation des PECLOX-Modells.

06.01.17 Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener
Druckwasserreaktoren (FDWR)

06.01.17/21A Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter,
PNS 4240 hexagonaler Stabbündel
(F.Erbacher, W. Just, H.J. Neitzel, P. Schöffner,
H. Schmidt, E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Einzelstabberstversuche an Stahlhüllrohren bis zu Bersttemperaturen von 1250°C.
- Zusammenbau und Instrumentierung des 6ler Versuchsbündels (p/d = 1,06, 6 Rippenrohre).
- Einbau des Versuchsbündels in die Teststrecke.
- Funktionsprüfung des Versuchskreislaufes.
- Entwicklung von Brennstabsimulatoren für Untersuchungen zur kritischen Heizflächenbelastung in Frigen bei GKSS durch TU Braunschweig (TUBS)
- Überprüfung eines Transfers des Frigen-Prüfstandes von GKSS zu KfK.

Erzielte Ergebnisse

- Die Einzelstabberstversuche bestätigen die im Halbjahresbericht II/84 beschriebenen Ergebnisse.
- Die Vorbereitungen der Flutversuche am 6ler Stabbündel sind abgeschlossen.
- Die Entwicklung der Brennstabsimulatoren für Untersuchungen der TUBS zur kritischen Heizflächenbelastung in Frigen sind abgeschlossen.
- Der Frigen-Prüfstand von GKSS ist betriebsfähig, einem Transfer zu KfK stünde aus technischer Sicht nichts im Wege, Kosten- und Zeitaufwand sowie Aufstellungsmöglichkeiten bei KfK/IRB sind überprüft.

Geplante Weiterarbeit

- Flutversuche am 6ler Stabbündel und Auswertung.
- Einzelstabberstversuche an Stahlhüllrohren.
- Konzeptstudie für eventuelle Versuche zur kritischen Heizflächenbelastung in Frigen bei KfK/IRB.

- Fertigung und Instrumentierung von Brennstabsimulatoren für Versuche der TUBS in Frigen.
- Beiträge zur Modellierung des Flutverhaltens eng gepackter hexagonaler Stabbündel in Zusammenarbeit mit dem IKE-Stuttgart.

06.01.17/22A Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs und der
PNS 4242 Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von Stahlhüll-
rohren
(P. Hofmann, J. Burbach, H. Metzger; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Kriechexperimente mit Spaltprodukt enthaltenden 1.4970-Rohrproben bei 700°C.
Ermittlung des Einflusses von verschiedenen Spaltprodukten und Sauerstoff-
potentialen auf die mechanischen Eigenschaften des Hüllrohrs.

Erzielte Ergebnisse

Im Prinzip zeigen alle untersuchten flüchtigen Spaltprodukte einen Einfluß
auf das Verformungsverhalten der 1.4970-Rohrproben. Die Standzeit und die
Berstdehnung wird generell reduziert. Ein erhöhtes Sauerstoffpotential
(Ni/NiO) hat einen zusätzlichen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften
des 1.4970.

Geplante Weiterarbeit

Fortführung der 1.4970-Kriechexperimente mit Jod, Selen, Tellur und Cesium
und Ausweitung der Versuche auf verschiedene Sauerstoffpotentiale.

06.01.17/23A Oxidationsverhalten von Edelstahl-Hüllrohren in Wasserdampf
PNS 4243 (S. Leistikow, H.v. Berg, G. Schanz; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Literaturstudie zum Korrosionsverhalten von ferritisch-martensitischen
9-12 Cr-Stählen in Wasser/Wasserdampf. Im Rahmen eines Vergleiches der
Werkstoffklassen ferritischer Stahl, austenitischer Stahl, Zircaloy-4.
Vorbereitung von Kurz-Zeitstanduntersuchungen an innendruckbeaufschlagten
Rohrkapselproben aus dem austenitischen Stahl 1.4970 unter Außenoxidation
in Dampf.

Erzielte Ergebnisse

Bei höheren Cr-Gehalten, Mo-Zusatz und stabilisieren mit Ti oder Nb ist die Beständigkeit martensitischer Cr-Stähle durchaus vergleichbar mit der austenitischen CrNi-Stähle. Im Primärkreislauf sind jedoch Probleme durch Bildung, Transport und Ablagerung von Korrosionsprodukten zu erwarten.

Selbst im P_H -angehobenen Milieur eines Sekundärkreislaufes bestehen die Gefahren des Transports und der Aufkonzentration von Feststoffen, die Anlaß zu schweren Schädigungen durch lokale Korrosionserscheinungen geben können (Lochfraß, Spannungskorrosion).

Die Vorbereitung von Kurz-Zeitstanduntersuchungen am austenitischen Stahl 1.4970 wurde mit der Probenfertigung und erforderlichen Umbaumaßnahmen an der Prüfapparatur fortgeführt.

Geplante Weiterarbeit

Abschluß der Versuchsvorbereitung, Kurz-Zeitstandprüfung von 1.4970 im Bereich 1 min - 6 h, 600-1300°C.

06.01.17/24A Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerk-
PNS 4244 stoffen für FDWR
 (C. Petersen, H. Schneider, W. Schweiger; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Zugversuche und Zugkriechversuche an austenitischen und ferritischen Stählen bei hohen Temperaturen im unbestrahlten Zustand:

An bei den zur Untersuchung anstehenden Werkstoffen W.Nr. 1.4970 (Austenit) und W.Nr. 1.4914 (getemperter martensitischer Ferrit) wurden im Temperaturbereich 1000°C bis 1200°C in 50°C-Schritten Zugversuche in Vakuum durchgeführt. Der Datensatz an Kriech Versuchsergebnissen wurde für den W.Nr. 1.4970 von 900°C auf 1050°C ausgedehnt.

Erzielte Ergebnisse

Die Zugfestigkeitswerte beider Werkstoffe nehmen wie erwartet mit zunehmender Temperatur weiter ab. Besonders bemerkenswert ist die Dehnungszunahme beim Übergang von Luft auf Vakuum als Umgebungsbedingung. Ein Vergleich wurde bei 1000°C durchgeführt. Der schon auf hohem Dehnungsniveau (1.4970: A = 52% und 1.4914: A = 70%) gemessene Wert an Luft wird im Vakuum um ca. 15-20% erhöht. Die Dehnungsmaxima im gesamten erfaßten Temperaturbereich liegen für den W.Nr. 1.4970 mit ca. A = 90% bei 1000°C und für den W.Nr. 1.4914 mit ca. A = 80% bei 800°C und auch bei 1100°C. Hier werden also Dehnbeträge erreicht, die, sollten sie in einer Ebene des Brennstabbin-els auftreten, zu Kühlkanalblockaden führen.

Die Kriechfestigkeit des W.Nr. 1.4970 nimmt oberhalb 900°C überproportional ab, so daß vermutet werden kann, daß eine Änderung des Kriechmechanismus vorliegt.

Geplante Weiterarbeit

Fortführung der Zugkriechversuche an beiden Materialien bis zu Temperaturen von 1200°C.

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

06.01.11/35A Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und
PNS 4311 Aerosolen in LWR-Containments
(H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck; LAF I)

Durchgeführte Arbeiten

Es wurden drei Hauptversuche durchgeführt:

- V 34 Basisversuch mit maximaler Aerosolkonzentration
- V 36 Versuch mit "transienter" Thermodynamik
- V 39 Versuch mit Silberaerosol.

Die Versuche V 34 und V 36 wurden mit Zinnoxidaerosol durchgeführt. Obwohl sie vom aerosolphysikalischen Standpunkt als vollwertig angesehen werden können, ist die Wiederholung von V 34 mit Eisenoxid-Silber-Mischaerosol für die Demonstration notwendig. V 34 und V 36 erhalten daher die Bezeichnung B 4 und B 5; die B-Reihe wurde für Versuche mit Zinnoxidaerosol eingeführt, um sie von den Demonstrationsversuchen (A-Reihe) mit kernschmelzspezifischem Mischaerosol zu untersuchen.

Erzielte Ergebnisse

Alle im Berichtszeitraum durchgeführten Versuche sind noch nicht vollständig ausgewertet. Die vorläufigen Ergebnisse sind wie folgt:

V 34 = B 4: Dieser Versuch entspricht - bis auf das Aerosolmaterial dem Basisversuch A 3 der DEMONA-Testmatrix. Der Ablauf war ähnlich wie beim Versuch V 31 = B 3 aus dem Vorjahr. In beiden Fällen ergab sich ein Einsatz massiver Volumen Kondensation etwa eine halbe Stunde nach Abschalten der Aerosolgeneratoren. Durch die Kondensation an den Aerosolpartikeln und das damit verursachte Größenwachstum wurde die Abbaugeschwindigkeit im Vergleich zum Trockenversuch erheblich vergrößert. Bereits acht Stunden nach der Aerosoleinspeisung war die Aerosolkonzentration unter die Nachweisgrenze ($1\text{mg}/\text{m}^3$) abgefallen. Das ist eine Reduktion der luftgetragenen Aerosolmasse um vier Größen-

ordnungen. Die Übereinstimmung der gemessenen Aerosolkonzentration mit den Voraus- bzw. Nachrechnungen mit NAUA ist gut.

V 36 = B 5: Dieser Versuch wurde mit "transienter" Thermodynamik durchgeführt, um das Zusammenspiel von Thermodynamikrechnung und Aerosolverhaltensrechnung unter instationären Bedingungen zu prüfen. Die thermodynamische Transiente bestand darin, daß die Dampfzufuhr eine Stunde vor der Aerosoleinspeisung gestoppt und erst dann nach der Aerosoleinspeisung wieder eingeschaltet wurde, als die Aerosolkonzentration durch "trockenen" Abbau auf 1 g/m^3 abgenommen hatte. Das war bereits ca. eine Stunde nach Ende der Aerosoleinspeisung der Fall, so daß sich der Unterschied zwischen "trockenem" und "nassem" Aerosolabbau in diesem Versuch zeitlich nicht auflösen läßt. Dieser Effekt wird in V 39 deutlich sichtbar.

V 39: Der Versuch V 39 wurde als ebenfalls "transienter" Versuch aber mit geringerer Konzentration mit Silberaerosol durchgeführt. Durch die geringe Anfangskonzentration sollte der "trockene" Aerosolabbau verlangsamt und der Unterschied zum schnelleren Abbau nach Wiedereinschalten der Dampfzufuhr verdeutlicht werden. Die vorläufigen Ergebnisse - die genaue Auswertung dauert noch an - zeigen, daß dieses Ziel erreicht wurde.

Geplant Weiterarbeit

Nach Fertigstellung des Aufbaus und der Erprobung der Eisenoxidaerosolgeneratoren werden die Versuche fortgesetzt. Bis Ende 1985 werden alle Versuche durchgeführt bis auf den Mehrraumversuch und den Demonstrationsversuch, die nach dem Umbau des Containments Anfang 1986 vorgesehen sind.

06.01.11/36A Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien
PNS 4314 beim Coreschmelzen
 (A. Skokan, Ch. Adelhelm, Ch. Gosgnach, G. Schlickeiser; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Materialkundliche Untersuchungen an Proben aus der Schmelze und aus dem erkalteten Schmelzkuchen von BETA-Experimenten.

- In der Anfangsphase des Adsorptionsprozesses beobachtet man zwei verschiedene chemische Zustände des Jods nebeneinander:
isolierte chemisorbierte Jodatome sowie in AgI gebundenes Jod.
- Es wurden Bindungsenergien und relative Intensitäten für die verschiedenen beobachteten Jodspezies bestimmt.

