



II. Bestrahlungsnachuntersuchungen und modelltheoretische
Analysen zum Brennstoff- und Brennstabverhalten
innovativer Systeme

(W. Ernst, D. Freund, D. Geithoff, M. Heck, O. Jacobi, H. Steiner,
P. Weimar, IMF)

*Post-irradiation examinations and theoretical analyses
of the fuel and fuel pin behavior of innovative
reactors*

Abstract:

For the development of LMR cladding materials an irradiation test was performed in the KNK II reactor between 1986 and 1991. It demonstrated that a temperature gradient in the cladding has no observable effect on swelling behavior. PIEs of transient experiments in the Petten HFR have shown no significant cladding deformations.

Doppelwandiger Brennstab

Im Rahmen der Hüllrohrentwicklung innerhalb des Projekts Schneller Brüter wurde vor längerer Zeit ein Bestrahlungsexperiment konzipiert, in dem der Einfluß des Temperaturgradienten über die Hüllwandstärke auf das Schwellverhalten unter Bestrahlung untersucht werden sollte. Das heute als "Venker-Stab" bezeichnete Experiment bestand aus einem heterogenen Brennstab mit den äußeren KNK-II/1-Dimensionen (Außendurchmesser 6 mm), über den ein weiteres Rohr als Kapsel gezogen war. Der Spalt zwischen Brennstab und Außenrohr war mit Natrium gefüllt. Sinn dieser Anordnung war es, im Außenrohr axiale Bereiche mit oder ohne Temperaturgradient zu erzeugen. Der heterogene Brennstab innen diente dabei nur als Wärmequelle, um in Höhe der Brennstoffabschnitte den Temperaturgradienten, in Höhe der integrierten Brutstoffabschnitte dagegen einen radial isothermen Bereich zu schaffen.

Die doppelwandige Experimentanordnung war in der KNK-II/2 von Juni 1986 bis Januar 1991 eingesetzt und zwar im Brennelement NZ-301. Bei einer Betriebszeit von 574 VLT wurden 35 dpa erreicht. Als maximaler Abbrand im Brennstoff wurden 78 MWd/kg SM errechnet.

Bei der Stabzerlegung zu Beginn der Nachbestrahlungsuntersuchung ließen sich beide Komponenten, Brennstab und Außenrohr entgegen pessimistischer Erwartungen, gut voneinander trennen. Demgemäß konnten die Außendurchmesser sowohl des Brennstabs als auch der Hülle problemlos vermessen werden. Für das Außenrohr wurde lediglich die für das Material (1.4970) typische Durchmesser-Vergrößerung infolge Materialschwellens gefunden. Sie betrug im Maximum ca. 40 µm. Ein Unterschied zwischen den isothermen Bereichen und denen mit radialen Temperaturgradienten war nicht zu erkennen. Somit war die Frage, die mit diesem Experiment gestellt worden war, eindeutig zu beantworten. Ein Temperaturgradient in der Hüllwand hat keinen erkennbaren Einfluß auf das Schwellverhalten.

Transientenexperimente im HFR Petten

Die Arbeiten zu den Transientenexperimenten wurden mit der Nachuntersuchung und Auswertung der Brennstoffschmelzexperimente POTOM-3 und -4 sowie des Überlast-experiments OPOST fortgesetzt.

Nach einer viertägigen Vorbestrahlung mit anschließender Leistungstransiente auf ca. 800 W/cm wurden zwei der drei Prüflinge von POTOM-3, in denen durch Neutronografien sowie durch Rechnungen mit dem Programm SATURN-S eindeutig Schmelzen nachgewiesen werden konnte, einer 18-tägigen stationären Weiterbestrahlung bei 450 W/cm unterworfen. Wie eingehende Nachuntersuchungen an axialen und radialen Keramografien in den betroffenen Brennstoffsäulenbereichen der Stäbe 0204 und 0205 zeigen, kommt es hierbei zu einer weitgehenden axialen Homogenisierung der durch Brennstofftransport infolge Schmelzens hervorgerufenen Masseumverteilung sowie zu einer Auflösung der Schmelzgrenzstruktur. Im Stab 0206 hingegen, der keiner weiteren Folgebestrahlung unterworfen wurde, waren die typischen Schmelzphänomene wie Kavernebildung, Verfüllung des Zentralkanals mit geschmolzenem Brennstoff sowie die deutliche Ausbildung der radialen Schmelzzone erkennbar. An den vier Brennstäben dieses Experiments wurden zusätzlich umfangreiche Prüfungen mit Wirbelstrom durchgeführt. Wie qualitative Auswertungen dieser bei mehreren Frequenzen erzielten Signale zeigen, können ähnlich wie bei den gammaspektrometrischen Untersuchungen Unstetigkeiten in der Brennstoffsäule nachgewiesen werden. An keinem der Prüflinge waren signifikante Hüllrohrverformungen erkennbar.

Die drei Prüflinge des Experiments POTOM-4 wurden nach einem Abbrand von ca. 3 at-% mit einer Leistungstransiente (Maximalleistungen ca. 850 W/cm) beaufschlagt. Aus der zerstörungsfreien Nachuntersuchung (Neutronografien, γ -Spektrometrie) ist Schmelzen erkennbar. Im Gegensatz zu POTOM-3 hat die mechanische Wechselwirkung zwischen Brennstoff und Hülle zu plastischen Hüllrohrverformungen geführt. Die zur Zeit durchgeführten Auswertungen beschränken sich auf eine Analyse der zerstörungsfreien Nachuntersuchungsergebnisse des ECN Petten, eine zerstörende Nachuntersuchung kann nicht mehr durchgeführt werden.

Das Experiment OPOST, in dem drei Prüflinge bei längerer stationärer Überlast bestrahlt wurden, ist mit dem Brennstabcode TRANSIENT nachgerechnet worden. Hiernach betragen die maximalen Brennstofftemperaturen etwa 2400 °C bei 520 W/cm, in der Hochleistungsphase mit 630 W/cm etwa 2500 - 2600 °C. Lediglich bei dem Prüfling der Kapsel 29 wurde Schmelzen berechnet, in Übereinstimmung mit den Befunden der axialen γ -Spektren, aus denen axialer Brennstofftransport erkennbar ist. Auch bei diesem Experiment sind keine signifikanten Hüllrohrbelastungen erkennbar.

Transientenexperimente im CABRI-Reaktor

Zum CABRI FAST wurden mit dem Brennstabcode TRANSIENT Rechnungen zu SCARABIX gemacht. Diese Brennstäbe mit Lochpelletkonzept wurden im PHENIX-Reaktor bis zu einem Abbrand von ca. 6,5 at-% bestrahlt. Die vom Code berechnete totale Spaltgasfreisetzung von ca. 60 % liegt unter dem gemessenen Wert von 82 %. Neue Meßergebnisse zum axialen Profil der Spaltgasrückhaltung zeigen ebenfalls ein ungewöhnliches Verhalten der SCARABIX-Brennstäbe.

In-pile Versuche über Kühlungsstörungen, Mol 7C-Experimente

Die Nachbestrahlungsuntersuchungen am Mol 7C/6-Brennstabbündel sind abgeschlossen. Wegen fehlender Kapazitäten bei HVT/HZ mußte die Zerlegung und Nachbestrahlungsuntersuchungen der Mol 7C-Teststrecke verschoben werden. Mit der Erstellung des Abschlußberichtes wurde begonnen.