

ANALYSE DES REAKTIVITÄTSVERHALTENS DES HTR-500 BEI COREAUFHEIZSTÖRFÄLLEN

R. Nabbi

Kernforschungsanlage Jülich
Institut für Nukleare Sicherheitsforschung

Problemstellung

Beim HTR mittlerer Leistung wie bei dem HTR-500 tragen Coreaufheizstörungen am meisten zum Risiko bei. Im Verlauf solcher Störungen kann es zum Absturz des Deckenreflektors und damit je nach Stellung der Corestäbe zur Reaktivitätserhöhung kommen. Hinzu kommt Reaktivitätsgewinn durch den Xenon-Zerfall sowie durch die Freisetzung neutronenabsorbierender Spaltprodukte. Falls die Corestäbe bei einer Einsatzverzögerung aufgrund der hohen Coretemperaturen nicht mehr zur Langzeitabschaltung eingefahren werden können, stellt sich die Frage, ob zusammen mit dem negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität eine langfristige Unterkritikalität durch die Reaktorschnellabschaltsysteme gewährleistet ist. Ziel ist die Ermittlung einer Einsatzstrategie für die Corestäbe zur Sicherstellung der Langzeitabschaltung.

Störfallablauf und Modellierung

Coreaufheizstörungen sind gekennzeichnet durch den langfristigen Ausfall der erzwungenen Kernkühlung. Dabei wird die anfallende Wärme teilweise im Core gespeichert oder über Naturkonvektion, Wärmeleitung und Strahlung in die kälteren Primärkreis Komponenten transportiert, so daß diese auch aufgeheizt werden. Welche Temperaturen sich dabei einstellen, hängt vom Systemdruck ab, der je nach Verhalten des Sicherheitsventils 50 bar, 25 bar oder 1 bar annimmt (Fall 1A, 1B, 2) /1/. Die für das langfristige Reaktivitätsverhalten entscheidende Entwicklung der Coretemperatur wird auch durch den Betrieb des Linerkühlsystems bestimmt. Aufgrund der sich entwickelnden Temperaturen beginnt der Absturz des Deckenreflektors nach 4 h infolge der thermischen Überbelastung der Aufhängungen. Der Absturzvorgang erstreckt sich bei Reaktor unter Druck über 40 h, bei drucklosem Reaktor über 100 h /1/. Die Reaktivitätsentwicklung wird dabei von den vorliegenden reaktorphysikalischen Bedingungen wie z.B. von der Stellung der Corestäbe sowie von den Absturzmechanismen bestimmt.

Zur Ermittlung der zeitlichen Reaktivitätsbilanz wurden mehrfache Diffusionsrechnungen mit dem Rechenprogramm ASTERIX-2 durchgeführt /2/. Dabei wurde vom Gleichgewichtszustand des HTR-500-Cores im Vollastbetrieb ausgegangen. Bei der Simulationsberechnung wurden je nach Reaktivitätseffekt die Temperaturverteilung, Corezusammensetzung und Position des Deckenreflektors infolge des Herabfallens geändert und daraus die Reaktivitätsbeiträge bestimmt. Es wurde angenommen, daß die Reflektorstäbe mit dem Beginn der Störung zur Reaktorschnellabschaltung eingesetzt werden und die für die Langzeitabschaltung vorgesehenen Corestäbe ihre Stellung beibehalten. Für die Reaktorschnellabschaltung wurde entsprechend der Konzeptauslegung der Reflektorstäbe ein Reaktivitätswert von 2,7 % angesetzt.

Ergebnisse der Simulationsrechnungen

In der Abb. 1 sind die Temperaturverläufe bei Ausfall des NWA-Systems und langsamer Druckentlastung für den Fall 2 dargestellt /3/. Abb. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der Reaktivität bis 250 h nach Störfallbeginn. Es handelt sich dabei um die Summe aller Reaktivitätsbeiträge, die im Zuge der betrachteten Coreaufheizstörfälle auftreten und zusammenwirkend das neutronenphysikalische Verhalten des Cores bestimmen.

Infolge des negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität führt der Anstieg der Coretemperatur zur Verminderung der Reaktivität. Wie aus der Abb. 1 hervorgeht, durchläuft die mittlere Coretemperatur ein Maximum bei ca. 70 h und geht dann wieder zurück. Dieser Temperaturverlauf bewirkt, daß die Reaktivität nach Durchlaufen eines Minimums langsam wieder ansteigt. Dies gilt qualitativ für alle drei Störfallabläufe wegen des ähnlichen Temperaturverhaltens. Im Fall 2 ist die Reaktivitätsbindung durch die Temperaturentwicklung am größten.

Der Absturz des Deckenreflektors ist mit einer hohen Reaktivitätszufuhr verbunden. Sie beträgt 6,1 % und gilt für den Fall, daß die Corestäbe infolge der Einsatzverzögerung ihre betriebliche Stellung beibehalten. Die Freisetzung dieser Reaktivität erfolgt innerhalb der ersten 20 h für den Fall 1A bei Reaktor unter Druck. In den beiden anderen Fällen dauert der Absturz des Deckenreflektors 60 h bzw. 100 h und hat damit eine langsamere Reaktivitätsentwicklung zur Folge.

