

COREDYNAMISCHE UNTERSUCHUNG VON WÄRMEABFUHRSTÖRFÄLLEN BEI HTR UNTER UNGÜNSTIGEN ANFANGSBEDINGUNGEN

G. Meister, R. Nabbi

Kernforschungsanlage Jülich
Institut für Nukleare Sicherheitsforschung

Einleitung und Zielsetzung

Die nach einer Abschaltung des Reaktors ansteigende Xenon-Vergiftung des Reaktorkerns vermindert bei HTR die Größe des negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität. Wenn der Reaktor bei hoher Xenon-Vergiftung wieder angefahren wird, könnte der verstärkte Xenon-Abbrand zusätzliche Reaktivität freisetzen, so daß bei Eintritt eines Störfalles ein besonders ungünstiger Störfallablauf möglich erscheint. Die z.Zt. gültige Auslegung des Abschalt- und Steuersystems des HTR PNP-500 läßt allerdings ein Wiederauffahren der Anlage mit heißem Core nur dann zu, wenn die Xenon-Vergiftung einen bestimmten Wert nicht überschreitet. Bei größerer Xenon-Vergiftung ist die Zuführung zusätzlicher Reaktivität durch Abkühlung des Cores erforderlich /1/.

Um Aufschluß darüber zu erhalten, wie sich eine hohe Xenon- Konzentration auf den Ablauf von Störungen der Wärmeabfuhr auswirkt, werden im folgenden die Konsequenzen eines unbeabsichtigten Abfahrens der Gebläse des Hauptkühlsystems untersucht. Dabei wird angenommen, daß der Störfall unmittelbar nach dem Wiederauffahren im Xenon-Maximum eintritt. In der Regel werden in einem derartigen Störfall die Abschaltssysteme angeregt und automatisch eine Überleitungsprozedur zur Nachwärmeabfuhr eingeleitet /1/. Es wird angenommen, daß diese Prozedur bestimmungsgemäß abläuft, jedoch wird unterstellt, daß das Abschaltssystem nicht in Aktion tritt, um Aufschluß über die Notwendigkeit von Gegenaktionen durch dieses System und die zulässigen Zeitverzögerungen zu erhalten. Zum Vergleich wird der gleiche Störfall unter der Annahme analysiert, daß er nach einem langzeitigen Vollastbetrieb bei Xenon-Gleichgewichtskonzentration erfolgt. Der Analyse wurde das Kugelhaufen HTR-Konzept PNP-500 mit einer thermischen Leistung von 500 MW zugrunde gelegt.

Der Abfall des Primärkreisdurchsatzes infolge des Abfahrens der Gebläse führt zunächst zu einem Anstieg der Coretemperatur, der auch ohne Mitwirkung des Abschaltsystems zu einer Selbstabschaltung des Reaktors durch den negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität führt. Es wird angenommen, daß durch die Überleitung in den NWA-Betrieb langfristig ein Gasdurchsatz von 6 kg/s aufrecht erhalten wird. Die Kühlung des Reaktorkerns bewirkt eine Reaktivitätszufuhr, die nach einiger Zeit zur Rekritikalität führt. Im längerfristigen Zeitbereich wird das Verhalten der Anlage wesentlich durch das zeitliche Verhalten der Xenon-Vergiftung bestimmt.

Rechenmethodik

Die Analyse der Reaktivitäts-, Leistungs- und Temperaturtransienten wurde mit dem eindimensionalen Kinetikprogramm SHOVAV-Jül durchgeführt, welches die neutronenphysikalischen und thermodynamischen Vorgänge während des Störfallablaufs simuliert /3/. Dabei werden die mit den transienten Thermohydraulikgleichungen gekoppelten zeitabhängigen Neutronendifusionsgleichungen für 4 Energiegruppen und 6 verzögerten Neutronengruppen gelöst. Darüber hinaus enthält dieser Rechencode die Modellierung des transienten Rückwirkungseffektes von Xenon-135 auf den Ablauf neutronenkinetischer Vorgänge im Core. Für die ausführliche Programmbeschreibung sei auf /3/ verwiesen. Für die transiente Berechnung wurde der ungünstige Anfangszustand des Cores dadurch erreicht, indem der Reaktor zunächst durch die Zufuhr negativer Reaktivität abgeschaltet wurde, so daß innerhalb der folgenden 8,5 h die Xenon-Konzentration bis zu ihrem Maximum ansteigt. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Reaktor durch Reaktivitätserhöhung wieder kritisch gemacht. Mit dem Beginn des angenommenen Störfallablaufs wurde der Massendurchsatz entsprechend der vorgesehenen Prozedur auf das NWA-Niveau von 6 kg/sec reduziert.

Ergebnisse der Analyse

In der Abb. 1 ist das zeitliche Verhalten der Xenon-Reaktivität nach einer Heißabschaltung gezeigt. Zum Vergleich ist der Verlauf der Reaktivität für den Fall dargestellt, daß der Reaktor im Xenon-Maximum auf Vollastbetrieb gebracht wird. Daraus ist zu entnehmen, daß die Reaktivitätsänderung infolge des Xenon-Abbaus nach Wiederstart der Anlage relativ schnell stattfindet. Die Freisetzungsrates beträgt dabei ca. 1,0 Nile/h.