Geplante Weiterarbeit

Untersuchung des thermischen Verhaltens der Adsorbate. Fortführung der Untersuchungen der Wechselwirkung von Jod mit Silber in wässriger Phase.

- 06.01.12 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen
mit Beton
- 06.01.12/35A Ausbreitung von Stahlschmelzen in Beton,
PNS 4325 Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung
(S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K.P.Wallenfels; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum wurden 4 weitere Versuche gemäß der Versuchsmatrix durchgeführt.

Es waren die Hochtemperaturversuche V 1.7 und V 1.8 und die Niedertemperaturversuche V 2.1 und V 2.2. Die Leistungseinspeisung bei diesen Versuchen betrug 1700, 1900, ca. 135 und ca. 70 kW. Beim Versuch V 1.8 enthielt der Abstich (350 kg Stahl + 130 kg Oxid) 39 kg CaO und beim Versuch V 2.2 (300 kg Stahl + 100 kg Oxid) 15 kg CaO.

Bei den Versuchen war die übliche Tiegelinstrumentierung eingebaut: 108 Thermoelemente, 16 Feuchtefühler und 30 Lichtleiter. Die Tiegel wurden nach dem Versuch in Längsrichtung getrennt.

Erzielte Ergebnisse

Bei den Hochtemperaturversuchen ergab sich das schon in den früheren Versuchen gefundene bevorzugte Eindringen der Schmelze in axialer Richtung (ca. 250 mm (V1.7) und 450 mm (V 1.8) gegen ca. 50 mm in radialer Richtung. Bei den Niedertemperaturversuchen ergab sich für den Versuch V 2.1 eine axiale Eindringtiefe von knapp 400 mm bei ca. 100 mm radialer Eindringtiefe und für den Versuch V 2.2 gut 100 mm gegen knapp 100 mm.

Durch die Zugabe des CaO ist die Viscosität der oxidischen Schmelze deutlich verringert worden. Beim Versuch V 1.8 hat dies ungefähr den Faktor 10 ausgemacht mit der Konsequenz, daß eine Dispersion des Metalls in der oxidischen Schmelze nicht auftrat.

Geplante Weiterarbeit

Im zweiten Halbjahr 1985 sollen die Experimente entsprechend der Versuchsplanung beendet werden. Es sind 4 weitere Experimente vorgesehen.

06.01.12/36A Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechsel-
PNS 4331 wirkung einer Kernschmelze mit Beton
 (M. Reimann, S. Stiefel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Vorausberechnung und Nachrechnungen der BETA-Versuche.
- Änderung der Modellierung in WECHSL zum Wärmeübergangsverhalten.
- Berechnung mit dem Jodmodell.
- Berechnungen des Zustandes im Sicherheitsbehälter mit CONDRO.

Erzielte Ergebnisse

Die Versuche zur Hochtemperaturphase in der BETA-Anlage mit Leistungen im Bereich von 400 kW bis 1.8 MW sind nahezu abgeschlossen. Für die Niedertemperaturphase, die durch die Ausbildung von Krusten an den Berandungen der Schmelze charakterisiert ist, wurden im Berichtszeitraum 2 Versuche durchgeführt. Weitere Versuche in diesem Bereich sollen folgen.

Durch die Beobachtung der Schmelzbadoberfläche wurde festgestellt, daß erhebliche Mengen der Schmelze durch den Gasstrom hochgeworfen wurden, die sich im Wandbereich zum einen Teil ablagern und zum anderen Teil mit einer wesentlich reduzierten Temperatur in die Schmelze zurücklaufen. Diesem Verhalten wurde in WECHSL durch ein empirisches Modell Rechnung getragen. Damit wurde zum einen eine bessere Übereinstimmung der berechneten Temperaturverläufe mit den Meßwerten erreicht, zum anderen führte diese Modifikation zu dem überraschenden Ergebnis, daß nunmehr alle Versuche, und zwar sowohl in der Hochtemperaturphase als auch in der Niedertemperaturphase, mit einem fixierten Wert des Stabilitätsfaktors für den beginnenden Zusammenbruch des Dampffilms im Bodenbereich wiedergegeben werden können.

Von besonderem Interesse sind nun die Versuche mit US-Beton (Limestone/Common Sand, Limestone), bei denen im Vergleich mit silikatischem Beton eine wesentlich höhere Gasfreisetzung erwartet wird. Diese Versuche werden dazu dienen, die Frage nach dem Stabilitätskriterium vertieft zu untersuchen.

Geplante Weiterarbeit

Entwicklung von physikalischen Modellen; Voraus - und Nachrechnung von Simulationsexperimenten; weitere Berechnungen für die Auswirkung eines Kernschmelzenunfalls.

06.01.12/37A Modellentwicklung zur analytischen Beschreibung von
PNS 4334 Kernschmelzenunfällen
 (H.Alsmeier, K. Dres; IRB, M. Oehmann et al. ;KTB)

Durchgeführte Arbeiten

- Durchführung von BETA-Versuchen zum Hoch- und Niedertemperaturverhalten.
- Auswertung und Bewertung der BETA-Versuche.
- Spezifizierung weiterer BETA-Versuche.

Erzielte Ergebnisse

In der BETA-Anlage wurden bis Ende 1985 13 Experimente ausgeführt. Mit 5 weiteren Experimenten bis Ende dieses Jahres werden die experimentellen Arbeiten abgeschlossen. Der Schwerpunkt der Experimente lag bisher bei der Untersuchung der Hochtemperatur-Schmelze-Beton-Wechselwirkung. Die Niedertemperaturwechselwirkung wurde bisher in zwei Experimenten untersucht und wird in den zukünftigen Experimenten verstärkt analysiert.

Das in den ersten Experimenten beobachtete Verhalten der Schmelze bei hohen Temperaturen hat sich bestätigt: Die Schmelze dringt vorwiegend nach unten vor. Der abwärts gerichtete Wärmeübergang ist deutlich höher, als aus transienten Experimenten und den ursprünglichen Modellierungsansätzen zu erwarten. Aus diesem Grund sind die gemessenen stationären Schmelzbadtemperaturen in BETA relativ niedrig (1500 - 1600^oC), und der Abfall der Badtemperatur bei Einguß

mit etwa 2000°C auf die stationäre Temperatur erfolgt sehr schnell. Die in BETA erstmals beobachtete Dispersion der Metallschmelze in die Oxidschmelze wird hauptsächlich beeinflusst durch die drei Einflußgrößen: Gasgeschwindigkeit, Dichteunterschied Metall/Oxid und Zähigkeit der Oxidphase. Der BETA-Versuch V 1.8 hat im Hinblick auf den Kernschmelzenunfall gezeigt, daß trotz hoher Gasgeschwindigkeit bei für den KSU typischen Zähigkeiten des Oxids Dispersion nicht zu erwarten ist, wenn die Dichte des Oxids durch den aufgeschmolzenen Beton abgesenkt ist. Die anfänglich aufgrund annähernd gleicher Dichten von Me und Ox zu erwartende Dispersion kann mit WECHSL mit den bestehenden Modellen im Hinblick auf Erosion und Gasraten eingegrenzt werden; für das langzeit vorherrschende 2-Schichten-System sind alle Modelle von WECHSL anwendbar.

Alle Experimente in BETA mit silikatischem Reaktorbeton zeigen sehr geringe Aerosolfreisetzung. Zur Klärung der aus USA berichteten hohen Aerosolraten werden in BETA zwei Experimente mit Karbonatbeton im Herbst dieses Jahres zusammen mit NRC/SANDIA ausgeführt.

Die Abgasanalyse in BETA zeigt, daß aus der Schmelze die Gase H_2 , H_2O , CO und CO_2 freigesetzt werden. Andere Gase wie z.B. das früher vermutete CH_4 , sind nicht vorhanden. Die Gasreaktionen werden somit in WECHSL zuverlässig beschrieben.

Das erste BETA-Experiment mit Krusten hat bei noch geringer Dicke der Me-Kruste von 10-15 mm eine vorwiegend abwärts gerichtete Erosion gezeigt. Mit dicker werdenden Krusten (bei niedrigerer Leistungseinspeisung) scheint die vertikale Erosion zu Gunsten der horizontalen Erosion behindert.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und Bewertung weiterer BETA-Experimente zur Verifikation existierender Rechencodes zum KSU; Experimente zur Niedertemperaturphase mit Erstarungsprozessen in der Schmelze; Einfluß von karbonatischen Zuschlagstoffen.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4400 - Verbesserung der Spaltproduktrückhaltung und

Reduktion der Strahlenbelastung

06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren

06.01.14/23A Untersuchungen zum Auftreten und zur Abscheidung von
PNS 4414 penetrierenden Iodverbindungen in der Abluft von
Kernkraftwerken
(H. Deuber; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Einsatz von speziellen diskriminierenden Iodsammlern in der Kaminfortluft eines Siedewasserreaktores (SWR 5) während des Leistungsbetriebs. (Die speziellen diskriminierenden Iodsammler ermöglichen u.a. eine Unterscheidung von leichter abscheidbarem (z.B. CH_3I) und schwerer abscheidbarem organischem Radioiod). Inbetriebnahme eines Massenspektrometers.

Erzielte Ergebnisse

In der Kaminfortluft des SWR 5 betrug während des Leistungsbetriebs der mittlere Anteil des leichter abscheidbaren organischen ^{131}I 20 - 30%, der des schwerer abscheidbaren organischen ^{131}I weniger als ein Zehntel dieses Wertes. Der Rest bestand praktisch vollständig aus elementarem ^{131}I (jeweils Anteile des insgesamt in der Kaminfortluft vorhandenen ^{131}I).

Geplante Weiterarbeit

Weiterer Einsatz von speziellen diskriminierenden Iodsammlern. Bei Auftreten von hohen Anteilen an penetrierendem Iod Betrieb von Teststrecken mit Aktivkohlen und anderen Sorbentien zur Bestimmung dessen Sorptionsverhaltens und Massenspektrometrische Untersuchungen von Sorbentien aus den genannten Iodsammlern oder Teststrecken zur Identifikation des penetrierenden Iods.

06.01.14/24A Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern
PNS 4415 für Störfallbedingungen
 (H.G. Dillmann, H. Pasler, R. Maier, H. Schmitt; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Die Untersuchungen am 1:1 Prototyp des Metallfaserschwebstofffilters wurden aufgenommen. Hierbei wurden Abscheideuntersuchungen an der Anlage TAIFUN im Volumenstrom zwischen 500 und 2000 m³/h durchgeführt.

Im Rahmen der Boxen- und Kerzenfilterentwicklung wurden bisher eingesetzte Pulvermetallkerzen und erste Prototypen von Metallfaserkerzen untersucht. Die Planung der TAIFUN-Renovierung wurde abgeschlossen und vergeben. Das bestellte Prozeßleitsystem wurde geliefert.

Erzielte Ergebnisse

Das Prototypfilter erbrachte bei den ersten Versuchen Abscheidegrade von > 99,9%. Diese Werte werden aber noch nicht als ausreichend erachtet. Vermutet werden geringe Randleckage.

Die Messung von bisher eingesetzten Pulvermetallkerzen ergab in Abhängigkeit vom Volumenstrom Abscheidegrade je nach Hersteller zwischen 2 und 30% bei Verwendung von Uranin als Testaerosol. Die ersten Prototypen der Faserkerzen dagegen ergaben sofort Abscheidegrade je nach eingesetztem Fasermaterial zwischen 70 und 99%. Diese Werte sind mit weiteren Optimierungen auch bei Verringerung des Druckabfalles noch zu verbessern.

