

DER SCHUTZ VON SICHERHEITSBEHÄLTERN FÜR SIEDEWASSERREAKTOREN BEI EINEM GRÖSSTEN ANZUNEHMENDEN UNFALL

W.F. MÜLLER,

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

ABSTRACT

The protection of steel containments of boiling water reactors by concrete constructions in the case of maximum credible accident is illustrated by example of the nuclear power plants of Lingen (KWL), Würgassen (KWW) and Brunsbüttel (KKB). The different concrete constructions will be explained and some calculation methods are briefly outlined. Finally an outlook to a concrete containment with pressure suppression systems for BWR is given and problems involved in such design are mentioned.

1. Einleitung

Da Kühlmittelverlustunfälle in einem Kernkraftwerk nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden können, ist es notwendig, die Umwelt vor möglicherweise bei einem Unfall freigesetzter Radioaktivität zu schützen. Dazu wird das Primärsystem des Kernkraftwerkes durch einen Sicherheitsbehälter umschlossen, der die bei einem Unfall entstehenden Produkte aufnimmt.

Die Definition eines Kühlmittelverlustunfalles bzw. eines größten anzunehmenden Unfalles für Siedewassereaktoren der AEG - Telefunken Baulinie wurde an anderer Stelle gegeben. so daß hier nur kurz darauf eingegangen zu werden braucht.

Nimmt man an, daß der Unfall durch einen Bruch einer Hauptprozesseleitung entsteht, so wird ein radioaktives Dampf-Wasser-Gemisch aus den Rohrenden entweichen und den Sicherheitsbehälter unter Druck setzen. Da das Dampf-Wasser-Gemisch aus den Rohrenden mit hoher Geschwindigkeit strahlartig entweichen wird, und möglicherweise Fragmente geschossartig weggeschleudert werden, entstehen zusätzlich zum Druck hohe Strahl- und Splitterkräfte.

Da die Sicherheitsbehälter der AEG-Telefunken Siedewasserreaktoren aus Stahl bestehen, und es völlig unwirtschaftlich ist, diese Stahlbehälter so zu dimensionieren, daß sie die Belastung aus den Strahlkräften und Splintern ertragen können, hat man den Stahlbehältern nur die Funktion zugewiesen, den bei einem größten anzunehmenden Unfall entstehenden Druck aufzunehmen. Dadurch wurde es aber nötig, den Sicherheitsbehälter durch eine zusätzliche Konstruktion vor den entstehenden Strahlkräften und Splintern zu schützen. Dieser Schutz der Stahlschale kann grundsätzlich auf zwei Arten erreicht werden: Einmal indem man die entstehenden Strahlkräfte und/oder die Splitter in der Nähe des Entstehungsortes durch geeignete Schutzkonstruktionen auffängt oder andererseits indem man die Schutzkonstruktion direkt vor die Stahlschale legt.

Für die möglicherweise umerschlagenden Rohrleitungen wird man die erste Methode wählen, um die Reaktionskräfte auf die stählernen Festhaltekonstruktionen klein zu halten.

An Hand von 3 Beispielen soll im weiteren gezeigt werden wie der Schutz des Sicherheitsbehälters durch Stahlbetonkonstruktionen ausgeführt werden kann.

2. Der Schutz der Sicherheitsbehälter für in Betrieb oder im Bau befindliche Kernkraftwerksanlagen

2.1 Kernkraftwerk Lingen (KWL)(Bild 1)

Das nukleare Dampferzeugungssystem wird von einem sog. trockenen Containment vollständig umschlossen. Es besteht aus einem Stahlzylinder, der oben und unten durch Halbkugeln aus Stahl abgeschlossen wird und das gesamte Dampfwassergemisch, das bei einem eventuellen größten anzunehmenden Unfall entsteht, direkt aufnimmt. Die Höhe des gesamten Behälters beträgt 63,00 m, der Durchmesser 30,00 m.

Etwa in der Mitte des Sicherheitseinschlusses befindet sich der Reaktordruckbehälter. Der Druckbehälter ist vom biologischen Schild umgeben, um das wiederum die Räume für die Versorgungs- und Hilfsysteme liegen. Diese Räume haben teilweise sehr dicke Wände, um die in ihnen befindlichen aktiven Aggregate oder Rohrleitungen abzuschirmen.

