

Däniken,
Dokument-Nr.
Bearbeiter
EDMS/AK-Nr.

31. März 2011
BRI-D-50782
Dr. Guido Meier
516129

Einschreiben
Eidgenössisches Nuklear-
sicherheitsinspektorat ENSI
Industriestrasse 19
5200 Brugg

Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima
Stellungnahme zum Punkt 3.5

Sehr geehrte Damen und Herren

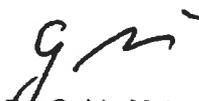
Mit Brief vom 18. März 2011 haben sie eine Verfügung an alle Werke versandt. Darin fordern sie unter Punkt 3.5 bis 31. März 2011 eine Überprüfung und Stellungnahme der Werke zur Kühlung des Reaktors und der gelagerten Brennelemente. Diese Punkte haben wir nochmals analysiert und im beiliegenden Bericht BER-D-50708 dargestellt.

Die Beantwortung der gestellten Fragen ist im Kapitel 6 gegeben. Die vorlaufenden Kapitel bilden nochmals die Grundlage für unsere Stellungnahme. Wir gehen davon aus, dass dem ENSI diese Grundlagen aus früheren Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ 2008, Bewilligungsverfahren Nasslager, Überprüfung Hochwasserschutz) bekannt sind. Die im Bericht zitierten Referenzen liegen beim ENSI vor.

Zusammenfassend dürfen wir sicher sagen, dass unsere Anlage durch die ursprüngliche Auslegung und die verschiedenen Nachrüstungen die gestellten Anforderungen an die Sicherheit erfüllt.

Freundliche Grüsse

KERNKRAFTWERK GÖSGEN-DÄNIKEN AG


Dr. Guido Meier

Kraftwerksleiter



Bericht BER-D-50708

Betrifft

ENSI: Ereignisse in Fukushima - Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG

Dokument-Nr. BER-D-50708

EDMS-Nr. 515764

AKZ

Anzahl Seiten 38

Inhaltsübersicht

1. **Einleitung** 3

2. **Zusammenfassung des Ereignisablaufs** 3

3. **Bewertung des Ereignisses** 5

4. **Auslegung des KKG gegen externe Einwirkungen** 7

5. **Bewertung des Schutzes des KKG gegen Erdbeben und Hochwasser** 25

6. **Beantwortung der Fragen des ENSI aus der Verfügung vom 18.3.2011** 33

7. **Referenzen** 37

Geht an

Interner Verteiler gemäss Dokumentenprofil

ersetzt Dok.-Nr.				
Rev.		Datum	Name	Unterschrift
v1	erstellt	28.03.2011		
	geprüft	29.03.2011		
	genehmigt	29.03.2011	Meler Guido	

Änderungsübersicht

Rev.	Seite	Beschreibung der Änderung
------	-------	---------------------------

1. Einleitung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Erkenntnisse aus der Erstausswertung der Ereignisse im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi, welches zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts als Ereignis der Kategorie INES 5 auf der siebenstufigen INES Skala der IAEA [1] eingestuft wurde. In Übereinstimmung mit der „Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5)“ Art. 2 c wurde durch KKG unverzüglich eine Überprüfung der Übertragbarkeit der Ereignisse und der aus dem Ereignisablauf zu gewinnenden Erkenntnisse eingeleitet.

Mit der „**Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima**“ v. 18.3.2011 hat die Schweizer Aufsichtsbehörde die folgende Anordnung unter Punkt 5 verfügt (Zitat):

Das Kernkraftwerk Gösgen hat bis zum 31. März 2011 dem ENSI einen Bericht vorzulegen, in dem folgende Fragen beantwortet werden:

- a. *Ist im Kernkraftwerk Gösgen die Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme aus einer diversitären, erdbeben-, hochwasser- und verunreinigungssicheren Quelle gesichert (Zusatzversorgung über Grundwasserbrunnen)?*
- b. *Sind im Kernkraftwerk Gösgen allfällige ausserhalb des Primärcontainments befindliche Brennelementlagerbecken genügend gegen externe und interne Einwirkungen geschützt?*
- c. *Ist im Kernkraftwerk Gösgen die Brennelementbeckenkühlung eine besonders geschützte Sicherheitsfunktion und kann sie über das gebunkerte Notstandssystem versorgt und gesteuert werden?*

Der vorliegende Bericht dient der Beantwortung der Fragen des ENSI und dokumentiert die im KKG gewonnenen ersten Erkenntnisse aus den Ereignissen in Fukushima Daiichi.

2. Zusammenfassung des Ereignisablaufs

Auf der Basis der gegenwärtig vorliegenden Informationen wird der Ereignisablauf bis zum Eintritt des Kernschadens und damit bis zum Eintritt der Notfallsituation am Beispiel von Block I von Fukushima Daiichi dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Ablauf in den anderen in Betrieb befindlichen Blöcken mit Ausnahme des Vorgehens bei der Druckentlastung des Primärcontainments ähnlich war. Es ist anzumerken, dass die nachfolgend aufgeführte Ereignisbeschreibung gegenwärtig noch mit grossen Unsicherheiten behaftet ist.

Das starke Erdbeben vom 11. März 2011 hat am Standort des Kernkraftwerks Fukushima Daiichi (Siedewasserreaktoranlage mit Mark I Containment) zu einem Verlust der externen Spannungsversorgung und einem Notstromfall geführt. Die durch das Ereignis ausgelöste Reaktorschneellabschaltung (ausgelöst durch die seismische Instrumentierung oder als Folge des Verlusts des Net-

zes) funktionierte auslegungsgemäss. Der durch das Erdbeben ausgelöste Tsunami erwies sich als auslegungsüberschreitend und führte zum Ausfall der Notstromdieselaggregate nach ca. 1 h Laufzeit und der Kühlwasserversorgung. Als Folge dieser Situation trat ein Station Blackout (Totalausfall aller Drehstromquellen) ein. Die Kühlung des Reaktors wurde durch das Reaktorkernisolationssystem (RCIC) übernommen, welches über eine durch eine Dampfturbine angetriebene Pumpe verfügt. Nach Aufheizung des Torus bis auf 100°C (infolge Abblasens aus den Frischdampfleitungen in den Torus trotz Kühlung über einen Isolationskondensator) wurde das RCIC automatisch (oder manuell) auf Ansaugung aus dem Kaltkondensatbehälter umgeschaltet. Nach Erschöpfung der Batteriekapazität konnte (wahrscheinlich) die Einspeiseleitung nicht mehr offen gehalten werden (Regelarmatur?), so dass die Einspeisung in den Reaktor endgültig ausfiel. Spätestens zu diesem Zeitpunkt setzte eine unkontrollierte Kernaufheizung ein. Die Beckenkühlung für das BE-Lagerbecken fiel als Folge des Station Blackouts ebenfalls aus. Aufgrund des anfänglich grossen Wasservolumens war hier die Aufheiztransiente aber deutlich langsamer als für den Reaktorkern.

Die fehlende Kühlung führte zu einem Druckaufbau im Primärcontainment und zur Wasserstoffbildung im Reaktorkern infolge der Zirkonium-Wasserdampfreaktion (diese setzt intensiv bei ca. 1000°C) ein. Nachdem der Druck im Primärcontainment den Auslegungsdruck um 50% überstieg, wurden Evakuierungsmassnahmen angeordnet und eine Druckentlastung des Primärcontainments vorbereitet. Die Druckentlastung wurde beim 2.1-fachen Auslegungsdruck des Primärcontainments vorgenommen. Das Abblasen grösserer Mengen von Wasserstoff in das mit Luft gefüllte, nicht inertisierte, Sekundärcontainment führte zu einer Wasserstoffdeflagration, was zu einem schweren Schaden am Reaktorgebäude führte. Das im oberen Teil des Reaktorgebäudes befindliche Brennelementlagerbecken wurde dabei freigelegt, so dass die dort frei werdende Aktivität ungefiltert in die Umgebung gelangen kann. Nach den vorliegenden Informationen nahm das Primärcontainment bei der Deflagration keinen Schaden (*Anmerkung*: die Explosion am Block 2 hatte möglicherweise andere Ursachen). Nachdem in Fukushima mobile Notstromaggregate und mobile Pumpen installiert wurden, sowie Borvorräte eingetroffen waren, begannen die Notfallequipen mit der Bespeisung mit Meerwasser in die Reaktoren und/oder in das Primärcontainment. Der Kernschadensvorgang konnte mit diesen Massnahmen anscheinend stabilisiert und ein Versagen des Reaktordruckgefässes vermieden werden, wobei der Ablauf und die Situation am Block 2 noch unklar erscheint.

Der Ausfall der Kühlung der Brennelement-Lagerbecken (Abklingbecken) hatte am Block 4 die grössten Auswirkungen, da sich in dem Becken ein wegen der Revision frisch ausgelagerter Kern mit erhöhter Nachwärmeleistung zusätzlich zu Brennelementen mit längerer Abklingzeit befindet.

Die Linderung der Konsequenzen des Unfallablaufs in Fukushima fusst auf Grund der zerstörten Infrastruktur in hohem Masse auf Notfallmassnahmen unter Einbezug externer Mittel.

3. Bewertung des Ereignisses

Die direkte Ursache der Ereignisse in Fukushima bestand im Auftreten eines extrem starken Erdbebens (mit Magnitude 9 das fünfgrösste in historischer Zeit registrierte Erdbeben), welches die Reaktorabschaltung der in Betrieb befindlichen Blöcke in Fukushima sowie das Abfahren weiterer TEPCO Reaktorblöcke und thermischer Kraftwerke verursachte, und im durch dieses Erdbeben ausgelösten extrem starken Tsunami, welcher die Küste der Insel Honshu über mehrere hundert Kilometer Distanz verwüstete und das Stromversorgungssystem und die Infrastruktur (Strassen) in der Umgebung des Kraftwerkes, sowie die Notstrom- und Kühlwasserversorgung des Kraftwerkes Fukushima völlig zum Erliegen brachte.

Als „root cause“ für den Ereignisablauf kann die Unterschätzung der Erdbebengefährdung in der Subduktionszone entlang der Insel Honshu angesehen werden. Zwar lagen die gemessenen Erdbebenbeschleunigungen am Standort des KKW gemäss den vorliegenden Informationen [2, 3, 4, 5] im Auslegungsbereich resp. unterhalb des von der japanischen Aufsichtsbehörde nach dem Niigata-Chuetsu-Oki Erdbeben von 2007 festgelegten Reviewerdbebens von 600 gal (an der Bodenplatte des Reaktorgebäudes, M 7.1 in Standortnähe) und führten mit Ausnahme des Unterbruchs der externen Netzverbindung der Blöcke 1 bis 3 nicht zu sichtbaren Erdbebenschäden. Die Magnitude des Ereignisses lag jedoch deutlich höher als die für den gleichen Bruch postulierte Magnitude 8.25. Nach Auskunft von Prof. Irikura [4] war man bei der Beurteilung der Erdbebengefährdung in der Subduktionszone vom Aufreissen des grössten Segmentes des vor der Küste von Honshu lokalisierten Bruches ausgegangen, während sich der durch das Erdbeben verursachte Riss auf alle vier Segmente des Bruchs erstreckte. Dies hatte zur Folge, dass sowohl die relevante Risslänge mit ca. 500 km (statt ca. 220 km) als auch das betroffene Erschütterungsgebiet wesentlich grösser als postuliert waren. Als wahrscheinliche Folge dieser Beurteilung wurde der durch ein derartiges Erdbeben induzierte Tsunami unterschätzt (Bemessung der Wellenbrecher auf eine Höhe von ca. 5.7 bis 6.5 m gemäss den öffentlich publizierten Informationen).

Ein direkt vergleichbares Ereignis wie in Japan ist in der Schweiz aufgrund der anderen geologischen Bedingungen (grosse Entfernung von Plattengrenzen, nicht im Bereich einer Subduktionszone, keine Meeresküsten) ausgeschlossen. Dennoch bietet das Ereignis Anlass die Auslegung des KKG gegen extreme externe Ereignisse zu überprüfen. Bei der Überprüfung der Übertragbarkeit der Ereignisabläufe von Fukushima auf KKG sind die zum Teil erheblichen Unterschiede im Anlagenkonzept und in der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG zu beachten. KKG ist im Unterschied zu den Blöcken in Fukushima eine Druckwasserreaktoranlage und verfügt somit mit den Dampferzeugern über eine zusätzliche Barriere gegen eine Radioaktivitätsausbreitung aus der Reaktoranlage. Mit Hilfe der Dampferzeugerbespeisung kann die nach einer Reaktorschnellabschaltung anfallende Nachzerfallswärme und Speicherwärme bei Ergänzung der verfügbaren Deionatvorräte auch langfristig im Zustand heiss abgestellt über die Sekundärseite abgeführt werden. Mit Notfallmassnahmen kann eine Druckentlastung der Dampferzeuger herbeigeführt werden, die auch zu einer Druckabsenkung im Reaktorkühlkreislauf führt. Die Dampferzeuger können von externen Wasserquellen mit mobilen Pumpen bespeist werden (vom Tanklöschfahrzeug oder mit Motorspritze). Ein entsprechender Anschlussstutzen ist vorbereitet und es stehen diversitäre Wasserquellen (Kühlturm- und gegebenenfalls Entnahme aus der Aare, Feuerlöschringleitung mit Stützung vom Wasserreservoir Sören) für diese Massnahme zur Verfügung. Im Unterschied zu

den Ereignissen in Fukushima führt die Umsetzung dieser Notfallmassnahmen nicht zur Freisetzung von Aktivität aus dem Reaktorkühlkreislauf oder dem Containment. Das Personal muss bei der Ausführung dieser Handlungen nicht in Anlagenbereichen mit einem erhöhten Strahlenfeld arbeiten.

