

KfK 3500
November 1984

Projekt Nukleare Sicherheit

Tätigkeitsbericht 1. Halbjahr 1984

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 3500

PROJEKT NUKLEARE SICHERHEIT

Tätigkeitsbericht 1. Halbjahr 1984

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Vorwort

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

Institut für Datenverarbeitung in der Technik	IDT
Institut für Material- und Festkörperforschung	IMF
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik	INR
Institut für Reaktorbauelemente	IRB
Institut für Zuverlässigkeit und Schadenskunde im Maschinenbau der Universität Karlsruhe	IRB/ZSM
Institut für Reaktorentwicklung	IRE
Institut für Radiochemie	IRCH
Hauptabteilung Ingenieurtechnik	IT
Hauptabteilung Sicherheit	HS
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik	LAF
Laboratorium für Angewandte Systemanalyse	AFAS

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

Der vorliegende Tätigkeitsbericht für das 1. Halbjahr 1984 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 1984

The semiannual progress report 1984/1 is a description of work within the Nuclear Safety Project performed in the first six month of 1984 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.

BERICHTSBEITRÄGE IN DEUTSCHER SPRACHE

PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen

<u>06.01.04</u>	Entwicklung und Verifizierung eines Codesystems zur Beschreibung des Brennelementverhaltens bei Störfällen	11
06.01.04/32A 35A, 36A PNS 4231.1/3/9	Entwicklung und Verifizierung eines Code-Systems zum Brennstabverhalten bei Reaktorstörfällen	11
<u>06.01.09</u>	Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles	15
06.01.09/07A PNS 4238	Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden Zircaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung (REBEKA-Programm)	15
06.01.20/02A PNS 4260	Brennstabsimulatoreffekte bei Flutexperimenten (SEFLEX)	16
<u>06.01.16</u>	Untersuchungen zu schweren Kernschäden	17
06.01.16/23A PNS 4254	Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren bei langsamen Transienten und schweren Kernschäden	17
06.01.16/22A PNS 4253	Mechanisches und chemisches Verhalten von Zircaloy-4-Hüllrohren und UO ₂ -Brennstoff bei hohen Temperaturen	18
06.01.16/20A /21A PNS 4251.1/2	Out-of-pile Bündelexperimente für die Untersuchung schwerer Brennelementschäden (CORA)	20
06.01.16/19A PNS 4250	Langzeitkühlung im stark beschädigten Core (COLD)	21

		<u>Seite</u>
<u>06.01.17</u>	Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener Druckwasserreaktoren (FDWR)	23
06.01.17/16A PNS 4240	Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter, hexagonaler Stabbündel	23
06.01.17/17A PNS 4242	Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs u.d. Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von Stahlhüllrohren	24
06.01.17/19A PNS 4244	Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerkstoffen für FDWR	25
 <u>PNS-Teilprojekt 4300 - Ablauf und Beherrschung von LWR-Kernschmelzenunfällen</u>		
<u>06.01.11</u>	Reaktions-, Freisetzungs- und Aerosolverhalten beim Kernschmelzen	28
06.01.11/29A PNS 4311	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und Aerosolen in LWR-Containments	28
06.01.11/30A PNS 4314	Konstitution und Reaktionsverhalten von LWR-Materialien beim Coreschmelzen	29
06.01.11/31A PNS 4315	Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung von Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen	30
<u>06.01.12</u>	Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen mit Beton	32
06.01.12/30A PNS 4325	Ausbreitung von Stahlschmelzen in Beton - Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung	32
06.01.12/31A PNS 4323	Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen und Beton	33
06.01.12/32A PNS 4331	Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung einer Kernschmelze mit Beton	34
06.01.12/33A PNS 4334	Modellentwicklung zur analytischen Beschreibung von Kernschmelzenunfällen	35

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

<u>06.01.14</u>	Abluftfilterung an Reaktoren	
06.01.14/19A PNS 4414	Untersuchungen zum Auftreten und zur Abscheidung von penetrierenden Iodverbindungen in der Abluft von Kernkraftwerken	37
06.01.14/20A PNS 4415	Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern für Störfallbedingungen	38
06.01.14/21A PNS 4416	Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter hoher Temperatur, Luftfeuchte und erhöhtem Differenzdruck	39
06.02.	SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGEN	

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

<u>06.02.01</u>	Störfallanalysen für die große Wiederaufarbeitungsanlage (WAA)	42
06.02.01/12A PNS 4513	Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der großen Wiederaufarbeitungsanlage	42
06.03	EINDÄMMUNG VON FOLGESCHÄDEN	

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

<u>06.03.01</u>	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt	44
06.03.01/11A PNS 4812	Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt: Pu, Am, Cm und Np	44
06.03.01/12A PNS 4813	Mikrobiologische Einflüsse der Mobilität und Bioverfügbarkeit von Radionukliden in Böden und Sedimenten	46

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4100 - Dynamische Beanspruchung von Reaktorkomponenten
unter Störfallbedingungen

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

06.01.02/17A Weiterentwicklung und Verifizierung von Codes zur dynamischen
PNS 4125 Beanspruchung von RDB-Einbauten
(M. Geiß, M. Wadle; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Zur Untersuchung der Dehnungskonzentration an Schaleneinspannungen werden parametrische Rechnungen durchgeführt. Dabei wurden die Schalen­geometrie, die Einspannbedingungen und das Werkstoffverhalten systematisch variiert. Diese Rechnungen wurden zum Teil bis zu Belastungen durchgeführt, bei denen die Schale im ungestörten, randfernen Bereich durch plastische Instabilität versagt.

Im Berichtszeitraum wurden die Auswertung der Zweiphasenexperimente der Jahre 1982/83 abgeschlossen und die Versuchsergebnisse dokumentiert. Dazu wurden Konversionsprogramme entwickelt und eingesetzt. Auf die Dichtesignale wurde neben der Mittelwertauswertung eine Amplitudenanalyse angewendet, die zusammen mit den Druck- und den Referenzwerten eine Interpretation der vorliegenden Strömungsform in der Teststrecke erlaubt. Der Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Erstellung der meßtechnischen Berichte.

Erzielte Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Struktur­dynamik zeigen, daß die Größe der lokalen Dehnungskonzentration an einer Schaleneinspannung wesentlich von den speziellen Randbedingungen und dem Verfestigungsverhalten des Werkstoffs abhängt. Dagegen hat das Verhältnis von Schalendicke zu Schalenradius nur geringen Einfluß auf die Dehnungskonzentration. Im einzelnen zeigte sich, daß bei einer ideal festen Schaleneinspannung nur mäßige Dehnungskonzentrationen zu erwarten sind. Dagegen können bei anderen Randbedingungen, wie sie etwa bei der Kernmanteleinspannung eines Druckwasserreaktors vorgefunden werden,

beträchtliche Dehnungskonzentrationen auftreten, die die Größe des vorhandenen Sicherheitsabstand bestimmen können.

Nach Abschluß der Zweiphasenexperimente mußten alle vorhandenen Meßdaten in die Großrechenanlage des KfK zur weiteren Auswertung eingegeben werden. Anschließend wurden für die Drucktemperatur und Dichtesignale zeitlich Mittelwerte berechnet und zusammen mit den Kreislaufreferenzwerten in einer Datenbank gespeichert. Diese enthält nun die Ergebnisse von ca. 300 Zweiphasenexperimenten in Diffusor- und Düsenrichtung. Speziell bei den Dichtesignalen mußten erhebliche Drifteinflüsse korrigiert werden. Trotzdem verblieb ein relativ hoher Meßfehler, während bei den Drücken und Temperaturen gute Ergebnisse erzielt wurden. Weiterhin wurden Dichtesignale hinsichtlich ihres Amplitudenspektrums untersucht. Dazu wurden in Abhängigkeit von der Strömungsform erwartete Häufigkeitsspektren abgeleitet und mit den experimentellen Ergebnissen verglichen. Die Methode liefert zusammen mit den Druck- und den Referenzsignalen ein gutes Bild der vorliegenden Strömungsform. Insbesondere kann der Übergang von der Blasen- zur Schlierenströmung und das Auftreten von kritischen Stellen in der Teststrecke detektiert werden. Bei den unterkritischen Experimenten separiert die Strömung stromab der Erweiterung, was auch bei den Amplitudenspektren deutlich hervortritt.

Geplante Weiterarbeit

Im Bereich der strukturdynamischen Untersuchungen des Vorhabens sollen einige weitere Parameterrechnungen durchgeführt sowie die Dokumentation abgeschlossen werden.

Nach Abschluß der Zweiphasenexperimente folgen Nachrechnungen mit einigen Codes unterschiedlicher Fähigkeiten und Zweiphasenmodellen.

06.01.15/06A 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

Auf dem Membranversuchsstand wurden zwei Membranen untersucht, die in der Mitte eine verdickte Ronde enthielten. Die Versagensdrücke lagen mit 28 und 32 bar erheblich unter dem Versagensdruck der Membran ohne Verstärkung (42 bar). Die Membranen versagten, indem einige mm vor dem Wandstärkenübergang ein Riß um die Ronde herum lief und so die Ronde zu 50% bzw. 80% heraustrennte. Das Rechenprogramm ROTMEM konnte für diesen Fall den Versagensdruck nicht befriedigend genau voraussagen. Es ist daher erforderlich, im Rechenmodell die Beschreibung des Bereichs mit dem Wandstärkenübergang weiter zu verbessern.

Um zu klären, wie gut die HV-Verbindung zwischen Materialschleuse und Sicherheitsbehälter durch Modelle mit verkleinertem Maßstab dargestellt werden kann, wurden mehrreihige Schraubverbindungen mit verschiedenen Abmessungen unter einachsigem Zug untersucht. Es ergab sich, daß bei sorgfältiger Fertigung sowohl die Gleitlast wie auch die Bruchlast gut mit einfachen Meßstabfaktoren übertragbar sind.

Die Fertigung der hochgenauen Kugelschale wurde weitergeführt. Die Außenkontur des Rohlings ist inzwischen fertig bearbeitet. Die Vermessung mit einer speziell angefertigten Meßeinrichtung ergab Abweichungen von der Idealgeometrie von maximal 3/100 mm.

Eine Versuchsreihe zur Untersuchung der Übertragung von schwingungserzeugenden Druckpulsationen, die in der Wasservorlage eines modellierten Druckabbau-systems bei Dampfkondensation entstehen, wurde in Angriff genommen. Die dafür benötigte Versuchsanlage (Druckkammer 1 m^3 , 1 Kondensationsrohr $\varnothing 150 \times 3800 \text{ mm}$, Kondensationskammer $\varnothing 1000 \times 1600 \text{ mm}$, Wasserspiegelhöhe in der Wasservorlage 1350 mm, Eintauchtiefe 950 mm, spezifischer Dampfdurchsatz bis 40 kg/m^2) wurde in Betrieb genommen, und einige modealanalytische Experimente sowie Kondensationsversuche wurden durchgeführt. Die Auswertung dieser Versuche mit den Rechenprogrammen EVA und VOICE und die Berechnung des strukturdynamischen Verhaltens der Kondensationskammer mit dem Rechenprogramm SING-S hat begonnen.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und detaillierte Auswertung weiterer Membranversuche mit verdickten Ronden sowie Rechnungen zur quasi-statischen Innendruckbeanspruchung des Sicherheitsbehälters mit verbesserten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen. Besondere Berücksichtigung der Übergangsbereiche von der Containment-Schale auf dickere Ronden. Entwurf und Bau einer Maschine zur Untersuchung der Schraubverbindung unter zweiachsiger Beanspruchung. Weiterführung der Untersuchungen zum dynamischen Verhalten dünner Kugelschalen unter Berücksichtigung von Imperfektionen. Spanabhebende Fertigung und Vermessung der formgenauen Kugelschale zur Durchführung von Experimenten. Fertigstellung der Rechnungen zum dynamischen Verhalten der liegenden, teilweise mit Wasser gefüllten Zylinderschale.

Durchführung von Experimenten mit Schwingungsanregung im Fluid in einer Zylinderschale.

06.01.19/03A Thermoermüdung und Thermoschockverhalten von
PNS 4160 Reaktorkomponenten
(D. Munz, H. Stamm; IRB/ZSM)

Durchgeführte Arbeiten

Zur Verbesserung der Prüfstandrandbedingungen wurde eine Kreislaufpumpe und ein Luftkühler installiert. Die Ablaufsteuerung für vollautomatischen Versuchsbetrieb wurde so modifiziert, daß beide Prüfstände mit derselben Grundversorgung betrieben werden und ein Dauerbetrieb (24h-Tag) möglich ist. Die Auslegung des Kraftsystems zur Überlagerung einer kombinierten Biege- und thermischen Last wurde abgeschlossen.

Für die Ermittlung von Rißwachstumsparametern unter mechanischer sinusförmiger Schwingwechselbelastung verschiedener Frequenzen wurden Kompaktproben nach ASTM-E 647 aus dem Werkstoff 20MnMoNi55 (1.6310) in einer servohydraulischen Prüfmaschine an Luft und in vollentsalztem Wasser kraftkontrolliert belastet.

In Zusammenarbeit mit dem Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT-Finnland) wurden die Bruchflächen der bisher thermozyklisch beaufschlagten Proben fraktographisch untersucht. Dabei konnten die Oxidschichten von den Bruchflächen entfernt werden, ohne die charakteristische Struktur zu verändern.

Erzielte Ergebnisse

Die Rißgeschwindigkeiten zeigten an den Kompaktproben bei einer Belastung an Luft bei RT und 330°C keinen Frequenzeinfluß. Dagegen war im Wasserbad ein Anstieg der Rißgeschwindigkeit mit abnehmender Belastungsfrequenz (20 Hz auf 0,3 Hz) in dem den thermozyklischen Rißfortschritt bewirkenden Spannungintensitätsbereich ΔK zu beobachten.

Bei 20 Hz stimmt die Rißgeschwindigkeit in Wasser nahezu mit derjenigen in Luft überein.

Die REM-Aufnahmen der geänderten Probenbruchflächen brachten Schwingstreifen zum Vorschein, die in derselben Größenordnung sind, wie die über die Gesamtzyklenzahl gemittelten Rißtiefen- und -längenzuwächse. Außerdem konnten die für Thermoschockbelastung signifikanten, aus der Bruchflächenebene herauslaufenden, sekundären Mikrorisse nachgewiesen werden.

Geplante Weiterarbeit

- Aufbau einer Anlage für Kombinationsbelastung, Thermoschock und Biegung.
- Weitere Thermoschockexperimente an verschiedenen Materialien.
- Weiterführende Untersuchungen an Kompaktproben unter Berücksichtigung des Belastungsanstiegs bei Thermoschock.
- Fraktographische Untersuchungen.

06.01.21/03A Thermo- und fluiddynamische Analysen von
04A / 05A LWR - Störfällen

PNS 4270/71/72 (W.Baumann, H. Borgwaldt, P. Cigarini, M. Dalle-Donne,
C. Ferrero, G. Jacobs, H.S. Mansoor, G. Willerding; INR)

Durchgeführte Arbeiten

Mit Ermittlung der geometrischen Daten und Entwurf einer Nodalisierung für LOBI-MOD2 wurde die Eingabevorbereitung für ISP 18 begonnen.

Die Vektorisierung des Codes BODYFIT-1FE für die CYBER 205 wurde erfolgreich fortgesetzt. Es verbleiben im wesentlichen die Vektorisierung der Stoffwert-Funktionen für alle Gase und lokale Verbesserungen in den Algorithmen.

Vom Multikomponenten-Code COMMIX-1A wurde die endgültige Version 12.6 von ANL übernommen und auf beiden Rechenanlagen implementiert. Diese Version wurde erweitert durch das in speziellen Geometrien einsetzbare direkte Lösungsverfahren nach Bottoni. Eine vorläufige Version von COMMIX-1B wurde auf der SIEMENS 7890 implementiert.

Die Nachrechnungen von Experimenten zu Thermoschock-Beanspruchungen (Vorhaben PNS 4160) wurden fortgesetzt.

Für FDWR:

- a) LOCA-Rechnungen für einen normalen DWR vom KWU-Typ wurden erfolgreich durchgeführt. Für die ATWS-Rechnungen wurde die verwendete DWR-Nodalisierung und Triplogik modifiziert. Außerdem wurde mit den Initialisierungsrechnungen für ATWS begonnen
- b) Die Implementierung des FLUT-Codes auf der SIEMENS 7890 mit dem FORTRAN-77-Compiler wurde abgeschlossen. Der FEBA-Versuch Nr. 216 wurde mit dem FLUT nachgerechnet.

Erzielte Ergebnisse

Die für die Vektorisierung von BODYFIT-1FE ergriffenen Maßnahmen haben sich voll ausgewirkt. Für ein typisches Testbeispiel konnte der Code auf der CYBER 205 gegenüber der ersten Implementierung um den Faktor 5 beschleunigt werden. Er ist damit 8-mal schneller als auf der IBM 3033 und 2,7-mal schneller als auf der SIEMENS 7890. Für COMMIX, der von seiner Struktur her ein gutes Vektorisierungs-Potential besitzt, soll die eigentliche Code-Anpassung an Vektorrechner erst mit der endgültigen Version von COMMIX-1B vorgenommen werden.

Für den FDWR:

- a) Die vorliegenden LOCA-Blowdown-Ergebnisse weisen eine gute Übereinstimmung mit entsprechenden Ergebnissen anderer Programme auf (z.B. LOOP7 von KWU). Die Hüllrohrtemperatur an der höchstbelasteten Stelle bleibt unter 850°C. Der Systemdruck fällt schneller ab als der von LOOP7 berechnete Druck.
- b) FLUT berechnet die Quenchzeit der Brennstäbe des FEBA-Versuchs korrekt. Der Wassermittreiß und die Geschwindigkeit der oberen Quenchfront werden überschätzt.

Geplante Weiterarbeit

Arbeiten zum ISP18 und Übernahme von RELAP5/MOD2.

Abschluß der Optimierung des Codes BODYFIT-1FE für Vektorrechner.

Optimierung von COMMIX-1B. Übernahme fortgeschrittener Versionen von COMMIX-1B, COMMIX-1B (2-phasig), sobald sie von ANL verfügbar werden.

Anwendung von COMMIX-1B zur Ermittlung von Langzeit-Thermobeanspruchungen beim HDR, Berechnung von Strömungs- und Temperaturfeldern als Basis zur Ermittlung der thermischen Beanspruchung des RDB im Stutzenbereich.

Für FDWR:

- a) Implementierung und Austesten neuer RELAP5-Subroutinen für die erwähnten Korrelationen.
- b) Weitere Nachrechnungen von FEBA-Versuchen; Simulation der Flutphase in DWRs und FDWRs mit FLUT.

06.01.22/01A Untersuchung von Blasen-transportmechanismen an Luft-
PNS 4280 Wasser-Blasenströmungen in einer senkrechten Teststrecke
 (NOVA-Vorhaben)
 (G. Class, R. Meyder, P. Philipp, W. Wengpiel,
 E. Stratmanns; IRE)

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum ist die Teststecke konzipiert und gebaut worden. Die elektrischen Widerstandssonden sind entwickelt und an einem kleineren Versuchsstand erfolgreich getestet worden.

Das Rechenprogramm K-FIX ist implementiert worden, mit der Untersuchung geeigneter Modellansätze zur Beschreibung des Einflusses der Turbulenz und des Kutta-Joukowski-Effektes auf die Transportvorgänge in Blasenströmungen ist begonnen worden.

Erzielte Ergebnisse

Im Berichtszeitraum haben sich die Arbeiten weitgehend auf die Konzeption und Fertigstellung der Versuchsapparaturen konzentriert. Über nennenswerte wissenschaftliche Ergebnisse kann noch nicht berichtet werden.

Geplante Weiterarbeit

Im 2. Halbjahr 1984 wird der Versuchskreislauf in Betrieb genommen. Erste experimentelle Untersuchungen an Blasenströmungen mit geringen Blasengehalten werden dann beginnen. Die Modellentwicklungen (Turbulenzmodell für Blasenströmungen, Modell zur Beschreibung des Kutta-Joukowski-Effekts) werden fortgesetzt. Erste Rechnungen mit dem Programm K-FIX zur Simulation von Blasenströmungen werden im 2. Halbjahr 1984 durchgeführt werden.

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

06.01.03/26A Gemeinsamer Versuchsstand zum Testen und Kalibrieren
PNS 4137 verschiedener Zweiphasenmassenstrom-Meßverfahren
(J. Reimann, H. John, W. Seeger, C. Smoglie; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die Experimente mit der Teststrecke a) zur Umverteilung von Zweiphasenströmungen wurden abgeschlossen. Die bisher erzielten Ergebnisse wurden detailliert ausgewertet.