Der Auftrag zur TAIFUN-Renovierung ist vergeben und das bereits gelieferte Prozeßleitsystem wurde konfiguriert. Hierbei kann gegenüber der bisher stark manuell erforderlichen Fahrweise der Anlage ein wesentlich höherer Automatisierungsgrad erreicht werden.

Geplante Weiterarbeit

Die Arbeiten zum Randeinspannungsproblem am Prototypfilter werden weitergeführt zur Erzielung höherer Abscheidegrade. Die Filterkerzenentwicklung wird mit weiter optimierten Prototypen fortgesetzt. Im zweiten Halbjahr werden die Untersuchungen zur Grobstaubabscheidung und Massenbeladung von Vorfiltern weitergeführt.

06.01.14/25A Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter
PNS 4416 hoher Temperatur, Luftfeuchte und erhöhtem Differenzdruck
(V. Rüdinger, Th. Arnitz, R. Benesch, U. Ensinger,
C.I. Ricketts, U. Geckle; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

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

Im Rahmen des Routineeinsatzes des neuen Abscheidegradprüfverfahrens mit dem TiO_2 Kondensationsaerosol bei Raumtemperatur wurde eine große Zahl von Filterelementen geprüft und weitere Detailverbesserungen erarbeitet. Erste Abscheidegradmessungen bei 70 - 180°C wurden durchgeführt.

2. Untersuchung des Druckverlustverhaltens und der Versagensgrenzen von Schwebstofffiltern bei Raumluftbedingungen bzw. bei hoher rel. Luftfeuchte:

Zur Überprüfung der Modellvorstellung über das Versagen der Faltungsenden wurden die Reißfestigkeitsprüfungen von Filterpapierproben, die aus getesteten Filtern entnommen worden waren, aufgenommen. Die Hochgeschwindigkeitsfilme wurden hinsichtlich der Faltenbreite beim Versagen ausgewertet. Eine weitere Testserie zum Feuchteverhalten unter Berücksichtigung von drei unterschiedlichen Tropfenabscheidern wurde durchgeführt und ausgewertet. der "Water-repellency test" wurde in Betrieb genommen.

3. Untersuchung des Schwebstofffilterverhaltens bei kombinierten Beanspruchungen:

Die Isolierarbeiten an der Anlage BORA wurden abgeschlossen. Weitere orientierende Filtertests wurden durchgeführt.

4. Orientierende Versuche zum Filterverhalten bei Beaufschlagung mit Brandprodukten:

Ein Versuchsprogramm zum Filterverhalten bei Beaufschlagung mit Brandprodukten wurden vorbereitet.

5. Modellierung von KKW-Lüftungsanlagen mit dem erw. Rechenprogramm E-Vent und Durchführung von Verifikationsexperimenten mit der Anlage BORA:

Die Arbeiten zur Modellierung von KKW-Abluftanlagen wurden aufgenommen.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Aufgrund der erzielten Verbesserungen konnte die rohluftseitige Aerosolkonzentration auf etwa 2 mg/m^3 reduziert werden. Die Wiederholbarkeit der im Bereich von 10^3 bis $4 \cdot 10^4$ gemessenen Dekontaminationsfaktoren lag mit etwa 5% außerordentlich günstig.

Zu 2: Die Zeitlupenfilme zeigten, daß sich einzelne Faltungsenden von 4 mm auf max. 28 mm verbreitern, bevor der Schaden eintritt. Die Reißfestigkeitswerte für Teststreifen von 50 mm Breite lagen bei etwa 30 N. Durch den Faltungsvorgang bei der Fertigung ergibt sich eine Schwächung um etwa 25%. Die Feuchteversuche ergaben Versagenswerte von 2 bis 4 kPa beim Filtertyp CN in konventioneller Faltung. Zwei Filter in V-Bauweise wurden bereits bei 0,4 bzw. 0,8 kPa beschädigt. Die Restabscheidegrade der beschädigten Filter lag i.a. unter 90%. Die x_{50} -Werte der Tropfenabscheidertrennkurven lagen bei Tropfendurchmessern von 2,3, 5,5 und 7,5 μm . Bei Nebelbetrieb wurden am nachgeschalteten Schwebstofffilter Differenzdrucke von 350, 1120 bzw. 4500 Pa erreicht. Es wurde festgestellt, daß die beiden ungünstigeren (Lamellen-) Tropfenabscheider nennenswerte Mengen feiner Sekundärtropfen erzeugen. Vor allem wurde bestätigt, daß die Tropfenabscheider bei Nebelbetrieb nicht in der Lage sind, Schäden, vor allem an beladenen Filtern, zu verhindern.

Zu 3: Die Anlage ist zur Abnahme für den Hochtemperaturbetrieb bereit.

Zu 4: Die Brandversuche sind auf Oktober/November terminiert.

Zu 5: Die Arbeiten zur Modellierung und Codeverifikation dauern an.

Geplante Weiterarbeit

- Zu 1: Die Abscheidegradprüfungen bei 70°C - 200°C werden weitergeführt.
- Zu 2: Die Zugfestigkeitstests werden abgeschlossen und ausgewertet. Mit einer weiteren Testserie wird ein Zwischenabschluß der Feuchteuntersuchungen erreicht. Eine Laborapparatur für Feuchteuntersuchungen mit Filtermedien wird konzipiert und gebaut.
- Zu 3: Mit den Schwebstoffiltertests bei kombinierten Beanspruchungen wird begonnen.
- Zu 4: Eine erste Testserie zur Filterbeaufschlagung mit Brandprodukten wird im 4. Quartal durchgeführt.
- Zu 5: Die Experimente zur Verifikation des erweiterten Code E-Vent mit der Anlage BORA werden abgeschlossen. Die Arbeiten zur Modellierung von KKW-Lüftungsanlagen werden weitergeführt.

06.01.14/26A Untersuchungen zur Abscheidung von Iod an Sorptions-
PNS 4418 materialien bei Bränden
 (H. Deuber, V. Giraud; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Tests zur Abscheidung von $\text{CH}_3^{131}\text{I}$ an der Aktivkohle 207B (KI) unter dem Einfluß von Brandprodukten (Brandprodukte aus einem PVC-Kabel, synthetisches Brandprodukt HC2).

Erzielte Ergebnisse

Starke Reduzierung der Abscheideleistung der in Strömungsrichtung ersten Teilbetten bei einer Beaufschlagung mit Brandprodukten, die weit unter der bei einem Brand in einem KKW im Extremfalle zu erwartenden Beaufschlagung liegt: Reduzierung des Leistungsindex des ersten Teilbettes (Bettiefe: 2,5 cm; Verweilzeit 0,05 s) von ca 10 s^{-1} (im Neuzustand) auf teilweise unter 1 s^{-1} (30°C, 70%).

Geplante Weiterarbeit

Tests zur Abscheidung von $\text{CH}_3^{131}\text{I}$ an verschiedenen imprägnierten Aktivkohlen unter dem Einfluß wirklicher, aus der Verbrennung relevanter Materialien (Kabel (PVC, FRNC), Mineralöl, Dekontfarbe) stammender Brandprodukte und verschiedener synthetischer Brandprodukte (HCl , SO_2 , CH_3COOH).

Durchführung von Verbrennungen mit zukünftig zu verwendenden Kabeln (FRNC), Schmiermitteln und Dekontfarben zur Analyse der gasförmigen Brandprodukte (Gaschromatographie, Massenspektrometrie).

Herstellung und Analyse gasförmiger Reaktionsprodukte aus I_2 und Brandprodukten.

06.02 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEI-
 TUNGSANLAGEN

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

06.02.01 Störfallanalysen für die große Wiederaufarbeitungs-
 anlage (WAA)

06.02.01/13A Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der
PNS 4513 Wiederaufarbeitungsanlage
 (S. Fenyi, K. Nagel, G. Weber, H. Wenzelburger; IDT)

Durchgeführte Arbeiten

Beschreibung der Adsorption von H_2O an Silicagel und der Koadsorption von Krypton und Xenon an Silicagel und Molekularsieb mit Hilfe von Diffusionsvorgängen.

Untersuchung der Aerosolabscheidung an einem HEPA-Filter.

Erzielte Ergebnisse

Die Adsorption von H_2O wird durch die Diffusionsvorgänge im Strömungsfeld und die Koadsorption durch Grenzfilmwiderstand am Adsorptionskorn bestimmt.

Die Grenze zwischen Trägheitsabscheidung und der Abscheidung durch Diffusion liegt um $1 \mu m$.

Geplante Weiterarbeit

Systemanalyse der Verglasungsanlage.

06.03 EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN

PNS-Teilprojekt 4800 - Verhalten, Auswirkung und Beseitigung

freigesetzter nuklearer Schadstoffe

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

06.03.01/13A Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
PNS 4812 biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt

(H. Schüttelkopf, M.Pimpl, W.Schmidt, G.Hefner, J.Hiller, Th. Sollich; HS)

Durchgeführte Arbeiten

- Entwicklung und Optimierung von Analysemethoden.
- Messung von Transferfaktoren.
- Versuche zur Mobilitätserhöhung von Np, Pu, Am, Cm und Tc. Verlagerung von Pb, Cr, Co, Ni und Cd durch die Tätigkeit von Regenwürmern.
- Untersuchungen zur Keimfähigkeit von Weizen.

Erzielte Ergebnisse

- Methoden zur Bestimmung kleinster Konzentrationen von Tc-99 in Boden- und Pflanzenproben werden z.Z. erarbeitet. Geeignete Analyseverfahren für Uran, Thorium, Radium, Blei und Polonium wurden optimiert.
- Verfahren zur Bestimmung von Nährstoffen und Spurenelementen in Böden und Pflanzen mittels ICP und AAS wurden weiter bearbeitet. Ein Meßverfahren zur Bestimmung seltener Erden in Böden mittels ICP-AES wurde erstellt. Die Störanfälligkeit der Messung von Cd, Sb, Se und Pb in Boden - und Pflanzenproben mittels Graphitrohr-AAS wurde durch Einführung eines Matrixmodifikationsverfahrens erheblich verringert. Die Anionenbestimmung in Boden- und Pflanzenextrakten mittels Ionenchromatographie wurde weitergeführt und verbessert. Erste Ergebnisse wurden für die interferenzfreie Bestimmung von Fluorid neben Cl^- , H_2PO_4^- , NO_3^- und SO_4^{2-} erhalten.

