# Technische Mitteilung

**TM-511-R 11043**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Titel** | : **Schlussbericht des Kernkraftwerks Beznau zum EU-Stresstest** | **Block** | : 1+2 |
| | | **Anzahl Seiten** | : 100 |
| **Sachgebiet** | : Nukleare Sicherheit, EU-Stresstest | | |
| **Verfasser** | : [redacted] | **Erst. Datum** | : 28.10.2011 |

**Verteiler** : ENSI | K | KB | KG | KK | KBA | KBB
KBD | KBE | KBM | KBR (4) | KBU | KBV (3) [redacted]

| | Name | Unterschrift | Datum |
|---|---|---|---|
| Erstellt | [redacted] | [redacted] | 25.10.2011 |
| Geprüft | [redacted] | | 26.10.2011 |
| Genehmigt | [redacted] | | 27.10.2011 |

***Änderungen siehe Revisionsindex auf der folgenden Seite***

# REVISIONEN

**Es gilt die letzte aufgeführte Revision, die von der zuständigen Stelle visiert ist.**

| Datum | Rev. | Korrektur/Ergänzung | Seiten | Visum |
|---|---|---|---|---|
| 28.10.2011 | 0 | Erstausgabe | alle | [redacted] |
| | | | | |
| | | | | |

# Inhaltsverzeichnis


| | | Seite |
|---|---|---|
| 1 | Einleitung und Zusammenfassung | 5 |
| 2 | Methodischer Ansatz | 7 |
| 2.1 | Aufgabenstellung | 7 |
| 2.2 | Ausgangszustand der Kraftwerksanlage | 7 |
| 2.3 | Sicher-abgestellter Zustand | 7 |
| 2.4 | Gefährdungsstufen | 8 |
| 2.5 | Sicherheitsmarge hinsichtlich Erdbebenfestigkeit | 8 |
| 3 | Die Kraftwerksanlage | 9 |
| 3.1 | Standort | 9 |
| 3.2 | Anlagenmerkmale und Nachrüstungen | 10 |
| 3.3 | Sicherheits- und unterstützende Systeme | 11 |
| 3.3.1 | Reaktivitätskontrolle | 11 |
| 3.3.2 | Wärmeabfuhr vom Reaktor zur Wärmesenke | 12 |
| 3.3.3 | Wärmeabfuhr von BE-Lagerbecken zur Wärmesenke | 13 |
| 3.3.4 | Wärmeabfuhr vom Containment zur Wärmesenke | 14 |
| 3.3.5 | Wechselstrom-Versorgung | 15 |
| 3.3.6 | Gleichstrom-Versorgung | 20 |
| 3.4 | Unterschiede zwischen Blöcken | 20 |
| 3.5 | Probabilistische Sicherheitsanalysen | 21 |
| 4 | Erdbebenfestigkeit | 22 |
| 4.1 | Auslegungsgrundlagen | 22 |
| 4.1.1 | Erdbeben gemäss Auslegung | 22 |
| 4.1.2 | Schutzmassnahmen | 24 |
| 4.1.3 | Einhaltung der Bewilligungsbasis | 27 |
| 4.2 | Bewertung der Sicherheitsmarge | 28 |
| 4.2.1 | Brennstoffschaden nach Erdbeben | 29 |
| 4.2.2 | Verlust der Containment-Integrität | 34 |
| 4.2.3 | Starkbeben mit anschliessender Überflutung | 37 |
| 5 | Flutfestigkeit | 38 |
| 5.1 | Auslegungsbasis | 38 |
| 5.1.1 | Fluthöhe gemäss Auslegung | 38 |
| 5.1.2 | Schutzmassnahmen | 40 |
| 5.1.3 | Einhaltung der Bewilligungsbasis | 44 |
| 5.2 | Bewertung der Sicherheitsmarge | 44 |
| 5.2.1 | Brennstoffschaden nach Überflutung | 44 |
| 6 | Extreme Wetterbedingungen | 46 |
| 6.1 | Auslegungsgrundlagen | 46 |
| 6.1.1 | Neuüberprüfung der Auslegungsgrundlagen | 46 |
| 6.2 | Bewertung der Sicherheitsmargen | 47 |
| 6.2.1 | Abschätzungen | 47 |
| 6.2.2 | Denkbare Ergänzungsmassnahmen | 48 |
| 7 | Stromausfall | 49 |
| 7.1 | Ausfall der Verbindungen zum Überlandnetz | 49 |
| 7.1.1 | Vorsorge im Rahmen der Auslegung | 49 |
| 7.1.2 | Fristen | 50 |
| 7.1.3 | Vorsorge zur Erstreckung der Fristen | 50 |
| 7.1.4 | Denkbare Ergänzungsmassnahmen | 50 |
| 7.2 | Ausfall interner Stromquellen | 51 |
| 7.2.1 | Station Blackout | 51 |
| 7.2.2 | Totaler Station Blackout | 52 |

| | | |
|---|---|---|
| 8 | Ausfall der letzten Wärmesenke | 55 |
| 8.1 | Ausfall der Hauptwärmesenke | 56 |
| 8.1.1 | Fristen | 56 |
| 8.1.2 | Vorsorge im Rahmen der Auslegung | 56 |
| 8.1.3 | Einsatz weiterer Mittel | 56 |
| 8.1.4 | Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände | 56 |
| 8.2 | Ausfall der Haupt- und der Ersatz-Wärmesenke | 56 |
| 8.2.1 | Fristen | 57 |
| 8.2.2 | Vorsorge im Rahmen der Auslegung | 57 |
| 8.2.3 | Einsatz weiterer Mittel | 57 |
| 8.2.4 | Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände | 57 |
| 8.3 | Ausfall der Hauptwärmesenke bei Station Blackout | 57 |
| 8.3.1 | Fristen | 57 |
| 8.3.2 | Einsatz weiterer Mittel | 58 |
| 8.3.3 | Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände | 58 |
| 9 | Notfallmanagement | 58 |
| 9.1 | Übergreifende Aspekte | 58 |
| 9.1.1 | Organisation | 58 |
| 9.1.2 | Zugriff auf vorhandene Ausrüstungen | 61 |
| 9.1.3 | Einsatz anlagenexterner Mittel – das externe Lager in Reitnau | 62 |
| 9.1.4 | Logistik für Betriebsstoffe | 63 |
| 9.1.5 | Freisetzung radioaktiver Stoffe | 63 |
| 9.1.6 | Personendosen | 64 |
| 9.1.7 | Kommunikation und Information | 64 |
| 9.1.8 | Vorsorge für die Spätphase | 65 |
| 9.1.9 | Arbeits- und Aufenthaltsbedingungen | 66 |
| 9.2 | Ausfall der Reaktorkühlung | 66 |
| 9.2.1 | Massnahmen nach heutigem Konzept | 66 |
| 9.2.2 | Übergangskriterien | 68 |
| 9.2.3 | Notfallübungen | 68 |
| 9.2.4 | Besonders erschwerende Umstände | 68 |
| 9.2.5 | Bewertung | 69 |
| 9.3 | Schutz der Containment-Integrität | 69 |
| 9.3.1 | Massnahmen nach heutigem Konzept | 69 |
| 9.3.2 | Besonders erschwerende Umstände | 71 |
| 9.3.3 | Bewertung | 71 |
| 9.4 | Massnahmen nach Verlust der Containment-Integrität | 71 |
| 9.4.1 | Massnahmen nach heutigem Konzept | 71 |
| 9.4.2 | Besonders erschwerende Umstände | 72 |
| 9.4.3 | Bewertung | 72 |
| 9.5 | Massnahmen beim Ausfall der BE-Becken-Kühlung | 72 |
| 9.5.1 | Massnahmen nach heutigem Konzept | 72 |
| 9.5.2 | Übergangskriterien | 73 |
| 9.5.3 | Notfallübungen | 73 |
| 9.5.4 | Besonders erschwerende Umstände | 73 |
| 9.5.5 | Bewertung | 74 |
| 10 | Referenzdokumente | 75 |

# 1 Einleitung und Zusammenfassung

Erdbeben und Überflutung waren am 11. März 2011 Anlass für einen schweren Kernkraftwerksunfall in der japanischen Anlage von Fukushima Dai-ichi: Ein von einem aussergewöhnlich starken Erdbeben ausgelöster Tsunami führte eine Stunde nach dem Erdbeben dazu, dass alle Blöcke der dortigen Kraftwerksanlage überschwemmt und alle nach dem Erdbeben angelaufenen Notstromaggregate ausser Betrieb gesetzt wurden. Anschliessend kam es zu einer teilweisen Kernbeschädigung in mehreren Blöcken, zu Wasserstoffexplosionen und zu tagelanger Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung.

Der Vorfall gab Anlass zu einer Überprüfung der Sicherheit der Kernkraftwerke in der Schweiz und weltweit:

- Das eidgenössische Sicherheitsinspektorat ENSI forderte die schweizerischen Kernkraftwerkbetreiber mit mehreren Verfügungen auf, die Werke zu überprüfen, konkrete Sicherheitsnachweise zu erbringen und punktuelle Nachrüstungen durchzuführen.
- Der Europäische Rat forderte am 25. März eine Überprüfung der Sicherheit der 143 europäischen Kernkraftwerke im Licht der Vorfälle in Japan. Der Umfang und die Modalitäten dieser Prüfungen wurden festgelegt und am 25. Mai von der EU-Kommission verabschiedet. Verfasser des entsprechenden Fragenkatalogs waren die kerntechnischen Aufsichtsbehörden der EU-Mitgliedstaaten, die in der ENSREG (European Nuclear Safety Regulators Group) zusammenarbeiten.
- Die Schweiz als Nichtmitglied der EU wurde von der EU-Kommission eingeladen, sich am EU-Stresstest zu beteiligen. Daher verfügte das ENSI, gestützt auf Art. 36 Abs. 3 der Kernenergieverordnung, am 1. Juni, dass die Betreiber der schweizerischen Kernkraftwerke für jede ihrer Anlagen eine gezielte Neubewertung der Sicherheitsmargen durchzuführen haben. Der Schlussbericht sei bis zum 31. Oktober 2011 abzuliefern. Der Fragenkatalog der ENSREG war Bestandteil der ENSI-Verfügung.

Der vorliegende Bericht ist für das Kernkraftwerk Beznau (KKB) ausgearbeitet worden. Er folgt einem Fragenkatalog, den das ENSI, ausgehend vom ENSREG-Text, interpretiert, ergänzt und letztmals am 1. September 2011 herausgegeben hat.

Der Stresstest folgt den Grundprinzipien der nuklearen Sicherheit (gestaffelte Sicherheitsvorsorge und Sicherheitsmargen) und dehnt diese weit in den Bereich jenseits der Auslegung aus. Dabei werden drei Bereiche von auslegungsüberschreitenden Szenarien erfasst:

- Ermittlung der Sicherheitsmargen gegen auslegungsüberschreitende Erdbeben und Hochwasser
- Ermittlung der zusätzlichen Kühlmöglichkeiten beim auslegungsüberschreitenden Ausfall von Sicherheitsfunktionen als Folge des Verlustes der Strom- und der Kühlwasserversorgung unabhängig vom Auslöser
- Überprüfung der Wirksamkeit der vorbereiteten Massnahmen zum Notfallmanagement bei schweren Unfällen.

Die für das Kernkraftwerk Beznau durchgeführten Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Das KKB widersteht Erdbebenbeschleunigungen, welche das auslegungsgemässe Sicherheitserdbeben (SSE, Safe Shutdown Earthquake) deutlich übersteigen. Der Sicherheitsfaktor gegenüber dem SSE beträgt dabei mehr als zwei.
- Das KKB besitzt gegenüber einem Überflutungszenario, welches mit einer Häufigkeit von ein Mal pro 10 000 Jahren zu erwarten ist, sehr grosse Sicherheitsmargen. So wird bei diesem Szenario die Auslegungsfluthöhe des KKB von 1,65 m über der Terrainkote um weniger als einen Viertel erreicht. Zusätzlich besitzt das einzelfehlersichere Notstandsystem bis zu einer Höhe von 6,5 m über der Terrainkote keine Öffnungen und ist damit faktisch nicht überflutbar. Insgesamt stehen beim Störfall Überflutung vierfach vorhandene Sicherheitssysteme zur Verfügung.

- Beim Totalausfall der Wechselstromversorgungen in der ursprünglich gebauten Anlage (Station Blackout) stehen mit dem nachgerüsteten und einzelfehlersicheren Notstandsystem zusätzliche Notstrom- und Kühlsysteme zur Verfügung. Diese funktionieren auch beim Ausfall der Hauptwärmesenke.
- Beim totalen Ausfall aller Wechselstromversorgungen inklusive dem Notstandsystem (Total Station Blackout) in einem Block stehen Querverbindungen zum andern Block zu Verfügung, um die Kühlung des Reaktors sicherzustellen. Es sind dies:

  a) eine 6-kV-Querverbindung zum Notstand-Dieselgenerator des andern Blocks
  b) eine Speisewasserversorgung vom Notspeisewassersystem LSE des andern Blocks
  c) eine Einspeisung von Brunnenwasser oder Notstand-Brunnenwasser aus dem anderen Block in einen Dampferzeuger nach dessen Druckabsenkung.

- Darüber hinaus stehen beim „Total Station Blackout" Mittel des anlageinternen Notfallschutzes zur Verfügung, um die Kühlung des Reaktors sicherzustellen. Dabei sind die folgenden verschiedenen Kühlmöglichkeiten möglich und vorbereitet:

  a) die Druckabsenkung in einem Dampferzeuger zwecks anschliessender Einspeisung des Inhalts des Speisewasserbehälters mit Eigendruck
  b) die Aufschaltung mobiler, am Standort Beznau redundant vorhandener Notstromdiesel
  c) die Druckabsenkung in einem Dampferzeuger mit der Bespeisung der Dampferzeuger mit Feuerwehrpumpen.

- Beim Ausfall der Hauptwärmesenke bestehen mit dem Notbrunnen sowie mit dem Notstandbrunnen infolge redundanter Pumpen insgesamt vier, von der Hauptwärmesenke unabhängige Kühlmöglichkeiten.
- Zahlreiche Mittel des anlageinternen Notfallschutzes sind im KKB in einem hohen Mass vorbereitet:
  - Für alle relevanten Sicherheitsfunktionen bestehen vorbereitete Anschlussstutzen für Feuerwehrpumpen, damit mit mobilen Mitteln die entsprechende Kühlung oder Versorgung sichergestellt werden kann.
  - Die mobilen Mittel, welche für den anlageinternen Notfallschutz benötigt werden, sind erdbebensicher gelagert.
  - Zusätzlich besteht mit dem externen Lager in Reitnau eine weiterer Pool von mobilen Mitteln des Unfallmanagements, welche im Anforderungsfall auf dem Luftweg zum KKB gebracht werden können.
  - Der Einsatz derartiger mobiler Mittel ist im KKB durch spezielle, eigens entwickelte, sogenannte Accident-Management-Vorschriften geregelt. Diese können sowohl zur Wiederherstellung der Kernkühlung (vorbeugend) wie zur Linderung der Folgen eines schweren Reaktorunfalls (lindernd) eingesetzt werden.
  - Zur Begrenzung der Folgen schwerer Reaktorunfälle bestehen im KKB spezielle und strukturierte Unfallbegrenzungs-Richtlinien (Severe Accident Management Guidelines), welche auf Grundlagen des Reaktorlieferanten basieren. Dabei decken diese Richtlinien sowohl den Leistungsbetrieb der Anlage wie alle Stillstandzustände ab.
  - Als spezielle Hardware-Vorkehrungen gegen schwere Unfälle sind im KKB sowohl eine gefilterte Druckentlastung des Containments als auch passive, autokatalytische Wasserstoffrekombinatoren vorhanden.

# 2 Methodischer Ansatz

*Methodology adopted. 3 hazard levels, H1: hazard against which the plant was originally designed, H2: hazard against which the plant has been requalified, (possibly H2 = H1), H3: new seismic hazard results according to PEGASOS intermediate-hazard, new flooding hazard results according to the studies for the new builds. - H2 seismic hazard should correspond to the values currently in the safety analysis report and should be used when DBE is mentioned in the stress test reports. H2 should be used for the discussion of the safety margins beyond the design basis. - H3 seismic hazard should be used in the discussion of adequacy of the design basis and of the safety margins beyond the design basis.*

## 2.1 Aufgabenstellung

Nach einer im Wesentlichen deterministischen Methode soll die Robustheit des Kernkraftwerks bei äusseren Einwirkungen wie Erdbeben und Arealüberflutung untersucht werden. Dabei ist speziell zu prüfen, ob trotz der getroffenen Gegenmassnahmen anlagetechnischer und administrativer Art innerhalb von 72 h nach Beginn des Ereignisses Schäden an Brennstoff in den beiden gleichermassen betroffenen Reaktoren oder in den zugehörigen Brennelement-Lagerbecken zu erwarten sind. Mit Schaden ist hier gemeint, dass die Brennelemente über längere Zeit nicht mehr auf ihrer ganzen Höhe von Wasser bedeckt sind.

Stichtag für die Nennung eingeführter oder geplanter Massnahmen ist der 30. Juni 2011.

## 2.2 Ausgangszustand der Kraftwerksanlage

Im Sinn des ENSREG-Textes sind als Ausgangszustand, bei dem eine Kraftwerksanlage Einwirkungen in Form von Erdbeben oder Überflutung zu gewärtigen hat, irgend eine Phase des Normalbetriebs anzunehmen: Leistungsbetrieb, An- und Abfahren, Brennstoffwechsel, Revisionsstillstand bei abgestelltem Reaktor.

Der vorliegende Bericht legt das Hauptaugenmerk auf den Leistungsbetrieb, da dieser erfahrungsgemäss der weitaus häufigste Anlagenzustand ist: Während deutlich mehr als 90% der Zeit werden die beiden KKB-Blöcke mit Nennleistung betrieben. Die anderen Phasen des Normalbetriebs werden ergänzend betrachtet. Dieses Vorgehen ist auch damit begründet, dass dieser Bericht zeigt, dass sehr ähnliche Elemente des Sicherheitskonzepts gleichermassen beim Leistungsbetrieb wie bei den anderen Phasen zum Tragen kommen. Darüber hinaus beträgt der zeitliche Anteil der Stillstandzustände (ausser mit dem Reaktorkern ausgeladen im Brennstofflagerbecken) im KKB nur wenige Prozent des Kalenderjahrs.

## 2.3 Sicher-abgestellter Zustand

Für die Zwecke dieses Berichts werden zwei sicher-abgestellte Zustände der Reaktoranlage definiert:

- kalt-abgestellt: Das Hauptkühlmittel hat eine Temperatur von weniger als 93 °C, wobei es (a) in Wärmetauschern gekühlt wird oder (b) in den (gekühlten) Rezirkulationssumpf abgeleitet wird, während das Reaktorkühlsystem gefüllt gehalten wird.
- heiss-abgestellt bei 130 °C: Es wird Dampf aus dem nicht-radioaktiven Sekundärkreislauf in die Atmosphäre abgeblasen, während die Dampferzeuger bespeist werden.

Auch der zweitgenannte Zustand ist im KKB ein sehr sicherer Anlagezustand, weil

- mit gefüllten Dampferzeugern und tiefer Nachwärmeleistung eine grosse Sicherheitsmarge gegenüber einem vorübergehenden Ausfall der Nachwärmeabfuhr besteht,
- die Versorgung mit Speisewasser durch das Vorhandensein von Brunnenwassersystemen zeitlich unbegrenzt möglich ist,

- bei dieser Temperatur keine Gefahr eines Reaktorhauptpumpen-Dichtungs-LOCAs besteht,
- zur Kühlung des Reaktors sowohl Sicherheitssysteme der Sekundärseite (Dampf-Speisewasser-Kreislauf) wie auch der Primärseite (Reaktorkühlsystem) eingesetzt werden können, was beim kalt-abgestellten Zustand nicht in gleichem Umfang möglich ist.

## 2.4 Gefährdungsstufen

Es werden drei Stufen der Gefährdung durch äussere Einwirkungen auf das KKB wie Erdbeben und Hochwasser definiert:

H1 die für die ursprüngliche Auslegung der Anlage massgebende Gefährdung

H2 die Gefährdung, welche Grundlage einer allfälligen Requalifikation gewesen ist (fallweise dieselbe wie H1) und die im heutigen Sicherheitsbericht ausgewiesen ist

H3 die seismische Gefährdung, wie sie im Rahmen der Projekte „PEGASOS" und „PEGASOS Refinement Projekt" ermittelt wurden oder noch in Arbeit sind, die Gefährdung durch Hochwasser, wie sie für geplante neue KKW in der Schweiz ermittelt worden ist.

Die Stufe H2 der seismischen Gefährdung entspricht der heute gültigen Auslegungsbasis. Sie ist im vorliegenden Bericht die Bezugsgrösse SSE (Safe Stutdown Earthquake). Sie bildet auch die Referenz für die Diskussion der Sicherheitsmarge über die Auslegungsgrundlage hinaus.

Die Ermittlung der Stufe H3 der seismischen Gefährdung ist zurzeit noch in Arbeit. Sie basiert auf einer neuartigen Methodik, welche bisher weltweit nirgendwo ausser in der Schweiz für Kernkraftwerke angewendet wurde. Mehr dazu ist im Kapitel 4.1.1.3 ausgeführt. Im jetzigen Stresstest spielt die seismische Gefährdung H3 deshalb eine sehr untergeordnete Rolle.

## 2.5 Sicherheitsmarge hinsichtlich Erdbebenfestigkeit

*The methodology to evaluate the seismic margins of the plant with respect to seismic events is performed by using for all relevant structures, systems and components (SSC) the seismic fragilities of the seismic PSA as they exist today. The fragility for each SSC includes a median capacity, which represents the acceleration at which there is a 50% probability for failure. In addition the fragility includes a HCLPF capacity (high confidence of low probability of failure), at which there is a 95% confidence that failure is lower than 5%. For accelerations lower than the HCLPF value, seismic failure of the relevant SSC can be realistically excluded. - To determine the plant median capacity and the plant HCLPF value, the different safety trains of the plant are considered. From each safety train, the structure, system or component with the lowest capacity determines the capacity of the train. Among the different safety trains, the one with the highest capacity determines the plant capacity. This evaluation is done for the median capacity as well as for the HCLPF capacity.*

Anhand der oben genannten Gefährdungsstufen sollen die Sicherheitsmargen bezüglich auslegungsüberschreitender Szenarien abgeschätzt werden, speziell die Reserven bezüglich der heute gültigen Auslegungsbasis H2.

Die Methodik zur Ermittlung der Sicherheitsmargen hinsichtlich Erdbebenfestigkeit verwendet die **Grenztragfestigkeiten** (Fragilities) für alle Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK), wie sie im Rahmen der Erdbeben-PSA [1] bereits vorliegen. Die Fragility-Kurve für jede SSK enthält eine **Median-Kapazität**: die Erdbebenbeschleunigung, bei der die Versagenswahrscheinlichkeit 50% beträgt.

Zusätzlich stellt der so genannte **HCLPF-Wert** (high confidence of low probability of failure) die Beschleunigung dar, bei der die Versagenswahrscheinlichkeit mit 95% Zuverlässigkeit als niedriger als 5% prognostiziert wird. Das Versagen einer SSK kann bei Beschleunigungen unter dem HCLPF-Wert praktisch ausgeschlossen werden.

Erdbebenbeschleunigung bedeutet hier die auf einen starren Körper auf der Erdoberfläche unmittelbar neben der Kraftwerksanlage wirkende Maximalbeschleunigung während eines Erdbebens.

Um die seismische Median-Kapazität und den Anlagen-HCLPF-Wert der ganzen Anlage zu bestimmen, werden sogenannte ‚Abfahrpfade' betrachtet, die zu einem sicherabgeschalteten Anlagenzustand führen. Ein solcher Abfahrpfad umfasst diejenige Menge von Ausrüstungen und/ oder Massnahmen, welche zusammen als autarke Sicherheitskette die sichere Wärmeabfuhr gewährleisten.

Für jeden Abfahrpfad definiert die SSK mit der kleinsten Kapazität die **Grenztragfestigkeit des Pfads**. Unter den verschiedenen Abfahrpfaden definiert schliesslich derjenige mit der höchsten Grenztragfestigkeit die **Anlagen-Kapazität**. Diese Betrachtung wird sowohl für die Median-Kapazität wie für den HCLPF-Wert durchgeführt.

# 3 Die Kraftwerksanlage

*General data about site/plant*

## 3.1 Standort

*Brief description of the site characteristics. (a) location (sea, river); (b) number of units; (c) license holder*

Das schweizerische Kernkraftwerk Beznau (KKB) mit seinen zwei Kraftwerksblöcken liegt am Unterlauf der Aare, 6 km von der Mündung in den Rhein. Das Areal wird einerseits vom Flusslauf der Aare umschlossen, andererseits vom Oberwasserkanal des Hydraulischen Kraftwerks Beznau (HKB – siehe 3.3.5.3). Inhaberin der Betriebsbewilligung ist die Axpo AG mit Sitz in Baden im Kanton Aargau.

## 3.2 Anlagenmerkmale und Nachrüstungen

*Main characteristics of the unit. (a) reactor type; (b) thermal power; (c) date of first criticality; (d) existing spent fuel storage (or shared storage)*

Zur Kraftwerksanlage gehören zwei Westinghouse-Druckwasser-Reaktoren mit je 1130 MW thermischer Leistung, die erstmals in den Jahren 1969 bzw. 1971 Kritikalität erreichten. Ein Übersichtsplan über die Gebäude des Kernkraftwerks Beznau ist dargestellt in Abbildung 1.

Jeder Kraftwerksblock verfügt über zwei Brennelement-Lagerbecken in einem besonderen Gebäude UN(B) neben dem Sicherheitsgebäude (US/UR). Jeder Kraftwerksblock umfasst zwei Dampf-Turbogruppen.

Im eingezäunten Areal befindet sich auch das Zwischenlager Beznau (ZWIBEZ). Ein Gebäudeteil enthält schwach-radioaktive Abfälle, welche in Fässer einbetoniert sind; ein zweiter Gebäudeteil enthält hoch-aktive, bestrahlte Brennelemente in dickwandigen Lagerbehältern. Das ZWIBEZ ist luftgekühlt.