Mit der "kleinen Leck"-Teststrecke (Teststrecke c) wurde der Luft- bzw. Wassermittels bei waagrechtem Abzweigdurchmesser und geschichteter Strömung im Hauptrohr untersucht. Mit der Teststrecke b) wurden Luft-Wasser-Versuche bei waagrechtem Abzweig durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Teststrecke a):

Es wurde für den waagrechteten Abzweig eine Beziehung für die Phasenumverteilung entwickelt ($x_3/x_1 = f(G_3/G_1)$) die vom Impulsflußverhältnis der Phasen im Zustrom abhängt. Bei nach oben gerichtetem Abzweig geht für weite Bereiche nahezu der gesamte Gasstrom durch den Abzweig. Die Phasenumverteilung wird beherrscht durch die Strömungsvorgänge im Abzweigrohr. Bei nach unten gerichtetem Abzweig ist die Phasenumverteilung sehr stark abhängig von der Phasenumverteilung im Zustrom.

Teststrecke c):

Für die waagrechtete A-zweigorientierung wurde ein Modell für den Abzweigdampfgehalt entwickelt.

Teststrecke b):

Das obige Modell beschreibt ebenfalls die bei geschichteter Strömung durchgeführten Versuche mit Teststrecke b).

Geplante Weiterarbeit

Dokumentation der Versuche mit Testrecke a) und c). Übertragung der Ergebnisse auf kritische Dampf-Wasser-Strömung. Experimentelle Untersuchungen in Luft-Wasser sowie Dampf-Wasser-Strömung mit der bei den LOBI Small Break Experimenten verwendeten Leckgeometrie (LOBI Düse).

06.01.03/27A Versuchsstand für instationäre Zweiphasenströmungen
PNS 4139 (H. John, G. Eisele, J. Reimann; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

1. Die 1983 durchgeführten Massenstrom-Versuche mit dem LOBI-Meßeinsatz, der zwei lokal messende Turbinendurchflußmesser, zwei lokale Dragbodies, eine 'full flow'-Turbine und ein Zweistrahl-Gamma-Densitometer enthielt, wurden mit einem dazu erstellten Rechenprogramm ausgewertet. Die Massenströme, die durch Kombination der Meßsignale mit einem mathematischen Modell errechnet wurden, wurden mit dem Referenzmassenstrom (TMFM) verglichen. Die Dichtemessungen des LOBI-Zweistrahl-Gamma-Densitometers wurden mit denen eines IRB-Fünfstrahl-Gamma-Densitometer und eines LIT-Sechsstrahl-Gamma-Densitometers verglichen. Die Dokumentation der Ergebnisse erscheint in Kürze.
2. Weitere Blowdown-Versuche mit der Ultraschall-Höhenstrandssonde (ca. 3 m Länge) mußten durchgeführt werden, um zu auswertbaren Ergebnissen zu kommen. Durch den Abschluß des Vorhabens der TU-Berlin stehen z.Z. nur zwei verwertbare Blowdown-Versuche von sieben durchgeführten für die Auswertung zur Verfügung.
3. Temperaturfluktuationmessungen zur Geschwindigkeitsbestimmung mittels Temperaturkorrelation wurden mit einem Meßeinsatz und Aufnahmegegeräten der TU-Berlin bei sieben Blowdown-Versuchen durchgeführt.
4. Der Umbau des Kreislaufs für die Durchführung des Vorhabens "Kritische Zweiphasenströmung in realen Lecks" wurde planungsmäßig abgeschlossen und in Auftrag gegeben.

Erzielte Ergebnisse

- Zu 1: Bei 10 auswertbaren Blowdown-Versuchen lagen die Abweichungen der aus den Meßsignalen errechneten Massenströme vom Referenzmassenstrom im Bereich von $-10\% < F < 20\%$, bezogen auf den maximalen Referenzmassenstrom von 50 kg/s. Die 'full-flow'-Turbine zeigte das zuverlässigste und konstanteste Verhalten über alle Versuche. Die Dragbody-Werte litten unter starken 0-Punktsdriften der DMS-Aufnehmer. Die Meßwerte der lokal messenden Turbinen waren durch Lagerblockagen, die durch Korrosionsprodukte des ferritischen Kreislaufs bedingt waren, stark gestört.
- Zu 2: Für zwei Blowdown-Versuche konnte für das Signal der Höhenstandssonde eine Auswertebeziehung gefunden werden, nach der der errechnete zeitliche Höhenstandsverlauf fast identisch mit dem Referenzwert (Δp -Messung) ist.
- Zu 3: Die Auswertung der Temperaturkorrelationsversuche sind noch nicht abgeschlossen. Ein starker gerätebedingter Störsignalpegel stellt ein brauchbares Ergebnis in Frage.

Geplante Weiterarbeit

- Dokumentation der Ergebnisse der LOBI-Meßeinsatz-Auswertung.
- Dokumentation der Meßergebnisse mit einer Ultraschall-Stabsonde.
- Weitere Massenstrom-Experimente mit dem LOBI-Meßeinsatz in senkrechter Zweiphasenströmung.
- Durchführung von Messungen kritischer Zweiphasen-Massenströme in realen Lecks.

06.01. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

PNS-Teilprojekt 4200 - Brennelementverhalten bei Störfällen

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

06.01.04/32A Entwicklung und Verifizierung eines Code-Systems
35A, 36A zum Brennstabverhalten bei Reaktorstörfällen

PNS 4231.1/3/9 (H. Borgwaldt; INR, R. Meyder; IRE, K.H. Wagner; IT,
H.J. Neitzel; IRB)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

SSYST-2:

Die IAEA Wien wurde kurzzeitig unterstützt in der Handhabung der dort installierten Version SSYST-2, speziell bei der Kopplung mit dem Code RELAP4/MOD6.

SSYST-3:

Zum "Deutschen Standardproblem Nr. 7", dem 6. REBEKA-Bündelversuch, wurden sowohl von GRS/PNS als auch von IRE/KfK erfolgreich blinde Vorausrechnungen mit SSYST-3 durchgeführt. Im Auftrag von PNS wurde bei GRS Köln eine Gesamt-Core-Analyse für einen modernen DWR deutscher Bauart unter 2F-LOCA-Bedingungen durchgeführt. Diese Analyse demonstriert die Einsatzmöglichkeiten von SSYST-3 einschließlich probabilistischer Methoden.

SSYST-4:

Mit der Erstellung von Modulen zur Analyse des Brennstabverhaltens unter SFD-Bedingungen (Version SSYST-4) wurde begonnen.

- Nach Implementierung des Systemkerns bei IKE, Stuttgart, wurde dort die Erweiterung der Zeitsteuerung konzipiert und zur Diskussion gestellt.
- Zur Berechnung der UO_2 -Zircaloy-Wechselwirkung wurde der Modul PECLOX (Pellet Cladding Oxidation) entwickelt. Der in Zylinderkoordination angelegte Modul berechnet durch Lösung der Diffusionsgleichung sowie der Stefan-Gleichung das Sauerstoffkonzentrationsprofil und die Bewegung der Phasengrenzflächen für die sieben möglichen Phasen in Brennstoff-Pellet und Zircaloy-Hülle.

Als erster Schritt zur Verifikation von PECLOX erfolgte ein Vergleich mit einem analytischen Modell von Denis und Garcia (CNEA, Argentinien). Im Gültigkeitsbereich des analytischen Modells, d.h. für kleine Reaktionszeiten, solange sich der Einfluß der endlichen radialen Geometrie des Brennstabes nicht wesentlich bemerkbar macht, konnte eine gute Übereinstimmung erzielt werden. Ein weiteres Ergebnis der Zusammenarbeit mit Garcia war, daß das Wachstum der (U, Zr)-Schicht bei Innenoxidation nicht mit Hilfe der Sauerstoff-Diffusion berechnet werden kann. Im PECLOX-Modell wurden wegen der untergeordneten Bedeutung der (U, Zr)-Schicht, basierend auf den Experimenten von P. Hofmann, die einfachen empirischen Annahmen getroffen, daß die innere Phasengrenze dieser Schicht für die gesamte Oxidationszeit an derselben radialen Stelle bleibt und daß ihre Schichtdicke immer etwa 15% der nach innen angrenzenden $\bar{\alpha}$ -Zr(O)_a+(U,Zr)_̄ beträgt.

Bei den Nachrechnungen von isothermen Experimenten von P. Hofmann zur UO₂-Zircaloy-Wechselwirkung zeigte es sich, daß Wachstum und Verschwinden der verschiedenen Oxidationsschichten größenordnungsmäßig richtig wiedergegeben werden, daß jedoch die Stoffgrößen (Diffusionskoeffizienten, Phasengrenzkonzentrationen, Metalldichten) überprüft werden müssen, um eine bessere Übereinstimmung zu erlangen. Bei den Experimenten mit kombinierter Innen- und Außenoxidation, welche induktiv beheizt und ohne thermische Isolation durchgeführt wurden, wird außerdem ein starker Einfluß eines radialen und wegen des Anwachsens der ZrO₂-Schicht sich zeitlich verstärkenden Temperaturprofils vermutet. Bei Annahme eines sich entwickelnden radialen Temperaturgefälles bis zu 100 K wurde eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Experiment erreicht.

Durch ein Rechenbeispiel für eine kombinierte Innen- und Außenoxidation mit einer Temperaturrampe von 0,4 K/s wurde nachgewiesen, daß PECLOX die Sauerstoffkonzentrationsprofile und das Wachsen und Verschwinden der Phasen bis zur vollständigen Durchoxidation zu berechnen in der Lage ist.

SCDAP

Zum Abschluß der Implementierung des Rechenprogrammes SCDAP wurde das mitgelieferte Beispiel erfolgreich nachgerechnet. Danach wurde damit begonnen, die Änderungen einzuführen, die notwendig waren, die Brennstabsimulatoren der ESSI- bzw. CORA-Serie zu modellieren. Im einzelnen betraf dies die Berücksichtigung des Wolfram-Heizers und der Wärmefreisetzung durch Ohm'sche Wärme, die Veränderung der Isolatorengeometrie von einer Plattengeometrie auf eine zylindrische Geometrie, die Modellierung des Strahlungsaustausches in dampfdurchströmten Spalten und die Modellierung einer reinen Dampfströmung im Kühlkanal. Daneben wurde eine Kipplung zwischen dem SCDAP-Plotfile und dem

im IRE üblichen Plot-Programm PLOTCP eingerichtet, so daß nun auch eine graphische Darstellung der Ergebnisse möglich ist. Die Erzeugung eines 'Restart-Files' und das Weiterrechnen von einem Restart-File wurden ebenfalls erprobt.

Bei dem Versuch, das Experiment ESSI-4 nachzurechnen, wurden folgende Probleme der verwendeten SCDAP-Version offensichtlich: Der Wärmestrom an der Staboberfläche, der durch Konvektion und durch Strahlung zu den benachbarten Stäben verursacht wird, wird mit der Kühlmitteltemperatur und einer synthetischen Wärmeübergangszahl simuliert. Dies hat drei Nachteile: einmal tritt bei großem Strahlungswärmestrom und kleinem Konvektionswärmestrom unterschiedlicher Stromrichtung eine negative Wärmeübergangszahl auf; zweitens kann die Oberflächentemperatur nicht über die Kühlmitteltemperatur ansteigen und drittens ist die Wärmebilanz nicht erfüllt, wenn die den Wärmestrom treibende Temperaturdifferenz innerhalb eines Zeitschritts sich deutlich ändert. Dieses Problem wurde dadurch gelöst, daß anstelle einer Wärmeübergangszahl und einer Temperatur nunmehr Wärmeströme an den Schnittstellen übergeben werden. Diese Änderung wurde dadurch abgerundet, daß eine Zeitschrittautomatik eingebaut wurde, die die Temperaturänderungen innerhalb eines Schrittes in tolerierbaren Grenzen hält. Probleme ergaben sich bei der Festlegung anerkannter Wärmeleitwerte des Isolationsmaterials.

Begleitende Analysen zu SFD-Experimenten

Unter Verwendung des Wärmetransportprogramms STATI-4 wurden zum Versuch ESSI-4 mit einer Reihe von Annahmen Rechnungen durchgeführt, die sowohl den Einfluß spezieller physikalischer Effekte, als auch den von ESSI-4-spezifischen Randbedingungen aufzeigen. Nachrechnungen des ESSI-4 Versuchs, die bei IKE Stuttgart durchgeführt wurden, zeigten, daß Parameter, die den Versuchsablauf wesentlich bestimmen, nur ungenügend erfaßt werden. Es wurde deshalb vereinbart, ein Experiment durchzuführen, bei dem Anfangs-, Rand- und Nebenbedingungen so erfaßt werden, daß sie bei der Nachrechnung möglichst wenig durch Annahmen abgedeckt werden müssen.

Geplante Weiterarbeit

- Integration relevanter Moduln in SSYST-4.
- Weitere Verifikation von PECLOX.
- Anhand von bereits durchgeführten Experimenten der ESSI/ESBU-Serien soll versucht werden, die für die Analyse mit SSYST und SCDAP wichtigen Stoffwerte genauer zu bestimmen.
- Dokumentation der STATI-4-Modelle und Rechnungen zum Versuch ESSI-4 in einem Primärbericht.

06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase
eines Kühlmittelverluststörfalles

06.01.09/07A Untersuchungen zur Wechselwirkung zwischen aufblähenden
PNS 4238 Zircaloy-Hüllen und einsetzender Kernnotkühlung
(REBEKA-Programm)
(K. Wiehr, F. Erbacher, He. Schmidt; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Einzelstabversuche an rekristallisierten DWR-Hüllrohren.

Erzielte Ergebnisse

Für die Konvoi-Anlagen der KWU wird ein höherer Abbrand angestrebt. Gegenüber bisherigen Anlagen sollen teilrekristallisierte Zircaloyhüllrohre eingesetzt werden, da diese eine höhere Dimensionsstabilität (Aufkriechen der Hülle und Längenwachstumsänderungen) bei höherem Abbrand aufweisen. Es ist daher notwendig, Einzelstabdeformationsversuche an teilrekristallisierten Zircaloyhüllrohren durchzuführen. Die Ergebnisse dienen dem Nachweis, ob und inwieweit die bisher im REBEKA-Programm gewonnenen Erkenntnisse für Reaktoren mit teilrekristallisiertem Zr-4-Hüllrohrmaterial anwendbar sind.

Diese Einzelstabversuche werden aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den bisherigen transienten Einzelstabversuchen mit spannungsarm geglühtem Zircaloyhüllrohr unter identischen Randbedingungen durchgeführt. Erste Versuchsergebnisse mit einer Aufheizrate von 1 K/s unter adiabater praktisch stagnierender Dampf-atmosphäre bei konstanten Innendrücken von 40, 60, 80 und 100 bar zeigten eine etwas höhere Streubreite der Berstdehnungen und in der α -Phase lagen die höchsten Berstdehnungswerte geringfügig oberhalb der bisher ermittelten oberen Einhüllenden (mit dem REBEKA-Deformationsmodell gerechnete Berstumfangsdehnung über der Bersttemperatur für 1 K/s).

Weitere Versuche am teilrekristallisierten Zr-4-Hüllrohrmaterial sind notwendig.

Geplante Weiterarbeit

- Einzelstabversuche an teilrekristallisierten DWR-Hüllrohren.
- 7x7 Stabbündelversuch mit Fluten ohne Strömungsumkehr.

06.01.20/02A Brennstabsimulatoreffekte bei Flutexperimenten (SEFLEX)
PNS 4260 (P. Ihle, K. Rust, H. Schneider; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Die Versuchsserien I (Helium im Spalt zwischen Hüllrohr und Pellet) und II (Argon im Spalt) wurden ausgewertet und in Zwischenberichten dokumentiert. Die Serien III und IV (90% Blockade an 3x3 Stäben durch vorverformte Hüllrohre sind in Vorbereitung. Ergänzende Einzelstabversuche (Vergleich Zry/Inconel) werden fortgesetzt.

Erzielte Ergebnisse

Durch Brennstabsimulatoren mit Gasspalt zwischen innerer Wärmequelle und Hüllrohr (Zircaloy) werden Reaktorbrennstäbe besser simuliert als mit "spaltlosen" Brennstabsimulatoren (mit Edelmühlhüllen), wie sie üblicherweise für thermohydraulische Experimente verwendet werden.

Die bisherigen mit 5x5 Stabbündeln voller Länge erzielten SEFLEX-Ergebnisse bestätigen quantitativ, daß Bündel aus Stäben mit Spalt (REBEKA-Stäbe) rascher benetzt und geflutet werden als solche aus spaltlosen Stäben (FEBA). Mit zunehmendem Wärmewiderstand im Spalt zwischen Hüllrohr und Pellet wird das Fluten und Wiederbenetzen beschleunigt. Die raschere Wärmeabfuhr, vor allem während des Filmsiedens, bewirkt auch erhöhte Vorkühlung im unbenetzten Teil des Bündels.

Die Maximaltemperaturen verringern sich in der Größenordnung von 50 K, die Benetzungszeiten um etwa 30% bei Heliumfüllung (frische Brennstäbe) des Gasspaltes mit dem geringstmöglichen Wärmewiderstand des Spaltes im Vergleich zu spaltlosen Brennstabsimulatoren.

Bei Argonfüllung (simuliert Abbrand oder Spalterweiterung) des Gasspaltes verringern sich die Maximaltemperaturen um ca. 80 K und die Benetzungszeiten um ca. 40%. Lokale Kühlungsverbesserungen, z.B. an Abstandshaltern, wirken sich ebenfalls stärker aus auf Hüllrohrtemperaturen bei Brennstabsimulatoren im Spalt. Die quantitative Analyse des unterschiedlichen Brennstabsimulatorverhaltens bei Flutexperimenten erlaubt eine direkte Übertragung auf Brennstäbe. Außerdem kann die Aussagegenauigkeit von Flutrechnenprogrammen bezüglich des thermohydraulischen Brennstabverhaltens anhand der SEFLEX-Ergebnisse überprüft und verbessert werden.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und Auswertung der Serien III und IV.

- 06.01.16 Untersuchungen zu schweren Kernschäden
- 06.01.16/23A Oxidationsverhalten von Zircaloy-Hüllrohren
PNS 4254 bei langsamen Transienten und schweren Kernschäden
 (S. Leistikow, H.v.Berg, G. Schanz, H. Uetsuka; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Parameterstudien zum Einfluß verminderten Dampfangebots und von Wasserstoffanteilen in Dampf auf die Oxidationskinetik von Zircaloy-4: Experimentelle Untersuchungen bei 1000 und 1300°C zum Oxidationsverhalten und zur Wasserstoffaufnahme von Zircaloy-4 in Wasserdampf bei stark reduzierten Strömungsgeschwindigkeiten. Entsprechende Untersuchungen bei 800°C in Gasgemischen aus Dampf, Wasserstoff und Argon.

Erzielte Ergebnisse

Nachdem erste Untersuchungen bei 1000 und 1100°C durch den Störeinfluß in den Dampfkreislauf eingedrungener Luft beeinträchtigt waren, wurde in weiteren Versuchen bestätigt, daß erst bei drastisch reduzierter Dampf-Strömungsgeschwindigkeit Abweichungen von normalen Oxidationsverhalten beobachtet werden. Bei 1000°C führt Dampfangel zu reduziertem Oxidationsumsatz und erhöhter Wasserstoffaufnahme. Bei 1300°C ist im Bereich eines kritischen Dampfangebots eine verstärkte Oxidation und erhöhte Wasserstoffaufnahme registriert worden, an die sich ein abrupter Rückgang des Umsatzes mit abnehmendem Dampfangebot anschließt. Diese Versuchsserie ist abgeschlossen, ihre Auswertung und Dokumentation noch in Arbeit.

Reaktionsversuche in Dampf-Wasserstoff-Argon-Gemischen verschiedenster Zusammensetzung wurden fortgeführt. Die vorläufig abgeschlossenen Untersuchungen bei 800°C werden derzeit auf 900 und 1000°C ausgedehnt. Das kritische Dampfangebot unterhalb dessen Dampfangel ("steam starvation") auftritt und sich der Übergang zu linearer Oxidationskinetik zeigt, reicht bereits nicht mehr aus, um Oxidschichten zu bilden, die eine Barriere gegen die Aufnahme von Wasserstoff darstellen. Erhöhter Wasserstoffgehalt der Atmosphäre verstärkt die Wasserstoffaufnahme, die schließlich durch die Löslichkeit des Metalls begrenzt wird. Der in der Literatur beschriebene Effekt des "hydrogen blanketing" ist im untersuchten Temperaturbereich nicht nachweisbar.

Geplante Weiterarbeit

Fortführung der Untersuchungen bei 900 und 1000°C. Metallographische Untersuchung ausgewählter Proben.

