

Hintergrundinformationen zu ausgewählten Themen zum nuklearen Störfall in Japan

Nr. 017
(23.03.2011, 14:00 Uhr)

Was unterscheidet die deutschen Siedewasserreaktoren von den Reaktoren in Fukushima?

(KIT HZDR FZJ)

Gemeinsames Merkmal aller Siedewasserreaktoren ist, dass Wasser im Reaktorkern siedet, der dabei entstehende Dampf mit Zyklonabscheidern und Dampftrocknern innerhalb des Reaktordruckbehälters von flüssigem Wasser getrennt wird und der verbleibende Sattdampf direkt der Dampfturbine zugeführt wird. Das abgetrennte, flüssige Wasser wird über Umwälzpumpen wieder dem Reaktorkern zugeführt. Alle Siedewasserreaktoren sind umgeben von einer Sicherheitsumschließung, auch Containment genannt, in dem sich eine Kondensationskammer befindet. Darin wird Dampf aus dem Reaktor kondensiert, der bei Störungen oder bestimmten Betriebszuständen gewollt oder ungewollt ins Containment austritt (Druckabbausystem). Dadurch wird der Druck in diesem Containment solange niedrig gehalten, bis das Wasser in der Kondensationskammer selbst siedet. Diese Konstruktion ermöglicht ein kompakteres Containment als beim Druckwasserreaktor ohne Druckabbausystem, das beim Bruch des Primärsystems sämtlichen Dampf aufnehmen muss ohne zu bersten.

Der Siedewasserreaktor mit Containment vom Typ Mark I der General Electric, der in den Blöcken 1 bis 4 des Kernkraftwerks Daiichi in Fukushima zu finden ist, hat ein birnenförmiges Spannbetoncontainment mit einem abnehmbaren Stahldeckel und innenliegender Stahlhülle, Abb. 1. Ein torusförmiger Stahlbehälter unterhalb des Containments bildet die Kondensationskammer, in den offene Rohre aus dem Containment führen. Oberhalb des Containments befindet sich die Bedienungsebene für den Brennelementwechsel. Neben dem Containmentdeckel befindet sich ein Absetzbecken für die Dampfabscheider und –trockner sowie gegenüber ein Brennelementlagerbecken. Zum Brennelementwechsel wird der Raum über dem Reaktordeckel mit Wasser geflutet und der Betondeckel über dem Containment, der Stahldeckel des Containments sowie die Betonwände zu den benachbarten Becken entfernt. Das Reaktorgebäude bildet ein äußeres Containment (engl. secondary containment [1]). Es ist oberhalb der Bedienungsebene eine weitgehend gasdichte Leichtbaukonstruktion, unterhalb der Bedienungsebene eine Betonkonstruktion. Abb. 2 zeigt einen Blick auf die Bedienungsebene.

Die Umwälzpumpen des Reaktors sind Strahlpumpen innerhalb des Reaktors, die von 5 Umwälzpumpen außerhalb des Reaktors angetrieben werden. Das Notkühlsystem besteht aus jeweils 2 Hochdruck- und 2 Niederdruckeinspeisesystemen. Die Hochdruckeinspeisesysteme arbeiten passiv, indem sie Dampf aus der Frischdampfleitung jeweils in einer Dampfturbine entspannen, die wiederum eine Pumpe antreibt, welche das kalte Wasser aus der Kondensationskammer oder aus einem externen Kondensattank in die Speisewasserleitung pumpt. Dabei werden der Druck und die Temperatur im Reaktor abgesenkt. Das Niederdruckeinspeisesystem arbeitet aktiv, indem es Wasser aus der Kondensationskammer über elektrisch getriebene Pumpen in den Reaktor zurückführt. 2 unabhängige Nachwärmeabfuhrsysteme mit 2 elektrisch getriebenen Pumpen halten das Wasser der Kondensationskammer kalt. 2 Dieselgeneratoren je Reaktorblock bilden die Notstromversorgung [1]. Zwischen den 4 Blöcken des Kraftwerks Daiichi gibt es im Detail konstruktive Abweichungen von diesem Grundkonzept.