- Die Messungen des Aktinidentransfers Boden-Pflanze wurden als Langzeitversuche in Lysimetern auf drei Böden - einem Kreideboden, einer Granitverwitterung und einem Gley-Boden - fortgesetzt. Gras, Weizen, Kartoffeln und Mais wurden angebaut. In Töpfen mit 10 kg Bodeninhalt wurden Parameterstudien aufgenommen. Eine Versuchsreihe soll den Einfluß des pH-Wertes im Boden auf den Transfer verdeutlichen, eine weitere Parameterstudie den Einfluß unterschiedlichen Gehaltes an organischer Substanz. Auf einem Sandboden in Lysimetern wird untersucht, ob der Anbau verschiedener Kulturen die Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Aktiniden im Boden verändert. Der Anbau von Bohnen im Anschluß an diese Kulturen soll Rückschlüsse über den "Vorfruchtwert" ermöglichen. Mit Beginn der Vegetationsperiode 1985 wurden Untersuchungen zum Boden-Pflanzen-Transfer von Tc-99 aufgenommen. Auf zwei Böden - einem Sandboden und einem Lößboden - werden Kartoffeln und Weizen aufgezogen. Die Bodenkontamination erfolgte je zur Hälfte mit Tc(VII) und Tc(IV). Neben der Messung des Transferfaktors Boden-Pflanze wird durch die Verwendung von verschiedenen Stickstoffdüngern (KAS, ASS, Harnstoff) der Einfluß von Düngemitteln auf die Wertigkeitsstufe von Tc untersucht. Mit vorbereitenden Arbeiten zur experimentellen Messung des Boden-Pflanzen-Transfers von U, Th, Ra, Pb und Po wurde begonnen.
- In einem Säulenexperiment wurde untersucht, wie Regenwürmer die Schadstoffe Cd, Co, Cr, Ni und Pb in ihrem Gewebe anreichern und diese im Boden unter Berücksichtigung des mobilisierbaren und komplexierbaren Anteiles verteilen. In insgesamt 20 Bodenkernen von 80 cm Länge und 30 cm Durchmesser, die an neun Standorten verschiedener Bodenart in ungestörter Lagerung entnommen wurden, wurde das Elutionsverhalten von Tc, Np, Pu, Am und Cm beim Gießen mit DTPA-Lösung weiter untersucht.
- In Petrischalen wurde der Einfluß verschiedener Schwermetalle in unterschiedlich hohen Konzentrationen auf die Keimfähigkeit von Weizen untersucht. In der Regel nimmt die Keimfähigkeit und Wuchskraft mit zunehmender Schwermetallkonzentration ab.

Geplante Weiterarbeit

Die radiochemischen Analysenmethoden und die Verfahren zur konventionellen Bodenanalytik werden weiter verbessert und optimiert. Die Messungen des Boden-Pflanzen-Transfers werden weitergeführt und der Untersuchungsumfang wird erweitert. Untersuchungen zur Pflanzenverfügbarkeit radioökologisch wichtiger Elemente im Boden werden begonnen, die Untersuchungen zur Verlagerung von Schadstoffen im Boden werden weitergeführt und der Einfluß von Schadstoffen im Boden auf das Keimverhalten von Nutzpflanzen wird weiter untersucht.

BERICHTSBEITRÄGE IN DEUTSCHER SPRACHE

<u>Content</u>	<u>Page</u>
Translation of the German Reports	37 - 74
06.01 SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS	
<u>PNS-Subproject 4100 - Dynamic Loads and Strains of Reactor</u>	
<u>Components under Accident Conditions</u>	
06.01.15/08A Development and Verification of Codes for PNS 4127 Analysis of Dynamic Stresses and Deformations of LWR-Containments	37
06.01.19/04A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior PNS 4160 of Reactor Components	39
06.01.21/06A Thermohydraulic Analyses of LWR-Accidents 07A/08A PNS 4270-72	40
06.01.22/02A Investigation of Transient Interfacial PNS 4280 Exchange Process in Two-Phase Flow (NOVA Program)	42
06.01.03/31A Investigation of Transient Response of PNS 4140 TMFM-Prototypes 2.5 and 50	43
<u>PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions</u>	
<u>06.01.09</u> Fuel Rod Behavior in the Refill and Reflood Phase of a LOCA	44
06.01.09/08A Investigations of the Interaction between PNS 4238 Ballooning Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling (REBEKA-Program)	44

		<u>Page</u>
<u>06.01.16</u>	Investigations on Severe Core Damage	47
06.01.16/29A PNS 4254	Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding	47
06.01.16/28A PNS 4253	Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 Cladding and UO ₂ Fuel during Severe Core Damage Transients	48
06.01.16/26A /27A PNS 4251.1/2	Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel Damage (CORA)	50
06.01.16/25A PNS 4250	Long Term Coolability of Severely Damaged Cores (COLD)	51
06.01.16/30A PNS 4256	Development of a Computer Code for the Description of Oxidation of Zircaloy Cladding Tubes	53
<u>06.01.17</u>	Investigations on the Accident Behavior of Advanced Pressurized Water Reactor (FDWR)	54
06.01.17/21A PNS 4240	Flooding and Deformation Behavior of Closely Packed Hexagonal Fuel Rod Bundles	54
06.01.17/22A PNS 4242	Investigations of the Influence of Oxide Fuel and Fission Products on the Mechanical Properties of Steel Cladding Tubes	55
06.01.17/23A PNS 4243	Oxidation Behavior of Stainless Steel Cladding Tubes in Steam	55
06.01.17/24A PNS 4244	Investigation of the Mechanical Behavior of Cladding Material for APWR	56

PNS-Subproject 4300 - Investigation and Control of LWR

Core Meltdown Accidents

<u>06.01.11</u>	Reaction Behavior, Activity Release and Transport of Fission Products during Core-Meltdown	58
06.01.11/35A PNS 4311	Investigations on the Behavior of Fission Products and Aerosols in the Atmosphere of an LWR-Containment	58
06.01.11/36A PNS 4314	Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at Core Melting Conditions	60
06.01.11/39A PNS 4326	Investigations of Transport-, Release, and Retention Mechanisms for Fission Product Iodine during Severe Reactor Accidents	60
<u>06.01.12</u>	Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete	62
06.01.12/35A PNS 4325	Erosion of Concrete by Steel Melts Investigations of The Melt Front Velocity	62
06.01.12/36A PNS 4331	Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction of a Core Melt with Concrete	63
06.01.12/37A PNS 4334	Development of Models for the Analytical Determination of Core Meltdown Accidents	64

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

<u>06.01.14</u>	Offgas Filters in Nuclear Power Stations	66
06.01.14/23A PNS 4414	Investigations on the Occurrence and Retention of Penetrating Iodine Species in the Exhaust Air of Nuclear Power Plants	66

	<u>Page</u>
06.01.14/24A PNS 4415	Development and Improvement of Exhaust Air Filters for Accident Conditions 67
06.01.14/25A PNS 4416	Investigations into the Behavior of HEPA Filters under High Temperature, Air Humidity and Elevated Differential Pressure 68
06.01.14/26A PNS 4418	Investigations on the Retention of Iodine by Sorbents in the Case of Fire 70
06.02	SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS
<u>PNS-Subproject 4500 - Safety of Reprocessing</u>	
<u>06.02.01</u>	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant 71
06.02.01/13A PNS 4513	Incident Analysis for the Offgas Cleaning System of the Large Reprocessing Plant 71
06.03	MITIGATION OF CONSEQUENCES
<u>PNS-Subproject 4800 - Behavior, Impact and Removal of Released Nuclear Pollutants</u>	
<u>06.03.01</u>	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness 72
06.03.01/13A PNS 4812	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness 72

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR
POWER PLANTS

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

06.01.15/08A Development and Verification of Codes for Analysis of
PNS 4127 Dynamic Stresses and Deformations of LWR-Containments
(R. Krieg, B. Göller, G. Hailfinger, J. Kadlec, F. Eberle,
G. Messemer, E. Wolf; IRE)

Work performed and Results obtained

The computer program ROTMEM was used to investigate failure of the containment due to internal overpressure at other weak parts. After a deformation of 0.1 m the containment strikes against a double-T girder, which is clamped nearly radially to the outer concrete containment. The corresponding computations showed that the girder will plastically fail before the containment strains have reached critical values. Some nozzles of the containment strike against the outer concrete shell after a displacement of 0.1 m. The corresponding computations showed that for this case the failure pressure of the containment is slightly reduced to 15.1 bar. The presented results were computed using material properties, which were measured at a temperature of 170°C and a strain rate of 10^{-6} /s. These material properties were significantly (30%) better than the values specified for the material. Computations with ROTMEM showed that the failure pressure is only slightly reduced as long as only small regions (ca. 6 m diameter) are made from the weaker material with the specified properties only.

The machine for the bi-axial investigation of the multi-row bolted connection in the containment is being manufactured.

Machining of the high precision spherical containment model was finished.

The strange phenomena, which were observed in the fluid filled cylindrical tank, were investigated in some details. It turned out that due to a repositioning of the tank between two series of measurements the clamping conditions suffered some undue changes. Additional experiments confirmed that the older unexpected experimental findings could indeed be explained by such modifications.

Additionally it turned out. that in computations, which take into account the deviations of the tank from the ideal cylindrical geometry, the shape and the amplitude of the dynamic response is significantly changed.

Plans for future work

In order to study failure of the containment near a quadrilateral reinforcement, corresponding experiments will be performed.

In order to study whether the double-T girder might punch a hole into the pressurized containment shell, a small scale experiment will be performed.

The computations for failure of the containment will be terminated.

The machine for the investigation of the bolted connection will be assembled. The spherical containment model will be measured in detail. Then, experimental modal analysis will start, first at the perfect model, later at the model with imperfections. It is planned to simulate earthquake excitations by means of a shaker table. In parallel, corresponding computational methods will be developed. Finally, experimental buckling investigations will be performed with the sphere. Corresponding techniques which do not damage the spherical model have still to be developed.

06.01.19/04A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior of
PNS 4160 Reactor Components
(K. Bethge, D. Munz, H. Stamm; IMF IV)

Work performed

Experiments: The experiments for determination of the parameters governing fatigue crack growth under mechanical cyclic loading (sinusoidal and with a time dependent load similar to the thermal shock loading conditions) for compact tension specimens according to ASTM-E 647 are continued. The loading frequency (1/5 Hz and 1/15 Hz) is adjusted to the thermal fatigue experiment. The thermal fatigue experiments are also continued using the test-rigs Thespa I and II.

Theory: The completed thermal fatigue experiments are analyzed. The influence of temperature dependent material properties (elastic constants etc.) on the crack growth prediction was evaluated. The behaviour of cladded components under cyclic thermal loading was investigated using a simple elastic-plastic model.

Results obtained

The experiments on CT specimens in a water bath yielded increasing crack growth per cycle for decreasing frequencies (20 Hz - 1/15 Hz) in a region of cyclic stress intensity ΔK corresponding to the thermal fatigue experiments. In all the plates exposed to cyclic thermal loading crack growth along the whole crack front was observed in both ferritic and austenitic steels. The prediction of crack propagation using crack growth parameters obtained from experiments with CT specimens for the corresponding loading frequency were in good agreement with the experimental results. In the theoretical studies of cyclic behaviour of cladded components the so-called "Bree-problem" was solved for numerous material combinations.

Plans for future work

- continuation of the assembly of a test-rig for combined loading
(thermal shock and mechanical bending)
- further thermal shock experiments on different materials and on cladded specimens

- extension of the characterization experiments with CT-specimens on austenitic steels
- development of an in-house fractographic analysis capability
- theoretical studies of crack growth in the shake-down region of clad components.

06.01.21/06A Thermohydraulic Analyses of LWR-Accidents
07A /08A (G. Jacobs, K.Rehme, M.Dalle Donne, H.Borgwaldt, W.Baumann,
PNS 4270-72 G.Willerding, S.H.Mansoor, C.Ferrero, P.Cigarine; INR)

Work performed

The blind prediction of the test LOBI/MOD2/A1-81 using RELAP5/mod1 was performed in due time. The recently released RELAP5/mod2 code (cycle 36) has been installed on a Cray X-MP at KfA Jülich.

A revised version of COMMIX-1B (level April 1985) has been obtained from ANL. Plotting of transients has been added, as the last option, to vector fields and isothermals. Plotting at the graphics work station (TELECTRONICS 618) by means of the DISSPLA plot system has also been implemented.