06.01.16/22A 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; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

- Isotherme und Temperaturtransiente UO₂/Zry-Reaktionsexperimente mit ca. 100 mm langen Brennstababschnitten zwischen 1000°C und dem Schmelzpunkt von Zircaloy-4, (ca. 1760°C) in Argon und in einer (Ar + 25 Vol.% Sauerstoff)-Gas-mischung.
- Isotherme Zry/Sauerstoff-Reaktionsexperimente unter oxidierenden Umgebungsbedingungen in einem Rohrofen zur Bestimmung der Reaktionskinetik.
- Eichexperimente in der Schmelzanlage LAVA.

Erzielte Ergebnisse

- Nach dem Abschluß und der Dokumentation der isothermen und temperaturtransienten UO₂/Zircaloy-Reaktionsexperimente mit kurzen LWR-Brennstababschnitten unter inerten Versuchsbedingungen /1/ wurden die isothermen und temperaturtransienten Experimente unter oxidierenden Versuchsbedingungen weitergeführt. Als Oxidationsmedium dient eine (Ar + 25 Vol.% O₂)-Mischung, der Druck beträgt 40 bar. Die Glühtemperaturen variierten zwischen 1000 und 1500°C, die Glühzeiten zwischen 3 und 150 min. Durch Sauerstoffaufnahme der Zircaloy-Hülle von innen infolge Reaktion mit dem UO₂ und von außen infolge Reaktionen mit dem gasförmigen Sauerstoff entstehen sauerstoffstabilisierte α-Zr(O)-Phasen, die etwa gleich schnell in das Hüllrohr wachsen. Auf der Hüllrohraußenoberfläche bildet sich außerdem, aufgrund des größeren Sauerstoffpotentials des Gasgemisches gegenüber dem UO₂, eine ZrO₂-Schicht. Wachsen die α-Zr(O)-Phasen von innen und außen im Hüllrohr zusammen, kommt es zum Stillstand der UO₂/Zry-Wechselwirkungen, da das äußere Oxidationspotential dominierend ist. Letztlich wird das gesamte Zry-Hüllrohr in ZrO₂ und die darin enthaltene (U,Zr)-Legierung in (U,Zr)O₂ umgewandelt.

- Parallel zu den oben beschriebenen Experimenten wurde die Oxidation von Zry-Rohrabschnitten in einer (Ar + 25 Vol.% O₂)-Gas Mischung in einem Rohr-Ofen untersucht. Diese Experimente erfolgten unter isothermen Bedingungen und exakter Temperaturmessung mittels Thermoelementen. Die Dicken der α -Zr(O)- und ZrO₂-Reaktionsschichten dienen als Referenzwerte für die UO₂/Zry-Wechselwirkungsexperimente in der Versuchsanlage MONA. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse zeigt, daß die pyrometrisch gemessenen Temperaturen in der Versuchsanlage MONA ca. 50-60°C zu niedrig sind. Entsprechende Korrekturen der Versuchsergebnisse müssen noch durchgeführt werden.
- Die Induktionsschmelzanlage LAVA wurde in Betrieb genommen und erste Eichexperimente durchgeführt. Die Temperaturmessung beim Experiment erfolgt durch einen Pyrometer. Die pyrometrisch gemessenen Temperaturen wurden mit Thermoelementmessungen verglichen. Die Thermoelemente befanden sich für diesen Zweck in der Tiegelwand und im Tiegelboden. Der Tiegel besteht aus UO₂, in der die flüssige Zry-Schmelze gehalten wird.

Geplante Weiterarbeit

- Temperaturtransiente UO₂/Zry-Reaktionsexperimente unter oxidierenden Versuchsbedingungen mit sehr kleinen Aufheizgeschwindigkeiten.
- Modellierung der UO₂/Zry- und Zry/Sauerstoffwechselwirkungen mit Hilfe des Codes PECLOX.
- Bestimmung der Auflösungsgeschwindigkeit von festem UO₂ durch flüssiges Zry in der Schmelzapparatur LAVA.
- Herstellung von UO₂/Zry-Referenzschmelzproben definierter Ausgangszusammensetzung zur Quantifizierung der Schmelzexperimente.

Literatur

- /1/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck;
UO₂/Zry-4 chemical interaction from 1000 to 1700°C under isothermal and transient temperature conditions,
Journal of Nuclear Materials, 124 (1984) 80-119.

- 06.01.16/20A Out-of-pile Bündelexperimente für die Untersuchung
/21A schwerer Brennelementschäden (CORA)
- PNS 4251.1/2 (S. Hagen, A. Grünhagen, R. Heine, H. Malauschek,
K.P. Wallenfels; IT/CP, B. Buescher, EG&G;
H. Hain, Th. Vollmer; IT/PC)

Durchgeführte Arbeiten

Anlagenerstellung CORA:

Nach dem Aufbau des Containments am Aufstellungsort der Anlage wurden die Installationsarbeiten der Einzelkomponenten des Gesamtsystems und deren Verknüpfungselemente in Angriff genommen, wie z. B. Rohrleitungsmontagen, Stromschielen für die Stabbündelaufteilung, Transformatoren und Gleichrichter für die Bündelheizung (3 x 6000 A, 25 V=), Meßgeräte u.a. mehr.

Peripherieanlagen, wie z.B. der Rechner zur Steuerung des Versuchsablaufes und zur Meßwerterfassung wurden aufgebaut, sowie die dazu notwendige Software-Arbeiten begonnen.

Vorversuche in der NIELS-Anlage:

Die Untersuchungen des Eskalationsverhaltens der Temperatur infolge der Zirkon-Wasserdampf-Reaktion wurde fortgesetzt. Um den Einfluß des entstehenden Wasserstoffs auf das Eskalationsverhalten zu verstehen, wurden parallel zu den Experimenten in Ar/H₂O Versuche in Ar/O₂ und Ar durchgeführt. Die Menge des Sauerstoffs war bei den beiden ersten und der Verlauf der elektrischen Leistung bei allen drei Versuchsarten gleich. Beim Sauerstoffversuch entsteht kein Wasserstoff, wie bei Verwendung von Wasserdampf. Die Versuche in reinem Ar dienen zur besseren Bestimmung der Wärmeverluste der Anordnung. Für die Bestimmung der Wasserstoffentwicklung wurde ein Quadrupol-Massenspektrometer installiert. Die Nachuntersuchung der metallographischen Schliffe der Bündelversuche wurden fortgesetzt.

Erzielte Ergebnisse

Die Vergleichsexperimente in Ar/Dampf und Ar/Sauerstoff haben eine deutlich stärkere Eskalation in Sauerstoff ergeben. Der langsamere Temperaturanstieg in Wasserdampf führte zur Ausbildung einer festen den Stab umhüllenden Oxidschicht.

Im Sauerstoff erfolgte der Anstieg so schnell, daß der überwiegende Anteil der Hülle bei Erreichen der Schmelztemperatur des Zircaloy noch nicht oxidiert war.

Das flüssige Zircaloy hat das UO_2 des Pellets aufgelöst. Die beim Temperaturanstieg entstehende Oxidschicht muß durch die Schmelze herabgespült worden sein, da am Ende des Versuchs im mittleren heißen Bereich nur noch der W-Heizstab vorhanden war. Während der Eskalation konnte ein starkes Anwachsen der Wasserstoffproduktion nachgewiesen werden.

Die stärkere Eskalation im Sauerstoff kann durch zwei Ursachen bedingt sein:

1. durch die stärkere Reaktionswärme; 2. durch den fehlenden Wasserstoff.

Durch genaue Berechnung des Temperaturverhaltens unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse soll versucht werden, den Beitrag dieser Effekte zu trennen.

Geplante Weiterarbeit

Zur Bestimmung des Einflusses der Absorberstabmaterialien auf das Schadverhalten sind Bündelexperimente mit AgInCd-Absorberstäben in Edelstahl und Zircaloy-Führungsrohre vorgesehen. Die Verteilung der Absorbermaterialien im Bündel soll auch Aussagen über den möglichen Einfluß dieser Materialien auf das Aerosolverhalten liefern.

06.01.16/19A Langzeitkühlung im stark beschädigten Core

PNS 4250 (COED)

(G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

Es wurde eine Versuchsanordnung für Dryout-Experimente aufgebaut, die die Untersuchung von Schüttungen mit 60 mm Durchmesser und mit bis zu 1000 mm Höhe erlaubt. Neben der üblichen Temperaturmessung im Schüttbett kann das axiale Druckprofil in Stufen gemessen werden. Es können unterschiedliche Zustrombedingungen für die Kühlflüssigkeit eingestellt werden; insbesondere läßt sich die Zulaufhöhe für Kühlmittelzufluß von unten variieren.

Erzielte Ergebnisse

Die neue Versuchsanordnung ist betriebsbereit und die ersten Versuche zur Bestimmung der radialen Wärmeverluste wurden durchgeführt. Die Messung des Flüssigkeitsgehaltes in der Schüttung (Sättigung) wurde zurückgestellt, weil eine neue die Änderung der als Dielektrikum wirkenden Schüttung nutzende Meßmethode sich zwar als äußerst empfindlich zeigte, aber noch nicht genügend unabhängig von Wasserstandsänderungen außerhalb der Schüttung ist.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und Auswertung von Dryout-Experimenten zum Einfluß der Betthöhe auf die Dryout-Wärmestromdichte bei Kühlmittelzutritt von oben; Verfolgung der Vor-Dryout-Transiente und Bestimmung des Dryout-Ortes.

Später Experimente mit variablem Kühlmittelzufluß durch einen permeablen Boden von unten.

06.01.17 Untersuchungen zum Störfallverhalten fortgeschrittener
Druckwasserreaktoren (FDWR)

06.01.17/16A Flut- und Deformationsverhalten eng gepackter,
PNS 4240 hexagonaler Stabbündel
 (F. Erbacher, W. Just, H.J. Neitzel, P. Schäffner,
 H. Schmidt, E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Fertigung und Instrumentierung von Brennstabsimulatoren für 6ler Stabbündel
- Entwicklung von Brennstabsimulatoren für DNB-Untersuchungen in Freon bei GKSS
- Einzelstab-Berstversuche an Stahlrohren.

Erzielte Ergebnisse

Mit einer Gesamtzahl von 190 Einzelstabversuchen wurde die erste Versuchsreihe an Stahlhüllrohren in Dampf abgeschlossen. Bei einer zeitlich konstanten Aufheizrate von 5 K/s wurden glatte Stahlrohre (10,1 x 0,4 mm) und solche mit sechs integralen Wendelrippen (Rippensteigung 600 mm, Rippenhöhe 0,3 mm) aus dem Werkstoff 1.4970 untersucht. Der Rohrrinnendruck wurde in einem Bereich von 20 bar bis 140 bar, entsprechend einer Bersttemperatur von etwa 1250 bis etwa 1000°C variiert.

Die gemessenen Bersttemperaturen von Stahlhüllrohren sind im gesamten Druckbereich um etwa 200°C höher als die von Zircaloyhüllrohren (10,75 x 0,725 mm). Stahlhüllrohre mit integralen Wendelrippen zeigen im Vergleich zu glatten Stahlhüllrohren keinen systematischen Unterschied, so daß für beide Stahlrohrtypen die gleiche Bersttemperatur unterstellt werden kann.

Die an Stahlhüllrohren mit Wendelrippen gemessenen Berstumfangsdehnungen sind im gesamten untersuchten Druck- und Temperaturbereich deutlich niedriger als die von glatten Stahlhüllrohren. Die Berstumfangsdehnungen von glatten Stahlhüllrohren steigen bis zu einer Bersttemperatur von etwa 1100°C auf Maximalwerte von etwa 75% an und fallen bei höheren Temperaturen wieder auf Werte unter 50% ab. Bei Rippenrohren erreicht die Berstumfangsdehnung nur maximale Werte von etwa 20%. Dieser Wert wird ebenfalls bei etwa 1100°C erreicht und bleibt auch bei höheren Temperaturen etwa gleich.

Geplante Weiterarbeit

- Fertigung von Brennstabsimulatoren für 6ler Versuchsbündel
- Zusammenbau und Instrumentierung des 6ler Versuchsbündels voller Länge
- Bündelversuch mit Fluten
- Einzelstabberstversuche an Stahlhüllrohren
- Entwicklung und Fertigung von Brennstabsimulator-n für DNB-Untersuchungen in Freon bei GKSS (TUBS).

06.01.17/17A Untersuchungen zum Einfluß des Oxidbrennstoffs und der
PNS 4242 Spaltprodukte auf das mechanische Verhalten von Stahl-
 hüllrohren
 (P. Hofmann, J. Burbach, H. Metzger; IMF I)

Durchgeführte Arbeiten

Kurzzeit-Zeitstandexperimente mit Spaltprodukt enthaltenden 1.4970-Rohrproben zwischen 800 und 1200°C. Ermittlung des Einflusses von verschiedenen Sauerstoffpotentialen auf das Reaktionsverhalten.

Erzielte Ergebnisse

Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse der Experimente mit Jod, Selen, Tellur und Cäsium wiedergegeben:

- Jod führt erst ab Konzentrationen, die oberhalb 100 mg/cm³ liegen, zu einer deutlichen Reduktion der Standzeit, aber weniger zu einer Reduktion der Bruchdehnung. Geringere Konzentrationen verlängern die Standzeit. Hohe Sauerstoffpotentiale, wie die z.B. von MoO₂ oder NiO, verstärken erheblich den Einfluß geringerer Konzentrationen (1 mg/cm³), wobei eine durch das Jod beschleunigte Oxidation stattfindet. Standzeit und Bruchdehnung der Stahlrohrproben nehmen deutlich ab.
- Selen hat sehr ähnliche Auswirkungen auf die Standzeit und Bruchdehnung der Rohrproben wie Jod (100 mg/cm³). Auch hier führen schon geringere Konzentrationen in Verbindung mit einem Sauerstoffpotential zu einer deutlichen Reduktion von Standzeit und Dehnung.

- Tellur besitzt im direkten Kontakt mit dem Stahlhüllrohr katastrophale Auswirkungen auf dessen Standzeit und Bruchdehnung. Der möglicherweise zugrundeliegende Mechanismus gehört in den Bereich der Flüssig-Metall-Ver sprödung. Vorversuche, die einen Angriff nur über die Gasphase ermöglichten, führen bisher nur bei hohen Temperaturen ($> 1000^{\circ}\text{C}$) zu brauchbaren Ergebnissen.
- Da bekanntermaßen sauerstoffarmes, metallisches Cäsium an sich Cr-Ni-Stähle auch bei hohen Temperaturen nicht angreift, wurden die Verbindungen Cs_2O und Cs_2Te ausgewählt, um den möglichen Einfluß der Standzeit und Bruchdehnung zu ermitteln. Erst das Zusammenwirken der Verbindungen mit verschiedenen Sauerstoffpotentialen zeigt deutliche Auswirkungen auf Standzeit und Bruchdehnung der Rohrproben. Der Einfluß steigt mit zunehmendem Sauerstoffpotential.

Geplante Weiterarbeit

- Fortführung der 1.4970-Zeitstandexperimente mit Jod, Selen, Tellur und Cäsium und Ausweitung der Versuche auf längere Standzeiten.
- Berstexperimente mit 1.4970-Rohrproben, die verschiedene Metall/Metalltellurid-Mischungen enthalten.

06.01.17/19A Untersuchungen zum mechanischen Verhalten von Hüllwerkstoffen für FDWR
PNS 4244 (C. Petersen, H. Schneider; IMF II)

Durchgeführte Arbeiten

Im Temperaturbereich 600°C bis 1000°C wurden in 50°C Schritten Zugversuche mit Rundproben der Werkstoffe 1.4970 (Austenit) und 1.4914 (getemperter martensitischer Ferrit) bei einer Verformungsgeschwindigkeit $\dot{\epsilon} = 3 \times 10^{-1}$ an Luft durchgeführt.

Die für Kriechversuche vorgesehene Hochvakuumhochtemperaturzugprüfmaschine konnte in Betrieb genommen werden. Nach der Vorversuchsphase wird im zweiten Halbjahr 1984 das vorgesehene Versuchsprogramm zur Basisdatenerstellung abgearbeitet.

Erzielte Ergebnisse

Die bisher vorliegenden Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte des Austenits 1.4970 der gleichen thermomechanischen Wärmebehandlung ((1) Lösungsglühung: $1100^{\circ}\text{C}/30$ min in Argonatmosphäre, Luftabkühlung, (2) Kaltverformung: 15% und (3) Auslagerung: $800^{\circ}\text{C}/2$ h in Argonatmosphäre, Luftabkühlung) aber aus einer anderen Charge konnten im untersuchten Temperaturbereich innerhalb des Streubandes experimenteller Werte bestätigt werden. Das Verhalten von Gleichmaßdehnung und Bruchdehnung mit der Temperatur hingegen war unterschiedlich. So war zwischen 600°C und 800°C eine schnellere Abnahme der Gleichmaßdehnung zu beobachten, als bei der früher in anderem Zusammenhang (PSB) untersuchten Charge. Das Minimum der Gleichmaßdehnung zwischen 800°C und 900°C konnte bestätigt werden. Bei 1000°C wurden erheblich niedrigere Werte der Gleichmaßdehnung ($\sim 5\%$) gefunden gegenüber solchen $> 15\%$ an der Referenzcharge. Auch die Bruchdehnungswerte der untersuchten Charge verbleiben bis 900°C auf einem Niveau von 10-12% und steigen erst oberhalb 950°C auf ca. 50% an. Wohingegen die Bruchdehnungswerte der Referenzcharge oberhalb 650°C stetig zunehmen und bei 1000°C 75% Dehnung erreichen. Die Deutung dieser Effekte läßt sich erst nach Vorliegen der jetzt beginnenden metallographischen Nachuntersuchungen vornehmen.

Im Falle des getemperten martensitischen Ferrits 1.4914 (Härten: $1075^{\circ}\text{C}/30$ min, Vakuum, in Argonatmosphäre abschrecken und Anlassen (tempern) $700^{\circ}\text{C}/2$ h, Vakuum, in Argonatmosphäre abkühlen) lagen bisher nur experimentelle Ergebnisse aus anderen Vorhaben (PSB) bis 800°C vor. Auch hier konnten die Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte bestätigt werden. Oberhalb 825°C wandelt sich die kubisch raumzentrierte α -Phase in die kubisch flächenzentrierte γ -Phase (oberhalb 905°C Ende des 2-Phasengebietes) um. In diesem Temperaturbereich lagen bisher noch keine Werte vor. Der Abfall der Streckgrenzen- und Zugfestigkeitswerte mit zunehmender Temperatur wird im Zweiphasengebiet aufgehalten, so daß bei weiter ansteigender Temperatur nach Überschreiten der Phasengrenze ein leichter Anstieg der beiden Festigkeitswerte beobachtet wird. Oberhalb 900°C nähern sich die Festigkeitswerte bis 1000°C immer mehr denen des ebenfalls untersuchten Austenits 1.4970.

Die Werte der Gleichmaßdehnung steigen bis zum Ende des α -Phasenbereiches auf ca. 5% an. Diese Tendenz ergibt sich auch für die Bruchdehnung auf höherem Dehnungsniveau von ca. 80%. Im Zweiphasenbereich nimmt die Dehnung mit steigender Temperatur drastisch ab. Bei 1000°C steigt sie wieder annähernd auf die Werte des ebenfalls untersuchten 1.4970 an.

Geplante Weiterarbeit

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

- Fortführung bis zu Temperaturen von 1200°C.

Einfluß von Ausscheidungen auf das plastische Verhalten:

- Überprüfung des Ausscheidungsverhaltens in diesem Temperaturbereich.

Bereitstellung verifizierter Versagenskriterien:

- Konstantenermittlung für Versagensmodelle aus der vorliegenden Datenbasis.

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

06.01.11/29A Untersuchungen zur Wechselwirkung von Spaltprodukten und
PNS 4311 Aerosolen in LWR-Containments
(H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck; LAF I)

Durchgeführte Arbeiten

Die Arbeiten zur Instrumentierung des Modellcontainments für die DEMONA-Versuche wurden abgeschlossen. Die Versuche in trockener Atmosphäre wurden durchgeführt.

Die Vorausrechnungen zu den DEMONA-Versuchen in trockener Atmosphäre wurden durchgeführt. Wegen der Unsicherheiten bezüglich der Generatorleistung mußte diese parametrisch variiert werden. Nach Abschluß der Experimente erfolgten die Nachrechnungen und der Vergleich dieser mit den Experimenten sowie mit den Vorausrechnungen.

