

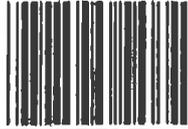


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN
Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI

Industriestrasse 19
5200 Brugg
Tel.: 056 / 460 84 00
Fax: 056 / 460 84 99

435



AN-Nummer

ENSI 17/1296

Datum

02. September 2011

Aktenzeichen

17KEX

Typ/Charakter

Aktennotiz

Klassifikation

öffentlich

Bearbeiter



Visum

Sachbearbeiter:

Vorgesetzter:



Projekt, Thema, Gegenstand (Schlagwörter)

KKG, Verfügung Fukushima, deterministischer Nachweis
10'000-jährliches Hochwasser

Seiten

19

Beilagen

Zeichnungen

Stellungnahme des ENSI zu dem deterministischen Nachweis des KKG zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers

1	Anlass	2
1.1	Ausgangslage	2
1.2	Gegenstand und Grundlage der Beurteilung	2
1.3	Aufbau der Aktennotiz	3
2	Neubewertung der Hochwassergefährdung	4
2.1	Gefährdungsannahmen	4
2.2	Auswirkungen auf die Anlage	7
3	Deterministischer Sicherheitsnachweis	11
3.1	Überführung der Anlage in den sicheren Zustand	11
3.2	Einhaltung der Dosisgrenzwerte	14
4	Zusammenfassung	16
5	Referenzen	18

Verteiler:

ENSI: GL, KASI, , Archiv

Extern: KKG



1 Anlass

1.1 Ausgangslage

Vor dem Hintergrund der Ereignisse in Japan hat das ENSI gestützt auf Art. 2, Abs. 1, Bst. d der Verordnung des UVEK vom 16. April 2008 über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5) /20/ am 18. März 2011 verfügt, dass die Auslegung der Kernkraftwerke in der Schweiz bezüglich Erdbeben und Überflutung unverzüglich zu überprüfen ist /16/.

Die Randbedingungen für diese Überprüfung sowie der terminliche Rahmen wurden vom ENSI in einer 2. Verfügung vom 1. April 2011 /12/ festgelegt. Bezüglich der Gefährdung durch Hochwasser sind insbesondere die Folgeschäden wie Verstopfung oder Zerstörung von Einlaufbauwerken durch mitgeführtes Geschiebe und Schwemmgut im Detail zu untersuchen. Konkret fordert das ENSI:

„Der deterministische Nachweis für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers ist basierend auf den für die Rahmenbewilligungsgesuche neu bestimmten Hochwassergefährdungen (unter Berücksichtigung der ENSI-Forderungen aus den entsprechenden Gutachten) bis zum 30. Juni 2011 zu führen. Dafür gelten folgende Randbedingungen:

- Für den Nachweis der Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers sind nur Ausrüstungen und Strukturen zu kreditieren, deren Hochwasserfestigkeit für die Gefährdungsannahmen nachgewiesen wurde.
- Es ist der Ausfall der externen Stromversorgung zu unterstellen.
- Es ist der deterministische Nachweis zu führen, dass eine Verstopfung oder eine Schädigung der Flusswassereinlaufbauwerke ausgeschlossen werden kann. Falls nicht gezeigt werden kann, dass die Hochwasserentlastung der vorgelagerten Stauanlagen ausreichend dimensioniert ist, darf keine Rückhaltung von Geschiebe und Schwemmgut durch diese Stauanlagen kreditiert werden. Kann der deterministische Nachweis, dass eine Verstopfung oder Schädigung der Flusswassereinlaufbauwerke ausgeschlossen werden kann, nicht erbracht werden, ist der Ausfall der vom Hochwasser betroffenen Kühlwasserfassungen zu unterstellen.
- Es ist nachzuweisen, dass die Anlage in einen sicheren Zustand überführt und dieser Zustand ohne Zuhilfenahme externer Notfallschutzmittel während mindestens 3 Tagen stabil gehalten werden kann.
- Interne Notfallschutzmassnahmen können nur kreditiert werden, wenn sie vorbereitet sind, genügend grosse Zeitfenster zur Durchführung vorhanden sind und die dafür erforderlichen Hilfsmittel auch nach einem 10'000-jährlichen Hochwasser zur Verfügung stehen.
- Die Berechnung der aus dem Störfall resultierenden Dosis erfolgt aufgrund der während des Analysezeitraums emittierten radioaktiven Stoffe und richtet sich nach der Richtlinie ENSI-G14.

1.2 Gegenstand und Grundlage der Beurteilung

Das KKG hat fristgerecht einen sicherheitstechnischen Nachweis des Hochwasserschutzes /1/ und erläuternde Zusatzberichte, die in den Dokumenten /17/ und /19/ zusammengefasst sind, dem ENSI eingereicht. Die Zusatzberichte umfassen u. a. einen Sicherheitsbericht zur 2. Was-



serfassung, die Modellbeschreibung und die experimentelle Überprüfung der Modellierung des Eindringens von Wasser in das Notstandsgebäude, Überflutungsberechnungen für den Standort des KKG sowie eine radiologische Analyse.

Gegenstand der Beurteilung durch das ENSI ist der mit der Verfügung vom 18. März 2011 /16/ geforderte deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers. Dabei werden die angewandte Methodik und die Ergebnisse durch das ENSI überprüft. Der Nachweis gilt dann als erbracht, wenn gezeigt werden kann, dass der Dosiswert für nichtberuflich strahlenexponierte Personen den nach Art. 94 StSV /28/ für Störfälle der Kategorie 3 geltenden Grenzwert von 100 mSv nicht überschreitet.

Die Beurteilung des ENSI stützt sich auf folgende rechtliche Grundlagen:

Für den Nachweis des ausreichenden Schutzes sind gemäss Art. 5 Abs. 4 der UVEK-Verordnung (SR 732.112.2) /9/ nur Gefährdungen mit einer Häufigkeit grösser gleich 10^{-4} pro Jahr zu berücksichtigen.

Der Nachweis für das 10'000-jährliche Hochwasser ist gemäss Art. 2 Abs. 1 der UVEK-Verordnung (SR 732.112.2) anhand deterministischer Störfallanalysen zu führen, indem die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele aufgezeigt wird. Zusätzlich zum auslösenden Ereignis ist ein unabhängiger Einzelfehler gemäss Art. 8 Abs. 4 der KEV zu unterstellen.

Die Auswirkungen des 10'000-jährlichen Hochwassers müssen mit den getroffenen Schutzmassnahmen so begrenzt bleiben, dass das Kernkraftwerk in einen sicheren Anlagenzustand überführt werden kann. Dieser ist erreicht, wenn die Einhaltung der technischen Kriterien gemäss Art. 11 der UVEK-Verordnung (SR 732.112.2) und im Hinblick auf die Frage der Ausserbetriebnahme die radiologischen Kriterien gemäss Art. 3 UVEK-V (732.114.5) nachgewiesen sind.

Mit der Verfügung vom 01. April 2011 /12/ hat das ENSI zusätzliche Randbedingungen für den deterministischen Sicherheitsnachweis vorgegeben, die im Abschnitt 1 dieser Aktennotiz genannt sind. Zur weiteren Bewertung der deterministischen Störfallanalysen werden die Richtlinien ENSI-A01, ENSI-A08 und ENSI-G14 herangezogen.

Für die Bestimmung der standortspezifischen Gefährdung durch externe Überflutungen sind Anforderungen in der Richtlinie ENSI-A05 „Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang“ /10/ vorgegeben.

Eine weitere Beurteilungsgrundlage ist der IAEA Safety Guide No. NS-G-3.5 „Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites“ /11/.

1.3 Aufbau der Aktennotiz

Kapitel 1 dieser Aktennotiz enthält allgemeine Angaben zum Anlass der Überprüfung, zu den vom Betreiber eingereichten Dokumenten und den Beurteilungsgrundlagen. Im Kapitel 2 werden die für das 10'000-jährliche Hochwasser anzusetzenden Gefährdungsannahmen und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Anlage behandelt. Gegenstand des Kapitels 3 ist zum einen das Überführen und Halten der Anlage in den bzw. im sicheren Zustand unter der Annahme eines hochwasserbedingten lang andauernden Notstromfalls und zum anderen der radiologische Nachweis. Die wesentlichen Erkenntnisse der vorgenommenen Überprüfung werden im Kapitel 4 zusammengefasst.



2 Neubewertung der Hochwassergefährdung

Das KKG war bereits aufgefordert, dem ENSI bis Ende 2010 ein neues Nachweiskonzept für einen ausreichenden Hochwasserschutz vorzulegen. Diese Forderung war in neuen Erkenntnissen begründet, die im Rahmenbewilligungsgesuch für den Neubau des Kernkraftwerks Niederramt gewonnen wurden und nach denen für den Standort des KKG von verschärften Gefährdungsannahmen durch Hochwasser auszugehen ist. Die zum 30. Juni 2011 eingereichten Unterlagen des KKG stützen sich in weiten Teilen auf dieses Nachweiskonzept.