Bei KKG handelt es sich um eine Einzelblockanlage. Die in Fukushima beobachtete extreme Komplexität der Ereignisabläufe, die dadurch entstanden ist, dass gravierende und teilweise unterschiedlich geartete sicherheitstechnische Probleme an insgesamt sechs Reaktorblöcken auftraten, ist in dieser Dimension nicht auf KKG übertragbar. Im KKG befinden sich alle Brennelementlagerbecken in Gebäuden, die gegen externe und interne Einwirkungen geschützt sind. KKG verfügt über insgesamt vier Kühlwasserfassungen:

- Die Kühlwasserfassung im Gebäude M0 im Oberwasserkanal der Aare,
- die erdbebensicher ausgeführte Kühlwasserfassung im Gebäude M5 unterhalb des Wasserkraftwerkes Gösgen
- sowie über zwei Grundwasserfassungen (Notstandsbrunnen, Brunnenwassersystem VX) im gegen extreme externe Auswirkungen geschützten Notstandsgebäude ZX.

Die räumliche Trennung der Wasserfassungen und ihre Diversität bilden einen wirksamen Schutz vor einem Common Mode Versagen wie es in Fukushima beobachtet wurde.

Wesentliche Unterschiede bestehen auch in der Notstromversorgung. KKG verfügt über vier Notstromdieselaggregate, die in zwei räumlich getrennten Gebäuden angeordnet sind. Die für den Betrieb der Notstromdieselaggregate erforderlichen Hilfsfunktionen sind gegen Erdbeben ausgelegt und in Gebäuden, die gegen Erdbeben ausgelegt sind, angeordnet. Sie verfügen, infolge der Aufschüttung des KKG Areals bei der Errichtung des Kraftwerks, über einen hohen Schutzgrad gegen externe Überflutungen.

Zusätzlich verfügt das KKG über das gegen spezielle externe Einwirkungen gesicherte Notstandssystem mit zwei Grundwasserfassungen (Brunnenwassersystem) mit zwei weiteren Dieselaggregaten, welche direkt zwei Notstandsspeisewasserpumpen antreiben und mit deren Hilfe auch die Notstandsbeckenkühlpumpen versorgt werden. Vom Notstand aus kann die verkürzte Nachkühlkette aufgebaut werden, mit deren Hilfe sowohl die Nachwärme aus dem Reaktorkühlkreis als auch aus dem im Containment befindlichen Brennelement-Lagerbecken abgeführt werden kann. Alle dafür erforderlichen Handlungen können in gegen externe Einwirkungen (Erdbeben, Hochwasser) geschützten Bauwerken durchgeführt werden. Generell ist der Redundanzgrad der Sicherheitssysteme im KKG höher als in den Siedewasserreaktoranlagen von Fukushima.

Der hohe Redundanzgrad, die räumliche Trennung und die partiell diversitär ausgeführten Sicherheitssysteme und ihrer Versorgungseinrichtungen (Kühlwasserversorgung, Pumpentypen etc.) bilden einen wirksamen Schutz gegen ein gleichzeitiges Common Mode Versagen der Sicherheitssysteme wie es bei den Ereignissen in Fukushima infolge des Tsunamis beobachtet wurde.

Die wichtigste Erfahrung aus den Ereignissen in Fukushima für KKG besteht in der Erkenntnis, dass ein Kernkraftwerk auf einen lang andauernden Notstromfall ungeachtet der niedrigen Eintrittshäufigkeit eines derartig extremen Ereignisses, vorbereitet sein muss. Diese Vorbereitung

schliesst entsprechend vorgeplante Notfallmassnahmen gegebenenfalls unter Einbindung externer Hilfsmittel ein. Bei der Überprüfung des Schutzes des KKG gegen externe Einwirkungen, deren Ergebnisse nachfolgend dargestellt werden, findet dieser Aspekt besondere Beachtung.

4. Auslegung des KKG gegen externe Einwirkungen

Grundlage für die hier vorgenommene Bewertung der Auslegung des KKG gegen extreme externe Ereignisse und für die Beantwortung der Fragen des ENSI bilden die im Zusammenhang mit der PSÜ 2008 und die in deren Nachgang durchgeführten Analysen und Bewertungen [6, 7, 8] sowie die gültige Anlagendokumentation [9, 10, 11,12]. Die wichtigsten Auslegungsmerkmale bezüglich des Schutzes gegen externe Einwirkungen werden nachstehend kurz zusammengefasst. Anschliessend erfolgt die Beantwortung der Fragen des ENSI.

4.1 Überblick über die Sicherheitseinrichtungen des KKG

4.1.1 Reaktorschnellabschaltung (RESA)

Bei internen oder externen Ereignissen, die zu unerwünschten Folgen in der Anlage führen können, muss der Reaktor abgeschaltet werden. Dazu dienen die Einrichtungen der Reaktorschnellabschaltung (RESA), die Bestandteil des Reaktorschutzsystems sind. Die RESA kann automatisch (YZ11) oder manuell durch den Operateur ausgelöst werden. Im Zuge der Aufwertung des bisherigen Notstandleitstandes im Notstandsgebäude ZX zu einer vollwertigen Notsteuerstelle wurde die Möglichkeit einer manuellen RESA vom Notstandsgebäude aus, nachgerüstet.

4.1.2 Reaktorschutzsystem

Mit umfangreichen Sicherheitssystemen wird im KKG die Einhaltung der folgenden Schutzziele beim Betrieb der Anlage und bei Auslegungsstörfällen sicher gestellt:

- Reaktivitätskontrolle,
- Wärmeabfuhr aus dem Reaktor,
- sicherer Einschluss der Aktivität,

Die Einleitung von Störfallmassnahmen und die Steuerung der dafür benötigten Sicherheitssysteme erfolgen durch das Reaktorschutzsystem. Es tritt dann in Aktion, wenn eine Störung nicht mehr durch betriebliche Steuer- und Regelsysteme oder durch Begrenzungssysteme beherrscht werden kann. Basierend auf dieser Aufgabenteilung hat der KKG-Reaktorschutz zwei Hauptaufgaben:

- die Anlage bei Erreichen eines nicht bestimmungsgemässen Betriebszustands sicher abzuschalten (RESA);
- bei einem Störfall automatische Schutzaktionen auszulösen (Notkühlung, Notspeisung, Notstromversorgung, Containmentisolation usw.) und/oder das Personal durch entsprechende Meldungen zu informieren.

Das Reaktorschutzsystem des KKG ist so ausgelegt, dass ein Teil des Systems (YZ) im ungesicherten Bereich (Schaltanlagegebäude) und ein Teil (RX) im gesicherten Bereich (Notstandsgebäude) untergebracht sind. Das Reaktorschutzsystem ist 1E- und EK-I-klassiert (Bemessung auf Sicherheitserdbeben).

Der ungesicherte Bereich des Reaktorschutzes ist für die Beherrschung von anlageninternen Störfällen (bis einschliesslich Sicherheitserdbeben) zweckbestimmt, während die dem gesicherten Bereich zugeordneten Reaktorschutzsignale primär der Beherrschung von äusseren Einwirkungen (einschliesslich sehr starker Erdbeben) dienen, zugleich aber eine Redundanz zu einigen im ungesicherten Bereich vorhandenen Reaktorschutzsignalen in Bezug auf anlageninterne Störfälle darstellen.

Reaktorschutzsignale haben stets Vorrang gegenüber normalen Schutzsignalen (Aggregate-schutz) und Handeingriffen des Personals. Reaktorschutzsignale können bei anstehenden Anre-gesignalen nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen zurückgestellt werden.

Entsprechend der Auslegung des Reaktorschutzsystems ist gewährleistet, dass das Reaktor-schutzsystem auch nach nicht korrekten Handeingriffen im Kommandoraum in der Lage ist, durch erneutes Ansprechen der Anregekriterien die Reaktorschutzaktionen vorrangig auszulösen.

Die Reaktorschutzkanäle mit den elektrischen und mechanischen Geräten der Mess-, Logik- und Steuer- bzw. Betätigungsebene sowie ihre Energieversorgung sind redundant, voneinander unab-hängig, räumlich und elektrisch getrennt aufgebaut. Der ungesicherte Teil des Reaktorschutzsys-tems ist entsprechend der Auslegung der Sicherheitssysteme 4-fach aufgebaut, sodass bei gleich-zeitigem Auftreten von zwei systeminternen Fehlern im Schutzsystem im ungünstigsten Fall eine RESA mit Turbinenschnellabschaltung (TUSA) ausgelöst wird. Tritt dabei zugleich ein Störfall durch ein internes auslösendes Ereignis in der Anlage auf, so wird dieser sicher beherrscht. Das Einzelfehlerkriterium ist auch dann erfüllt, wenn wegen Instandhaltung des Reaktorschutzsystems ein Teilsystem ausser Betrieb genommen wird. Der gesicherte Teil des Reaktorschutzsystems ist 3-fach redundant aufgebaut, sodass auch bei Auftreten eines Einzelfehlers im Schutzsystem Stör-fälle durch äussere Einwirkungen (z.B. Flugzeugabsturz, extreme Erdbeben) sicher beherrscht werden.

Die Messwerterfassung für die Reaktorschnellabschaltung (RESA) erfolgt 4-fach redundant mit 2 von 4 Grenzwertverknüpfungen, wenn kein Ersatzkriterium für die Störfallerkennung vorhanden ist, bzw. 3-fach redundant mit 2 von 3 Grenzwertverknüpfungen bei vorhandenem Ersatzkriterium.

Die redundanten Messwertgeber des Reaktorschutzsystems werden durch Vergleicher überwacht. Der Logikteil beruht auf dem Prinzip der Fortpflanzung einer Impulskette, die zur Speisung der angeschlossenen Auslöserrelais verwendet wird. Störungen führen zur Unterbrechung der Impuls-kette und somit zum Abfall der Relais bzw. lösen eine Meldung aus. Der nicht selbstmeldende Auslöserrelais-Teil wird während des Leistungsbetriebes per Hand periodisch geprüft.

Im Reaktorschutzsystem des KKG werden keine computerbasierten Leittechniksysteme verwen-det.

4.1.3 Systeme zur Kernnot- und Nachkühlung

Die Funktion der Kernnotkühlung im KKG ist dem Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem TH zugeordnet. Neben der Kernnotkühlfunktion bestehen die weiteren sicherheitstechnischen Aufgaben des TH-Systems in der langzeitigen Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor und dem Containment bei Kühlmittelverluststörfällen sowie in der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelementbecken und dem Reaktordruckbehälter bei Einwirkungen von aussen. Die wärmetechnische Auslegung des Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystems stellt sicher, dass bei Kühlmittelverluststörfällen die Auslegungskriterien nach ENSI-Richtlinie R-101 Punkt 4.3 erfüllt sind.

Strukturell ist das Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem viersträngig aufgebaut. Drei Stränge sind unabhängig aufgebaut und den drei Umwälzschleifen des Reaktorkühlsystems jeweils fest zugeordnet. Der vierte Strang ist mit jedem der anderen drei Stränge verbunden und übernimmt bei Ausfall eines Stranges dessen Funktion (Reservestrang). Bei Reparatur einer Pumpe kann der vierte Strang fest aufgeschaltet werden. Die Notkühlung speist in die heisse und die kalte Leitung ein, also über insgesamt sechs Einspeisestutzen.

Alle zum Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem TH gehörenden Ausrüstungen sind innerhalb des Reaktorgebäudes gegen externe Einwirkungen geschützt aufgestellt und EK I (Bemessung gegen Sicherheitserdbeben) klassiert.

Das Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem TH hat die folgenden sicherheitstechnisch wichtigen Funktionen:

- die Hochdrucksicherheitseinspeisung,
- die Druckspeichereinspeisung,
- die Niederdrucksicherheitseinspeisung,
- die Nachwärmeabfuhr durch Nachkühlbetrieb oder Sumpfbetrieb,
- die Brennelement-Lagerbeckenkühlung.