Erzielte Ergebnisse

Alle Meßgeräte, bis auf das Tröpfchenspektrometer und das Kalorimeter zur Messung der Tröpfchenkonzentration, wurden bei den Trockenversuchen erfolgreich eingesetzt. Schwierigkeiten mit den Aerosolgeneratoren führten dazu, daß mehrere Anläufe zur Durchführung des Trockenversuchs gemacht werden mußten. Zwei davon waren erfolgreich, so daß die Zielsetzung des Trockenversuchs erreicht wurde. Ein Versuch mit Eisenoxidaerosol ergab nachträglich, mit Verwendung der gemessenen Partikelgrößenverteilung, eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Messungen und NAUA-Rechnung. Der zweite Versuch wurde mit Zinn-oxidaerosol durchgeführt, die Massenkonzentration war anfangs 5 g/m^3 . Dieser Versuch ergab eine sehr gute Übereinstimmung auch mit der Vorausrechnung, die auf einer Generatorleistung basierte, wie sie etwa im späteren Experiment erreicht wurde. Die Nachrechnung lieferte Übereinstimmung innerhalb der Fehlergrenzen der Messung.

Geplante Weiterarbeit

Das Modellcontainment und die Instrumentierung werden für die Naßversuche umgerüstet. Nach Behebung der Aerosolgeneratorprobleme wird mit den Naßversuchen begonnen. Nach Vorlage der thermodynamischen Daten für den ersten Naßversuch werden die Vorausrechnungen durchgeführt.

06.01.11/30A 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 und -Vorversuchen.

Erzielte Ergebnisse

Die Thermitmischung, die Gießrinnenauskleidung und der geschmolzene Tiegelbeton wurden charakterisiert. Dabei wurden Referenzdaten für die chemischen Reaktionen und für die Ausgangszusammensetzungen gewonnen. Die Analysen der Proben aus den Material-Tauchsonden ergaben mit fortschreitender Versuchsdauer für die Oxidschmelze ansteigende Konzentrationen an Betonbestandteilen (CaO , SiO_2) und an Reaktionsprodukten der Eisenschmelze mit Wasser (Eisenoxide), sowie abnehmende Konzentrationen an Al_2O_3 und MgO (ursprüngliche Thermit-schmelze und Auskleidungsmasse). Die Brauchbarkeit der Tauchsonden-Probenentnahme für die begleitende Untersuchung der Reaktions- und Durchmischungs-kinetik wurde damit erwiesen. Die Durchmischung der Oxidschmelze mit eingeschlossenen metallischen Schmelzentröpfchen zeigt im Versuchsablauf zeitlich abnehmende Tendenzen.

Geplante Weiterarbeit

- Abschließende experimentelle Untersuchungen zur Wechselwirkung von Schwerbeton mit metallischer Kernschmelze.
- Weitere materialkundliche Untersuchungen an BETA-Schmelzproben.

06.01.11/31A Versuche zur Erfassung und Begrenzung der Freisetzung von
PNS 4315 Spalt- und Aktivierungsprodukten beim Kernschmelzen
(H. Albrecht, K. Nolte, K.H. Simon, H. Wild; IRCH)

Durchgeführte Arbeiten

1. Versuche zur AgJ-Bildung in der Gasphase.
2. Versuche mit J_2 zur Ermittlung des Transport- und Ablagerungsverhaltens in der SASCHA-Anlage bei Temperaturen $> 120^\circ C$.
3. Versuche zur Jod- und Caesium-Abscheidung bei der Wasserdampf-Kondensation.

Erzielte Ergebnisse

- 1.1) Löslichkeitsuntersuchungen der Aerosolniederschläge in Wasser und Natrium-Thiosulfat ($Na_2S_2O_3$) zeigen, daß AgJ in meßbarem Umfang in der Gasphase gebildet wurde. Diese Aussage ließ sich auch durch den direkten Nachweis von AgJ mittels XPS (Auger-Elektronenspektrometrie) bestätigen.
- 1.2) Für den integralen Anteil des als AgJ vorliegenden Jod-Anteils wurden Werte im Bereich von 2 - 33% bestimmt. Die große Schwankungsbreite hängt damit zusammen, daß die gleichzeitig in der Gasphase vorhandenen Konzentrationen von J und Ag stark variieren können. Sie hängen z.B. von der vorgegebenen chemischen Form des Jods ab, von der Zusammensetzung der Atmosphäre, sowie von der Aufheizgeschwindigkeit und der Temperaturverteilung im Schmelzgut. Ebenso spielt natürlich das Verhältnis der Ausgangskonzentrationen im Schmelzgut eine wichtige Rolle.
- 1.3) In den Versuchsphasen, in denen die Massenkonzentration an Ag in der Gasphase höher war als die Jod-Konzentration (ab etwa $1800^\circ C$), reagierten zwischen 15 und 80% des Jods zu AgJ.
- 2.) Die Ergebnisse zum Transport- und Ablagerungsverhalten von J_2 werden vor allem für die richtige Interpretation des gasförmigen Jodanteils bei den Freisetzungsversuchen benötigt:
 - 2.1) Unter Ar sowie Ar + H_2 erwies sich die Wechselwirkung von J_2 mit sämtlichen Komponenten der Aerosol-Transportstrecke als gering (<5% Rückhaltung). Auch auf den Glasfaserfiltern und auf den Sintermetall-Fritten, die vom Gas durchströmt werden, betrug die Abscheidung weniger als 1% des Jods.

- 2.2) Unter Wasserdampf ergaben sich dagegen Transport-Verluste von 20-40%, und zwar vorwiegend auf den Stahloberflächen.
- 2.3) Da frühere Untersuchungen mit HJ zu ähnlichen Ergebnissen geführt haben, läßt sich folgern, daß das bis zu den Jodfiltern gelangende Jod bis auf max. einen Faktor 2 dem im Aerosolsystem vorhandenen gasförmigen Jod entspricht.
- 3.1) Beim Transport einer Mischung aus gasförmigem J_2 , Wasserdampf und Argon durch eine Kühlstrecke mit $T = 15^\circ C$ zeigte sich, daß zusammen mit dem kondensierenden Wasserdampf auch ca. 80% des Jods abgeschieden werden. Dieses Jod schlug sich vorwiegend an der Glasoberfläche des Kühlers nieder; in das Kondensat gelangte wegen der geringen Wasserlöslichkeit des Jods nur ein Anteil von ca. 5%.
- 3.2) Bei einem analogen Versuch mit HJ gelangte dagegen ein Anteil von 92% des Jods ins Kondensat, und nur 4% blieben an der Glasoberfläche hängen.
- 3.3) Bei der Verdampfung von einem Liter wässriger Cäsium-Lösung ($pH=6$) ergab sich ein integraler Cs-Austrag von 0,06%. Der weitaus größte Teil des mitgerissenen Cäsiums wurde zusammen mit dem kondensierenden Wasserdampf abgeschieden. Als aerosolförmiges Cäsium wurde nur ein Anteil von $17 \mu g = 7 \cdot 10^{-4} \%$ der Ausgangsmasse an Cs nachgewiesen.

Geplante Weiterarbeit

Abschluß der experimentellen Arbeiten im Juli 1984. Anschließende Erstellung eines Abschlußberichtes.

- 06.01.12 Untersuchungen zur Wechselwirkung von Stahlschmelzen
 mit Beton
- 06.01.12/30A Ausbreitung von Stahlschmelzen in Beton -
PNS 4325 Bestimmung der Schmelzfrontausbreitung
 (S. Hagen, A. Grünhagen, H. Malauschek, K.P. Wallenfels; IT)

Durchgeführte Arbeiten

Nach Fertigstellung der BETA-Anlage wurden drei Versuche für die Überprüfung ihrer Funktionsfähigkeit durchgeführt. Hierfür wurden die Original-BETA-Tiegel verwendet. Circa 300 kg Stahlschmelze wurden aus den Reaktionsbehältern in den Versuchstiegel eingebracht. Der erste Versuch wurde praktisch ohne Induktionsheizung, der zweite für 2600 sec bei 0.4 MW und der dritte für 800 sec bei 1.7 MW gefahren.

Zur Kontrolle des Induktionseinflusses wurden zwei weitere Versuche mit gepulstem Leistungsbetrieb durchgeführt. Beim ersten befanden sich knapp 20 kg und beim zweiten ca. 200 kg Stahlschmelze im Tiegel. Die Leistungseinspeisung bei diesen Versuchen betrug im Mittel ca. 100 bzw. 400 KW.

Erzielte Ergebnisse

In den drei Abnahmeversuchen wurde die Funktionsfähigkeit der Anlage demonstriert. Speziell für das hier beschriebene Vorhaben konnte die Verwendungsfähigkeit der Tiegelmaßtechnik in den starken Induktionsfeldern der BETA-Anlage nachgewiesen werden. Die Datenverarbeitungsanlage erfüllte ihre Aufgabe.

Die erste Auswertung der Thermoelementmessung und der Tiegelschnittvermessung zeigte eine merklich geringeres Eindringen der Schmelzfront in radialer Richtung im Vergleich zur axialen Ausbreitung der Schmelzfront. Erwartungsgemäß nahm die axiale Eindringgeschwindigkeit mit der in der Schmelze eingebrachten Leistung und der damit verbundenen höheren Temperatur zu.

Bei den Versuchen mit der gepulsten Einspeisung konnte kein für das Induktionsfeld spezifischer Einfluß auf das Eindringverhalten festgestellt werden.

Geplante Weiterarbeit

Die Versuche werden entsprechend dem Versuchsplan weitergeführt.

06.01.12/31A Experimente zur Wechselwirkung zwischen Stahlschmelzen
PNS 4323 und Beton
(D. Perinić, R.Döbele, M.Hespeler, W.Höhn, B. Kammerer,
U.Kirchhof, W.D.Klotz, H.Lukitsch, A.Mack, N.Paroth,
G.Prokott, G.Sebold, K.Trautwein, D.Zimmerlin; IT)

Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die Anlage BETA wurde am 7.4.84 endabgenommen und steht für den Experimentierbetrieb zur Verfügung. Der Nachweis der Funktionsfähigkeit der Anlage erfolgte bei drei Schmelzversuchen. Beim Versuch A1 am 3.2.84 wurden 600 kg Thermitmischung gezündet, 300 kg Metallschmelze wurden in den Betontiegel abgegossen. Die Funktionsfähigkeit der Thermitgießanlage und der Rauchgas-Absaugung konnte nachgewiesen werden. Die Induktionsleistung wurde nur für wenige Sekunden probeweise eingeschaltet.

Beim Versuch A2 am 17.3.84 wurden ebenfalls 600 kg Thermit gezündet und 300 kg Metall abgegossen. Eine induzierte Schmelzleistung von max. 400 kW wurde eingestellt. Diese Leistung verminderte sich trotz konstanter Einstellung der Induktorspannung bis zum Versuchsende (elektr. Abschaltung der Anlage) nach 43 min auf \sim 250 kW. Kurzzeitig konnte die Induktorleistung auf max. 6625 kW angehoben werden. Damit wurde vom Hersteller der Nachweis einer induzierten Schmelzleistung von 1880 kW erbracht.

Im Versuch A3 am 7.4.84 wurden 600 kg Thermit gezündet, abgegossen wurden 300 kg Metall- und 150 kg Oxidschmelze. Unter Konstanthaltung der Induktorspannung konnte kurzzeitig eine Induktorleistung von max. 6302 kW eingespeist werden. Von dieser Leistung wurden 1680 - 1690 kW ins Schmelzbad eingekoppelt. Die Leistung fiel bis zur Abschaltung stetig ab. Die Abschaltung erfolgte automatisch durch Ansprechen eines Lichtleiters der Tiegelbruchüberwachung im Tiegelboden.

Die Tiegelkavernen zeigen wider Erwarten eine wesentlich stärkere vertikale als horizontale Ausbreitung der Schmelzfront.

Die vertikale Eindringtiefe der Schmelzfront in den Beton betrug bei A1 45 mm, bei A2 454 mm und bei A3 562 mm; die horizontale Eindringtiefe bei A1 39 mm, bei A2 103 mm und bei A3 75 mm. Die Tiegelbeschichtung hat diesen Beanspruchungen anstandslos standgehalten.

Die MSR-Technik hat trotz starker Induktionsfelder insgesamt zufriedenstellend funktioniert. Es gab anfängliche Probleme mit der Tauchsonden-Temperaturmessung. Nach dem Nachweis der Funktionsfähigkeit wurde die Tauchsondenanlage endabgenommen.

Das Untersuchungsprogramm ist somit abgeschlossen.

06.01.12/32A Hydrodynamische und thermische Modelle zur Wechselwirkung
PNS 4331 einer Kernschmelze mit Beton
(M. Reimann, S. Stiefel;IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Vorausberechnungen und Nachrechnungen der BETA-Versuche.
- Implementierung eines vereinfachten Filmmodells in WECHSL.
- Änderung der Modellierung in WECHSL zum Wärmeübergangsverhalten.
- Implementierung des Containmentcodes
CONDRU (GRS)
COCMEL (KWU)
- Programmierungsarbeiten zum Jodmodell.

Erzielte Ergebnisse

Zur Verkürzung der Rechenzeit von WECHSL wurde das Filmmodell zur Beschreibung des Wärmeübergangs von der Kernschmelze an den Beton durch Näherungsfunktionen approximiert. Damit kann die Rechenzeit von WECHSL bei Anwendung auf den Kernschmelzenunfall um etwa 50% verkürzt werden.

Im Berichtszeitraum wurde an der BETA-Anlage der Versuchsbetrieb aufgenommen. Nach drei Abnahmeversuchen, davon zwei mit induktiver Nachheizung, wurde mit BETA V1.2 der erste auswertbare Versuch des Versuchsprogrammes durchgeführt. Alle Versuche mit Nachheizung ergaben ein deutlich bevorzugtes vertikales Eindringen der Schmelze. Um sicherzustellen, daß dieses Verhalten nicht durch die induktive Heizung veranlaßt wird, wurde der Versuch BETA V1.2 mit pulsierender Heizung durchgeführt. Auf eine Heizphase von 60 - 100 sec folgte eine Phase mit abgeschalteter Heizung von etwa doppelter Dauer. Auch dieser Versuch ergab das oben genannte Verhalten.

Deshalb wurde begonnen, die Modellierung des Wärmeübergangs zu modifizieren mit dem Ziel, zu einer besseren Übereinstimmung mit den nachbeheizten Versuchen zu kommen, wobei die bisherige gute Nachrechnung der Versuche ohne Nachheizung erhalten bleiben sollte.

Geplante Weiterarbeit

Entwicklung von physikalischen Modellen.
Voraus- und Nachrechnung von Simulationsexperimente.
Weitere Berechnungen für die Auswirkung eines KSU.

06.01.12/33A Modellentwicklung zur analytischen Beschreibung von
PNS 4334 Kernschmelzenunfällen
(H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Durchgeführte Arbeiten

- Inbetriebnahme der BETA-Versuchsanlage.
- Durchführung der ersten BETA-Versuche
- Auswertung und Bewertung der BETA-Versuche
- Spezifizierung weiterer BETA-Versuche.

Erzielte Ergebnisse

Es wurden drei Inbetriebnahmeversuche in der BETA-Anlage ausgeführt, die weitgehend den Bedingungen entsprachen, wie sie bei den geplanten BETA-Experimenten vorliegen. Daher konnten bereits unter Einsatz der wesentlichen Meßtechniken erste Rückschlüsse auf die Schmelze-Beton-Reaktion unter BETA-typischen Bedingungen gewonnen werden.

Bei den Inbetriebnahmeversuchen wurden die folgenden Techniken erprobt:

1. Erzeugung und Abguß einer Thermitschmelze von 300 kg Stahl und 300 kg Oxid
2. Beheizung der Schmelze im Betontiegel mit 400 kW induzierter Schmelzbadleistung
3. Beheizung der Schmelze im Betontiegel mit 1,7 MW induzierter Schmelzbadleistung.

In allen drei Versuchen konnte die sichere Funktion der Versuchsanlage nachgewiesen werden. Insbesondere konnte gezeigt werden, daß die maximale Heizleistung von 1,7 MW sicher in die Schmelze eingekoppelt werden kann, und daß selbst unter extremen Bedingungen die ANlage zuverlässig beherrscht wird.

Die experimentelle Auswertung der Versuche ergab im Hinblick auf Schmelzfrontgeschwindigkeit und Schmelzfrontfortschritt andere Aussagen, als sie aus bisherigen Untersuchungen mit Kurzzeitversuchen ohne Nachbeheizung bekannt sind.

Zur Absicherung der Gültigkeit der BETA-Experimente wurde in den zwei ersten Versuchen, die unter rein experimentellen Aspekten gefahren wurden, eine intermittierende Beheizung der Schmelze im Betontiegel gewählt. Damit konnte abgesichert werden, daß, wie auch aus Voruntersuchungen bekannt, eine Beeinflussung der Magnetfeldkräfte durch die induktive Beheizung auf die Kontur der Schmelzfront nicht existiert. Gleichzeitig wurde gezeigt, daß die beobachtete Dispersion von Teilen der metallischen Schmelze in die oxidische Schmelze durch die starke Gasfreisetzung bei sehr hohen Temperaturen verursacht wird.

Die aus bisherigen Experimenten gewonnenen Daten machen eine Änderung der bisherigen Modelle zur Beschreibung des Schmelzeverhaltens notwendig. Die Arbeiten hierzu gehen von einer Änderung des Wärmeübergangs am Boden des Betontiegels aus.

Die nächsten Experimente in BETA wurden im Detail spezifiziert. Zahl und Umfang der vorgesehenen Experimente werden hierdurch nicht beeinflußt.

Geplante Weiterarbeit

Durchführung und Bewertung von BETA-Experimenten zur Verifikation existierender Rechencodes zum KSU in der Hochtemperaturphase.

06.01 SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON KKW

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

06.01.14 Abluftfilterung an Reaktoren

06.01.14/19A Untersuchungen zum Auftreten und zur Abscheidung von
PNS 4414 penetrierenden Iodverbindungen in der Abluft von
Kernkraftwerken
(H. Deuber; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

Vorbereitungen für den Betrieb von speziellen diskriminierenden Iodsammlern
in verschiedenen Abluftströmen eines Siedewasserreaktors (SWR 5):
Spülluft, Reaktorgebäudeabluft, Maschinenhausabluft, Kaminabluft;
Beaufschlagung verschiedener Aktivkohlen mit der Behälterabluft des SWR 5.

Erzielte Ergebnisse

Auswertung der Untersuchungen laufend.

Geplante Weiterarbeit

Betrieb von speziellen Iodsammlern und Aktivkohlestrecken in den genannten
und eventuell weiteren Abluftströmen des SWR 5 während eines längeren Zeit-
raums (maximal ein Jahr).

06.01.14/20A Entwicklung und Verbesserung von Abluftfiltern
PNS 4415 für Störfallbedingungen
(H.-G. Dillmann, H. Pasler, R. Maier, H. Schmitt; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

1. Ermittlung der Belastung von Unfallfilteranlage nach schweren Störfällen:

Ein Vergleich der aus bisherigen anderen F+E-Vorhaben vorliegenden Daten über bei einem Reaktorunfall zu erwartenden Filterbelastungen mit den bisher erzielten experimentellen Ergebnissen in Hinsicht auf Temperatur, Feuchte und Beladung zeigt, daß Unfallfilteranlagen höher belastbar sind als zur Zeit erwartet wird. Daher sind weitere Rechnungen zur Filterbelastbarkeit vorläufig beendet worden.

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

Die Untersuchungen an Metallfaserfiltern wurden fortgesetzt. Die Versuche unter Dampfeinwirkung zeigen in etwa gleiches Abscheideverhalten wie bei Beaufschlagung mit Luft. Langzeitversuche unter Dampf und Dampf-Luftgemischen zeigten über mehrere Monate Dauerbeaufschlagung an den Fasern keine Korrosionserscheinungen. Damit dürfte ein Einsatz unter Unfallfilteratmosphäre über Wochen möglich sein. Erste Versuchsreihen über die Massenspeicherfähigkeit von Vorfiltern wurden durchgeführt und Abreinigungsversuche durchgeführt.

Erzielte Ergebnisse

Bei einer Faserbelegung von nur $1,5 \text{ kg/m}^2$ wurden bei Dampfbeaufschlagung mit ca. 30 cm/sec Anströmgeschwindigkeit Dekontaminationsfaktoren zwischen 1000 und 4900 gefunden, wobei tendenzmäßig mit steigender Dampftemperatur der DF zunimmt. Die Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie bei Luft.

Die Beladungsversuche an Vorfiltern ergaben Masseneinspeicherungen zwischen $1,5$ und ca. 10 kg/m^2 je nach Faserdurchmesser bei Abscheidegraden von 75% bis > 99% mit einer Aerosolgrößenverteilung zwischen 1 und $10 \text{ }\mu\text{m}$.