2.1 Gefährdungsannahmen

Angaben des Betreibers

Bestimmung des 10'000-jährlichen Durchflusses in der Alten Aare

Das KKG betrachtet für die Bestimmung der Gefährdung des Standortes durch ein 10'000-jährliches Hochwasser drei Szenarien /1/:

1. Der Zufluss zum Wehr Winznau beträgt $1700 \text{ m}^3/\text{s}$. Hiervon fliessen $380 \text{ m}^3/\text{s}$ durch den Oberwasserkanal und das Wasserkraftwerk Gösgen (mit laufenden Turbinen, dies entspricht der konzessionierten Wassermenge) ab. Es resultieren $1320 \text{ m}^3/\text{s}$ Durchfluss durch die Alte Aare.
2. Der Zufluss zum Wehr Winznau beträgt $1530 \text{ m}^3/\text{s}$. Hiervon fliessen $152 \text{ m}^3/\text{s}$ durch den Oberwasserkanal und das Wasserkraftwerk Gösgen (mit abgestellten Turbinen im so genannten Segelbetrieb) ab. Es resultieren $1378 \text{ m}^3/\text{s}$ Durchfluss durch die Alte Aare.
3. Als unabhängiger Einzelfehler entsprechend Richtlinie ENSI-A01 /3/ zusätzlich zur Hochwassersituation wird die totale Verstopfung des Wasserkraftwerks Gösgen postuliert. Für die Verstopfungswahrscheinlichkeit wird ein Wert von 0,03 verwendet. Da insgesamt nur ein 10'000-jährliches Ereignis zu betrachten ist, wird dieser Verstopfung ein 333-jährlicher Zufluss zum Wehr Winznau, abgelesen von der für KKN extrapolierten Kurve der Durchflussmessdaten, überlagert. Dies entspricht einem Durchfluss von etwa $1370 \text{ m}^3/\text{s}$, der vollständig durch die Alte Aare fliesst.

Das KKG wählt aufgrund der höchsten Durchflusswerte durch die Alte Aare das 2. Szenario als das für den deterministischen Nachweis bestimmende Szenario aus, d. h. für das 10'000-jährliche Hochwasser am Standort des KKG wird ein Durchflusswert durch die Alte Aare von $1378 \text{ m}^3/\text{s}$ angenommen. Die Unsicherheit dieses Wertes wird mit einer Spanne von ca. $-58 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $+72 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben.

Bestimmung von Wasserständen am Standort des KKG

Für die Bestimmung der Pegelstände verwendet das KKG ein 2D-Programm der Firma AF Colenco. Dieses Programm sagt gemäss KKG im Vergleich zu dem für die Planung von Hochwasserschutzmassnahmen des Kantons Solothurn verwendeten Programm im Bereich des Kraftwerksgeländes deutlich höhere Wasserstände vorher. Das KKG verzichtet deshalb auf die Berücksichtigung der Unsicherheit der Durchflusswerte. Bei einem Durchfluss von $1380 \text{ m}^3/\text{s}$ wird vom KKG ein Pegelstand von maximal $382,05 \text{ m ü. M.}$ ausgewiesen (/1/, /4/). Dieser liegt 5 cm unterhalb der Referenzhöhenkote am Notstandsgebäude. Damit ist bei dem vom KKG angesetzten 10'000-jährlichen Hochwasser keine Überflutung des Kraftwerksgeländes zu erwarten.



Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse hat das KKG auch höhere Durchflusswerte in der Alten Aare untersucht. Für verschiedene Durchflusswerte von bis zu 2100 m³/s werden ebenfalls maximale Wasserstände bestimmt (11, 14).

Weitergehende Untersuchungen des KKG

Über die vorgängig beschriebenen Betrachtungen hinaus hat das KKG weitere Untersuchungen eingereicht:

- a. Basierend auf den Ganglinien der Hochwasser von 1981 und 2007 wird für verschiedene betrachtete Durchflüsse eine mittlere Zeitdauer der Überflutung des Kraftwerksgeländes abgeleitet (11, 15). Die hier zugrunde gelegte Annahme, dass bereits bei einem Durchfluss von 1350 m³/s die Überflutung des Kraftwerksgeländes beginnt, führt dazu, dass für das vom KKG angesetzte 10'000-jährliche Hochwasser eine mittlere Überflutungsdauer von 1,1 Stunden ausgewiesen wird. Diesen Wert versteht das KKG als Sicherheitszuschlag zur Zeitdauer der Überflutung durch stärkere Hochwasser, der mögliche Unsicherheiten der Extrapolation der Hochwasserdauer berücksichtigen soll.
- b. Für verschiedene Dammbrechtszenarien werden die zu erwartenden Energielinienhöhen am Standort des KKG angegeben 11. Für verschiedene Bruchzenarien des Wehrs Ruppoldingen, das in den Untersuchungen zu Dammbriichen nicht enthalten war, werden grafisch maximale Fliesstiefen ausgewiesen 17.
- c. Auf der Basis eines detaillierten probabilistischen Modells 15, abgestützt auf weitergehende Untersuchungen des RiskLab der ETH Zürich 16 wird eine aus Sicht vom KKG realistischere Zuordnung von Durchflusswerten zu Jährlichkeiten dargestellt 11.

Beurteilung des ENSI

Bestimmung des 10'000-jährlichen Durchflusses in der Alten Aare

Das erste vom KKG betrachtete Szenario fusst mit einem Zuflusswert von 1700 m³/s am Wehr Winznau auf dem für das vormals geplante Kernkraftwerk Niederamt (KKN) festgelegten Wert des 10'000-jährlichen Hochwassers. Dieser Wert entspricht der in der Verfügung vom 1. April 12 festgelegten Vorgehensvorgabe zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Überflutung. Die Kreditierung eines Abflusses von 380 m³/s durch den Oberwasserkanal, der nur bei laufenden Turbinen des Wasserkraftwerks Gösigen erreicht werden kann, wurde jedoch bereits nach Einreichung des neuen Nachweiskonzepts für einen ausreichenden Hochwasserschutz vom ENSI als unzulässig eingestuft 13, weil entsprechend dem Basisdokument zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Stauanlagen 14 bereits beim 1'000-jährlichen Hochwasser im Allgemeinen ein Ausfall der Netzanbindung von Wasserkraftwerken und damit ein Abstellen der Turbinen zu unterstellen ist. Der für das 1. Szenario vom KKG ausgewiesene Durchflusswert von 1320 m³/s für die Alte Aare ist daher als 10'000-jährliches Hochwasser nicht belastbar. Ohne die Kreditierung laufender Turbinen können für den Abfluss durch den Oberwasserkanal maximal 152 m³/s angesetzt werden, woraus sich für das vorliegende Szenario ein Durchflusswert von 1548 m³/s für die Alte Aare ergibt.

Das zweite betrachtete Szenario für die Herleitung des 10'000-jährlichen Hochwassers entspricht nicht den Vorgaben der Verfügung 12 und ist ebenfalls nicht belastbar. Bei der Herleitung des Wertes von 1530 m³/s fehlt die Diskussion historischer Hochwasser entsprechend 9 und 10, was erfahrungsgemäss relevant sein kann.

Das dritte vom KKG betrachtete Szenario ist für die vorliegenden Betrachtungen irrelevant, weil bereits das erste Szenario ohne die Kreditierung laufender Turbinen einen wesentlich höheren



Durchflusswert ergibt. Darüber hinaus ist das Verstopfen des Wasserkraftwerks keinesfalls unabhängig vom Auftreten eines Hochwassers. Die Reduktion der Eintretenshäufigkeit des Hochwassers aufgrund der Verstopfung als angenommenem unabhängigem Einzelfehler ist daher unzulässig.

Es wurde in jedem Szenario mindestens eine nicht ausreichend abdeckende Annahme getroffen, die entweder den Vorgaben der Verfügung /12/ (Szenario 2) oder aber bereits den KKG schriftlich mitgeteilten Prüfergebnissen des ENSI /13/ widerspricht (Szenario 1) oder nicht anwendbar ist (Szenario 3). Darüber hinaus sind die für das vom KKG als massgeblich herangezogene Szenario ausgewiesenen Unsicherheiten ($-58 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $+72 \text{ m}^3/\text{s}$) inkompatibel mit dem Vertrauensintervall ($1200 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $1900 \text{ m}^3/\text{s}$) /15/ des diesem Szenario zugrunde gelegten Zuflusses zum Wehr Winznau und daher potentiell zu optimistisch.

