

Hintergrundinformationen zu ausgewählten Themen zum nuklearen Störfall in Japan

Nr. 046
(19.04.2011, 11:00 Uhr)

Kritikalität und Rekritikalität in Kernreaktoren **(INR KIT)**

Kritikalität ist ein kerntechnischer Begriff, der sich auf die Neutronenbilanz in einem multiplizierenden System bezieht.

Als „unterkritisch“ wird eine Anordnung der Reaktorkernkonfiguration bezeichnet, in der die Verlustrate der Neutronen größer ist als die durch Spaltung produzierten Neutronen. Die Neutronenpopulation (oder Anzahl der Neutronen) nimmt darin mit der Zeit ab.

Der Begriff „überkritisch“ bezeichnet damit ein System, in dem die Produktionsrate an Neutronen größer ist als die Verlustrate an Neutronen. Als Folge wächst die Neutronenpopulation mit der Zeit.

Bleibt die Neutronenpopulation zeitlich konstant, besteht also ein Gleichgewicht zwischen der Produktionsrate und der Verlustrate, nennt man das kerntechnische System „kritisch“.

Die Kritikalität eines Systems lässt sich durch Vergleich der Neutronenproduktionsrate durch Spaltung oder andere Quellen mit der Neutronenverlustrate aufgrund von Absorption in Brennstoff oder Strukturmaterialien oder durch Leckagen aus dem Reaktorkern ermitteln.

Ein Kernreaktor ist damit ein technisches System, in dem die Kritikalität (oder das Neutronenpopulationsgleichgewicht) eingestellt wird. Folglich ist die Reaktorleistung direkt proportional zur Neutronenpopulation. Befinden sich mehr Neutronen im System, werden mehr Spaltreaktionen stattfinden, die mehr Energie erzeugen. Beim Anfahren eines Reaktors wird die Neutronenpopulation langsam und kontrolliert z. B. durch das Herausziehen von Absorberstäben (Änderung der Materialzusammensetzung) erhöht, so dass mehr Neutronen produziert werden als verloren gehen. Der Kernreaktor wird „überkritisch“. Damit wächst die Neutronenpopulation weiter an und in der Folge wird eine höhere Leistung produziert. Ist die gewünschte Reaktorleistung erreicht, wird der Kernreaktor in einen „kritischen“ Zustand versetzt, so dass die Neutronenpopulation und die Leistung über die Zeit konstant bleiben. Im Falle einer Abschaltung wird der Reaktor in einen „unterkritischen“ Zustand z.B. durch das Einfahren von Absorberstäben versetzt, so dass die Neutronenpopulation und die Leistung abnehmen.

Wird also gesagt, dass ein Reaktor „kritisch“ sei, so bedeutet dies, dass er sich in einem stabilen Gleichgewichtszustand befindet und eine konstante Leistung produziert.

Während des normalen Leistungsbetriebs wird ein Reaktor kritisch gehalten. In einem abgeschalteten Reaktor oder in sonstigen Systemen, wie z. B. Abklingbecken, sorgen besondere Einrichtungen sowie die räumliche Anordnung der abgebrannten Brennelemente dafür, dass die Brennelementkonfigurationen nicht kritisch werden können. Wird ein solches System dennoch kritisch, so wird dies als „Rekritikalität“ bezeichnet. Bor und andere Materialien, die Neutronen absorbieren, werden eingesetzt, um eine solche Rekritikalität zu verhindern. Die zugegebenen Neutronenabsorber führen zu einem deutlichen Anstieg der Neutronenverlustrate und sorgen so für ein unterkritisches System.

Die meisten Leichtwasserreaktoren (wie die Siedewasserreaktoren in Japan) verwenden Wasser, nicht nur, um den Reaktor zu kühlen, sondern auch, um die Neutronen abzubremsen. Diese Funktion des Wassers wird mit dem Fachbegriff Moderation bezeichnet. In Leichtwasserreaktoren erzeugen die langsamen (oder moderierten) Neutronen die meisten Spaltreaktionen. Verdampft oder siedet das Wasser, so nimmt die Moderator-

dichte ab und die Neutronen werden weniger stark abgebremst. Als Folge nehmen die Wahrscheinlichkeit einer Kernspaltungsreaktion und damit auch die Leistung ab. Das kerntechnische System wird in den „unterkritischen“ Zustand versetzt. Dieser Effekt der Verringerung der Moderation und der damit einhergehenden Leistungsreduktion wird in der Kerntechnik als negativer Void (Dampfblasen-) Effekt bezeichnet.

Erwärmt sich das Wasser in einem Siedewasserreaktor oder in einem Abklingbecken, das nicht gekühlt wird, führen der Temperaturanstieg des Wassers und die mögliche Verdampfung dazu, dass das System in einen unterkritischen Zustand versetzt wird. Außerdem befinden sich große Mengen an Bor in diesen Systemen, wie z. B. die Steuerstäbe des Reaktors oder auch verschiedene Arten von Bor im Abklingbecken. Weiterhin bestehen die Stahlstrukturen, in denen der abgebrannte Brennstoff im Becken aufbewahrt wird, teilweise aus boriertem Stahl und enthalten daher auch große Mengen an Bor. Sollte es zu einer Brennstoffschmelze kommen, so wird diese neue geometrische Konfiguration mit hoher Wahrscheinlichkeit kein Abbremsen der Neutronen fördern, weshalb eine Rekritikalität wenig wahrscheinlich ist, auch wenn Wasser wieder in das System eingespeist wird.