Das KKB wird vom HKB über unterirdisch verlegte Kabel mit Notstrom versorgt. Das HKB ist etwa 1 km vom KKB entfernt. Es ist auch ans 50-kV-Netz angeschlossen, welches die nicht vom KKB aufgenommene Leistung übernimmt, aber auch gegebenenfalls die Notstromversorgung des KKB stützen würde. (Siehe auch die ausführlichere Schilderung in 7.1.1.)

Beide Blöcke des KKB wurden in den letzten 25 Jahren mit einem Investitionsvolumen von zusammen über 1,5 Milliarden CHF umfassend nachgerüstet und erneuert. Die wichtigsten Nachrüstungen und Erneuerungen waren separat für jeden Block:

- Nachrüstung mit dem Notstandsystem: In einem separaten gebunkerten Gebäude wurden zusätzliche Sicherheitssysteme installiert. Diese sind vollumfänglich gemäss heutigen Anforderungen qualifiziert und von der ursprünglichen Anlage vollständig räumlich getrennt. Die Notstandsysteme beinhalten eigene Versorgungssysteme, Leittechniksysteme und einen separaten Notstand-Leitstand. Durch diese Nachrüstungen wurden alle relevanten Sicherheitsfunktionen des Kraftwerks von der ursprünglichen zweisträngigen Auslegung auf drei Sicherheitsstränge erweitert. Dabei ist der dritte Strang vollständig diversitär; er reduzierte die Kernschadenshäufigkeit der Anlage um mehr als den Faktor zwanzig. Zur reinen Nachwärmeabfuhr erfüllen die Notstandsysteme gleichzeitig das Einzelfehlerkriterium für aktive Komponenten.
- Installation eines zusätzlichen Strangs zur Bespeisung der Dampferzeuger
- Erweiterung der Notstromversorgungquelle ab dem Wasserkraftwerk Beznau von ursprünglich einem Strang auf zwei voneinander unabhängige und damit redundante Versorgungen
- Installation eines gefilterten Containment-Druckentlastungssystems sowie von passiven, autokatalytischen Wasserstoffrekombinatoren als Schutzmassnahmen bei schweren Reaktorunfällen
- Ersatz vieler bestehender Ausrüstungen durch neue: Borwassertank inkl. Gebäude, Dampferzeuger, Kondensatoren, Hochdruckturbinen, viele wichtige Ventile, Reaktorschutzsystem, Sekundärleittechnik, alle Pulte im Hauptkommandoraum.

Die wichtigsten, heute vorhandenen Systeme des KKB sind in Abbildung 2 dargestellt, die nachgerüsteten Notstand-Systeme sind darin schraffiert markiert. Den Aufbau der Notstromversorgung zeigt die Abbildung 3.

Überdies wird bis zum Jahr 2014 die heutige Notstromversorgung der Nicht-Notstand-Anlage (bestehend aus zwei Strängen Hydro-Versorgung und zwei Flutdieseln) umgebaut und durch zwei neue, seismisch qualifizierte Notstromdiesel pro Block ersetzt (Projekt AUTANOVE).

## 3.3 Sicherheits- und unterstützende Systeme

*Systems for providing or supporting main safety functions. In this chapter, all relevant systems should be identified and described, whether they are classified and accordingly qualified as safety systems, or designed for normal operation and classified to non-nuclear safety category. The systems description should include also fixed hock-up points for transportable external power or water supply systems that are planned to be used as last resort during emergencies.*

### 3.3.1 Reaktivitätskontrolle

*Reactivity control. Systems that are planned to ensure sub-criticality of the reactor core in all shutdown conditions, and sub-criticality of spent fuel in all potential storage conditions. Report should give a thorough understanding of available means to ensure that there is adequate amount of boron or other respective neutron absorber in the coolant in all circumstances, also including the situation after a severe damage of the reactor or the spent fuel.*

Im **Reaktor** stehen als Mittel zur Reaktivitätskontrolle zur Verfügung:

- 25 Kontrollstäbe, die bei einer Reaktor-Schnellabschaltung unter der Wirkung der Schwerkraft innert weniger als 2 s in das ihnen zugeordnete Brennelement einfallen. Sie setzen sich im Wesentlichen aus je sechzehn fingerdicken Absorberstäben zusammen, die mit einer Neutronen absorbierenden Legierung aus Silber, Indium und Cadmium gefüllt sind. Als Mindest-Unterkritikalität nach einer Schnellabschaltung fordern die Tech-Specs [3] 1%.
- Im Reaktorkühlmittel gelöstes Bor, dessen Konzentration während des Leistungsbetriebs mit Hilfe des **Chemie- und Volumen-Regelsystems** (KCH) mit seinen Ladepumpen so eingestellt wird, dass der Reaktor trotz fortschreitendem Abbrand der Kernladung kritisch bleibt. Diese Konzentration könnte nötigenfalls im Zuge einer **Notborierung** durch Zufuhr einer hochkonzentrierten Borlösung rasch angehoben werden. Eine langsame Erhöhung der Borkonzentration kann auch mit einer **Ladepumpe** (KCH 7-A/B/C) oder der **Notstand-Sperrwasserpumpe** (JNA 1), welche Borwasser, z.B. aus dem Borwassertank (BOTA), in den Primärkreislauf einspeisen können, bewirkt werden.

Der von den Tech-Specs verlangte Vorrat an hochkonzentrierter Borlösung (Borkonzentration: mehr als 20 000 ppm Bor) reicht, um nach dem Abschalten des Reaktors die Reaktivitätszunahme zu kompensieren, welche sich einerseits durch die Abkühlung des Reaktorkühlmittels auf Umgebungstemperatur und andererseits durch das allmähliche Abklingen der Xenon-Vergiftung ergibt.

Dem **Sicherheitseinspeisesystem** (JSI), das bei einem Kühlmittelverlustunfall das Reaktorkühlsystem mit Kühlmittel zu bespeisen hat, stehen im Borwassertank (BOTA) jedes Blocks mindestens 900 $m^3$ Borwasser (4000 ppm) zur Verfügung; gegebenenfalls können Querverbindungen zwischen den beiden Borwassertanks zum Bezug aus dem Nachbarblock benützt werden.

Beim Abkühlen der Anlage durch eine Druckabsenkung in einem Dampferzeuger, zum Beispiel im Rahmen von Accident-Management-Massnahmen, speisen die **Druckspeicher** 66 $m^3$ Borwasser (4000 ppm) ein, sobald der Druck im Reaktorkühlsystem genügend abgesunken ist.

Im Rahmen von Accident-Management-Massnahmen (siehe Kapitel 9) können auch **Feuerwehrpumpen** eine begrenzte Menge Borwasser aus BE-Lagerbecken ins das Reaktorkühlsystem einspeisen.

Die **Gestelle in den BE-Lagerbecken** sind in einem der beiden Becken aus Bor-haltigem Stahl (Boral) und im anderen Becken aus Stahl gefertigt. Beiderlei Gestelle sind ausgelegt für einen Multiplikationsfaktor $k_{eff}$ von weniger als 0,95 (d.h. 5% Unterkritikalität) unter der Annahme, dass die Gestelle vollständig mit dem reaktivsten Brennstoff beladen sind und durch irgendwelche Umstände mit **nicht boriertem Wasser** von 20 °C geflutet werden.

Die Becken sind aber immer mit Wasser von 4000 ppm Bor gefüllt. Sollte im Zuge eines auslegungsüberschreitenden Störfalls die Geometrie des Brennstoffs und der BE-Lagergestelle stark beschädigt werden, so ist durch das Vorhandensein von 4000 ppm Bor trotzdem eine sehr grosse Sicherheit gegenüber einer Kritikalität vorhanden.

### 3.3.2 Wärmeabfuhr vom Reaktor zur Wärmesenke

*Heat transfer from reactor to the ultimate heat sink*

#### 3.3.2.1 Vorhandene Ausrüstungen

*All existing heat transfer means/chains from the reactor to the primary heat sink (e.g. sea water) and to the secondary heat sinks (e.g. atmosphere or district heating system) in different reactor shutdown conditions: hot shutdown, cooling from hot to cold shutdown, cold shutdown with closed primary circuit and cold shutdown with open primary circuit.*

Die Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor zu primären oder sekundären Wärmesenken sind in der Tabelle 1 aufgezählt. Sie tragen eine Nummer #1, #2, usw. und zusätzlich eine Kurzbezeichnung wie zum Beispiel LSN_BEK, welche auf den Kühlmodus mit Hilfsspeisewasser LSN und den elektrischen Strang BEK verweist. Die Abfahrpfade unterscheiden sich hinsichtlich Stromquellen, Wasserquellen und Wärmesenken. Die Tabelle gibt auch an, in welchen Anlagezuständen ein Abfahrpfad eingesetzt werden kann. Sie zählt auch gewisse Abfahrpfade auf, welche beim Normalbetrieb nicht verwendet werden, wohl aber bei Störfällen, wie zum Beispiel das Bleed-and-Feed (#5, #6). Ferner nennt sie Möglichkeiten (#7, #8, #9), um mit Mitteln des Accident-Management mobile Einrichtungen zum Einsatz zu bringen.

Die Tabelle 1 ist gegliedert in Abfahrpfade für den Reaktor nach Leistungsbetrieb (#1–#9) und analoge Kühlketten im Stillstand (#11–#17). Sie enthält auch Angaben über die wesentlichen Sicherheitskomponenten, welche jeweils für einen Abfahrpfad benötigt werden.

Die Tabelle 2 ist nach Systemen gegliedert. Sie bezeichnet die für einen bestimmten Abfahrpfad massgebenden Systeme und gibt an, in welchen Gebäuden sich diese befinden.

Der Aufbau der Abfahrpfade mit ihren Kühlketten wird in der Abbildung 4 gezeigt. Diese Abbildung sowie die Abbildung 2 zeigen auch die Anschlussstellen für Accident-Management-Massnahmen.

In Abbildung 4 illustrieren die Zahlen in den kleinen Quadraten, welche Elemente zu einzelnen Abfahrpfaden gehören.

#### 3.3.2.2 Standorte

*Lay out information on the heat transfer chains: routing of redundant and diverse heat transfer piping and location of the main equipment. Physical protection of equipment from the internal and external threats.*

Die Abbildung 5 zeigt am Beispiel des Blocks 2, wo sich wesentliche Bestandteile eines Abfahrpfads befinden. Der mechanische Schutz der Ausrüstungen gegen Erdbeben und Überflutung wird in den Kapiteln 4 und 5 dargelegt.

#### 3.3.2.3 Zeitliche Einschränkungen

*Possible time constraints for availability of different heat transfer chains, and possibilities to extend the respective times by external measures (e.g. running out of a water storage and possibilities to refill this storage)*

Information über mögliche zeitliche Einschränkungen beim Einsatz gewisser Abfahrpfade ist in der Tabelle 1 enthalten; massgebend sind dabei Wasser- oder Treibstoff-Vorräte. Noch vor Erschöpfung der Speisewasserbehälter (#1, #2) kommt unterbruchslos die Versorgung ab dem Notbrunnen zum Einsatz. Bei einer Versorgung ab einem Flutdiesel muss mittelfristig Treibstoff nachgeliefert werden. Beim Einsatz von Accident-Management-Massnahmen (Feuerwehrpumpen) wird von unbeschränkter Verfügbarkeit von

Wasser und Treibstoff ausgegangen, speziell auch, weil aus dem externen Lager Reitnau mittelfristig Nachschub an Treibstoff auf dem Luftweg eingeflogen werden kann (siehe Kapitel 9.1.3).

#### 3.3.2.4 Zugeordnete Stromquellen

*AC power sources and batteries that could provide the necessary power to each chain (e.g. for driving of pumps and valves, for controlling the systems operation)*

Angaben über die Versorgung der Ausrüstungen mit Wechselstrom für Motoren und Gleichstrom für die Steuerung sind in der Tabelle 1 aufgeführt. In Tabelle 1 erscheinen die Kurzzeichen von Unterverteilungen und von Batterien (siehe 3.3.5 bzw. 3.3.6). Gleichstrom wird ausschliesslich zum Messen und Steuern verwendet.

#### 3.3.2.5 Zugeordnete Wärmesenken

*Need and method of cooling equipment that belong to a certain heat transfer chain: special emphasis should be given to verifying true diversity of alternative heat transfer chains (e.g. air cooling, cooling with water from separate sources, potential constraints for providing respective coolant)*

Angaben über die Wärmesenken der einzelnen Abfahrpfade sind dargestellt in der Tabelle 1. Ausgehend vom Leistungsbetrieb ist das Bespeisen der Dampferzeuger mit Abblasen von Dampf an die Atmosphäre die allererste und auch langfristig ausreichend sichere Wärmesenke. Für das Abblasen stehen dabei nebst den Abblaseventilen auch DE-Sicherheitsventile zur Verfügung, welche keine Fremdenergie benötigen. Auch ist zur Bespeisung der Dampferzeuger die Verfügbarkeit von Grundwasser aus dem Notbrunnen und dem Notstand-Brunnen im Rahmen der Auslegung gesichert. Schliesslich kann Flusswasser im Rahmen des Accident-Management eingesetzt werden (siehe auch 3.3.2.3).

Im Stillstand ist das Flusswasser mit dem primären Nebenkühlwassersystem PRW die primäre Wärmesenke. Alternativ können der Notstand-Brunnen sowie der Kühlmodus Feed-and Boil (gedrosselte Einspeisung aus dem Borwassertank und Verdampfen) eingesetzt werden.

### 3.3.3 Wärmeabfuhr von BE-Lagerbecken zur Wärmesenke

*Heat transfer from spent fuel pools to the ultimate heat sink*

#### 3.3.3.1 Vorhandene Ausrüstungen

*All existing heat transfer means/chains from the spent fuel pools to the primary heat sink (e.g. sea water) and to the secondary heat sinks (e.g. atmosphere or district heating system)*

Wie die Tabelle 1 in den Zeilen #21, #22 und #23 zeigt, gibt es eine redundante auslegungsgemässe Kühlkette von den BE-Lagerbecken jedes Blocks zum Flusswasser als primärer Wärmesenke. Sie steht in jedem Anlagezustand zur Verfügung. Dazu existiert ein alternatives System FEC.

Ferner kann mit Mitteln des Accident-Management gemäss AM-R-FEC-1 und/oder gemäss UR-R-SAG-8 Feuerlöschwasser eingesetzt werden, das gegebenenfalls in den Lagerbecken verdampft. Da das Brennelement-Lagerbecken ausserhalb des Containments gelagert ist, ist das Erstellen einer Nachspeisung im Rahmen des Accident-Management jederzeit möglich. Es stehen dafür sehr viel Zeit und viele verschiedene Feuerwehrpumpen zur Verfügung.

#### 3.3.3.2 Standorte

*Lay out information on the heat transfer chains: routing of redundant and diverse heat transfer piping and location of the main equipment. Physical protection of equipment from the internal and external threats.*

Die Tabelle 1 enthält Informationen über Standorte usw. Die Abbildung 5 zeigt sie am Beispiel des Blocks 2. Allererste Wärmesenke für das Brennelementlagerkühlsystem (FAC) sind die beiden Zwischenkühler KAC 1-A/B, die auch der Wärmeabfuhr aus dem Reaktor dienen (siehe 3.3.2).

#### 3.3.3.3 Zeitliche Einschränkungen

*Possible time constraints for availability of different heat transfer chains, and possibilities to extend the respective times by external measures (e.g. running out of a water storage and possibilities to refill this storage)*

Wie die Tabelle 1 zeigt, besteht bei der Inanspruchnahme des Hydrowerks für den Antrieb von Pumpen der Kühlkette FAC/KAC/PRW keine zeitliche Einschränkung. Bei einer Versorgung ab einem Flutdiesel muss mittelfristig Treibstoff nachgeliefert werden. Beim Einsatz von Accident-Management-Massnahmen (Feuerwehrpumpen) wird von unbeschränkter Verfügbarkeit von Wasser und Treibstoff ausgegangen, speziell auch weil aus dem externen Lager Reitnau mittelfristig Nachschub an Treibstoff auf dem Luftweg eingeflogen werden kann (siehe Kapitel 9.1.3).

#### 3.3.3.4 Zugeordnete Stromquellen

*AC power sources and batteries that could provide the necessary power to each chain (e.g. for driving of pumps and valves, for controlling the systems operation)*

Angaben über die Versorgung der Abfahrpfade #21 #22 und #23 mit Wechselstrom für Motoren und Gleichstrom für die Steuerung sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Es erscheinen die Kurzzeichen von Unterverteilungen und von Batterien (siehe 3.3.5 bzw. 3.3.6). Gleichstrom wird ausschliesslich zum Messen und Steuern verwendet.

#### 3.3.3.5 Zugeordnete Wärmesenken

*Need and method of cooling equipment that belong to a certain heat transfer chain: special emphasis should be given to verifying true diversity of alternative heat transfer chains (e.g. air cooling, cooling with water from separate sources, potential constraints for providing respective coolant)*

Die Kühlkette FAC/KAC/PRW gibt mit dem Primären Nebenkühlwassersystem (PRW) ihre Wärme an die Aare ab; bezogen wird dieses Kühlwasser vom Oberwasserkanal.

### 3.3.4 Wärmeabfuhr vom Containment zur Wärmesenke

*Heat transfer from reactor containment to the ultimate heat sink*

#### 3.3.4.1 Vorhandene Ausrüstungen

*All existing heat transfer means/chains from the containment to the primary heat sink (e.g. sea water) and to the secondary heat sinks (e.g. atmosphere or district heating system)*

Wie die Tabelle 1 in den Zeilen #31 bis #35 zeigt, verfügt das Containment über fünf auslegungsgemässe Kühlketten: zwei in Form von Containment-Umluftkühlern (mit Flusswasserkühlung), zwei weitere (nach einem Rohrleitungsleck im Reaktorkühlsystem oder im Frischdampf- oder Speisewassersystem) vom Rezirkulationssumpf aus über die Restwärmekühler und die Zwischenkühler KAC 1-A/B zum Flusswasser und eine in Form der Notstand-Rezirkulation mit der Wärmesenke Notstand-Brunnen.

Ferner kann mit Mitteln des Accident-Management Feuerlöschwasser zur Bespeisung der Umluftkühler (d.h. Wärmeübertragung an die letzte Wärmesenke) und zur Sprühung der Containment-Atmosphäre eingesetzt werden (#36, #37).

Bei auslegungsüberschreitenden Szenarien kann zudem ein unzulässiger Druckaufbau im Containment mit dem System zur gefilterten Druckentlastung verhindert werden (#38). Dieses System wurde speziell zum Schutz des Containments bei schweren Reaktorunfällen nachgerüstet.

#### 3.3.4.2 Standorte

*Lay out information on the heat transfer chains: routing of redundant and diverse heat transfer piping and location of the main equipment. Physical protection of equipment from the internal and external threats.*

Die Tabellen 1 und 2 sowie die Abbildung 5 enthalten Information über Standorte usw.

#### 3.3.4.3 Zeitliche Einschränkungen

*Possible time constraints for availability of different heat transfer chains, and possibilities to extend the respective times by external measures (e.g. running out of a water storage and possibilities to refill this storage)*

Wie die Tabelle 1 zeigt, besteht bei der Inanspruchnahme des Hydrowerks für den Antrieb von Umluftkühler-Ventilatoren und von PRW-Pumpen keine zeitliche Einschränkung. Bei einer Versorgung ab einem Flutdiesel muss mittelfristig Treibstoff nachgeliefert werden. Beim Einsatz von Accident-Management-Massnahmen (Feuerwehrpumpen) wird von unbeschränkter Verfügbarkeit von Wasser und Treibstoff ausgegangen, speziell auch weil aus dem externen Lager Reitnau mittelfristig Nachschub an Treibstoff auf dem Luftweg eingeflogen werden kann (siehe Kapitel 9.1.3).

#### 3.3.4.4 Zugeordnete Stromquellen

*AC power sources and batteries that could provide the necessary power to each chain (e.g. for driving of pumps and valves, for controlling the systems operation)*

Angaben über die Versorgung der Abfahrpfade #31 - #35 mit Wechselstrom für Motoren und Gleichstrom für die Steuerung sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Es erscheinen die Kurzzeichen von Unterverteilungen und von Batterien (siehe 3.3.5 bzw. 3.3.6). Gleichstrom wird ausschliesslich zum Messen und Steuern verwendet.

#### 3.3.4.5 Zugeordnete Wärmesenken

*Need and method of cooling equipment that belong to a certain heat transfer chain: special emphasis should be given to verifying true diversity of alternative heat transfer chains (e.g. air cooling, cooling with water from separate sources, potential constraints for providing respective coolant)*

Angaben über die Wärmesenken der einzelnen Abfahrpfade sind in der Tabelle 1 aufgeführt: Entweder ist es das Aarewasser des PRW-Systems (#31–#34) oder es ist das Notstand-Brunnenwasser im Notstandgebäude (#35).

### 3.3.5 Wechselstrom-Versorgung

*AC power supply*

Die Abbildung 3 zeigt als Übersicht die Notstromversorgungssysteme des KKB.

### 3.3.5.1 Verbindungen zum Überlandnetz

*Off-site power supply*

a) Vorhandene Ausrüstungen

*Connections of the plant with external power grids: transmission line and potential earth cable routings with their connection points, physical protection, and design against internal and external hazards*

Jeder Kraftwerksblock umfasst zwei Dampf-Turbogruppen, deren Generatoren über 220-kV-Kabel mit der 380/220-kV-Schaltanlage auf der Insel Beznau verbunden sind. Die letztere ist ein wichtiger Knotenpunkt im landesweiten Höchstspannungsnetz. Diese Anspeisungen versorgen die Schienen BD und BG des Eigenbedarfsnetzes (siehe 3.3.5.2), welche in der Regel nicht für die Versorgung sicherheitstechnisch klassierter Verbraucher herangezogen werden.

Das 50-kV-Netz, das eine externe Verbindung des HKB darstellt und die BF-Schiene jedes Blocks anspeist, versorgt beim Normalbetrieb auch die Notstandgebäude beider Blöcke. Beim Ausfall dieser 50-kV-Anspeisung läuft die entsprechende Notstand-Notstromgruppe automatisch an (siehe auch 7.1.1).

b) Zuverlässigkeit

*Information on reliability of off-site power supply: historical data at least from power cuts and their durations during the plant lifetime*

Die 220-kV- und 50-kV-Anspeisungen haben sich während Jahrzehnten als sehr zuverlässig erwiesen:

- Zwischen 1970 und 1994 kam ein einziger Unterbruch einer 220-kV-Anspeisung vor. Nach 1994 ist kein Unterbruch mehr vorgekommen, hingegen ein einzelnes Ereignis mit übermässig grossen Spannungsschwankungen.
- Beim 50-kV-Netz wurden zwischen 1978 und 1993 sechs Unterbrüche registriert. Nach 1992/93, d.h. seit das 50-kV-Netz beim Normalbetrieb auch die Notstandsysteme mit Strom versorgt, ist kein einziger automatischer Anlauf eines Notstand-Dieselaggregats wegen fehlender 50-kV-Spannung verzeichnet worden.

### 3.3.5.2 Eigenbedarfsnetz

*Power distribution inside the plant*

a) Kabelwege und Verteilungen

*Main cable routings and power distribution switchboards*

Die Abbildung 5 zeigt am Beispiel des Blocks 2 die Standorte der vier grossen **6-kV-Unterverteilungen** BD, BE, BF und BG im Ostteil des Maschinenhauses und der 6-kV-Unterverteilung BV im Notstandgebäude. Mehr als zwanzig **0,4-kV-Unterverteilungen** (nicht eingetragen) stehen teils im Ostteil des Maschinenhauses, teils verteilt in Nebengebäuden.

Die Verbindungskabel zwischen dem HKB und den 6-kV-Unterverteilungen BE und BF im KKB verlaufen entlang des Oberwasserkanals.

b) Standorte

*Lay out, location, and physical protection against internal and external hazards*

Der mechanische Schutz der Ausrüstungen gegen Erdbeben und Überflutung wird in den Kapiteln 4 und 5 dargelegt.

### 3.3.5.3 Anlageninterne Stromquellen (erste Staffel)

*Main ordinary on-site source for back-up power supply*

a) Vorhandene Ausrüstungen

*On-site sources that serve as first back-up if offsite power is lost*

Wie in 3.3.5.1 erwähnt, werden die Schienen BD und BG jedes Blocks mit ihren externen Anspeisungen in der Regel nicht zur Bespeisung sicherheitstechnisch klassierter Verbraucher herangezogen.

Das **Hydrowerk Beznau (HKB)** versorgt den für sicherheitstechnisch klassierte Verbraucher (ausserhalb des Notstandgebäudes) vorgesehene Schiene **BE** jedes Blocks permanent mit Strom und kann auch bei Störfällen den Strom zum Aufstarten solcher Verbraucher liefern.

Wie die Abbildung 3 zeigt, besteht das HKB aus zwei vollständig redundanten Strängen Hydro A und Hydro B. Dabei bespeist Hydro A die Schiene BE von Block 1 und ist gleichzeitig die Notstromquelle für die Schiene BF von Block 2. Analog versorgt Hydro B die Schiene BE von Block 2 und ist gleichzeitig die Notstromquelle für die Schiene BF von Block 1.

Die zweite Schiene für sicherheitstechnisch klassierte Verbraucher ausserhalb des Notstandgebäudes (**BF**) wird normalerweise vom 50-kV-Netz versorgt; bei deren Ausfall besorgt eine Steuerautomatik die unverzügliche, automatische Umschaltung auf eine andere, betriebsbereite Anspeisung, beispielsweise auf eine Anspeisung vom HKB.

Zur Versorgung der Verbraucher in den Notstandgebäuden siehe 3.3.5.4.

b) Redundanz, Separation, Schutz

*Redundancy, separation of redundant sources by structures or distance, and their physical protection against internal and external hazards*

Die sicherheitstechnisch klassierten Verbraucher sind derart auf die Schienen BE und BF verteilt, dass sich de facto eine zweisträngige Redundanz ergibt. Separation ergibt sich vor allem durch die getrennte Führung von Kabeln zwischen 6-kV-Unterverteilungen, 0,4-kV-Unterverteilungen und Endverbrauchern.

c) Zeitliche Einschränkungen

*Time constraints for availability of these sources and external measures to extend the time of use (e.g. fuel tank capacity)*

Das HKB steht dem KKB ununterbrochen zur Verfügung; im Allgemeinen reichen dafür drei Generatoren pro Block. Da sich die Leistung jedes Generators reduziert, wenn die Aare extremes Hochwasser führt und sich dadurch die Fallhöhe in den Turbinen verringert, werden bei Aare-Hochwasser zusätzliche Generatoren an die Notstromschienen des KKB geschaltet.

