

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

Geplante Weiterarbeit

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

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

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

06.01.09 Brennstabverhalten in der Wiederauffüll- und Flutphase eines Kühlmittelverluststörfalles

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

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

Durchgeführte Arbeiten

Im Berichtszeitraum lagen die Schwerpunkte auf der Durchführung folgender Arbeiten:

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

anlage.

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

Erzielte Ergebnisse

Der Bündelversuch REBEKA 3 wurde mit folgendem Testparametersatz durchgeführt:

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

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

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

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

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

axialen Mitte des Stabbündels

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

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

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

Ein Vergleich der Verformungsergebnisse des Bündelexperimentes

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

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

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

Berstdehnung bestimmt werden.

Geplante Weiterarbeit

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

06.01.10 Auswirkung von Kühlkanalblockaden auf die Kernnotkühlung

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

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

Durchgeführte Arbeiten

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