Der Verfügung vom 1. April 2011 /12/ entsprechend ist die Überprüfung der Auslegung des KKG bezüglich Hochwasser auf Basis des für KKN bestimmten 10'000-jährlichen Hochwassers ($1700 \text{ m}^3/\text{s}$ am Wehr Winznau) durchzuführen. Eigene Abschätzungen des ENSI basierend auf der Extrapolation von Pegelmessdaten und auf einer Berücksichtigung von historischen Hochwassern stützen diesen Wert. Bei Kreditierung des Hochwasserablasses des Wasserkraftwerks Gösgen ($152 \text{ m}^3/\text{s}$) ergibt sich somit ein Durchfluss durch die Alte Aare von $1548 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bestimmung von Wasserständen am Standort des KKG

Das vom KKG genutzte Überflutungsmodell /4/ basiert auf dem für das KKN entwickelten und im Rahmenbewilligungsverfahren positiv beurteilten Modell. Es erlaubt eine belastbare Bestimmung des zu erwartenden Wasserstands bei unterschiedlichen Durchflüssen durch die Alte Aare. Der vom KKG angegebene Zusammenhang zwischen Durchflüssen und Wasserständen /1/ ist daher plausibel. Beim vom ENSI für ein 10'000-jährliches Hochwasser unterstellten Durchfluss durch die Alte Aare von $1548 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich ein Pegelstand von 382.50 m ü. M. am Standort Gösgen, was einer Überflutungshöhe des Kraftwerksgeländes von etwa 40 cm entspricht.

Die Gefahr von Verklausungen wurde in dem Überflutungsmodell entsprechend den ENSI-Vorgaben im Rahmenbewilligungsgesuch des KKN berücksichtigt. Demgemäss wurde analog zu der sogenannten (n-1)-Regel der Richtlinie „Sicherheit der Stauanlagen“ des BWG unterstellt, dass das leistungsfähigste von „n“ Entlastungsorganen einer Stauanlage nicht verfügbar ist. Diese Annahme hat potenziell grosse Auswirkungen auf die Überflutungshöhe, da bei vollständiger Verklausung mit einem signifikanten Rückstau bzw. bei vollständiger Verklausung und folgendem Aufbrechen der Verklausung mit einer dem Hochwasser überlagerten Flutwelle zu rechnen wäre. Die Möglichkeit einer vollständigen Verklausung stellt daher einen so genannten Cliff-Edge-Effekt dar. Die Sensibilität des KKG gegenüber solchen Cliff-Edge-Effekten wird im Rahmen des EU-Stresstests überprüft.

Weitergehende Untersuchungen des KKG

Da das ENSI beim 10'000-jährlichen Hochwasser von einer Überflutung des Kraftwerksgeländes ausgeht, wird im Folgenden auch die ausgewiesene mittlere Überflutungsdauer beurteilt.

Die von dem KKG durchgeführte Ableitung einer mittleren Zeitdauer der Überflutung des Standortes wurde bereits nach Einreichung des neuen Nachweiskonzepts für einen ausreichenden Hochwasserschutz vom ENSI als nicht ausreichend beurteilt /13/. Die genannten Kritikpunkte bestehen weiterhin. Insbesondere ist die Feststellung vom KKG (neu), dass die konservative Annahme einer Überflutung des Anlagengeländes bereits ab einem Durchflusswert von $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ die Unsicherheiten bei der Ableitung der Zeitdauer berücksichtigt, unbegründet.

Die vom KKG dokumentierten anderen weitergehenden Untersuchungen (Konsequenzen von Damm- und Wehrbrüchen, Zuordnung von Durchflusswerten zu Jährlichkeiten) betreffen nicht



die Verfügung vom 1. April 2011 /12/ und werden daher in diesem Zusammenhang nicht beurteilt.

2.2 Auswirkungen auf die Anlage

Angaben des Betreibers

Der ursprünglichen Auslegung des KKG /1/ gegen externe Überflutung liegt ein 1'000-jährliches Hochwasser mit einem Abfluss in die Alte Aare von 1270 m³/s zugrunde. Um dieses Ereignis mit einer ausreichenden Sicherheitsmarge abzudecken, wurde das Kraftwerksgelände nahezu durchgängig auf 382,1 m ü. M. aufgeschüttet und so ein Abstand von ca. 1 m zum Pegelstand des Auslegungshochwassers erreicht („Konzept des trockenen Standortes“). Durch diese Aufschüttung und durch die Abdichtungen aller sicherheitsrelevanten Gebäude bis zur Geländeoberkante verfügen alle Sicherheitssysteme des KKG über einen hohen Grundschutz gegenüber externen Überflutungen.

Daneben wird dem Schutz gegen Hochwasser auch durch die diversitäre, redundante und räumlich getrennte Ausführung der Sicherheitssysteme Rechnung getragen. Dieses zeigt sich insbesondere bei der Auslegung der vier Kühlwasserfassungen zur Versorgung der Sicherheitssysteme:

- Die 1. Kühlwasserfassung im Gebäude ZM0 am Oberwasserkanal der Aare.
- Die erdbebensicher ausgeführte 2. Kühlwasserfassung im Gebäude ZM5, über die aus dem Unterwasserkanal (unterhalb des WKW Gösgen) heraus die Kühlwasserversorgung der notstromversorgten Sicherheitssysteme erfolgt.
- Die zwei verunreinigungssicheren Grundwasserfassungen der Notstandsbrunnen im gegen externe Einwirkungen besonders geschützten Notstandsgebäude ZX.

Der Auslegung der 2. Wasserfassung ZM5 liegen die gleichen Annahmen zugrunde, aufgrund derer das Kraftwerksgelände angelegt wurde. Entscheidend für die Funktionstüchtigkeit der Kühlwasserversorgung über die 2. Wasserfassung ist, dass dort der Maschinenboden nicht überschwemmt wird. Dieser ist so angeordnet, dass ein Abfluss in die Aare von 1600 m³/s im Bereich der Sicherheitsmarge liegt /18/. Darüber hinaus ist selbst bei einem militärischen Hochwasser mit einem Abfluss von 1900 m³/s der Erhalt der Funktionstüchtigkeit sehr wahrscheinlich.

Das KKG unterstellt bei seinen Betrachtungen keine Überflutung des Kraftwerksgeländes und schliesst ein hochwasserbedingtes Leck am Frischdampfsystem und am Reaktorkühlkreislauf aus. Als anlagendynamisch abdeckender Störfall wird der lang andauernde Notstromfall (72 h) mit Ausfall der 1. Kühlwasserfassung identifiziert.

Mit den notstromversorgten und den notstandnotstromversorgten Sicherheitssystemen verfügt das KKG grundsätzlich über zwei unterschiedlich gesicherte Funktionsketten, um bei Ausfall der externen Stromversorgung die Anlage in einen sicheren Zustand zu überführen und damit die grundlegenden Schutzziele einzuhalten. Die hierzu relevanten Gebäude sind die Dieselgebäude ZK01/02, das Notspeisegebäude ZV, das Reaktorgebäude ZA/ZB, das Nebenkühlwasserpumpenhaus ZM2, das Schaltanlagegebäude ZE, das Notstandsgebäude ZX und die 2. Wasserfassung ZM5.



Im Hinblick auf die Beherrschung möglicher Überflutungen des Kraftwerksgeländes bei extremem Hochwasser hat das KKG eine Anlagenbegehung durchgeführt und daraus folgende Verbesserungsmassnahmen abgeleitet und umgesetzt /1/:

- Abdichten der Aussenhülle von Gebäuden in denen sich Ausrüstungen befinden, die für ein sicheres Abfahren der Anlage erforderlich sind,
- Austausch von Türdichtungen an inneren Barrieren des Notstandsgebäudes ZX,
- Abdichten der Notstromdieselgebäude ZK01/02 (Höherlegen der Lufteinlässe, Abdichten der Zugänge),
- Teilweise Austausch der Dichtungen an Objektschutztüren an verschiedenen Gebäuden,
- Installation von Flutklappen zum Verschliessen von Lüftungseinlässen in den zum Schaltanlagegebäude ZE führenden Kabel- und Rohrkanälen,
- Vorbereitung von Notfallmassnahmen für die Errichtung mobiler Hochwasserschutzwände an den Zugängen des Schaltanlagegebäudes ZE und des Notstandsgebäudes ZX (Materialtor und Personenschleuse).