### 3.3.5.4 Ergänzende anlageninterne Stromquellen

*Diverse permanently installed on-site sources for back-up power supply*

a) Vorhandene Ausrüstungen

*All diverse sources that can be used for the same tasks as the main back-up sources, or for more limited dedicated purposes (e.g. for decay heat removal from reactor when the primary system is intact, for operation of systems that protect containment integrity after core meltdown)*

Gemäss Auslegung der ursprünglichen Kraftwerksanlage stehen in jedem Block zwei so genannte **Flutdiesel**, von denen jeder beim Ausfall des Hydrowerks durch Überflutung den Strom zur Erfüllung wesentlicher Sicherheitsfunktionen (Bespeisung der Dampferzeuger, Schutz der Dichtungspartien der Reaktor-Hauptpumpen) liefern kann. Die Flutdiesel werden vom Operateur im Bedarfsfall, d.h. nach Massgabe der Notfallvorschriften, gestartet.

Seit der Inbetriebnahme der Notstandsysteme in den Jahren 1992/93 verfügt jeder Kraftwerksblock über eine **Notstand-Dieselgeneratorgruppe**, welche ausschliesslich zur autonomen Versorgung der sicherheitstechnisch klassierten Ausrüstungen im Notstandgebäude dient. Der Dieselmotor hat eine Typenleistung von 2640 kW. Jede Notstand-Dieselgeneratorgruppe läuft automatisch an, wenn die beim Normalbetrieb aktive Anspeisung der Stromverbraucher vom 50-kV-Netz ausgefallen ist. Dank einer vorbereiteten 6-kV-Querverbindung können von einem einzelnen Generator aus Verbraucher in beiden Notstandgebäuden versorgt werden. Dabei reicht die Kapazität eines Notstand-Dieselgenerators aus, um in den meisten Betriebszuständen beide Blöcke gleichzeitig zu versorgen.

b) Redundanz, Separation, Schutz

*Redundancy, separation of redundant sources by structures or distance, and their physical protection against internal and external hazards*

Die Flutdiesel stehen im Ostteil des Maschinenhauses (siehe Abbildung 5). Diese Aggregate und die zugehörigen Vorratstanks sind über Kote 3,5 m aufgestellt, d.h. flutsicher. Weil jeder Flutdiesel-Generator den Strom zur Erfüllung wesentlicher Sicherheitsfunktionen liefern kann, ergibt sich eine zweisträngige Redundanz.

Die Notstand-Dieselgeneratorgruppe steht im Notstandgebäude. Sie ist damit von den elektrischen Strängen BE und BF vollständig räumlich getrennt. Gleichzeitig bildet sie mit diesen beiden Schienen zusammen ein dreisträngig redundantes Notstromsystem.

Der mechanische Schutz der Ausrüstungen gegen Erdbeben und Überflutung wird in den Kapiteln 4 und 5 dargelegt.

c) Zeitliche Einschränkungen

*Time constraints for availability of these sources and external measures to extend the time of use (e.g. fuel tank capacity)*

Der bei den Flutdieseln eingelagerte Treibstoff reicht für den Betrieb während 1–2 Tagen. Danach muss Treibstoffnachschub besorgt werden, z.B. aus dem externen Lager Reitnau (siehe 9.1.3). Die Treibstoffreserve der Notstand-Dieselmotoren reicht für 10 Tage ununterbrochenen Betrieb.

### 3.3.5.5 Ersatz-Stromquellen

*Other power sources that are planned and kept in preparedness for use as last resort means to prevent a serious accident damaging reactor or spent fuel*

a) Vorbereitete Querverbindungen

*Potential dedicated connection to neighboring units or to nearby other power plants*

Es gibt keine vorbereiteten Verbindungen zu benachbarten Kraftwerken. (Das HKB gilt auslegungsgemäss als ein Teil des KKB.)

Innerhalb jedes Blocks gibt es vorbereitete Querverbindungen zwischen mehreren 0,4-kV-Unterverteilungen, vor allem zwischen BEK- und BFL-Schienen.

Ferner verfügt die zuständige Notfallequipe ‚Starkstrom' über grössere Mengen Kabel, mit denen Querverbindungen zwischen Flutdiesel-gestützten 0,4-kV-Unterverteilungen in beiden Blöcken eingerichtet werden könnten; die zu überbrückenden Distanzen sind kurz.

b) Bestandsaufnahme

*Information on each power source: power capacity, voltage level and other relevant constraints*

Mitte 2011 standen fürs KKB die folgenden 380/220-V-Stromquellen auf Abruf bereit:
- auf dem Platz Beznau (NOK): ein 50-kW- und ein 160-kW-Aggregat,
- im Grossraum Zürich (EKZ): ein 600-kW- und ein 700-kW-Aggregat,
- im Bündnerland (NOK): ein 220-kW-Aggregat,
- im externen Lager Reitnau (Swissnuclear): ein 400-kW- und zwei 125-kW-Aggregate.

Bestellt waren Mitte 2011 und am Standort Beznau Ende Oktober 2011 vorhanden:
- zwei 890-kW-Aggregate in je einem Container; diese sollen demnächst an einem erdbeben- und flutsicheren Standort im KKB-Areal definitiv aufgestellt werden.

c) Anschluss mobiler Stromquellen

*Possibilities to hook-up transportable power sources to supply certain safety systems*

In zwei sogenannten Accident-Management-Vorschriften ist die Aufschaltung mobiler Notstromaggregate beschrieben:
- in der AM-R-BEK-1 die Anspeisung der Verteilung BEK-A und -B von einem Flutdiesel des anderen Blocks oder einem mobilen Notstromaggregat: damit können unter anderem Batterie-Ladegeräte versorgt werden,
- in der AM-R-BVA-1 die Anspeisung der Verteilung BVA im Notstandgebäude von einem mobilen Notstromaggregat.

d) Inbetriebnahme-Szenarien

*Preparedness to take the source in use: need for special personnel, procedures and training, connection time, contract arrangements if not in ownership of the Licensee, vulnerability of source and its connection to external hazards and weather conditions.*

Für den Aufbau und die Inbetriebnahme der erforderlichen Block-internen Querverbindungen und der Anspeisungen aus mobilen Notstromaggregaten ist die Notfallequipe ‚Starkstrom' zuständig. Sie verfügt aufgrund ihrer täglichen Arbeit über die nötigen Fachkenntnisse.

Noch in Arbeit sind am Stichtag Arbeitsvorschriften betreffend den Anschluss der Aggregate aus Reitnau (Arbeitsplan siehe 9.1.3). Diese müssen gemäss dritter Forderung der ENSI-Verfügung vom 18.3.2011 spätestens Ende 2012 fertig gestellt sein.

### 3.3.6 Gleichstrom-Versorgung

*Batteries for DC power supply*

#### 3.3.6.1 Vorhandene Ausrüstungen

*Description of separate battery banks that could be used to supply safety relevant consumers: capacity and time to exhaust batteries in different operational situations*

Die Tabelle 3 zählt alle vorhandenen 120-V- und 24-V-Batterien auf, ausgenommen die Starterbatterien für die Flutdiesel.

Die Batterien BNA, BNB, BNC und BNG stellen zugleich die hauptsächlichen Stromquellen für die **Gesicherte Wechselstromversorgung** dar, welche Funktionen des Reaktorschutzsystems (RSS) und der Messwert-Erfassung unterstützt. Jede Batterie ist einem der vier RSS-Kanäle zugeordnet, kann aber nötigenfalls nach einer entsprechenden Schaltung auch gleichzeitig zwei Kanäle versorgen. Nach Erschöpfung der genannten Batterien könnte die 26-V-Versorgung direkt aus Wechselstromquellen erfolgen.

#### 3.3.6.2 Angeschlossene Verbraucher

*Consumers served by each battery bank: driving of valve motors, control systems, measuring devices, etc.*

Die Tabelle 3 bezeichnet die Verbrauchergruppen, welche einer bestimmten Batterie primär zugeordnet sind. Nach dem Einlegen vorbereiteter Querkupplungen können auch andere Verbraucher versorgt werden, wobei sich die Nutzungsdauer der Batterieladung entsprechend verkürzt.

#### 3.3.6.3 Standorte

*Physical location and separation of battery banks and their protection from internal and external hazards*

Jede Batterie ist in einem eigenen Raum, mindestens auf Kote +3,7 m über dem Anlagenareal, untergebracht. Der mechanische Schutz der Ausrüstungen gegen Erdbeben und Überflutung wird in den Kapiteln 4 und 5 dargelegt.

#### 3.3.6.4 Möglichkeiten zum Nachladen

*Alternative possibilities for recharging each battery bank*

Wie die Tabelle 3 zeigt, kann jede Batterie aus einer oder zwei Quellen angespeist werden, von denen mindestens eine von einer Schiene BE, BF oder BV versorgt wird. Ferner gibt die Tabelle an, welche Minimal-Nutzungsdauer jede Batterie auslegungsgemäss hat; diese Dauer ist abgelaufen, wenn die Spannung an den Verbraucherklemmen den minimal erforderlichen Wert nicht mehr erreicht. Zur mutmasslichen Nutzungsdauer bei einem auslegungsüberschreitenden Störfall siehe 7.1 und 7.2.

## 3.4 Unterschiede zwischen Blöcken

*Significant differences between units. This chapter is relevant only for sites with multiple NPP units of similar type. In case some site has units of completely different design (e.g. PWR's and BWR's or plants of different generation), design information of each unit is presented separately.*

Die beiden Blöcke sind weitgehend gleich konzipiert, gebaut und ausgerüstet. Nur für ganz wenige Hilfsfunktionen, welche für diesen Bericht keine Bedeutung haben, gibt es Ausrüstungen, die jeweils nur in einem Block vorhanden sind.

## 3.5 Probabilistische Sicherheitsanalysen

*Scope and main results of the plant specific Probabilistic Safety Assessment. The presentation of the scope and main results of the plant specific PSA should include: (1) description of the scope of the PSA (for reactor, spent fuel storage) concerning; (a) initiating events; (b) level of PSA; (c) operational mode; (2) presentation of the main results according to (a) ENSI-A05/d, Page 37, table 1; (b) General Statement concerning LERF (SLERF) with respect to the IAEA recommendations; (3) When possible, for the H2 seismic hazard as well as for the H3 seismic hazard*

Anlagenspezifische probabilistische Sicherheitsanalysen sind für das KKB erstmals in den Achtzigerjahren erstellt worden. Heute umfasst die entsprechende Dokumentensammlung Berichte über

- die Anlage beim Leistungsbetrieb (BERA, [1])
- die Anlage beim An- und Abfahren sowie beim abgestellten Zustand (BESRA, [2]).

Dabei sind sowohl für den Leistungsbetrieb wie für den Stillstand zwei Stufen untersucht worden: Die Studie [1] ermittelt in einer sogenannten Stufe 1 die Kernschadenshäufigkeit CDF (Core Damage Frequency); eine weitere Studie hat für den Leistungsbetrieb die Häufigkeit der Freisetzung radioaktiver Stoffe (Stufe 2) quantifiziert, speziell die Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung LERF (Large Early Release Frequency).

Die Analyse [2] bezifferte ursprünglich die Häufigkeit eines Brennstoffschadens im Reaktor oder im BE-Lager; sie war also eine Analyse der Stufe 1. Die zugehörige Risikokenngrösse ist die FDF (Fuel Damage Frequency). In einem späteren Update wurde sie zur Stufe 2 erweitert, um die Häufigkeit einer grossen Freisetzung im Stillstand SLRF (Shutdown Large Release Frequency) zu ermitteln.

Die Hauptergebnisse der BERA [1] und der BESRA [2] für das untersuchte Spektrum auslösender Ereignisse zeigen die Tabellen 4 resp. 5.

Die PSA-Ergebnisse bestätigen das hohe Sicherheitsniveau des KKB sowohl im Leistungsbetrieb wie auch im Stillstand, indem jeder Block die Zielwerte der IAEA für bestehende Anlagen mit grossen Sicherheitsreserven unterschreitet:

- Für Leistungsbetrieb ist die Kernschadenshäufigkeit CDF deutlich kleiner als 1.E-04 pro Jahr und die Häufigkeit einer grossen, frühen Freisetzung LERF deutlich unter 1.E-05 pro Jahr.
- Auch die Risikokenngrössen für Stillstandszustände erfüllen diese Kriterien.

# 4 Erdbebenfestigkeit

*Earthquake assessment*

## 4.1 Auslegungsgrundlagen

*Design basis. H2 unless otherwise indicated*

### 4.1.1 Erdbeben gemäss Auslegung

*Earthquake against which the plant is designed*

#### 4.1.1.1 Zahlenmässige Festlegung

*Level of the design basis earthquake (DBE) expressed in terms of peak ground acceleration (PGA) and reasons for the choice. Also indicate the DBE taken into account in the original licensing basis if different;*

Das Kernkraftwerk wurde ursprünglich für ein Sicherheitserdbeben (Safe Shutdown Earthquake, SSE) mit der horizontalen Beschleunigung 0,12 g ausgelegt [19]; das war die Gefährdungsstufe H1 im Sinn dieses Berichts. Das Sicherheitserdbeben ist massgebend für alle Systeme und Ausrüstungen, die für das Einzelfehler-sichere Abfahren des Reaktors in einen sicher-abgeschalteten Zustand erforderlich sind. Der damalige sicherheitstechnische Nachweis beschränkte sich auf ausgewählte Gebäude und Komponenten.

Mit den Erdbebenrisikokarten von 1977 [11] und der zugehörigen Umsetzung in eine probabilistische Gefährdungskurve [12] verfeinerten sich die Erkenntnisse über die Erdbebengefährdung. Sie bildeten die Basis für die darauf folgenden Nachrüst- und Erneuerungsprojekte des KKB und für die heute gültige seismische Auslegungsbasis des KKB (Gefährdungsstufe H2).

Diese Auslegungsbasis definiert sich durch ein SSE mit einem maximalen horizontalen Beschleunigungswert (PGA, peak ground acceleration) von 0,15 g an der Unterkante des Reaktorgebäudes und von 0,21 g an der Erdoberfläche (Intensität VII.6). Gemäss damaligem Wissensstand entsprach dies einer Nichtüberschreitenshäufigkeit von $10^{-4}$ pro Jahr. Der Anteil der verschiedenen Frequenzen der horizontalen Erdbebenwellen wurde als ein breitbandiges Spektrum gemäss NRC Reg. Guide 1.60 angenommen. Damit entspricht das H2-Erdbeben (SSE) an der Erdoberfläche für einen 5-Hz-Schwinger mit 5% Dämpfung einer Beschleunigung von 0,60 g (auch bezeichnet als Spektralbeschleunigung).

Die vertikalen Beschleunigungen wurden als 2/3 der horizontalen Beschleunigungen angesetzt; ihnen wurde ein modifiziertes NRC-Spektrum zugrunde gelegt, um die Anteile der hochfrequenten Baugrundschwingungen zu berücksichtigen.

#### 4.1.1.2 Seismologische Grundlagen

*Methodology to evaluate the DBE (return period, past events considered and reasons for choice, margins added ... ), validity of data in time;*

Aus der Umgebung des Kernkraftwerks Beznau sind aus den vergangenen 2000 Jahren nur sehr wenige Erdbeben bekannt, deren Epizentral-Intensität den Grad V der Medvedev-Sponheuer-Karnik-Skala (MSK) erreicht hat. Die nächstgelegenen Erdbeben aus jüngerer Zeit sind die Beben im südlichen Schwarzwald, bei Zell (1961) und bei Bonndorf (1965) und dasjenige von Eglisau (1962), alle mit Epizentral-Intensität VI.

Die Gebiete mit stärkerer Erdbebentätigkeit haben einen grossen Abstand vom Standort. Die Quellen Zürich und Basel sind die nächstliegenden Erdbebengebiete.

Grundlage für die Festlegung der heute gültigen Auslegungsbasis (Gefährdungsstufe H2) waren die Erdbebenhäufigkeiten von 22 seismischen Quellen im Umkreis von mehreren hundert Kilometern um den Kraftwerksstandort. Zusätzlich wurden distanzabhängige Ab-

minderungsfaktoren nach dem damaligen Stand des Wissens und eine seismische Hintergrundquelle berücksichtigt. Daraus ergab sich eine Beziehung zwischen Standortintensität (Is) und mittlerer jährlicher Eintretenswahrscheinlichkeit P.

Die Hauptbeiträge an die Gefährdung lieferten die seismische Quelle Basel (40%) und die Hintergrundquelle (45%). Die Quelle Zürich, obwohl näher gelegen, lieferte wegen der geringen Starkbebenfähigkeit nur einen geringen Anteil (15%).

Mit dem Projekt PEGASOS [13] wurde in den Jahren 2001–2004 eine Neuermittlung der Erdbebengefährdung an den schweizerischen Kernkraftwerkstandorten durchgeführt. Das Ergebnis zeigt eine grössere Erdbebengefährdung als früher angenommen [14]. Die PEGASOS-Studie wurde nach einem amerikanischen Verfahren [16] durchgeführt. Dabei wurde erstmals für Kernkraftwerke weltweit und erst zum zweiten Mal überhaupt die höchste darin beschriebene Detaillierungsstufe 4 angewandt.

Zur Verfeinerung der Studie und zur Reduzierung erkannter Mängel der PEGASOS-Studie wurde im Jahr 2009 ein Folgeprojekt gestartet, das sogenannten „PEGASOS Refinement Project" (PRP). Definitive Ergebnisse von PRP werden im Verlaufe des Jahres 2012 erwartet.

#### 4.1.1.3 Bewertung

*Conclusion on the adequacy of the design basis. H2/H3. - Switzerland has state-of-the-art studies of the seismic hazards for the NPP sites (PEGASOS project). The PEGASOS results show that the hazards have been underestimated in the past. An update of the PEGASOS is under way (PEGASOS refinement project, PRP). (PEGASOS results were applied in the Swiss seismic PSAs.) The Swiss regulator has required the deterministic demonstration of protection against earthquakes with the new hazards by March 31st, 2012.*

Die in den 1970-er und 1980-er ermittelte Gefährdungsstufe H2, welche die Basis für die heutige Auslegung darstellt, muss nach bisher vorliegenden Erkenntnissen der PEGASOS-Studien nach oben korrigiert werden.

Anderseits sind die Arbeiten der Neuermittlung der seismischen Gefährdungsstufe H3 zurzeit noch in Arbeit. Sie basieren auf einer neuartigen Methodik [16], welche bisher weltweit nirgendwo ausser in der Schweiz für Kernkraftwerke in der Detaillierungsstufe 4 angewendet wurde. Die schweizerischen Untersuchungen sind dabei bezüglich Detaillierungsgrad und Bearbeitungstiefe im weltweiten Vergleich weit fortgeschritten. Die dabei angewendete Methodik kann aber noch nicht als definitiv erprobt und etabliert bezeichnet werden; es besteht dafür kein weltweiter Konsens betreffend ihrer Anwendung auf Kernanlagen. Daher spielt die seismische Gefährdung H3 in diesem Stresstest eine sehr untergeordnete Rolle.

In den PSA-Studien der schweizerischen Werke wurden die PEGASOS-Ergebnisse [13] aber bereits umgesetzt, und zwar gemäss Vorgaben der Aufsichtsbehörde, welche in [14] und [15] festgelegt sind.

Zusammenfassend liegen heute noch keine definitiven, belastbaren Resultate der Gefährdungsstufe H3 vor. Immerhin wurde als Zwischenergebnis des PEGASOS Refinement Project mit den Berichten [17] und [18] eine Gefährdung ermittelt. Sie entspricht bei einer Häufigkeit von 1 Mal in 10 000 Jahren einer Spitzenbeschleunigung PGA an der Erdoberfläche, welche um 67% höher ist als die H2-Gefährdung.

Als Folge des Reaktorunfalls von Fukushima müssen die schweizerischen Kernkraftwerke zudem bis zum März 2012 einen deterministischen Sicherheitsnachweis für das 10 000-jährliche Erdbeben gemäss diesen oben genannten H3-Zwischenergebnissen des PEGASOS Refinement Projekts erbringen.

### 4.1.2 Schutzmassnahmen

*Provisions to protect the plant against the DBE*

#### 4.1.2.1 Relevante Sicherheitsausrüstungen

*Identification of the key structures, systems and components (SSCs) which are needed for achieving safe shutdown state and are supposed to remain available after the earthquake; - Safe shutdown state = to be defined in the intermediate report (plant specific)*

In der Tabelle 1 sind die Abfahrpfade mit ihren Kühlketten für die Nachwärmeabfuhr vom Reaktor, von den BE-Lagerbecken sowie vom Containment zu den primären und sekundären Wärmesenken aufgeführt. Ebenfalls nennt die Tabelle die zugeordneten Wechsel- und Gleichstromquellen und benötigten Sicherheitskomponenten. Ferner zeigt die Tabelle 2 pro System, in welchen Gebäuden sich dessen Ausrüstungen befinden und zu welchen Kühlketten das System direkt oder indirekt gehört.

Auslegungsgemäss sind die beiden Abfahrpfade des Notstandsystems auf das Sicherheitserdbeben SSE ausgelegt.

Somit sind zur Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb die zwei in Tabelle 8 genannten, redundanten Abfahrpfade des Notstandsystems diejenigen mit der grössten seismischen Robustheit. Demgegenüber weisen die Abfahrpfade der Nicht-Notstand-Anlage eine tiefere seismische Kapazität auf.

Die Tabellen 1 und 2 bezeichnen auch die möglichen Accident-Management-Massnahmen, welche nach einem Erdbeben möglich sind. Siehe dazu auch die Abbildung 4. Die zugehörigen Abfahrpfade mit einer hohen seismischen Robustheit sind in Tabelle 8 ebenfalls aufgeführt.

Im Stillstand sind die entsprechenden Abfahrpfade ähnlich, dies zeigt die Tabelle 9.

#### 4.1.2.2 Administrative Massnahmen

*Main operating provisions (including emergency operating procedure, mobile equipment...) to prevent reactor core or spent fuel damage after the earthquake; - Core damage = same definition as in PSA*

Für den Betrieb der Anlage beim Normalbetrieb (Leistungsbetrieb, An- und Abfahren, Brennelementwechsel) steht der Betriebsabteilung des KKB eine grosse Kollektion von **Betriebsvorschriften** (BV-B-...) zur Verfügung. Bei Anlagestörungen eng begrenzten Umfangs gelangen **Störfallvorschriften** (SV-B-...) zum Einsatz; es handelt sich um einige wenige Dokumente.

Bei Störfällen greift die Betriebsabteilung auf ihre umfangreiche Kollektion von **Notfallvorschriften** (Emergency Operating Procedures [26], siehe 9.1.1.3) zurück. Diese basieren auf den vom Reaktorlieferanten Westinghouse für seine Reaktoranlagen erarbeiteten Emergency Response Guidelines (ERGs), d.h. einer systematischen Herangehensweise, welche von beobachtbaren Messwerten aus der Anlage ausgeht und daher als Symptom-orientiert bezeichnet wird. Die Notfallvorschriften sind den Besonderheiten der KKB-Reaktoranlagen angepasst und berücksichtigen beispielsweise die Nachrüstungen mit Notstandsystemen sowie mit dem Notspeisewassersystem. Eine spezielle Serie von Notfallvorschriften (NV-B-EE...) besteht für den Fall, dass der Hauptkommandoraum verlassen werden und die weitere Störfallbeherrschung vom Notstandleitstand aus erfolgen muss.

In Praxis würde die Dienst tuende Schicht, unterstützt vom permanent anwesenden **Piketingenieur**, die Notfallvorschriften an **Computer-Bildschirmen** abarbeiten; dabei sind die aktuellen Messwerte, vom Anlagen-Informationssystem (ANIS) bereitgestellt, auf den Bildschirmen sichtbar und dienen der Entscheidungsfindung beim schrittweisen Vorgehen. Auch eine auf Papier ausgedruckte Fassung der Notfallvorschriften steht zur Verfügung.

Bei Notfällen wird auch der **Notfallstab** aufgeboten und mit ihm die ganze **Notfallorganisation** (siehe auch 9.1.1.1). Der Notfallstab begleitet die Aktionen der Betriebsabteilung überwachend und kümmert sich um Belange, welche die Kraftwerksanlage als Ganzes in ihrem Umfeld betreffen; er hält auch Kontakt mit der Aufsichtsbehörde. Da die Betriebsabteilung an zahlreichen Stellen der Notfallvorschriften einen Entscheid des Notfallstabs einholen muss, verfügt der Notfallstab über ein spezielles Handbuch, das die jeweils relevanten Gesichtspunkte erläutert. Die **Notfallequipen** setzen sich aus Fachspezialisten der verschiedenen Abteilungen zusammen; unter ihnen ist die Betriebsfeuerwehr.

Bei einer allfälligen weitergehenden Verschlimmerung des Anlagezustandes, d.h. bei sich abzeichnender Überhitzung des Reaktorkerns, übergibt die Betriebsmannschaft die Verantwortung für das weitere Notfallmanagement definitiv dem Notfallstab. Diesem stehen dafür die anlagespezifischen **Unfallbegrenzungs-Richtlinien** (UR-R-..., Severe Accident Management Guidelines [27], siehe 9.1.1.3) zur Verfügung. Diese Richtlinien bezwecken eine strukturierte, integrierte Vorgehensweise zur Umsetzung der Strategien des lindernden Accident-Managements, d.h. der Begrenzung der Folgen des Unfalls.

Eine Gruppe von **Accident-Management-Vorschriften** (AM-R-... [28], siehe 9.1.1.3) ist verfügbar, welche es der Betriebsmannschaft erlauben würde, nötigenfalls zur Vermeidung von Schadenszuständen mobile Einsatzmittel wie zum Beispiel die Betriebsfeuerwehr mit ihren autonomen Mitteln einzusetzen. Die Accident-Management-Vorschriften können sowohl im Rahmen des vorbeugenden Accident-Managements gemäss den Notfallvorschriften wie auch zur Milderung der Folgen eines schweren Unfalls (linderndes Accident Management gemäss Unfallbegrenzungsrichtlinien) eingesetzt werden.