Die Schutzkonstruktion für den Sicherheitsbehälter vor den Auswirkungen eines Unfalles besteht somit aus den vorhandenen Wand- und Deckenscheiben der Räume für die einzelnen Aggregate und Rohrleitungen. Aus diesem Grunde war es nicht notwendig, die Stahlschale

von innen durch eine zusätzliche Betonkonstruktion vor den Folgen eines Unfalles zu schützen. Die Stahlschale wurde jedoch durch einen Stahlbetonmantel in einem Abstand von ca. 15 cm umgeben, um den Stahlbehälter vor Witterungseinflüssen zu schützen und um die bei einem Unfall durch das im gesamten Behälter verteilte aktive Dampf-Wasser-Gemisch auftretende Strahlung nach außen abzuschirmen. Der Stahlbetonmantel besteht aus einem Zylinder, der in die Fundamentplatte eingespannt ist und durch eine Halbkugel nach oben abgeschlossen ist. Die Dicke der Stahlbetonschale beträgt 40 cm.

Da das große Volumen des Sicherheitsbehälters es erlaubt in seinem Innern in getrennten Räumen einen Teil der Versorgungs- und Hilfsysteme anzuordnen, war nur ein geringer Mehraufwand nötig, um die Stahlschale vor Strahl- und Splitterkräften zu schützen. Die Abschirmung der radioaktiven Strahlung bei einem Unfall machte jedoch noch eine zusätzliche, äußere Stahlbetonkonstruktion notwendig.

Aufgrund der großen Abmessungen des stählernen Sicherheitsbehälters war ein großer Aufwand zur Herstellung nötig. Aus diesem Grunde und da die weiteren von der AEG - Telefunken gebauten Anlagen eine größere Leistung haben, die ein größeres trockenes Containment erfordern würden, ging die AEG dazu über, einen Sicherheitsbehälter mit Druckabbausystem (DAS) zu entwickeln, der nur noch die notwendigsten Versorgungssysteme beherbergt. Der Stahlbehälter befindet sich jedoch in einem Gebäude, in dem sich die Versorgungs- und Hilfssysteme befinden, die im Sicherheitsbehälter nicht aufgestellt werden konnten. Die Bauweise Sicherheitsbehälter mit Druckabbausystem in einem Reaktorgebäude wurde zum erstenmal beim Kernkraftwerk Würzgassen beschritten.

2.2 Kernkraftwerk Würzgassen (KWW) (Bild 2)

Der Sicherheitsbehälter besteht aus einer Halbkugel mit einem Durchmesser von 27,00 m und einer ringförmig angeordneten Kondensationskammer. Der Boden und die Decke der Kondensationskammer besteht aus stählernen Torusschalen. Der Vorgang des Druckabbaus wurde bereits an anderer Stelle beschrieben, so daß hier nicht mehr darauf eingegangen werden muß.

Durch die kompakte Form des kugeligen Sicherheitsbehälters war es nötig geworden, Anlagenteile, die beim Kernkraftwerk Lingen noch innerhalb des Containments angeordnet waren nach außen zu legen.

Aus diesem Grunde wurde um den Behälter von Würzgassen ein Reaktorgebäude erstellt, das die gesamten Betriebs- und Hilfssysteme für

das nukleare Dampferzeugungssystem aufnimmt, so daß im Sicherheitsbehälter nur der Reaktordruckbehälter mit den Umwälzpumpen und den notwendigen Rohrleitungen und Armaturen verblieb.

Da im Sicherheitsbehälter keine Betonkonstruktionen mehr zur Beherbergung von Anlagen oder Hilfssystemen notwendig waren, mußte eine besondere Schutzkonstruktion für die bei einem Unfall entstehenden Strahlkräfte und Splitter vorgesehen werden. Diese Schutzkonstruktion wurde aus Beton hergestellt und mußte direkt an der Stahlschale angeordnet werden. Damit die Stahlschale jedoch unter Druck und Temperatur im Unfall sich frei bewegen kann, wurde zwischen Beton und Stahl eine Weichstoffzwischenlage angeordnet, die teilweise auch noch als Wärmeisolierung für die Stahlschale diente. Damit der Druck an die Stahlschale gelangen konnte, wurde in den Beton Röhrrchen eingesetzt, die den Raum zwischen Stahlschale und Beton mit dem Raum der Druckkammer verbinden.