Wenn sowohl die externe Stromversorgung als auch die Notstromversorgung ausfallen, was in Fukushima der Fall war, erzeugen die aufsteigenden Dampfblasen zunächst eine ausreichende Strömung und damit eine Kühlung im Kern. Der Dampf strömt durch die Turbine des Hochdruckeinspeisesystems in die Kondensationskammer, wobei die dadurch angetriebene Pumpe allerdings nur bei hinreichend kaltem Wasser und hinreichend hohem Dampfdruck fördern kann. Erfolgt langfristig keine ausreichende Nachspeisung von Wasser in

den Kern, so dampft der Reaktordruckbehälter aus. Dabei wird das Wasser in der Kondensationskammer bis zur Siedetemperatur aufgeheizt und der Druck in der Kondensationskammer steigt. Durch Abblasen in das äußere Containment kann ein Bersten des inneren Containments verhindert werden, wodurch bei beschädigtem Kern aber auch Wasserstoff und Spaltprodukte in das äußere Containment gelangen.

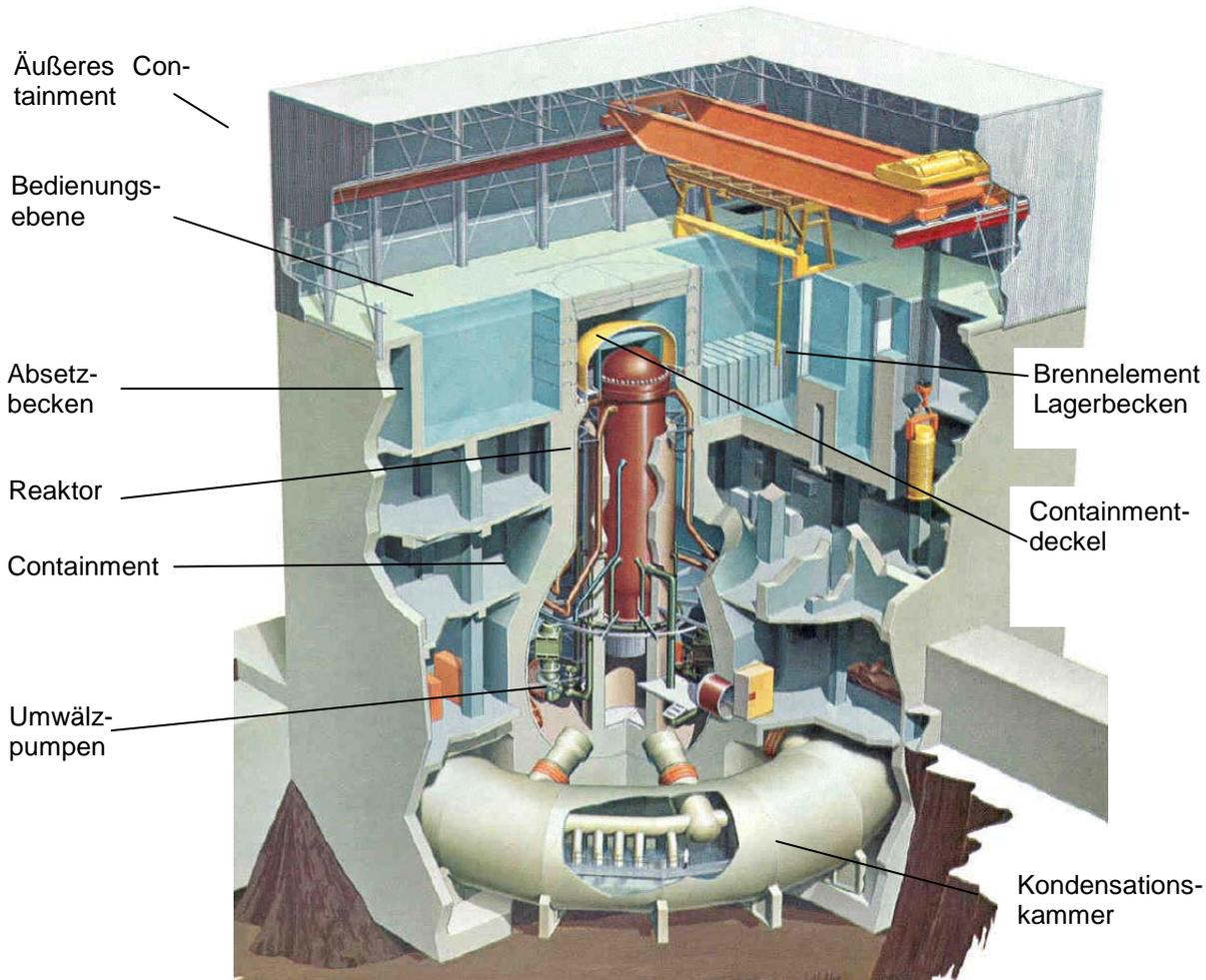


Abb. 1: Siedewasserreaktor mit Containment vom Typ Mark I, General Electric [1]