#### 4.1.2.3 Begleiteffekte

*Discussion of the indirect effects of the earthquake that need to be taken into account, including: (1) Failure of SSCs that are not designed to withstand the DBE and that, in losing their integrity could cause a consequential damage of SSCs that need to remain available (e.g. leaks or ruptures of non seismic pipework on the site or in the buildings as sources of flooding and their potential consequences); (2) Loss of external power supply; (3) Situation outside the plant, including preventing or delaying access of personnel and equipment to the site.*

a) Anlageninterne, systemübergreifende Szenarien: Die beiden redundanten Stränge des Notstandsystems sind wegen ihrer Robustheit und ihrer räumlichen Trennung von der Nicht-Notstand-Anlage vom Versagen von dortigen Ausrüstungen nicht betroffen. Die einzige Ausnahme dazu sind die Hauptkommandoräume: Sie müssen unversehrt bleiben, damit die Operateure die Notstand-Gebäude betreten und im Notstand-Leitstand Handlungen zur Aufschaltung des zweiten, manuellen Strangs des Notstandsystems durchführen können.

Szenarien von erdbebeninduzierter interner Überflutung sind in der Erdbeben-PSA der KKB [1], [2] vollumfänglich untersucht worden. Dabei sind vor allem die folgenden Szenarien relevant:

- Die Möglichkeit einer internen Überflutung besteht im Raum (1/2N401) der Pumpen des BE-Becken-Kühlsystems wegen des dort befindlichen KAC-Ausgleichstanks. Allerdings ist der Tank nicht sehr gross und der Ausfall der BE-Becken-Kühlung ist während des hier zu betrachtenden Zeitraums ohnehin tolerierbar (siehe 4.2.1.2).
- Die Möglichkeit einer Überflutung besteht auch bei den KAC-Pumpen im Nebengebäude UN(C) durch den hochragenden, rund 200 $m^3$ fassenden KDW-Tank des primären Zusatzwassers.
- Das Versagen eines Speisewasserbehälters (200 $m^3$ Wasser von 166 °C) führt zu einer internen Überflutung des Maschinenhauses West mit Dampf und Wasser mit dem möglichen Ausfall der primären Nebenkühlwasserpumpen PRW und der sekundären Zwischenkühlwasserpumpen PKZ. Die Auswirkungen eines solchen Versagens beschränkt sich jedoch auf Teile des Maschinenhauses: Jeder Behälter ist durch sehr massiv ausgeführte Rohrleitungen derart gehalten, dass er faktisch vor Ort verbleibt und nur sein Wasserinventar verliert. Weiter gehende Auswirkungen wie zum Beispiel

auf die Hauptkommandoräume, die 6-kV-Schaltanlagen, die Flutdiesel oder auf die Frischdampfisolation können ausgeschlossen werden.

- Letzteres gilt auch beim seismischen Versagen des Ostteils des Maschinenhauses. Der limitierende Versagensmodus ist eine Beschädigung der Stahlstütze L19 zwischen West- und Ostteil des Maschinenhauses. Bei diesem Versagen würde nebst dem Maschinenhaus-Ost auch das Maschinenhaus West beschädigt; dies bliebe aber ohne Folgen auf die östlich gelegenen Nebengebäude UN(D) und UN(E).

b) In den nachfolgenden Analysen wird von der Verfügbarkeit der Fremdanspeisungen aus dem Überlandnetz kein Kredit genommen.

c) Das HKB wird als Teil der KKW-Anlage betrachtet und entsprechend der Erdbebenfestigkeit (Fragility) seiner Ausrüstungen, auch derjenigen für die Stromübertragung ins KKB, als Teil der Abfahrpfade der Nicht-Notstand-Anlage angenommen. Weil deren seismische Robustheit aber geringer als die der Notstandsysteme ist, werden die Abfahrpfade der Nicht-Notstandanlage bei Erdbeben in diesem Bericht nicht berücksichtigt.

d) Es ist zu erwarten, dass ein Erdbeben je nach Schweregrad die Anfahrtswege für Personal, das zu Hause von einem Notfallalarm erreicht wird, mehr oder weniger mit Trümmern blockiert. Dabei kann es sich in Ortsdurchfahrten um Teile von Häusern handeln oder auch auf Überlandstrecken um umgestürzte Leitungsmasten, Bäume und dergleichen.

   Im KKB ist dieser Umstand aber kaum von Bedeutung. Die einzelfehlersicheren Notstand-Systeme verfügen über einen Treibstoffvorrat von 10 Tagen. Dabei ist der erste Strang vollumfänglich automatisiert, und zum Aufschalten des zweiten genügt je ein Operateur in den Notstand-Leitständen beider Blöcke. Daher kann eine Schichtmannschaft auch ohne personelle Verstärkung während sicherlich 24 Stunden die sichere Kernkühlung aufrechterhalten. Zudem ist im Rahmen der Versorgung aus dem externen Lager Reitnau (siehe 9.1.3) auch möglich, personelle Verstärkung aus der Umgebung per Helikopter zur Anlage zu bringen.

   Trotzdem werden nachstehend mögliche Beeinträchtigungen des Eintreffens späterer Schichtgruppen diskutiert. Im Fall des KKB ist die lange, häufig befahrene Zufahrt durch den östlich gelegenen Wald eine neuralgische Stelle: Dort gibt es keine eigentliche Schneise, sondern es stehen zahllose Bäume unmittelbar am Strassenrand. Hingegen wird die dortige Brücke über den Oberwasserkanal als derart robust beurteilt, dass sie ein SSE-Erdbeben (H2) schadlos übersteht. Die westliche Zufahrt über die Wehrbrücke wird am ehesten durch eine allfällige Hangrutschung gleich neben dem Wehr in Frage gestellt, nicht aber durch das Versagen der Wehrbrücke selbst.

e) Weitere Erschwernisse können sich daraus ergeben, dass die öffentlichen Kommunikationsmittel, speziell das für die Notfallalarmierung vorgesehene Telefonnetz, durch Erdbebenschäden lahmgelegt sein können. Das hiesse, dass der vom Kraftwerk kommende Notfallalarm die Werksangehörigen zu Hause nicht erreichen würde. In analoger Weise könnten auch die Gesprächsverbindungen mit der Einsatzzentrale der Aufsichtsbehörde und der Kantonspolizei beeinträchtigt sein. Ebenfalls vom öffentlichen Telefonnetz abhängig ist die Datenübermittlung (ANPA) an die Aufsichtsbehörde.

Alle diese Begleiteffekte stellen aber keine Beeinträchtigung der sicheren Kühlung des Reaktors dar.

### 4.1.3 Einhaltung der Bewilligungsbasis

*Plant compliance with its current licensing basis*

#### 4.1.3.1 Qualitätsmanagement

*Licensee's general process to ensure compliance (e.g. periodic maintenance, inspections, testing);*

Dass die sicherheitsrelevanten Ausrüstungen des KKB und auch die zugehörige Instrumentierung beim Normalbetrieb (Leistungsbetrieb, An- und Abfahren, Brennstoffwechsel) einsatzbereit sind, wird durch die **Technischen Spezifikationen für den Reaktorbetrieb** (Tech-Specs, [3]) gewährleistet. Diese legen fest,

- in welchen Normalbetriebs-Phasen welche Ausrüstungen betriebsbereit sein müssen,
- wie lange bei einem allfälligen Ausfall der Reaktorbetrieb noch weitergeführt werden darf,
- in welchen Intervallen die Funktionsbereitschaft der genannten Ausrüstungen nachzuweisen ist.

Zum Vollzug dieser Anforderungen sind zahlreiche **Betriebsvorschriften** und **Prüfvorschriften** bei der Betriebsabteilung bzw. den anderen Fachabteilungen in Kraft. Funktionstests finden nicht nur bei laufender Anlage zum Beispiel täglich oder monatlich statt, sondern auch bei abgestellter Anlage. Die eigens dafür ausgearbeiteten **Arbeitspläne für einen Revisionsstillstand** bzw. einen Brennstoffwechsel tragen den Anforderungen der Tech-Specs Rechnung.

Darüber hinaus gewährleistet eine sorgfältige **Instandhaltung**, dass die Sicherheitskomponenten mit grosser Zuverlässigkeit zur Verfügung stehen.

Dass die Anlage auf einem hohen Sicherheitsniveau gehalten wird und sich die Sicherheit der Anlage durch die Anlageänderungen und Nachrüstungen erhöht, wird in der **periodischen Sicherheitsüberprüfung** bestätigt, welche alle zehn Jahre durchzuführen ist.

Zum Thema des „Seismic Housekeeping" regelt im KKB die spezielle Weisung AW-M-028, dass mobile Geräte während des Leistungsbetriebs in den sicherheitsrelevanten Teilen der Anlage gegen Erdbeben zu sichern sind.

Überdies hat das KKB seit Jahren ein etabliertes **Integriertes Managementsystem** im Sinn der Norm ISO 9001:2000. Zu diesem gehören verschiedene Prozesse, welche gewährleisten, dass Anlagenkonfiguration und -zustand dem entsprechen, was durch Sicherheitsanalysen als zulässig ausgewiesen ist und daher die Bewilligungsbasis darstellt:

- 2-P112-1, Instandhaltungsplanung
- 2-P113-1, Wartung, Inspektion, Prüfung
- 2-P114-1, Instandsetzung
- 2-P2XX-1, Änderungswesen (für zwei verschiedene Änderungstypen je sechs Prozesse von der Initialisierung über die Ausführungsplanung bis zur Ausführung und Inbetriebnahme mitsamt Enddokumentation und Abschluss)
- 2-P332-1, Externe Notstromversorgung
- 2-P311-1, Alterungsüberwachung
- 2-P317-1, Betriebsfeuerwehr (soweit darin, gestützt auf die Vorschriften des Aargauischen Versicherungsamts, die Instandhaltung von Feuerwehrmaterial behandelt wird)
- 5-P851-1, Technische Anlagendokumentation
- 5-P921-1, Audits

Soweit es sich bei den obigen Prozessen um solche der Instandhaltung handelt, bietet das Dokument LD-3026 (‚Grundlagen der Instandhaltung') dem Prozess-Eigner weitere Wegleitung.

#### 4.1.3.2 Überwachung anlagenexterner Mittel

*Licensee' process to ensure that off-site mobile equipment/supplies considered in emergency procedures are available and remain fit for duty;*

Soweit das KKB auf den Einsatz auswärtiger (Stützpunkt-)Feuerwehren zählt, kann sich das KKB darauf verlassen, dass diese ihr Material nach den Vorschriften des Aargauischen Versicherungsamts warten, das von Gesetzes wegen für Brandschutzfragen im Kanton Aargau zuständig ist.

Wartungspläne für Material im externen Lager in Reitnau sind in Entwicklung (siehe 9.1.3).

#### 4.1.3.3 Sicherheitsrelevante Abweichungen

*Any known deviation, and consequences of these deviations in terms of safety; planning of remediation actions;*

Nach dem Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung sieht das Integrierte Managementsystem vor, dass seine Teilprozesse in regelmässigen Abständen, d.h. in der Regel jährlich, vom zuständigen Prozess-Eigner in Zusammenarbeit mit den am Prozess Beteiligten auf Tauglichkeit und Zweckmässigkeit überprüft und wo immer möglich verbessert werden. Dazu ist der Prozess 5-P427-1 ('Prozess neu- und weiterentwickeln') etabliert. Eine ausführlichere Anleitung bietet der Beschrieb LD-3025, Grundlagen des Prozessmanagements.

#### 4.1.3.4 Kontrollen nach dem Fukushima-Unfall

*Specific compliance check already initiated by the licensee following Fukushima NPP accident.*

Zur Erledigung eines Auftrags der weltweit tätigen Betreiber-Organisation WANO erfolgten kurz nach dem Unfall in Fukushima durch eine speziell gebildete Task Force Anlagenweite Abklärungen, mit denen nicht nur die Betriebsbereitschaft der Ausrüstungen zur Milderung der Folgen Auslegungs-überschreitender Unfälle überprüft wurde, sondern auch die Vorbereitungen im Hinblick auf einen allfälligen Station Blackout. Daraus entstand eine Liste pendenter Aktionen, die zur Jahresmitte grossenteils erledigt waren.

Ein Aufruf unter der Belegschaft, Ideen zur Verbesserung der Erdbeben- und Flutfestigkeit der Anlage einzureichen, brachte ein grosses Echo. Über hundert Vorschläge trafen ein, wurden gruppiert und verschiedenen Gremien und Fachstellen im KKB zur Stellungnahme und gegebenenfalls weiteren Bearbeitung übergeben.

Darüber hinaus führten die verschiedenen, in Verfügungen formulierten Forderungen der schweizerischen Aufsichtsbehörde ENSI einerseits zum Erstellen zusätzlicher Sicherheitsnachweise und andererseits zu konkreten Nachrüstungen, zum Beispiel zum Projekt der Erstellung eines zusätzlichen, erdbebenfesten Kühlsystems des BE-Lagerbeckens (siehe 4.2.1.2).

### 4.2 Bewertung der Sicherheitsmarge

*Evaluation of the margins. H2 unless otherwise indicated*

In den Tabellen 6 und 7 sind ausgewählte seismische Grenztragfestigkeiten (Fragilities) von Gebäuden, Systemen und Komponenten des KKB aufgezeichnet. Alle Werte stammen aus [1] und [20]. Dabei sind alle diejenigen Fragilities aufgeführt, welche für die Funktion der Notstandsysteme, für die Integrität der BE-Lagerbecken sowie für das Containment relevant sind.

### 4.2.1 Brennstoffschaden nach Erdbeben

*Range of earthquake severity above which loss of fundamental safety functions or severe damage to the fuel (core or fuel storage) becomes unavoidable*

#### 4.2.1.1 Reaktor

*Reactor. Based on available information (which could include seismic PSA, seismic margin assessment or other seismic engineering studies to support engineering judgement). - Indicate which are the weak points and specify any cliff edge effects according to earthquake severity. - Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions ... ).*

Aus der Menge der in der Tabelle 1 aufgezählten Abfahrpfade für die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor nach Leistungsbetrieb werden gemäss Kapitel 4.1.2.1 für diesen Nachweis die vier in Tabelle 8 detailliert aufgeführten ausgewählt.

Diese vier Abfahrpfade werden im Folgenden erläutert und hinsichtlich Erdbebenfestigkeit analysiert. Dafür sind nicht nur die erforderlichen Fluid-Systeme massgebend, sondern auch die Wechselstromversorgung, die Gleichstromversorgung für die Leittechnik und die Einsatzbereitschaft von Operateuren für gewisse Betriebsweisen. Stets sind auch die Bauteile zu berücksichtigen, in oder auf denen die betreffenden Ausrüstungen aufgestellt bzw. die Operateure tätig sind.

Ziel ist es nachzuweisen, dass ein bestimmter Abfahrpfad während der ersten 72 Stunden nach Eintritt eines Erdbebens, das stärker ist als das Auslegungserdbeben (H2), seine Funktion erfüllen kann (siehe 2.1).

**Der Abfahrpfad #4, Erster, automatischer Notstand-Strang:**

Die Bespeisung der Dampferzeuger wird vom Notstandschutzsystem ausgelöst und mit Notstand-Ausrüstungen automatisch erfüllt. Die beteiligten Systeme arbeiten auslegungsgemäss autark; Operateure haben höchstens eine überwachende Funktion. Ein allererster Wasservorrat steht im Notstand-Speisewassertank im Notstandgebäude zur Verfügung; nach seiner Erschöpfung speist das Notstand-Brunnenwassersystem automatisch nach. Dank dem grossen Treibstoff-Vorrat im Notstandgebäude ergibt sich keine zeitliche Limitierung dieses Abfahrpfads innert der in diesem Bericht gesetzten Frist.

Die Integrität der temperaturempfindlichen Reaktorhauptpumpen-Dichtungen wird durch Bespeisung mit Hilfe der Notstand-Sperrwasserpumpe gewährleistet. Diese gewährleistet mit der Einspeisung von Borwasser auch die langfristige Unterkritikalität.

Die Integrität der Frischdampfleitungen ausserhalb des Sicherheitsgebäudes, d.h. auf dem Nebengebäude UN(D), wurde im Rahmen der Auslegung für das H2-Erdbeben nachgewiesen. Sie ist aber für diesen Abfahrpfad kein zwingend notwendiges Kriterium. Störfallanalysen haben gezeigt, dass sich auch bei Lecks in beiden Leitungen ein stabiler Reaktorzustand einstellen würde, bei dem das nachgespeiste Notstand-Speisewasser laufend verdampft wird und schliesslich die Unterkritikalität durch die Einspeisung von Borwasser durch das Notstand-Sperrwassersystem gewährleistet wird.

**Der Abfahrpfad #5, Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems:**

Dieser Abfahrpfad kommt primär beim Ausfall der Notstand-Speisewasserpumpe zum Einsatz und setzt den Einsatz von Operateuren voraus; es wird also die Unversehrtheit des Hauptkommandoraums im Nebengebäude UN(E) verlangt. Die Bleed-und-Feed-Fahrweise ist in der Notfallvorschrift NV-B-FR-H.1 vorgegeben; dabei wird mit einer Sicherheitseinspeisepumpe (hier: derjenigen im Notstandgebäude) Wasser ins Reaktorkühlsystem eingespeist, während gleichzeitig ein Wasser/Dampf-Gemisch aus einem vom Operateur gesteuerten Druckhalter-Abblaseventil in den Rezirkulationssumpf im Containment-Boden abgeblasen wird. Wasser aus dem Rezirkulationssumpf wird vom Notstand-Rezirkulationssystem weggepumpt; es wird gekühlt und teils zur Inganghaltung der Rezir-

kulation eingesetzt, teils wieder ins Reaktorkühlsystem gepumpt. Dadurch werden Druck und Temperatur im Containment in akzeptablen Grenzen gehalten. Eine Randbedingung für den Erfolg des Bleed-und-Feed-Verfahrens ist die Unversehrtheit der Dampfleitungen ausserhalb des Sicherheitsgebäudes bis zu den Frischdampf-Schnellschlussventilen; Voraussetzung dafür ist die Stabilität des Nebengebäudes UN(D).

Beim Ausfall der Notstand-Sperrwasserpumpe würde sich ein Reaktorhauptpumpen-Dichtungs-LOCA einstellen, welcher ebenfalls von den Systemen des Notstand-Sicherheitseinspeisesystems beherrscht wird.

Bei dieser Betriebsart kann nötigenfalls von Querverbindungen zwischen den beiden Notstandgebäuden Gebrauch gemacht werden. Eine 6-kV-Querverbindung erlaubt es, die Leistung einer einzelnen Notstand-Notstromgruppe zum Betrieb von Motoren in beiden Gebäuden einzusetzen. Eine Querverbindung zwischen den Notstand-Brunnenwassersystemen beider Blöcke erlaubt die Nutzung der Fördermenge einer einzelnen NS-Brunnenwasserpumpe zur Kühlung der Notstandsysteme in beiden Blöcken.

**Die Abfahrpfade #1/#2/#3 der Nicht-Notstand-Anlage:**

Diese Abfahrpfade sind die klassischen bei einer Anlage ohne Notstandsystem. Die Bespeisung der Dampferzeuger wird vom Reaktorschutzsystem automatisch ausgelöst, wobei die Hilfsspeisepumpen LSN oder die Notspeisewasserpumpen LSE vorerst Wasser aus den zugehörigen Tanks beziehen. Der Operateur leitet noch vor Erschöpfung der Wasservorräte in den Tanks die Umschaltung auf eine Ersatz-Bespeisung ein.

Die Integrität der Reaktorhauptpumpen-Dichtungen und die langfristige Unterkritikalität werden durch Einspeisen von Sperrwasser mit Hilfe einer Ladepumpe gewährleistet. Voraussetzungen dafür sind die Funktionsbereitschaft des Steuerluftsystems (QIA) und die Unversehrtheit des Borwasservorratstanks (BOTA) als Sperrwasser-Quelle.

**Der Abfahrpfad #8, Accident-Management-Versorgung mittels mobilem Notstromaggregat:**

Dieser Abfahrpfad kommt zur Anwendung, wenn keine einzige auslegungsgemässe Pumpe mehr mit Strom versorgt werden kann. Es stehen am Standort Beznau ab Herbst 2011 zwei mobile Notstrom-Aggregate mit einer Leistung von je 890 kW zur Verfügung. Damit können Teile des Notstandsystems versorgt werden, nämlich:

a) Eine Notstand-Speisewasserpumpe, eine Notstand-Sperrwasserpumpe und eine Notstand-Brunnenwasserpumpe zur Erfüllung der Sicherheitsfunktionen gemäss Abfahrpfad #4, „Erster, automatischer Notstand-Strang“

b) Eine Notstand-Brunnenwasserpumpe zur Niederdruckbespeisung eines Dampferzeugers sowie eine Notstand-Sperrwasserpumpe zur mittel- und langfristigen Leckageergänzung und Boreinspeisung in den Primärkreislauf. Bei diesem Kühlmodus reicht die Kapazität der Notstand-Brunnenwasserpumpe, um gleichzeitig einen Dampferzeuger des andern Blocks zu versorgen. Dafür muss ein DE-Abblaseventil mittels Handkurbel geöffnet werden.

In beiden Fällen werden Batterie-Ladegeräte und Batterieraumentlüftung im Notstandgebäude bespeist, damit die Instrumentierung und Steuerung funktionsbereit bleibt. Auch wird die Notbeleuchtung aufrechterhalten.

Die Aufschaltung eines mobilen Aggregats auf die Notstand-Schiene BVA ist geregelt in der AM-R-BVA-1. Die weiteren Handlungen des Schichtpersonals erfolgen gemäss den Notfallvorschriften im Notstand-Leitstand zur Bedienung der Notstand-Systeme

Dieser Abfahrpfad setzt die Integrität der Hauptkommandoräume im Nebengebäude UN(E) voraus. Die seismische Kapazität der momentan auf Terrainkote in Containern gelagerten Notstromdieselaggregate wird dabei als nicht limitierend betrachtet, weil die Ag-

gregate erst nach dem Erdbeben zum Einsatz kommen und weil die Beschleunigungen auf der Kote 0,0 m moderat sind.

**Der Abfahrpfad #9, Accident-Management-Bespeisung der DE mittels Feuerwehrpumpe:**

Dieser Abfahrpfad kommt zur Anwendung, wenn keine einzige auslegungsgemässe Pumpe mehr mit Strom versorgt werden kann. Die Dampferzeuger-Bespeisung mit Accident-Management-Massnahmen mittels Feuerwehrpumpen (gemäss AM-R-LSE-2 oder AM-R-LSN-1) kommt dann im Zusammenwirken von Operateuren und Feuerwehr wie folgt zustande: Die Nachwärme wird anfänglich durch Ausdampfen der Dampferzeuger abgeführt; die Operateure können den Vorgang beschleunigen, indem sie mit einer vor Ort gelagerten Spezialvorrichtung eines oder mehrere Frischdampf-Abblaseventile anheben.

Damit sinkt der Druck in mindestens einem Dampferzeuger so weit, dass mit einer Feuerwehrpumpe Feuerlösch- oder Flusswasser eingespeist werden kann, sodass die Wärmeabfuhr an die Atmosphäre wieder in Gang kommt. Das Primärsystem kühlt sich ab und die Druckspeicher beginnen einzuspeisen. Sie ergänzen dabei die mögliche kleine Leckage durch einen möglichen Reaktorhauptpumpendichtungs-LOCA und speisen gleichzeitig Borwasser ein, um die Unterkritikalität des Reaktors zu gewährleisten. Gemäss den Analysen von Kapitel 4.5 von [1] reicht dabei die Einspeisung der Druckspeicher, um selbst beim grössten möglichen Dichtungs-LOCA an beiden Reaktorhauptpumpen eine Kernabdeckung innert ca. 48 Stunden zu verhindern.

Um die Kühlung im verlangten Zeitfenster von 72 Stunden sicherzustellen, muss dieser Kühlmodus je nach Grösse des auftretenden RHP-Dichtungs-LOCAs unter Umständen ergänzt werden durch eine Einspeisung von Borwasser (primär aus dem BE-Lagerbecken) in den Reaktor mittels des Universallöschfahrzeugs der Feuerwehr gemäss AM-R-JRC-1. Diese Einspeisung erfolgt im Nebengebäude UN(A).

Dieser Abfahrpfad setzt voraus, dass die Feuerwehr mit Pumpen und Schläuchen sowie der Operateur im Hauptkommandoraum und im Bereich der Frischdampfstation auf dem Gebäude UN(D) einsatzbereit bleiben. Auch muss das Nebengebäude UN(A) für die langfristige Einspeisung in den Reaktor intakt bleiben. Das Material der Feuerwehr wird seit dem Sommer 2011 erdbebensicher gelagert.

**Bewertung der Sicherheitsmargen**

Die Ergebnisse der Fragility-Analysen, die für die Zwecke der Erdbeben-PSA erstellt worden sind ([1] und [20]), sind dargestellt in den Tabellen 6 und 7. Das Minimum der Kapazitäten aller Ausrüstungen eines Abfahrpfads definiert dessen Grenztragfestigkeit. Die Tabelle 8 zeigt die seismischen Kapazitäten und Sicherheitsfaktoren gegenüber dem SSE (Gefährdungsstufe H2) der oben genannten Abfahrpfade.

Die seismische Grenztragfestigkeit des stärksten Strangs definiert die Anlagen-Kapazität:

| Seismische Anlagen-Kapazität des Reaktors nach Leistungsbetrieb | | | |
|---|---|---|---|
| HCLPF-Wert | | Median-Kapazität | |
| HCLPF bezüglich PGA [g] | Sicherheitsfaktor = HCLPF/SSE | Median bezüglich PGA [g] | Sicherheitsfaktor = Median/SSE |
| 0.46 | 2.2 | 1.51 | 7.2 |

Der limitierende Zahlenwert leitet sich dabei von der Kapazität der Notstand-Wechselstromausrüstungen her.

Der Sicherheitsfaktor für die Median-Kapazitäten deutet darauf hin, dass vom realen Verhalten weitere Reserven erwartet werden können.