Hochdrucksicherheitseinspeisung

Die drei fest den Reaktorkühlkreisläufen zugeordneten Stränge des Hochdrucksicherheitseinspeisesystems verfügen jeweils über eine Hochdrucksicherheitseinspeisepumpe, die aus einem Flutbehälterpaar ansaugt, und über eine Auswahlschaltung für die Einspeisung (Eigenmedium gesteuerte Dreiwegeventile). Die Auswahlschaltung stellt die Einspeisung auf die Reaktorkühlmittleitung mit dem höheren Druck sicher. Damit wird ein direktes Einspeisen der Hochdrucksicherheitseinspeisepumpe auf eine gebrochene Einspeiseleitung verhindert, sodass die gesamte Fördermenge der Pumpe für die Kernnotkühlung zur Verfügung steht. Für die Auswahlschaltung vorgewählt ist der kalte Strang des jeweiligen Reaktorkühlkreislaufs. Der vierte Strang dient als Reservestrang und ist mit den anderen drei Strängen über Rohrleitungen und Armaturen verbunden.

Da die Hochdrucksicherheitseinspeisepumpen bei hohem Druck einspeisen, dienen sie in erster Linie der Sicherstellung der Kernkühlung bei kleinen Kühlmittelverluststörfällen, welche nur zu ei-

nem langsamen Druckabfall im Reaktorkühlkreislauf führen. Die Nachzerfallswärme wird direkt über das Leck (in das Containment) und über die Dampferzeuger an die Sekundärseite abgeführt. Eine Umschaltung auf Sumpfbetrieb ist auslegungsgemäss nicht möglich. Deshalb wird die Anlage bei einem kleinen Leck mit 100 K/h über die Sekundärseite abgefahren um die weitere Nachwärmeabfuhr mit den Nachkühlpumpen fortzusetzen.

Druckspeichereinspeisung

Das Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem TH verfügt über sechs Druckspeicher. Jeweils zwei sind den fest den Reaktorkühlmittelkreisläufen angeschlossenen TH-Strängen zugeordnet, wobei je ein Druckspeicher an einer „kalten“ und an einer „heissen“ Einspeiseleitung angeschlossen ist. In den Druckspeichern befindet sich ein unter Druck stehendes Stickstoffpolster. Bei einem Reaktordruck unterhalb 26 bar speisen die Druckspeicher (34 m³ je Druckspeicher) selbsttätig ein. Die Druckspeicher kommen somit bei Kühlmittelverluststörfällen zum Einsatz, wenn der Druck im Reaktorkühlkreislauf gegenüber dem normalen Betriebsdruck deutlich gesenkt ist. Bei mittleren und grossen Kühlmittelverluststörfällen genügt die Wärmeabfuhr über das Leck, um den Kühlmitteldruck bis unter den Ansprechwert der Druckspeicher zu senken. Für diese Fälle ist das Wasserinventar in den Druckspeichern so bemessen, dass der Reaktorkern geflutet wird (dafür genügt das Inventar aus zwei Druckspeichern), bis das Niederdruckeinspeisesystem wirksam einspeisen kann.

Niederdrucksicherheitseinspeisung und Nachwärmeabfuhr

Bei Kühlmittelverluststörfällen dient das Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystem der Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Reaktor und aus dem Containment. Die Wärmeabfuhr erfolgt hierbei im Sumpf- oder im Nachkühlbetrieb (kleine Lecks). Es stellt zudem sicher, dass der Reaktorkern auch langfristig mit Wasser bedeckt und durchströmt bleibt und eine Verdampfung vermieden wird. Aufgrund der fehlenden Dampfbildung besteht hier auch keine Gefahr für ein Eindicken (im Extremfall Auskristallisieren) der Borsäure. Das Niederdrucksicherheitseinspeisesystem speist kombiniert, d. h. heiss- und kaltseitig, in die Reaktorkühlmittelschleifen ein. Die Wärmeabgabe im Nachwärmekühler erfolgt an das nukleare Zwischenkühlwassersystem TF. Bei Strangrevision und unterstelltem Einzelfehler kann die Nachwärmeabfuhr im Sumpfbetrieb nur über einen TF-Strang erfolgen. Analysen haben gezeigt, dass die Nachwärme über eine TH- und eine TF-Pumpe erfolgreich abgeführt werden kann, selbst wenn eine zeitweilige Kavitation der Nachkühlpumpe unterstellt wird.

Jeder der drei fest den Reaktorkühlmittelkreisläufen zugeordneten Stränge des Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystems verfügt über eine Pumpe (Nachkühlpumpe), die von einem Flutbehälterpaar (gemeinsam mit der zum gleichen Strang gehörenden Hochdrucksicherheitseinspeisepumpe), vom Reaktorgebäudesumpf oder vom Reaktorkühlkreislauf (Nachkühlbetrieb) ansaugt, und einen Nachwärmekühler. Der vierte Strang verfügt über keinen eigenen Wärmetauscher. Er ist auf die anderen drei Stränge aufgeschaltet. Die Umschaltung der Stränge des Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystems auf Sumpfbetrieb erfolgt über je ein Dreiwegventil. Die Umschaltung wird nach Entleerung der Flutbehälter über das Signal „Füllstand tief“ automatisch ausgelöst.

Zwei Stränge des Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystems (TH10 und [REDACTED]) werden zur Brennelementbeckenkühlung verwendet. Den Strängen [REDACTED] sind auch die vom Notstand versorgten Notstandsnachkühlpumpen [REDACTED] zugeordnet, die ebenfalls für die Beckenkühlung verwendet werden können. Bei Nichtverfügbarkeit des Zwischenkühlwassersystems TF kann die Nachwärme über die verkürzte Nachkühlkette an das notstandsgesicherte Brunnenwassersystem VX abgegeben werden. Auf diese Möglichkeit der Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken kann bei extremen externen Ereignissen zurückgegriffen werden. Mit Hilfe der Notstandsnachkühlpumpen kann auch ein Notstandsnachkühlbetrieb und ein Notstandssumpfbetrieb durchgeführt werden (manuelle Inbetriebnahme).

Bei einem Kühlmittelverluststörfall kann die Brennelementbeckenkühlung unterbrochen (automatische Umschaltung auf LOCA-Betrieb), resp. auf eine konstante Kühlmittelergänzung über die Bypass-Armatur reduziert werden. Sie wird im späteren Störfallverlauf von Hand wieder in Betrieb genommen. 1999 wurde ein dritter unabhängiger Beckenkühlstrang nachgerüstet ([REDACTED] mit eigenem Plattenwärmetauscher), der auf die maximale Leistung der aus dem Brennelement-Lagerbecken abzuführenden Nachwärme ausgelegt ist. Die Einrichtungen dieses dritten unabhängigen Beckenkühlstranges werden vom Notstrom versorgt und geben die Wärme an den Strang [REDACTED] des Zwischenkühlwassersystems TF und des nuklearen Nebenkühlwassersystems VE ab.

Jeder Strang des Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystems verfügt über eine eigene Notstromversorgung (Zuordnung zu den Redundanzen 1 bis 4). Die Notstandsnachkühlpumpen werden von den Notstandsdieseln (Redundanzen 5 und 6) mit Strom versorgt.

Im Rahmen der Einführung des integrierten Notfallmanagements im KKG wurde die Möglichkeit der Einspeisung von Wasser (Feuerlöschwasser) in den [REDACTED] Strang des Nachkühlsystems ([REDACTED]) und in den [REDACTED] Beckenkühlstrang [REDACTED] geschaffen. Die Einspeisung in das Nachkühlsystem dient der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus einem partiell zerstörten Reaktorkern bei einem schweren Unfall. Die Massnahme dient der Aufrechterhaltung der Integrität des Reaktordruckbehälters unter Unfallbedingungen bei Totalausfall aller anderen Einspeisequellen. Die Einspeisung in den Beckenkühlstrang dient der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken, insbesondere bei Unfällen im Anlagenstillstand.

4.1.4 Systeme zur sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr

Das Kernkraftwerk Gösgen verfügt über folgende Systeme und Einrichtungen zur Sicherstellung der sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr bei Ausfall oder Störungen der betrieblichen Hauptwärmesenke (Speisewassersystem und Turbine mit Kondensator und Hauptkühlwassersystem):

- Einrichtungen zur Frischdampf-Druckbegrenzung und -Entlastung,
- Einrichtungen zur Isolation gestörter Dampferzeuger,
- An- und Abfahrssystem RR,
- Notspeisesystem RS,
- Notstandsspeisesystem RX.

Wenn das Speisewassersystem RL zur Verfügung steht, kann es ebenfalls zur sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr verwendet werden.

Einrichtungen zur Frischdampf-Druckbegrenzung und -Entlastung

Für die Frischdampfdruckentlastung können je nach Verfügbarkeit das Frischdampfumleitsystem, die Frischdampfsicherheitsventile oder die Frischdampfabblasearmaturen verwendet werden. Mithilfe der Frischdampfsicherheitsventile ist es möglich, die Anlage im Zustand „heisse Bereitschaft“ zu halten. Dieser Zustand ist für das KKG als sicherer Betriebszustand für den Notstandsfall definiert.

Das KKG verfügt über drei Frischdampfumleitstationen, die dazu bestimmt sind, überschüssigen, von der Turbine nicht abnehmbaren Dampf in den Kondensator umzuleiten. Bei einer Turbinenschnellabschaltung oder bei einer schnellen Lastabsenkung kann dadurch eine Reaktorschnellabschaltung vermieden werden. Mithilfe der Frischdampfumleitstationen kann ein Abfahren der Reaktoranlage mit einem eingestellten Gradienten von 45 K/h (betriebliches Abfahren) oder mit 100 K/h durch Wärmeabfuhr über die Hauptwärmesenke realisiert werden. Bei einem Notstromfall stehen die FD-Umleitstationen nicht zur Wärmeabfuhr zur Verfügung (Ausfall der Hauptwärmesenke), da sie nicht notstromversorgt sind.

Aufgabe der Frischdampfsicherheitsventile ist die Druckbegrenzung im Frischdampfsystem auf den maximal zulässigen Wert. Dabei gehört zu jeder der einem der Dampferzeuger zugeordneten Frischdampfstationen ein Frischdampfsicherheitsventil (total 3), welches in der Lage ist, bei 88 bar die gesamte Frischdampfmenge eines Dampferzeugers bei Volllast über Schalldämpfer in die Atmosphäre abzublasen (Abblasemenge max. 547 kg/s). Die Frischdampfsicherheitsventile sind auch dafür bestimmt, im Notstandsfall im Zusammenwirken mit dem Notstandssystem RX innerhalb der ersten zehn Stunden nach Störfalleintritt die Nachwärmeabfuhr ohne Handeingriffe sicherzustellen.

Jede der drei Frischdampfarmaturenstationen verfügt über ein Abblaseabsperrentil und ein nachgeschaltetes Abblaseregelventil. Die Abblasekapazität ist so gewählt, dass selbst bei einem reduzierten Vordruck von 5 bar 23,6 kg/s Dampf abgeblasen werden können. Dies entspricht ca. 1,5% der Nennleistung der Reaktoranlage. Die Abblasefunktion wird im KKG durch einfache Operateureingriffe eingeleitet. Auch hier kann ein Abfahrgradient von 45 K/h oder 100 K/h gewählt werden. Die Stromversorgung der Abblaseregelventile erfolgt im Notstromfall von der Notstandsstromversorgung.

Frischdampfisololation

Bei Leitungsbrüchen im Frischdampfsystem haben die Isolationsventile die Aufgabe, die einzelnen Dampferzeuger vom Frischdampfsystem zu trennen, um das Ausdampfen von mehr als einem Dampferzeuger unter Annahme eines Einzelfehlers zu verhindern. Sie beschränken damit die Abkühlung des Reaktorkühlkreislaufes, den möglichen Druckaufbau im Containment und unterstützen damit die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr. Entsprechend dieser Aufgabenstellung sind diese Armaturen so ausgelegt, dass die Schliessfunktion der Ventile bei Frischdampfleck vor oder nach den Frischdampfarmaturenstationen aufrechterhalten wird.

Die Armaturenstation mit den Frischdampfisolationsventilen, den Dampferzeugersicherheitsventilen und der Frischdampfblasestation sind gegen externe Einwirkungen geschützt [REDACTED] angeordnet.

Systeme zur Bespeisung der Dampferzeuger

Voraussetzung für eine dauerhaft erfolgreiche Nachwärmeabfuhr über die Sekundärseite ist das Aufrechterhalten eines ausreichenden Füllstandes auf der Sekundärseite in mindestens einem Dampferzeuger. Der Wärmetransport auf der Primärseite kann dabei durch Zwangsumlauf (Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb), Naturumlauf oder im Dampfkondensationsmodus erfolgen.

An- und Abfahrssystem RR

Das An- und Abfahrssystem hat die Aufgabe,

- beim An- und Abfahren der Anlage unterhalb ca. 3% Reaktorleistung die Bespeisung der Dampferzeuger sicherzustellen,
- im Notstromfall, bei Ausfall der Speisewasserpumpen und auch bei Speisewasserleckagen im Bereich der Hochdruckvorwärmer die Bespeisung der Dampferzeuger zur Abfuhr der Nachzerfallswärme zu übernehmen.

Das An- und Abfahrssystem saugt aus dem Speisewasserbehälter an und verfügt über einen minimalen Wasservorrat von 140 m³. Die Auslegung des An- und Abfahrssystems entspricht einer 2 x 50% Auslegung in Bezug auf ein Kaltfahren der Anlage und 2 x 100 % in Bezug auf die Nachwärmeabfuhr. Jede der beiden An- und Abfahrpumpen hat eine nominelle Förderkapazität von ca. 23,6 kg/s.