Geplante Weiterarbeit

Die Untersuchungen an Metallfaserfiltern werden sowohl mit Dampfversuchen als auch mit Beladungsversuchen weitergeführt. Hierbei werden teilchenspezifische Abscheideversuche für die Optimierung der Vorfilter vorgesehen.

06.01.14/21A Studium des Verhaltens von Schwebstofffiltern unter hoher
PNS 4416 Temperatur, Luftfeuchte und erhöhtem Differenzdruck
(V. Rüdinger, Th. Arnitz, U. Ensinger, C.I. Ricketts,
U. Geckle; LAF II)

Durchgeführte Arbeiten

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

Anhand einer größeren Zahl von Schwebstofffilterelementen wurde das Abscheidegradprüfverfahren mit dem Plasmaaerosol erprobt und mit den Standardprüfverfahren DOP-, NaCl - und Uranin-Test verglichen.

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

Zur Interpretation der Ergebnisse der Filtertests unter hoher Strömungsgeschwindigkeit wurden vorbereitende Messungen der Reißfestigkeit der Filterpapiere durchgeführt.

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

Eine weitere Versuchsserie zum Studium der Einwirkung hoher Feuchten auf neue und auf beladene Schwebstofffilter wurde vorbereitet und durchgeführt. Ziel war es u.a. den möglichen Einfluß der Einwirkungsdauer auf den Schadensdifferenzdruck zu prüfen. Weiterhin wurde die Schutzwirkung eines hochwirksamen Tropfenabscheiders getestet. Die Versuchsinstrumentierung wurde durch Einbau einer Kleinbildkamera, durch den Bau eines Gerätes zur Messung der Nebelnässe für Temperaturen unter 70°C, sowie durch Vorbereitung einer 8 mm - Zeitrafferkamera ergänzt. Die Eichapparatur für das IR-Feuchtemeßgerät wurde in Betrieb genommen und ihr Volumen bestimmt.

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

Die Montage der Versuchsanlage BORA einschließlich F+E-Meßtechnik, Versuchsablaufsteuerung und optischem Registriersystem wurde erfolgreich abgeschlossen. Erste Testläufe wurden durchgeführt. Festgestellte Mängel am Kanalsystem konnten vom Subunternehmer behoben werden. Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des vorhandenen Transientenrekorders wurde ein System mit schneller Aufnahme großer Datenströme und einem Personalcomputer konzipiert und ausgeschrieben. Im Anschluß an die erfolgreich beendeten Rechnungen mit dem Programm TVENT wurde damit begonnen, das wesentlich aufwendigere Programm EVENT zur Modellierung der Anlage BORA für strömungstechnische Rechnungen zu modifizieren.

Erzielte Ergebnisse

Zu 1: Die Meßergebnisse zeigen, daß mit dem neuen Prüfverfahren Dekontaminationsfaktoren (DF) bis 10^4 bestimmbar sind. Diese Nachweisgrenze ist für Untersuchungen unter Störfallbedingungen vollkommen ausreichend. Die Aerosolpartikel haben im Falle des TiO_2 eine Materialdichte von ca. $4,0 \text{ g cm}^{-3}$ und einen Mittelwert der Anzahlverteilung von etwa $0,05 \text{ } \mu\text{m}$. Die einzelnen DF-Werte stimmen mit denen des NaCl- und des Uranin-Tests gut überein. Die Prüfung mit dem $0,6 \text{ } \mu\text{m}$ DOP-Aerosol ergab etwa um Faktor 3 höhere DF's.

Zu 2: Die Vorversuche verliefen erfolgreich. Sie zeigten, daß die Reißfestigkeit durch den Faltungsvorgang etwa halbiert werden kann.

Zu 3: Im Rahmen der Feuchteversuche konnte gezeigt werden, daß mit Staub beladene Filter allein nach andauernder Feuchteeinwirkung von 100% r.F. versagten. Ein Einfluß der Einwirkungsdauer auf den Versagensdifferenzdruck ist aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht gesichert. Der hochwirksame Tropfenabscheider verhindert bei unbeladenen Filtern einen starken Anstieg des Differenzdruckes bei Beaufschlagung mit Nebel. Das Versagen des mit Staub beladenen Filters konnte jedoch nicht vermieden werden.

Zu 4: Das kurze Versuchsprogramm wurde erfolgreich abgeschlossen. Erste Testläufe bestätigten, daß die Modifikation des Programmes EVENT gelungen ist.

Geplante Weiterarbeit

Zu 1: Mit dem neuen Prüfverfahren sind Abscheidegradmessungen bei hohen Temperaturen vorgesehen.

Zu 2: Es ist geplant, aus etwa 50 getesteten Filtern 500 Proben zu nehmen und deren Reißfestigkeit zu messen.

Zu 3: Im Rahmen zweier Testserien sollen die Untersuchungen zur Einwirkung hoher Feuchten zu einem Zwischenabschluß gebracht werden.

Zu 4: Nach Inbetriebnahme und Abnahme der Anlage BORA sind erste experimentelle Untersuchungen zur genauen Ermittlung der Strömungswiderstände der Komponenten und Tests von Schwebstofffiltern geplant.

06.02. SICHERHEIT UND UMGEBUNGSSCHUTZ VON WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGEN

PNS-Teilprojekt 4500 - Sicherheit der Wiederaufarbeitung

06.02.01 Störfallanalysen für die große Wiederaufarbeitungsanlage (WAA)

06.02.01/12A Störfallablaufanalyse für die Abgasreinigung der großen
PNS 4513 Wiederaufarbeitungsanlage
(K. Nagel; IDT)

Durchgeführte Arbeiten

- Deterministische Berechnung der Freisetzung von Jodisotopen und Aerosolmengen in der Anlage PASSAT im Normalbetrieb und bei Störfällen.
- Beschreibung der Adsorption von Wasser und Koadsorption von Krypton und Xenon an Silikagel und Molekularsieb mit Hilfe von Diffusionsvorgängen.
- Analytische Theorie für die in PASSAT im ersten Störfall freigesetzte Menge an radioaktivem Jod ("Kurzzeit"-Modell) bei
 - a) zwei Störfallursachen (Erhitzer EH1 vor EH2 bzw. EH2 vor EH1 ausgefallen)
 - b) drei Störfallursachen (a) und Netzausfall).
- Stochastisches Modell (analytische Theorie) für die in PASSAT bei einer beliebigen Folge von Störfällen freigesetzten Menge an radioaktivem Jod bei mehreren Störfallursachen ("Langzeit"-Modell).
- Verfahren zur numerischen Inversion einer zweidimensionalen Laplace-Stieltjes Transformierten unter Verwendung von zahlentheoretischen Methoden. Anwendung auf das "Langzeit"-Modell.

Erzielte Ergebnisse

- Die freigesetzten Mengen an Aerosolen und Jodisotopen sind in Normalbetrieb sehr klein.

Die Freisetzung von Jod beim schlimmsten Störfall (beide Erhitzer gleichzeitig im ursprünglichen Konzept und ein Erhitzer im neueren Konzept) ist abhängig vom Auflösungsprozeß. Sie ist bei idealer Säurezudosierung bis zu einem Faktor 10 größer als im Batchbetrieb.

- Durch die analytische Theorie für den ersten Störfall in PASSAT sind die bisher benutzten Rechenprogramme mit Monte-Carlo Simulation überflüssig geworden. Die berechneten Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die freigesetzte Menge an radioaktivem Jod sind bei allen betrachteten Betriebs- und Wartungsstrategien nahezu Stufenfunktionen und damit keine Normalverteilungen. Derartige Verteilungen lassen sich, wenn überhaupt, nur mit großem Rechenaufwand simulieren.
- Die bei einem Netzausfall freigesetzte Menge an radioaktivem Jod ist um zwei bis drei Größenordnungen höher als bei den übrigen Störfallursachen (EH1 vor EH2 bzw. EH2 vor EH1).
- Infolge der großen Unsicherheit in den Eingangsdaten ergeben sich im "Langzeit"-Modell je nach Wahl der Eingangsparameter mitunter sehr "extreme" Situationen. So läßt sich z.B. bei gewissen, durchaus plausiblen Eingangsparametern der zugrunde liegende Markoff-Erneuerungsprozeß mit einem Poissonprozeß interpretieren.

Geplante Weiterarbeit

- Weitere Untersuchungen in der Adsorption von H_2O , Kr und Xe an Silikagel und Molekularsieb.
- Die Untersuchungen mit stochastischen Modellen (analytische Theorie) für die in PASSAT freigesetzte Menge an radioaktivem Jod sind im wesentlichen abgeschlossen.

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

06.03.01/11A Untersuchung des physikalischen und chemischen Verhaltens
PNS 4812 biologisch besonders wirksamer Radionuklide in der Umwelt
Pu, Am, Cm und Np

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

Durchgeführte Arbeiten

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

Erzielte Ergebnisse

- Mit Np-239 als Tracer wurde ein analytisches Verfahren ausgearbeitet, das die schnelle Bestimmung von Np in Umgebungsmaterialien parallel zu Pu, Am und Cm ermöglicht.
- In insgesamt 20 Bodenkernen von 80 cm Länge und 30 cm Durchmesser, die an neun Standorten verschiedener Bodenart in ungestörter Lagerung entnommen wurden, wurden die monatlich mit dem Perkolationswasser ausgetragenen Salze bestimmt. Mit HTO wurde die Sickergeschwindigkeit des Gießwassers gemessen, bevor die Bodenkernkerne 4 cm unter der Oberfläche mit Np, Pu, Am, Cm und Tc kontaminiert wurden. Durch Berieseln mit DTPA-Lösung soll nun innerhalb der nächsten sechs Monate eine Verlagerung der Aktiniden in tiefere Bodenschichten erreicht werden.

- Auf drei Böden - einem Kreideboden, einer Granitverwitterung und einem Sandboden - wurden die Messungen des Transfers Boden/Pflanze weitergeführt. Die zweite Vegetationsperiode von November 1983 bis März 1984 wurde mit der Ernte abgeschlossen, und die Saat für die dritte Vegetationsperiode wurde im April 1984 ausgebracht. Zusätzlich zu Kartoffeln, Mais und Weizen werden in neuangelegten Töpfen und Lysimetern weitere Nutzpflanzen aufgezogen. Die zum Verzehr geeigneten Anteile der geernteten Pflanzen der ersten Vegetationsperiode wurden analysiert. Die gemessenen Transferfaktoren weichen mit Ausnahme von Weidegras nennenswert von den in den Berechnungsgrundlagen angegebenen ab. Mit Gras als Versuchspflanze wurde der Einfluß der Schwermetallkonzentration von Pb, Co und Cr im Boden auf Entwicklungszustand und Ertrag überprüft. Diese Elemente wurden als stabile Tracer für die radio-ökologisch wichtigen Nuklide Pb-210, Co-60 und Cr-51 verwendet. Schon geringe Schwermetallkonzentrationen im Boden zeigten eine deutliche Verminderung des vegetativen Wachstums im Vergleich zu schwermetallfreiem Boden. Durch Einmischen von Kalk in den Boden wurde der pH des Bodens erhöht. Die Versuchsreihe wird unter diesen geänderten Bedingungen wiederholt.
- Verfahren zur Bestimmung von Nährstoffen und Spurenelementen in Böden und Pflanzen mittels ICP und AAS wurden weiter bearbeitet. Zusätzliche Extraktions- und Aufschlußverfahren wurden überprüft und optimiert. Zur Zeit können 26 Elemente in Böden und Pflanzen gemessen werden, die Erweiterung auf 38 Elemente steht kurz vor dem Abschluß. Zusätzlich wird die Bestimmung von Phosphat, Nitrat, Sulfat und anderen Anionen mittels Ionenchromatographie in Boden - und Pflanzenproben durchgeführt.

Geplante Weiterarbeit

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

06.03.01/12A Mikrobiologische Einflüsse der Mobilität und Bioverfügbarkeit
PNS 4813 von Radionukliden in Böden und Sedimenten
(S. Strack; HS)

Durchgeführte Arbeiten

- Fortsetzung der langfristigen, standardisierten Untersuchung der Mikroflora an der Referenzstelle.
- Unbehandelte und behandelte (Autoklavieren, Autoklavieren und Neubeimpfen mit Bakterien- oder Pilzmischkulturen, β -Propiolacton Bodenproben wurden in kleine Säulen gepackt und mit geträgerter Iodid-125-Lösung markiert (ca. 600 Bq). Nach unterschiedlichen Standzeiten wurden die Säulen mit H_2O eluiert. Die wasserlösliche Iodmenge wurde im LSC ausgemessen.
- Erprobung von Methoden zur Erfassung mikrobieller Stoffwechselaktivitäten im Bodenmaterial: Messung des CO_2 -Ausstoßes, Bestimmung der Katalaseaktivität.
- Ermittlung der physikalisch-chemischen Eigenschaften von unbehandeltem Boden und hitzesterilisiertem Boden: Bestimmung von pH-Wert, maximaler Wasserkapazität, Gehalt an eluierbaren C-Verbindungen (Elutionsversuche mit destilliertem H_2O und C-Messung im Ir bzw. UV), Adsorptionsfähigkeit und Sedimentationsverhalten.

Erzielte Ergebnisse

- Im Beobachtungszeitraum April 1983 bis Juni 1984 zeigt die Besiedlungsdichte pro Gramm Boden die zu erwartenden jahreszeitlich bedingten Schwankungen.
- In Versuchen mit unbehandelten Bodensäulen, die mit einer weit unterhalb der zur Iodsättigung des Bodens benötigten Iodmenge belegt wurden, wird der überwiegende Teil der aufgegebenen Iodmenge immobilisiert und kann nicht wieder eluiert werden (über 90% innerhalb der ersten drei bis sechs Stunden. In Elutionsexperimenten mit autoklavierten bzw. autoklavierten/neubeimpften Bodensäulen war eine insgesamt verlangsamte und verminderte Immobilisierung von I-125 in der Bodenmatrix nachweisbar, wobei sich ein schnellerer Fixierungsprozeß, der zu Versuchsbeginn abläuft (Abb. 1, Kurve b und c, Abschnitt I) und ein langsamerer Immobilisierungsvorgang, der bei längeren Säulenstandzeiten zum Tragen kommt (Abb. 1, Kurven b und c, Abschnitt II), überlagern.

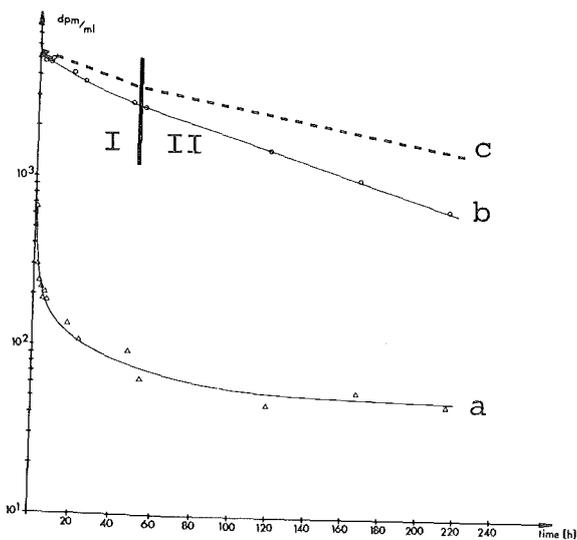
Da sich die Versuchsreihen mit autoklaviertem bzw. autoklaviertem/neubeimpftem Boden durch ihre gleichartige Vorbehandlung (Hitzesterilisation, 20 min bei 121°C) nur in ihrem mikrobiologischen Besatz unterscheiden, sind folgende Schlußfolgerungen zu ziehen:

- Bei den im autoklavierten, biologisch toten Bodenmaterial ablaufenden Immobilisierungsvorgängen handelt es sich um rein physikalisch-chemische Mechanismen.
- Die deutliche Verstärkung der Immobilisierung beim autoklavierten/neubeimpften Boden im Vergleich zu autoklaviertem Boden ist durch einen biotischen Prozeß bedingt, der eine weiterhin wirksame physikalisch-chemische Fixierung überlagert, und auf den Einfluß der im Boden angesiedelten Mikroorganismen zurückzuführen ist.

Das unterschiedliche Immobilisierungsverhalten von I-125 für autoklavierten bzw. autoklavierten/neubeimpften Boden einerseits, unbehandeltem Boden andererseits wird möglicherweise durch eine Veränderung der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens durch die Hitzeeinwirkung beim Autoklavieren hervorgerufen. Eine Änderung des pH-Wertes und der maximalen Wasserkapazität konnte nicht festgestellt werden. Es wurde jedoch eine starke Zunahme des Anteils an eluierbaren C-Verbindungen (ca. 7- bis 15fach) beim autoklavierten Boden nachgewiesen.

Geplante Weiterarbeit

Fortsetzung der Versuche mit I-125.



Ab. 1: Vergleich von unbehandeltem (a) m. sterilisiertem/neubeimpftem Boden (b). Die aus markiertem Bodenmaterial pro ml H₂O dest. herauslösbare I-125-Menge wurde nach unterschiedlichen Säulenstandzeiten gemessen. Kurve c (in einem Parallelversuch ermittelt) zeigt den Immobilisierungsverlauf bei autoklaviertem Boden. Symbol I und II siehe Text.

TRANSLATION OF THE GERMAN REPORTS

<u>Content</u>	<u>Page</u>
Translation of the German Reports	49 - 92
06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS	
<u>PNS-Subproject 4100 - Dynamic Loads and Strains of Reactor Components under Accident Conditons</u>	
<u>06.01.02</u> Development and Verification of Codes for Dynamic Stress Analysis of Reactor Components	49
06.01.02/17A Development and Verification of Codes for Analysis PNS 4125 of Dynamic Stresses and Deformations of Reactor Vessel Internals during LOCA	49
06.01.15/06A Development and Verification of Codes for PNS 4127 Analysis of Dynamic Stresses and Deformations of LWR-Containments	50
06.01.19/03A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior of PNS 4160 Reactor Components	52
06.01.21/03A Thermalhydraulic Analyses of LWR Accidents 04A/05A PNS 4270-72	53
06.01.22/01A Investigation of Bubble Transport Mechanisms PNS 4280 in Air-Water Bubbly Flows in a Vertical Test Channel (NOVA)	55
<u>06.01.03</u> Development of Two Phase Mass Flow Measurement Techniques and Application at Blowdown Experiments	56
06.01.03/26A Joint Test Rig for Tests and Calibration of PNS 4137 Different Methods of Two-Phase Mass Flow Measurements	56
06.01.03/27A Experimental Facility for Nonsteady State PNS 4139 Two-Phase Flows	57

	<u>Page</u>
<u>PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions</u>	59
<u>06.01.04</u> Development and Assessment of a Fuel Behavior Code System	59
06.01.04/32A Development and Verification of a Code-System of 35A, 36A Fuel Behavior at Loss-of-Coolant Accidents PNS 4231.1/ 3/9	59
<u>06.01.09</u> Fuel Rod Behavior in the Refill and Reflood Phase of a LOCA	63
06.01.09/07A Investigations of the Interaction between PNS 4238 Ballooning Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling (REBEKA)	63
06.01.20/02A Fuel Rod Simulator Effects in Flooding Experiments PNS 4260 (SEFLEX)	64
<u>06.01.16</u> Investigations on Severe Core Damage	65
06.01.16/23A Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding PNS 4254	65
06.01.16/22A Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 PNS 4253 Cladding and UO ₂ Fuel during Severe Core Damage Transients	66
06.01.16/20A Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel /21A Damage (CORA) PNS 4251.1/2	68
06.01.16/19A Long Term Coolability of Severely Damaged Cores PNS 4250 (COLD)	69
<u>06.01.17</u> Investigations on the Accident Behavior of Advanced Pressurized Water Reactor (FDWR)	70
06.01.17/16A Flooding and Deformation Behavior of PNS 4240 Closely Packed Hexagonal Fuel Rod Bundles	70
06.01.17/17A Investigations on the Influence of Oxide Fuel PNS 4242 and Fission Products on the Mechanical Properties of Steel Cladding Tubes	71

	<u>Page</u>
06.01.17/19A PNS 4244	Investigation of the Mechanical Behavior of Cladding 72
 <u>PNS-Subproject 4300 - Investigation and Control of LWR</u>	
<u>Core-Meltdown Accidents</u>	
<u>06.01.11</u>	Reaction Behavior, Activity Release and Transport of Fission Products during Core-Meltdown 74
06.01.11/29A PNS 4311	Investigations on the Interaction of Fission Products and Aerosols in LWR-Containments 74
06.01.11/30A PNS 4314	Constitution and Reaction Behavior of LWR Materials at Core Melting Conditions 75
06.01.11/31A PNS 4315	Experiments on Fission and Activation Product Release during Core Meltdown 76
<u>06.01.12</u>	Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete 78
06.01.12/30A PNS 4325	Erosion of Concrete by Steel Melts Investigations of the Melt Front Velocity 78
06.01.12/31A PNS 4323	Experiments on the Interaction between Steel Melts and Concrete 79
06.01.12/32A PNS 4331	Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction of a Core Melt with Concrete 80
06.01.12/33A PNS 4334	Development of Models for the Analytical Determination of Core Meltdown Accidents 81
 <u>PNS-Subproject 4400 - Improvement of Fission Product Retention</u>	
<u>and Reduction of Radiation Load</u>	
<u>06.01.14</u>	Offgas Filters in Nuclear Power Stations 83
06.01.14/19A PNS 4414	Investigations on the Occurrence and Retention of Penetrating Iodine Species in the Exhaust Air of Nuclear Power Plants 83

		<u>Page</u>
06.01.14/20A PNS 4415	Development and Improvement of Exhaust Air Filters for Accident Conditions	84
06.01.14/21A PNS 4416	Investigations into the Behavior of HEPA-Filters under High Temperature, High Air Humidity and Elevated Differential Pressure	85
06.02	SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS	
<u>PNS-Subproject 4500 - Safety of the Reprocessing</u>		
<u>06.02.01</u>	Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant	87
06.02.01/12A PNS 4513	Incident Analysis for the Offgas Cleaning System of the Large Reprocessing Plant	87
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	89
06.03.01/11A PNS 4812	Investigation of the Physical and Chemical Environmental Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular Biological Effectiveness: Pu, Am, Cm and Np	89
06.03.01/12A PNS 4813	Microbiological Influence on the Mobility and Bioavailability of Radionuclides in Soils and Sediments	91

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF NUCLEAR
POWER PLANTS

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

06.01.02 Development and Verification of Codes for Dynamic Stress
Analysis of Reactor Components

06.01.02/17A Development and Verification of Codes for Analysis
PNS 4125 of Dynamic Stresses and Deformations of Reactor
Vessel Internals during LOCA
(M. Geiß, M. Wadle; IRE)

Work performed

Several calculations have been carried out to investigate strain concentration effects at shell clampings. The influence of the geometry of the shell the clamping conditions and of the material behavior have been studied. These calculations have partly been carried up to the loading range, where plastic instability occurs in the shell regions not disturbed by edge effects.