Zusätzlich werden von der Feuerwehr für den Hochwassernotfall mobile Einsatzmittel (mit Wasser aufpumpbare Hochwasserschutzschläuche, Sandsäcke) bereitgehalten, um ggf. kritische Bereiche an den Dieselgebäuden ZK01/02 und an dem Gebäude für die nukleare Nebenkühlwasserversorgung ZM2 abzusichern. Mit dem neu eingerichteten Hochwasseralarm, der automatisch bei einem Pegelabfluss von 1050 m³/s an der Messstation Murgenthal ausgelöst wird, wird eine Vorwarnzeit bis zu einer möglichen Überflutung von mindestens drei Stunden erreicht. Somit können die vorbereiteten Notfallmassnahmen rechtzeitig durchgeführt werden. Die Zuständigkeiten zum Umsetzen der Notfallmassnahmen werden in den relevanten Vorschriften (Notfallreglement, Schichtanweisung SA 58), die 2010 angepasst wurden, klar geregelt.

Widerstandswerte relevanter Gebäude

Um den verbesserten Schutzgrad der Anlage zu bewerten, hat das KKG für die Gebäude, die als relevant erachtet werden, zeitliche Widerstandswerte ermittelt. Dazu wurde zuerst für die relevanten Gebäudeteile – die 2. Wasserfassung fällt wegen der oben dargelegten Auslegung aus dieser Betrachtung heraus – ein Retentionsvermögen bestimmt, bei dem die Funktionstüchtigkeit der jeweiligen Sicherheitssysteme nicht beeinträchtigt wird. Es wurde angenommen, dass in den massgebenden Räumen, die auf einem Leckagepfad liegen, ein Wasserstand von 25 cm toleriert werden kann.

Für die Bestimmung der zeitlichen Widerstandswerte wurde anfänglich ein mathematisches Modell für das Materialtor des Notstandsgebäudes /22/ hergeleitet und anhand von Ergebnissen aus durchgeführten Referenzversuchen /23/ verfeinert. Für die anderen Gebäude wurden die Leckagepfade mittels Anlagenbegehungen identifiziert und die zugehörigen Widerstandskennlinien basierend auf den Erkenntnissen für das Notstandsgebäude über Ähnlichkeitsbetrachtungen bestimmt.

Schutzgrad des KKG

Aufgrund der abgeleiteten Widerstandswerte werden die Dieselgebäude ZK01/02 als das limitierende Glied der notstromgesicherten Funktionskette identifiziert. Bei einer maximal angesetzten Überflutungshöhe von 1,5 m (1,1 m $\hat{=}$ einem maximal zu erwartenden Durchfluss von 2100 m³/s) würde ohne bzw. mit Hochwassernotfallmassnahmen nach ca. 2 h bzw. 15 h in den Gebäuden eine kritische Fluthöhe erreicht sein. Eine analoge Betrachtung der notstandsgesicherten Systeme führt zu einer minimalen Widerstandszeit von ca. 24 h des Reaktorgebäudes (Gebäudeteil ZB).



Allerdings werden die Systeme, die für das Überführen der Anlage in den sicheren Zustand „heiss abgestellt“ notwendig sind (Abfahrpfad 2, s. Kap 3.1), nicht beeinträchtigt. Das Notstandsgebäude ZX besitzt höhere Widerstandswerte. Durch Versuche an seinen Zugängen konnte gezeigt werden, dass die maximal zu erwartende Leckagemenge (1,6 kg/s), die bei einer Überflutungshöhe des Kraftwerksgeländes von 0,5 m erreicht wird – grössere Überflutungshöhen bewirken durch Verdichtungseffekte an den Dichtungen der Zugänge geringere Leckagemengen – deutlich unterhalb der Fördermenge der notstandnotstromversorgten Entwässerungssysteme (beide Redundanzen mit je 2 mal 5 kg/s) liegt und deshalb die Gebäudefunktion erhalten bleibt.

Das KKG geht davon aus, dass bis zu einem Wasserstand von 0,55 m das Eindringen von Wassermengen, welche die Funktion der eingeschlossenen Systeme beeinträchtigen können, unterbunden werden kann. Bei grösseren Wasserständen wird angenommen, dass das Versagen der eingeschlossenen Funktion mit geeigneten Massnahmen (Schwerpunkteinsätze der Feuerwehr) um ca. 5 Stunden verzögert werden kann.

Das KKG kommt zum Schluss, dass das Konzept des trockenen Strandortes mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit beim von ihm unterstellten Hochwasserszenario Bestand hat und die Auswirkungen eines solchen Ereignisses auf die Anlage die notstrom- oder notstandnotstromversorgten Sicherheitssysteme nicht beeinträchtigt. Aufgrund der bereits realisierten Verbesserungsmassnahmen weist die Anlage auch gegenüber extremeren Hochwasserereignissen einen sehr robusten Schutz auf. Für den vom ENSI geforderten Nachweis /16/ steht damit die Beherrschung des lang andauernden Notstromfalls mit am Standort verfügbaren Deionat- und Dieselreserven im Mittelpunkt.

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI ist aufgrund der Neubestimmung des Ausmasses eines 10'000-jährlichen Hochwasserereignisses das ursprüngliche KKG-Auslegungskonzept des trockenen Standortes in Frage zu stellen. Damit kommt dem Schutzgrad der sicherheitsrelevanten Gebäude gegenüber einer zu unterstellenden Überflutung ein hoher Stellenwert zu, um die Einhaltung der grundlegenden Schutzziele zu gewährleisten.

Die notstromversorgten Sicherheitssysteme werden über die 2. Kühlwasserfassung im Gebäude ZM5 mit Kühlwasser versorgt. Aus Sicht des ENSI ist die Verfügbarkeit dieser Wasserfassung bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser nicht ausreichend belastbar. Das nach Auffassung des ENSI zu unterstellende Hochwasser überflutet das Gelände zwischen der Alten Aare und dem Aarekanal, sodass im Abschnitt zwischen dem Wasserkraftwerk Gösigen und der 2. Wasserfassung Geschwemmsel und Treibgut in den Unterwasserkanal gelangen kann. Das KKG hat keinen Nachweis erbracht, dass eine dadurch verursachte Verstopfung des Kühlwassereinlaufs ausgeschlossen werden kann. Das ENSI unterstellt deshalb für seine Betrachtungen den Ausfall der 2. Wasserfassung. Hingegen ist die Kühlwasserversorgung der notstandnotstromversorgten Sicherheitssysteme aus Sicht des ENSI gewährleistet. Sie verfügen mit den im gebunkerten Notstandsgebäude angeordneten Notstandsbrunnen über eine diversitäre, hochwasser- und verunreinigungssichere Kühlwasserquelle.

Das KKG hat gezeigt, dass der bestehende Schutzgrad der Anlage gegen extreme Hochwasser umfassend überprüft wurde und die bei Anlagenbegehungen erkannten Schwachstellen an Gebäuden hinsichtlich möglicher Leckagen bereits 2010, im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der neuen Verordnung des UVEK /9/, ausgebessert worden sind. Die vom KKG getroffenen Vorkehrungen zum besseren Hochwasserschutz, wie z. B. die Installation von Vorrichtungen für mobile Hochwasserschutzwände an Gebäudezugängen, verbesserte Abdichtungen der Gebäude (Zugänge, Lüftungsöffnungen) und auch die Anpassung in der Organisation (Notfallreglement, Schichtanweisung, frühzeitiges Auslösen eines automatischen Hochwasseralarms) hält



das ENSI für angemessen und richtig. Prinzipiell sieht das ENSI auch die vorbereitete Massnahme, kritische Gebäudebereiche zusätzlich durch Hochwasserschutzschläuche abzusichern, als geeignet an. Sowohl die mobilen Einsatzmittel sowie die organisatorischen Vorkehrungen waren Gegenstand einer Schwerpunktinspektion zum Hochwasserschutz am 22. August 2011 /29/.

Das KKG geht davon aus, dass durch die Einrichtung des bei einem Pegelabfluss von $1050 \text{ m}^3/\text{s}$ an der Messstation Murgenthal auslösenden Hochwasseralarms mindestens drei Stunden Vorwarnzeit verbleiben und damit eine ausreichend lange Zeitspanne vorhanden ist, um die vorbereiteten Hochwassernotfallmassnahmen umzusetzen. Dieser Einschätzung des KKG stimmt das ENSI zu.

Widerstandswerte relevanter Gebäude

Das KKG hat das mögliche Eindringen von Wasser in sicherheitsrelevante Gebäude bei natürlicher Überflutung ausführlich untersucht und über die Bestimmung von Widerstandswerten einzelner Gebäude eine detaillierte Betrachtung vorgenommen. Das ENSI hat eine generelle Beurteilung des entsprechenden Abschnitts des Hauptberichtes /1/ und der beiden referenzierten Aktennotizen /22/ und /23/ bezüglich Modellbildung, Berechnungsannahmen, Eignung der angewandten Methoden und Plausibilität der Ergebnisse vorgenommen. Gemäss dieser Beurteilung ist die in der Aktennotiz /22/ präsentierte Modellierung des Eindringens von Wasser in das Notstandsgebäude grundsätzlich richtig und zweckmässig. Die Berechnungsergebnisse sind plausibel und geeignet, die limitierenden Glieder der betrachteten Funktionsketten zu identifizieren. Ebenfalls findet das ENSI die in der Aktennotiz /23/ beschriebene Vorgehensweise grundsätzlich richtig und die Hauptaussagen zu der experimentellen Überprüfung plausibel. Ebenso ist die ermittelte Referenzkennlinie für das Notstandsgebäude ZX nachvollziehbar. Das ENSI kommt auch hinsichtlich der Bestimmung der Übertragungsfunktion für andere Türkonstruktionen (Übertragung der Resultate unter der Annahme des konstanten Dichtdrucks P_{dicht} über horizontale und vertikale Abschnitte) zu dem Ergebnis, dass diese Methode ausreichend genaue Ergebnisse liefert.