Die Betonkonstruktion besteht aus einer oberen Kugelkalotte, die ihre Lasten über einen Betonring und wandartigen Stützen auf den biologischen Schild abgibt. Der Zylinder der Kondensationskammer wird durch eine Betonauskleidung geschützt, die ihre Lasten über Stützen auf den inneren Fundamentring an der Einspannzone der Kugel abgibt. Die Decke der Kondensationskammer wurde durch Fertigplatten geschützt, die einerseits am unteren Ring der Kugelkalotte und andererseits auf dem Splitterschutzzyylinder aufliegen. Der untere Ringraum wurde ebenfalls durch eine Betonkonstruktion geschützt, die aus einer Kugelkalotte mit anschließender gerader Decke besteht.

Die Wände und Decken des Reaktorgebäudes schirmen zusammen mit den Betoneinbauten im Behälter die bei einem Unfall im Sicherheitsbehälter entstehende radioaktive Strahlung nach außen hin ab.

Man sieht, daß die Schutzkonstruktion gegenüber der des trockenen Containments wesentlich komplizierter wurde, so daß auch die Berechnung der Betonkonstruktion mehr Aufwand nötig machte. Dadurch daß die Querschnittsabmessungen des Betons nicht besonders groß gewählt werden konnten (ca. 35 cm), und die Belastung aus den Strahlkräften örtlich bis 110 Mp auf eine Fläche von 0,13 m² übertragen können, war es notwendig, die Konstruktion aus B 450 herzustellen und größtenteils mit einem sehr hohen Anteil aus Spannstahl zu bewehren. Dabei wurden Betonspannungen bis 80 % der Würfelfestigkeit und Stahlspannungen bis 80 % der Streckgrenze zugelassen.

Bei der Berechnung und Bemessung der Betonkonstruktion wurde für die obere Betonkalotte wegen der großen Anzahl der Durchbrüche für Rohrleitungen und Kabel ein Ersatzsystem gewählt, das aus einzelnen Plattenstreifen bestand. Der Splitterschutzzyylinder und der biologische Schild wurden als Zylinder unter Einzellast nach der Methode von Bijllard berechnet. Die Konstruktion der unteren Kugelkalotte mit Decke wurde bei der Berechnung ebenfalls als ein System von Balken bzw. Plattenstreifen betrachtet.

Die Herstellung der stählernen Decke und des Bodens der Kondensationskammer war sehr aufwendig und deshalb teuer, so daß man sich beim Bau des Kernkraftwerkes Brunsbüttel zu einer anderen Form der Decke und des Bodens entschlossen hat. Ferner wurde die Betonkonstruktion in ihrem statischen System wesentlich verändert. Das Gesamtsystem des Sicherheitsbehälters mit Druckabbausystem blieb jedoch erhalten, so daß nur kurz auf die wesentlichen Merkmale der Betonschutzkonstruktion innerhalb des Sicherheitsbehälters des Kernkraftwerkes Brunsbüttel eingegangen werden soll.

2.3 Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB) (Bild 3)

Beim Sicherheitsbehälter des Kernkraftwerkes Brunsbüttel wurde die Bauform einer Kugel mit innenliegender Kondensationskammer beibehalten. Es wurde jedoch die Form des Bodens und der Decke der Kondensationskammer verändert (Übergang von einem torusförmigen Abschluß zu einem kegelstumpfförmigen), so daß die komplizierten Anschlußprofile der Kondensationskammer an die Kugel durch einfachere Profile ersetzt werden konnte. Diese Änderung der Form der Kondensationskammer machte auch eine Änderung der Betonschutzkonstruktion notwendig, die so ausgeführt wurde, daß man mehr Raum für die Rohrleitungen zur Verfügung hatte.