The pilot version of COMMIX-2 developed at ANL by Bottoni, IRE, has been reorganized and simplified in its overall structure. For analyzing code structure during reorganization a newly developed programming tool OBJXREF has been successfully employed. The turbulence models of the actual version of COMMIX-1B have been transferred to COMMIX-2. The BODYFIT-1FE code has been recompiled on the CYBER-205 with the new FORTRAN-77-compiler, and consistency with the previous compilation has been checked.

The HDR pre-tests T32.15, T32.17, and T32.18 have been pre- and post-calculated with COMMIX-1B till 20 sec into problem time, using the $k-\epsilon$ turbulence model and the skewed-upwind differencing option. A part of these calculations has been repeated with the revised code version.

The evaporation and condensation models as well as the finite difference form of the momentum equations in RELAP5/Mod1 were improved upon the previous version in order to seek an APWR. Moreover new pressure drop correlations were implemented, which cover the utter Re-range for the APWR geometry.

The correlations were already tested. Calculations of the refill and reflood phases following a LOCA for a PWR and an APWR (KfK-INR design) were performed with the FLUT code. Further FLUT calculations are planned, using RELAP5 results at the end of blowdown as initial conditions.

Results obtained

A first comparison of the ISP18 calculational results with experimental data showed a 35% higher total mass loss through the leak than in the experiment. The RELAP5 calculation predicted a higher system depressurization rate and higher void fractions as well as a shifting of energy removal from the secondary side to the leak.

Restructuring COMMIX-2 reduced the number of FORTRAN-77-compiler error messages by some 600. The turbulence models introduced into COMMIX-2 reduced the number of FORTRAN-77-compiler error messages by some 600. The turbulence models introduced into COMMIX-2 are still being tested.

The agreement between COMMIX-1B calculations and HDR experiments is largely satisfactory, although this cannot yet be said for all sensor locations. There still remain some convergence problems, and the computer times are high.

In comparison with former calculations, much more stable results for both PWR and APWR were achieved with the RELAP5 modified version. The maximum pressure rise induced by the loss of heat sink (ATWS) reached 208 bar in case of an APWR, evidently higher than the pressure peak in a PWR (185 bar). However this maximum is lower than the pressurizer safety valves pressure design value. From the reflood calculations performed until now it results that the emergency core cooling system of a PWR can refill and quench an APWR as well. More accurate quench times are expected from the next calculations, which are supposed to use RELAP5 results as initial conditions.

Plans for future work

Final RELAP5 calculations for ISP18. Installation of RELAP5/mod2 on a CYBER-205.

Further optimization of COMMIX-2, adaptation of the plot package and start of vectorization for the CYBER-205. Transfer of the skewed-upwind differencing option from COMMIX-1B.

Pre-calculation of the HDR main tests with COMMIX-1B.

Carrying on of RELAP5 calculations for an APWR, coolability evidence of an heterogeneous APWR core after a LOCA. Introduction of new pressure drop correlations in FLUT. Post test calculations of reflood experiments planned in IRB.

06.01.22/02A Investigation of Transient Interfacial Exchange Process
PNS 4280 in Two-Phase Flow (NOVA Program)
(G. Class, F. Eberle, R. Meyder, G. Gering, G. Lang,
P. Philipp, W. Sengpiel; IRE)

Work performed and Results obtained

Some basic single-phase experiments have been performed for the purpose of checking the measuring techniques and investigation of the characteristics of the experiment facility. Moreover, a first set of airwater bubbly flow experiments has been performed with low local bubble frequencies. Evaluation of these as well as the future experiments required the development of computer programs for data analysis. In a first step, a preliminary program for the analytical separation of the bubble signals from the overall turbulence signal supplied by the hot film probe for evaluation of turbulent characteristics of the liquid phase has been developed and tested. This work is not yet completed. With respect to the application of an X-ray scanner for computer tomography planned for measurements of two-dimensional phase distributions in our test facility, some basic experiments have been done which showed the principal suitability of a special system of sensors consisting of miniature Geiger-Müller counters. Therefore, the specification of an X-ray equipment could be done and the call for tenders has been started.

With the EFP/TEACH code some computational investigations of simple single-phase and two-phase flow problems have been performed. These tests proved the principal suitability of this code for simulation of dispersed two-phase flow. However, some calculations showed numerical difficulties the reasons of which still have to be cleared up.

Plans for future work

In the second half-year of 1985, the two-phase flow experiments will be continued. Additionally, constructive work for an enlarged test section will begin. This new test section will allow both upward and downward bubbly flow. A measuring platform will be developed which is movable along this new test section and rotatable around the plexiglass tubes. It will serve especially as a support of the equipment for the computer tomography.

Theoretical activity will include improvements of the solution algorithm of the EFP/TEACH code. Model development with respect to a turbulence model for bubbly flow as well as a model describing transverse lift forces due to the Kutta-Joukowski effect will be continued.

06.01.03/31A Investigation of Transient Response of TMFM-Prototypes
PNS 4140 2.5 and 50
(J. Kadlec; IRE)

Work performed and results obtained

Fabrication of components, installations and putting into operation of the facility for the measurement of the frequency response functions of the true mass flow meter prototyp 2.5.

Plans for future work

Measurement of the transport characteristics of the true mass flow meter prototype 2.5. Edition of the final report.

06.01 SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR
POWER PLANTS

PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions

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

06.01.09/08A Investigations 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,
P. Schäffner, E. Vogel;IRB)

Work performed

- Further single rod tests on partly recrystallized tubes.
- Evaluation of the REBEKA-7 bundle experiment.

Results obtained

The last REBEKA-7 bundle experiment was successfully performed on October 31, 1984. Similar to REBEKA-6, this experiment was conducted without flow reversal between the steam cooled heatup phase and the flooding phase. All 49 fuel rod simulators were exposed to a 60 bar helium inner pressure prior to the start of the experiment. In the zone of anticipated burst points only some few sheathed thermocouples were point welded into the Zry-4 cladding. The main plane of measurement for power adjustment prior to the experiment was 150 mm below the axial midplane of the bundle.

On account of these measures on undisturbed and maximum interaction was expected to occur among the Zircaloy cladding tubes in a subassembly, and axial cladding tube deformations as well as cooling channel blockage were expected to be similar to the corresponding phenomena in REBEKA-6. The experimental results can be described as follows:

- Cladding tube temperatures measured in the 1850 mm plane exhibited a temperature plateau of about 800°C over an extended period of time within the flooding phase.

- The mean value of the cladding tube temperatures measured closest to the burst points was 755°C.
- By evaluation of axial and azimuthal temperature distributions a mean burst temperature of 790°C can be estimated.
- The cladding tube temperature in the 1850 mm plane underwent a strong decrease during the last 10 to 15 seconds before burst. Negative temperature ramp: about - 9 K/s (influence of gap and cooling).
- In the axially lower zones the cladding tube temperature did not decrease so that these axial zones became hotter than the higher zones (smaller gap between the heat source and the cladding).
- Consequence: The cladding tube deformation in the 1850 mm plane stopped and lower axial cladding tube zones started to get deformed.
- The axial extension of cladding tubes zones exposed to stronger strains was larger than in previous REBEKA experiments.
- The longest mean deformation times in the flooding phase were 40 seconds.
- The mean burst pressure fell down to 57 bar.
- The mean circumferential burst strain was 55%.
- The maximum cooling channel blockage achieved under flooding conditions was 66%.

The appearance of cladding tube deformation and of the resulting cooling channel blockage is the result of interaction of a cladding subject to deformation, on the one hand, and cooling, on the other hand.

On account of the uni-directed flow in the heatup and flooding phases the temperature maximum was shifted towards the upper zone between the central spacers. Here deformation was initiated. Cooling in this experiment was just sufficiently large to stop or decelerate deformation but it was not large enough to be able to cool down substantially the lower axial and less deformed cladding tube zones. However, these zones were sufficiently hot and the load exerted by internal pressure still high enough to give rise now also to deformation.

This negative temperature feedback effect, which requires the interplay of clearly defined conditions, caused higher circumferential strains in the REBEKA-7 experiment over a larger axial zone and hence the greatest cooling

channel blockage obtained during flooding in the REBEKA bundle experiments.

Plans for future work

- Further evaluation and documentation of REBEKA-7.
- Preparation of data reports.
- Final report of the REBEKA program.

06.01.16 Investigations on Severe Core Damage

06.01.16/29A Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding

PNS 4254 (S. Leistikow, I. Cambien, G. Schanz; IMF II)

Work performed

Parameter studies towards the influence of reduced steam supply and hydrogen additions to steam on the oxidation kinetics and the mechanical behavior of Zircaloy-4: Evaluation of experimental investigations at 900 and 1000°C with respect to oxidation and hydrogen uptake of Zircaloy-4 in gas mixture of steam, hydrogen, and argon. Start of corresponding investigations at 1100 to 1300°C. Termination of creep-rupture investigations on Zircaloy-4 tube capsules at 1000°C in steam, steam/argon mixtures and argon, as well as their oxidation kinetics related evaluation.

Results obtained

The reaction tests in slowly flowing steam towards the influence of steam starvation are documented. The corresponding kinetic tests in mixed atmospheres of steam/hydrogen/argon are being continued by first tests at 1100 to 1300°C. The test series at 900 and 1000°C have been completed and metallographically evaluated, whereas the results of chemical analyses are not yet available.

The metallographical evaluation of these tests has shown, that hydrogen uptake modifies the microstructure of the metallic core of the cladding tubes. Accordingly, hydrogen uptake from hydrogen containing atmospheres is determined, whereas in atmospheres without hydrogen addition any uptake of released hydrogen remains below the detectability limit. In support of earlier results at 800°C, the uptake is growing with decreasing steam supply and increasing reaction duration. At 900°C hydrogen uptake is detected for H_2/H_2O relations of 1/1 and above. At 1000°C within the stability range of the β -phase, the uptake is less clearly visible. At this temperature more pronounced differences between the extent of external and internal oxidation show, that the access of steam from the surrounding atmosphere, as one single process of the oxidation reaction increases in importance. With decreasing steam content of the atmosphere a resulting limitation of the reaction rate begins at the interior of the tube and spreads its range of influence to the external tube surface. A separate

hydrogen-specific influence on the oxidation kinetics (hydrogen blanketing) could not be detected for these temperatures, as for the lower ones studied before.

In completion to the present experimental program the general interrelations between the degree of protection of pre-existent scales and the kinetics of subsequent oxidation have been considered. In addition a summarizing judgement of the influence of Zircaloy-4 oxidation during the course of a LOCA was worked out in comparison to presently valid licensing and suggested alternative embrittlement criteria.

Plans for future work

Chemical analysis, evaluation, and documentation of the kinetic experiment at 900 and 1000°C; continued investigation at 1100 to 1300°C.

06.01.16/28A Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 Cladding
PNS 4253 and UO₂ Fuel during Severe Core Damage Transients
(P. Hofmann, G. Gausmann, H. Metzger, E. Kurz, E. Nold,
H. Uetsuka; IMF II)

Work performed

- Temperature transient UO₂/Zry reaction experiments with fuel rod segments of about 100 mm length conducted at 1000°C and 2000°C under oxidizing test conditions.
- UO₂ crucible experiments with liquid Zircaloy in the LAVA melting facility.
- Fission gas behavior in irradiated UO₂ during out-of-pile annealing experiments.