Abb. 2: Blick auf die Bedienungsebene mit Lademaschine eines SWR Containments vom Typ Mark I [2]

In Deutschland ist der Siedewasserreaktor Würgassen der ersten Generation noch am ehesten mit dem Reaktortyp in Fukushima vergleichbar. Er wurde 1997 stillgelegt. Die darauf aufbauenden Siedewasserreaktoren der Baulinie 69 (skizziert in Abb. 3) haben folgende charakteristische Merkmale:

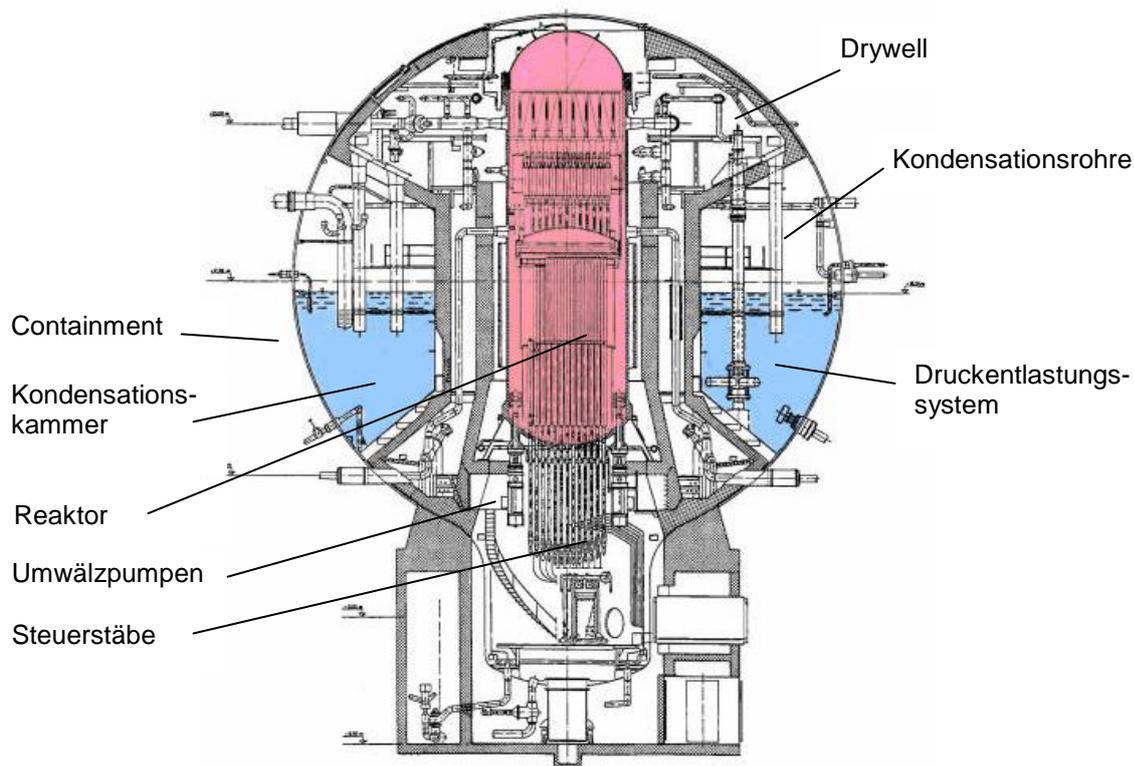


Abb. 3: Siedewasserreaktor der Baulinie 69 mit Containment [3]