The evaluation of the two-phase flow experiments which were carried out 1982/83 has been completed, the results are documented. Newly developed conversion programs have been applied. The method of amplitude density analysis has been used in addition to mean value analysis. Thus, together with pressure and density reference values an interpretation of the flow regime in the test section can be obtained. Main emphasis was on the completion of reports covering the experimental results.

Results obtained

The results of the structural mechanics investigations show that the magnitude of local strain concentrations depends mainly from the special clamping conditions and from the work hardening characteristic of the material. On the other hand the geometry of the shell has only minor influence on the strain concentrations. In detail it turns out that in case of an ideal clamped shell edge only moderate strain concentrations have to be expected. For other clamping conditions such as those found at the core barrel clamping of a pressu-

rized water reactor considerable strain concentrations occur which may determine the safety margin.

After completion of the two-phase flow tests all recorded data had to be transferred to the central KfK computers for subsequent analysis. Pressure, temperature and density signals were stored in a data base after mean value extraction together with reference data of the test loop. The data base now contains about 300 experiments. Drift corrections had to be applied to the density signals. However, a considerable error remained, while pressure and temperature signals are of high quality. Amplitude spectrum analysis was applied to the density signals. Expected density spectra for various flow regimes were compared with experimental findings. This method supported by pressure and temperature signals gives a reliable picture of the flow pattern. In particular, the transition between different flow patterns and criticality of the flow can be detected. In subcritical experiments, a flow separation downstream from the opening thus could be determined.

Plans for future work

Concerning the structural mechanics investigations some further calculations will be carried out and the documentation of the results will be finished. Various codes with different capabilities and two-phase flow models are to be applied to the two-phase flow experiments.

06.01.15/06A 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

Two bulge tests were performed with membranes, which had a reinforced section at its center. The membranes failed at a pressure of 28 and 32 bar respectively, what is considerably lower than the failure pressure of the membranes without reinforcement (42 bar). The failed membranes had a crack running approximately 2 mm in front of the thickened region around this region, separating it from the remainder of the membranes by 50% and 80% respectively. The computer program ROTMEM was not able to predict the failure pressure with acceptable tolerance.

In order to clarify whether the bolted connection between material lock and containment can be investigated by a small scale experiment some bolted connections with different scale factors were investigated in uni-axial tensile tests. The results showed that the loading where first slip occurs, as well as the loading at rupture may be transferred with simple scale factors, provided that the specimens are manufactured with great care.

Manufacturing of the containment model shell goes on. The outer shape of the sphere is already finished. Measurements showed, that the deviations from the ideal shape are smaller than 3/100 mm.

A series of experiments was started, in which the transfer of pressure fluctuations within the water pool of a pressure suppression system to the walls of the pool is investigated. Some experiments with different intensities of steam condensation were performed, and modal analysis of the measured signals with the computer programs EVA and VOICE started. Parallel computations with the fluid-structure code SING-S are performed.

Plans for future work

In the computer program ROTMEM the description of the region with increasing wall thickness must be improved. Furthermore, additional bulge tests will be performed.

06.01.19/03A Thermal Fatigue and Thermal Shock Behavior
PNS 4160 of Reactor Components
(D. Munz, H. Stamm; IRB/ZSM)

Work performed

A loop pump and an air cooler were installed in order to improve the test bench boundary conditions. The sequence control for fully automated test operation was so modified that both test benches can be operated on the same basic current supply and continuous service (24 h day) is possible. The design of the power system allowing to superimpose a combined bending load and thermal load was completed.

To determine crack growth parameters under mechanical sinusoidal oscillation cyclic loads at different frequencies compact specimens according to ASTM-E 647, made of the material 20 MnMoNi55 (1.6310) were loaded in a servohydraulic testing machine both in air and in fully deionized water while the force was controlled.

In cooperation with Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT Finland) the fracture surfaces of the specimens subjected to thermal cycling were examined fractographically. It was possible to remove the oxide layers from the fracture surfaces without altering the characteristic structure.

Results obtained

On the compact specimens with load applied in air at room temperature and at 330°C no influence of frequency on crack velocities was found. By contrast, an increase in crack velocity with decreasing frequency of loading (20 Hz to 0.3 Hz) was observed in the water bath within the stress intensity range ΔK causing thermal cyclic crack growth.

At 20 Hz the crack velocity in water nearly agrees with that in air. The SEM pictures of the altered specimen fracture areas made evident streaks due to oscillations of the same order of magnitude as the increases in crack depth and length averaged over the total number of cycles. Moreover, the secondary microcracks running out of the plane of surface fracture which are significant for thermal shock loading were detected.

Plans for future work

- Construction of a facility allowing combined loading, thermal shock and bending tests,
- further thermal shock experiments on various materials,
- continued investigations of compact specimens taking into account the increase in loading under thermal shock,
- fractographic examinations.

06.01.21/03A Thermalhydraulic Analyses of LWR-Accidents
04A /05A (W. Baumann, H. Borgwaldt, P.Cigarini, M. Dalle-Donne,
PNS 4270-72 C. Ferrero, G. Jacobs, H.S. Mansoor, G. Willerding;INR)

Work performed

Preparation of an RELAP5 input model for the CSNI standard problem no. 18 was started by finding out the geometrical data of the LOBI-MOD2 test facility and outlining a nodalization.

Vectorization of the BODYFIT-1FE code for the CYBER 205 has been successfully continued. The remaining major activities are the vectorization of the material property functions for all gases and local improvements in some algorithms.

The final version 12.6 of the multicomponent code COMMIX-1A was received from ANL and has been implemented on both computer systems. This version has been enhanced by Bottoni's direct method of solution, which is applicable in special geometries. A preliminary version of COMMIX-1B has been implemented on the SIEMENS 7890 computer.

Recalculations of thermal shock experiments (project PNS 4160) have been continued.

LOCA-calculations with RXLAP5 for a normal KWU's PWR reactor were successfully performed. The nodalization used for the PWR and the trip-logic were modified for the ATWS-calculations. Moreover, the steady state calculation for the ATWS has been started.

The implementation of the FLUT code on the SIEMENS 7890 with the FORTRAN-77 Compler has been completed. The FEBA-experiment no. 216 has been simulated and evaluated with FLUT.

Results obtained

The methods chosen to vectorize BODYFIT-1FE have proved very effective. For a typical test case the code has been accelerated on the CYBER 205 by a factor of 5 versus its first implementation. Thus, it is now 8 times faster than run on a IBM 3033, and 2.7 times faster compared to the SIEMENS 7890.

While the structure of COMMIX has a high vectorization potential, the intensive adaptation of the code to vector computers has been postponed until the release of a final version of COMMIX-1B.

The present LOCA-blowdown results of RELAP5 show a good agreement with the corresponding results obtained with other programs (for instance LOOP7, in use at KWU). The hot spot cladding temperature remains under 850°C. The system pressure drops in time faster than the pressure calculated with LOOP7.

FLUT estimates correctly the quench time of the fuel rods in the FEBA facility. The water drag and the upper quench front velocity are overestimated.

Plans for future work

Working at CSNI standard problems no. 18, implementation of RELAP5/MOD2.

Complete optimization of the code BODYFIT-1FE for vector-computers.

Optimization of COMMIX-1B. Implementation of advanced versions of COMMIX-1B and COMMIX-2 (2-phase), as soon as released by ANL.

Application of COMMIX-1A to determine long-time thermal strains for the HDR installation. Calculation of velocity and temperature fields as a basis for determining thermal strain of the reactor vessel near a cold leg inlet nozzle.

Implementation and check up of the RELAP5 subroutines containing special CHF and heat transfer correlations as well as wall friction correlations applicable to APWR cores.

Further post-test calculations of the FEBA-experiments; flooding phase simulation in PWRs and APWRs with FLUT.

06.01.22/01A Investigation of Bubble Transport Mechanisms in Air-Water
PNS 4280 Bubbly Flows in a Vertical Test Channel (NOVA)
(G. Class, R. Meyder, P. Philipp, W. Sengpiel,
E. Stratmanns; IRE)

Work performed

In the period reported here, the two-phase test facility has been designed and set up. Electrical resistivity probes for local void and bubble velocity measurements have been developed and successfully tested in a small test rig. The computer code K-FIX has been implemented. Investigation of appropriate modeling approaches for description of the influences of turbulence and Kutta-Joukowski effects on phase transport in bubble flows has been started.

Results obtained

Up to now, the activities were concentrated mostly on design and completion of the experimental devices. Therefore, remarkable results of our experimental and theoretical efforts can not yet be given.

Plans for future work

In the second half-year of 1984, the NOVA test loop will be put into operation. Then, first experimental investigations of bubble flows with low local bubble concentrations will begin.

Modeling activities (i.e., turbulence model for bubbly flows, model for simulation of lift forces due to the Kutta-Joukowski effect) will be continued and first numerical simulations on the base of the base of the K-FIX code will be performed.

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

06.01.03/26A Joint Test Rig for Tests and Calibration of Different
PNS 4137 Methods of Two-Phase Mass Flow Measurements
(J. Reimann, H. John, W. Seeger, C. Smoglie; IRB)

Work performed

The experimental investigations of the phase redistribution were finished for the test section a) (diameter of the horizontal main pipe $D = 50$ mm, branch pipe diameter $d = 50$ mm). The results were analyzed in detail.

With the small break test section (test section c: $D = 206$ mm, $d = 6; 20$ mm), gas and liquid entrainment was investigated for the horizontal branch orientations. With test section b) ($D = 50$ mm, $d = 10$ mm) air-water experiments with a horizontal branch were performed.

Results obtained

Test section a): A correlation was developed for the horizontal branch for the phase distribution ($x_3/x_1 = f(G_3/G_1)$) which is dependent on the momentum ratio of the phases in the inlet. For the vertical upward branch, the total gas flows approximately through the branch for a wide range of the mass flux ratio; the phase redistribution is governed by flow phenomena in the branch. For the downward branch the phase redistribution is strongly dependent on the phase distribution in the inlet.

Test section c): For the horizontal branch, a model for the branch quality was given.

Test section b): The model given above also describes the results for stratified flow with test section b).

Plans for future work

Documentation of the experiments with the test sections a) and c); extrapolation of the results for critical steam-water flow. Experimental investigations in air-water and steam-water flow with the brak geometry used in the LOBI small break experiments (LOBI nozzle).

06.01.03/27A Experimental Facility for Nonsteady State Two-Phase Flows
PNS 4139 (H. John, G. Eisele, J. Reimann; IRB)

Work performed

- The tests made in 1983 the LOBI-spool piece, which was containing 2 local flow turbines, a two-beam gamma densitometer, 2 local drag bodies and a full flow turbine have been evaluated with a computer program.

The mass flow rates calculated with a model by different combinations of two signals were compared with the reference mass flow rate measured with the TMFM. Density measurement of the LOBI-densitometer was also compared with the measurement of the reference densitometer (IRB-5 beam) and with a 6 beam densitometer from LIT. The results will be published soon.

For the experiments with the ultrasonic probe (TU-Berlin) measuring the fluid level in blowdown vessels some extra blowdowns had to be made to get reliable results. Because this project has been stoned at the TU-Berlin suddenly only two blowdowns could be evaluated.

Temperature measurements for the calculation of two-phase flow velocity by cross correlation were made during seven blowdowns with a temperature probe (two thermocouples) and an electronic device developed by the TU-Berlin.

Preparing the test loop for the future "test of critical mass flow through small cracks" the new components were ordered.

Results obtained

The differences between the mass flow rates gained by the LOBI-instrumentation and the reference mass flow rate were in the range of $-10\% < F < 20\%$ related to the maximum reference value (50 kg/s) over ten blowdowns.

The full flow turbine was the most reliable instrument needing no maintenance during all blowdowns.

The drag body signals suffered under zero drifts of the strain gage system. The local flow turbines often failed by blockage of the bearings probably caused by corrosion products from the carbon steel pipe system in the fluid.

For the evaluation of the US-probe signals a model was developed. The coincidence of the calculated level values with a reference value gained from the measurement of the static pressure at the vessel was very good. The cross correlation of the temperature signals has not been finished now.

Plans for future work

- Documentation of the LOBI-tests and the test with the US probe.
- Beginning with tests for critical mass flow through small cracks.

06.01. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF
NUCLEAR POWER PLANTS

PNS-Subproject 4200 - Fuel Behavior under Accident Conditions

06.01.04 Development and Assessment of a Fuel Behavior Code System

06.01.04/32A Development and Verification of a Code-System of Fuel
35A, 36A Behavior at Loss-of-Coolant Accidents

PNS 4231.1/ (H. Borgwaldt; INR, R. Meyder; IRE, K.H. Wagner; IT,
3/9 H.J. Neitzel; IRB)

Work performed and Results obtained

SSYST-2

The IAEA in Vienna was temporarily assisted in handling the SSYST-2 version installed there, especially in coupling with the RELAP4/MOD6 code.

SSYST-3

Regarding the "German Standard Problem No. 7", the 6th REBEKA bundle experiment both GRS/PNS and IRE/KfK successfully performed blind precalculations using SSYST-3. Under subcontract of PNS an overall core analysis was performed at the GRS, Cologne, with respect to a modern PWR of German design under LOCA conditions resulting from the double-ended break of the main coolant pipe. This analysis demonstrates the possibilities of applying SSYST-3 inclusive of probabilistic methods.

SSYST-4

The development of modules for analyzing the fuel rod behavior under SFD conditions (SSYST-4 version) has started:

- After implementation of the SSYST kernel at the IKE, Stuttgart, extension of the time control was designed and put up for discussion.
- The PECLOX (Pellet Cladding Oxidation) module was developed for calculating the UO_2 -Zircaloy interaction. The module designed in cylinder coordinates calculates, by solution of the diffusion equation and the Stefan equation, the oxygen concentration profile as well as the motion of the phase interfaces for the seven phases possible in the fuel pellet and Zircaloy cladding.

As a first step in PECLOX verification a comparison was made with an analytical model proposed by Denis and Garcia (CNEA, Argentina). Within the range of validity of the analytical model, i.e., for short reaction periods when the influence of the finite radial fuel rod geometry is not greatly noticeable, a good agreement has been achieved. Another result of cooperation with Garcia was that in case of internal oxidation the growth of the (U, Zr) layer cannot be calculated using oxygen diffusion. Given the secondary importance of the (U, Zr) layer as revealed by the experiments performed by P. Hofmann, the simple empirical assumptions were made in the PECLOX model that the inner phase boundary of this layer remains at the same radial point over the total period of oxidation and that its layer thickness is always 15% of the α -Zr(O)_a + (U,Zr) layer adjoining it inside.

The post-calculations of isothermal experiments conducted by P. Hofmann on the UO₂-Zircaloy interaction revealed that the order of magnitude of growth and disappearance of the various oxidation layers are correctly reflected but that the material variables (diffusion coefficients, concentrations at the phase boundaries, metal densities) must be verified in order to obtain a better agreement. Moreover, in the experiments involving combined internal and external oxidation and performed with inductive heating and in the absence of thermal insulation, a strong influence is supposed to exist due to a radial temperature profile which grows in time on account of the enhancement of the Zr layer. If it is assumed that a radial temperature gradient develops up to 100 K a good agreement has been reached between the calculation and the experiment.

It was demonstrated by a numerical example for combined internal and external oxidation with a temperature ramp of 0.4 K/s that PECLOX is capable of calculating the oxygen concentration profiles and the growth and disappearance of the phases up to complete oxidation.

SCDAP

As a final step in implementation of the SCDP computer code the example supplied with it was successfully verified. Then introduction of those modifications started which were necessary in order to model the fuel rod simulators of the ESSI and CORA series, respectively. In detail, this meant taking into account the tungsten heater and the heat released by ohmic heat, modification of the insulator geometry from a slab geometry to a cylindrical

geometry, modeling of the radiation exchange in gaps with vapor flow, and modeling of a pure vapor flow in the coolant channel. Moreover, coupling was provided between the SCDAP plot file and the PLOTCP plot program usually employed at the IRE so that now the results can be displayed also graphically. Generation of a "restart file" and advance from a restart file were likewise tested.

The attempts of verifying the ESSI-4 experiment made evident the following problems associated with the SCDAP version used: The heat flow on the rod surface which is caused by convection and radiation to the neighbor rods is simulated by the coolant temperature and a synthetic heat transfer coefficient. This carries with it three drawbacks: first, a negative heat transfer coefficient occurs in case of different flow directions of a high radiation heat flow and a low convection heat flow; second, the surface temperature cannot exceed above the coolant temperature; and third, the heat balance is not complied with if the temperature difference driving the heat flow undergoes noticeable variations within a time step. This problem was solved by transferring at the interfaces heat flows instead of a heat transfer coefficient and a temperature. This modification was rounded off by providing a time step automated system which keeps within tolerable limits the temperature changes within a step. Problems were encountered in the definition of accepted thermal conductivities of the insulation material.

Analyses Accompanying the SFD Experiments

Using the STATI-4 heat transport code calculations were made on the ESSI-4 experiment with a number of assumptions made. These calculations show both the influence exerted by special physical effects and by ESSI-4 specific boundary conditions. Post-calculations of the ESSI-4 experiment performed at the IKE Stuttgart have shown that parameters essentially determinant of the test sequence can be recorded but inadequately. Therefore, it was agreed to perform an experiment in which the initial and boundary as well as side conditions are recorded in such a way that in the post-calculations they must be covered by the least possible number of assumptions.

Plans for future work

- Integration of relevant modules in SSYST-4.
- Further verification of PECLOX.
- On the basis of experiments already performed of the ESSI/ESBU series the attempt will be made to determine more precisely the material characteristics which are important for the analysis using SSYST and SCDAP.
- Documentation in a primary report of the STATI-4 models and of the calculations made on the ESSI-4 experiment.

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

06.01.09/07A Investigations of the Interaction between Ballooning
PNS 4238 Zircaloy Claddings and the Emergency Core Cooling
(REBEKA)
(K. Wiehr, F. Erbacher, He. Schmidt; IRB)

Work performed

Single rod experiments performed on partly recrystallized Zircaloy-4-claddings.

Results obtained

Partly recrystallized Zircaloy-4-claddings show a higher stability of the dimensions at higher burn up with respect to creep and growth compared to stress relieved Zry-4-claddings. Therefore single rod experiments with recrystallized Zry-4-claddings have been performed under identical conditions compared to the transient single rod experiments with stress relieved Zry-4-claddings.