Hier trägt die obere Betonkalotte ihre Lasten auf den Betonkegel über der Kondensationskammer ab, der wiederum seine Lasten dem Betonzylinder überträgt. Der Betonzylinder steht teilweise auf Scheiben aus Beton und teilweise auf Betonstützen, die ihre Lasten in den inneren Fundamenttring einleiten. Bei dieser Konstruktion ist der biologische Schild völlig getrennt von der übrigen Schutzkonstruktion.

Die Betonkonstruktion ist wieder durch eine Weichstoffzwischenlage von der Stahlschale getrennt und besitzt Röhrchen, die den bei einem Unfall entstehenden Druck rasch zur Stahlschale gelangen lassen.

Um der Kondensationskammerdecke die Möglichkeit zu geben, sich unter Druck und Temperatur bei einem Unfall nach oben zu verschieben, wird der Betonkegel über der Kondensationskammerdecke in besonderer Weise hergestellt. Zunächst wird der Beton auf die Stahldecke, die mit einer Weichstoffzwischenlage beschichtet ist, gegossen. Nach dem Erhärten des Betons wird die gesamte Kegelschale durch Pressen, die an dem Ring zwischen Kegel und Zylinderschale angebracht sind, angehoben, so daß ein freier Raum zur Ausdehnung der Stahlschale zwischen der Kondensationskammerdecke und dem Betonkegel entsteht.

Dieses Stahlbetonschalensystem mußte für folgende Lastfälle berechnet werden:

a) Eigengewicht

b) Druckbelastung von innen

Diese Belastung tritt auf, wenn eine Prozessleitung im Inneren des Sicherheitsbehälters versagt. Dabei bildet sich wegen den begrenzten Druckausgleichsöffnungen im Beton über kurze Zeit während des Druckausgleiches zwischen der Druckkammer und dem Raum zwischen Stahlschale und Beton ein Differenzdruck aus.

c) Stahl- und Splitterkräfte als Einzellasten,

d) Temperaturbelastung bei Betrieb und bei Unfällen,

e) Belastung durch die Stahleinbauten, die im Beton verankert sind, wie Stahlbühne, Ausschlagbegrenzungen für Rohrleitungen, Kran-schienen u.ä..

Durch die Berechnung der einzelnen Konstruktionselemente als Schalensysteme konnte gegenüber der Betonkonstruktion von Würgassen eine erhebliche Reduzierung des Bewehrungsanteiles erzielt werden. Insbesondere war es möglich den Anteil des Spannstahls als schlaffe Bewehrung zu reduzieren. Bei der Bemessung der Konstruktion wurden für die Baustoffe folgende Spannungen als zulässig betrachtet:

Beton B 450 (mit $\sigma_{Br} = 450 \text{ kp/cm}^2$)

im Betrieb: zul. $\sigma_D = 130 \text{ kp/cm}^2$

bei Unfall: zul. $\sigma_D = 350 \text{ kp/cm}^2$

Stahl III ($\sigma_s = 4200 \text{ kp/cm}^2$ $\sigma_g = 5000 \text{ kp/cm}^2$)

im Betrieb: zul. $\sigma_e = 2400 \text{ kp/cm}^2$

bei Unfall: zul. $\sigma_e = 4200 \text{ kp/cm}^2$

Spannstahl St 135/150 ($\sigma_s = 13\,500 \text{ kp/cm}^2$ $\sigma_g = 1500 \text{ kp/cm}^2$)

im Betrieb: zul. $\sigma_e = 0,35 = 4700 \text{ kp/cm}^2$

bei Unfall: zul. $\sigma_e = 13\,500 \text{ kp/cm}^2$

Es wurde bei der Bemessung davon ausgegangen, daß die Betonkonstruktion bei den Belastungen durch einen größten anzunehmenden Unfall teilweise beschädigt werden darf, jedoch muß die Standsicherheit insgesamt gewährleistet sein und die Beschädigungen der Konstruktion dürfen nicht so groß sein, daß andere anlagentechnische Teile beschädigt werden.