Die außenliegenden Umwälzpumpen des Reaktors wurden durch im Reaktordruckbehälter liegende Pumpen ersetzt. Das vermeidet das Risiko, dass eine der tiefliegenden Rohrleitungen zur Pumpe bei heftigen Erschütterungen abreißen kann und dadurch der Reaktor leerlaufen kann. Das Stahl-Containment ist kugelförmig (genauer: hat die Form einer Glühbirne) und ist mit Stickstoff inertisiert, so dass eine Verbrennung/Explosion von Wasserstoff ausgeschlossen ist. Die Kondensationskammer umgibt den Reaktor ringförmig. Beidseitig offene Kondensationsrohre vom Außenraum um den Reaktor (engl. Drywell) bauen den Druck im Containment bei einem Leitungsbruch ab. Außerdem kann der Druck im Reaktor auch direkt durch Druckentlastungsleitungen von den Dampfleitungen in die Kondensationskammer abgebaut werden. Die elektrisch betriebenen Hochdruck- und Niederdruckeinspeisesysteme ebenso wie das Nachwärmeabfuhrsystem sind in deutschen Anlagen mehrfach redundant, teilweise sogar vierfach vorhanden. Zusätzlich gibt es eine passiv arbeitende Hochdruckpumpe, die mit einer Dampfturbine betrieben wird. Zur Notstromversorgung stehen mindestens 4 redundante, z.T. verbunkerte Dieselgeneratoren zur Verfügung, sowie Möglichkeiten zur externen Netzeinspeisung.

Wenn sowohl die externe Stromversorgung als auch die Notstromversorgung ausfallen und die Bespeisung nicht aufrecht erhalten werden kann, wird der Reaktor ebenfalls in der Anfangsphase durch das siedende Kühlwasser ausreichend gekühlt. Dabei wird der Dampf über das Druckentlastungssystem in der Kondensationskammer kondensiert und der Druck reduziert. Ein erneuter Druckanstieg im Reaktor wird solange vermieden, bis auch das Wasser in der Kondensationskammer die Siedetemperatur erreicht. Anschließend kann der Containmentdruck durch eine Druckentlastung abgebaut werden. Dies erfolgt jedoch bei deutschen Anlagen nicht in das äußere Containment, sondern über eine Filterstrecke in den Kamin, so dass eventuelle Spaltprodukte weitgehend zurückgehalten werden und Wasserstoff abströmt ohne zu verbrennen. Dadurch wird das Risiko einer Wasserstoffdetonation im äußeren Containment, die in Fukushima die Hülle des oberen Gebäudes zerstörte, vermieden. Fehlendes Wasser im Reaktor kann bei einigen Anlagen auch aus dem hochliegenden Speisewasserbehälter im Maschinenhaus nachgespeist werden.

Das Brennelementlagerbecken befindet sich wiederum im äußeren Containment, das vom Reaktorgebäude gebildet wird, Abb. 4. Im Unterschied zu den Reaktoren in Fukushima ist jedoch auch der obere Teil des Reaktorgebäudes eine Betonkonstruktion. Wird im Brennelementbecken Aktivität freigesetzt, führt das nicht wie in Fukushima unmittelbar zur Freisetzung an die Umgebung.