Die Kapazitäten der Systeme der Originalauslegung (#1/#2/#3) sind in den Tabellen 6, 7 und 8 nicht explizit aufgeführt: Da die Systeme der Originalauslegung auf die Stromversorgung aus dem Hydrowerk oder von den Flutdieseln angewiesen sind, ist die seismische Robustheit dieser Abfahrpfade entsprechend geringer. Massnahmen zur Erhöhung der Ausfallsicherheit des Hydrowerks sind bereits beschlossen: In den nächsten Jahren soll das Projekt AUTANOVE abgeschlossen werden. Sein Kernstück sind Diesel-Generatorgruppen in erdbeben- und flutsicheren Gebäuden, welche die Anspeisung durch das Hydrowerk vollständig ersetzen. Zum Projekt gehört auch der Einbau einer weiteren Not-Sperrwasserpumpe und einer zusätzlichen Brunnenwasserpumpe zur Nachspeisung in das LSE-System.

Die Tabelle 8 zeigt darüber hinaus, dass zwei Abfahrpfade des Accident-Managements ebenfalls eine beträchtliche seismische Robustheit aufweisen.

Ferner besteht im externen Lager in Reitnau (siehe 9.1.3) zusätzliches Notallmaterial, um diese beiden Abfahrpfade des Accident-Managements durch zusätzliche Einrichtungen des externen Lagers zu verstärken. Damit wird eine zusätzliche Möglichkeit geschaffen, um trotz einem allfälligen völligen Verlust der Notstand-Notstromgruppen sowie auch bei Nichtverfügbarkeit der am Standort Beznau vorhanden Notfalleinrichtungen mit eingeflogenen Stromquellen und/oder Feuerwehrpumpen eine funktionstüchtige Bespeisung der Dampferzeuger beider Blöcke einzurichten.

Bei den obigen Betrachtungen wird vom Leistungsbetrieb des Reaktors ausgegangen. Die Tabelle 9 enthält analog die Sicherheitsfaktoren der Abfahrpfade für den Reaktor im Stillstand.

Die Schlussfolgerungen sind im Stillstand die gleichen wie im Leistungsbetrieb. In beiden Fällen sind Notstand-Ausrüstungen das Standbein der erdbebenfesten KKB-Anlage, und die Sicherheitsfaktoren sind im Stillstand dieselben wie im Leistungsbetrieb.

#### 4.2.1.2 BE-Lagerbecken

*Spent fuel pool. The methodology to evaluate the seismic margins is performed analog to chapter 4.2.1.1.*

Kriterium bei diesem Nachweis ist es, dass die Oberkante des bestrahlten Brennstoffs der eingelagerten Brennelemente nach 72 h nicht mehr von Wasser bedeckt ist.

Die Tabelle 1 nennt die folgenden Abfahrpfade für die Nachwärmeabfuhr aus den BE-Lagerbecken:

- #21: Kühlung der BE-Lagerbecken ab Notstromstrang BEK über die Kühlkette FAC/KAC/PRW
- #22: Kühlung der BE-Lagerbecken ab Notstromstrang BFL über die Kühlkette FAC/KAC/PRW
- #23: Kühlung der BE-Lagerbecken mit FEC-System
- #24: Accident-Management-Bespeisung der BE-Lagerbecken.

Die Abfahrpfade #21 und #22 sind die beiden auslegungsgemässen Stränge zur Kühlung der Becken. Beim Abfahrpfad #23 wird gemäss AM-Vorschrift AM-R-FEC-1 das alternative Kühlsystem FEC in Betrieb genommen. Dieses System wurde ums Jahr 2000 nachgerüstet. Es besteht aus einer Umwälzpumpe, welche wahlweise vom Notstromstrang BEK und vom Notstromstrang BFL versorgt werden kann, und einem fest installierten Wärmetauscher. Es kann durch das Trink- und Löschwassersystem GTW oder mittels mobiler Pumpen mit Wasser versorgt werden.

Beim Abfahrpfad #24 wird eine minimal notwendige Wassermenge von mindestens 2 l/s in das Brennelementlagerbecken nachgespeist und verdampft. Damit kann die langfristige Kühlung der Brennelemente sichergestellt werden.

Dieser Kühlmodus kann mit grossen Erfolgschancen durchgeführt werden: Nicht nur sind die BE-Lagerbecken ausserhalb des Containments platziert, sondern es stehen auch mit der Errichtung des internen, erdbebenfesten Lagers auf der Beznau-Insel wie des externen Lagers in Reitnau (siehe 9.1.2 bzw. 9.1.3) mehrere Feuerwehrpumpen zur Verfügung.

Zum Erstellen einer alternativen BE-Lagerbecken-Kühlung steht dabei ein langes Zeitfenster zur Verfügung. Dabei wird von den folgenden Ausgangsbedingungen ausgegangen:

- im Normalbetrieb 1000 t Wasser in den Becken von maximal 50 °C,
- zulässiger Wasserverlust von rund 600 t bis zur Abdeckung der Brennstoff-Oberkante,
- maximale Nachzerfallsleistung eines frisch ausgeladenen Reaktorkerns von 4400 kW,
- keine oder sehr niedrige, nachspeisbare Leckage nach Erdbebeneinwirkung dank grosser Wandstärke (1.8 m) der Lagerbecken

  Damit ergeben sich die folgenden Zeitfenster:

| **Zeitfenster** | **bis zum Sieden [h]** | **bis Brennstoffabdeckung [h]** |
|---|---|---|
| mit soeben ausgeladenem Kern | 13 | 98 |
| unmittelbar nach einem Brennstoffwechsel | 39 | 290 |

Das bedeutet, dass bis zum Ende des in diesem Bericht zu betrachtenden Zeitintervalls von 72 h zwar damit zu rechnen ist, dass das Wasser in den BE-Becken zu sieden beginnt. Hingegen wird nicht so viel Wasser ausgedampft sein, dass die Brennstoffoberkante abgedeckt ist.

Die **seismische Sicherheitsmarge des eigentlichen Beckens** mit einer Wandstärke von 1,8 m ist in [1] wie folgt ermittelt worden und ist gemäss Tabelle 6 sehr gross:

| **Seismische Kapazität der Umhüllung des BE-Lagerbeckens** | | | |
|---|---|---|---|
| **HCLPF-Wert** | | **Median-Kapazität** | |
| **HCLPF bezüglich PGA [g]** | **Sicherheitsfaktor = HCLPF/SSE** | **Median bezüglich PGA [g]** | **Sicherheitsfaktor = Median/SSE** |
| **2.0** | **9.6** | **3.7** | **17.7** |

Damit kann faktisch eine Abdeckung der Brennelemente im Lagerbecken ausgeschlossen werden, denn:

- eine seismische Beschädigung der Umrandung der Becken ist nicht möglich
- für das Erstellen einer Nachspeisung steht ein sehr langes Zeitfenster zur Verfügung.

Aus diesem Grund beurteilt auch die PSA-Studie für Stillstand des KKB [2] die Häufigkeit einer schwerwiegenden Abdeckung der Brennelemente nach dem Ausfall der Nachwärmeabfuhr mit nachfolgender Freisetzung grosser Mengen radioaktiver Stoffe als Null.

Eine lokale Beschädigung der Brennelementlagergestelle und damit der gelagerten Brennelemente durch ein auslegungsüberschreitendes Erdbeben würde primär zu einer geringen Freisetzung radioaktiver Stoffe führen und ist daher nicht relevant. Die Brennelemente bleiben bei diesem Szenario mit Wasser bedeckt, und die primäre Freisetzung radioaktiver Stoffe erfolgt in der Form von Edelgasen. Demgegenüber werden die für die

Bevölkerung wesentlichen Radionuklide Iod und Cäsium durch die Auswaschung in der Wasservorlage von mehreren Metern (Pool-Scrubbing) weit gehend zurückgehalten.

Sollte die Umhüllung des BE-Lagerbeckens trotz der oben genannten sehr hohen seismischen Kapazität und trotz der Auskleidung mit einem Metall-Liner durch das Erdbeben leck werden, so wäre dies durch den Abfahrpfad #24, Accident-Management-Bespeisung der BE-Lagerbecken beherrschbar.

Auch kann die Gefahr einer Wasserstoffdeflagration im BE-Becken-Gebäude ausgeschlossen werden, solange diejenigen Bereiche der Brennelemente, welche bestrahlten Brennstoff enthalten, von Wasser überdeckt sind. Die chemische Reaktion des Hüllrohrmaterials mit Wasser oder Wasserdampf setzt erst bei Temperaturen weit über 600 °C ein.

Zur Erfüllung einer Forderung aus der Verfügung des ENSI vom 5. Mai 2011 hat das KKB Ende August 2011 ein Konzept für Nachrüstmassnahmen im Zusammenhang mit der Lagerung und Kühlung bestrahlter Brennelemente im folgenden Umfang vorgeschlagen:

- Einbau eines weiteren redundanten BE-Becken-Kühlsystems unter Verwendung von Wasser aus dem Notstandbrunnen als einer unabhängigen Wasserquelle, womit zusätzlich eine Einspeisung mit Mitteln der Feuerwehr ermöglicht wird,
- Einbau einer Temperaturmessung in die BE-Lagerbecken mit Anzeigen im Notstandleitstand, im Hauptkommandoraum und im Anlageninformationssystem,
- Einbau einer robusten (pneumatischen) Füllstand-Messeinrichtung mit Anzeigen,
- Einbau einer absperrbaren Einrichtung zum Abführen von Dampf, der aus Lagerbecken mit siedendem Wasser aufsteigt,
- Ersatz einer Backsteinwand entlang der Nordwestwand des BE-Lagergebäudes durch eine Wand aus armiertem Beton, um das Herunterfallen von Trümmern in Lagerbecken bei einem starken Erdbeben zu verhindern.

### 4.2.2 Verlust der Containment-Integrität

*Range of earthquake severity the plant can withstand without losing confinement integrity. Based on available information (which could include seismic PSA, seismic margin assessment or other seismic engineering studies to support engineering judgement)*

#### 4.2.2.1 Auslegungsgemässe Sicherheitsfaktoren

*Description of the safety factors considered for the design of safety-relevant components and structures*

a) Sicherheitsgebäudehülle (Aussenwand, Sekundärcontainment):

Die bei der Erstauslegung der Gebäude angewandte Berechnungsmethode basierte auf dem in der Mitte der Sechzigerjahre üblichen Stand der Technik sowie auf den damals gültigen Vorschriften und Regeln, speziell der damals gültigen Fassung der SIA-Norm 160. Als Bemessungsgrundlage wurden maximale Beschleunigungen von 0,12 g und 0,08 g in horizontaler bzw. vertikaler Richtung angenommen. Als Modell für die Spektralverteilung der Anregung wurde das El-Centro-Erdbeben verwendet, d.h. ein damals gut bekanntes Starkbeben. Die Lasten aus dem Auslegungserdbeben wurden als Hauptlasten kategorisiert.

Bei der in den Jahren 2000 bis 2003 vorgenommenen seismischen Requalifikation wurde das Gebäude als dreidimensionales linear-elastisches Strukturmodell mit ca. 61 000 Freiheitsgraden nachgebildet. Die Modellierung erstreckte sich auf die Fundation, die Betonhülle, die Stahldruckschale (das Primärcontainment), den Splitterschutz (Innenauskleidung der Stahldruckschale und zugleich Kranbahnfundament) und die inneren Betontragstrukturen. Der Einfluss des Bodens wurde als Feder-Dämpfer-Element mit 6 Freiheitsgraden modelliert.

b) Stahldruckschale (Primärcontainment):

Die Stahldruckschale wurde als metallische, druckführende Ausrüstung nach der Grundausgabe des ASME-Codes von 1965 berechnet. Für diese Ausrüstung ist in erster Linie die Beanspruchung durch Innendruck bei einem Kühlmittelverlustunfall massgebend. Hingegen spielen die seismischen Lasten eine geringere Rolle, nicht zuletzt auch, weil die Stahldruckschale bis weit hinauf vom Splitterschutz (siehe oben) gestützt wird.

c) Weitere Bestandteile des Containment-Konzepts zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe sind:
   - die Durchführungen durch die Stahldruckschale mit ihren Absperrarmaturen,
   - die Haupt- und Notschleuse des Containments,
   - die in den Jahren 1992/93 nachgerüstete gefilterte Sicherheitsgebäude-Druckentlastung (Abfahrpfad #38 in Tabelle 1, siehe auch 9.1.5 und 9.3.1), deren Ausrüstungen in jedem Block in einer besonderen Aufbaute des Notstandgebäudes untergebracht sind,
   - die Containment-Kühlung, welche teils durch das Containment-Sprühsystem, teils durch die Containment-Umluftkühler erfolgt und die überdies im Rahmen von Accident-Management-Massnahmen mit einer Versorgung durch eine Feuerwehrpumpe entweder mit einer Notversorgung der Umluftkühler (Abfahrpfad #36 gemäss Tabelle 1) oder einer Notsprühung (Abfahrpfad #37) erfolgen könnte.

#### 4.2.2.2 Deterministische Abschätzung

*Evaluation of the range of earthquake severity (in terms of peak ground acceleration, PGA) that the safety relevant components and structures can withstand, according to deterministic approaches*

Die Erdbebenanregung entsprach bei der seismischen Requalifikation gemäss dem damals letztbekannten Stand, d.h. der H2-Gefährdung im Sinn dieses Berichts. Dieser Nachweis erfasste, wie erwähnt, nicht nur Betonstrukturen, sondern auch die Stahldruckschale.

Als Erdbebenanregung bei der Auslegung der Gebäudeaufbauten für die gefilterte Sicherheitsgebäude-Druckentlastung wurde das damals bekannte Sicherheitserdbeben (H2 im Sinne dieses Berichts) angenommen.

#### 4.2.2.3 Abschätzung anhand von Fragility-Analysen

*Evaluation of the range of earthquake severity (in terms of peak ground acceleration, PGA) that the safety-relevant components and structures can withstand, according to the fragility analysis*

Die Ergebnisse der Fragility-Analysen, die für die Zwecke der Erdbeben-PSA [1] und [20] erstellt worden sind, sind in den Tabellen 6 und 7 dargestellt. Für das Containment sind verschiedene Bereiche wesentlich:
- Globales Versagen
- Örtliches Versagen der Aussenhülle am Übergang vom Fundament zum zylindrischen Teil
- Splitterschutz
- Diverse Ausrüstungen der Containment-Isolation: Absperrarmaturen, Rohrleitungen, übrige Ausrüstungen (limitierend sind die Wärmetauscher KHV 1-4 und ein Tank des Steuerluftsystems)

Versagensmechanismen wie das Gleiten der Stahldruckschale auf dem Betonfundament und das Anprallen der Sicherheitsgebäudehülle auf Nachbargebäude wurden als von untergeordneter Bedeutung beurteilt. Dabei wurden vor allem Reibungseffekte und Schubsicherungen bzw. die vorhandenen Spaltweiten betrachtet.

Bei den Absperrarmaturen baut man in erster Linie auf das Funktionieren der inneren Armatur; zu betrachten sind dabei lediglich Leitungen, deren Einsatz zur Beherrschung von

Störfallfolgen nicht nötig ist, also beispielsweise keine Leitungen der Sicherheitseinspeisung. Darüber hinaus gibt es gewisse Fluid-Systeme wie das primäre Nebenkühlwassersystem PRW, das primäre Zwischenkühlsystem KAC und das Steuerluftsystem QIA, deren Rohrleitungen das Containment durchdringen und deren Isolationsarmaturen im Störfall nicht automatisch geschlossen werden. Deshalb könnte das Versagen des zugehörigen Rohrleitungssystems innerhalb des Containments zu einer Beeinträchtigung der Containment-Isolation führen.

Im Block 2 wurde im Jahre 2011 und im Block 1 wird im Frühjahr 2012 an zwei Durchdringungen in das Nebengebäude UN(A) eine der beiden Isolationsarmaturen in das Containment versetzt. Damit wird sichergestellt, dass das Containment auch beim seismischen Versagen des Nebengebäudes UN(A) isoliert werden kann.

Für die passiven, autokatalytischen Wasserstoff-Rekombinatoren ist eine konservative Abschätzung (HCLPF-Wert 0,51 g und Median-Kapazität 1,27 g) gemacht worden. Die Funktion dieser Rekombinatoren ist aber unter den Bedingungen eines schweren Unfalls nicht zwingend erforderlich, sofern eine Kernschmelze im Sumpfbereich des Containments kühlbar ist, was in Beznau mit dem grossen Containment-Boden zu erwarten ist. Siehe dazu auch Kapitel 9.3.1.

Für das Versagen der Aufbauten für die gefilterte Sicherheitsgebäude-Druckentlastung sind dieselben Werte ermittelt worden, wie für das sich darunter befindliche Notstand-Gebäude: HCLPF-Wert 5,62, Median-Kapazität 13,03. Sie sind also unkritisch.

Zum Gewährleisten der Dichtheit der Containment-Schleusen ist an den mit Druckluft angepressten Dichtungen im Normalfall Steuerluft (QIA) nötig. Wenn das Steuerluft-Netz ausgefallen ist, kann mit einer vor Ort aufgestellten Batterie von Druckluftflaschen der notwendige Druck aufrechterhalten werden. Zudem besitzen die Schleusen eigene, kleine Druckluftbehälter, und beim Ausfall der Druckluftversorgung ihrer Dichtungen steht eine zweite, die so genannte Blockdichtung zur Verfügung. Alle Durchdringungen des Containments besitzen zudem mindestens eine pneumatische Armatur mit „fail-closed"-Verhalten. Aus all diesen Gründen wird die Druckluftversorgung für das Containment als nicht relevant beurteilt.

Als Ergebnis der oben stehenden Ausführungen und gemäss den Tabellen 6 und Tabelle 7 ist das Versagen gewisser Ausrüstungen der Containment-Isolation limitierend für die seismische Kapazität des Containments, die sich damit wie folgt ergibt:

| **Seismische Kapazität des Containments** | | | |
|---|---|---|---|
| **HCLPF-Wert** | | **Median-Kapazität** | |
| **HCLPF bezüglich PGA [g]** | **Sicherheitsfaktor = HCLPF/SSE** | **Median bezüglich PGA [g]** | **Sicherheitsfaktor = Median/SSE** |
| **0.51** | **2.4** | **1.27** | **6.0** |

In den nächsten werden Jahren zwei Anlageänderungen zur seismischen Ertüchtigung des QIA-Systems und der KHV 1–4 implementiert. Nach Realisierung dieser Ertüchtigungen erhöht sich die oben genannte Kapazität des Containments geringfügig auf HCLPF = 0,54 g und Median-Kapazität = 1,38 g.

### 4.2.3 Starkbeben mit anschliessender Überflutung

*Earthquake exceeding DBE and consequent flooding exceeding DBF*

#### 4.2.3.1 Das Vorkommnis an sich

*Indicate whether, taking into account plant location and plant design, such situation can be physically possible. To this aim, identify in particular if severe damages to structures that are outside or inside the plant (such as dams, dikes, plant buildings and structures) could have an impact on plant safety.*

Das Flutphänomen (Hochwasser) ist umfassender im nächsten Kapitel behandelt.

Die Lage des KKB an der Aare unterhalb des sogenannten Wasserschlosses bei Lauffohr bedingt, dass bei der vorliegenden Fragestellung Stauanlagen an drei Flüssen zu betrachten sind:

- an der Limmat die Anlage Wettingen,
- an der Reuss die Anlage Bremgarten-Zufikon und
- an der Aare die Stauanlagen von Rupperswil und (weiter talwärts) Wildegg-Brugg.

Sie alle enthalten Wasservolumen zwischen 1 und 6 Mio $m^3$. Eine konservative Studie des Bundesamts für Wasserwirtschaft in den Sechzigerjahren ergab, dass das katastrophale Versagen jeder dieser Stauanlagen zur Überflutung des KKB-Areals führen könnte. Zwar gibt es an Aare und Limmat noch weitere Stauanlagen (beispielsweise Hongrin, Schiffenen, Wohlensee und Sihlsee). Aber die erwähnte Studie zeigte, dass Flutwellen, die sich aus dem Versagen dieser Stauanlagen ergäben, am Standort Beznau nur in sehr geringem Ausmass spürbar würden; diese werden daher hier nicht betrachtet.

Eine neuere Studie [9] hat ergeben, dass auch der gleichzeitige Bruch aller Wehre im Einzugsbereich des KKB sowie extrem unwahrscheinliche Auslegungs-überschreitende Szenarien wie sequenzielle Wehrbrüche (entlang der Aare) zu weitgehend gleichen Überflutungshöhen im KKB-Areal führen würden wie allein schon das Versagen der Stauanlage Wettingen.

Eine neuste Studie [8] hat ergeben, dass beim Versagen der Stauanlage Wettingen die Fluthöhe im Bereich der KKB-Gebäude mit 327,11 m ü. M. nur geringfügig höher wäre als das Areal selbst (327,00 m); siehe auch 5.1.1.2. Die Überflutung des KKB-Geländes wäre daher minimal und angesichts der Auslegungs-Fluthöhe des KKB (328,65 m – siehe 5.1.1 hiernach) auf die sicherheitstechnisch relevanten Gebäude, Systeme und Ausrüstungen des KKB von geringer Wirkung.

So kann davon ausgegangen werden, dass von den im Kapitel 4.2.1.1 erwähnten Abfahrpfaden nicht nur die zwei flutsicheren des Notstandsystems (#4, #5) und die zwei flutsicheren der Nicht-Notstand-Anlage (#1 mit Flutdiesel XG 1000, #2), sondern auch diejenigen des Accident-Managements (#7, #8) trotz der geringen Überflutung durchführbar sind.

Somit verbleiben die Abfahrpfade von Tabelle 8 und 9 auch bei einer erdbebeninduzierten Überflutung funktionstüchtig.

#### 4.2.3.2 Schwachstellen

*Indicate which are the weak points and failure modes leading to unsafe plant conditions and specify any cliff edge effects. Identify which buildings and equipment will be impacted.*

Die postulierte Ereigniskombination hätte für die sicherheitstechnischen Ausrüstungen keine anderen Folgen als das Starkbeben selbst. Nebeneffekte wie die Beeinträchtigung der KKB-Logistik und der Infrastruktur in Hilfsgebäuden (Eingangsgebäude, Lagergebäude, Archiv) hätten – abgesehen von den bereits erlittenen Schäden wegen des Starkbebens – auf die sichere Kernkühlung durch das Notstandsystem ebenfalls keine Auswirkungen.

#### 4.2.3.3 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...).*

Aufgrund der geringen Wirkung der Überflutung des KKB-Areals wegen Wehrbruchs nach einem Starkbeben sind keine besondere Vorsorgemassnahmen notwendig.

# 5 Flutfestigkeit

*Flooding assessment*

## 5.1 Auslegungsbasis

*Design basis. H2 unless otherwise indicated*

### 5.1.1 Fluthöhe gemäss Auslegung

*Flooding against which the plant is designed*

#### 5.1.1.1 Zahlenmässige Festlegung

*level of the design basis flood (DBF) and reasons for choice. Also indicate the DBF taken into account in the original licensing basis if different;*

Der ursprünglichen Auslegung des KKB lag eine externe Überflutung im Ausmass von 1,65 m über der Terrainkote (327,00 m ü. M.) zugrunde; das heisst: H1 war H2. Dies war auch die Grundlage für die Gebäude aller Nachrüstprojekte mit sicherheitsrelevanten Ausrüstungen und wurde bei der Festlegung der Anforderungen an die Gebäudefestigkeit und -dichtheit befolgt: beim Neubau des Borwassertanks (Projekt BOTA 1985), beim Bau der Notstandgebäude und -systeme (Projekt NANO, Inbetriebsetzung 1992/93), Zwischenlager für radioaktive Rückstände (Projekt ZWIBEZ, 1994) sowie auch beim Bau des Notspeisewassersystems (Projekt ERGES, 1999/2000). Die genannte Annahme gilt heute auch für die Gebäude des laufenden Projekts AUTANOVE (Ersatz der Notstromversorgung vom HKB durch Diesel-Generatoren).

Basis für diese Auslegung war der Bruch einer aareaufwärts gelegenen Stauanlage.

#### 5.1.1.2 Hydrologische Grundlagen

*Methodology to evaluate the DBF (return period, past events considered and reasons for choice, margins added...). Sources of flooding (tsunami, tidal, storm surge, breaking of dam...), validity of data in time;*

Ursprünglich als limitierend betrachtet und daher Basis für die Auslegungsgrundlage war der Bruch der Stauanlage Wildegg-Brugg. Man errechnete die Fluthöhe beim Versagen derselben mit mehreren konservativen Annahmen:

a) nur rudimentäre Berücksichtigung der Abschwächung der Flutwelle durch die Flusstal-Topographie auf dem Weg bis ins KKB,

b) keine Berücksichtigung des Öffnungszustands des Wehrs Beznau,

c) keine Berücksichtigung von Wasserdurchfluss am Wehr vorbei,

d) keine Berücksichtigung der Verteilung des Wassers über die Insel Beznau, sondern konservative Annahme, dass die Energielinie beim Wehr der Fluthöhe im Kraftwerksbereich entspricht.

Andere Ursachen für eine Überflutung wie zum Beispiel extremes Hochwasser der Aare wurden damals als nicht limitierend betrachtet.

Im Jahr 2008 wurde die maximale Überflutungshöhe der Aare neu ermittelt. Die Studie [7] sowie die Inhalte von [9] wurden dem ENSI als eine Grundlage für das Rahmenbewilligungsgesuch eines neuen Kernkraftwerks auf der Insel Beznau eingereicht. Gleichzeitig wurde die Studie [9] im Jahr 2011 mit [8] aktualisiert und verfeinert.

Wie im Kapitel 4.2.3.1 erwähnt, zeigt diese neuste Studie [8], dass beim Versagen der aus heutiger Sicht limitierenden Stauanlage Wettingen die Fluthöhe im Bereich der KKB-Gebäude mit 327,11 m ü. M. nur geringfügig höher wäre als das Areal selbst (327,00 m). Die Überflutung des KKB-Geländes wäre daher minimal und angesichts der Auslegungs-Fluthöhe des KKB (328,65 m) auf die sicherheitstechnisch relevanten Gebäude, Systeme und Ausrüstungen des KKB von geringer Wirkung.