Results obtained

- The temperature transient experiments were performed at heating and cooling rates of 0.25, 1, 5 and 10 K/s. The maximum temperature varied between 1000 and 2000°C; the holding time at T_{max} was 10 s in every test. It was the purpose of the experiments to find out whether and at which heatup rate an uncontrolled temperature escalation will take place. Moreover, these

experiments provide a data base for verifying the PECLOX model which is capable of calculating the thickness of the reaction zones and the oxygen distribution in the various reaction layers formed as a function of the temperature and time /1/.

It is evident from the test results that in no case an uncontrolled temperature escalation took place as a result of the cladding oxidation. At test temperatures above the Zircaloy melting point (approx. 1760°C) the metallic fraction of the cladding tube is liquefied. On account of the stable external ZrO₂ layer, which is formed during the heatup, running down (relaxation) of the melt is prevented. Heating the fuel rod segments to 2000°C and cooling them down to 1000°C resulted in a complete conversion of the cladding tube into ZrO₂, even at heating and cooling rates of 10 K/s.

- In the LAVA melting facility the first reaction kinetic experiments between solid UO₂ and molten Zircaloy cladding material were performed. The melt is contained in a solid UO₂ crucible. The temperatures investigated varied between 1800°C and 2300°C for maximum reaction times of one hour. The amount of fuel reacted was determined from the amount of dissolved UO₂. This can be done by chemical analysis or more conveniently and faster by quantitative assessment of the individual phases in the solidified metallic melt. The results obtained so far show a reasonable correlation between the amount of dissolved UO₂, on the one hand, and the temperature and time, on the other hand. At temperatures of 2300°C the UO₂ crucible wall is completely penetrated by the Zircaloy melt within a few minutes.
- UO₂ specimens having undergone burnups between 0.3 and 3.8% were annealed in capsules. The temperatures ranged from 1700 to 2000°C and the annealing times from 2.5 to 30 minutes. After annealing the volume of fission gas released was determined. Fission gas release increases with increasing temperature and annealing time. Following annealing times of 5 to 15 minutes at 2000°C the gas volume released lies between 40 and 60% for specimens with burnups \geq 0.9%.

Plans for future work

- Verification of the PECLOX model with the available test results.
- Continuation of the experiments to determine the rate of dissolution of solid UO_2 by liquid Zircaloy.
- Preparation of UO_2 /Zry/Inconel 718 reference melting specimens of defined initial chemical compositions for describing the reaction behavior of the fuel rod bundle components in more complicated melting experiments.

Literature:

- /1/ P. Hofmann, H.J. Neitzel;
Experimental and Theoretical Results of Cladding Oxidation Under Severe Fuel Damage Conditions.
7th International Conference on "Zirconium in the Nuclear Industry",
24 - 27 Juni 1985 Strasbourg, France.

- 06.01.16/26A Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel Damage
/27A (CORA)
- PNS 4251.1/2 (S. Hagen, K. Hain, W. Butzer, A. Grünhagen, G. Harbauer,
J. Hauschild, W. Lange, W. Leiling, H. Malauschek, G. Müller,
N. Paroth, F. Schloß, T. Vollmer, K.P. Wallenfels; IT)

Work performed

Construction of CORA:

The last large component, the steam producer/superheater - arrived and was installed into the CORA containment. The connection to the facility was started.

Partly test for commencement of operation have started. The bundle for the first test was put together. This bundle with simplified fuel rod simulators without UO_2 should test the bundle heating and the instrumentation in a temperature region up to about $1000^{\circ}C$.

Test in the NIELS facility:

In the first half of 1985 the investigation of the influence of the absorber rod materials was continued. We have done two further bundle tests of 3x3 fuel rod simulators with central absorber rod. The 80Ag15In5Cd alloy was contained within the original stainless steel absorber cladding. The absorber

rod was surrounded by a Zry-guide tube. This again was connected to the fuel rod simulators by an Inconel 718 spacer. The maximal temperature in these tests was 1850°C and 1400°C. These tests should investigate the increase in damage with increasing temperature. The aerosols were collected on a glass fiber filter in the exhaust line.

Results obtained

The tests show that the absorber cladding fails at 1200°C. The absorber alloy melts at about 800°C and due to the low boiling point of Cd a high steam pressure is developed. The melt ejected from the absorber rods also penetrates the guide tube and flows down along the outer fuel rod simulators to refreeze in the lower part of the bundle.

To our momentary knowledge the earlier failure of the cladding at 1200°C is due more to an interaction between Zry of the cladding and the stainless steel of the absorber than due to the pressure build up. The test shows a strong attack of the absorber melt on the Zry.

On the other hand we could not find a remarkable reaction between absorber melt and stainless steel. In all tests we found a preferential evaporation of cadmium. The amount of evaporated silver increases with temperature.

Plans for future work

After completion of last construction work the test for commencement of operation are going on. Before the end of this year a test with original geometry by Al₂O₃ instead of UO₂ should be run, to test the whole facility.

06.01.16/25A Long Term Coolability of Severely Damaged Cores (COLD)
PNS 4250 (G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Work performed

Dryout experiments in deep beds of 60 mm in diameter were continued. Bed depths between 45 and 11 cm were investigated with beds consisting of 3 mm particles; the results together with the data generated in the last reporting period describe the dryout heat flux as a function of the bed depth in up to 103 cm deep beds for 3 mm particles.

A corresponding test series with cylindrical 1 mm particles (length = diameter) was conducted for bed depths between 14,5 and 103 cm.

From a comparison of the dryout heat fluxes for 3mm spherical and cylindrical particles in a 103 cm deep bed a shape factor for the particle geometry was derived. In preparation for the DCC-3 inpile experiments at SANDIA National Laboratories stratified beds of 3 mmspheres with 5 cm deep top layers of 1 mm and 2 mm particles, respectively, were investigated.

Calculations with the model of Lipinski resulted in predictions that were compared with the experimental results.

Results obtained

The dependence of the dryout heat flux on bed depth is relatively weak, especially for 3 mm particles, and it disappears for bed depths greater than 40 to 60 cm, the agreement with the model prediction seems good in trend and quantities. There were no indications for unexpected mechanisms that could reduce the coolability in very deep beds. When the liquid pool above the bed was high, periodical pool oscillations were observed and the dryout heat flux was increased, especially for small particles.

With the axial pressure differences measured in the bed it was confirmed that dryout is an occurrence during the course of a boil-off transient, the transient is initiated when the vapor counterflow causes an insufficient replenishment of the bed with liquid.

In the 1 mm stratified bed extremely small dryout powers were measured. It seems that capillary forces at the layer interface stabilize a horizontal phase boundary there and block the downward flow of liquid through the interface.

Plans for future work

Evaluation and documentation of the performed experiment. Experiments with natural convection driven liquid flow through a permeable bottom.

06.01.16/30A Development of a Computer Code for the Description
PNS 4256 of Oxidation of Zircaloy Cladding Tubes
(H.J. Neitzel; IRB)

Work performed

The PECLOX diffusion model was used to verify by calculation non-isothermal experiments on the combined internal and external oxidation of the Zircaloy fuel rod cladding.

The experiments conducted by P. Hofmann (KfK, IMF/I) comprised each a heating phase at constant rate of temperature rise, a holding time at the maximum temperature of 10 seconds duration, and a cooling down phase with a rate of temperature decrease of the same value as the rate of temperature rise during heating up.

The parameters in the experiments were the rates of temperature rise/decrease and the maximum temperature. The calculations were performed for heating rates of 0.25 K/s and 1 K/s and maximum temperatures between 1100°C and 1700°C.

Results obtained

A good agreement was obtained between the calculated and the measured layer thicknesses of the reaction products for those cases where at the end of the experiment a metallic β -Zircaloy layer was still present or had just disappeared. For the experiments lasting far beyond the disappearance of the β -layer - either on account of the very high maximum temperature or the very low heating rate - the differences between calculation and experiment were larger.

It is supposed that this is attributable to the dissolution of the (U, Zr) alloy layer during advanced oxidation and the associated changes in physical characteristics.

Plans for future work

Futher verification of the PECLOX model.

- 06.01.17 Investigations on the Accident Behavior of Advanced
 Pressurized Water Reactor (FDWR)
- 06.01.17/21A Flooding and Deformation Behavior of Closely Packed
PNS 4240 Hexagonal Fuel Rod Bundles
 (F.J. Erbacher, W. Just, H.J. Neitzel, P. Schöffner,
 H. Schmidt, E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Work performed

- Single-rod burst tests on SS-cladding tubes up to burst temperatures of approx. 1250^oC.
- Assembly and instrumentation of 61-rod test bundle (p/d = 1.06, 6 helical fins on cladding).
- Installation of test bundle in test section.
- Functional tests of test loop.
- Development of electrically heated fuel rod simulators for basic CHF-tests in Freon.
- Examinations about transfer of a Freon test loop from GKSS to KfK.

Results obtained

- Test results of single-rod burst tests are consistent with the previously published.
- Preparation work for flooding tests on 61-rod bundle is completed.
- Development work of fuel rod simulators for basic CHF-tests in Freon is completed.
- Estimates for costs and time for a transfer of a Freon test loop from GKSS to KfK as well as a proposal for its installation at KfK/IRB are made.

Plans for future work

- Bundle tests with flooding on 61-rod bundle.
- Single-rod burst tests on SS-cladding tubes.
- Concept study for test program of CHF-tests in Freon at KfK/IRB.
- Fabrication and instrumentation of fuel rod simulators for basic CHF-tests in freon.
- Contributions to modeling of the flooding behavior of tightly packed hexagonal rod bundles.

06.01.17/22A Investigations of the Influence of Oxide Fuel and Fission
PNS 4242 Products on the Mechanical Properties of Steel Cladding Tubes
(P. Hofmann, J. Burbach, H. Metzger; IMF I)

Work performed

Dreep experiments at 700°C with 1.4970 tube specimens containing fission products. Determination of the influence of various fission products and oxygen potentials on the mechanical properties of the cladding tube.

Results obtained

In principle, all volatile fission products investigated exhibit an influence on the strain behavior of the 1.4970 tube specimens. The time-to-failure and the burst strain are generally reduced. An elevated oxygen potential (Ni/NiO) exerts an additional influence on the mechanical properties of 1.4970.

Plans for future work

Continuation of the 1.4970 creep experiments with tube specimens containing iodine selenium, tellurium and cesium as well as extension of the experiments to simulate different oxygen potentials.

06.01.17/23A Oxidation Behaviour of Stainless Steel Cladding Tubes
PNS 4243 in Steam
(S. Leistikow, H. v. Berg, G. Schanz; IMF II)

Work performed

Literature study of the corrosion behaviour of ferritic-martensitic 9 to 12% Cr steels in water and steam in the frame of a comparison of the material types ferritic steel, austenitic steel, Zircaloy-4. Preparations for short-term creep-rupture investigations on internally pressurized tube capsules of the austenitic stainless steel DIN 1.4970 (X10 NiCrMoTiB 15:15) under external steam oxidation.

Results obtained

With higher Cr contents, Mo addition and stabilisation by Ti or Nb addition the resistance of martensitic Cr steels is roughly comparable with that of austenitic CrNi steels. In the primary loop, however, problems due to formation, transport, and deposition of corrosion products would have to be expected. Even in the P_H -elevated medium of a secondary loop the hazard of transport and enrichment of solute materials exists, which are able to promote severe damage by local corrosion phenomena (pitting, stress corrosion).

The preparations for short-term creep-rupture investigations of the austenitic stainless steel DIN 1.4970 have been continued by capsule specimen manufacturing and necessary modifications of the test equipment.