Bei den beiden vorgestellten kugelförmigen Sicherheitsbehältern für Siedewasserreaktoren mußte zum Schutz des stählernen Behälters immer eine besondere Schutzkonstruktion für die Auswirkungen bei einem größten Unfall vorgesehen werden. Aus diesem Grunde liegt die Überlegung nahe, ob nicht ein Sicherheitsbehälter aus Stahlbeton die bei einem Unfall entstehenden radioaktiven Produkte so einschließen kann, daß eine Gefährdung der Umwelt nicht eintritt und gleichzeitig so bemessen werden kann, daß die entstehenden Strahlkräfte und Splitter ihn nicht beschädigen können und dabei ebenso kompakt gebaut werden kann, wie der Sicherheitsbehälter aus Stahl.

Diese Überlegungen führten die AEG-Telefunken zum Entwurf eines Stahlbetonsicherheitsbehälters, der jedoch noch in den ersten Anfängen der Entwicklung steht. Dieser Entwurf soll hier vorgestellt werden und es soll ein Einblick in die vielfältigen Probleme der Berechnung und Konstruktion gegeben werden.

3. Entwurf eines Sicherheitsbehälters mit Druckabbausystem aus Stahlbeton für einen Siedewasserreaktor (Bild 4)

Der Sicherheitsbehälter besteht aus einem Betonzylinder mit ca. 22,00 m Durchmesser, der auf der Sohlplatte des Kraftwerksgebäudes steht und nach oben durch eine Kreisringplatte mit einem gewölbten Stahldeckel abgeschlossen wird. Seine Höhe beträgt ca. 30,00 m. In seinem Innern befindet sich exzentrisch angeordnet das Reaktordruckgefäß mit dem biologischen Schild. Im unteren Teil des Sicherheitsbehälters ist die Kondensationskammer für den Druckabbau ringförmig angeordnet. Dabei dient der biologische Schild gleichzeitig als drucktragendes Bauteil für die Kondensationskammer. Nach oben wird die Kondensationskammer durch eine Kreisringplatte in der die Kondensationsrohre befestigt sind abgeschlossen. Diese Decke wird über Zugstützen an die Decke des Containments gehängt, so daß die Lasten in den Zylinder des Containments eingeleitet werden.

Die Kondensationskammerdecke hat keine feste Verbindung mit dem biologischen Schild, sondern ist durch einen schmalen Spalt von ihm getrennt. Der Spalt muß durch geeignete Maßnahmen abgedichtet werden.

Die exzentrische Anordnung des Reaktordruckgefäßes resultiert aus der Notwendigkeit, die Hauptdampfleitung möglichst auf dem kürzesten Wege zur Turbine zu führen. Der gesamte Sicherheitsbehälter wird durch das Reaktorgebäude eingeschlossen, in dem sich die Versorgungs- und Hilfssysteme befinden.

Bei der überschlägigen Berechnung des Entwurfs dieses Sicherheitsbehälters mit Druckabbausystem wurde davon ausgegangen, daß er in der Lage sein soll, den bei einem größten anzunehmenden Unfall entstehenden Druck und die Temperaturen so zu ertragen, daß keine aktiven Produkte unkontrolliert freigesetzt werden. Die zulässigen Stahl- und Betonspannungen wurden so gewählt, daß sich die Betonkonstruktion bei den Unfallbelastungen im Zustand II befindet. Die dabei auftretenden Risse müssen durch eine geeignete Beschichtung abgedichtet werden. Der wesentliche Anteil der Spannungen resultiert dabei aus der Temperaturbelastung bei Unfall und nicht aus der Druckbelastung.

Bei der Berechnung müssen folgende Lastfälle berücksichtigt werden:

a) Betriebslasten

- ständige Lasten aus Eigengewicht der Betonkonstruktion, der Stahleinbauten und der Wasserlast in der Kondensationskammer
- Temperaturbelastung aus den Betriebstemperaturen

b) Unfallbelastungen

- Temperaturbelastungen, die zeitlich stark veränderlich sind und zusammenwirken mit den
- Druckbelastungen, ebenfalls zeitlich stark veränderlich und unterschiedlich in der Druck- und Kondensationskammer.
- Strahlkräfte und Splitter

c) Erdbebenbelastung

d) Eventuell von außen einwirkende Lasten.