Reaktivitätsanstieg infolge des Xenon-Zerfalls erfolgt nach Durchlaufen eines Maximums bei ca. 9 h nach Störfallbeginn und führt zu einer Reaktivitätszunahme von 3,78 %. Dies gilt für den Zerfall der Xenon-Gleichgewichtskonzentration und für die Temperaturverteilung im Normalbetrieb. Die Freisetzung von Xenon und anderer neutronenabsorbierender Spaltprodukte bewirkt einen Reaktivitätsgewinn um nur 0,5 %. Dieser unwesentliche Beitrag zur Gesamtreaktivität ist auf die geringe Freisetzungsrates während der Coreaufheizung zurückzuführen /1/.

Aus der Abb. 2 geht der Zeitpunkt der Rekritikalität für die betrachteten Störfallabläufe hervor. Für den Fall 1A zeigen die Rechenergebnisse, daß der Reaktor ca. 60 h nach Störfallbeginn wieder kritisch wird. Demgegenüber ist in den beiden Fällen 1B und 2 eine Rekritikalität innerhalb der ersten 8 Tage auszuschließen. Der Grund für diesen Unterschied besteht in der Temperatur- sowie in der langsam ablaufenden Reaktivitätsentwicklung infolge des Deckenreflektorabsturzes. Nach Eintritt der Rekritikalität beginnt in allen betrachteten Fällen die Aufnahme der nuklearen Leistungserzeugung. Infolge des Wärmetransportes stabilisieren sich die Leistung und damit die Coretemperaturen auf einem niedrigen Niveau so, daß die Leistungserzeugung der Wärmeabfuhr entspricht /4/.

Zusammenfassung

Die Analyse des Reaktivitätsverhaltens bei der Coreaufheizung hat gezeigt, daß der Einsatz der Reflektorstäbe in Verbindung mit dem negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität ausreicht, den Reaktor über einen längeren Zeitbereich von mindestens 2 Tagen unterkritisch zu halten. Zu einer sicheren Langzeitabschaltung mit den Corestäben steht eine Einsatzzeitspanne von 1 h zur Verfügung. Nach Überschreitung dieser Zeitspanne ist mit einer Beeinträchtigung ihrer Funktionsfähigkeit infolge der thermischen Belastung der Stabspitzen zu rechnen. Aus diesem Grunde ist die Abschaltprozedur durch die Corestäbe so zu wählen, daß sie mit dem Beginn einer Coreaufheizung der beschriebenen Art ohne bedeutende Verzögerung eingefahren werden.

Literatur

- /1/ "Zum Störfallverhalten des HTR-500", Jül-Spez-220, (Sept. 1983)
- /2/ A. Lauer, et al.: "User's Manual for ASTERIX-2: A Two Dimensional Modular Code System for the Steady State and Xenon Transient Analysis of a Pebble Bed High Temperature Reactor", Jül-1750 (March 1982)
- /3/ W. Jahn, M. Haben und W. Rehm: in "Sicherheitstechnische Untersuchungen zum Störfallverhalten des HTR-500", Jül-Spez-240, (Jan. 1984)
- /4/ R. Nabbi, G. Meister: "Einfluß der Xenon-Dynamik auf den Ablauf von Wärmeabfuhrstörfällen mit Versagen des Abschaltsystems", Jahrestagung Kerntechnik'82, Mannheim

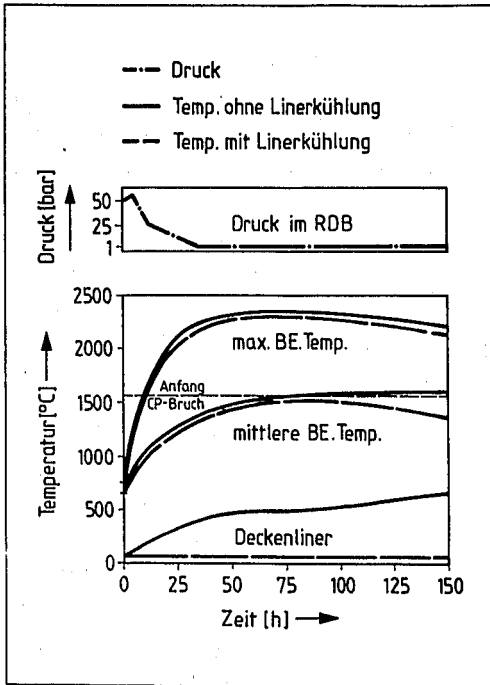


Abb. 1: Temperaturverläufe bei Ausfall der NWA-Systeme mit und ohne Linerkühlung und langsamer Druckentlastung (Fall 2)

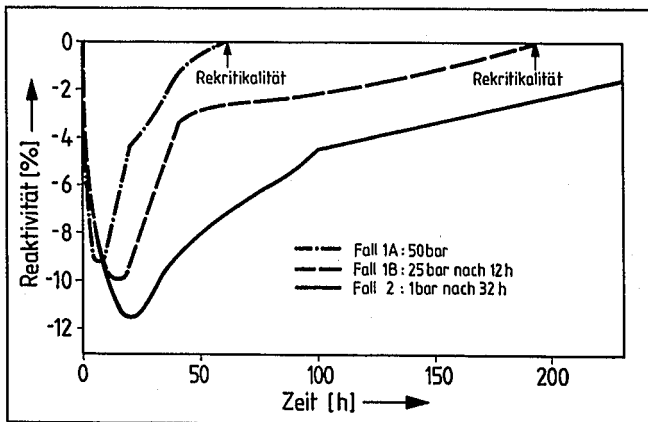


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Gesamtreaktivität für Core-aufheizungen bei unterschiedlichen Systemdrücken