Die zweite mögliche Ursache für eine Überflutung ist ein extremes Hochwasser. Der Neubau des Wehrs Beznau (um 1980) basierte auf einer Nenndurchflussmenge von 3000 $m^3/s$. Hochwasser in diesem Ausmass überflutet daher die Insel Beznau nicht. Dies haben die Erfahrungen anlässlich der Hochwasserereignisse der Jahre 1999 und 2007 (max. rund 2600 $m^3/s$) bestätigt.

Die Studie [7] ermittelte die zu erwartende Abflussmenge der Aare in Abhängigkeit der Häufigkeit. Für das 10 000-jährliche Hochwasser nennt diese Studie einen Bereich zwischen 3400 $m^3/s$ und 4200 $m^3/s$; der Median-Wert beträgt etwa 3800 $m^3/s$.

Dieser Studie liegt eine Hochwasserstatistik der Aare (bei Brugg), der Reuss (bei Mellingen) und der Limmat (bei Baden) zugrunde. Das Hochwasser vom 9. August 2007 wurde wahrscheinlich durch das Hochwasser von 1852 übertroffen; das Letztere wurde als grösstes Hochwasser der vergangenen 160 Jahre eingeordnet. Da sich in den letzten 800 Jahren wiederholt grosse und sehr grosse Aare-Hochwasser ereigneten, welche möglicherweise dasjenige von 1852 übertrafen, wurde dem Hochwasser von 1852 keine längere Wiederkehrperiode zugeordnet.

Die Überflutungshöhe im Bereich des KKB beim 10 000-jährlichen Hochwasser ist mit dem Bericht [8] dokumentiert. Unter konservativen Annahmen liegt bei 4200 $m^3/s$ der Wasserspiegel auf der Oberwasserkanalseite des KKB-Eingangsgebäudes bei 327,37 m und beim Reaktorgebäude bei 327,33 m, während er im Bereich des Maschinenhauses deutlich unter 327,20 m bleibt.

Selbst wenn die Wasserführung der Aare noch 20% grösser wäre (5000 $m^3/s$, Überlastfall), bliebe gemäss [8] der Wasserspiegel im Bereich der KKB-Gebäude deutlich unter 1 m.

Der Bericht [8] zur Berechnung der Fluthöhen basiert auf einem Computermodell, das die Topografie des unteren Aaretals zwischen Limmatmündung und Kraftwerk Klingnau mit 33 000 Elementen erfasst und auch Hindernisse wie Gebäude, Dämme, Brücken und dergleichen berücksichtigt. Wichtige Annahmen dabei sind:

- Bei einem sich langsam anbahnenden Hochwasser (mehrtägiger Starkregen) verlangen die Arbeitsvorschriften des Wasserkraftwerks das sukzessive Öffnen der Wehrschützen. Die Studie nimmt aber an, dass aus technischen Gründen (z.B. Revision) die schluckfähigste Wehröffnung geschlossen bleiben muss.
- Das Projekt AUTANOVE ist realisiert. Das heisst: Die beiden Gebäude für neue Notstromdiesel stehen und stellen zusätzliche Hindernisse für das Wasser, das die Insel überströmt dar.
- Der Wehrbruch Wettingen, der zum Beispiel als Folge eines starken Erdbebens stattfindet (siehe 4.2.3), ereignet sich zu einem Zeitpunkt, bei dem die Aare wenig Wasser führt. Das heisst, dass alle Wehrschützen vollständig geschlossen sind und für die herankommende Flutwelle (maximal 1200 $m^3/s$) ein zusätzliches Hindernis darstellen.

#### 5.1.1.3 Bewertung

*Conclusion on the adequacy of the design basis. H3*

Aus heutiger Sicht waren bei der Ermittlung der H2-Gefährdung vor allem die in Kapitel 5.1.1.2 genannten Annahmen c) und d) sehr konservativ. Aus diesen Gründen wurde die Anlage mit sehr grossen Sicherheitsreserven ausgelegt und besitzt gegenüber der zu erwartenden H3-Gefährdung grosse Sicherheitsmargen: Die in der Studie [8] ausgewiesenen, realistischerweise zu erwartenden Fluthöhen (H3) haben zur Auslegungsfluthöhe des KKB (328,65 m – H2) einen sehr grossen Sicherheitsabstand.

Das Szenario einer Totalverklausung von Wehröffnungen ist extrem unwahrscheinlich und hypothetisch. Es kann wegen dem Vorhandensein von fünf verschiedenen Wehröffungen mit einer sehr grossen Breite von je 20,5 m faktisch ausgeschlossen werden. Dies wird im Folgenden dargelegt.

Im Einzugsgebiet oberhalb des KKB kann zwar bei einem grossen Hochwasserereignis viel Schwemmholz anfallen. Dieses wird grossteils von oberhalb liegenden Kraftwerken oder Seen zurückgehalten. Die Oberlieger an Aare, Reuss und Limmat haben die folgenden Wehrbreiten: KW Wildegg-Brugg 15 m, KW Bremgarten-Zufikon 8,8 m, KW Wettingen 11 m, wobei sich noch weitere Kraftwerksanlagen oberhalb Beznau befinden. Bei einem Extremhochwasser mit grossem Geschwemmselanfall bleiben somit grössere Bäume bereits bei den Oberliegern hängen und nur sehr grosse Bäume aus dem Zwischeneinzugsgebiet könnten beim Stauwehr Beznau verklausen. Die Verklausung einer Wehröffnung durch Schwemmholz beim Stauwehr in Beznau kann infolge dieses geringen Einzugsgebiets und der grossen lichten Öffnung von 20,5 m eines Wehrfeldes praktisch ausgeschlossen werden. Das Schwemmholz, das bei einem Abfluss von 4200 $m^3/s$ anfällt, kann allenfalls teilweise – wie das Wasser – an der Wehrbrücke anstehen. Da es aber nur an der Oberfläche schwimmt, ist der Durchfluss unter der Segmentschütze weiterhin gewährleistet.

Bei den Analysen des Hochwassers wurde in [8] angenommen, dass eine Öffnung verklaust ist. Eine zusätzliche Sensitivitätsrechnung unter der hypothetischen Annahme einer Totalverklausung ergibt im Bereich der Notstandgebäude eine Fluthöhe von unterhalb der Auslegungsfluthöhe.

Zudem ist das Wehr Beznau bei den KKB-spezifischen Überflutungsanalysen zum Wehrbruch Wettingen mit allen Wehröffnungen als anfänglich geschlossen angenommen worden. Dadurch ist die hypothetische Annahme der Totalverklausung bereits weit gehend abgedeckt.

Zudem befinden sich die tiefst gelegenen Ansaugöffnungen des Notstandgebäudes mehr als 6 m über dem Areal. Damit sind die beiden Abfahrstränge des Notstandsystems auch gegenüber einem extremen Überflutungsszenario ausserordentlich gut geschützt.

### 5.1.2 Schutzmassnahmen

*Provisions to protect the plant against the DBF*

#### 5.1.2.1 Relevante Sicherheitsausrüstungen

*Identification of the key SSCs which are needed for achieving safe shutdown state and are supposed to remain available after the flooding, including: (1) Provisions to maintain the water intake function; (2) Provisions to maintain emergency electrical power supply;*

Die Auslegungsfluthöhe H2 stellt nicht für alle Gebäude auf dem Areal eine Auslegungsanforderung dar, sondern nur für diejenigen, welche für das sichere Abfahren bzw. die sichere Lagerung radioaktiver Rückstände nach einer Überflutung erforderlich sind.

In Tabelle 1 sind die Abfahrpfade des KKB aufgeführt. Dabei sind die folgenden Abfahrpfade vollumfänglich auf die Fluthöhe 1,65 m ausgelegt:

| Nr. | Kurzbezeichnung | Flutsichere Abfahrpfade zur Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb |
|---|---|---|
| #1 | **LSN_BEK** | Nachwärmeabfuhr mit **Hilfsspeisewasser LSN ab Notstromstrang BEK** (mit Betrieb ab Flutdiesel XG 1000); Schutz der Dichtungen der Reaktor-Hauptpumpen mit Sperrwasser aus Ladepumpen |
| #2 | **LSN_XG2000** | Nachwärmeabfuhr mit **Hilfsspeisewasser LSN ab Flutdiesel XG 2000;** Schutz der Dichtungen der Reaktor-Hauptpumpen mit Sperrwasser aus Ladepumpen |
| #4 | **NS_AUTO** | **Erster, automatischer Notstand-Strang:** Nachwärmeabfuhr mit Notstandspeisewasser LNA inkl. Schutz der RHP-Dichtungen mit Sperrwasser der Notstand-Sperrwasserpumpe |
| #5 | **NS_MANUAL** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems:** Nachwärmeabfuhr mit Bleed-and-Feed (mit Notstand-Ausrüstungen) im Verbund mit Notstand-Rezirkulation;<br>falls notwendig Querverbindung zu Versorgungssystemen des andern Blocks |

Damit stehen viersträngig redundante Systeme zur Verfügung, um den Reaktor nach einer Überflutung im Leistungsbetrieb zu kühlen.

Das Hydrokraftwerk Beznau (HKB), eine der Notstromquellen für das KKB, war nie auf eine Überflutung ausgelegt. Die fehlende Flutfestigkeit des HKB wie auch der primären Nebenkühlwasserpumpen PRW sind der Grund dafür, dass für die Betrachtung der Flutfestigkeit einige der in der Tabelle 1 genannten Abfahrpfade ausser Betracht fallen.

Deswegen enthielt bereits die Original-Anlage pro Block zwei besondere Flutdiesel, die an erhöhten Standorten im Maschinenhaus aufgestellt sind und die Stromversorgung zur Bespeisung der Dampferzeuger mit Hilfsspeisewasserpumpen sicherstellen können. Ein besonderes Grundwasserpumpsystem (Brunnenwasser LBW) mit einer geschützten Brunnenkammer dient dabei als Wasserquelle. Diese Ausrüstungen bilden die oben genannten Abfahrpfade #1 und #2.

Um die von den Notstandsystemen verlangte Autarkie zu gewährleisten, wurden in den Notstandgebäuden (Inbetriebsetzung 1992/93) besondere Notstand-Notstromgruppen eingeplant. Auch verfügen die beiden Notstandgebäude über einen gemeinsamen Notstandbrunnen mit einer geschützten Wasserkammer, der denselben Grundwasserträger nutzt wie der LBW-Brunnen, aber örtlich getrennt erstellt wurde (Abfahrpfade #4 und #5).

Die Accident-Management-Massnahme #7, Accident-Management-Bespeisung der DE aus Speisewasserbehälter, ist im Flutfall ebenfalls möglich. Ob gegebenenfalls die Accident-Management-Massnahmen #8 und #9 für die Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb praktikabel wären, hängt im Ereignisfall vom Ausmass der Überflutung und der Begehbarkeit des Kraftwerkareals ab.

Zur Kühlung des Reaktors im Stillstand sind die beiden redundanten Abfahrpfade #13, Notstand-Rezirkulation im Stillstand, und #14, Zweiter manueller Strang des Notstandsystems im Stillstand, flutsicher ausgelegt.

Massnahmen für die Kühlung der Lagerbecken sind, wie in 4.2.1.2 erläutert, bis zum Ende des hier zu betrachtenden Zeitraums nicht erforderlich; dies gilt auch für AM-Massnahmen. Das im Abschnitt 4.2.1.2 erwähnte, nachzurüstende Kühlsystem des BE-Lagerbeckens wird zudem vollumfänglich flutsicher ausgelegt sein.

Die Containment-Isolations-Funktion ist von der Überflutung nicht betroffen, da bei allen relevanten Durchdringungen des Containments pneumatische Absperrarmaturen mit „fail-closed"-Verhalten vorhanden sind. Zudem ist die Wärmeabfuhr aus dem Containment im Flutfall nicht notwendig, solange die Kühlung des Reaktors durch die entsprechenden Abfahrpfade sichergestellt wird.

#### 5.1.2.2 Schutz gegen Überflutung

*Identification of the main design provisions to protect the site against flooding (platform level, dike...) and the associated surveillance programme if any;*

Der primäre Schutz der Anlage besteht in der flutdichten Auslegung der oben erwähnten Abfahrpfade inkl. aller dazu gehörenden sicherheitsrelevanten Ausrüstungen und Gebäude (siehe 5.1.1.1).

Ferner ist das Wehr Beznau so gesteuert, dass seine Schützen bei einer herannahenden Flutwelle infolge eines Wehrbruchs automatisch öffnen. Dieses Öffnen kann aber nach einem Erdbeben nicht mehr als funktionierend vorausgesetzt werden.

#### 5.1.2.3 Administrative Massnahmen

*Main operating provisions (including emergency operating procedure, mobile equipment, flood monitoring, alerting systems...) to warn of, then to mitigate the effects of the flooding, and the associated surveillance programme if any;*

Die in 4.1.2.2 beschriebenen administrativen Massnahmen (Notfallorganisation, -vorschriften usw.) stehen auch im Fall einer Überflutung zur Verfügung. Die Betriebsmannschaft hat einzig die Aufgabe, die Anlage in einen sicher-abgeschalteten Zustand zu überführen. Die dafür verfügbaren Mittel sind, wie in 5.1.2.1 erläutert, vier Sicherheitsstränge nach Leistungsbetrieb und zwei im Stillstand.

Im Jahre 2004 wurden zudem Untersuchungen durchgeführt, die Möglichkeiten zu eruieren, wie weit der Schutz der Anlage gegen eine Überflutung punktuell verbessert werden kann. Die daraus resultierenden Massnahmen sind dokumentiert in [22]. Sie bestanden zum Beispiel im Festlegen einer verbesserten Pegelmessung der Aare, in der Erstellung einer speziellen Störfallvorschrift [23] für den Flutfall sowie im Festlegen zusätzlicher Kriterien für die präventive Alarmierung des Notfallstabs in [23] und die Deklaration des Notfalls in [21] im Fall von starkem Hochwasser.

Auch beim Flutfall kommt im KKB die Notfallorganisation nach der vorbereiteten Vorschrift für Notfälle [21] zum Einsatz. Je nach Situation (Höhe der Überflutung, langsam sich anbahnendes Hochwasser oder überraschende Überflutung infolge Wehrbruchs) bezieht der Notfallstab die folgenden Räumlichkeiten:

- Ersatz-Notfallraum im Notstand-Gebäude auf Kote +7,00 m über Terrain
- Einen speziellen Ersatz-Notfallraum im Areal der ZWILAG, anderthalb Kilometer flussaufwärts.

Die übrigen Angehörigen der Notfallorganisation, wenn sie sich beim Alarm nicht im KKB-Areal befinden, besammeln sich auf analoge Weise.

#### 5.1.2.4 Begleiteffekte

*Discussion of other effects linked to the flooding itself or to the phenomena that originated the flooding (such as very bad weather conditions) that need to be taken into account, including: (1) Loss of external power supply; (2) Situation outside the plant, including preventing or delaying access of personnel and equipment to the site.*

Zum Ausfall des Hydrowerks bei Überflutung siehe 5.1.2.1.

Die Flutwelle infolge eines Wehrbruchs dauert nur wenige Stunden und ist von geringer Höhe. Nach wenigen Stunden ist das Gelände wieder zugänglich. Der Einsatz mobiler Mittel, welche durch die geringe Überflutungshöhe nicht beeinträchtigt werden, ist dann wieder möglich.

Anders ist die Situation im Fall eines extremen Hochwassers, welche die Insel während mehreren Tagen überfluten könnte:

(1) Die Begleiteffekte bei einer Überflutung bleiben überschaubar, da es sich um einen langsam anlaufenden Vorgang handelt. Eine langsame Überflutung ist dabei die Folge starker Regenfälle im schweizerischen Mittelland, entsprechende Wetteralarme werden vorher ausgegeben und die Zunahme der Wasserführung der Aare erstreckt sich über mehrere Stunden. In diesem Fall bleibt Zeit für vorsorgliche Massnahmen hinsichtlich Personal und Material. So regelt zum Beispiel die Vorschrift NV-D-004 der Feuerwehr, dass die mobilen Mittel der Feuerwehr an einen flutsicheren Standort gebracht werden.

(2) Die Zufahrtsstrassen zum Kraftwerkareal verlaufen durchwegs viele Meter höher als der Fluss und bleiben daher auch bei einer mittelschweren Überflutung befahrbar. Kritisch wäre die Situation, wenn die Insel selbst nicht mehr zugänglich wäre, sei es weil die Brücke über den Oberwasserkanal trotz ihrer robusten Konstruktion unter- oder weggespült würde, sei es weil auch den Angehörigen der Notfallorganisation der Zugang über die eigentlich sehr robust gebaute Wehrbrücke wegen der zunehmenden Wasserführung der Aare und der Gefahr durch mitgeführte Holzteile verboten werden muss. In diesem Fall würde der Nachschub zum Beispiel von Treibstoff im Rahmen der Unterstützung durch das Lager Reitnau (siehe 9.1.3) per Helikopter erfolgen. Auf diese Weise könnte auch personelle Verstärkung zur Insel Beznau gebracht werden.

(3) Die Situation im BE-Lagergebäude entwickelt sich während des hier zu betrachtenden Zeitraums von 72 h wie folgt: Das Beckenwasser wärmt sich auf und beginnt zu sieden; Dampf bildet sich und füllt das Gebäude. Dabei ist aber, wie in 4.1.2.1 erläutert, auch bei ungünstigen Ausgangsbedingungen nicht damit zu rechnen, dass Brennstoff abgedeckt wird und somit keine Brennstoffschäden entstehen. Vor-Ort-Eingriffe des Personals würden nicht nur wegen der höheren Temperatur, sondern auch wegen des zunehmend stärker werdenden Strahlenfelds (Abnahme der Überdeckung der gelagerten Brennelemente!) erschwert. Auch hier kann damit gerechnet werden, dass – auch aus dem Lager Reitnau – mit Feuerwehrpumpen eine Nachspeisung in das Becken erstellt werden kann. Zudem bringt das nachzurüstende, flutsichere BE-Lagerbeckenkühlsystem (siehe 4.2.1.2) in diesem Punkt eine deutliche Verbesserung.

(4) Ein bedeutender Begleiteffekt der Überflutung ist, dass die Logistik auf dem Kraftwerkareal stark beeinträchtigt sein kann. Die Beweglichkeit und die Zugangsmöglichkeiten sind eingeschränkt, sei es zu Gebäuden mit Leitstellen (Hauptkommandoraum, Notstandleitstand), sei es zu Werkstätten, Werkzeugausgaben und Lagern. Dies kann dringende Eingriffe und Reparaturarbeiten deutlich erschweren, wenn nicht verunmöglichen. Auch diverse Verbindungsmittel zu externen Stellen sind infolge der Überflutung nicht mehr verfügbar. Das Verbindungsystem POLYCOM zur Polizei verbleibt aber verfügbar.

### 5.1.3 Einhaltung der Bewilligungsbasis

*Plant compliance with its current licensing basis*

In erster Linie gelten hierzu dieselben Ausführungen wie unter 4.1.3.

#### 5.1.3.1 Kontrollen nach dem Fukushima-Unfall

*Specific compliance check already initiated by the licensee following Fukushima NPP accident.*

Der in 4.1.3.4 erwähnte WANO-Auftrag erfasste auch die Tauglichkeit der Massnahmen zur Beherrschung einer Überflutung der Kraftwerksanlage von aussen oder von innen. Daraus entstand eine Liste von Abklärungen, die zur Jahresmitte grossenteils abgeschlossen werden.

## 5.2 Bewertung der Sicherheitsmarge

*Evaluation of the margins. - H3*

### 5.2.1 Brennstoffschaden nach Überflutung

*Level of flooding that the plant can withstand without severe fuel damage. Based on available information (including engineering studies to support engineering judgement) core or fuel storage. Safety margins should always be quantified via flood heights and if possible via the corresponding flow rates.*

#### 5.2.1.1 Quantifizierung

*Evaluation of the safety margins. (1) Describe up to which level buildings containing safety relevant equipment are able to withstand flooding (considering all relevant operational states as well as reactor and the spent fuel pool). (2) State up to which level a river flow with an exceedance frequency of $10^{-4}$ per year (according to the H3 hazard) will flood the site and compare this level with the original design. (3) State if the plant is designed against flooding caused by degradation or failure of a hydroengineering facility. If so, state the expected resulting flood level and compare to the original design.*

Die Darlegungen in 5.1 zeigen, dass die Flut-orientierte Auslegung der Gebäude mit sicherheitsrelevanten Ausrüstungen einer wesentlich strengeren Gefährdung entspricht als diejenige gemäss neueren hydrologischen Untersuchungen: Die Fluthöhe von + 1,65 m gemäss Originalauslegung würde beim 10 000-jährlichen Hochwasser und sogar bei einem um 20 Prozent höheren Aaredurchfluss bei weitem nicht erreicht.

Im Kapitel 5.1.2.1 sind die vier Abfahrstränge aufgeführt, mit denen der Reaktor bei einem Flutfall im Leistungsbetrieb gekühlt werden kann (1#, #2, #4, #5). Auch im Stillstand der Anlage verbleiben zwei flutsichere Notstandstränge (#13, #14) zur Kühlung des Reaktors.

Wie bereits in 5.1.1.3 erwähnt, befinden sich die tiefst gelegenen Ansaugöffnungen des Notstandgebäudes mehr als 6 m über dem Areal. Damit sind die beiden Abfahrstränge des Notstandsystems auch gegenüber einer extremen Überflutung ausserordentlich gut geschützt.

Auch im Stillstand der Anlage verbleiben zwei flutsichere Notstandstränge zur Kühlung des Reaktors.

Zur Kühlung der Brennelement-Lagerbecken brauchen, wie in 4.2.1.2. erläutert, vor Ablauf des hier zu betrachtenden Zeitraums keine Massnahmen wirksam zu werden, um Brennstoffschäden zu vermeiden. Wünschbar sind solche Massnahmen allerdings schon, um die in 5.1.2.4 geschilderten Begleiteffekte zu vermeiden oder zu mildern.

### 5.2.1.2 Schwachstellen

*Identification of weak points. Evaluate weak points considering: (1) Which buildings will be flooded first; (2) Which safety relevant equipments will be flooded first; (3) Cliff edge effects: (a) State whether a substantial increase in river flow as compared to the flow with initiating event frequency of ≥ $10^{-4}$ per year will exceed the design limit of the plant; (b) State whether a complete failure or multiple failures of hydro-engineering facilities (dams/weirs/barrages) will lead to severe fuel damage; (c) State whether a complete jam of the river by log/debris or complete jam followed by the instantaneous failure of the jam will lead to severe fuel damage. (d) Indicate if a single failure of a component (independent of the external flood) leads to a loss of a fundamental safety functions. No passive component with proven high quality has to be assumed as a single failure.*

(1) Die Nebengebäude UN(A...E) und das Maschinenhaus selbst sind zwar nicht besonders gegen Flut geschützt. Aber die darin untergebrachten Ladepumpen, sekundären Zwischenkühlpumpen, Steuerluftkompressoren und Flutdiesel sind über der Auslegungs-Fluthöhe platziert.

(2) Bei den Ausrüstungen der Abfahrpfade JAC_BEK (#11), JAC_BFL (#12), FAC_BEK (#21) und FAC_BFL (#22) sind die Primären Nebenkühlwasser-Pumpen (PRW) von Bedeutung. Sie sind im Maschinenhaus mehrere Meter unter dem Anlagenplafond (327,00 m) untergebracht. Hier ist eine gewisse Gefährdung durch Flutwasser zu erwarten, auch wenn diese gemäss der neuen Studie [8] gering ist.
Wie die Tabelle 1 zeigt und in Kapitel 5.1.2.1 ausgeführt ist, ist der Ausfall des PRW-Systems bei Überflutung des KKB aber von sicherheitstechnisch untergeordneter Bedeutung ist. Es verbleiben die Abfahrpfade #1, #2, #4, #5, #7, #13 bis #15, #35 und #38 vollumfänglich verfügbar. Weitere Abfahrpfade des Accident-Managements sind je nach Höhe und Zeitdauer der Überflutung ebenfalls einsetzbar.

Wie in 5.1.1.2 erläutert, bleibt gemäss der neuen Studie [8] auch bei einem auslegungsüberschreitenden, extrem seltenen Hochwasser von 5000 $m^3/s$ (deutlich weniger häufig zu erwarten als 1 Mal in 10'000 Jahren) der Wasserspiegel im Kraftwerkareal deutlich unterhalb der Auslegungs-Fluthöhe H2.

Wie in 4.2.3. erläutert, würden sich die Folgen des Versagens mehrerer Stauanlagen im Rahmen dessen halten, was beim Versagen der Stauanlage Wettingen zu erwarten ist. Sie führen zu Situationen, die weniger schwerwiegend als ein 10 000-jährliches Hochwasser sind.

### 5.2.1.3 Denkbare Ergänzungsmassnahmen

*Provisions. Using the results under 5.2.1.2 indicate if any provisions (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions) have been or can be envisaged to increase the robustness of the plant. Consider in particular the time between warning and flooding as well as possibly identified cliff edge effects which might be prevented.*

Infolge sehr grosser Sicherheitsreserven, vor allem hinsichtlich Fluthöhe und hinsichtlich Redundanzgrad von Abfahrpfaden, sind keine Massnahmen notwendig.

# 6 Extreme Wetterbedingungen

*Extreme weather conditions*

## 6.1 Auslegungsgrundlagen

*Design basis*

### 6.1.1 Neuüberprüfung der Auslegungsgrundlagen

*Reassessment of weather conditions used as design basis*

#### 6.1.1.1 Wetterverhältnisse

*Verification of weather conditions that were used as design basis for various plant systems structures and components: maximum temperature, minimum temperature, various types of storms, heavy rainfall, high winds, etc.*

Die Wetterverhältnisse spielen eine Rolle bei der Gestaltung der Gebäude und der Lüftungssysteme. Es geht um Phänomene wie Aussentemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Böigkeit. Davon abhängig sind einerseits die Robustheit einer Gebäudestruktur und von Wandverkleidungen und andererseits die Leistungsfähigkeit von Luftkühlern, -vorwärmern, -trocknern, -filtern und -Mengenreglern. Vom Zusammenwirken dieser Elemente hängt das Raumklima, speziell auch für Verlustwärme produzierende Ausrüstungen ab. Die Regenintensität spielt eine Rolle bei der Bemessung von Dach- und Arealentwässerungen.