Schutzgrad des KKG

Das ENSI folgt der vom KKG getroffenen Auswahl der Gebäude, die für ein Überführen der Anlage in den sicheren Zustand bei extremem Hochwasser relevante Systeme enthalten und an deren Schutzgrad damit erhöhte Anforderungen zu stellen sind. Die Ausführungen des KKG zeigen, dass die beiden für ein Abfahren der Anlage unter Notstrombedingungen in Betracht kommenden Funktionsketten, die eine notstromversorgt und die andere notstandnotstromversorgt, deutlich unterschiedlich ausgeprägte Schutzgrade besitzen. Aufgrund des zu unterstellenden verstopfungsbedingten Ausfalls der 2. Wasserfassung ist die Beurteilung des Schutzgrades der notstromversorgten Funktionskette allerdings hinfällig.

Für die Verfügbarkeit der notstandnotstromversorgten Funktionskette ist der Widerstandswert des Notstandsgebäudes ZX massgebend. Das KKG hat glaubhaft dargelegt, dass das Notstandsgebäude über einen ausreichenden Schutzgrad zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers verfügt. Unter Berücksichtigung der notstandnotstromversorgten, einzelfehlersicheren Entwässerungspumpen bleiben die Gebäudefunktion und damit die zugehörigen Systemfunktionen bis zu einer Überflutungshöhe von 1,5 m erhalten.

Das ENSI kommt zu dem Ergebnis, dass auch unter Berücksichtigung der vorbereiteten Notfallmassnahmen die Beherrschbarkeit des 10'000-jährlichen Hochwassers allein mit den notstromversorgten Sicherheitssystemen wegen des nicht erbrachten Nachweises zur Verstopfungssicherheit der 2. Wasserfassung nicht gegeben ist.



Jedoch hat das KKG gezeigt, dass es mit der notstandnotstromversorgten und besonders gegen äussere Einwirkungen geschützten Funktionskette, die mit den Notstandsbrunnen über eine verunreinigungssichere Kühlwasserquelle verfügt, einen ausreichenden Schutzgrad erreicht.

3 Deterministischer Sicherheitsnachweis

3.1 Überführung der Anlage in den sicheren Zustand

Angaben des Betreibers

Der geforderte deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers und des dadurch bedingten lang andauernden Notstromfalls wird anhand zweier verschiedener, abdeckender Szenarien (Abfahrpfad 1 und 2) /1/ erbracht. Aufgrund der geringen und bereits dargelegten Auswirkungen auf die Anlage durch ein 10'000-jährliches Hochwasser ist grundsätzlich der lang andauernde Notstromfall als anlagendynamisch abdeckend anzusehen. Dieser Störfall an sich fällt in den Bereich der Auslegungstörfälle allerdings mit dem Unterschied, dass ein deutlich längerer Zeitraum (72 h) zu betrachten ist. Dabei ist entscheidend, zu zeigen, dass mit den am Standort verfügbaren Dieselmotorkraftstoff- und Deionatvorräten ein solch lang andauernder Notstromfall überbrückt werden kann und so gewährleistet ist, die Anlage in einen sicheren Zustand zu überführen und dort zu halten.

Beim Abfahren bzw. Überführen und Halten der Anlage in einen sicheren Zustand unter Notstrom- oder Notstandnotstrombedingungen werden im Vergleich zum Normalbetrieb zur Einhaltung des grundlegenden Schutzziels „Kühlung der Brennelemente“ an mehrere Sicherheitsfunktionen erhöhte Anforderungen gestellt. Die hier relevanten Sicherheitsfunktionen sind die Dampferzeugerbespeisung, die sekundärseitige Wärmeabfuhr und die primärseitige Nachwärmeabfuhr.

Für das Überführen der Anlage in den sicheren Zustand bei einem hochwasserbedingten lang andauernden Notstromfall sind prinzipiell zwei verschiedene Abfahrpfade verfügbar, die im Folgenden betrachtet werden:

- Der Abfahrpfad 1 stützt sich auf die notstromversorgten Sicherheitssysteme. Bei unterstellter Reaktorschnellabschaltung (RESA) und gleichzeitigem Eintritt des Notstromfalls erfolgt die Abfuhr der Nachzerfallwärme zunächst durch Dampfabgabe über die Frischdampfsicherheitsventile und nach Inbetriebnahme der Abblasestationen von Hand über die Abblaseseregelventile (ARV) an die Umgebung. Die Störfallvorschriften sehen vor, dass mit einem normalbetrieblichen Abkühlgradienten von 45 K/h die Anlage geregelt über Dach abgefahren wird bis Bedingungen erreicht sind, bei denen die weitere Wärmeabfuhr durch die Nachkühlkette (TH/TF/VE/ZM5) übernommen werden kann. Das relevante System für das Abfahren über die Dampferzeuger ist hier das vierfach redundante und notstromversorgte Notspeisesystem RS mit seinen systemeigenen Deionatbecken, die jeweils über ein Nutzvolumen von 210 m³ verfügen und von denen je zwei Becken miteinander verbunden werden können. Hinzu kommt eine betriebliche Reserve von 140 m³ je Beckenpaar. Darüber hinaus kann über einen fest installierten Anschluss als Notfallmassnahme Feuerlöschwasser in die Becken nachgespeist werden. Mit dem Abkühlgradienten von 45 K/h wird, konservativ betrachtet, nach 7 h der Übergang in den Nachkühlbetrieb erreicht und damit die Wärmeabfuhr durch Dampfabgabe über Dach und folglich die Aktivitätsabgabe beendet. Während dieser siebenstündigen Zeitspanne wird eine Dampfmenge von ca. 468 t abgegeben und, unter der Annahme eines einzelfehlerbedingten Ausdampfens eines Dampferzeugers, ca. 405 t sind an Deionat zu ergänzen. Im Nachkühlbetrieb erfolgt die weitere Küh-



lung der Brennelemente über die dreifach redundante und notstromgesicherte Nachkühlkette (TH/TF/VE/ZM5).

Sowohl für die Phase der Dampferzeugerbespeisung zur sekundärseitigen Wärmeabfuhr als auch für den sich anschliessenden Nachkühlbetrieb ist eine Kühlwasserversorgung aus dem Aarekanal notwendig. Unter der Annahme, dass die 1. Wasserfassung hochwasserbedingt ausfällt, wird die erforderliche Kühlung der Notstromdiesel und die Wärmesenke der Nachkühlkette durch automatische Umschaltung auf die 2. Wasserfassung ZM5 am Unterwasserkanal aufrechterhalten. Aufgrund der baulichen Ausführung dieser Wasserfassung (s. Kap. 2.2) ist auch bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser die Kühlwasserversorgung der notstromversorgten Sicherheitssysteme gewährleistet.

Für die Deckung des Kraftstoffbedarfs während eines 72 h andauernden Notstromfalls sind mehrere Dieselvorratsstanks am Standort vorhanden. Jeder der vierfach redundanten Notstromdiesel verfügt über einen eigenen Vorrat (Betriebs- und Vorratsbehälter mit 1425 bzw. 17300 l), der bei grösster Auslastung (2401 kW, 645 l/h) einen Betrieb über 29 h erlaubt. Zur Ergänzung dieses Vorrats stehen Lagertanks (2x50'000 l) bereit. Unter Notstrombedingungen ist es hier erforderlich, Handmassnahmen durchzuführen, um mit einem mobilen Notstromaggregat (1,5 kW) die Kraftstoffförderpumpen zu versorgen. Bei unterstelltem Ausfall zweier Redundanzen aufgrund eines Einzelfehlers und eines gleichzeitigen Instandhaltungsfalls kann zudem der Kraftstoff der unverfügbaren Aggregate genutzt werden. Dazu ist ein auf dem Kraftwerksgelände verfügbarer mobiler Tank (Nutzvolumen von 3'000 l) einzusetzen. Zusätzlich können zur Streckung der Dieselmotortankvorräte vorübergehend nicht notwendige Verbraucher abgeschaltet werden. Die Dieselvorratsstanks der Kühlwasserpumpen der 2. Wasserfassung sind so bemessen, dass ohne Nachspeisung ein 84 h-Betrieb überdauert werden kann.