Innerhalb der ersten 150 sec nach Störfallbeginn schaltet sich der Reaktor wegen des negativen Temperaturkoeffizienten der Reaktivität ab. Die durch den NWA-Einsatz bedingte Corekühlung führt dann zur Kritikalität und zu einem Wiederanstieg der Reaktorleistung. Nach Durchlaufen eines Maximums von 14% des Ausgangs-

wertes fällt sie wieder ab und steigt nach Durchlaufen eines Minimums infolge der Reaktivitätsfreisetzung wieder an. Dies bewirkt im längerfristigen Zeitbereich eine Erhöhung der Feststoff- und Gasaustrittstemperatur. Der zeitliche Verlauf der maximalen Feststofftemperatur ist in der Abb. 2 bis 5 h nach Störfallbeginn dargestellt. Zum Vergleich sind in dieser Abbildung die Ergebnisse der transienten Berechnungen enthalten, die auf einen Anfangszustand des Cores mit Xenon-Gleichgewichtskonzentration nach langzeitigem Vollastbetrieb der Anlage basieren. Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, wird der Störfallablauf von der vorliegenden Anfangskonzentration des Xenons bestimmt. Während beim anfänglichen Gleichgewichtszustand eine fortdauernde Unterkritikalität wegen des sich aufbauenden Xenon-135 vorliegt, ist ein Störfall, der im Maximum der Xenon-Konzentration beginnt, im längerfristigen Zeitbereich mit einer Erhöhung der Leistungserzeugung und der Feststofftemperatur verbunden.

Die axiale Verteilung der maximalen Feststofftemperatur 5 h nach Störfallbeginn ist in der Abb. 3 zusammen mit ihrem Verlauf im Normalbetrieb gezeigt. Bei der ungünstigen Anfangsbedingung steigt die Spaltleistung ständig an. Die Brennstofftemperatur erreicht nach 5 h einen Wert von ca. 1500 °C. Entsprechend verhält sich die Gasaustrittstemperatur. Sie steigt ohne Einleitung von Gegenmaßnahmen mit einer Rate von 100 °C/h an. Demgegenüber wird im letzteren Fall die Leistung lediglich durch die abklingende Zerfallswärme bestimmt. Sowohl die Feststoff- als auch die Gasaustrittstemperatur gehen längerfristig zurück.

Zusammenfassung

Die vorgelegte Analyse zeigt, daß bei einer Wärmeabfuhrstörung der beschriebenen Art die Entwicklung der Coretemperaturen im längerfristigen Zeitbereich für den Störfallbeginn im Xenon-Gleichgewicht bzw. im Xenon-Maximum deutlich unterschiedlich ist. Während im ersten Fall die Gasaustrittstemperatur und die maximale Coretemperatur zunächst nur um 40°C über ihren Anfangswert hinaus ansteigen und danach zurückgehen, wird im zweiten Fall ein zwar schwacher aber stetiger Temperaturanstieg mit einer Rate von etwa 100°C/h beobachtet. Wegen dieses langsamen Temperaturanstiegs steht eine lange Zeitspanne zur Abschaltung und zur Rückführung der Anlage in einen bestimmungsgemäßen Zustand zur Verfügung.

Literatur

/1/ "Referenzkonzept der Prototypanlage Nukleare Prozeßwärme PNP: Gesamtanlage und Kraftwerk", Bergbau-Forschung GmbH, GHT mbH, HRB mbH, KFA Jülich GmbH, Rheinische Braunkohlenwerke AG (Februar 1981)

/2/ R. Nabbi, G. Meister: "Einfluß der Xenon-Dynamik bei HTR auf den Ablauf von Wärmeabfuhrstörfällen mit Versagen des Abschaltsystems" Jahrestagung Kerntechnik '82 in Mannheim

/3/ R. Nabbi, et al: "SHOVAY-Jül, Ein eindimensionales Neutronenkinetik-Programm für Kugelhaufen-Hochtemperaturreaktoren mit Temperatur- und Xenon-Rückkopplung", Jül-Spez-171 (September 1982)

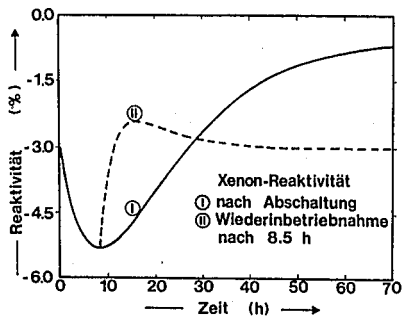


Abb. 1

Zeitlicher Verlauf der Reaktivität nach Abschaltung und Wiederinbetriebnahme im Xenon-Maximum

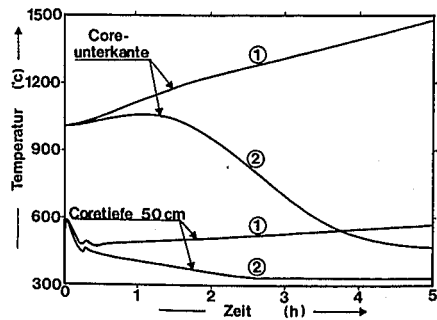


Abb. 2

Brennelement-Temperaturtransienten für zwei axiale Corepositionen
① Störfallbeginn im Xenon-Maximum
② Beginn bei Xenon-Gleichgewicht

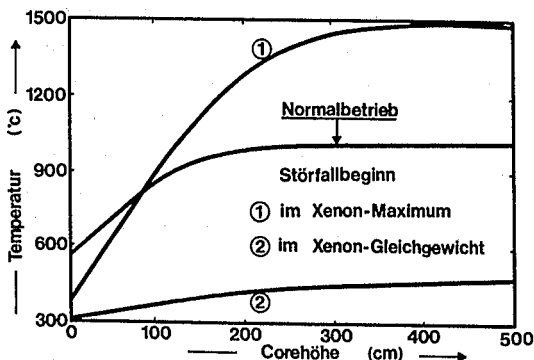


Abb. 3

Axiale Verteilung der maximalen Brennstofftemperatur 5 h nach Eintritt des Wärmeabfuhrstörfalls