Der Auslegung der ursprünglichen Anlage lag als einziges Kriterium eine Aussentemperatur zwischen -15 °C und +32 °C. Windgeschwindigkeiten wurden gemäss der damals gültigen SIA-Norm 160 angesetzt. Bei der Neugestaltung der Lüftung für die Hauptkommandoräume wurde die Aussentemperatur mit einem Bereich zwischen -10 °C und +30 °C spezifiziert; dabei wurde auch die Feuchtigkeit der Aussenluft angegeben: zwischen 90% (bei tiefen Temperaturen) und 38% (bei hohen Temperaturen). Extremtemperaturen bis zu -25 °C und bis zu +40°C während bis zu 6 Stunden wurden als ergänzendes Kriterium für die Lüftung der in den Jahren 1992/93 in Betrieb genommenen Notstandgebäude festgelegt.

#### 6.1.1.2 Anhaltspunkte für eine Neudefinition

*Postulation of proper specifications for extreme weather conditions if not included in the original design basis*

Für den Zeitraum zwischen 1901 und 1989 wurden von der Messstation des Wasserkraftwerks Beznau ein absolutes Temperaturmaximum von 36,7 °C und ein absolutes Minimum von -24,3 °C gemessen. Ein weiteres Temperaturmaximum wurde am 13. August 2003 mit 37,5 °C von der Messstation auf dem Meteo-Mast neben dem KKB gemessen. Die Monatsmittel der Temperaturen lagen in der Zeit vor 1989 etwa 1 °C tiefer als später.

Bezüglich maximaler Windgeschwindigkeiten nennt [1] für eine Messstation im Raum Kloten und den Zeitraum von 1949 bis 2008 ein registriertes Maximum von 135 km/h im Jahr 1983.

Bei rund 2 Promille aller Regenschauer übersteigt die Intensität 12 mm/h.

#### 6.1.1.3 Häufigkeiten

*Assessment of the expected frequency of the originality postulated or the redefined design basis conditions*

Der tägliche, zyklische Verlauf (Tagesgang) der örtlichen Temperatur bringt es mit sich, dass Temperaturen über 32 °C höchstens während einiger Stunden täglich, vor allem am späten Nachmittag, auftreten. Tiefsttemperaturen werden, dem Tagesgang entsprechend, in kalten Winternächten beobachtet. Das oben erwähnte Minimum wurde während einer Reihe von drei bis vier sehr kalten Wintertagen gemessen.

#### 6.1.1.4 Überlagerung extremer Bedingungen

*Consideration of potential combination of weather conditions*

Bisher wurde am Standort KKB einzig die Überlagerung von heftigem Regen mit besonders stürmischen Winden im Sommer und Herbst beobachtet. Die Temperaturen blieben dabei, der Jahreszeit entsprechend, im mittleren Bereich.

## 6.2 Bewertung der Sicherheitsmargen

*Evaluation of safety margins*

### 6.2.1 Abschätzungen

*Estimation of safety margin against extreme weather conditions*

#### 6.2.1.1 Analyse möglicher Auswirkungen

*Analysis of potential impact of different extreme weather conditions to the reliable operation of the safety systems, which are essential for heat transfer from the reactor and the spent fuel to ultimate heat sink*

In der über vierzigjährigen Betriebsgeschichte der beiden KKB-Blöcke wurden keinerlei Auswirkungen von Regen und Wind am Standort auf für die Kern- und Lagerbeckenkühlung relevanten Sicherheitsausrüstungen beobachtet.

Erfahrungen bei hohen Aussentemperaturen führten zu zwei Nachrüstprojekten:

(1) Nachdem ein Flutdiesel-Motor (mit Luftkühlung) bei einem monatlichen Probelauf an einem heissen Sommernachmittag wegen zu hoher Temperatur automatisch abgeschaltet worden war, wurde ein mit Grundwasser versorgter Wasserkühler in den Luftkreislauf jedes Flutdiesels eingebaut; dieser kann vom Operateur im Bedarfsfall zugeschaltet werden.

(2) Mit dem Projekt WARA wurden zusätzliche Frischluftkühler vor den Leittechnik- und Apparateräumen der Nebengebäude UN(D) und UN(E) eingebaut, um die sommerlichen Maximaltemperaturen zu begrenzen und damit die Alterung elektrischer Ausrüstungen zu verlangsamen.

Probleme wegen extrem tiefer Aussentemperaturen sind in der vierzigjährigen Betriebsgeschichte keine aufgetreten.

Von starken Winden am ehesten beeinträchtigt werden könnten die mit Blechen verkleideten Wände des Maschinenhauses, doch sind derartige Schäden bisher nie beobachtet worden. Analoges gilt für die aus Mauerwerk und Glasfenstern aufgebaute Turbinenhalle des HKB. Alle übrigen sicherheitsrelevanten Ausrüstungen sind – mit einer Ausnahme – in betonierten Gebäuden untergebracht; diese sind gegen Winde und Stürme sehr robust. Schäden, auch an Luft-Ansaugöffnungen, sind bisher keine aufgetreten. Die Ausnahme ist die Frischdampf-Abblasestation, welche zwischen Sicherheitsgebäude und Maschinenhaus in einer Blechhalle untergebracht und daher gut geschützt ist.

Speziell die mit einer Betonwandstärke von 1,0 m versehenen Notstandgebäude sind gegenüber extremen Wetterbedingungen sehr gut geschützt. Lüftungstechnisch können die Gebäude von der Aussenluft isoliert und in einem Rezirkulationsmodus mit eigener, redundant vorhandener Kühlanalge betrieben werden. Die grossen Komponenten der Notstandsysteme verfügen zudem über eigene Raumkühler, welche vom Notstand-Brunnenwasser gekühlt werden.

Damit stehen faktisch zwei Sicherheitsstränge zur Verfügung, welche gegen extreme Wettereinflüsse sehr gut geschützt sind.

#### 6.2.1.2 Besonders erschwerende Umstände

*Estimation of difference between the design basis conditions and the cliff edge type limits, i.e. limits that would seriously challenge the reliability of heat transfer*

Wiederholt wurde beobachtet, dass das Aarewasser nach Herbststürmen im schweizerischen Mittelland mehr lose, abgestorbene Blätter mitführte als gewöhnlich; die Rechenreinigungsanlagen an den Kühlwassereinläufen waren dann fast ununterbrochen im Einsatz. Theoretisch besteht die Gefahr, dass beim völligen Verstopfen eines Kühlwassereinlaufs die Pumpen des Primären Nebenkühlwassersystems (PRW) nicht mehr ansaugen können; von diesen hängen die Abfahrpfade #6, #11, #12, #21, #22, #31, #32, #33 und #34 ab (siehe Tabellen 1 und 2). In Praxis besteht diese Gefahr nur sehr beschränkt, denn die PRW-Pumpen zweigen vom normalen Wasserstrom zu den Kondensatoren der Turbinen weniger als einen Zwanzigstel ab; daher mag es zwar nötig werden, den Hauptkühlwasserstrom und damit die Turbinenleistung kurzzeitig zu reduzieren, aber für die PRW-Pumpen reicht der Zustrom von Wasser stets.

Zudem zeigen die Tabelle 1 und die Ausführungen von Kapitel 8, dass der Ausfall der Hauptwärmesenke des PRW-Systems im KKB von sicherheitstechnisch untergeordneter Bedeutung ist. Denn es verbleiben auch beim Ausfall des PRW-Systems die Abfahrpfade #1 bis #5, #7 bis #9, #13 bis #17, #23, #24 und #35 bis #38 verfügbar.

Zum Thema einer Erschwerung des Zugangs zur Anlage infolge schwerem Unwetter gilt das gleiche wie im Kapitel 4.1.2.3 d) beim Erdbeben gesagten: Die Schichtmannschaft kann die ersten 24 Stunden ohne personelle Verstärkung beherrschen. Zudem könnte mittelfristig im Rahmen der Versorgung aus dem externen Lager Reitnau (siehe 9.1.3) auch personelle Verstärkung per Luft aus der Umgebung zum Kraftwerk gebracht werden.

### 6.2.2 Denkbare Ergänzungsmassnahmen

*Potential need to increase robustness of the plant against extreme weather conditions. - Consideration of measures, which could be envisaged to increase plant robustness against extreme weather conditions and would enhance plant safety*

Die Betriebserfahrung während 40 Jahren mit unterschiedlichen Wetterbedingungen am Standort KKB liegt vor. Auch zeigt die PSA-Studie des KKB für Leistungsbetrieb [1], dass Starkwinde und Wirbelstürme zur Kernschadenshäufigkeit eines KKB-Blocks mit 2% nur sehr wenig beitragen. Zwei Nachrüstaktionen im Interesse sicherheitsrelevanter Ausrüstungen sind in 6.2.1.1 erläutert.

Es ist daher kein weiterer Bedarf an Ergänzungsmassnahmen erkennbar.

# 7 Stromausfall

*Loss of electrical power. Electrical AC power sources are: (a) off-site power sources (electrical grid); (b) plant generator; (c) ordinary back-up generators (diesel generator, gas turbine...); (d) in some cases other diverse back-up sources. - Sequential loss of these sources has to be considered (see 7.1 and 7.2 below). - All offsite electric power supply to the site is lost. The offsite power should be assumed to be lost for several days. The site is isolated from delivery of heavy material for 72 hours by road, rail or waterways. Portable light equipment can arrive to the site from other locations after the first 24 hours. - The external storage facility in Reitnau can be discussed for its operability within the first 24 hours (D1 or D2).*

## 7.1 Ausfall der Verbindungen zum Überlandnetz

*Loss of off-site power (LOOP)*

### 7.1.1 Vorsorge im Rahmen der Auslegung

*Describe how this situation is taken into account in the design and describe which internal backup power sources are designed to cope with this situation. LOOP = loss of external grid. All available means including island mode, hydropower, Notstromdiesel, Notstanddiesel, Batterien should be addressed to describe the available level of redundancy*

Die Abbildung 3 zeigt als Übersicht die Notstromversorgungssysteme des KKB. Die tragenden Elemente sind dabei:

1. das **Hydrokraftwerk Beznau** (HKB,) als zweifach redundante Stromquelle (mit je drei separaten Generatoren von 1,75 MW) je für die 6-kV-Schienen BE und BF, deren Verbraucher ausserhalb des Notstandgebäudes stehen, vor allem in den Nebengebäuden UN(A) und UN(C),
2. die **Notstand-Notstromgruppen** (2,5 MW), welche die 6-kV-Schiene BV im Notstandgebäude versorgen,
3. die **Flutdiesel-Generatoren** (440 kW), welche die 0,4-kV-Schienen BEK-A und -B versorgen und die über Querkupplungen auch gewisse 0,4-kV-Schienen versorgen können, die regulär von der 6-kV-Schiene BF versorgt werden.

Das **50-kV-Netz der AXPO**, das im Unterwerk Beznau mit dem 220-kV-Landesnetz verbunden ist, hat eine Stützfunktion beim Normalbetrieb und bei Störfällen:

- Es ist permanent mit den Generatoren des HKB verbunden und absorbiert die dort produzierte Leistung, soweit diese nicht vom KKB beansprucht wird. Es kann aber umgekehrt auf diesem Weg zur Notstromversorgung der 6-kV-Schienen BE und BF im KKB beitragen.
- Es ist permanent mit den Einspeisetransformatoren der Notstandgebäude verbunden und versorgt die dortigen Verbraucher, solange die Notstand-Notstromgruppen diese Versorgung nicht im autonomen Betrieb besorgen.
- Es versorgt permanent die 6-kV-Schiene BF jedes Blocks und damit auch sicherheitsrelevante Stromverbraucher. Fällt es aus, sorgt eine Umschaltautomatik dafür, dass die BF-Schiene wieder angespeist wird. Dabei greift diese sukzessive auf die Schienen BD und BG sowie – bei deren Fehlen – auf eine Anspeisung vom HKB zurück.

Auch die Verbindungen von den Generatoren der Turbogruppen zum **220-kV-Überlandnetz** spielen eine Rolle im sicherheitstechnischen Konzept der Notstromversorgung. Die Anlagenplaner haben bei der Aufteilung der Stromverbraucher auf 6-kV-Schienen darauf geachtet, dass sicherheitsrelevante Ausrüstungen an eine der Notschienen BE, BF oder BV angeschlossen sind. (Es gibt ganz wenige Ausnahmen). Andererseits werden zahlreiche Verbraucher, die für den Betrieb der Turbogruppen nötig sind, von den 6-kV-Schienen BD und BG versorgt; die Letzteren beziehen den Strom aus der Verbindung zwischen Turbogeneratoren und 220-kV-Überlandnetz. Die Schienen BD und BG werden auch, wie oben beschrieben, bei einem Ausfall der 50-kV-Versorgung subsidiär zur Anspeisung der Schiene BF beigezogen.

Der so genannte **Inselbetrieb**, bei dem die Schienen BD und BG den Strom direkt vom zugeordneten Turbogenerator – ohne Verbindung zum 220-kV-Überlandnetz – beziehen, ist im KKB nicht von Bedeutung. Es ist zwar grundsätzlich möglich, dass diese Betriebsart, welche bei kritischem Reaktor die ununterbrochene Lieferung von Dampf von den Dampferzeugern zu den Dampfturbinen voraussetzt, erfolgreich in Gang gesetzt werden könnte. Im Rahmen der Auslegung ist der Inselbetrieb aber nicht von Bedeutung.

Es werden im KKB bei keinem sicherheitsrelevanten System **Batterien** zur Anspeisung von Motoren für Pumpen, Ventilatoren oder dergleichen eingesetzt.

### 7.1.2 Fristen

*Indicate for how long the on-site power sources can operate without any external support*

Siehe dazu die Angaben zur Auslegung unter 3.3.5.3 c) und 3.3.5.4 c).

### 7.1.3 Vorsorge zur Erstreckung der Fristen

*Specify which provisions are needed to prolong the time of on-site power supply (refueling of diesel generators...).*

Die Versorgung vom HKB steht zeitlich unbefristet zur Verfügung. Die Dieselvorräte des Notstanddiesels reichen gemäss Tabelle 1 zehn Tage. Die Beschaffung von zusätzlichem Treibstoff ist daher primär für die Flutdiesel notwendig. Dies ist im Falle eines Flutfalls in der Notfallanweisung für den Notfallstab [21] geregelt und würde wegen des möglicherweise bevorstehenden Ausfalls des HKB schon kurz nach der Deklaration des Notfalls eingeleitet. Auch in anderen Fällen sind entsprechende Massnahmen Sache des Notfallstabs.

Gegebenenfalls kann auch auf Axpo-eigenen Treibstoff zugegriffen werden, der im Gasturbinen-Kraftwerk Beznau weniger als 2 km entfernt in grösseren Mengen flutsicher gelagert wird.

Auch im externen Lager Reitnau (siehe 9.1.3) stehen transportable Treibstofftanks auf Abruf bereit.

### 7.1.4 Denkbare Ergänzungsmassnahmen

*Indicate any envisaged provisions to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...). - For clarity, systems such as steam driven pumps, systems with stored energy in gas tanks etc. are considered to function as long as they are not dependent of the electric power sources assumed to be lost and if they are designed to withstand the initiating event (e.g. earthquake)*

Wie bereits in 3.3.5.5. erläutert, werden gemäss dem Projekt **AUTANOVE** in zwei örtlich getrennten, flutsicheren Gebäuden je zwei Notstromgruppen in Betrieb genommen. Diese werden dann die Notstromversorgung vom HKB ersetzen.

Im Rahmen der Massnahmen nach dem Reaktorunfall von Fukushima hat das KKB **zwei mobile 890-kW-Notstromdieselaggregate** beschafft (siehe auch 3.3.5.5). Beide sind ab dem 31. Oktober 2011 innerhalb des Zauns des KKB gelagert. Es wird angestrebt, diese an einem erdbeben- und flutsicheren Ort fest zu platzieren und mit fest verlegten Anschlusskabeln auszustatten so, dass diese von der Schichtmannschaft selbstständig aufgeschaltet werden können. Bereits heute können diese Dieselaggregate gemäss AM-R-BVA-1 zur Versorgung eines Teils der Notstandsysteme eingesetzt werden. Damit kann in jedem Block die allenfalls ausgefallene Notstand-Notstromgruppe mindestens teilweise ersetzt werden und mit Pumpen im Notstandgebäude die Nachwärmeabfuhr aus den Dampferzeugern oder sogar direkt aus dem Reaktorkühlsystem in Gang zu bringen.

Das KKB kann auch auf Notstromgruppen zurückgreifen, welche im **externen Lager in Reitnau** in Bereitschaft gehalten werden (siehe 9.1.3).

## 7.2 Ausfall interner Stromquellen

*Loss of off-site power and of on-site backup power sources (SBO-Categories)*

### 7.2.1 Station Blackout

*LOOP + Loss of the ordinary back-up source (SBO), i.e. LOOP AND Loss of island mode AND Loss of Hydro-power AND Loss of Notstromdiesel*

Station-Blackout bedeutet den Ausfall aller Wechselstromversorgungen der Stränge BE und BF der Nicht-Notstandanlage. Hingegen bleibt das in Standard-DWR-Anlagen nicht vorhandene Notstandsystem mit der Schiene BV verfügbar.

#### 7.2.1.1 Verfügbarkeit der Batterien

*Provide information on the battery capacity and duration.*

Batterien sind relevant für Messung und Steuerung; siehe dazu auch 3.3.6. Die Batterien BNA, BNB, BNC und BNG ausserhalb des Notstandgebäudes würden zwar anfänglich die zugeordneten Messkreise versorgen, wären aber mangels Nachladung nach einigen Stunden erschöpft. Schätzungen anhand des beim Normalbetrieb beobachteten Leistungsbedarfs deuten darauf hin, dass eine Nutzungsdauer erwartet werden kann, die einem Mehrfachen der Auslegungs-Nutzungsdauer (2 h) entspricht. Eine best-estimate-Betrachtung ergibt mindestens das Doppelte der Auslegungsdauer. Da die Versorgung der Batterien BNA/BNB redundant vorhanden ist, ergibt sich schliesslich die vierfache Dauer, bis beide Batterien entleert sind, also ca. 8 Stunden.

Wichtiger für die Steuerung der verbleibenden Sicherheitsfunktionen des Notstandsystems sind im vorliegenden Fall die 24-V-Batterien BNL und BNM im Notstandgebäude, welche Dioden-entkoppelt die Messwertaufbereitung anspeisen. Da die Batterie BNL von der Notstand-Notstromgruppe nachgeladen wird, bleibt sie uneingeschränkt betriebsbereit.

#### 7.2.1.2 Vorsorge im Rahmen der Auslegung

*Provide information on design provisions for these situations.*

Der Ausfall des HKB und der Flutdiesel (Notstromdiesel) betrifft die Notstand-Notstromgruppen nicht. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlsystem kann, ausgehend vom Leistungsbetrieb, mit den in Tabelle 1 aufgeführten und in 4.2.1.1 erläuterten beiden redundanten Abfahrpfaden #4 und #5 des Notstandsystems gewährleistet werden:

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen |
|---|---|---|
| #4 | **NS_AUTO** | **Erster, automatischer Notstand-Strang:** Nachwärmeabfuhr mit Notstandspeisewasser LNA inkl. Schutz der RHP-Dichtungen mit Sperrwasser der Notstand-Sperrwasserpumpe |
| #5 | **NS_MANUAL** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems:** Nachwärmeabfuhr mit Bleed-and-Feed (mit Notstand-Ausrüstungen) im Verbund mit Notstand-Rezirkulation;<br>falls notwendig Querverbindung zu Versorgungssystemen des anderen Blocks |

Im Stillstand verbleiben die entsprechenden Abfahrpfade #13, „Notstand-Rezirkulation im Stillstand", und #14, „Zweiter manueller Strang des Notstandsystems im Stillstand", verfügbar.

#### 7.2.1.3 Fristen

*Indicate for how long the site can withstand a SBO without any external support before severe damage to the fuel becomes unavoidable.*

Dank den grossen Treibstoffvorräten bei den Notstand-Notstromgruppen und dank der Möglichkeit einer Anspeisung von Block zu Block über die 6-kV-Querverbindung ist die ununterbrochene Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktor weit über die in diesem Bericht zu betrachtende Frist von 72 h hinaus möglich.

#### 7.2.1.4 Einsatz weiterer Mittel

*Specify which (external) actions are foreseen to prevent fuel degradation: (1) Equipment already present an site, e.g. equipment from another reactor; (2) Equipment available off-site, assuming that all reactors on the same site are equally damaged; (3) Near-by power stations (e.g. hydropower, gas turbine) that can be aligned to provide power via a dedicated direct connection; (4) Time necessary to have each of the above systems operating; (5) Availability of competent human resources to make the exceptional connections; (6) Identification of cliff edge effects and when they occur.*

Sofern die Stromversorgung des anderen Block verfügbar bleibt, so kann mittels Querverbindungen zum anderen Block eine Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb erstellt werden. Dabei stehen die beiden, in Tabelle 10 erstgenannten Kühlmöglichkeiten, im Vordergrund.

Darüber hinaus kann mit den in Tabelle 1 aufgeführten und in Tabelle 10 ausführlich beschriebenen Abfahrpfaden #7, #8 und #9 des Accident-Managements eine Kühlung des Reaktors erstellt werden.

Analog kann im Stillstand mit den in Tabelle 1 aufgeführten Abfahrpfaden #16 und #17 des Accident-Managements die Kühlung des Reaktors sichergestellt werden.

Dass der Brennstoff im Brennelement-Lager weit über die hier zu betrachtende Frist von 72 h hinaus mit Wasser bedeckt bleibt, ist in 4.2.1.2 erläutert.

#### 7.2.1.5 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...)*

Auf Grund der vielen Kühlmöglichkeiten sind keine weiteren Massnahmen notwendig. Dennoch wird mit dem Projekt AUTANOVE die zusätzliche Möglichkeit geschaffen, jeden Block von einem der zwei neu zu installierenden Notstromdieselgeneratoren des anderen Blocks zu versorgen.

### 7.2.2 Totaler Station Blackout

*LOOP + Loss of the ordinary back-up sources + loss of any other diverse back- up sources (Total-SBO), i.e. LOOP AND Loss of island mode AND Loss of Hydropower AND Loss of Notstromdiesel AND Loss of Notstanddiesel*

#### 7.2.2.1 Verfügbarkeit der Batterien

*Provide information on the battery capacity and duration.*

Batterien sind relevant für Messung und Steuerung; siehe dazu auch 3.3.6. Die Batterien BNA, BNB, BNC und BNG ausserhalb des Notstandgebäudes würden zwar anfänglich die zugeordneten Messkreise versorgen, wären aber gemäss Kapitel 7.2.1.1 mangels Nachladung nach ca. acht Stunden erschöpft.

Ähnliches gilt vorerst bei einem Totalen Station Blackout für die 24-V-Batterien BNL und BNM im Notstandgebäude. Abschätzungen des Stromverbrauchs bei einem auslegungsüberschreitenden Störfall haben ergeben, dass die Spannung bei den Verbrauchern ebenfalls nach ca. 8 Stunden ihren Minimalwert nicht mehr erreichen würde. Diese Zeit

reicht um die elektrische Notbespeisung der 0,4-kV-Schiene BVA mit einem mobilen Notstromaggregat gemäss AM-R-BVA-1 in Gang zu bringen.

Damit ist die ununterbrochene Verfügbarkeit von Messwerten aus dem Bereich des Notstandschutzsystems gewährleistet; dieses erfasst auch Messwerte vom Reaktorkühlsystem und von den Dampferzeugern.

#### 7.2.2.2 Vorsorge im Rahmen der Auslegung

*Provide information on design provisions for these situations.*

Zur Beherrschung eines totalen Station Blackout in nur einem der beiden Blöcke des KKB gibt es im Rahmen der Auslegung den folgenden Abfahrpfad gemäss Tabelle 1:

| Abfahr-pfad Nr. | Kurzbezeich-nung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen |
|---|---|---|
| #5 | NS_MANUAL | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems**: Nachwärmeabfuhr mit Bleed-and-Feed (mit Notstand-Ausrüstungen) im Verbund mit Notstand-Rezirkulation;<br>mit Querverbindung zu Versorgungssystemen des andern Blocks |

Besteht der totale Station-Blackout in beiden Blöcken, so gibt es keine auslegungsgemäss Vorsorge, wohl aber im Rahmen des Notfallmanagements (siehe Tabelle 10 und 7.2.2.4).

#### 7.2.2.3 Fristen

*Indicate for how long the site can withstand a (total) SBO without any external support before severe damage to the fuel becomes unavoidable.*

Wenn nach einem totalen Station Blackout ***beim Leistungsbetrieb*** keine besonderen Massnahmen ergriffen werden, dauert es gemäss [24] etwa zwei Stunden, bis die Oberkante des **Brennstoffs im Reaktor** nominell nicht mehr mit Wasser bedeckt ist (in [24] ist unter Annahme einer nicht realisierten Leistungserhöhung von 15% eine Zeit von 1,9 h errechnet worden, was real einen Wert von 2,2 h ergibt). Vor dem Ende dieser Frist müssen Accident-Management-Massnahmen wirksam werden. Dabei läuft das folgende Szenario ab:

- Der Reaktortrip kommt stromlos zustande: Die Kontrollstäbe fallen ein.
- Die Bespeisung der Dampferzeuger bleibt wegen Strommangels aus.
- Das Wasserinventar in den Dampferzeugern geht über die Sicherheitsventile verloren.
- Mit fallendem Wasserstand in den Dampferzeugern beginnt die Temperatur im Reaktorkühlsystem wegen des schlechter werdenden Wärmeübergangs an den Heizrohren langsam zu steigen.
- Wenn die Dampferzeuger leergedampft sind, steigt die Temperatur des Inventars im Reaktorkühlsystem unter der Wirkung der Nachwärme rascher an.
- Die Druckhalter-Sicherheitsventile beginnen abzublasen. Nachspeisung bleibt wegen Strommangels aus.
- Das Kühlmittelinventar nimmt ab. Der Füllstand nähert sich der Oberkante der Brennelemente.