First results with a heat-up ramp of 1 K/s under stagnant steam (nearly adiabatic conditions) at constant internal overpressures of 40, 60, 80 and 100 bar showed a comparable scatterband of burst strains. In a-phase the highest burst strains showed a negligible higher value than the upper envelope of burst strains calculated with the REBEKA-deformation model for 1 K/s.

Further experiments on partly recrystallized Zry-4-claddings are necessary. These preliminary results suggest that the data gained from the REBEKA-program on stress relieved Zry-4-claddings are valid also for recr-stallized Zry-4-claddings.

Plans for future work

- Single rod experiments on partly recrystallized PWR-claddings.
- 7x7 bundle experiment with flooding with unidirectional flow during the refill- and reflood phases of a LOCA.

06.01.20/02A Fuel Rod Simulator Effects in Flooding Experiments

PNS 4260 (SEFLEX)

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

Work performed

The test series I (Helium in the gap between cladding and pellet) as well as II (Argon in the gap) have been evaluated and documented in interim reports. The test series III and IV (90% blockage at 3x3 rods using preballooned claddings) are being prepared. Complementing single rod tests (comparison Zircaloy/Inconel) are being continued.

Results obtained

Fuel rods are simulated better by simulators with gas gap between internal heat source and cladding (Zircaloy) than by "gapless" heater rods (with stainless steel claddings) usually used for thermal-hydraulic experiments. The SEFLEX results obtained up to now confirm quantitatively that bundles of rods with gap (REBEKA-rods) are being quenched and reflooded earlier than those consisting of gapless rods (FEBA). With increasing heat resistance in the gap between cladding and pellet reflooding and rewetting are accelerated. Increased removal of the stored heat leads to increased precursory cooling of the unwetted portion of the bundle, during film boiling, especially. The peak cladding temperatures are reduced by about 50 K, the quench times by about 30% for Helium filling (fresh fuel rods) of the gap representing the minimum heat resistance of the gap compared with gapless fuel rod simulators. For Argon filling (simulating spent fuel or increased gap width) of the gap the peak cladding temperatures are reduced by about 80 K, and, the quench times by about 40%. Local cooling enhancement, e.g. at grid spacers, effect more pronounced cladding temperatures of fuel rod simulators with gap as well. The quantitative analysis of the behavior of different fuel rod simulators during reflood experiments allows direct transfer to the behavior of nuclear fuel rods. Besides that result the accuracy of reflood prediction computer codes can be verified and improved with respect to the thermal-hydraulic behavior of fuel rods using the SEFLEX results.

Plans for future work

Conductance and evaluation of test series III and IV.

06.01.16 Investigations on Severe Core Damage

06.01.16/23A Oxidation Behavior of Zircaloy Cladding

PNS 4254 (S. Leistikow, H.v. Berg, G. Schanz, H. Uetsuka; IMF II)

Work performed

Parameter studies towards the influence of reduced steam supply rate and of hydrogen addition to steam on the oxidation kinetics of Zircaloy-4:

Experimental investigations of the oxidation behavior and the hydrogen uptake of Zircaloy-4 in steam of extremely reduced flow velocities at 1000 and 1300°C. Similar investigations under mixed atmospheres of steam, hydrogen, and argon.

Results obtained

While first investigations at 1000 and 1100°C had been influenced by occasional penetration of some air into the steam loop, the following tests have corroborated the earlier result, that deviations from the normal oxidation behavior are only observed below drastically reduced steam flow velocities. At 1000°C the lack of available steam leads to reduced oxidation reaction turnover and an enhanced hydrogen uptake. At 1300°C and within a critical range of reduced steam supply rate enhanced oxidation and hydrogen uptake are observed, whereas further reduction of steam supply leads over to abruptly reducing reaction turnover. This test series is completed, its evaluation and documentation are in progress.

Investigations of the reaction in mixed atmospheres of steam, hydrogen, and argon of various compositions have been continued. The test series are completed at 800°C and presently being extended to 900 and 1000°C. The critical steam supply, below which lack of steam ("steam starvation") occurs, and a tendency towards linear kinetics is observed, is not sufficiently high enough to allow the formation of oxide scales - acting as an effective barrier against the hydrogen uptake. Enhanced hydrogen content of the atmosphere increases the hydrogen uptake, which is finally limited by the solubility of the material. The "hydrogen blanketing effect" described in publications cannot be identified at the temperature range covered up to now.

Plans for future work

Continued investigations at 900 and 1000°C. Metallographic evaluation of selected specimens.

06.01.16/22A Mechanical and Chemical Behavior of Zry-4 Cladding
PNS 4253 and UO_2 Fuel during Severe Core Damage Transients
(P. Hofmann, G. Gausmann, H. Metzger, E. Kurz, E. Nold; IMF I)

Work performed

- Isothermal and temperature transient UO_2 /Zry reaction experiments with about 100 mm long fuel rod segments, performed in argon and in an (Ar + 25 vol.% oxygen) gas mixture between 1000°C and the melting point of Zircaloy-4 (about 1760°C).
- Isothermal Zry/oxygen reaction experiments under oxidizing ambient conditions, performed in a tubular furnace in order to determine the reaction kinetics.
- Calibration experiments performed in the LAVA melting facility.

Results obtained

- After completion and documentation of the isothermal and temperature transient UO_2 /Zircaloy reaction experiments involving short LWR fuel rod segments under inert test conditions /1/ the isothermal and temperature transient experiments were continued under oxidizing test conditions. The oxidation medium is an (Ar + 25 vol.% O_2) mixture, the pressure is 40 bar. The annealing temperatures varied between 1000 and 1500°C , the annealing times between 3 and 150 minutes. By internal oxygen uptake of the Zircaloy cladding due to the reaction with the UO_2 and by external oxygen uptake due to reactions with the oxygen gas, stabilized $\alpha\text{-Zr(O)}$ phases are produced which grow into the cladding tube at approximately the same rate. Moreover, on account of the higher oxygen potential of the gas mixture compared to UO_2 , a ZrO_2 layer is formed on the external cladding surface. If the $\alpha\text{-Zr(O)}$ phases from inside and outside combine within the cladding tube, the UO_2 /Zry interactions come to an end because the external oxidation potential is dominating. Finally, the whole Zry cladding tube is transformed into ZrO_2 and the (U, Zr) alloy contained in it is transformed into $(\text{U,Zr})\text{O}_2$.
- In parallel to the experiments described before the oxidation of Zry tube sections was investigated in an (Ar + 25 vol.% O_2) gas mixture in a tubular furnace. These experiments were made under isothermal conditions and with exact temperature measurement using thermocouples. The Thicknesses of the $\alpha\text{-Zr(O)}$ and ZrO_2 reaction layers serve as reference values of the UO_2 /Zry interaction experiments in the MONA test facility. A comparison of the test

results shows that the pyrometer measured temperatures in the MONA test facilities are too low by about 50-60°C. The necessary corrections of the test results have still to be made.

- The LAVA induction melting facility was put into operation and first calibration experiments were performed. The temperature in the experiment was measured by a pyrometer. The pyrometer measured temperatures were compared with thermocouple measurements. For this purpose, the thermocouples had been placed into the crucible wall and into the crucible bottom. The crucible consists of UO₂ and accomodates the liquid Zry melt.

Plans for future work

- Temperature transient UO₂/Zry reaction experiments under oxidizing test conditions involving very low heating rates.
- Modeling of the UO₂/Zry and Zry/oxygen interactions by the PECLOX code.
- Determination of the rate of dissolution of solid UO₂ by liquid Zry in the LAVA melting apparatus.
- Fabrication of UO₂/Zry reference melting specimens of defined initial compositions with a view to quantifying the melting experiments.

Literature

- /1/ P. Hofmann, D. Kerwin-Peck;
UO₂/Zry-4 chemical interaction from 1000 to 1700°C under isothermal and transient temperature conditions,
Journal of Nuclear Materials, 124 (1984) 80-119.

06.01.16/20A Out-of-pile Bundle Experiments on Severe Fuel Damage
/21A (CORA)

PNS 4251.1/2 (S. Hagen, A. Grünhagen, R. Heine, H. Malauschek,
K.P. Wallenfels, IT/CP; B. Buescher, EG&G, H. Hain,
Th. Vollmer; IT/PC)

Work performed

Construction of the CORA-Facility:

After setting up the CORA containment in the former FR2 reactor hall, we have started the installation of the CORA components. These components include, for instance, tubing for gas and water, power lines for the bundle heating, transformers and rectifiers (3 x 6000 A, 25 V=), and measurement instrumentation. Pheripherals such as the computer for the data evaluation system were set up, and work on the necessary software was started.

Pretests in the NIELS-Facility:

The investigation of the escalation of temperature due to the Zircaloy-steam reaction was continued. To understand the influence of the hydrogen generated in this reaction, tests in Ar/steam, Ar/O₂ and Ar were performed. The amount of oxygen was the same in the two first tests and the electric power profile was equal in all three tests. In the Argon/Oxygen test no H₂ is developed as in the Ar/steam test. The experiment in pure Argon should allow a better determination of heat losses. For the determination of hydrogen, a quadrupole mass spectrometer was installed.

Results obtained

Comparison of the tests in Ar/steam and Ar/O₂ shows a much steeper escalation in oxygen. During the steep temperature rise in steam, a solid oxide envelope forms on the fuel rod simulator.

Also, during the escalation in steam, a large increase in the production of H₂ was observed. In oxygen, the temperature escalation was so fast that most of the Zircaloy cladding was not yet oxidized when the melting temperature was reached. The liquid Zrcaloy dissolved most of the UO₂-pellet and the oxide layer, developed during heat-up, must have been dissolved or swept away the melt. In the middle hot region, only the tungsten heater was left.

There are two possible reasons for the faster escalation in oxygen:

1. The larger heat of reaction, 2. The absence of hydrogen.

By means of accurate calculations of the temperature behavior considering each of the different effects, we are trying to separate the contribution from each effect.

Plans for future work

For the investigation of influence of the control rod materials on the damage behavior, bundle experiments with AgInCd absorber rods in Zircaloy and stainless steel guide tubes are planned. The distribution of absorber rod material within the bundle should also give information on possible influences of these materials on the aerosol behavior.

06.01.16/19A Long Term Coolability of Severely Damaged Cores (COLD)
PNS 4250 (G. Hofmann, H. Schneider; IRB)

Work performed

A test rig was constructed that allows to perform dryout experiments in particle beds of 60 mm diameter and up to 1000 mm depth. In addition to the usual temperature measurement the axial pressure profile in the bed can be measured stepwise prior to and during the dryout transient. The hydraulic boundary conditions for the replenishment with coolant can be varied; especially the driving head for bottom inlet flow is adjustable.

Results obtained

The new test rig is operable and the first tests for determining the heat losses were performed. The saturation measurement in the bed was postponed since a new measurement technique based on the changes of the dielectric properties in the bed is not yet sufficiently independent from liquid level changes outside the bed though it proved to be very sensitive to saturation changes in the bed.

Plans for future work

Performance and evaluation of dryout experiments on the influence of the bed depth on the dryout heat flux for top-fed situations with observation of the dryout transient and measurement of the dryout location.

- 06.01.17 Investigations on the Accident Behavior of Advanced
 Pressurized Water Reactor (FDWR)
- 06.01.17/16A Flooding and Deformation Behavior of Closely Packed
PNS 4240 Hexagonal Fuel Rod Bundles
 (F. Erbacher, W. Just, H.J. Neitzel, P. Schäffner,
 H. Schmidt, E. Vogel, K. Wiehr; IRB)

Work performed

- Fabrication of electrically heated fuel rod simulators for 61-rod bundle
- Development of electrically heated fuel rod simulators for DNB tests in Freon
- Single rod burst tests on SS-cladding tubes.

Results obtained

The first test series comprising some 200 burst tests on shortened single rods with SS-claddings has been completed. Smooth claddings and those with helical fins (material 1.4970, 10.1x0.4 mm, 6 helical fins, fin height 0.3 mm) have been investigated in steam at constant internal pressure within the tube and constant heating rate of about 5 K/s. The internal pressure was varied as a parameter in the range of 20 to 140 bar.

The burst temperatures of SS-claddings are higher by about 200 K compared to Zircaloy claddings (10.75 x 0.725 mm). Smooth SS-cladding tubes and those with helical fins show identical burst temperatures.

The circumferential burst strains of SS-cladding tubes with helical fins are substantially lower compared to those of smooth SS-claddings. The maximum circumferential burst strains occur at a burst temperature of approx. 1100°C, they amount to about 75% for smooth claddings and are limited to about 20% for claddings with helical fins.

Plans for future work

- Fabrication of fuel rod simulators.
- Assembly and instrumentation of the 61-rod test bundle.
- Bundle test with flooding on a 61-rod bundle.
- Single rod burst tests on smooth SS-cladding tubes and those with helical fins.
- Development and fabrication of fuel rod simulators for DNB tests in Freon at GKSS (TUBS).

06.01.17/17A 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

Short-term creep rupture tests with 1.4970 tube specimens containing fission products, performed between 800 and 1200°C. Determination of the influence exerted by different oxygen potentials on the reaction behavior.

Results obtained

The major results of the experiments involving iodine, selenium, tellurium and cesium will be reported below:

- Iodine causes at concentrations above 100 mg/cm³ only a marked reduction in the time to failure but a less pronounced reduction in the burst strain. Lower concentrations extend the time to failure. High oxygen potentials such as, e.g., the oxygen potentials of MoO₂ or NiO₂, greatly intensify the influence of lower concentrations (1 mg/cm³) with an oxidation accelerated by iodine taking place. The time to failure and burst strain of the steel tube specimens clearly decrease.
- Selenium has effects on time to failure and burst strain of tube specimens similar to those of iodine (100 mg/cm³). Also in this case even minor concentrations in combination with an oxygen potential cause a clear reduction in time to failure and burst strain.
- Tellurium in direct contact with the steel cladding tube has catastrophic effects on the time to failure and burst strain. The possibly underlying mechanism must be attributed to the field of liquid-metal embrittlement. Preliminary tests which allow to attack via the gas phase only have so far yielded useful results at elevated temperatures only (> 1000°C).
- As metallic cesium with its known low oxygen content actually does not attack Cr-Ni steels, not even at elevated temperatures, the Cs₂O and Cs₂Te compounds were selected in order to determine the potential influence on the time to failure and burst strain. Only the interplay of the compounds having different oxygen potentials shows pronounced effects on the time to failure and burst strain of the tube specimens. The influence increases with growing oxygen potential.

Plans for future work

- Continuation of the 1.4970 creep rupture tests with iodine, selenium, tellurium and cesium and extension of these tests to longer service lives.
- Burst experiments with 1.4970 tube specimens containing different metal/metal telluride mixtures.

06.01.17/19A Investigation of the Mechanical Behavior of Cladding
PNS 4244 (C. Petersen, H. Schneider; IMF-II)

Work performed

- Tensile tests on rod samples from austenite, W.Nr. 1.4970 and tempered martensitic ferrite, W.Nr. 1.4914 respectively had been performed in a temperature range between 600°C and 1000°C in steps of 50°C at a strain rate of $3 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ in air atmosphere.
- The high vacuum, high temperature test equipment for creep tests started operation. After a short pretestphase the planned creep tests to receive a data base of the above materials will be worked out in the second half of '84.

Results obtained

- The up to now available values of flow stress and ultimate tensile stress from an austenite (W.Nr. 1.4970) under the same thermomechanical pretreatment (1.) Solution annealing: 1100°C/30 min, argon atmosphere, air cooling, 2.) cold worked: 15% and 3.) annealing: 800°C/2 h, argon atmosphere, air cooling) but another heat could be confirmed with the new own test data. The behavior of uniform strain and total strain was found to be different. Mainly in the temperature range between 600°C and 800°C a faster decrease in uniform strain was observed, than by another heat which was tested before under the framework of PSB (Fast Breeder Project). The minimum in uniform strain between 800°C and 900°C could either be confirmed. At 1000°C much lower values of uniform strain ($\sim 5\%$) could be found than those $> 15\%$ of the reference heat. Also the total strain data of the tested heat remained until 900°C on a lower strain level of 10-12% and increased above 950°C up to values of 50%. Otherwise behaved the total strain data of the reference heat which above 650°C steadily increased up to strain of 75% at 1000°C. An explanation of this difference will be possible after metallographic

examination of the tested samples.

- Experimental data of the tempered martensitic ferrite (W.Nr. 1.4914, 1.) hardening: 1075°C/30 min, vacuum, inert gas quenched and 2.) tempering: 700°C/2 h, vacuum, inert gas cooled) had been available from PSB-project up to 800°C. The values of flow stress and ultimate tensile stress could be confirmed by our experimental data. Above 825°C the body-centered cubic α -phase transform into the face-centered cubic γ -phase (above 905°C this phase transformation is terminated). The rapid decrease of flow stress and ultimate tensile stress with increasing temperature is stopped by reaching the two phase region. Even a slight increase of both stresses in the two phase region occur. Above 900°C until 1000°C the stresses are close to these received from austenite 1.4970.

Values of uniform strain increased with temperature up to 5% at the end of the α -phase region. A similar tendency could be shown for total strain on a higher strain level of 80%. In the two phase region strain is drastically reduced with increasing temperature. At 1000°C both strains of ferrite finally reach similar values as the austenite.

Plans for future work

- Continuation of uniaxial tensile and creep tests up to temperatures of 1200°C
- Study of the precipitation behavior in this temperature range
- Determination of constants from the data base to install these into failure models for predicting material behavior.

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

06.01.11/29A Investigations on the Interactions of Fission Products and
PNS 4311 Aerosols in LWR Containments
(H. Bunz, M. Koyro, W. Schöck; LAF I)

Work performed

The instrumentation of the model containment facility for the DEMONA tests was completed. The tests in dry atmosphere were carried out.

The pre test calculations for the DEMONA test in a dry atmosphere were carried out. The aerosol generation rate being quite uncertain in advance had parametrically to be varied. After the completion of the experiments the post test calculations were performed and compared to the experimental results as well as to the pre test calculations.

Results obtained

The aerosol measurement instrumentation was successfully operated during the dry tests, with the exception of the droplet spectrometer and the droplet mass concentration calorimeter. Problems with the aerosol generators led to a series of attempts to run the dry aerosol test. Two of these were successful in the sense that the aims of the dry test were reached. One test with iron oxide aerosol showed excellent agreement with post test NAUA calculations using the measured source particle size distribution. The other test was conducted with tin oxide aerosol reaching a peak concentration of 5 g/m^3 . This test showed a good agreement also with the pre test prediction based on an aerosol generation rate approximating the rate obtained in the experiment as far as possible, the post test calculation agrees with the measured data within the measurement errors.

Plans for future work

The model containment will be instrumented for the wet tests. After resolving the aerosol generator problems the wet tests will be conducted. The pre test calculations for the experiment in a wet atmosphere will be performed after the result of the thermodynamic calculations have been received.

06.01.11/30A 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 and pretests were characterized by chemical and phase analyses.

Results obtained

The thermite mixture, the fireproof casing of the pouring spout and the melted concrete of the crucible were characterized, yielding reference data of the starting materials and for the chemical reactions. The analyses of the specimens from the immersion probe facility indicated for the oxide melt increasing concentrations of concrete constituents (CaO , SiO_2) and of oxidation products of the iron melt (iron oxides), and decreasing concentrations of Al_2O_3 and MgO (initial thermite melt and casing material), with increasing duration of the test. These results demonstrated the usefulness of the immersion probe sampling for the accompanying investigation of the reaction and intermixture kinetics. The amount of metallic melt droplets trapped in the oxide melt shows downward tendency with increasing duration of test.

Plans for future work

- Final experimental investigations on the interaction between steel melt and high-density concrete.
- Continuing examinations of BETA melt samples.

06.01.11/31A Experiments on Fission and Activation Product Release
PNS 4315 during Core Meltdown
(H. Albrecht, K. Nolte, K.H. Simon, H. Wild; IRCH)

Work performed

- a) Investigations on the AgI formation in the gas phase.
- b) Experiments on the transport and deposition behavior of I₂ in the SASCHA facility.
- c) Tests on the precipitation of I and Cs during steam condensation.