Nach der überschlägigen Dimensionierung mit der Festlegung der wichtigsten Abmessungen muß die anlagentechnische Planung zusammen mit konstruktiven Verbesserungen am System durchgeführt werden. Dabei stellten sich Fragen wie z.B. soll der äußere Zylinder vorge-spannt werden, um einen inneren Liner zu sparen, und wenn ja, welches Vorspannsystem eignet sich am besten dafür, oder wie groß müssen die Sicherheitsfaktoren gewählt werden, bzw. welche Stahl - und Betonspannungen sind zulässig? Bei der Berechnung erhebt sich wegen der Vielzahl von Durchdringungen im oberen Zylinderteil die Frage, wie sich die Wanddicke des äußeren Zylinders und die Form und der Abstand der Durchbrüche gegenseitig beeinflussen.

Nicht zuletzt ist es notwendig, die Bedingungen für eine Druckprobe des Behälters mit den Behörden festzulegen.

Die Beantwortung dieser Fragen läßt sich nicht ohne weiteres aus den bei Spannbetondruckbehältern gewonnenen Erfahrungen ableiten, da der Sicherheitsbehälter nur für eine einmalige Druck- und Temperaturbelastung ausgelegt werden muß, während das Spannbetondruckgefäß ständig derartigen Belastungen ausgesetzt ist.

Da es bislang keine Prototypen für Sicherheitsbehälter aus Stahl- oder Spannbeton mit Druckabbausystem für Siedewasserreaktoren gibt, wird noch ein großer Aufwand an Arbeit notwendig sein, um alle Probleme zu lösen.

Nach der Lösung der wichtigsten Probleme wird man den Behälter in seinen Abmessungen optimieren müssen, um erkennen zu können, ob dieser Stahlbetonsicherheitsbehälter wirtschaftlicher ist, als der bisherige Stahlbehälter mit Betonauskleidung, denn nur dann wird diese neue Technik eingeführt werden.

4.0 Zusammenfassung

Aus dem Vergleich der einzelnen gezeigten Kernkraftwerksanlagen läßt sich erkennen, daß der Schutz von Stahlcontainments auf verschiedene Arten möglich ist, und daß der Aufwand für die Berechnung von Schutzkonstruktionen um so größer wird, je stärker die Form der Konstruktion in anlagentechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht optimiert wird. Beim Übergang zu einem Betoncontainment müssen eine Menge Fragen von den berechnenden sowie von den konstruierenden Ingenieuren aller Fachrichtungen in enger Zusammenarbeit gelöst werden, bevor es möglich ist das Betoncontainment ebenso wirtschaftlich und in ebenso optimierter Form zu bauen.

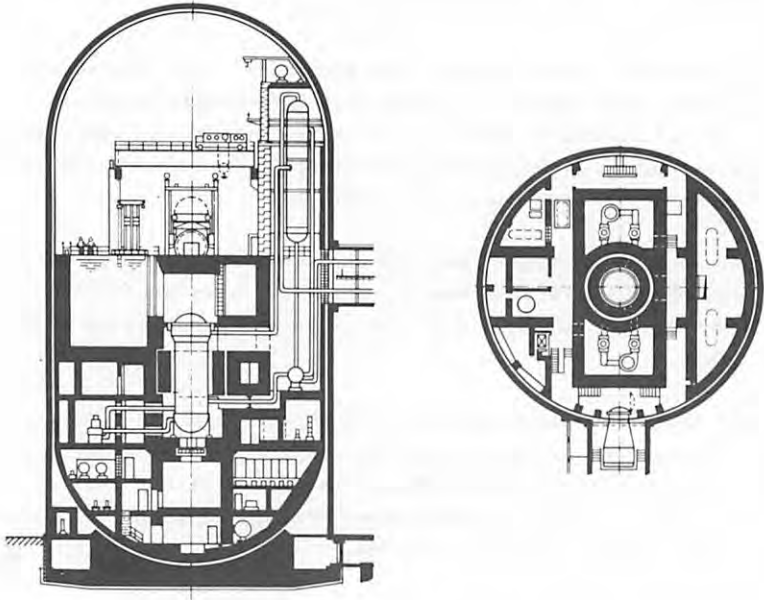


Bild Nr. 1

Kernkraftwerk Lingen (KWL)