Das An- und Abfahrssystem ist notstromgesichert, sicherheitstechnisch aber nicht klassiert. Im Rahmen der PSÜ 2008 [6, 7] konnte gezeigt werden, dass das System dennoch über beträchtliche Auslegungsreserven für den Lastfall Erdbeben verfügt.

Notspeisesystem RS

Das notstromgesicherte Notspeisesystem dient zur Sicherstellung der Dampferzeugerbespeisung bei

- systemeigenen Störfällen des Wasserdampfkreislaufes (z.B. bei bestimmten Speisewasserlecks und Ausfall der Speisewasser- und An-/Abfahrpumpen),
- Kühlmittelverluststörfällen ohne betriebliche Bespeisung mit den Speisepumpen bzw. den An-/Abfahrpumpen,
- Störfällen infolge von Erdbeben.

Das Notspeisesystem verfügt über drei Notspeisestränge, die fest jeweils einem Dampferzeuger zugeordnet sind, und über einen vierten Notspeisestrang, der auf jeden der drei Dampferzeuger aufgeschaltet werden kann. Die Kapazität einer Notspeisepumpe beträgt 23,6 kg/s (Nennfördermenge). Jeder Notspeisestrang verfügt über ein Notspeisebecken mit einem Deionatvorrat von 210 m³. Die Notspeisebecken verfügen zudem über eine betriebliche Deionatreserve, die bei einem Störfall mit genutzt werden kann. Die Notspeisebecken können untereinander verbunden werden, was im Falle des postulierten Ausfalls von Notspeisepumpen den Deionatvorrat für die verbleibenden Pumpen vergrößert. Als Notfallmassnahme wurde eine Einspeisung von Feuerlöschwasser in die Notspeisebecken vorbereitet, so dass auch ein Langzeitbetrieb des Notspeisesystems RS möglich ist.

Für ein Abfahren der Anlage mit 100 K/h sind zwei von vier Notspeisepumpen erforderlich (Auslegung 4 x 50 %, ohne Berücksichtigung des Nennfüllstandes der Dampferzeuger), für ein Abfahren in den Zustand „Nulllast heiss“ und die Nachwärmeabfuhr genügt eine Notspeisepumpe (entspricht einer Auslegung von 4 x 100 %). Die Förderhöhe der Notspeisepumpen ist so gewählt, dass sie gegen den Ansprechdruck der Frischdampfsicherheitsventile einspeisen können.

Das Notspeisewassersystem wird automatisch in Betrieb genommen, wenn der Dampferzeugerfüllstand kleiner als 5 m ist. Die Notbespeisung muss den Dampferzeugerfüllstand oberhalb von ca. 2 m halten, um noch eine ausreichende Wärmeabfuhr vom Reaktorkühlkreislauf an die Sekundärseite gewährleisten zu können.

Um bei schweren Unfällen im Rahmen der anlageninternen Notfallmassnahmen eine sekundärseitige Bespeisung der Dampferzeuger durch das Feuerlöschsystem zu ermöglichen, wurde in der Druckleitung der aufschaltbaren vierten Notspeisepumpe ein Stutzen für den Anschluss einer Schlauchverbindung installiert. Über diese Anschlussmöglichkeit kann eine Bespeisung der Dampferzeuger über Aussenhydranten oder von einem Tanklöschfahrzeug aus ohne elektrische Energie durchgeführt werden. Als zusätzliche Bespeisungsmöglichkeit im Notfall hat das KKG die Druckentlastung der Dampferzeuger und die Bespeisung vom Speisewasserbehälter unter Ausnutzung der vorhandenen Druckdifferenz vorgesehen.

Notstandsspeisesystem RX

Das zweisträngig aufgebaute und im gegen äussere Einwirkungen geschützt ausgeführten Notstandsgebäude angeordnete Notstandsspeisesystem RX dient bei allen Störfällen, in denen die normale Nachwärmeabfuhr infolge von extremen äusseren Einwirkungen (z. B. Flugzeugabsturz, extreme Erdbeben, extremes Hochwasser oder Einwirkungen durch Dritte) ausgefallen ist, der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf. Dazu wird die Sekundärseite der Dampferzeuger 1 und 3 mit kaltem Deionat bespeist und die Nachwärme durch Verdampfen des Dampferzeugerwassers und Abblasen des Dampfes über Dach abgeführt. Es steht ein Deionatvorrat von $2 \times 530 \text{ m}^3$ in speziellen Notstandbecken zur Verfügung. Die Fördermenge einer RX-Pumpe beträgt 23.6 kg/s (Nennfördermenge). Auslegungsgemäss stellt das Notstandsspeisesystem RX einen autarken Betrieb der Anlage über mindestens zehn Stunden sicher. Die Notstandbecken können mit Grundwasser mit Hilfe des Brunnenwassersystems VX mittels einfacher Eingriffe aufgefüllt werden. Für die Ergänzung des Dieselvorrates steht ein [REDACTED]-Tankmobil mit Motorpumpe und zugehörigen Schlauchverbindungen zur Verfügung, mit dessen Hilfe Diesel aus auf der Anlage bestehenden Vorräten aufgefüllt werden kann. Unter Berücksichtigung dieser vorbereiteten Massnahmen kann ein Langzeitbetrieb des Notstandsspeisesystems, wie auch der anderen dem Notstand zugeordneten Sicherheitsfunktionen (Zusatzborierung mittels [REDACTED] verkürzte Nachkühlkette zur Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken und/oder dem Reaktorkühlkreislauf) sicher gestellt werden.

4.1.5 Volumenregelsystem (TA)

Die sicherheitstechnisch bedeutsamen Aufgaben des Systems sind:

- die Kompensation kleinerer Leckagen des Reaktorkühlsystems (Leckageergänzung),
- Einspeisung der erforderlichen Borsäure- und Deionatmengen zur chemischen Reaktivitätsregelung,
- Druckabsenkung im Reaktorkühlsystem bei Betriebs- und Störfällen durch Sprühen in den Dampfraum des Druckhalters,
- Einspeisung von Borsäure bei Erreichen des letzten Grenzwertes der Stabfahrbegrenzung (Sicherstellung der Abschaltreserve der Steuerelemente),
- Sicherstellung der Unterkritikalität durch Einspeisen von Borsäure aus den Flutbehältern nach einem Auslegungsstörfall.

Dem Volumenregelsystem TA ist auch das vom Notstand versorgte und gegen externe Einwirkungen vollständig geschützte Zusatzboriersystem [REDACTED] zugeordnet, welches der Sicherstellung der Unterkritikalität im Notstandsfall (extreme externe Einwirkungen) sicherstellt.

4.2 Containment und Containmentsysteme

Das Reaktorgebäude des Kernkraftwerkes Gösgen wird entsprechend den in den ENSI-Richtlinien verwendeten Begriffen in ein Primärcontainment (Reaktorsicherheitsbehälter) und ein Sekundärcontainment (Reaktorgebäude) unterteilt.

4.2.1 Primärcontainment

Die sicherheitstechnische Hauptaufgabe des Primärcontainments besteht im Einschluss der bei Auslegungsstörfällen mit Kühlmittelverlust oder bei Leitungsbrüchen im Frischdampf- oder Speisewasserbereich innerhalb des Containments freigesetzten Aktivität. Zugleich dient es als letzte Barriere gegen eine Freisetzung von Radioaktivität bei auslegungsüberschreitenden Störfällen.

Das Primärcontainment des Kernkraftwerks Gösgen besteht aus einem kugelförmigen, gasdicht verschweissten, stählernen Reaktorsicherheitsbehälter mit einem Durchmesser von 52 m (Volumen ca. 55'000 m³) und einem Auslegungsdruck (absolut) von 5,89 bar. Es handelt sich um einen Volldruckbehälter, das heisst, dass die bei Auslegungsstörfällen mit Kühlmittelverlust oder bei Brüchen von sekundärseitigen Leitungen innerhalb des Containments freigesetzte Energie zu einem Druckaufbau führt, der vom Primärcontainment ohne zusätzliche Massnahmen aufgenommen wird. Die Leckrate des Primärcontainments wurde mit 0.25 Vol.-%/d spezifiziert. Die Einhaltung dieser Leckrate wurde bei wiederkehrenden Prüfungen (alle vier Jahre) bisher stets erfolgreich nachgewiesen.

KKG hat im Rahmen der PSÜ 2008 [6] eine detaillierte Neubestimmung des Versagensdrucks des Reaktorsicherheitsbehälters mittels Finite-Elemente-Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse haben gezeigt, dass der Versagensdruck deutlich über dem Auslegungsdruck und dem Ansprechdruck der Berstscheibe für das System der gefilterten Druckentlastung liegt.

4.2.2 Sekundärcontainment (Reaktorgebäude)

Das Sekundärcontainment besteht aus einer zylindrischen Betonschale mit einem Aussendurchmesser von 63.6 m, deren oberer Abschluss aus einer halbkugelförmigen Betonkuppel gebildet wird.

Die sicherheitstechnisch wichtigste Aufgabe des Sekundärcontainments besteht im baulichen Schutz der im Reaktorgebäude befindlichen Ausrüstungen gegen einen Flugzeugabsturz und gegen Explosionsdruckwellen. Das Gebäude ist flutsicher und auch durch sehr starke Erdbeben nicht gefährdet [7]. Die massive Betonschale reduziert zudem bei Reaktorunfällen die Strahlenbelastung in der Umgebung durch Abschirmung der Direktstrahlung und durch das Auffangen von Leckagen.

4.2.3 Isolationssystem des Primärcontainments

Die Aufgabe des Isolationssystems des Primärcontainments besteht in der Sicherstellung eines dichten Abschlusses des Primärcontainments bei Störfällen, um einen sicheren Einschluss von eventuell innerhalb des Primärcontainments freigesetzter Aktivität zu gewährleisten.

Für die Aufgabe der Isolation des Primärcontainments werden als Stellglieder Absperrarmaturen an den Containmentdurchdringungen der einzelnen Systeme verwendet, die, aus dem Reaktorschutz gesteuert, bei Störfallanforderung automatisch geschlossen werden oder infolge des Störfallablaufs selbsttätig schliessen (Rückschlagarmaturen).

Bei der Planung des KKG war es generelles Auslegungsprinzip, dass alle Rohrdurchführungen durch das Primärcontainment mindestens zwei hintereinander angeordnete Absperrorgane aufweisen. Das bedeutet u. a., dass bei einem Einzelfehler an einer Armatur und der Instandhaltung

an dem der zweiten Armatur zugeordneten Notstromdiesel im Notstromfall zwei hintereinander angeordnete Abschlussorgane ausfallen könnten. Deshalb wird im Fall von präventiven Instandhaltungsmassnahmen, die von der Massnahme nicht betroffene Armatur im Rahmen der Freischaltungsmassnahmen geschlossen, womit der Gebäudeabschluss für die betroffene Leitung sichergestellt ist.

In der Regel erfolgt die Stromversorgung der Containmentisoliationsarmaturen von zwei verschiedenen notstromgesicherten 380-V-Wechselstromschienen, von denen eine batteriegesichert ist.

Nicht isoliert werden Rohrleitungen, die zur Störfallbekämpfung (Kernnotkühlung und Nachwärmeabfuhr) benötigt werden, sowie kleinere Messleitungen \leq DN 15 (geschlossene Systeme). Der nachgerüstete dritte Beckenkühlstrang für das Brennelement-Lagerbecken wird ebenfalls nicht in die Containmentisolation einbezogen, da es sich ausserhalb des Primärcontainments um ein abgeschlossenes System handelt, welches basissicher (Bruchausschluss) ausgeführt wurde.

4.2.4 *Isolationssystem des Sekundärcontainments*

Die Aufgabe des Isolationssystems der Lüftungsleitungen des Sekundärcontainments besteht in der Sicherstellung der Dichtheit des Sekundärcontainments bei Auslegungsstörfällen oder Unfällen. Es leistet somit einen Beitrag zur Begrenzung der radioaktiven Abgaben an die Umwelt.

Die Lüftungsleitungen des Primärcontainments durchdringen das Sekundärcontainment ohne zusätzliche Sekundärcontainment-Isolation (integraler Gebäudeabschluss). Die Absperrklappen (Isolationsventile) des Primärcontainments sind zusätzlich an das Leckabsaugesystem (TX) angeschlossen, welches allfällige Leckagen ins Containment zurückpumpen kann. Dieses System ist zweisträngig und somit einzelfehlersicher ausgeführt.

4.2.5 *Systeme zur Wasserstoffbeherrschung*

Das Kernkraftwerk Gösgen verfügt über die folgenden Einrichtungen zur Wasserstoffbeherrschung:

- Wasserstoffüberwachungssystem mit zehn Messstellen,
- zwei elektrisch beheizte Wasserstoffrekombinatoren (je 100 %),
- System zur Luftumwälzung.