Bei seinen Betrachtungen geht das KKG davon aus, dass ein 10'000-jährliches Hochwasser nur mit geringer Wahrscheinlichkeit zu einer auf wenige Stunden begrenzten Überflutung des Kraftwerksgeländes führt. Mit Blick auf die vorhandenen und vorbereiteten Hochwasserschutzmassnahmen sowie auf die Leckagekapazität der entsprechenden Gebäude, ist in diesem Fall das Überführen der Anlage in den sicheren Zustand über den Abfahrpfad 1 auch bei unterstelltem Einzelfehler und Instandhaltungsfall gewährleistet. Mit den am Standort verfügbaren Deionat- und Kraftstoffvorräten ist garantiert, dass die Anlage unter Notstrombedingungen kaltgefahren und über 72 h im sicheren Zustand gehalten werden kann.

- Über den Abfahrpfad 2 wird die Anlage allein mit den notstandnotstromversorgten Sicherheitssystemen in einen sicheren Zustand überführt und gehalten. Mit dem im gebunkerten Notstandsgebäude angeordneten und damit besonders gegen äussere Einwirkungen geschützten Notstandssystem RX und Brunnenwassersystem VX erreicht das KKG auch gegenüber auslegungsüberschreitenden Hochwasserereignissen, deren Auswirkungen deutlich über die des 10'000-jährlichen Hochwasser hinaus gehen, einen hohen Schutzgrad. Beide Redundanzen des Notstandssystems RX verfügen jeweils über zwei einzelfehlersichere Gebäudeentwässerungspumpen mit einer Fördermenge von je 5 l/s.

Der Abfahrpfad 2 wird relevant, wenn aufgrund der Überflutungshöhe und -dauer die Widerstandswerte der Funktionskette des Abfahrpfads 1 für deren Funktionserhalt nicht mehr ausreichen oder die 2. Wasserfassung nicht verfügbar ist und folglich die notstromgesicherten Systeme als ausgefallen zu betrachten sind. In diesem Fall erfolgt nach bereits erfolgter RESA im Anlagenzustand „heiss abgestellt“ die notwendige DE-Bespeisung durch die Notstandsbespeisungspumpen des zweifach redundanten Notstandssystems RX. Die Dampf- abgabe zur Abfuhr der Nachzerfallswärme ist über die ARV oder, bei unterstellter Unver-



fügenderkeit, über die FD-Sicherheitsventile sichergestellt. Konservativ abdeckend wird unterstellt, dass die Anlage über die gesamte für den Nachweis zu betrachtende Dauer von 72 h in diesem Zustand verbleibt und somit ca. 1555 m³ an Deionat zur Kompensation der abgegebenen Dampfmenge benötigt werden. Dieser Menge liegt die Annahme zugrunde, dass neben dem nicht bespeisten DE ein zweiter DE einzelfehlerbedingt trocken fällt.

Die beiden Notstandsbecken verfügen jeweils über 530 m³ Deionat. Diese Vorräte können mit dem Brunnenwassersystem VX oder als Notfallmassnahme über Feuerlöschsysteme ergänzt werden mit einer Einspeisung bspw. aus dem Feuerlöschsystem oder über eine mobile Feuerlöschpumpe aus der Kühlturmtasse.

Die Auslegung der beiden Notstandsdiesels erlaubt es, die Anlage mit nur einem Strang sicher im Zustand „heiss abgestellt“ zu halten. Ein Parallelbetrieb einer Notstandsbeckenpumpe und eines Stranges der verkürzten Nachkühlkette (TH17/37/VX) zur Kühlung des BE-Beckens innerhalb des Containments ist mit nur einem Dieselaggregat möglich. Durch die garantierte Mindestbevorratung an Dieselkraftstoff im Notstandsgebäude ist ein Betrieb von 22 h sichergestellt. Seit August 2011 ist ein zusätzlicher Tank mit einem Nutzvolumen von 11'000 l im befüllten Zustand im Notstandsgebäude bereitgestellt. Entsprechende Schlauchverbindungen für die Nutzung dieses Vorrats sind im Notstandsgebäude vorhanden. Damit wird eine Betriebsdauer eines Notstandsdiesels bei maximaler Auslastung von 79 h ermöglicht.

Das KKG kommt zu dem Schluss, dass das von ihm unterstellte Hochwasserszenario und ein dadurch bewirkter lang andauernder Notstromfall (72 h), unter Berücksichtigung von Handmassnahmen zur Bedienung von Sicherheitssystemen und zur Ergänzung der Dieselkraftstoff- und Deionatvorräte und der Nutzung von am Standort verfügbaren Einsatzmitteln, allein mit den notstromversorgten Sicherheitssystemen beherrscht wird. Durch die besonders geschützten notstromversorgten Sicherheitssysteme verfügt das KKG auch über das unterstellte Hochwasserszenario hinaus einen weitreichenden Schutzgrad.

Beurteilung des ENSI

Für das Überführen der Anlage in den sicheren Zustand bei einem hochwasserbedingten lang andauernden Notstromfall sind im KKG prinzipiell zwei verschiedene Abfahrpfade verfügbar. Die beiden Abfahrpfade stützen sich zum einen auf notstrom- und zum anderen auf notstandnotstromversorgte Sicherheitssysteme.

Das ENSI folgt der Darlegung des KKG, dass durch ein 10'000-jährliches Hochwasser weder die Integrität des Reaktorkühlsystems noch des Frischdampfsystems beeinträchtigt wird und damit der lang andauernde Notstromfall als anlagendynamisch abdeckend anzusehen ist.

Wie bereits im vorherigen Kapitel dargelegt, ist die Beurteilung des Schutzgrades der relevanten Gebäude der notstromversorgten Funktionskette und damit die des Abfahrpfades 1 hinfällig.

Aufgrund der Dichtigkeit des Notstandsgebäudes, der notstandnotstromversorgten Gebäudeentwässerungspumpen und der verunreinigungssicheren Notstandsbrunnen zur Kühlwasserversorgung ist die Verfügbarkeit des Abfahrpfades 2 auch unter der Annahme, dass das Kraftwerksgelände längere Zeit bis zu 1,5 m unter Wasser steht, gewährleistet.

Um die notstandnotstromversorgten Systeme über die Dauer eines hochwasserbedingten lang andauernden Notstromfalls sicher zu betreiben, sind ausreichende Dieselkraftstoff- und Deionatvorräte bereitzuhalten. Das ENSI hat hierzu die Angaben des KKG zu den Dieselkraftstoff- und Deionatvorräten und den Möglichkeiten zu deren Ergänzung geprüft und kommt zu dem Schluss, dass diese richtig sind. Wie mit der Verfügung vom 1. April 2011 /12/ gefordert, kann das KKG



einen lang andauernden Notstromfall (72 h) allein mit am Standort verfügbaren Einsatzmitteln überbrücken.

Im Einzelnen werden die technischen Kriterien nach Art. 11 der UVEK-Verordnung (732.112.2) /9/ und damit der sichere Anlagenzustand wie folgt eingehalten bzw. aufrechterhalten:

- Die Unterkritikalität wird im Zustand „heiss abgestellt“ (Abfahrpfad 2) durch die Reaktorschnellabschaltung sichergestellt.
- Eine ausreichende sekundärseitige Wärmeabfuhr und damit Kühlung der Brennelemente ist durch die Dampferzeugerbespeisung mit dem zweifach redundanten Notstandspeisewassersystem RX (Abfahrpfad 2) gesichert.
- Die Auslegung der Notstanddiesel FY erlaubt einen Parallelbetrieb der Notstandspeisewasserpumpen und der verkürzten Nachkühlkette zur Wärmeabfuhr aus dem Brennelementelagerbecken im Containment. Durch die zweifache Redundanz der Notstandssysteme wird auch ein Einzelfehler beherrscht.
- Die Integrität der Barrieren, wie z. B. Brennstab-Hüllrohre, Reaktorkühlkreislauf und Primär-Containment, wird nicht beeinträchtigt.

Gesamthaft betrachtet kommt das ENSI zu dem Ergebnis, dass unter Berücksichtigung der vorbereiteten Notfallmassnahmen ein 10'000-jährliches Hochwasser, das einen 72-stündigen Notstromfall nach sich zieht, mit den notstandnotstromversorgten Sicherheitssystemen, die über einen besonderen Schutz gegenüber externen Einwirkungen verfügen, beherrscht wird. Ein Überführen der Anlage in den sicheren Zustand mit der notstandnotstromversorgten Funktionskette ist auch unter der Annahme eines Einzelfehlers bis zu einer Überflutungshöhe von etwa 1,5 m gewährleistet.