Plans for future work

Termination of test preparations, stress-rupture testing of 1.4970 in the range 1 min to 6 h, 600 to 1300°C.

06.01.17/24A Investigation of the Mechanical Behavior of Cladding
PNS 4244 Material for APWR
(C. Petersen, H. Schneider, W. Schweiger; IMF II)

Work performed

On both materials investigated (the austenite W.Nr. 1.4970 and the tempered martensitic ferrite W.Nr. 1.4914) in the temperature range between 1000°C and 1200°C had been conducted tensile tests in 50°C-steps under vacuum.

The set of data from creep test results of W.Nr. 1.4970 had been extended to 900°C until 1050°C.

Results obtained

- The tensile strength values of both materials decrease, as expected, with increasing temperature continually. Remarquable was the stepwise increase in strain, changing the environment from air atmosphere to vacuum.

A direct comparison was accomplished at 1000^oC. The just detected high strain values of A = 52% (W.Nr. 1.4970) and A = 70% (W.Nr. 1.4914) in air were increased under vacuum by 15 to 20% strain. The maximum strain values in the measured temperature range were for W.Nr. 1.4970 with A = 90% at 1000^oC and for W.Nr. 1.4914 with A = 80% at 800^oC and 1100^oC respectively. At these temperatures amounts of strain could be reached, which would lead to a blockage of the coolant channels, if it happened in one plain of the fuel element.

- The creep rupture strength of W.Nr. 1.4970 decreased above 900^oC much more faster, so it was supposed to be a change of creep mechanism.

Plans for future work

- Continuation of tensile creep tests on both materials up to 1200^oC.
- Examination of behavior of precipitates in this temperature range.
- Determination of coefficients from the existing data base to complete damage models.

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

06.01.11/35A Investigations on the Behavior of Fission Products and
PNS 4311 Aerosols in the Atmosphere of an LWR-Containment
(H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck; LAF I)

Work performed

The main experiments were carried out:

- V 34 basic experiment with maximum aerosol concentration.
- V 36 experiment with "transient" thermodynamics.
- V 39 experiment with silver aerosol.

In the experiments V 34 and V 36 tin oxide was used as aerosol material. Although these experiments can be regarded as complete from the aerosol-physical standpoint, V 34 has to be repeated with a mixture of iron oxide and silver as aerosol material for demonstration purposes. Therefore, V 34 and V 36 will be called B 4 and B 5, the nomenclature "B-series" was introduced for the experiments with tin oxide to distinguish them from the demonstration experiments (A-series) with mixed aerosol typical for core melt accidents.

Results obtained

All experiments performed in the reporting period are not get completely evaluated. The preliminary results are as follows:

V 34 = B 4: This experiment corresponds to the basic experiment A 3 of the DEMONA test matrix except for the aerosol material. The general behavior was similar to the experiment V 31 = B 3 last year. In both cases strong condensation started in the bulk volume about 30 minutes after the switching off of the aerosolgenerators. The depletion of the aerosol particles was considerably accelerated by the growth of the particles caused by condensation. Eight hours after stop of the aerosol generation the aerosol concentration was already below 1 mg/m^3 which is the lower limit for the measurements. This

corresponds to a reduction of the airborne mass by four orders of magnitude. The measured concentration agrees well with the pre-test calculation and the post-test calculation.

V 36 = B 5: This experiment was carried out with "transient" thermodynamics to check the link of the thermodynamic calculation and aerosol behavior calculation under non-stationary conditions. The transient conditions were realized by stopping the steam input one hour before aerosol generation and restarting steam input at the time when the aerosol concentration reached 1 g/m^3 by the normal dry deposition processes. Since this condition was reached already 1 hour after the end of the aerosol generation, the time dependent difference between "dry" and "wet" aerosol deposition cannot be resolved in this experiment in contrast to the findings in the experiment V 39.

V 39: The experiment V 39 was also carried out as a "transient" experiment but with low concentration of silver aerosol. The low initial concentration should slow down the "dry" deposition and therefore, makes the accelerated deposition after switching on the steam input more clear. The preliminary results show that this intention could be realized; but the final evaluation of the experiment is still in progress.

Plans for future work

When the construction and the test of the iron oxide aerosol generator will be finalized, the experiments will be continued. At the end of 1985 all experiments will be performed except for the multi-compartment test and the demonstration experiments which are planned for the time after the alteration of the containment at the beginning of 1986.

06.01.11/36A Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at
PNS 4314 Core Melting Conditions
(A. Skokan, Ch. Adelhelm, Ch. Gosgnach, G. Schlickeiser, IMF I)

Work performed

Thermite melt specimens drawn from the liquid as well as from the solidified melt of the BETA tests were characterized by chemical and phase analyses.

Results obtained

The results of the chemical analyses show the change of the steel melt composition in the course of the experiments due to successive oxidation of chromium and iron. The melting and solidification temperatures of the oxide melt fraction with different admixtures (SiO_2 , CaO) that were added in order to reduce the solidification temperature and the viscosity of the melt were measured with pyrometer and thermal analysis methods. They were found to be lower than the corresponding temperatures of the metallic melt fraction.

Plans for future work

- Continuing examinations of BETA melt samples,

06.01.11/39A Investigations of Transport-, Release, and Retention
PNS 4326 Mechanisms for Fission Product Iodine during Severe
Reactor Accidents
(H. Moers, H. Klewe-Nebenius, G. Pfennig; IRCH)

Work performed

The interaction of iodine with metallic silver was studied in the gaseous phase. Surface analytical investigations using XPS and AES were performed on Ag samples charged with iodine vapour for exposures from 0.05 up to 500 Langmuirs ($1 \text{ L} = 10^{-6} \text{ torr} \cdot \text{sec}$). Information was obtained especially for the initial phase of the adsorption process.

Results obtained

- Iodine is adsorbed at metallic silver from the gaseous phase forming an AgI overlayer whose thickness increases with increasing exposure to iodine vapour.
- The reaction slows down remarkably after formation of a closed AgI surface layer. It continues, however, until a layer has been formed with a thickness corresponding to the maximum information depth of XPS and AES (about 10 nm). A further growth of the overlayer cannot be followed easily with surface analytical techniques.
- During the initial phase of the adsorption process two different chemical states of iodine are observed simultaneously: isolated chemisorbed iodine atoms and iodine bound in AgI.
- Binding energies and relative intensities were determined for the different iodine species observed.

Plans for future work

Study of the thermal behavior of the adsorbates. Investigation of the interaction of iodine with silver in aqueous phase.

06.01.12 Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete

06.01.12/35A Erosion of Concrete by Steel Melts Investigations

PNS 4325 of the Melt Front Velocity

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

Work performed

During the reporting period 4 further tests were done according to the test matrix: high temperature test V 1.7 and V 1.8 and the low temperature test V 2.1 and V 2.2. The power input in this tests amounted to about 1700 KW, 1900 KW, 135 KW and 70 KW. For test V 1.8 the melt (350 kg steel + 130 kg oxide) contained 39 kg CaO and for test V2.2 (300 kg steel + 100 kg oxide) 15 kg CaO.

The crucibles contained the normal instrumentation: 108 thermocouples, 16 humidity detectors and 30 light guides. The crucible was cut after the test in the longitudinal direction.

Results obtained

For the high temperature experiments we found as in earlier tests the preferential penetration of the melt in the longitudinal direction: about 250 mm for V 1.7 and 450 mm for V 1.-. This is compared to about 50 mm penetration in radial direction. Regarding the low temperature experiments we got for test V 2.1 a longitudinal penetration of short 400 mm with a radial penetration of 100 mm and for test V 2.2 good 100 mm in longitudinal direction compared to short 100 mm in radial direction.

The addition of CaO reduces drastically the viscosity of the melt. For test V 1.8 wie have a change of a factor 10 with the consequence that dispersion of metal in the oxidic melt could not be found.

Plans for future work

The second half of 1985 should finish the tests according to the test matrix. Four further tests are planned.

06.01.12/36A Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction
PNS 4331 of a Core Melt with Concrete
(M. Reimann, S. Stiefel; IRB)

Work performed

- Pre tests and post test calculations of the BETA-experiments.
- Modifications of the heat transfer modelling in WECHSL.
- Programming work for the iodine model.
- Containment computations with CONDRU.

Results obtained

The high temperature tests in the BETA facility with performances ranging from 400 KW to 1.8 MW have been nearly completed. For the low temperature phase characterized by the formation of crusts at the bounds of the melt, two experiments have been carried out to date. Further tests are planned in this range.

By observation of the melt surface, a substantial splash out of melt into the wall in the upper part of the crucible could be identified. A fraction of this splash out was deposited on the walls, whereas the residual fraction of the splash out runs back into the bulk at a considerably reduced temperature.

In WECHSL, this effect is taken into consideration by an empirical model. Thus a better representation of the measured temperature profiles by the computations could be reached. On the other hand, this modifications led to the surprising result that all tests as well in the high temperature phase as in the low temperature phase can be represented by using an unique value for the stability factor determining the start of the collapse of the gas film.

Tests with US concrete (Limestone/Common Sand, Limestons) which are characterized by a much higher gas release are of special interest. These tests will serve to investigate the problem of gas film collapse in more detail.

Plans for future work

- Further development of the physical models.
- Pre- and post-test calculations of BETA experiments.
- Computations for core melt accident sequences.

06.01.12/37A' Development of Models for the Analytical Determination
PNS 4334 of Core Meltdown Accidents
(H. Alsmeyer, K. Dres; IRB, M. Oehmann et al.; KTB)

Work performed

- Execution of BETA experiments in the high- and low-temperature range.
- Evaluation and assessment of BETA experiments.
- Spezifikation of future BETA experiments.

Results obtained

In the BETA facility 13 experiments were carried out until end of may 1985. 5 further experiments during the second half of 1985 will end the experimental series. The principal goal of the present experiments was the investigation of the high temperature melt/concrete interaction. The low temperature interaction, up to now, has been investigated in 2 experiments and will be analysed in more detail in the planned experiments.

The behavior of the melt at high temperatures as observed in the first BETA experiments has been approved by additional experiments: Penetration of the melt into the concrete is dominant in the downward direction. The downward heat transfer is considerably higher than that observed in transient experiments and earlier heat transfer models.

Consequently, the steady temperatures of the melt in BETA are quite low (1500 to 1600 °C) and the decrease of the melt temperature from initially 2000 °C at the pouring to its steady value is very fast. The dispersion of the metallic melt into the oxidic melt first observed in the BETA experiments is mainly influenced by three parameters: Gas velocity, density difference of metallic and oxidic phases, and viscosity of the oxidic phase. BETA experiment V1.8 has shown with respect to the core meltdown accident that dispersion will not occur for the typical viscosity of the oxidic melt even for high gas release rates when the density of the oxidic melt is reduced by the

molten and dissolved concrete. However, initially dispersion of the metal into the oxide is likely to occur because of small density differences. Its influence on erosion and gas release rates can be estimated by the models in the WECHSL code. For the layered melts, dominating over long times, all models in WECHSL may be applied.

All experiments in BETA with the siliceous type of concrete show very small aerosol release. In cooperation with NRC/SANDIA two BETA experiments with limestone concrete will be conducted during fall 1985 to check the high aerosol rates reported from US experiments for this type of concrete.

The off gas analysis in BETA show the release of the gases H_2 , H_2O , CO and CO_2 , while other gases as e.g. CH_4 , formerly expected, are not present. Therefore, gas reactions in WECHSL are adequately modelled.