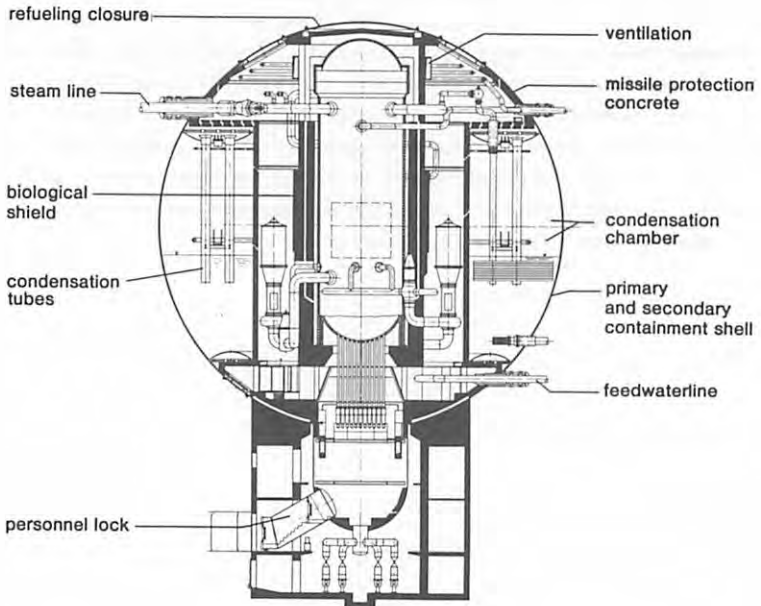


Bild Nr. 2

Kernkraftwerk Würgassen (KWW)

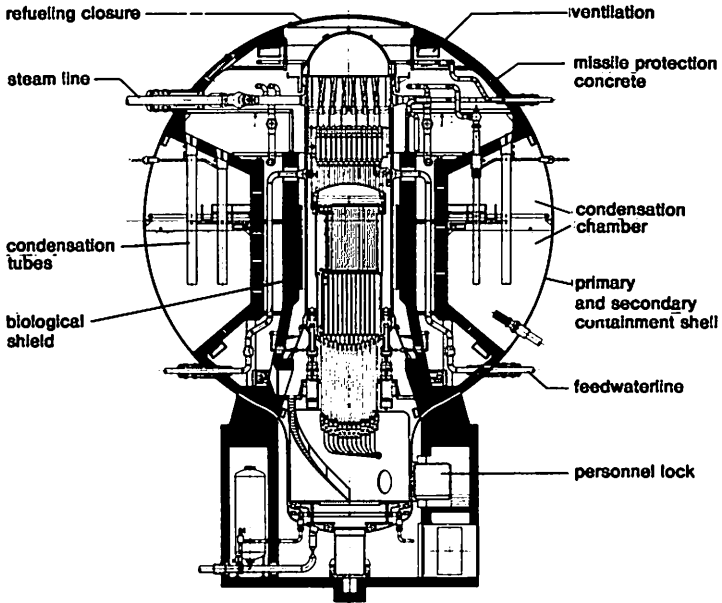


Bild Nr. 3 Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB)