Die im KKG vorhandenen Systeme zur Wasserstoffbeherrschung stellen für den Bereich der Auslegungsstörfälle sicher, dass keine unzulässige Wasserstoffkonzentration im Containment auftritt. Hierdurch ist gewährleistet, dass keine Wasserstoffverbrennung als Folge eines Auslegungsstörfalles auftreten kann.

Im Rahmen der vom KKG eingeführten mitigativen Notfallmassnahmen (SAMG) können die Einrichtungen genutzt werden, um gezielt eine Zündung von Wasserstoffansammlungen herbeizuführen (z. B. durch thermische Überlastung der Rekombinatoren).

Die Analyse schwerer Unfallabläufe für das KKG hat gezeigt, dass bei der weit überwiegenden Anzahl möglicher Unfallszenarien der Reaktorsicherheitsbehälter des KKG infolge der Ansammlung von Wasserdampf inertisiert ist. Der Risikobeitrag von Wasserstoffverbrennungen zur Häufig-

keit einer grossen frühen Freisetzung ist sehr gering und wird durch plötzliche, sehr schnelle Wasserstofffreisetzungen bestimmt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine vollständig für alle möglichen Unfallabläufe qualifizierten technischen Hilfsmittel, die geeignet sind, die Auswirkungen schneller Wasserstofffreisetzungen zu unterbinden. Zu beachten ist auch, dass der Versagensdruck des Reaktorsicherheitsbehälters sehr hoch liegt (> 10 bar absolut) und damit eine grosse Sicherheitsmarge bezüglich der Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen besteht.

Zur Vermeidung eines Fehlsprechens der gefilterten Containment-Druckentlastung infolge von Wasserstoffverbrennungen ist die Berstscheibe des Systems im Leistungsbetrieb abgesperrt. Die Absperrung wird erst bei Erreichen eines erhöhten Drucks und einer erhöhten Temperatur im Sicherheitsbehälter aufgehoben. Ein erhöhter Druck im Sicherheitsbehälter ist bei den schneller ablaufenden und häufigeren Unfallszenarien (Niederdrucksznarien) ein Ergebnis eines erhöhten Wasserdampfgehalts im Containment, bei denen Wasserstoffverbrennungen nicht zu besorgen sind.

4.2.6 Ringraumabsaugung (Notabluftsystem), Leckabsaugesystem

Ringraumabsaugung

Die für die betriebsmässige Lüftung des Ringraumes vorhandene Zu- und Fortluft wird bei einem Störfall mit angefordertem Gebäudeabschluss (z. B. bei einem LOCA) durch je zwei hintereinander liegende, luftdichte Absperrklappen geschlossen. Die Unterdruckhaltung im Ringraum übernimmt dann die eigens dafür bestimmte Ringraumabsauganlage mit einer aus Schwebstoff- und Aktivkohlefiltern bestehenden Vor- und Nachfilterkombination. Die abgesaugte und gereinigte Luft wird dem Abluftkamin zugeführt.

Leckabsaugesystem

Das Leckabsaugesystem hat die Aufgabe, während eines Kühlmittelverluststörfalles eventuell auftretende Leckagen an ausgewählten Primärcontainment-Durchführungen zu erfassen und in das Containment zurückzupumpen. Dadurch wird verhindert, dass aufgrund von Undichtigkeiten an den Durchführungen radioaktive Stoffe in den Ringraum und/oder in die Umgebung gelangen. Durchdringungen des Primärcontainments, die undicht werden könnten, sind durch konstruktive Massnahmen abgekammert oder durch Doppeldichtungen abgesperrt, wobei der Zwischenraum zwischen den Dichtungen an das Leckabsaugesystem angeschlossen ist. Das Leckabsaugesystem besteht aus zwei parallelen, voneinander unabhängigen Kompressorsträngen. Die Leckagen gelangen in die beiden Stränge jeweils über den zugehörigen Gaskühler, der den Wasseranteil der Leckagen auskondensiert. Während sich das Kondensat im Pufferbehälter sammelt, wird die noch verbleibende Luft-/Gasleckage über den Wasserringkompressor und den Ringflüssigkeitsbehälter wieder in das Primärcontainment zurückgeführt. Beim Kühlmittelverluststörfall werden beide Kompressoren (2 x 100 %) automatisch über eine betriebliche Verriegelung mit dem Notkühlvorbereitungssignal (YZ31) gestartet. Das System befindet sich im Normalbetrieb in Betriebsbereitschaft.

4.2.7 Gefilterte Druckentlastung

Das KKG hat Ende 1993 ein System zur gefilterten Druckentlastung des Containments nachgerüstet. Diese Nachrüstung erfolgte im Rahmen des von der HSK nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl aufgelegten Programms von Massnahmen gegen schwere Unfälle.

Das System der gefilterten Druckentlastung ist so ausgelegt, dass beim Auslegungsdruck des Reaktorsicherheitsbehälters (Primärcontainment) von 5.89 bar ein Dampfmassenstrom abgeführt werden kann, der der Dampfproduktion aus einer Nachwärmeleistung von 0.5 % der thermischen Nennleistung des Reaktors entspricht (15 MW). Es kann 24 Stunden lang fremdenergieelos betrieben werden.

4.3 Wichtige Versorgungs- und Hilfssysteme

4.3.1 Stromversorgung

Im KKG speist der Generator über den Generatorleistungsschalter und den Blocktransformator in das 400-kV-Netz. Diese Netzanbindung erlaubt das Anfahren des Kraftwerkblockes bei offenem Generatorleistungsschalter über den Blocktransformator ohne Eigenbedarfsumschaltung. Im Normalbetrieb wird die zur Eigenbedarfsversorgung benötigte Leistung über zwei Eigenbedarfstransformatoren auf je zwei 10-kV-Sammelschienen der voneinander unabhängig und räumlich getrennten, viersträngig aufgebauten Eigenbedarfsanlage eingespeist.

Neben der normalen Einspeisung über die Eigenbedarfstransformatoren besteht die Möglichkeit, über zwei Fremdnetztransformatoren von dem 220-kV-Reservenetz auf die 10-kV-Blockschienen einzuspeisen. Gemäss der bisherigen Erfahrung weist die externe Stromversorgung aus den beiden Hochspannungsnetzen eine sehr hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit auf. Bei Ausfall der Versorgung durch den eigenen Generator und der Hauptnetzeinspeisung kann die Eigenbedarfsversorgung durch automatische Umschaltung vom Reservenetz gewährleistet werden.

Die 24-V und die 220-V-Gleichstromversorgung bestehen aus vier Gleichstromsystemen, welche jeweils aus Batterien, Gleichrichtern (Ladegerät) und Verteilanlagen aufgebaut sind. Sie versorgen die Leistungsschalter, die leittechnischen Ausrüstungen und die Motor-Generator-Umformersätze (rotierende Umformer).

Die vier räumlich separiert aufgebauten, batteriegestützten und über Motor-Generator-Umformersätze gespeisten, unterbrechungslosen 380-V-Drehstromsysteme stellen die Versorgung der sicherheitsrelevanten Ausrüstungen und der Sicherheitsbeleuchtung autark über mehrere Stunden sicher.

Bei Ausfall der betrieblichen Eigenbedarfsversorgung werden die benötigten Sicherheitssysteme zum Abfahren der Anlage und zur Beherrschung von Störfällen durch die Notstromversorgung mit Energie versorgt. Die Notstromversorgung ist viersträngig aufgebaut (Auslegung 4 x 50 %, effektiv 4 x 100 %) und gegen Sicherheitserdbeben ausgelegt. Jeder Strang verfügt über einen Notstromdieselgenerator. Je zwei dieser Notstromdieselaggregate befinden sich, räumlich getrennt voneinander, in einem separaten Notstromdieselgebäude. Diese unvermascht ausgeführte Notstromver-

sorgung vermag auch beim Auftreten eines Sicherheitserdbebens das Kraftwerk während mehrerer Tage mit dem für die Sicherheit der Anlage benötigten Strom zu versorgen.

Im gegen extreme externe Einwirkungen ausgelegten Notstandgebäude befinden sich die Notstandstromversorgungen. Diese bestehen aus den unabhängigen Strängen 5 und 6 mit je einem zugehörigen Notstanddieselmotor (2 x 100 %) und dem Strang 7, der von den Strängen 5 und 6 versorgt werden kann. Ausserdem sind Gleichstromversorgungen mit Batterien und Gleichrichtern vorhanden, die ebenfalls den Redundanzen 5, 6 und 7 zugeordnet sind. Diese räumlich separierten Stromversorgungen gewährleisten die Versorgung der für die Nachwärmeabfuhr aus dem Primärsystem benötigten Systeme ohne Eingriffe über einen Zeitraum von zehn Stunden. Die für das Abfahren der Anlage benötigten Abblaseregelventile werden ebenfalls von den Notstandstromversorgungen bedient. Alle drei Abblaseregelventile bleiben auch bei einem Einzelfehler an einem Notstanddiesel verfügbar. Der Langzeitbetrieb der Notstandnotstromversorgung kann über vorbereitete Massnahmen (Dieselergänzung mit Hilfe eines vorhandenen 3000 l Tank-Mobils mit zugehöriger Motorpumpe und vorbereiteten Schlauchverbindungen) sicher gestellt werden.

Die zweite Wasserfassung (M5) verfügt über eine unabhängige Notstromversorgung (2 x 100 % Dieselanlagen) mit einer Dieselbevorratung für einen längeren Betrieb der Wasserfassung.

Das KKG verfügt über die Möglichkeit, eine externe Anspeisung vom Wasserkraftwerk Gösgen herzustellen. Die dafür notwendigen Massnahmen sind im Notfallhandbuch (NHB, [13]) beschrieben. Im Notfallhandbuch sind auch Massnahmen zur Beschaffung externer Notstromaggregate zur gezielten Wiederherstellung der Spannungsversorgung situativ festzulegender wichtiger Verbraucher vorgesehen (Kapitel 8.9.3 im NHB) und mögliche Beschaffungsquellen ausgewiesen.

4.3.2 Nukleare Kühlwassersysteme

Die nuklearen Kühlwassersysteme haben die Wärmeabfuhr aus den Betriebs- und Sicherheitssystemen an eine äussere Wärmesenke sicherzustellen. Zu den nuklearen Kühlwassersystemen gehören das nukleare Zwischenkühlwassersystem (TF) und das nukleare Nebenkühlwassersystem (VE) mit den dazugehörigen zwei unabhängigen Wasserfassungen und Ausläufen.

Das nukleare Zwischenkühlwassersystem (TF) und das nukleare Nebenkühlwassersystem (VE) bilden zusammen mit dem Not- und dem Nachkühlssystem (TH) die so genannte Nachkühlkette. Die nuklearen Kühlwassersysteme sind dreisträngig aufgebaut. Bei Ausfall der Nachkühlkette wird die aus dem Notstand versorgte verkürzte Nachkühlkette für die Abfuhr der Nachzerfallswärme verwendet.

Das nukleare Nebenkühlwassersystem erfüllt während des Normalbetriebs und im Störfall die Aufgabe des Rückkühlens des nuklearen Zwischenkühlwassersystems und ferner die Kühlung der Notstromdiesel und der notstromversorgten Kältemaschinen. Das nukleare Nebenkühlwasser ist unterteilt in vier redundante Stränge. Die Pumpen der Redundanzen 1, 2 und 3 versorgen in Parallelschaltung je einen nuklearen Zwischenkühler, eine notstromversorgte Kältemaschine und ein Notstromdieselaggregat mit Kühlwasser.

Die Stränge sind kühlwasserseitig nicht vermascht. Die Pumpe der Redundanz 4 versorgt direkt mit Kühlwasser eine notstromversorgte Kältemaschine und ein Notstromdieselaggregat und dient

zugleich als Reservepumpe für die Kühlwasserstränge der Redundanzen 1, 2 und 3. Sie übernimmt bei Ausfall einer der Pumpen selbsttätig die Versorgung der betroffenen Redundanz.

Die nuklearen Nebenkühlwasserpumpen sind getrennt in separaten Scheiben des Nebenkühlwasserpumpenhauses aufgestellt. Die drei nuklearen Zwischenkühler (VE/TF) sind im Ringraum des Reaktorgebäudes in separaten Kammern angeordnet. Dadurch wird der Ringraum vor einer Überflutung z. B. bei einem Bruch einer VE-Leitung geschützt. Die vier notstromgesicherten Kältemaschinen sind im Notspeisegebäude und die vier Notstromdieselaggregate in zwei verschiedenen Notstromdieselgebäuden aufgestellt. Die Kühlwasserleitungen zu den Kühlstellen sind im Kraftwerksgebäude in unterirdischen, begehbaren Kanälen installiert.