Results obtained

- a) When the aerosol precipitates were subjected to solubility tests in water and sodium thiosulphate (Na₂S₂O₃), strong indications for the AgI formation in the gas phase were found. The occurrence of this reaction was confirmed also by applying the XPS method (Auger Electron Spectroscopy) for the direct detection of AgI molecules.
- b) The integral fraction of I being present in the form of AgI was found to range from 2 to 33%. It is concluded that high fractions of AgI can be expected only if the time functions of the Ag and I evaporation are sufficiently overlapping. This, in turn, depends on various parameters such as initial chemical form of I, composition of the atmosphere, heatup characteristics and, of course, initial concentration of both elements.
- c) In those test phases where the mass concentration of Ag in the gas phase was higher than the concentration of I (at $\geq 1800^{\circ}\text{C}$), between 15 and 80% of the Iodine was found to react with silver.
- d) The results on the transport and deposition behavior of I₂ are mainly needed for the correct interpretation of the gaseous iodine fractions in the SASCHA tests:
 - In atmospheres of Ar + 5% H₂ the interaction of I₂ with all components of the aerosol transport system was small (less than 5% retention). In addition, the iodine precipitation on the fiberglass filters and on the sintermetall-frits supporting the filters was less than 1%.

- e) In a steam atmosphere, however, transportation losses in the range of 20 to 40% were found which were mainly due to the iodine retention on stainless steel surfaces.
- f) As similar results were obtained from investigations with HI it is concluded that the amount of iodine arriving at the iodine filter corresponds within a factor of max. 2 to the total amount of gaseous iodine in the aerosol system.
- g) When a mixture of gaseous I_2 , steam, and argon was transported through a cooling pipe of $15^{\circ}C$, 80% of the iodine was precipitated on the glass surface of the cooler while - due to the low water solubility of I_2 - only 5% was contained in the steam condensate.
- h) In an analogous test with HI, however, as much as 92% of the iodine was found in the condensate and only 4% on the glass surface.
- i) During evaporation of a solution containing 2.5 g of Cs as Cs_2CO_3 and CsI, 14 g of H_3BO_3 and 1 ltr of water (pH6) an integral amount of 0.06% of the Cs inventory was removed together with the generated steam. Nearly all of this Cs was found in the steam condensate and a small amount of $17 \mu g = 7 \cdot 10^{-4}\%$ of the initial Cs was analyzed in the remaining aerosol.

Plans for future work

Shut-down of the SASCHA facility; preparation of a final report summarizing the experimental procedure and the most relevant results.

06.01.12 . Investigation on the Interaction of Steel Melts and Concrete

06.01.12/30A 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

After completion of the BETA-facility, 3 tests for the reliability were performed. About 300 kg of iron melt were poured from the reaction vessel into the test crucible. The first test was done without induction heating, the second with induction heating for 2600 sec at 0.4 MW and the third with induction heating for 800 sec at 1.7 MW. For testing the influence of the induction field two additional tests with pulsed power input were done. The first test was done with 20 kg and the second with 200 kg iron melt within the crucible. The mean power input for these tests was 100 and 400 KW respectively.

Results obtained

The three tests demonstrated the reliability of the BETA-facility. In particular, the reliability of the measuring methods used to determine melt front propagation in the strong induction fields was verified. The data evaluation system worked successfully. The first results of thermocouple measurements and crucible cross sectioning showed much less penetration of the melt front in radial direction compared to the axial direction. As expected the velocity of axial penetration increased with the power input and the resulting higher temperature. The test with pulsed power input showed no specific influence of the induction field on the melt front penetration.

Plans for future work

The tests are continuing according to the test matrix.

06.01.12/31A Experiments on the Interaction between Steel Melts
and Concrete
PNS 4323

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

Work performed and Results obtained

The final acceptance tests of the BETA facility took place on April 7, 1984; it is now available for experimental operation. The performance of the facility was evidenced in three melting tests. In test A1 carried out on February 3, 1984, 600 kg thermite mixture were ignited, 300 kg metal melt poured off into the concrete crucible. Evidence could be produced of the performance of the thermite pouring facility and the flue gas suction system. The induction power was connected by way of trial for a few seconds only. In test 2A performed on March 17, 1984 likewise 600 kg thermite were ignited and 300 kg metal poured off. An induced melting power of 400 kW at the maximum was set. This power decreased to approx. 250 kW after 43 minutes despite constant setting of the inductor voltage until the end of testing (disconnection of current supply to the facility). It was possible to raise the inductor power temporarily to a maximum value of 6625 kW. By this, the manufacturer produced evidence of an induced melting power of 1880 kW. In test A3 conducted on April 7, 1984, 600 kg thermite were ignited and 300 kg metal melt and 150 kg oxide melt poured off. While the inductor voltage was kept constant in inductor power of 6302 kW at the maximum could be fed. 1680 to 1690 kW of this power were coupled into the molten pool. The power steadily decreased until disconnection. Disconnection was automatic by response of the crucible rupture monitoring system provided in the crucible bottom.

Contrary to expectations, the propagation of the melt front in the crucible cavities is much greater in the vertical than in the horizontal direction.

The vertical depth of penetration of the melting front into the concrete was 45 mm in A1, 454 mm in A2, and 562 mm in A3; the horizontal depth of penetration was 39 mm in A1, 103 mm in A2, and 75 mm in A3. The crucible lining resisted these loads without problem.

Despite intense induction fields, the MSR instruments on the whole performed satisfactorily. Initially, problems were encountered with the temperature measurement by immersion probes. After demonstration of the performance the immersion probe system underwent final acceptance testing.

06.01.12/32A Hydrodynamical and Thermal Models for the Interaction
PNS 4331 of a Core Melt with Concrete
(M. Reimann, S. Stiefel; IRB)

Work performed

- Pre test and post test calculations of the BETA experiments.
- Implementation of a simplified film model in the WECHSL code.
- Modifications of the heat transfer modelling in WECHSL.
- Implementation of the containment codes
 - . CONDRU (GRS)
 - . COCMEL (KWU)
- Programming work for the iodine model.

Results obtained

For shortening the CPU time of WECHSL, the film model for the description of the heat transfer from the core melt to the concrete has been approximated by empirical functions. By this measure, the CPU time of a WECHSL run when applied for the core melt accident can be shortened by approximately 50%.

Recently, the experimental operation of the test facility BETA was started. After three final technical tests, where two of them have been performed with sustained heating, the first test BETA V1.2 of the test matrix of the BETA program has been carried out. All tests with sustained heating showed a preferable vertical penetration of the melt. In order to be sure this behavior is not caused by the inductive heating, the test BETA V1.2 was executed with pulsed heating. Each heating phase of 60 to 100 sec was followed by a phase with switched-off heating of approximately the double period of time. Also this test showed the above mentioned behavior.

Therefore, first attempts have been made to modify the modelling of the bottom heat transfer with the aim to obtain a better agreement with the results of the sustained heating tests, where the satisfying results of the preliminary tests without sustained heating should not be altered substantially.

Plans for future work

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

06.01.12/33A Development of Models for the Analytical Determination of
PNS 4334 Core Meltdown Accidents
 (H. Alsmeyer, K. Dres; IRB)

Work performed

- Test and starting of BETA operation.
- Execution of the first BETA experiments.
- Evaluation and assessment of BETA experiments.
- Spezification of future BETA experiments.

Results obtained

Three tests for operation of the BETA facility have been carried out which are similar to the condition during the planned BETA experiments. Therefore, using the principle measurement techniques, first results of melt concrete interaction under BETA typical conditions have been obtained.

During the operation tests, the following techniques have been applied:

1. Generation and pouring of a thermite melt consisting of 300 kg of steel and 300 kg of oxide.
2. Heating of the melt in the concrete crucible with 400 kW net power in the melt.
3. Heating of the melt in the concrete crucible with 1700 kW net power in the melt.

In three tests, the reliable operation of the facility has been approved. In particular it was demonstrated that the maximum heating power of 1.7 MW can be coupled to the melt and that also under extreme conditions the facility can be operated safely.

To prove the validity of the BETA results in the first tests, a pulsed heating of the melt in the concrete crucible was performed. From this it could be concluded that the electromagnetic Lorentz forces which are present due to the induction heating, have negligible influence on melt front propagation as was investigated in earlier experiments. Furthermore, it was observed that the entrainment of metallic melt into the oxidic melt is due to the high gas release at very high melt temperatures.

The results of the BETA experiment carried out so far require an improved modelling of melt concrete interaction. A different description of heat transfer at the bottom of the crucible is taken into consideration.

Future experiments in BETA were specified. The number of the planned experiments and their objectives remain unchanged.

Planf for future work

Execution and evaluation of BETA experiments in the high temperature melt phase of a core meltdwon accident for code verification.

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

06.01.14/19A 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

Preparations for the operation of special iodine species samplers in different exhaust air streams of a boiling water reactor (BWR 5):
purge air, reactor building exhaust, turbine building exhaust, stack exhaust;
challenge of different activated carbons with the vessel exhaust air of BWR 5.

Results obtained

Evaluation of the investigations in progress.

Plans for future work

operation of special iodine species samplers and activated carbon beds in the exhaust air streams mentioned over an extended period of time (maximum 1 year).

06.01.14/20A 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

A comparison of data accumulated in R&D projects previously performed on the filter challenges to be expected in a reactor accident with the experimental results obtained so far for temperature, humidity and loading shows that accident filter systems can be subjected to higher loading than presently expected. This is the reason why further calculations on filter loadability have been suspended for the time being.

The investigations into metal fiber filters were continued. The tests performed under the impact of vapor show approximately the same removal behavior as with exposure to air. Long-term tests in vapor and vapor/air mixtures did not reveal any corrosion attacks on the fibers after several months of permanent exposure. Consequently, it should be possible to use these filters in an atmosphere as prevailing under accident conditions. First test series were performed in order to determine the mass storage capability of roughing filters and cleaning tests were carried out.

Results obtained

For a fiber loading of only 1.5 kg/m^2 and vapor applied at about 30 cm/s face velocity decontamination factors between 1000 and 4900 were found; the decontamination factor shows the tendency to increase with rising vapor temperature. The values take the same order of magnitude as in air. The loading tests on roughing filters yielded mass storage capacities between 1.5 and about 10 kg/m^2 depending on the fiber diameter, for removal efficiencies of 75% to > 99% and a distribution of aerosol sizes between 1 and 10 μm .

Plans for future work

The investigations into metal fiber filters will be carried on both by vapor experiments and loading tests. It is intended to perform removal tests for specific particle sizes with a view to optimizing the roughing filters.

06.01.14/21A Investigations into the Behavior of HEPA Filters under High
PNS 4416 Temperature, High Air Humidity and Elevated Differential Pressure
(V. Rüdinger, Th. Arnitz, U. Ensinger, C.I. Ricketts,
U. Geckle; LAF II)

Work performed

The newly developed removal efficiency test method with the plasma aerosol was used for testing a variety of HEPA filters under ambient conditions of temperature and humidity. The results obtained were checked against those of three standard procedures using DOP, NaCl and Uranine as test aerosols. The tensile strengths of some new filter media were measured to gain a better understanding of the filter failure mechanisms und high air velocity.

The studies into the response of HEPA filters to moist air were continued. Among others, the influence of the exposure time and the dust loading were investigated. Furthermore the protective action of a highly efficient mist eliminator was evaluated. For these tests the experimental instrumentation was further improved by addition of a motorized SLR camera, an instrument for the determination of fog wetness, and a 8 mm motion picture camera. The calibration rig for the IR-hygrometer was put into operation.

The assembly of the gas dynamic filter-test facility BORA was accomplished. First successful test runs were performed. To increase the data reduction capability, plans for a new system with a fast data logger and a personal computer were drafted. In addition to the calculations with TVENT the more complex computer code EVENT was modified and the transient flow characteristics of the facility BORA were modelled.

Results obtained

The new removal efficiency test method allows decontamination factors (DF) as high as 10^4 to be reliably determined. This is sufficient for tests under accident conditions. The DF's measured with $0.6 \mu\text{m}$ DOP-aerosol and uranine were by factors of 2.2 and 1.5 higher, when compared with the plasma method.

It was confirmed that the media tensile strength is considerably reduced due to folding.

The humidity tests demonstrated that HEPA filters loaded with room-air dust, fail after extended exposure to air with only 100% rel. humidity. Neither the time of exposure nor the amount of dust deposited showed a significant influence on the level of failure pressure. Rather, the amount of dust deposited, influence the extent to which the differential pressure increases across the filter. The highly efficient droplet separator reduced the differential pressure under fog conditions. However, it was not able to prevent failure of the loaded filter units.

With the new test facility BORA the first test program was successfully accomplished. The test runs with the modified program EVENT were also successful.

Plans for future work

The newly developed efficiency test method will be used for investigations at high temperatures. Within the framework of two more test series the investigations into the filter behavior under high humidities will be accomplished. After the conclusion of the facility BORA, investigations into the flow resistance characteristics of air cleaning system components and structural tests of HEPA filters are planned.

06.02. SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION OF REPROCESSING PLANTS

PNS-Subproject 4500 - Safety of the Reprocessing

- 06.02.01 Incident Analysis for the Large Reprocessing Plant
- 06.02.01/12A Incident Analysis for the Offgas Cleaning System of
PNS 4513 the Large Reprocessing Plant
(K. Nagel; IDT)

Work performed

- Calculating deterministically the release of iodine and aerosols under different conditions using the PASSAT facility.
- On the basis of diffusion the adsorption of water, krypton and xenon on special adsorber beds have been described.
- Theory to calculate the amount of iodine in PASSAT under the following failures:
 - a) two causes of failures (heater 1 failed before heater 2, heater 2 failed before heater 1)
 - b) see a) and failure of the power-light system.
- Stochastic model for calculating the released amount of iodine using an arbitrary sequence of failures and several causes of failure.
- A procedure for the numerical inversion of a two-dimensional Laplace-Stieltjes transformed using number-theoretical methods.

Results obtained

- The released amount of aerosols are very low under normal conditions. The release of iodine in the most serious accident depends on the used dissolution process. The release is nearly a factor of 10 higher using dosage of acid compared to batchwise dissolution.

- The failure of the power-light system gives a release of iodine which is two to three orders of magnitude higher than in all other failures.

Plans for future work

- Additional investigations in the adsorption of water, krypton and xenon.
- The investigations with the stochastic models to calculate released amounts of iodine were terminated.

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

06.03.01/11A Investigation of the Physical and Chemical Environmental
PNS 4812 Behavior of Radionuclides Characterized by a Particular
Biological Effectiveness: Pu, Am, Cm and Np
(H. Schüttelkopf, M. Pimpl, W. Schmidt, G. Hefner, J. Hiller,
Th. Liese, Th. Sollich; HS)

Work performed

- The development of an analytical technique for determination of Np in parallel to Pu, Am and Cm was completed.
- The plutonium emissions with the gaseous and liquid effluents from the Karlsruhe Reprocessing Plant (WAK) were measured every month.
- Experiments on the increase of Pu, Am and Cm mobility in soil cylinders were continued.
- Processing of transfer factors measured in the greenhouse was carried on.
- Work on conventional soil analytics was continued.

Results obtained

- With Np-239 as the tracer an analytical method was worked out which allows to determine quickly the presence of Np in material of the environment in parallel to Pu, Am and Cm.
- In a total of 20 cores of soil of 80 cm length and 30 cm diameter collected at nine sites with different types of soil in an undisturbed stratification the salts entrained every month with the percolation water were determined. With the help of HTO the rate of percolation of the water poured onto the cores of soil was measured before the latter were contaminated with Np, Pu, Am, Cm and Tc 4 cm below the surface level. By irrigation with DTPA solution actinides were supposed to get shifted to deeper soil layers within the next months.

- On three soils - one chalk soil, one disintegrated granite, and one sand soil - measurements of the soil to plant transfer were continued. The second period of vegetation from November 1983 until March 1984 ended with harvesting, and seeding for the third period of vegetation was done in April 1984. Besides potatoes, corn and wheat other useful plants are grown in newly prepared pots and lysimeters. Those parts of the harvested plants of the first period of vegetation which are suited for consumption were analyzed. Except for pasture grass, the measured transfer factors deviate remarkably from the values assumed in the guidelines for calculation. With grass as the test plant the influence of the Pb, Co and Cr heavy metal concentrations in the soil on the state of development and crop yield was studied. These elements were used as stable tracers for the Pb-210, Co-60 and Cr-51 nuclides which are important from the radio-ecology point of view. Already low heavy metal concentrations in the soil cause a noticeable reduction in plant growth as compared to soil free from heavy metals. By admixing lime to the soil the pH of the soil was increased. The test series will be repeated under these modified conditions.
- Methods for determining nutrients and trace elements in soils and plants by means of ICP and AAS were processed further. Additional extraction and digestion techniques were studied and optimized. At present, 26 elements can be measured in soils and plants; extension to include 38 elements will be possible in the very near future. Moreover, phosphate, nitrate, sulfate and other anions are determined in soil and plant samples with the help of ion chromatography.

Plans for future work

The measurement and release of actinides from WAK will be continued. The laboratory-scale experiments aimed at increasing the mobility of actinides in the soil will be continued the same as work on conventional soil analytics. The measurements of the soil to plant transfer will be carried on and the scope of investigations widened.

06.03.01/12A Microbiological Influence on the Mobility and
PNS 4813 Bioavailability of Radionuclides in Soils and Sediments
(S. Strack; HS)

Work performed

- Continuation of the long-term standardized investigation of the microflora at the point of reference.
- Untreated and treated (autoclaving, autoclaving and reinoculation with mixed bacteria or fungus cultures, beta-propiolactone) soil samples were packed into small columns and labeled with iodide-125 carrier solution (about 600 bq). After various durations the columns were eluted with H₂O. The amount of iodine soluble in water was measured in the LSC.
- Testing of methods of recording microbial metabolic activities in the soil material: measurement of the CO₂ output, determination of catalase activity.
- Determination of the physical-chemical properties of untreated soil and soil sterilized by heat: determination of pH value, maximum water capacity, content of C-compounds that can be eluted (elution experiments with distilled water and C-measurement in the IR and UV ranges, respectively), capability of adsorption and sedimentation behavior.

Results obtained

- Within the period of reporting from April 1983 until June 1984 the population density per gram of soil shows the expected seasonal fluctuations.
- In experiments involving untreated soil columns occupied with iodine amounts far below the amount required for soil saturation with iodine, the majority of iodine applied is immobilized and cannot be re-eluted (more than 90% within the first three to six hours; see Fig. 1, plot a). In elution experiments with autoclaved and autoclaved/reinoculated soil columns, respectively, an I-125 immobilization in the soil matrix was detected which had been slowed down and reduced globally, with a faster process of fixation at the beginning of the experiment (Fig. 1, plots b and c, segment I) and a slower process of immobilization dominating in case of extended columns lifetimes (fig. 1, plots b and c, segment II) superimposed.

As the test series involving autoclaved and autoclaved/reinoculated soil, respectively, given their identical pretreatment (sterilization by heat, 20 minutes at 121°C), differ only by their microbiological population the following conclusions can be drawn:

- The processes of immobilization taking place in the autoclaved, biologically dead soil material are mere physical-chemical mechanisms.
- The clear increase in immobilization in the autoclaved/reinoculated soil as compared to the autoclaved soil is caused by a biotic process superimposing a physical-chemical fixation, which continues to be effective. This biotic process is attributable to the influence of the micro-organisms present in the soil.
- The differences in immobilization behavior of I-125 for the autoclaved and autoclaved/reinoculated soils, respectively, on the one hand, and untreated soil, on the other hand, might be caused by a modification of the physico-chemical properties of the soil due to the influence of heat during autoclaving. No change of the pH-value and of the maximum water capacity was found. However, a strong increase in the fraction of extractable C-compounds (by about the factor 7-15) was detected in the autoclaved soil.

Plans for future work

Continuation of the tests with I-125.

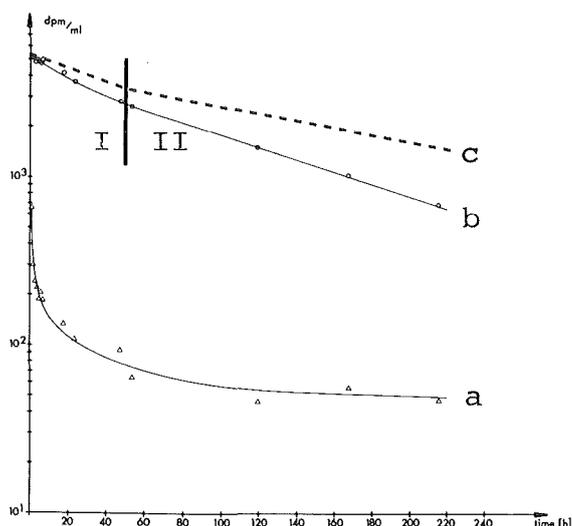


Fig. 1: Comparison of untreated (a) with sterilized/reinoculated soil (b). The amount of I-125 which can be eluted from labeled soil material per ml of distilled water was measured after various durations of column lifetimes. Plot c (determined in a parallel test) shows the process of immobilization for the autoclaved soil. Symbols I and II are explained in the text.