3.2 Einhaltung der Dosisgrenzwerte

Angaben des Betreibers

Wie bereits in Kapitel 3.1 dargelegt, verfügt das KKG prinzipiell über zwei unterschiedlich gesicherte Abfahrpfade, über die die Anlage bei extremem Hochwasser, verbunden mit einem lang andauernden Notstromfall, in den sicheren Zustand überführt werden kann.

Im Rahmen des geforderten radiologischen Nachweises für das 10'000-jährliche Hochwasser wurden beide Abfahrpfade betrachtet. Über den Abfahrpfad 1 (Szenarium 1) wird innerhalb von 7 h die Anlage in den Nachkühlbetrieb überführt und damit die Wärmeabfuhr durch Dampfabgabe über Dach beendet. Während dieser Zeitspanne werden ca. 468 t Dampf abgegeben.

Im Rahmen einer Sicherheitsmargenanalyse wird auch für den Fall der Nachweis geführt, dass die notstandgesicherten Systeme erforderlich sind (Szenarium 2) und über die gesamte Dauer des Notstromfalls (72 h) die Wärmeabfuhr über Dach erfolgt. In diesem Fall wird eine Dampfmenge von ca. 1653 t abgegeben.

Der Nachweis wurde entsprechend den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G14 unter Verwendung des Berechnungsprogramms EXP0G14 Version 2.1 durchgeführt. Es wurde eine Freisetzungshöhe von 12 m verwendet, die Geländeographie des KKG wird zusätzlich berücksichtigt.

Der resultierende Dosiswert ist für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unterhalb 1 mSv: Die höchsten Dosen betragen 0,0729 mSv (Szenarium 1) und 0,111 mSv (Szenarium 2).



Beurteilung des ENSI

Das 10'000-jährliche Hochwasser ist der Störfallkategorie 3 (ohne Einzelfehler) zuzuordnen, so dass gemäss Art. 94 StSV /28/ ein Dosiswert für nichtberuflich strahlenexponierte Personen von 100 mSv einzuhalten ist. Aufgrund des fehlenden Nachweises zur Verstopfungssicherheit der 2. Wasserefassung und der damit anzunehmenden Unverfügbarkeit des Abfahrpfads 1 wird nur der radiologisch abdeckende Fall des Abfahrens der Anlage über den Abfahrpfad 2 (Dampfabgabe über 72 h) beurteilt.

Die systemtechnischen Voraussetzungen, die das KKG für die radiologische Analyse des Überflutungsstörfalles angenommen hat, wurden vom ENSI in den oben stehenden Abschnitten bewertet. Für die radiologische Analyse relevant sind jedoch insbesondere auch die Annahmen bezüglich der in die Umgebung abgeblasenen Dampfmenge sowie deren Aktivitätsgehalt. In diesem Zusammenhang hat das ENSI auch verwendete Parameter und Annahmen überprüft. Hier haben die Nachrechnungen des ENSI anhand der Nachzerfallskurve nach ANS-79 gezeigt, dass der von dem KKG angenommene Wert für die insgesamt während 72 Stunden abgeblasene Dampfmenge von ca. 1 653 t plausibel ist. Auch die Annahmen zur Kühlmittelaktivität wurden nach Einschätzung des ENSI konservativ festgelegt, indem Werte für die Primärkühlmittelaktivität und die Dampferzeugerheizrohrleckage (Leckage von Primärseite auf Sekundärseite) unterstellt wurden, die dem Maximum der gemäss Technischer Spezifikation für den unbefristeten Betrieb zulässigen Betriebswerte entsprechen.

Das ENSI hat die vom KKG angegebenen Mengen in die Umgebung freigesetzter radioaktiver Stoffe überprüft. Mit dem vom KKG angegebenen Quellterm ermittelte das ENSI etwa die gleichen Dosen in der Umgebung, wie sie vom KKG angegeben wurden. Das ENSI stellte fest, dass die für die Ermittlung von Dosen verwendeten Freisetzungintervalle (gemäss /27/) nicht einheitlich mit den nach Richtlinie ENSI-G14 geforderten Intervallen übereinstimmen. Die vom KKG für die Dosisberechnungen verwendete effektive Freisetzungshöhe ohne Berücksichtigung einer thermischen Überhöhung hält das ENSI für sehr konservativ.

Das Vorgehen des KKG zur Ermittlung der radiologischen Randbedingungen zur Analyse des Störfalles orientiert sich an den Aussagen der „Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR“ /26/ für den Störfall „Langandauernder Ausfall der Hauptwärmesenke bei betrieblichen Leckagen an den Dampferzeugerheizrohren“. Demnach ist die über die Abblaseregelventile bzw. Frischdampf-Sicherheitsventile an die Umgebung abgegebene Dampfmenge zu bestimmen, wobei während des Abblasevorgangs die betrieblich maximal zulässige Aktivitätskonzentration im Sekundärdampf (unter Berücksichtigung von Spikingeffekten und Betriebsleckagen) zugrunde zu legen ist.

Im betrachteten Szenarium 2 ist eine Bespeisung aller drei Dampferzeuger nicht mehr möglich. Einzelfehlerbedingt kommt es zum Ausfall eines Stranges des zweifach redundanten Notstandspeisewassersystems. Dies führt im Verlauf des Störfalles zum Ausdampfen zweier Dampferzeuger. Konservativ ist eine bestehende Dampferzeugerleckage vom Primär- in den Sekundärkreislauf gemäss den Technischen Spezifikationen anzunehmen. Dies wurde vom KKG entsprechend umgesetzt /25/. Dabei ist die Leckage auf die Dampferzeuger (analog Anhang 3 Kapitel 1.2 oder 1.3 Bst. c der ENSI-A08) so zu verteilen, dass die Störfalldosis in der Umgebung maximiert wird. Eine solche Maximierung der Störfalldosis ist nach Auffassung des ENSI dadurch möglich, dass die zu berücksichtigende Leckage bei den ausdampfenden Dampferzeugern unterstellt wird. Weil ohne Wasservorlage ein direkter Freisetzungspfad von Primärkühlmittelleckagen in die Umgebung besteht, können die Auswirkungen signifikant grösser als bei Vorhandensein einer Wasservorlage ausfallen. Die Anforderungen aus /26/ führen daher nach Auffassung des ENSI beim hier betrachteten Fall nicht zwingend zu konservativen Ergebnissen. Der Freisetzungspfad der Leckagen unter Umgehung einer Wasservorlage wurde vom KKG in seiner radio-



logischen Analyse nicht explizit betrachtet. Die vom KKG mitgelieferten Angaben zum Quellterm enthalten lediglich total freigesetzte nuklidspezifische Aktivitäten pro betrachtetes Zeitintervall. Eine Aufschlüsselung der Beiträge am Quellterm nach Freisetzungspfaden wurde nicht ausgewiesen. Das vom KKG verwendete Transportmodell ist nach Auffassung des ENSI nicht hinreichend dokumentiert und daher nur eingeschränkt beurteilbar.

Das ENSI hat deshalb ein eigenes Modell erstellt. Dabei wurden nachgelieferte Angaben /30/ des KKG berücksichtigt, welche aufzeigen, dass nach BHB die Kombination einer für den Dauerbetrieb maximal zulässigen Aktivitätskonzentration im Primärkühlmittel und einer maximal zulässigen Leckage vom Primär- in das Sekundärsystem nicht erlaubt ist.

Für die Ermittlung der Dosis verwendete das ENSI unter Berücksichtigung der Emissionshöhe der FD-Abblasestation resp. der Sicherheitsventile, der Orographie und einer thermischen Überhöhung eine effektive Freisetzungshöhe von 34 m. Das ENSI konnte die Dosiswerte des KKG im Ergebnis nachvollziehen. Die resultierende Dosis in der Umgebung verbleibt deutlich unterhalb des zulässigen Dosiswerts von 100 mSv.

Aufgrund der festgestellten Mängel in der Darstellung ergeht die untenstehende Forderung an das KKG, welche im Rahmen des Geschäfts 17/10/044 verfolgt wird:

Forderung: Das KKG hat bis zum 31.03.2012 die radiologische Analyse für das Szenarium „Sekundärseitige Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf mit dem Notstandssystem ohne Teilabfahren über 72h“ nachzudokumentieren. Insbesondere ist aufzuzeigen, dass die betrieblichen Leckagen vom Primär- in den Sekundärkreislauf gemäss Richtlinie ENSI-A08 so auf die Dampferzeuger verteilt wurden, dass die nach Richtlinie ENSI-G14 ermittelten Dosen in der Umgebung maximiert werden. Für jeden Freisetzungspfad ist gemäss Kap. 4.2.3 der Richtlinie ENSI-A08

1. der Quellterm und die dazu führenden mathematischen Modelle,
2. die Leckagen aus dem Primärkühlsystem ins Sekundärsystem und die Dampfmengen, welche über das Dach abgeblasen werden,
3. die unterstellten spezifischen Aktivitätsinventare und deren Herleitung sowie die kreditierte Massnahmen nach BHB

auszuweisen und zu dokumentieren.