Die Kühlwasserfassungen (M0 und M5) haben vor allem die Aufgabe, die nuklearen und konventionellen Nebenkühlwassersysteme mit gereinigtem Kühlwasser (Flusswasser) zu versorgen. Darüber hinaus liefern sie auch Wasser für die Zusatzwasseraufbereitung des Kühlturmes und für die Wasseraufbereitung. Das Flusswasser wird im Normalfall dem Oberwasserkanal (erste Wasserfassung M0) des hydraulischen Kraftwerkes Gösgen entnommen und leicht erwärmt an diesen zurückgegeben. Bei Ausfall des Oberwasserkanals (Dammbruch infolge eines starken Erdbebens, Verlust der Stauhaltung der Wasserkraftanlage oder wegen Reinigung des Dükers) fördert die am Unterwasserkanal gelegene zweite Wasserfassung Kühlwasser. Die Zuschaltung erfolgt automatisch. Beide Wasserfassungen sind gegen das Sicherheitserdbeben ausgelegt.

4.3.3 Lüftungsanlagen

Die Lüftungsanlagen dienen zur Aufrechterhaltung geeigneter Raumlufzustände und zur Führung bzw. Rückhaltung von eventuell freigesetzten radioaktiven Stoffen. Dabei geht es um die Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit von Ausrüstungen sowie um den Schutz des Personals und der Bevölkerung vor ionisierender Strahlung.

Für die Anlagensicherheit (Störfallbeherrschung) bedeutsam sind die folgenden Lüftungsanlagen:

- Ringraumabsaugung,
- Lüftung im Schaltanlagegebäude, insbesondere im Hauptkommandoraumbereich,
- Lüftung im Notstrom-, im Notstand- und im Notspeisegebäude.

Die sicherheitsrelevanten Ausrüstungen im Reaktorgebäude-Ringraum sind wassergekühlt und nicht auf Umluftkühlung angewiesen.

4.4 Zusammenfassung wesentlicher Auslegungsmerkmale des KKG bezüglich des Schutzes gegen externe Einwirkungen

Bei der Auslegung und Errichtung des KKG (3-Loop DWR des Lieferanten KWU, Kommerzielle Inbetriebnahme 1979) wurden die folgenden im Zusammenhang mit den Ereignissen in Japan bedeutsamen externen Ereignisse und Ereigniskombinationen berücksichtigt:

- Erdbeben (Betriebserdbeben (OBE) und Sicherheitserdbeben (SSE))
- Hochwasser infolge Dammbruch einschliesslich des Bruchs mehrerer Dämme flussaufwärts oberhalb des Wehrs Winznau

- Hochwasser infolge extremer meteorologischer Bedingungen
- Erdbeben mit erdbebeninduziertem Dammbuch (abdeckende Szenarien – Versagen des Wehrs Winznau oder Erdbeben mit Versagen des Oberwasserkanals)
- Flugzeugabsturz auf das Reaktorgebäude (Verkehrsflugzeug B707) und auf das Schaltanlagegebäude (Auslegungsbasis für das Notstandssystem)
- Wind und Schneelasten
- Auslegung gegen Explosion eines mit TNT beladenen Güterwagens am Standort des ursprünglich geplanten Güterbahnhofs Däniken (ist entfallen), Auslegung gegen Explosionsdruckwelle.
- Externer Brand / Brandschutz gegen interne Brände

Die nachstehende Tabelle fasst die Auslegung der wichtigsten Gebäude gegen externe Einwirkungen auf Basis der Erdbebenklassierung der Gebäude zusammen.

Tabelle 1: Erdbebenklassen und äussere Einwirkungen

Gebäude	Bauwerksklasse (Erdbebenklasse)	Flugzeugabsturz	Güterwagenexplosion
Reaktorgebäude ZA/ZB	I	X	X
Reaktorhilfsanlagegebäude und Abfalllager ZC	I	-	X
Schaltanlagegebäude ZE	I	-	X
Maschinenhaus ZF	II	-	-
Notstromdieselgebäude ZK.1 und ZK.2	I	-	X
Notstandsgebäude ZX	I	X	X
Notspeisegebäude ZV	I	-	X
Kühlwassereinlaufbauwerke ZM.0 und ZM.5	I	-	X
Nebenkühlwasserpumpenhaus ZM.2 und Nebenkühlwasserleitungen	I	-	X
Messschacht ZM.1 und Wasserschlösser	I	-	-
Abluftkamin ZQ.1	I	-	X
Hilfskesselkamin ZQ.2	I	-	-
Wasserkraftanlage Gösgen (nur stauhaltende Teile des Wasserkraftwerks)	I	-	-
Nebenanlagegebäude: Wasseraufbereitungsgebäude ZG.0 Heizungszentrale ZL.0	II	-	-
Kühlturm ZP.1 und Hauptkühlwasserpumpenhaus ZM.3	II	-	-
Entkarbonisierungsanlage ZN	II	-	-
Nasslagergebäude ZS07	I	X	Gasleitung

Die Anforderungen insbesondere an die Erdbebenauslegung wurden während der Betriebszeit des KKG wiederholt erhöht. Zum Zeitpunkt der Planung und Errichtung des KKG war das grösste historisch in der Schweiz beobachtete Erdbeben, das Erdbeben von Basel von 1356 inklusive eines Sicherheitszuschlages die Bemessungsbasis (Intensität IX nach MSK Skala, Magnitude 6.6-6.9 in ca. 30 km Entfernung nach aktueller Bewertung). Noch vor der Inbetriebsetzung des KKG erfolgte eine Anpassung der Bemessungsgrundlagen an die ersten probabilistischen Erdbebengefährdungskarten der Schweiz und eine entsprechende Begutachtung durch die damalige ASK (später HSK, heute ENSI). KKG profitierte hier u. a. davon, dass es sich bei der Anlage um eine DWR Exportanlage der Firma KWU handelte, für die spezielle Erdbebenanforderungen entsprechend dem seinerzeit von KWU zeitlich parallel geplanten Reaktor in Busheer (Iran) verwendet wurden, einem Standort mit erheblich höherem Erdbebenrisiko als der Schweiz. Für die von KKG realisierten Neubauprojekte

- externes Nasslager, ZS07
- Anbau Hilfsanlagegebäude

und das Grossprojekt PISA (Austausch der DH-Sicherheitsventilstation) wurde im Jahr 2002 im Vorgriff auf die Ergebnisse der PEGASOS-Studie [7] eine erhöhte Auslegungsbasis festgelegt, die einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor von 1.5 auf die ursprüngliche Erdbebenbemessung gegen das Sicherheitserdbeben beinhaltete. Den umfangreichen, seit dem Abschluss der Periodischen Sicherheitsüberprüfung von 1998 durchgeführten, Nachrüstungen (Abschluss 2006, PSÜ Massnahme M 104) wurde ebenfalls eine Bemessung mit einem Sicherheitsfaktor von 1.5 bis 2.0 zugrunde gelegt. Im Rahmen der PSÜ 2008 wurde mit Hilfe einer deterministischen Sicherheitsmargenanalyse entsprechend dem inzwischen in Kraft gesetzten IAEA Safety Guide für die Bewertung der Erdbebensicherheit von in Betrieb befindlichen Kernanlagen [14] gezeigt, dass die Anlage bei Zugrundelegung der PEGASOS-Ergebnisse (Überschreitenshäufigkeit 10-4/a) auch bei Spitzenbodenbeschleunigungen im Bereich von 0.8 bis 0.9 g sicher abgefahren werden kann. Mit Hilfe der Erdbeben PSA wurde gezeigt, dass der Beitrag von Erdbeben zur Kernschadenshäufigkeit gering ist.

Der Schutz gegen Hochwasser wurde beim Bau des KKG dadurch berücksichtigt, dass das Kraftwerksareal aufgeschüttet wurde. Es wurde gezeigt, dass selbst beim Bruch mehrerer Dämme die zu erwartende Flutwelle unterhalb der Oberkante des Kraftwerksareals bleibt. Im Falle eines Erdbebens, welches zu einem Dammbbruch führt – als kritisches Szenarium wurde der Bruch des Wehrs Winznau oder der Bruch des Oberwasserkanals identifiziert, muss zwar der Ausfall der betrieblichen Wasserfassung M0 unterstellt werden. [REDACTED]

[REDACTED] welches die Verfügbarkeit der erdbebensicher ausgeführten zweiten Wasserfassung M5 nach einem Erdbeben sicher stellt.

Bezüglich des Auftretens eines extremen Hochwassers als Folge extremer meteorologischer Bedingungen berücksichtigte die ursprüngliche Auslegung des KKG ein Hochwasser mit einer „Jährlichkeit“ von eintausend Jahren zuzüglich eines Sicherheitszuschlags. Dabei wurde pessimistisch unterstellt, dass der gesamte zu erwartende Hochwasserpegelabfluss in die alte Aare abströmt. Der Erhalt der Funktion der zweiten Wasserfassung M5 wurde hingegen bei Annahme eines noch

wesentlich stärkeren Hochwassers überprüft. Mit der „Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen“ wurden in Artikel 5 par 4 erhöhte Anforderungen an den Hochwasserschutz gestellt. Demnach sind Hochwasserereignisse mit einer Jährlichkeit von 10'000 Jahren zu berücksichtigen. Die von KKG durchgeführte Überprüfung hat gezeigt [8], dass unter diesen Bedingungen eine bezüglich Wasserstand und Zeitdauer begrenzte Überflutung des Kraftwerksareals nicht ausgeschlossen werden kann. Die daraufhin durchgeführte detaillierte Untersuchung [15, 8] hat bestätigt, dass die Funktion des Notstandssystems auch unter diesen Bedingungen aufrecht erhalten bleibt und die Nachwärme aus der Reaktoranlage ohne störfallbedingte Abgabe von Radioaktivität an die Umgebung sicher abgeführt werden kann. Die Zeitdauer eines derartigen Hochwassers ist nach den vorliegenden Aufzeichnungen historischer Hochwässer zu kurz, um die Nachwärmeabfuhr aus den Brennelement-Lagerbecken im Reaktorgebäude oder dem Nasslager gefährden zu können. Die Nachwärme aus dem Brennelement-Lagerbecken im Containment kann jedoch bei Erfordernis mit der verkürzten Nachkühlkette ebenfalls aus dem Notstand abgeführt werden. Die Nachwärmeabfuhr aus dem Nasslager (ZS07) erfolgt im inhärent sicheren Naturumlaufmodus. Festzuhalten ist, dass bei einer temporären Überflutung des Kraftwerkareals auch die anderen Sicherheitseinrichtungen nicht „garantiert“ ausfallen, sondern allenfalls ein Ausfall bei Annahme einer Überdeckung des Areals nach einigen Stunden nicht ausgeschlossen werden kann. Zum Schutz der sicherheitstechnischen Einrichtungen vor einem derartigen extremen Hochwasser hat KKG Notfallmassnahmen vorbereitet und entsprechende Regelungen im Notfallreglement [16] getroffen. Seit dem ersten November 2010 ist KKG in das automatische Hochwasseralarmierungssystem des BAFU ab der Messstation Aare-Murgenthal eingebunden, welches mit ausreichend grosser Vorwarnzeit einen sicherheitstechnisch vorgelagerten Alarm auslöst. Dank dieser Vorwarnung haben die im Alarmfall aufgebotenen Notfallequipen genügend Zeit die vorbereiteten Gegenmassnahmen durchzuführen. Zusätzlich hat KKG Massnahmen zur Verbesserung der Dichtheit der Aussenhülle sicherheitstechnisch wichtiger Gebäude eingeleitet. Dabei geht es u. a. um den Ersatz von Türdichtungen im Rahmen einer vorgezogenen Instandhaltung und die Vorbereitung leicht installierbarer Dämmschotte. Es ist vorgesehen, diese zusätzlichen Massnahmen bis zur Revision 2011 abzuschliessen.

5. Bewertung des Schutzes des KKG gegen Erdbeben und Hochwasser

Die Bewertung des Schutzes des KKG gegen Erdbeben und Hochwasser erfolgt Schutzziel orientiert entsprechend dem in der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [9] entwickelten Verfahren. Dabei werden zusätzlich auch die Notfallmassnahmen berücksichtigt. Es werden nur Funktionen berücksichtigt, deren erfolgreiche Realisierung zu einer Erfüllung des Schutzziels in einem relevanten Umfang beiträgt und die nicht in Folge des Ereignisses direkt abhängig ausfallen. Bei der Bewertung wird unterstellt, dass die hier betrachteten extremen externen Einwirkungen in jedem Fall zu einem Notstromfall führen. Die Bewertung erfolgt semiquantitativ. Bei vorhandenem Schutz gegen externe Einwirkungen wird der unterschiedliche Schutzgrad durch eine unterschiedliche Farbe des Kreuzes in der jeweiligen Bewertungsspalte gekennzeichnet. Dabei erfolgt eine Einteilung in drei Schutzkategorien. Im Fall von Erdbeben bedeutet die Farbe braun einen Schutz der zumindest dem von der HSK für die Begutachtung des KKG vor der Inbetriebnahme entsprechendem Erdbeben (Breitbandspektrum mit Ankerpunkt bei 0.28 g auf der Standortoberfläche, Sicherheitserdbeben des Gutachters) entspricht [16], abschliessend dokumentiert in [17], die Farbe blau einen Schutz der im Bereich des 1.5-fachen dieses Erdbebens liegt und die Farbe grün, dass diese Funktion bezüglich dem Schutz der Anlage aufgrund der Auslegung führend ist (stärkste Auslegung) und zumindest dem 1.5-fachen (bis zu mehr als dem Doppelten) des Gutachtererdbebens entspricht. Sofern die Notfallmassnahmen einen vergleichbaren oder höheren Schutzgrad haben, werden sie ebenfalls entsprechend gekennzeichnet. Die Beurteilung des Schutzgrades gegen Erdbeben erfolgt auf der Basis der nach modernen Verfahren durchgeführten Fragilityanalyse. Die Einteilung in die Kategorien berücksichtigt die Bandbreite möglicher Unsicherheiten (Unsicherheiten in der Gefährdung (Lage und Stärke (Energieinhalt) des Erdbebens), Modellierungsunsicherheiten).

