AUSLEGUNGSKRITERIEN UND KONSTRUKTIVE GESTALTUNG DER SICHERHEITSUMSCHLIESSUNG BEI SIEDEWASSERREAKTOREN

E. KOCH, W. ULLRICH, D. KUSCHEL,

AEG-Telefunken, Fachbereich Kernreaktoren, Frankfurt a.M., Germany

Die Sicherheitsumschließung eines Siedewasserreaktors besteht aus zwei, eventuell drei Schalen, nämlich dem Sicherheitsbehälter mit Druckabbausystem (DAS), unter Umständen einer Dichthülle um den Sicherheitsbehälter, sowie dem Reaktorgebäude. Sie bilden den Schutz der Reaktoranlage und damit ihrer Umgebung gegen innere und äußere Einflüsse. AEG-TELEFUNKEN baut derzeit einen kugelförmigen Sicherheitsbehälter mit angeschlossener Bodenwanne, in dessen Mitte das Druckgefäß steht, und in den eine torusförmige Kondensationskammer eingesetzt ist.

Eine Optimierungsstudie zeigt, daß der kleinste Behälter der wirtschaftlichste ist, da die Behältergröße die Gebäudeabmessungen bestimmt. Wegen gleicher Brennelemente für alle Anlagen ist die Kernhöhe konstant und damit die Höhe des Reaktordruckgefäßes nur wenig leistungsabhängig. Dies würde nahezu leistungsunabhängige Behältergrößen ermöglichen. Die Kompaktierung hat jedoch Grenzen, die von der Funktionsfähigkeit des DAS gezogen werden.

Ein DAS ist auf dynamische und statische Beanspruchungen auszulegen. Die dynamischen beherrschen den Anfang eines Kühlmittelverlustes, wo einerseits hoher Reaktordruck hohe Ausflußraten bringt, andererseits das DAS durch Freiblasen der Kondensationsrohre funktionsfähig gemacht werden muß. Ein theoretisches Modell über das Freiblasen wird erläutert und anhand von Versuchsergebnissen abgesichert.

Der zeitliche Druckverlauf in Druck- und Kondensationskammer wird von einer Reihe von Parametern, insbesondere Volumen- und Querschnittsverhältnissen bestimmt, deren Einfluß aufgezeigt wird und daraus günstige Parameterbereiche hergeleitet werden.

Senkrecht eintauchende, unten offene Kondensationsrohre gewährleisten einen stabilen Kondensationsvorgang, gekennzeichnet durch vollständige Kondensation ohne Kondensationsschläge, solange sich der Dampf an der Oberfläche einer stehenden Dampfblase unter dem Rohr niederschlägt. Die Bedingungen, unter denen ein solcher Prozeß bislang experimentell nachgewiesen ist, werden näher erläutert, so zum Beispiel der Abstand, der zwischen maximaler Wassertemperatur und Siedetemperatur dieses Wassers einzuhalten ist.

Die statische Beanspruchung dieses Behälters durch Druck und Temperatur nimmt bei richtiger Auslegung zunächst gleichmäßig zu und fällt erst nach einigen Minuten wieder ab. Der Auslegungsdruck wird dabei durch den größten Inhalt der Kondensationskammer an Wasser und Luft, durch ihre Temperatur und durch die Eintauchtiefe der Kondensationsrohre bestimmt. Hier spielen Behälterkonstruktion, der zunächst nicht beeinflussbare Kühlmittelverlust in seinen verschiedenen, denkbaren Abläufen, mögliche Störungen im Wasserhaushalt des DAS und schließlich die Kondensationskammerkühlung zusammen. Die Rechenmodelle zur Erfassung der Transienten werden erläutert.

In neuerer Zeit gewinnt das Reaktorgebäude - bislang vorwiegend für die Aufnahme der Reaktoranlage und für den Strahlenschutz der Umgebung dimensioniert - als Schutz dieser Anlage gegen äußere Einflüsse (Schutz gegen abstürzende Flugzeuge, Druckwellen) zunehmende Bedeutung. Die Auslegungsbelastungen werden diskutiert.

DISCUSSION

H. HOLTBECKER, JRC Ispra, Italy

Q

Welche technologischen Mittel wurden ergriffen um eventuelle Kondensationsstöße in der Kondensationskammer zu vermeiden ?

E. KOCH, Germany

A

Kondensationsversuche mit senkrecht in die Wasservorlage eintauchenden Kondensationsrohre wurden bei AEG-Telefunken im gesamten, technisch interessierenden Bereich der Massenstromdichte durchgeführt, von schleichender Dampfströmung bis zum Austritt mit Schallgeschwindigkeit. Dabei wurden nie gravierende oder gar unzulässige Kondensationsstöße beobachtet. Die Kondensation verläuft vielmehr in weiten Bereichen völlig ruhig, insbesondere bei hohen Massenstromdichten. Diese Versuche sind für die Ausblaserohre der Sicherheitsventile repräsentativ, für das Druckabbausystem nur bedingt, weil dort dem Dampf bzw. dem Wassergemisch stets kleine Luftmengen beigemischt sind, die dämpfend auf den Kondensationsvorgang wirken.