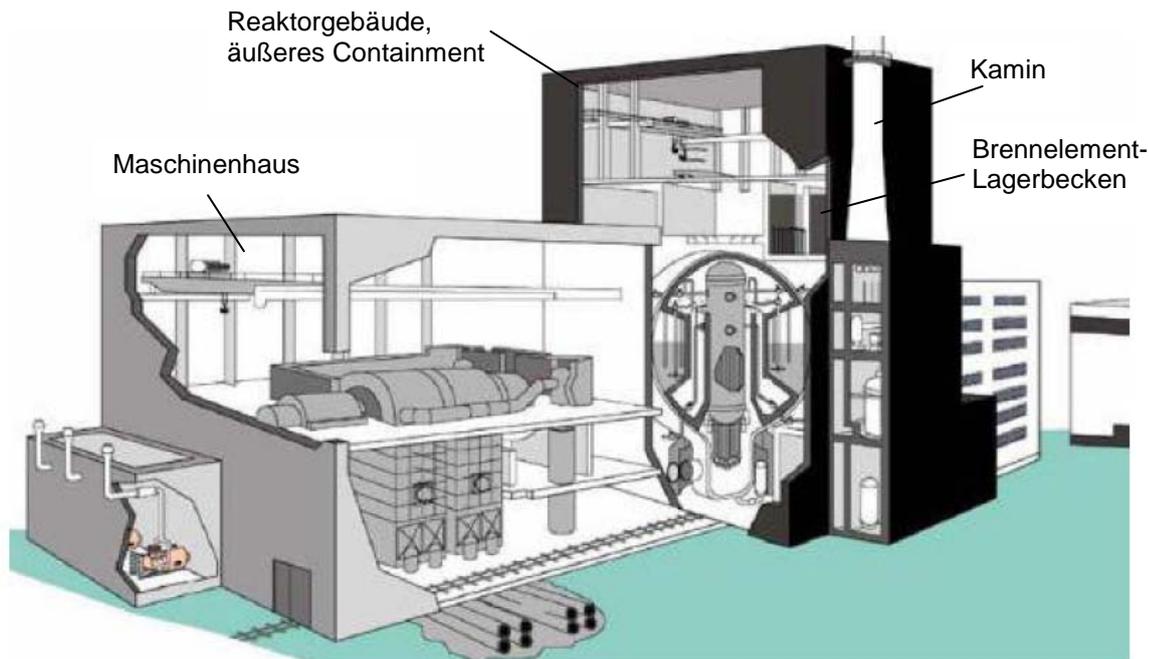


Abb. 4: Reaktorgebäude und Maschinenhaus eines SWR der Baulinie 69 [3].

Zu den Reaktoren der Baulinie 69 zählen in Deutschland die Kernkraftwerksblöcke Brunsbüttel (771 MWe), Isar 1 (878 MWe), Philippsburg 1 (926 MWe), und Krümmel (1346 MWe), die sich im Detail jedoch konstruktiv unterscheiden.

Eine Weiterentwicklung dieses Reaktortyps sind die Siedewasserreaktoren der Baulinie 72. Dies sind die Blöcke B und C des Kernkraftwerks Gundremmingen. Abb. 5 zeigt einen Querschnitt des Reaktorgebäudes. Das Containment ist nun zylindrisch. Die ringförmige Kondensationskammer erfüllt die gleichen Aufgaben wie bei der Baulinie 69. Die Wandstärken des Reaktorgebäudes wurden gegenüber der Baulinie 69 noch einmal verstärkt. Das Brennelementbecken ist im Schnitt, Abb.5, verdeckt.

Jeder der beiden Blöcke hat 3 redundante Notkühl- und Nachwärmeabfuhrsysteme, die die Wärme an das Flusswasser abgeben, jeweils mit elektrisch betriebener Hochdruck- und Niederdruckeinspeisung von Kühlwasser sowie ein zusätzliches, diversitäres Nachkühlsystem mit einem Verdampfungskühler. In Gundremmingen stehen je Block fünf Dieselgeneratoren für die Notstromerzeugung mit Kühlwasserversorgung aus der Donau zur Verfügung, um die Kühlung des Reaktors auch bei Ausfall des Stromnetzes sicherzustellen. Davon sind jeweils zwei besonders gegen Erdbeben geschützt. Darüber hinaus ist ein weiteres Dieselaggregat mit Luftkühlung vorhanden, das ebenfalls gegen Erdbeben ausgelegt ist. Von diesen sechs Systemen ist nur eines für die Beherrschung von Störfällen erforderlich [5].

Auch bei Komplettausfall des Netzes und aller sechs Notstromversorgungen kann die Kühlung aufrecht erhalten werden. Dazu kann nach erfolgter Druckabsenkung im Reaktordruckbehälter (dafür nur Batterieversorgung erforderlich) eine Bespeisung und Kühlung des Reaktordruckbehälters über den Speisewasserbehälter erfolgen.

Darüber hinaus steht in Gundremmingen zusätzlich eine mobile Pumpe zur Verfügung. Diese Feuerlöschpumpe mit eigenem Versorgungsaggregat kann über Schlauchverbindungen Wasser aus der Donau in den Reaktordruckbehälter zur Kühlung einspeisen.

Ferner ist die Ausfallwahrscheinlichkeit der externen Stromversorgung dadurch verringert, dass das Kernkraftwerk Gundremmingen über mehrere Netzanschlüsse auf unterschiedlichen Spannungsebenen verfügt. Damit stünden, wenn eine Stromleitung ausfällt, andere Leitungen zur Versorgung zur Verfügung.

Gegen Hochwasser der Donau ist die Anlage geschützt durch Höherlegung der Gebäude über das erwartete Niveau eines Jahrhunderthochwassers sowie zusätzliche Schutzmauern.

Bezüglich der Beherrschung von Wasserstoff und Druckanstieg im Störfall gelten die gleichen Maßnahmen wie bei Baulinie 69: Wasserdampf und Gase werden über ein hochwirksames Filter in den Kamin geleitet.