Da das KKG Areal gemäss den vorliegenden Analysen beim mehrfachen Dambruch nicht überflutet wird, wird die Anlage als vollständig geschützt gegen diesen Lastfall angesehen. Selbst wenn eine allenfalls kurzzeitig zu unterstellenden Überflutung von Teilen des Kraftwerksareals postuliert wird, bleiben aufgrund der hohen Dichtheit der Aussenhülle der sicherheitsrelevanten Gebäude die Auswirkungen auf sicherheitsrelevante Funktionen sehr gering.

Im Falle eines Hochwassers als Folge extremer meteorologischer Verhältnisse bedeutet ein braunes Kreuz einen Schutz bis zu einem Hochwasser mit der Jährlichkeit von 1000 Jahren, ein blaues Kreuz einen Hochwasserschutz unter Berücksichtigung der vorbereiteten Notfallmassnahmen bis zu Ereignissen mit einer Jährlichkeit von ca. 100'000 Jahren und ein grünes Kreuz einen Vollschutz auch für extreme Hochwasser mit Wasserständen grösser 1 m auf dem Kraftwerksareal (Jährlichkeit im Bereich von 1 Million Jahren). Die Kategorisierung für den Fall Erdbeben mit Dambruch (Versagen des Wehrs Winznau oder des Oberwasserkanals als Folge des Erdbebens) ist analog. Dabei wird zusätzlich berücksichtigt, ob potenziell auftretende, kurzzeitige Verunreinigungen (bis zur Sedimentation) des Kühlwassers an der noch zur Verfügung stehenden zweiten Wasserfassung M5 durch Operateureingriffe behoben werden müssen (Farbe blau).

Die vorgenommenen Beurteilungen beziehen sich auf die gesamte für die Erfüllung der jeweiligen Systemfunktion notwendige Funktionskette.

Tabelle 2 Beurteilung des Schutzes der Sicherheits- und Systemfunktionen gegen externe Einwirkungen (Erdbeben)

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbruch
1. Kontrolle der Reaktivität	Reduzierung der erzeugten Wärme; Sicherstellung der Unterkritikalität	Inhärente Rückkopplung	X	X	X
		RESA (inklusive Steuerelement-Einwurf)	X	X	X
		Boreinspeisung Volumenregelsystem TA	X	X	X
		Boreinspeisung Zusatzboriersystem	X	X	X
		Boreinspeisung Not- u. Nachkühlsystem TH inkl. Druckspeicher	X	X (X1)	X (X1)
		FD - Abschluss	X	X	X
		Abschaltung der Hauptkühlmitteltumpen	selbsttätig	selbsttätig	selbsttätig

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dambruch
2. Kühlung der Brennelemente					
2.1 a Sicherstellung des Wasserinventars im Reaktorkühnkreislauf	Primärkühlmittelergänzung	Einspeisung Volumensystem TA	X	X	X
		Einspeisung Zusatzboilersystem	X	X	X
		HD-Sicherheitseinspeisung	X	X	X
		ND-Einspeisung aus Flutbehältern und/oder Sumpf	X	X	X
		Druckspeichereinspeisung	X	X	X
		ND-Einspeisung vom Notstandssystem aus Flutbehältern oder Sumpf	X	X	X

¹ Grün (Vollschutz) für die Druckspeichereinspeisung

„Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz“

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbbruch
2.1 b Sicherstellung des Wasserinventars im Sekundärkreislauf	Dampfzeugerbespeisung	Bespeisung mit An- und Ab-fahrpumpen ² RR	X	X	X
		Bespeisung mit Notseisepumpen	X	X	X
		Bespeisung mit Notstandsnot-seisepumpen RX ³	X	X	X
2.2 a Sicherstellung der Integrität des Re-aktorkühlkreislaufes	Primärseitige Druckbegrenzung ⁴	Notfallmassnahme Sekundär-seitiges Feed and Bleed	X	X	X
		Druckbegrenzung mittels Druckhaltersicherheitsventil ■■■■■	X	X	X
		Primärseitige Druckentlastung (PDE) ⁵	X	X	X

² Bespeisung möglich bis zur Erschöpfung des Speisewasservorrats im Speisewasserbehälter

³ Langzeitbespeisung durch Ergänzung der Deionatvorräte vom Brunnenwassersystem VX und des Dieseltreibstoffes mittels Tank-Mobil

⁴ Es werden nur die relevanten Systemfunktionen aufgeführt, Funktionen die als Folge des Ereignisses ausfallen, werden ebenfalls nicht aufgeführt

⁵ Notfallmassnahme

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbbruch
		RDB Deckelentlüftung ⁶	X ⁷	X	X
2.2. b Sicherstellung der Integrität des Sekundärkreislaufes	DE- Überspeisungsabsicherung	DE-Füllstandsregelung	X	X	X
		Notstandsnotspeiseregeling	X	X	X
		Absperrung Notbespeisung RS	X	X	X
		Absperrung Notstandnotbespeisung RX	X	X	X
2.2. c Sicherstellung der Integrität der Sicherheitschülle	Druckbegrenzung in der Sicherheitschülle	FD-Abschluss	X	X	X
		Absperrung DE-Bespeisung (aus Reaktorschutz)	X	X	X
		Nachkühlung (siehe primärseitige Nachwärmeführung)			
		Gefilterte Druckentlastung des Containments	X	X	X

⁶ Notfallmassnahme⁷ Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz.

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbruch
		Wasserstoffbeherrschung: Passives Durchmischungssystem der Containmentatmosphäre [REDACTED]	X	X	X
2.3 a Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor-kühlkreislauf	Primärseitige Nachwärmeabfuhr	Wärmetransport über Naturumlauf oder im Dampf-Kondensations-Modus	X	X	X
		Nachkühlung (Nachkühlbetrieb/Sumpfbetrieb)	X ⁷	X	X
		Notstandnachkühlung/Verkürzte Nachkühlkette	X	X	X
2.3 b Nachwärmeabfuhr aus dem Sekundärkreislauf	Sekundärseitige Wärmeabfuhr	Abfahren über FD-Abblasregelventile von ZX	X	X	X
		Abfahren über FD-Abblasregelventile von ZE	X ⁷	X	X
		100K/h-Abfahren von ZE	X ⁷	X	X

7

[REDACTED]
Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz.

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbbruch
		100K/h-Abfahren von ZX (manuelle Regelung)	X	X	X
		Sekundärseitiges Feed and Bleed ⁸	X	X	X
2.3. c Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken im Containment	BE-Beckenkühlung	BE-Beckenkühlung über [REDACTED] (Nachkühlpumpen)	X ⁷	X	X
		BE-Beckenkühlung über den dritten unabhängigen Beckenkühlstrang [REDACTED]	X ⁷	X	X
		BE-Beckenkühlung über die Notstandsnachkühlpumpen/ verkürzte Nachkühlkette	X	X	X
		BE-Beckenkühlung über Einspeisen/Verdampfen ⁹	X	X	X
2.3. d Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken	BE-Beckenkühlung	Fremdenergiefreie Kühlung über Naturumlauf	X	X	X

⁸ Notfallmassnahme⁹ Notfallmassnahme, Einspeisung von Feuerlöschwasser über Schlauchverbindung, Verbindungsstutzen im ZB [REDACTED]
„Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz.“

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen	Schutz gegen Erdbeben	Schutz gegen Hochwasser	Schutz gegen Erdbeben mit Dammbbruch
im Nasslager ZS07		BE-Beckenkühlung über vorbereiteten Accident Management Anschlüsse, Kühlung über die Einhängenkühler im BE-Becken ¹⁰	X	X	X

¹⁰ Notfallmassnahme, bis zum Einleiten dieser Massnahme bestehen sehr hohe Karenzzeiten, im Minimum am Ende der ersten Ausbaustufe vier Tage, gegenwärtig ca. zehn Tage

„Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz.“

Zusammenfassende Bewertung

Aus der Bewertung des Schutzgrades der Sicherheits- und Systemfunktionen des KKG ergibt sich, dass für alle bei extremen externen Einwirkungen zu berücksichtigenden Sicherheitsfunktionen Systemfunktionen mit einem hohen Schutzgrad (auch bei Erdbeben mit der 1.5-fachen bis zu mehr als der doppelten Spitzenbodenbeschleunigung des von der HSK für die Begutachtung des KKG vor der Inbetriebnahme verwendeten Bemessungsspektrums [16, 17]) zur Verfügung stehen. Dieser Schutzgrad entspricht der Beherrschung der Folgen eines Erdbebens der Magnitude 7 in Standortnähe. Alle für die Beherrschung der Folgen externer Einwirkungen in Frage kommenden Systemfunktionen verfügen über einen bereits auf einem hohen Anforderungsniveau festgelegten Mindestschutz gegen externe Einwirkungen. Auf Betriebssysteme muss bei der Beherrschung der Folgen externer Einwirkungen nicht zurückgegriffen werden. Bei einem lang andauernden Notstromfall wird zur Aufrechterhaltung der Sicherheitsfunktionen zur Nachwärmeabfuhr aus der Reaktoranlage und aus dem BE-Lagerbecken im Containment auf vorbereitete Notfallmassnahmen zurückgegriffen, die der Sicherstellung des Langzeitbetriebs der Notstromversorgung und insbesondere der Notstandsnotstromversorgung mit Dieseltreibstoff sowie der Ergänzung der Deionatvorräte durch Nachbespeisung aus den Grundwasserfassungen oder mit Feuerlöschwasser dienen. Die Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken im Nasslager erfolgt im inhärent sicheren Naturumlaufverfahren. Zusätzlich sind für die Nachwärmeabfuhr aus beiden BE-Lagerbecken Notfallmassnahmen vorbereitet.

Die durchgeführte Bewertung der Sicherheits- und Systemfunktionen bildet die Grundlage für die Beantwortung der Fragen des ENSI.

6. Beantwortung der Fragen des ENSI aus der Verfügung vom 18.3.2011

Gemäss der Verfügung des ENSI vom 18.3.2011 sind die folgenden Fragen zu beantworten:

- a. *Ist im Kernkraftwerk Gösgen die Kühlmittelversorgung für die Sicherheits- und Hilfssysteme aus einer diversitären, erdbeben-, hochwasser- und verunreinigungssicheren Quelle gesichert (Zusatzversorgung über Grundwasserbrunnen)?*
- b. *Sind im Kernkraftwerk Gösgen allfällige ausserhalb des Primärcontainments befindliche Brennelementlagerbecken genügend gegen externe und interne Einwirkungen geschützt?*
- c. *Ist im Kernkraftwerk Gösgen die Brennelementbeckenkühlung eine besonders geschützte Sicherheitsfunktion und kann sie über das gebunkerte Notstandssystem versorgt und gesteuert werden?*

Antwort zur Frage a.

Bezüglich der sicheren Nachwärmeabfuhr nach einer Reaktorschnellabschaltung infolge einer externen Einwirkung sind im KKG zwei sichere Betriebszustände verfügbar:

- der Zustand „heiss abgestellt“ mit Nachwärmeabfuhr über die Dampferzeuger
- der Nachkühlbetrieb mittels der Nachkühlkette TH/TF/VE (drei Kühlkreise mit aufschaltbarem vierten Nachkühlstrang TH40) oder mittels der verkürzten Nachkühlkette TH17/TH37 und Wärmeabfuhr über das Brunnenwassersystem VX im gebunkerten Notstandssystem

Die Wärmeabfuhr im Zustand „heiss abgestellt“ kann bei einem unterstellten Notstromfall mit den folgenden Einrichtungen erfolgen:

- Mit Hilfe der An- und Abfahrpumpen RR (2 x 100 % für Nachwärmeabfuhr) vom Speisewasserbehälter bis zu dessen Entleerung
- Mit Hilfe des Notspeisewassersystems RS (4 x 100 %, die Pumpe im Strang 4 ist umschaltbar und im Leistungsbetrieb dem Dampferzeuger 2 aufgeschaltet) von je vier Notspeisebecken mit einem Deionatvorrat von 210 m³ und einer zusätzlich verwendbaren betrieblichen Deionatreserve von 2 x 140 m³. Die Notspeisebecken können untereinander verbunden werden, so dass der Deionatvorrat einer ausgefallenen Pumpe für andere Pumpen nutzbar gemacht werden kann. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer Nachspeisung von Feuerlöschwasser mittels eines vorbereiteten Abschlusses mit Storzkupplung. Es stehen diversitäre Wasserquellen (Kühlturmtasse und gegebenenfalls Entnahme aus der Aare, Feuerlöschringleitung gestützt vom Wasserreservoir vom Sören 1200 m³) für diese Massnahme zur Verfügung.
- Mit Hilfe des Notstandspeisewassersystems RX (2 x 100 %) im gebunkerten Notstandssystem ZX, welches über zwei Notstandbecken (2 x 530 m³) verfügt, welche aus den Grundwasserfassungen mit dem Brunnenwassersystem mittels einfacher Operateurhandlungen nachgefüllt werden können.
- Zur Wärmeabfuhr an die Umgebung dienen die FD-Abblaseregelventile oder die FD-Sicherheitsventile. Ein Teilabfahren der Anlage zur Reduktion des Druckes im FD-System ist von der Notsteuerstelle im ZX –Gebäude aus möglich.