Bei kleinen Dampfgeschwindigkeiten im Kondensationsrohr unter ca. 20 m/s kann es zu einem ungleichmässigen Kondensationsvorgang kommen, bei dem periodisch Wasser in das Rohr zurückkommt. Wenn es dabei gegen eine Stirnfläche oder einen Krümmer prallt, können harte Wasserschläge auftreten. Dieser Vorgang kann jedoch durch den Einsatz von Schnüffelventilen wirksam unterdrückt werden. Im Druckabbausystem würden Rückschlagsklappen zwischen Kondensationskammer und Druckkammer die Funktion der Schnüffelventile, falls erforderlich, übernehmen.

O. SCHAUB, Switzerland

Q

Wie wurden die Auswirkungen des Laufzeitverhaltens des Containments auf dessen Konstruktion berücksichtigt ?

E. KOCH, Germany

A

Das Containment ist grundsätzlich so ausgelegt, dass es Auslegungsdruck und Auslegungstemperatur standhält und dabei die zulässigen Spannungen nicht überschritten werden. An der Einspannstelle in das Fundament würden jedoch ohne besondere Massnahmen langfristig formell unzulässig hohe Wärmespannungen auftreten, die zu einer Verformung führen könnten. Deshalb wurde die Umgebung durch einen besonders ausgewählten, auch unter Auslegungstemperatur dampfdichten Isolierstoff geschützt. Beim Einsatz eines der beiden Druckkammersprühsysteme kann jedoch Druck und Temperatur im Sicherheitsbehälter so rasch abgesenkt werden, dass Massnahmen dieser Art nicht erforderlich wären.

Q E. MORGNER, Germany

1. Sie sagten, dass das Containment gegen einen Druck von 0,3 atü von aussen, bedingt durch Druckwellen bei äusseren Explosionen, ausgelegt sei. Ferner sagten Sie, dass ein äusserer Überdruck von 0,45 atü zulässig sei. Wie ist dies zu verstehen ? Habe ich recht mit der Annahme, dass die 0,45 atü nur insoweit ertragen werden, dass die Integrität des Containments bei dieser Druckhöhe gewährleistet ist, ein Weiterbetrieb der Anlage jedoch nicht mehr oder nur aufgrund einer Wiederholungsprüfung nach erneuter Betriebsgenehmigung möglich ist ?
2. Über welchen Zeitraum steht dieser Druck von 0,45 atü an ?

A E. KOCH, Germany

Bei der Anlage Brunsbüttel ist das Reaktorgebäude, also das Sekundärcontainment gegen einen äusseren Druck von 0,3 atü ausgelegt. Innerhalb der ersten 0,2 s schwingt dieser Auslegungsdruck bis auf 0,45 atü über. Auf den Sicherheitsbehälter wirkt sich dieser Überdruck nicht oder nur in stark abgemildeter Form aus, weil das Reaktorgebäude weitgehend dicht ist und Explosionsdruckwellen nur kurze Zeit anstehen. Die Reaktoranlage würde also eine solche, äusserst unwahrscheinliche Explosion unbeschadet überstehen, nicht jedoch das Maschinenhaus oberhalb des Turbinenflurs. Ein Weiterbetrieb der Anlage wäre deshalb nicht unmittelbar möglich.

Q M. HÜBEL, Germany

Sie haben als maximale Temperatur des Wassers in der Kondensationskammer 75°C festgelegt. Bei welcher höchsten Temperatur haben Sie bei Ihren Versuchen noch vollständige Kondensation festgestellt ?

A E. KOCH, Germany

Bei den Kondensationsversuchen wurde noch vollständige Kondensation beobachtet, wenn die Wassertemperatur in der Nähe des Kondensationsrohraustritts wenige Grade unter der Siedetemperatur lag, also bei offenem Kondensationsbehälter und vier Meter Eintauchtiefe der Rohre bis über 100°C hinaus.

Q H. BARNERT, Germany

Würden Sie bitte einige Bemerkungen zur Verwirklichung der "räumlichen" Redundanz für das Nachwärmeabfuhrsystem bei Siedewasserreaktoren machen.

A E. KOCH, Germany

Die Frage wurde mit der Erläuterung des in Bild 20 dargestellten Sachverhaltes beantwortet. Dieses Bild war nicht in die für den Vortrag gekürzte Fassung aufgenommen.

U. KAUN, Germany

Q

Sind λ -Werte für den Isolierstoff bekannt, wenn er durch den Auslegungsdruck beaufschlagt wird ? Durch den Druck wird der Isolierstoff zusammengedrückt, so dass zu erwarten ist, dass die Isolierwirkung schlechter wird.

D. KUSCHEL, Germany

A

Die Veränderung des Wärmeleitwertes bei Druckbelastung des Isolierstoffes ist deshalb nicht wesentlich, weil sich das Isoliermaterial bei entsprechender Druckbeaufschlagung nur geringfügig zusammendrücken lässt. Die Deformation bleibt kleiner als 10% der Isoliermaterialdicke. Diese Veränderung wird durch eine vergleichsweise konservative Berücksichtigung der von den Lieferanten angegebenen Wärmeleitwerte abgedeckt.