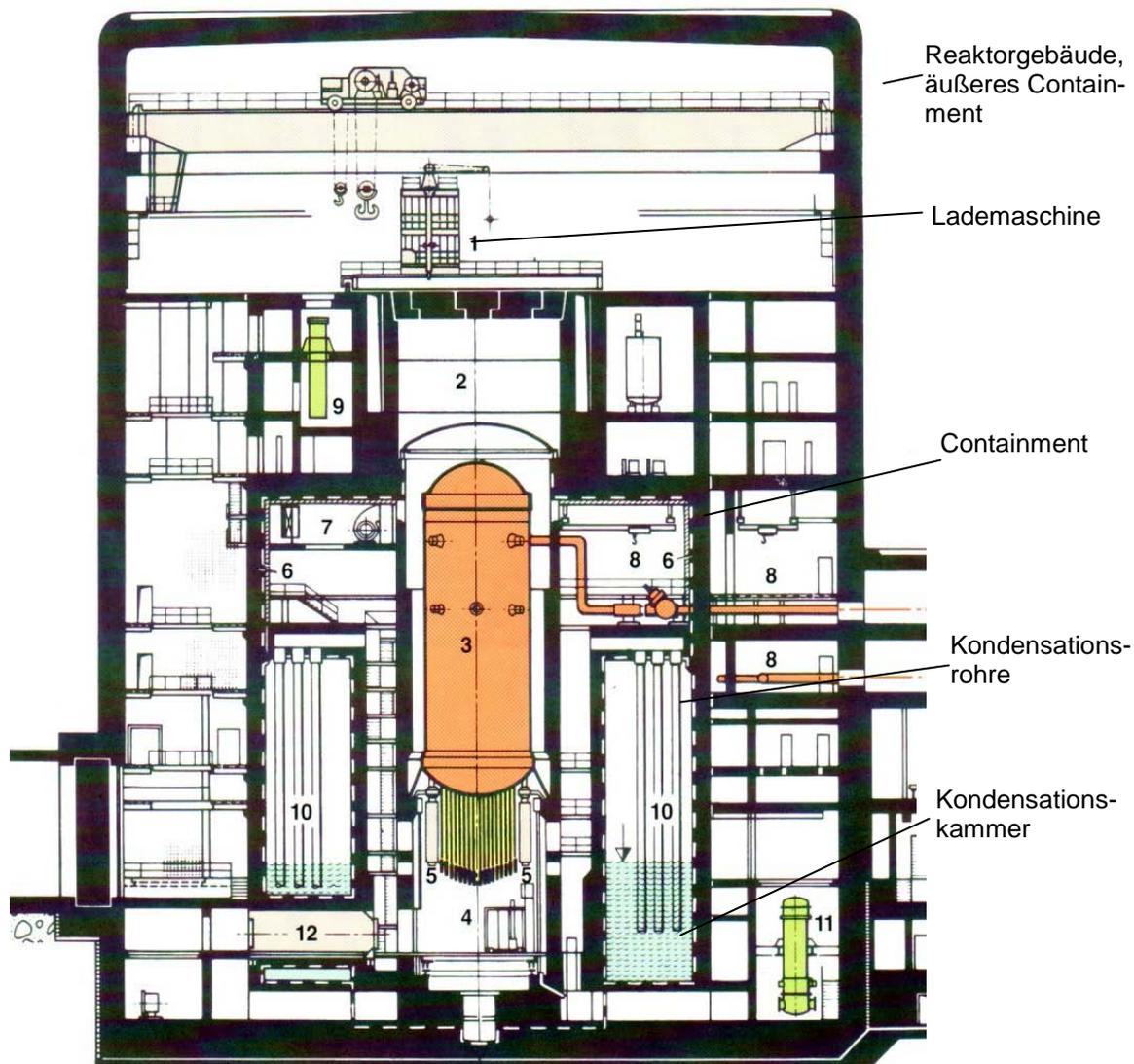


Abb. 5: Reaktorgebäude des SWR Gundremmingen, Baulinie 72 [4].

Referenzen:

1. Boiling Water Reactor Systems, Reactor Concepts Manual, USNRC Technical Training Center
2. www.nucleartourist.com
3. H. Löffler, M. Sonnenkalb, Methods and Results of a PSA Level 2 for a German BWR of the 900 MWe Class, EUROSAFE 2006, Paris, 13.-14. Nov. 2006
4. Kernkraftwerke Gundremmingen B und C, Siemens AG, A19100-U51-A231-V3, 1999
5. www.kkw-gundremmingen.de