Mit Notfallmassnahmen kann eine Druckentlastung der Dampferzeuger herbeigeführt werden, die auch zu einer Druckabsenkung im Reaktorkühlkreislauf führt. Die Dampferzeuger können geodätisch über die Druckdifferenz zwischen Speisewasserbehälter und druckentlasteten Dampferzeuger oder von externen Wasserquellen mit mobilen Pumpen bespeist werden (vom Tanklöschfahrzeug oder mit Motorspritze). Ein Anschlussstutzen für die Einspeisung von Feuerlöschwasser ist im gegen Erdbeben ausgelegten Notspeisegebäude vorbereitet. Es stehen diversitäre Wasserquellen (Kühlturmtasse und gegebenenfalls Entnahme aus der Aare, Feuerlöschringleitung gestützt vom Wasserreservoir Sören) für diese Massnahme zur Verfügung. Die Umsetzung dieser Notfallmassnahmen führt nicht zur Freisetzung von Aktivität aus dem Reaktorkühlkreislauf oder dem Containment. Das Personal muss bei der Ausführung dieser Handlungen (präventive Notfallmassnahme) nicht in Anlagenbereichen mit einem erhöhten Strahlenfeld arbeiten.

Aus dem Zustand „heiss abgestellt“ kann ein Übergang in den Nachkühlbetrieb erfolgen. Ein Abfahren der Anlage kann sowohl über den Hauptkommandoraum (manuelle Auslösung mit automatischem Abfahren nach vorgewähltem Abfahrtransienten) als auch über die Notsteuerstelle (manuell) erfolgen. In einer extremen Situation kann die primärseitige Druckentlastung vom Notstand aus

als Notfallmassnahme ausgelöst werden. Das Kühlwasser für die Notstandnachkühlung mit Hilfe der verkürzten Nachkühlkette wird vom Brunnenwassersystem VX aus den Grundwasserfassungen bereit gestellt.

Für die Nachkühlung mittels der Kühlkreise TH/TF/VE kann das Kühlwasser aus einer der beiden Wasserfassungen M0 oder M5 bereit gestellt werden. Wie Tabelle 2 zu entnehmen ist, verfügt auch diese Option des Nachkühlbetriebs über einen hohen Schutzgrad gegen externe Auswirkungen.



Insgesamt verfügt KKG über vier Kühlwasserfassungen:

- die Kühlwasserfassung im erdbebensicher ausgeführten Gebäude M0 im Oberwasserkanal (für den Oberwasserkanal gibt es keinen Nachweis für Erdbebensicherheit beim Sicherheitserdbeben) der Aare,
- die erdbebensicher ausgeführte Kühlwasserfassung im Gebäude M5 unterhalb des Wasserkraftwerkes Gösgen
- sowie über zwei Grundwasserfassungen (Notstandsbrunnen, Brunnenwassersystem VX) im gegen extreme externe Auswirkungen geschützten Notstandsgebäude ZX.

Die räumliche Trennung der Wasserfassungen und ihre Diversität bilden einen wirksamen Schutz vor einem Common Mode Versagen wie es in Fukushima beobachtet wurde. Drei der vier Kühlwasserfassungen verfügen über einen bereits hohen Anforderungen genügenden Mindestschutz gegen externe Einwirkungen und sind notstromversorgt. Den höchsten Schutz weisen die vom Notstand aus versorgten Funktionen auf (vgl. Tabelle 2, entspricht ca. einem Erdbeben mit der 1.5-fachen bis zu mehr als der doppelten Spitzenbodenbeschleunigung des von der HSK für die Begutachtung des KKG vor der Inbetriebnahme verwendeten Bemessungsspektrums [16, 17], entspricht etwa einem Erdbeben der Magnitude 7 in Standortnähe).

Antwort zur Frage b.

Ausserhalb des Primärcontainments befindet sich das Nasslager ZS07. Das Nasslager erfüllt alle aktuellen Anforderungen für Kernanlagen [12] hinsichtlich des Schutzes gegen externe Einwirkungen wie Erdbeben, Hochwasser, Flugzeugabsturz, Explosionen, Blitze, Brände und meteorologische Bedingungen.

Durch die funktionale Trennung der vier redundanten Kühlsysteme und die passive Wärmeabfuhr nach dem Naturumlaufprinzip ist die zentrale Funktion der Wärmeabfuhr über Kühltürme an die Atmosphäre auch fremdenergielos gewährleistet.

Bezüglich interner Einwirkung ist im Nasslager das Versagen von Rohrleitungen und Komponenten aufgrund der geringen Betriebsdrücke < 20 bar und Betriebstemperaturen < 100° C nicht zu erwarten.

Eine interne Explosion kann für das Nasslager ausgeschlossen werden, da in dem Gebäude weder Gase gelagert, noch Stoffe zur Bildung gefährlicher explosiver Gase oder Gasgemische vorhanden sind. Postuliert man hypothetisch ein Versagen der fremdenergielosen Naturumlaufkühlung des Brennelementbeckens, so steht eine Karenzzeit von ca. vier Tagen (Ausbaustufe 1 mit 0.5 MW Leistung) bis zu einer Aufheizung des Beckens auf 80° C zur Verfügung. Diese Zeit steht für die Inbetriebnahme des vorbereiteten Accident Management Systems zur Wärmeabfuhr von einer externen Wasserquelle (Feuerlöschwasser, mit Wärmeabfuhr über die Einhängenkühler im BE-Lagerbecken) zur Verfügung. Mit der aktuellen Beladung des Lagerbeckens (ca. 200 kW Leistung) beträgt diese Karenzzeit ca. zehn Tage. Die Anschlussleitungen für das Accident Management System befinden sich im Inneren des Nasslagergebäudes und sind somit gegen externe Einwirkungen geschützt. Es gibt zwei räumlich getrennte Zugänge in das Nasslagergebäude. Gegebenenfalls kann das Beckeninventar auch durch das direkte Einspeisen von Feuerlöschwasser aufgefüllt werden, da eine Borierung nicht erforderlich ist.

Zum Schutz vor Erdbebeneinwirkungen und vor induzierten Erschütterungen (Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwellen) ist das BE-Lagerbecken aseismisch auf Federdämpfern gelagert.

Im Hinblick auf eine Brandgefährdung wird im Nasslager, wie in der ganzen kontrollierten Zone, auf eine Minimierung der Brandlasten geachtet. Im Rahmen periodisch durchgeführter Anlagenrundgänge werden Brandlasten systematisch identifiziert und falls vorhanden entfernt. Bautechnische Brandschutzmassnahmen (passiver Brandschutz), wie z. B. die Bildung von Brandabschnitten, wurden gegenüber den anlagentechnischen Massnahmen (aktiver Brandschutz) vorrangig berücksichtigt.

Gegen anlageninterne Überflutungen infolge Versagens von wasserführenden Anlagenteilen ist in den Bauwerken mit sicherheitsrelevanten Ausrüstungen Vorsorge getroffen worden [12].

Die erhöhte Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Nasslager ZS07 unter Störfallbedingungen wurden bei der Auslegung berücksichtigt.

Der Schutz des externen Nasslagers ZS07 gegen externe Einwirkungen ist zusammenfassend als ausserordentlich hoch zu bewerten.

Antwort zu Frage c.

Für die Kühlung des Brennelementlagerbeckens im Containment stehen drei redundante Beckenkühlkreisläufe zur Verfügung. Alle drei Beckenkühlkreisläufe verfügen über einen bereits auf einem hohen Anforderungsniveau bestehenden Mindestschutz gegen externe Einwirkungen (vgl. Tabelle 2). Zwei Kühlkreisläufe sind mit den Nachkühlkreisläufen verknüpft. Diese beiden Kühlkreisläufe können auch durch die gebunkerten Notstandssysteme versorgt werden, wobei die Kühlung mit Hilfe der Notstandsnachkühlpumpen [REDACTED] aus dem gebunkerten und besonders stark gegen externe Einwirkungen geschützten Notstandsgebäude ZX erfolgt. Bei einem Verlust der 1. und 2. Wasserfassung, z. B. infolge eines sehr starken Erdbebens oder eines Erdbebens mit Dammbruch (Versagen des Wehrs Winznau oder des Oberwasserkanals mit postulierter dauerhafter Verstopfung der Wasserfassung im M5) besteht die Möglichkeit einer verkürzten Nachkühlkette, indem die Wärme aus den nuklearen Zwischenkühlern direkt mit Grundwasser aus den beiden Notstandswasserfassungen mit Hilfe des Brunnenwassersystems VX abgeführt wird. Damit kann die BE-Beckenkühlung vollständig aus dem gesicherten Bereich gewährleistet werden. Für die Steuerung steht die Notsteuerstelle im Notstandsgebäude ZX zur Verfügung. Der Langzeitbetrieb kann mit Hilfe vorbereiteter Notfallmassnahmen durch Ergänzung der Dieselvorräte mittels vorbereiteter Tankmobil sicher gestellt werden. Dabei können die auf der Anlage verfügbaren Dieselvorräte (die bei unterstelltem Ausfall der anderen Sicherheitseinrichtungen nicht benötigt werden), genutzt werden.

Der 1999 nachgerüstete dritte unabhängige Beckenkühlstrang [REDACTED] der auf die maximal abzuführende Nachwärme ausgelegt ist, ist bezüglich der Notstromversorgung und der Kühlkreisläufe der Redundanz [REDACTED] zugeordnet. Er verfügt ebenfalls über einen hohen Schutzgrad gegen externe Einwirkungen. Es besteht die Möglichkeit einer Einspeisung von Feuerlöschwasser vom Tanklöschfahrzeug oder mittels Motorspritze zum Auffüllen und/oder Kühlen des BE-Beckens über einen im Reaktorgebäude befindlichen Einspeisestutzen in den Beckenkühlstrang [REDACTED]. Dank der Anordnung dieses Stutzens innerhalb des Reaktorgebäudes ist dieser gegen externe Einwirkungen geschützt. Der Zugang zu dem Stutzen ist auch bei erhöhter Strahlung im Containment möglich.

Aufgrund der inhärent wirksamen passiven Kühlung durch Naturumlauf und den bei einem hypothetischen Ausfall des Naturumlaufts verfügbaren sehr grossen Karenzzeiten, sowie des hohen Schutzgrades des Nasslagergebäudes ist eine aktive Beckenkühlung des Lagerbeckens im Nasslager ZS07 vom Notstandsgebäude aus nicht erforderlich.

7. Referenzen

1. INES – The International Nuclear and Radiological Event Scale, User's Manual 2008 Edition, IAEA.
2. VGB, E-Mail 1, Dr. G. Schäfer v. 16.3.2011 – Japan Erdbeben Maximalbeschleunigungen

3. VGB, E-Mail Dr. G. Schäfer, v. 21.3.2011 - TEPCO–digest, „Acceleration data, tentative estimate“.
4. Prof. Irikura, Personal mail communication, 15.3.2011 – 20.3.2011
5. VGB E-Mail 2, Dr. G. Schäfer v.16.3.2011, JNES New Design Basis Ground Motions (under review)
6. Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung des KKG 2008, BER-D-33022, 2008.
7. PSÜ 2008: Überprüfung der Erdbebenauslegung des KKG, BER-D-31030, 2008
8. Technische Dokumentation Hochwasserschutz, ROL-D-48860, 17.12.2010
9. Sicherheitsstatusanalyse (SSA) Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG/D) mit Druckwasserreaktor, ALD-D-32949, 2008.
10. PSÜ: Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der gültigen Störfallanalysen für die anforderungsbestimmenden Störfälle des KKG, 2009
11. Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, Sicherheitsbericht , Ausgabe 2008
12. Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, Sicherheitsbericht BE-Nasslager
13. KKG, Notfallahndbuch, HDB-D-19319, aktuelle Version 2009
14. IAEA, Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, Safety Guide No. NS-G-2.13, Vienna 2009
15. KKG, Nachweisführung für den Hochwasserschutz des KKG gemäss der “Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.114.5), ALD-D-48800, 2010
16. Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen , Erdbebenrisikokarten der Schweiz, Basler & Hofmann, September 1977
17. Bundesamt für Energiewirtschaft, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Erdbeben – Bemessungsspektren für Schweizerische Kernanlagen, Basler & Hofmann, April 1984