4 Zusammenfassung

Mit Brief vom 1. April 2011 /12/ hat das ENSI verfügt, dass das KKG den deterministischen Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers zu erbringen hat. Das KKG hat diesen Nachweis, der im KKG-Bericht /1/ dargelegt ist, dem ENSI mit Brief vom 28. Juni 2011 /2/ fristgerecht eingereicht.

Das KKG führt in seinem deterministischen Nachweis aus, dass das Kraftwerksgelände bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser nicht überflutet wird und der Störfall allein mit den notstromversorgten Sicherheitssystemen beherrscht werden kann. Darüber hinaus stellt das KKG anhand einer Sensitivitätsanalyse dar, dass mit Hilfe der notstandgesicherten Systeme auch Hochwasserszenarien, welche zu einer Überflutung des Geländes führen, beherrscht werden. Für alle betrachteten Szenarien kommt das KKG aufgrund der Ergebnisse der Analysen zu dem Schluss, dass die resultierenden Dosiswerte unterhalb des anwendbaren, gesetzlichen Grenzwertes liegen.



Das ENSI hat den sicherheitstechnischen Nachweis /1/ vom KKG eingehend geprüft, wobei die Ermittlung des 10'000-jährlichen Hochwassers und dessen Auswirkungen auf die Anlage, die Annahmen zur Überführung der Anlage in einen sicheren Zustand, die Aufrechterhaltung dieses Zustands während der geforderten Zeitdauer von 72 Stunden sowie die aus diesem Störfall resultierende Strahlendosis detailliert betrachtet wurden.

Bei der Überprüfung des vom KKG für das 10'000-jährliche Hochwasser hergeleiteten Durchflusswertes hat das ENSI festgestellt, dass das KKG im ausgewählten Szenario, entgegen der Vorgaben des ENSI einen zu wenig konservativen Zufluss zum Wehr Winznau unterstellt. Das ENSI kann deshalb dem KKG nicht folgen, dass das Kraftwerksareal bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser nicht überflutet wird. Für seine Beurteilung geht das ENSI von Überflutungshöhen im Bereich der KKG-Gebäude von rund 40 cm aus.

Der vom KKG geführte deterministische Nachweis zur Störfallbeherrschung allein mit den notstromversorgten Sicherheitssystemen wird vom ENSI nicht akzeptiert, weil bei überflutetem Kraftwerksareal auch ein Verstopfen der benötigten 2. Wasserfassung nicht ausgeschlossen werden kann und ein für diesen Fall nötiger Nachweis der Verstopfungssicherheit nicht eingereicht wurde.

Der Nachweis zur Störfallbeherrschung mit Hilfe der notstandgesicherten Systeme wird vom ENSI akzeptiert. Die vom KKG der Analyse zugrunde gelegten systemtechnischen Annahmen und Randbedingungen sowie der vom KKG angestrebte sichere Zustand der Anlage mit Nachwärmeabfuhr über die Dampferzeuger sind aus Sicht des ENSI nachvollziehbar. Beim ausschliesslichen Einsatz der Notstandssysteme zur Störfallbeherrschung kann die Nachwärmeabfuhr aufgrund der am Standort vorhandenen Deionat- und Kraftstoffvorräte für die geforderten 72 Stunden aufrechterhalten werden.

Die vom KKG eingereichte radiologische Analyse ist nach Auffassung des ENSI nicht hinreichend dokumentiert und daher nur eingeschränkt beurteilbar. Zudem fehlt die gemäss Richtlinie ENSI-A08 geforderte Aufschlüsselung der Beiträge am Quellterm nach Freisetzungspfaden. Die vom ENSI vorgenommene unabhängige Überprüfung der berechneten Dosiswerte kommt ebenfalls zum Schluss, dass der geltende Dosisgrenzwert von 100 mSv deutlich eingehalten wird.

Im Ergebnis akzeptiert das ENSI somit den vom KKG eingereichten Nachweis für die Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers. Die radiologische Analyse des KKG ist aber nachzudokumentieren und gemäss den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A08 zu ergänzen.



5 Referenzen

- /1/ KKG-Bericht BER-D-51283, „Sicherheitstechnischer Nachweis des Hochwasserschutzes – Verfügung des ENSI vom 1. April 2011“, 21. Juni 2011
- /2/ KKG-Brief BRI-D-52954, „Verfügung aufgrund der Ereignisse in Fukushima vom 18.03.2011, Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung vom 01.04.2011“, 28.06.2011
- /3/ ENSI-A01/d 2009, Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, Juli 2009
- /4/ AF Colenco AG, Kurzbericht, „Überflutungsberechnungen für den Standort KKG“, Oktober 2010
- /5/ KKG-Bericht BER-D-47216, „Probabilistische Gefährdungsanalyse Überflutung durch Hochwasser“, 11. November 2010
- /6/ RiskLab der ETH Zürich, „Probabilistic Risk Analysis of Flood: Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG)“, 15. Dezember 2010
- /7/ AF Colenco AG, Memo, „2D Modellierung der Flutwelle infolge Wehrbruch Ruppoldingen“, 8. Juni 2011
- /8/ Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004, Stand am 1. Januar 2009
- /9/ Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (732.112.2), Stand am 1. August 2009
- /10/ ENSI-A05/d 2009, Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang, Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, Januar 2009
- /11/ International Atomic Energy Agency (IAEA); "Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites", Safety Guide NS-G-3.5, March 2004
- /12/ ENSI-Brief, SGE/FLP - 17/11/014, "Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung", 1. April 2011
- /13/ ENSI-Brief, RAA/GUJ - 17/10/044, 17KGX.PSA, „Probabilistische Hochwassergefährdungsanalyse“, 9. Juni 2011
- /14/ Bundesamt für Energie, „Sicherheit der Stauanlagen – Basisdokument zum Nachweis der Hochwassersicherheit“, Juni 2008
- /15/ AF-Colenco, Dokument-Nr. 1700.0508.10.013, „Kernkraftwerk Niederamt AG (KKN), Hydrologische Verhältnisse am Standort des Kernkraftwerks im Niederamt, Fachbericht zum Rahmenbewilligungsgesuch“, Oktober 2009
- /16/ ENSI-Brief, FLP/SAN – 17/11/044, Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima, 18. März 2011
- /17/ KKG, ROL-D-52705, Technische Dokumentation Hochwasserschutz ENSI - Verfügung vom 1. April 2011 Teil I, Juni 2011
- /18/ KKG, Zusatzbericht Nr. 19 (FSAR), Sicherheit der Nebenkühlwasserversorgung insbesondere der 2. Wasserfassung, Dezember 1976
- /19/ KKG, ROL-D-52705, Technische Dokumentation Hochwasserschutz ENSI - Verfügung vom 1. April 2011 Teil II, Juni 2011



- /20/ Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken vom 16. April 2008 (732.114.5), Stand am 1. Mai 2008
- /21/ KKG, Sicherheitsbericht 2008
- /22/ KKG, ANO-D-46301, Modellierung des Eindringens von Wasser in das Notstandsgebäude bei Hochwasser Teil I: Modellbeschreibung, 5.08.2010
- /23/ KKG, ANO-D-46464, Modellierung des Eindringens von Wasser in das Notstandsgebäude bei Hochwasser Teil II: experimentelle Überprüfung, 13.09.2010
- /24/ KKG-Bericht BRI-D-50782, „Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima Stellungnahme zum Punkt 3.5“, 31. März 2011
- /25/ KKG-Bericht ALD-D-51353, „Radiologische Analysen für den Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte bei extremen externen Ereignissen“, 23.05.2011
- /26/ Störfallberechnungsgrundlagen für die Leitlinien des BMI zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken mit DWR gemäß § 28 Abs. 3 StrlSchV, Empfehlung der Strahlenschutzkommission
- /27/ Aufstellung der gültigen Störfallanalysen des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken (Störfallliste), ALD-D-31094 v2, 01.10.2008
- /28/ Strahlenschutzverordnung (StSV) 814.501 vom 22. Juni 1994, Stand am 1. Januar 2009
- /29/ ENSI-Inspektionsbericht, IN-2307, Inspektion „Hochwasserschutz im KKG“ am 22. August 2011, in Vorbereitung
- /30/ KKG-Mitteilung MIT-D-54820, „Randbedingungen für die radiologische Störfallanalyse - Einschränkungen des Quellterms infolge von Bedingungen der TS“, 02.09.2011