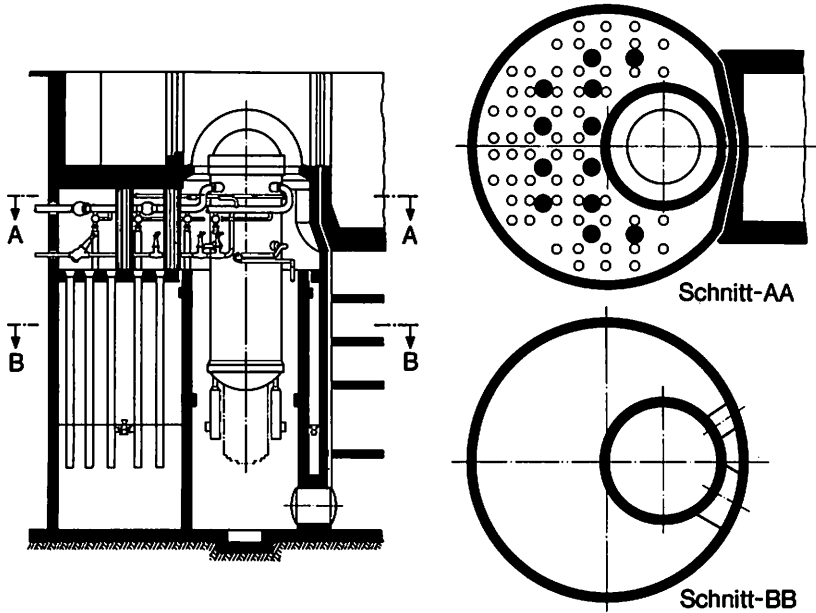


Bild Nr. 4 Entwurf eines Sicherheitsbehälters mit Druckabbausystem aus Stahlbeton für einen Siedewasserreaktor

DISCUSSION

Q R. S. BEKOWICH, U. S. A.

1. What are the loads considered in case of accidents ?
2. Specifically, have you considered missiles penetration of the containment ?

A W. F. MÜLLER, Germany

Für das Betoncontainment gibt es im Wesentlichen folgende Belastungen bei einem Unfall : Druck, Temperatur, Strahlkräfte und Splitter. Die Strahl- und Splitterkräfte werden ebenso gross sein wie bei unserem Stahlcontainment. Wie Herr Dr. Koch in seinem Vortrag bereits erwähnte, hängt die Druck- bzw. auch die Temperaturbelastung vom Luftverhältnis der Druckkammer und der Kondensationskammer ab. Da wir noch kein fertiges Konzept für das Betoncontainment haben, können somit auch noch keine endgültigen Werte für Druck und Temperatur angegeben werden. Wir haben die erste Auslegung für 1.5 kp/cm² Druck und ca. 160°C vorgenommen.

Wir wissen, dass Geschosse sowohl einen Liner zerschlagen können sowie auch möglicherweise die Bewehrung beschädigen können. Da wir noch am Anfang unserer Studien über das Betoncontainment stehen, haben wir diesem Problem noch nicht die nötige Aufmerksamkeit schenken können.

Q M. HÜBEL, Germany

Meine Frage bezieht sich auf die Funktion von Betonstrukturen als Geschossschutz. Es gibt experimentelle und theoretische Ansätze zur Ermittlung von Eindringtiefen. Welche Basis halten Sie für den Sicherheitsnachweis Ihrer Auslegung für angemessen ?

A W. F. MÜLLER, Germany

Da bei der Auslegung unseres Schutzbetons im Sicherheitsbehälter nicht die Splittereinwirkung sondern die Strahlkräfte massgeblich sind, können wir uns damit begnügen, nach empirisch ermittelten Gesetzen die Eindringtiefe abzuschätzen. Dass diese Abschätzung genügt, zeigen die Ergebnisse aus der Petry-Formel, nach denen die Sicherheit gegen vollständiges Durchschlagen des Betons sehr gross ist.

Q L. MEYER, Germany

Gehen Sie bei Entwurf des Betoncontainments davon aus, auf eine Linerkühlung verzichten zu können ?

A W. F. MÜLLER, Germany

Ich glaube nicht, dass eine Linerkühlung notwendig sein wird, da wir Betriebs-

temperatur bis ca. 60°C erwarten und diese Temperaturen weder für den Beton noch für einen Stahl- bzw. Kunststoffliner gefährlich sind.

Q

C. V. CHELAPATI, U. S. A.

Please comment on the use of Petry formula, since one has to be very careful not to apply this formula for all ranges of variables.

A

W. F. MÜLLER, Germany

Wir wissen dass die Petry-Formel nicht uneingeschränkt für Geschoss- bzw. Splitterberechnungen gültig ist. Wir haben die Ergebnisse der Petry-Formel mit Berechnungen aus dem militärischen Bereich überprüft und festgestellt, dass die Größenordnungen der Ergebnisse übereinstimmen. Dieses Ergebnis konnte uns befriedigen, da für die Auslegung des Innenbetons nicht die Splittereinwirkungen sondern die Strahlkräfte massgeblich sind.