The first lowtemperature experiment in BETA with a thickness of metall crusts of 10 to 15 mm shows a predominant downward erosion of the concrete crucible. However, for thicker crusts (at lower heat generation in the melt) horizontal propagation seems to become more important.

Plans for future work

Execution and evaluation of further BETA experiments to verify existing computer codes; experiments in the low temperature range involving crust formation; investigations into the role of limestone aggregates.

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

06.01.14/23A Investigations on the Occurrence and Retention of
PNS 4414 Penetrating Iodine Species in the Exhaust Air of
Nuclear Power Plants
(H. Deuber; LAF II)

Work performed

Operation of special iodine species samplers in the stack exhaust air of a boiling water reactor (BWR 5) during power operation. (The special iodine species samplers permit to distinguish easy-to-trap (e.g. CH_3I) and difficult-to-trap organic iodine species.) Putting into operation of a mass spectrometer.

Results obtained

In the stack exhaust air of BWR 5 the proportion of the easy-to-trap organic ^{131}I was 20 - 30%, and that of the difficult-to-trap organic ^{131}I less than a tenth of this value. The balance consisted nearly completely of elemental ^{131}I .

Plans for future work

Continuation of the operation of special iodine samplers in BWR 5.
Investigation of the difficult-to-trap organic iodine by mass spectrometry.
Investigation of the retention of synthesized organic iodine compounds by sorbents.

06.01.14/24A Development and Improvement of Exhaust Air Filters
PNS 4415 for Accident Conditions
(H.G. Dillmann, H. Pasler, R. Maier, H. Schmitt; LAF II)

Work performed

The investigations started of the true-scale prototype of the metal fiber particulate air filter. Studies were performed of the removal efficiency of the TAIFUN facility in a volume flow between 500 and 2000 m³/h.

Within the framework of box type and candle type filter development powder metal candles previously used as well as first prototypes of metal fiber candles were investigated. Planning work of the TAIFUN refurbishment was completed and the respective orders have been placed. The ordered process control system has been delivered.

Results obtained

The prototype filter yielded removal efficiencies > 99.9% in the first tests. However, these values are not yet considered as adequate. It is supposed that minor leakages occur at the edges.

Measurement of powder metal candles previously used yielded removal efficiencies between 2 and 30%, depending on the manufacturer, as a function of the volume flow if uranine was used as the testing aerosol. On the other hand, the first prototypes of the fiber candles yielded from the start removal efficiencies of 70 to 99%, depending on the fiber material used. Following further optimizations, including inter alia reductions in pressure loss, these values can still be improved.

The order for TAIFUN refurbishment has been placed and the already delivered process control system has been installed. Compared with the previous operation of the facility requiring a lot of manual handling, a much higher degree of automation can now be achieved.

Plans for future work

Work related to the problem of edge clamping will be continued on the prototype filter with a view to achieving higher removal efficiencies. The development of filter candles will be carried on using further optimized prototypes. During the second half of the year the studies will be continued on coarse dust removal and surface loading of roughing filters.

The refurbishment of the TAI FUN facility will be completed in late 1985.

06.01.14/25A Investigations into the Behavior of HEPA Filters under High
PNS 4416 Temperature, Air Humidity and Elevated Differential Pressure
 (V. Rüdinger, Th. Arnitz, R. Benesch, U. Ensinger,
 C.O. Ricketts, U. Geckle;LAF II)

Work performed

In routine operation, the new removal efficiency method with TiO_2 condensation aerosol was used to test a large number of filter units at room temperature. Several improvements were made toward optimization of the method. Preliminary removal efficiency tests were performed at 70 - 180°C.

To verify a model for the failure in the ends of the medium folds, tensile strength tests of media samplers removed from tested filter units were begun. The high speed films were analysed to determine fold width at initial failure. A test series to evaluate the protection provided by moisture separators to filter units under humidity conditions was performed and the test data reduced. The test apparatus to measure the water repellency of filter medium was put into operation.

The insulation of the test facility BORA was completed. Further orientation experiments with the facility were performed. Preparations for a test series to investigate filter unit behavior during exposure to combustion products were completed. The task to model ventilation systems of nuclear power plants was begun.

Results obtained

On the basis of the achieved improvements, the upstream aerosol concentration could be reduced to about 2 mg/m^3 . The repeatability of the decontamination factors, measured in the range of 1×10^3 to 4×10^4 were calculated to be approx. 5%, a very acceptable value. Analysis of the high speed films showed that the width of individual folds, prior to failure, increased from an initial value of some 5 mm up to as much as 28 mm. The tensile strength tests gave failure values of approx. 30 N for the 50 mm width samples. Decreases of 30-70% in tensile strength, attributed to folding the filter medium during filter-unit fabrication, were measured. Results of the humidity tests showed failure differential pressures of 2 - 4 kPa for filter type CN, characterized by deep pleats.

Two filters of the mini-pleat type failed at a differential pressure of 0.4 and 0.8, respectively. Values of post-test DOP efficiency were all $< 90\%$. Respective X_{50} values of the efficiency curves for the moisture separators corresponded to droplet sizes of 2.3, 5.5 and 7.5 μm . During fog conditions, the maximum differential pressure of the downstream HEPA filter was 350, 1120 and 4500 Pa, respectively. It was determined that both of the less-effective (wave plate) moisture separators generated significant quantities of downstream secondary droplets. Above all, it was confirmed that under fog conditions, moisture separators will not prevent damage to filters, particularly dust loaded ones.

The test facility is prepared for acceptance tests at high temperature. The filter tests with combustion products are scheduled for Oct./Nov. 1985. The tasks of modelling and code verification continue to progress.

Plans for future work

Removal efficiency tests at $70 - 200^\circ\text{C}$ will be continued further. The tensile strength tests will be completed and the test data analyzed. After completion of an additional test series, an interim report will be completed. Laboratory apparatus for the investigation of filter media under high air humidity will be designed and built. Tests of HEPA filters under combined challenges will be begun. The first filter test series with combustion products will be performed in the 4th quarter. The experiments to verify the modified EVENT code with the test facility BORA will be completed. The work to model the ventilation systems of nuclear power plants will progress.

06.01.14/26A Investigations on the Retention of Iodine by Sorbents
PNS 4418 in the Case of Fire
(H. Deuber, V. Giraud; LAF II)

Work performed

Tests on the retention of $\text{CH}_3^{131}\text{I}$ by the activated carbon 207B (KI) under the influence of combustion products (combustion products from a PVC cable, synthetic combustion product HC2).

Results obtained

Strong reduction of the retention efficiency of the direction of flow) first sections of carbon beds when loaded with combustion products to an extent far less than that to be expected in a serious fire in a nuclear power plant: reduction of the performance index of the first section (depth: 2,5 cm ; residence time: 0,05 s) from about 10 s^{-1} (when new) to below 1 s^{-1} (30°C , 70% R.H.).

Plans for future work

Combustion of FRNC cables, lubricants and paints to analyze the combustion products (gas chromatography, mass spectrometry). Preparation and analysis of reaction products from I_2 and combustion products. Tests on the retention of $\text{CH}_3^{131}\text{I}$ by different impregnated activated carbons under the influence of various real and synthetic combustion products (combustion products from cables, lubricants and paints; HC2, SO_2 , CH_3COOH).

06.02 SAFTEY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS

PNS-Subproject 4500 - Safety of Reprocessing

06.02.01 Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant

06.02.01/13A Incident Analysis for the Offgas Cleaning System of
PNS 4513 of the Large Reprocessing Plant
(S. Fenyi, K. Nagel, G. Weber, H. Wenzelburger; IDT)

Work performed

- The adsorption of water on silicagel and the coadsorption of krypton and xenon on siligel and molecular sieve has been described using diffusion theory.
- To model the aerosol retention of a HEPA filter.

Results obtained

- The adsorption of water will be determined by diffusion in a drifting field and the coadsorption by surface diffusion on the adsorbent particle.
- The boundary between impaction and diffusion in the aerosol retention is near 1 μm in the aerosol diameter.

Plans for future work

- System analysis of a high-level liquid waste vitrification facility.

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

06.03.01/13A Investigation of the Physical and Chemical Environmental
PNS 4812 Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness.

(H. Schüttelkopf, B. Bohn, S. Erat, K. Gamer, G. Hefner, J. Hiller, T. Liese, M. Pimpl, W. Schmidt, T. Sollich, W. Wünschel; HS)

Work performed

- Development and improvement of analytical methods.
- Measurement of transfer factors soil to plant.
- Experiments to increase the mobility of Np, Pu, Am, Cm, and Tc. Displacement of Pb, Cr, Co, Ni, and Cd by earthworm activity.
- Investigation of the germination capacity of spring wheat.

Results obtained

- Methods to determine lowest concentrations of Tc-99 in soil and plant samples are developed at present. Suitable analytical methods for Uranium, Thorium, Radium, Lead, and Polonium have been improved. Procedures to measure nutrients and trace elements in soils and plants by aid of ICP-AES and AAS have been improved, too. A method to determine rare earth elements in soils with ICP-AES has been developed. Interferences of the measurements of Cd, Sb, Se and Pb in soil and plant samples with graphite furnace AAS could be minimized using a matrix modifier. The determination of anions in soil and plant extracts by aid of ion chromatography was continued and improved. First results have been obtained for the determination of fluoride besides of Cl^- , H_2PO_4^- , NO_3^- , and SO_4^{2-} without interferences.

- The measurements of the actinide transfer soil-to-plant have been continued as longterm experiments in lysimeters on three soils - a chalk weathering, a granite weathering, and a glisil. Grass, wheat, potatoes, and maize have been cultivated. In pots filled with 10 kg contaminated soil parameter studies have been started up. The influence of soil pH on the transfer is investigated as well as the effect of different amounts of organic material in the soil on the root uptake of actinides. In lysimeters on a sandy soil the influence of different plants on the solubility and plant availability of actinides in the soil is investigated. The uptake into beans which are cultivated immediately afterwards should allow to draw conclusions on the influence of the preceding crop. Experiments to measure the soil-to-plant transfer of Tc-99 have been started up in March 1985. On two soils - a sandy soil and a loess - potatoes and spring wheat are cultivated. Soil contamination was done with Tc(VII) and Tc(IV). The soil-to-plant transfer factor will be measured and the influence of the different fertilizers (KAS, ASS, Urea) on the oxidation state of Tc will be investigated. Preparatory work was started up for the measurement of the soil-to-plant transfer of U, Th, Ra, Pb, and Po.
- The enrichment of the pollutants Cd, Co, Cr, Ni, and Pb in the tissue of earthworms has been measured performing column experiments. The displacement of these pollutants in soil columns due to earthworm activity has been investigated. Experiments to increase the mobility of actinides in soil have been continued. The elution behavior of Tc, Np, Pu, Am, and Cm was investigated by irrigation with DTPA-solution of 20 soil columns of 30 cm diameter and 80 cm length which have been taken at 9 locations of different soil types.
- The influence of several heavy metals, applied in different concentrations to the nutrient solution of seed grain, on the germination capacity of spring wheat has been investigated. Usually the germination capacity and the plant development decreases with increasing concentration of heavy metal.

Plans for future work

Radiochemical methods and procedures for conventional soil analysis will be improved and extended. The measurements of the soil-to-plant transfer factor will be continued. Investigations on the plant availability of radioecological important elements will be started up. Experiments to investigate the displacement of pollutants in soil will be continued as well as studies on the influence of pollutants in the soil on the germination capacity of crops.