Im Ereignisfall könnte mit einer längeren Frist als der genannten gerechnet werden, weil die Brennelemente auch dann noch ausreichend gekühlt – d.h. vor dem Beginn der Wasserstoff bildenden Hüllrohr-Wasser-Reaktion geschützt – bleiben, wenn sie sich in einem sprudelnden Wasser-Dampf-Gemisch befinden. Dieser Zustand entspricht einem tieferen nominellen Wasserstand im Reaktor-Druckbehälter.

Wenn der totale Station Blackout nicht beim Leistungsbetrieb eintritt, sondern bei einem anderen Anlagenzustand, gibt es Unterschiede:

- Solange die **Dampferzeuger voll betriebsbereit** sind, d.h. bei Hauptkühlmitteltemperaturen über 120 °C, sind zwar die Phänomene – abgesehen vom nicht mehr erforderlichen Einfallen der Kontrollstäbe – dieselben, aber die kritische Frist ist mehrfach länger. Einerseits ist das Wasserinventar in den Dampferzeugern wegen der fehlenden Dampfblasen grösser, andererseits ist die Nachwärmeentwicklung deutlich schwächer.
- Bei noch tieferen Hauptkühlmittel-Temperaturen gilt, solange das **Reaktorkühlsystem geschlossen** ist, im Wesentlichen dasselbe.
- Der **Mid-Loop-Betrieb** wird eingerichtet, wenn im Zuge eines Brennstoffwechsels oder Revisionsstillstands der Deckel des Reaktor-Druckbehälters abzuheben oder wieder aufzusetzen ist; er beansprucht während eines Revisionsstillstands etwa zwei Tage. Der Wasserstand im Reaktor-Druckbehälter ist dann zeitweise bis zu den Stutzen der Hauptleitungen abgesenkt; beide Dampferzeuger sind fast vollständig mit kaltem Wasser gefüllt. Fiele dann die Stromversorgung für die Abfahrpfade #11, #12, #13 und #14 aus, würde der Wasserstand gemäss [2] trotz der bereits stark abgeklungenen Nachwärmeentwicklung innert zwei bis drei Stunden bis zur Brennstoff-Oberkante fallen. Eine behelfsmässige Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger (Kühlmethode: Reflux-Dampfkondensation) könnte eingerichtet werden. Darüber hinaus sind Accident-Management-Massnahmen möglich (siehe 7.2.2.4)
- Beim eigentlichen **Brennelementwechsel** ist die für Massnahmen zur Verfügung stehende Frist weit länger als 72 h, denn dann ist die Reaktorgrube mit Hunderten von Kubikmetern Wasser aus dem BOTA gefüllt.

Dass der **Brennstoff im Brennelement-Lager** weit über die hier zu betrachtende Frist von 72 h hinaus mit Wasser bedeckt bleibt, ist in 4.2.1.2 erläutert.

#### 7.2.2.4 Einsatz weiterer Mittel

*Specify which (external) actions are foreseen to prevent fuel degradation: (1) Equipment already present an site, e.g. equipment from another reactor; (2) Equipment available off-site, assuming that all reactors on the same site are equally damaged; (3) Near-by power stations (e.g. hydropower, gas turbine) that can be aligned to provide power via a dedicated direct connection; (4) Time necessary to have each of the above systems operating; (5) Availability of competent human resources to make the exceptional connections; (6) Identification of cliff edge effects and when they occur.*

Die Ausführungen dieses Kapitels sind identisch zu denen in 7.2.1.4. Sofern die Stromversorgung des anderen Block verfügbar bleibt, so kann mittels Querverbindungen zum anderen Block eine Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb erstellt werden. Dabei stehen die beiden, in Tabelle 10 erstgenannten Kühlmöglichkeiten im Vordergrund.

Bei einem totalen Station Blackout in beiden Blöcken kann mit den in Tabelle 1 aufgeführten und in Tabelle 10 ausführlicher beschriebenen Abfahrpfaden #7, #8 und #9 des Accident-Managements eine Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb erstellt werden. Es handelt sich teilweise um Massnahmen, für welche Accident-Management-Vorschriften seit Jahren vorliegen und die in grösseren Abständen auch im Rahmen von Notfallübungen mit der Betriebsfeuerwehr durchexerziert werden.

Im Stillstand kann mit den in Tabelle 1 aufgeführten Abfahrpfaden #16 und #17 des Accident-Managements die Kühlung des Reaktors sichergestellt werden.

#### 7.2.2.5 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...)*

Bei besonders erschwerenden Umständen, speziell nach dem Ausfall oder der Erschöpfung der Anlagen-eigenen Mittel, kommt die Dreistufigkeit des Notfallmanagements der schweizerischen Kernkraftwerke zum Tragen, wie sie in 9.1.1.1 erläutert ist.

# 8 Ausfall der letzten Wärmesenke

*Loss of ultimate heat sink. The ultimate heat sink (UHS) is a medium to which the residual heat from the reactor is transferred. In some cases, the plant has the primary UHS, such as the sea or a river, which is supplemented by an alternate UHS, for example a lake, a water table or the atmosphere. Sequential loss of these sinks has to be considered (see c) below). - The connection with the primary ultimate heat sink for all safety and non safety functions is lost. The site is isolated from delivery of heavy material for 72 hours by road, rail or waterways. Portable light equipment can arrive to the site from other locations after the first 24 hours. - The external storage facility in Reitnau can be discussed for its operability within the first 24 hours (D1 or D2).*

*Provide a description of design provisions to prevent the loss of the UHS (e.g. various water intakes for primary UHS at different locations, use of alternative UHS, ...)*

Das KKB verfügt auslegungsgemäss über dreierlei örtlich getrennte und voneinander unabhängige Wärmesenken (siehe auch Abbildung 5):

- **Hauptwärmesenke**: Jeder Block bezieht das Hauptkühlwasser zur Kühlung der Kondensatoren der Turbogruppen direkt vom Oberwasserkanal und gibt es auf der Westseite des Maschinenhauses an die Aare ab; die Höhendifferenz sorgt für den erforderlichen Durchfluss. Zwischen den Hauptkühlwasserkanälen, die zu den beiden Kondensatoren führen, ist eine Verbindungsleitung, aus der mehrere Pumpengruppen Wasser beziehen. Darunter sind die Primären Nebenkühlwasserpumpen (PRW), welche über die Primären Zwischenkühler die Kühlung der Brennelement-Lagerbecken (Abfahrpfade #21 und #22) sowie des Reaktors beim Anfahren, Abfahren und Brennstoffwechsel (Abfahrpfade #11 und #12) gewährleisten.
- Unter dem Eingangsgebäude befindet sich der Notbrunnen. Darin sind zwei Bohrlochpumpen (LBW), deren Wasser je nach Bedarf einem oder beiden Blöcken zur Verfügung steht. Der Notbrunnen wurde eigens für den Fall der Arealüberflutung in die ursprüngliche Konfiguration der Anlagensysteme aufgenommen. Da die LBW-Pumpen die Hilfsspeisepumpen (LSN) nach Erschöpfung des Wasservorrats in den Speisewasserbehältern mit Grundwasser versorgen (und damit die Dampferzeuger) sowie eine Wärmesenke für das sekundäre Zwischenkühlsystem PKZ sind, bildet der Notbrunnen eine **erste Ersatz-Wärmesenke**. Dabei sind die beiden LBW-Pumpen redundant und können elektrisch wahlweise von beiden Blöcken versorgt werden. Die Kapazität einer LBW-Pumpe reicht dabei, um beide Blöcke gleichzeitig zu versorgen.
- Neben dem BOTA-Gebäude befindet sich der Notstandbrunnen. Die darin befindlichen beiden Bohrlochpumpen gehören zum Notstand-Brunnenwassersystem (LNB) jedes Blocks. Sie können einander dank einer fest installierten Querverbindung ersetzen. Da das NS-Brunnenwassersystem selbsttätig den Notstand-Speisewassertank auffüllt und damit zur Bespeisung der Dampferzeuger mit dem Notstand-Speisewassersystem beiträgt, stellt der Notstandbrunnen die **zweite Ersatz-Wärmesenke** jedes Blocks dar. Dabei sind die beiden LNB-Pumpen elektrisch und systemtechnisch je einem Block zugeordnet. Sie können aber über eine Querverbindung zur Versorgung des andern Blocks aufgeschaltet werden. Die Kapazität einer LNB-Pumpe reicht dabei, um beide Blöcke gleichzeitig zu versorgen.

Im Rahmen des **Accident Management** steht als Wärmesenke auch Trinkwasser oder Aarewasser zur Verfügung. Unterstützt wird dieses mit Mitteln der Betriebsfeuerwehr (Tanklöschfahrzeug, Motorspritzen) und mit Hilfeleistungslöschfahrzeugen von den benachbarten Feuerwehr-Stützpunkten in Zurzach, Brugg und Baden. Dazu kommen Motorspritzen, welche aus dem externen Lager in Reitnau herbeigeschafft werden können (siehe 9.1.3).

## 8.1 Ausfall der Hauptwärmesenke

*Loss of primary ultimate heat sink (UHS), i.e. access to water from the river or the sea*

### 8.1.1 Fristen

*Indicate for how long the site can withstand the situation without any external support before severe damage to the fuel becomes unavoidable*

Die **Kühlung des Reaktors** nach Leistungsbetrieb kann auch nach dem Ausfall der Hauptwärmesenke mindestens während der in diesem Bericht zu betrachtenden Zeitspanne weitergeführt werden. Es stehen die erste und/ oder die zweite Ersatz-Wärmesenke unbeschränkt lange zur Verfügung. Die vier redundanten Abfahrpfade #1, #2, #4 und #5 gewährleisten die Kühlung des Reaktors.

Im Stillstand der Anlage stehen nach dem Ausfall der Hauptwärmesenke immer noch die Abfahrpfade #13 und #14 des Notstandsystems zur Verfügung, welche unabhängig von der Hauptwärmesenke sind. Die Kühlung des Reaktors bliebe gewährleistet.

Zur Kühlung der **Brennelement-Lagerbecken** brauchen, wie in 4.2.1.2. erläutert, vor Ablauf des hier zu betrachtenden Zeitraums keine Massnahmen wirksam zu werden, um Brennstoffschaden zu vermeiden. Das in Kapitel 4.2.1.2 erwähnte, nachzurüstende Kühlsystem des BE-Lagerbeckens wird vom Notstand-Brunnen versorgt werden und wird damit auch von der Hauptwärmesenke unabhängig sein.

### 8.1.2 Vorsorge im Rahmen der Auslegung

*Provide information on design provisions for these situations.*

Siehe dazu die Erläuterungen am Anfang dieses Kapitels.

### 8.1.3 Einsatz weiterer Mittel

*Specify which external actions are foreseen to prevent fuel degradation: (1) Equipment already present on site, e.g. equipment from another reactor; (2) Equipment available off-site, assuming that all reactors on the same site are equally damaged; (3) Time necessary to have these systems operating; (4) Availability of competent human resources; (5) Identification of cliff edge effects and when they occur.*

Weitere Mittel sind die in Tabelle 1 aufgeführten Abfahrpfade des Accident-Managements; siehe dazu die Erläuterungen über Accident-Management-Massnahmen am Anfang dieses Kapitels. Beim Einsatz der Betriebsfeuerwehr mit ihren eigenen Mitteln wird unter normalen Verhältnissen damit gerechnet, dass die Mannschaft nach etwa einer halben Stunde auf Platz ist und dass sie nach etwa einer weiteren halben Stunde wirksame Massnahmen aufgebaut hat.

### 8.1.4 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...).*

Es sind in diesem Zusammenhang keine besonders erschwerenden Umstände erkennbar. Die erste und die zweite Ersatz-Wärmesenke werden von Systemen erschlossen, welche auslegungsgemässe Bestandteile der Anlage bilden und vom Hauptkommandoraum und/oder vom Notstandleitstand jedes Blocks aus angesteuert werden können.

## 8.2 Ausfall der Haupt- und der Ersatz-Wärmesenke

*Loss of primary ultimate heat sink (UHS) and the alternate UHS*

### 8.2.1 Fristen

*Indicate for how long the site can withstand the situation without any external support before severe damage to the fuel becomes unavoidable*

Die Kühlung des **Reaktors** kann auch nach dem Ausfall der Hauptwärme und der ersten Ersatz-Wärmesenke mindestens während der in diesem Bericht zu betrachtenden Zeitspanne weitergeführt werden. Es steht die zweite Ersatz-Wärmesenke zur Verfügung. Die zwei redundanten Abfahrpfade #4 und #5 gewährleisten die Kühlung des Reaktors.

Im Stillstand der Anlage stehen nach dem Ausfall der Hauptwärmesenke und der ersten Ersatz-Wärmesenke immer noch die Abfahrpfade #13 und #14 des Notstandsystems zur Verfügung, welche unabhängig von der Hauptwärmesenke sind. Die Kühlung des Reaktors bliebe gewährleistet.

Zur Kühlung der **Brennelement-Lagerbecken** gilt das in 8.1.1 Gesagte.

### 8.2.2 Vorsorge im Rahmen der Auslegung

*Provide information on design provisions for these situations.*

Siehe dazu die Erläuterungen am Anfang des Kapitels 8.

### 8.2.3 Einsatz weiterer Mittel

*Specify which external actions are foreseen to prevent fuel degradation: (1) Equipment already present on site, e.g. equipment from another reactor; (2) Equipment available off-site, assuming that all reactors on the same site are equally damaged; (3) Time necessary to have these systems operating; (4) Availability of competent human resources; (5) Identification of cliff edge effects and when they occur.*

Siehe dazu die Erläuterungen unter 8.1.3.

### 8.2.4 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...).*

Es sind in diesem Zusammenhang keine besonders erschwerenden Umstände erkennbar. Die zweite Ersatz-Wärmesenke wird in jedem Block von einem System erschlossen, welches einen auslegungsgemässen Bestandteile der Anlage bildet und vom Hauptkommandoraum und vom Notstandleitstand jedes Blocks aus angesteuert werden kann.

Trotzdem wird im Rahmen des Projekts AUTANOVE eine zusätzliche, automatische Nachspeisung des Notspeisewassertanks LSE aus dem Notstandbrunnen und damit aus der zweiten Ersatz-Wärmesenke geschaffen.

## 8.3 Ausfall der Hauptwärmesenke bei Station Blackout

*Loss of primary UHS with SBO/ Total-SBO*

### 8.3.1 Fristen

*Indicate for how long the site can withstand the situation without any external support before severe damage to the fuel becomes unavoidable*

Die unter diesem Titel relevanten Fristen sind dieselben wie bereits unter 7.2.1 bzw. 7.2.2 erläutert. Bestimmend ist dabei das Fehlen des Stroms zum Antrieb von Pumpen; hingegen verschlimmert der zusätzliche Ausfall der Hauptwärmesenke die Sachlage nicht.

### 8.3.2 Einsatz weiterer Mittel

*Specify which external actions are foreseen to prevent fuel degradation: (1) Equipment already present on site, e.g. equipment from another reactor; (2) Equipment available off-site, assuming that all reactors on the same site are equally damaged; (3) Time necessary to have these systems operating; (4) Availability of competent human resources; (5) Identification of cliff edge effects and when they occur.*

Siehe 7.2.1.4 und 7.2.2.4.

### 8.3.3 Vorsorge gegen besonders erschwerende Umstände

*Indicate if any provisions can be envisaged to prevent these cliff edge effects or to increase robustness of the plant (modifications of hardware, modification of procedures, organisational provisions...).*

Siehe 7.2.1.5 und 7.2.2.5.

# 9 Notfallmanagement

*Severe accident management. This chapter deals mostly with mitigation issues. Even if the probability of the event is very low, the means to protect containment from loads that could threaten its integrity should be assessed. Severe accident management, as forming the last line of defense-in-depth for the operator, should be consistent with the measures used for preventing the core damage and with the overall safety approach of the plant. - The envisaged accident management measures shall be evaluated considering what the situation could be on a site: (a) Extensive destruction of infrastructure around the plant including the communication facilities (making technical and personnel support from outside more difficult); (b) Impairment of work performance (including impact on the accessibility and habitability of the main and secondary control rooms, and the plant emergency/crisis centre) due to high local dose rates, radioactive contamination and destruction of some facilities on site; (c) Feasibility and effectiveness of accident management measures under the conditions of external hazards (earthquakes, floods); (d) Unavailability of power supply; (e) Potential failure of instrumentation; (f) Potential effects from the other neighbouring plants at site.*

## 9.1 Übergreifende Aspekte

*Accident management generic issues. As an overview here and, when applicable, specifically under 9.2 to 9.5 the following aspects have to be described and assessed:*

### 9.1.1 Organisation

*Organisation of the licensee to manage the situation, including: (1) Staffing, resources and shift management; (2) Use of off-site technical support for accident and protection management (and contingencies if this becomes unavailable); (3) Procedures, training and exercises*

#### 9.1.1.1 Personelle Mittel

Die Notfallorganisation am Kraftwerkstandort hat eine zentrale Stellung im Notfallmanagement der schweizerischen Kernkraftwerke, welches drei Stufen vorsieht:

1. Stufe: Autonomie des betroffenen Kraftwerks unter Nutzung seiner eigenen, in der Anlage fest installierten Mittel (siehe 4.1.2.2)
2. Stufe: Einsatz mobiler Mittel wie zum Beispiel der Feuerwehr oder mobiler Notstromaggregate sowie Unterstützung durch das Material im externen Lager (siehe 9.1.3) und in weiteren Beständen
3. Stufe: Hilfeleistung durch die anderen schweizerischen KKW sowie Unterstützung durch weitere Organisationen

Die Zuständigkeit der Notfallorganisation am Kraftwerkstandort beschränkt sich auf Massnahmen am Standort selbst. Für Massnahmen ausserhalb des Standorts ist die Einsatzorganisation des Bundes bei erhöhter Radioaktivität (EOR) zuständig.

Bei Notfällen wird die primäre Organisationsstruktur am Kraftwerkstandort des KKB durch das **Notfallreglement** festgelegt. Wie bereits in 4.1.2.2 erläutert, wird bei Notfällen der **Notfallstab** aufgeboten und mit ihm die ganze **Notfallorganisation**. Nach einer Notfallalarmierung geht die Linienorganisation des KKB in eine Notfallorganisation über. Sie setzt sich zusammen aus dem Notfallleiter, dem Notfallstab und weiteren Notfallorganen. Sie umfasst insgesamt über 400 Personen.

**Notfallleiter** ist anfänglich der auf dem Areal Dienst tuende Pikettingenieur, der bei Unregelmässigkeiten von einem Dienst tuenden Schichtchef herbeigeholt wird, die Sachlage beurteilt und entscheidet, ob ein Notfall vorliegt, d.h. dass ein Notfallalarm abzusetzen ist. Wenn sich der Notfallstab ein erstes Mal versammelt und die Sachlage seinerseits beurteilt hat, übernimmt er das weitere Notfall-Management; die Notfallleitung geht dann in der Regel an den Kraftwerksleiter über.

Der **Notfallstab** setzt sich zusammen aus den Abteilungsleitern und weiteren Mitgliedern der Internen Sicherheitskommission sowie dem Ressortleiter Werkschutz und dem Leiter „Kommunikation" der AXPO Holding AG. Der Notfallstab berät den Notfallleiter in allen Fragen, welche die Sicherheit der Anlage, der Personen und der Umwelt im Notfall betreffen. Ferner haben die Mitglieder des Notfallstabs eine Führungsfunktion gegenüber den ihnen fachlich unterstellten Einsatzelementen.

Der Notfallstab begleitet die Massnahmen der Betriebsabteilung überwachend und bearbeitet Belange, welche die Kraftwerksanlage als Ganzes in ihrem Umfeld betreffen; er hält auch Kontakt mit der Aufsichtsbehörde.

Zu den **Notfallequipen** gehören die Dienst habende Schicht, die Betriebswache, die Betriebsfeuerwehr, die Betriebssanität, die Spezialisten des Strahlenschutzes sowie die Notfall-Pikettgruppen der Fachabteilungen. Sie führen die Aufträge der Notfallleitung aus und erstatten Meldung über deren Ausführung und eventuell aufgetretene Komplikationen.

#### 9.1.1.2 Zusammenarbeit mit externen Experten

Es besteht ein Zusammenarbeitsvertrag mit dem europäischen Büro des Reaktorlieferanten Westinghouse. Dieses hält in Belgien ein Notfallzentrum mit Fachspezialisten auf Pikett; dieses kann nötigenfalls mit Notfallspezialisten am Hauptsitz der Firma Westinghouse in Pittsburgh (USA) Rücksprache nehmen. Siehe auch 9.1.7, Kommunikation und Information.

#### 9.1.1.3 Vorschriften, Ausbildung und Übungen

Als übergeordnete, **administrative Wegleitung** für den Notfallstab regelt die **Notfallanweisung** NA-K-01 [21] die Aufgabe und Pflichten der Notfallorgane. Diese ist auch bei einem technischen Notfall die administrative Wegleitung für die Notfallorganisation.

Für die technische Beherrschung eines Störfalls bilden die folgenden Vorschriften und Richtlinien ein integriertes Paket, welches auch in der Abbildung 6 dargestellt ist:

- Die **Notfallvorschriften** (Emergency Operating Procedures, [26], NV-B...) der Schichtmannschaft enthalten alle relevanten Anweisungen zur Kühlung des Reaktors mit Systemen, welche in der Anlage fest installiert sind. Die Notfallvorschriften werden dabei sowohl bei Auslegungsstörfällen als auch bei Notfallmassnahmen zur Wiederherstellung der Kernkühlung (vorbeugendes Accident-Management) eingesetzt. Die Verantwortung für die Abarbeitung der Notfallvorschriften liegt bei der Notfallequipe Schicht, während der Notfallstab nur eine Überwachungsfunktion innehat.

  Die Notfallvorschriften basieren auf den generischen Emergency Response Guidelines des Reaktorlieferanten Westinghouse. Dabei werden ereignisorientierte Vorschriften ergänzt durch symptomorientierte Prozeduren, die sogenannten kritischen Sicherheitsfunktionen.

Im Notstand-Leitstand der Notstandsysteme sind zusätzliche Vorschriften vorhanden, welche die spezielle Bedienung der Notstand-Systeme regeln. Ebenfalls sind Notfallvorschriften für Stillstandszustände vorhanden.

- Die **Unfallbegrenzungsrichtlinien** (Severe Accident Management Guidelines, SAMG, [27], UR-R/B...) kommen zum Einsatz, wenn die Mittel zur Kernkühlung erschöpft sind. In diesem Fall geht die Strategie über zu derjenigen des lindernden Accident-Managements, d.h. der Begrenzung der Folgen des schweren Unfalls. In diesem Fall übernimmt der Notfallstab die operative Leitung. Die Notfallvorschriften der Schichtmannschaft werden ersetzt durch die genannten Richtlinien. Dabei entscheidet der Notfallleiter, unterstützt von einem speziellen Evaluationsteam und auf Antrag des Notfallstabs, über die durchzuführenden Massnahmen, welche dann durch die Schichtmannschaft auszuführen sind.

  Die Unfallbegrenzungsrichtlinien sind eine KKB-spezifische Umsetzung der generischen SAMGs der Westinghouse Owners Group mit gewissen Abweichungen vom generischen Konzept im Bereich Wasserstoffkontrolle. Sie wurden im KKB mit Unterstützung von Westinghouse Europe zusätzlich auf Stillstandszustände und auf die Kühlung der Brennelement-Lagerbecken erweitert.

  Die Unfallbegrenzungsrichtlinien basieren auf einem klaren Plan, welcher die Strategien und Prioritäten des lindernden Accident-Managements regelt. Gleichzeitig präsentieren sie dem Notfallstab fallweise die Vor- und Nachteile jedes Vorgehensentscheids zur Erwägung. Auch berücksichtigen sie, dass die Anzeigen gewisser Messgrössen in einer Unfallsituation ausgefallen sein können.

  Die Unfallbegrenzungsrichtlinien verfolgen dabei ein vierstufiges Ziel:
  - Kernschmelzen vermeiden (inkl. BE im BE-Lagerbecken),
  - eingetretenes Kernschmelzen stoppen,
  - den Einschluss radioaktiver Stoffe im Containment sicherstellen,
  - die Freisetzung radioaktiver Stoffe begrenzen.

  Dabei werden die in den Tabellen 11 und 12 aufgeführten Richtlinien und Strategien verfolgt. In Tabelle 11 sind die Strategien gemäss dem so genannten Diagnoseplan aufgeführt, welcher vorab zur Anwendung kommt. Liegt aber eine besonders schwerwiegende Gefährdung vor, so werden prioritär die Massnahmen des Gefährdungs-Statusbaums gemäss Tabelle 12 durchgeführt. Der Umfeld-Diagnoseplan und der Gefährdungs-Statusbaum definieren abgestufte, messbare Kriterien zum Übergang auf eine Richtlinie.

- Zur Unterstützung der Massnahmen sowohl des vorbeugenden Unfallmanagements gemäss den Notfallvorschriften wie des lindernden Accident-Managements gemäss den Unfallbegrenzungsrichtlinien kann die Notfallorganisation auf den Komplex der **Accident-Management-Vorschriften** (AM-R-... [28]) zugreifen. Diese Vorschriften regeln den Einsatz mobiler Mittel wie diejenigen der Feuerwehr oder mobiler Notstrom-Aggregate zur Unterstützung der Sicherheitsfunktionen, wie sie im Rahmen des Unfallmanagements benötigt werden.

  Die Accident-Management-Vorschriften sind eine Eigenentwicklung des KKB. Sie regeln die vielen verschiedenen KKB-spezifischen Einsatzmöglichkeiten mobiler Mittel, wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind.

Für die Durchführung von **Notfallübungen** ist in erster Linie die ENSI-Richtlinie B11 massgebend. Sie enthält verbindliche Vorgaben für die systematische Planung, Durchführung und Auswertung von Notfallübungen. Übergeordnet gelten verschiedene Verordnungen des Bundes, beispielsweise die Verordnung über die Einsatzorganisation bei erhöhter Radioaktivität (VEOR).

Gemäss Notfall-Reglement ist im KKB das **Arbeitsteam** Notfallvorsorge unter Leitung des Beauftragten für Notfallvorsorge federführend. Es besorgt die Erfahrungsauswertung und die Aktualisierung von Notfallkonzept, -dokumentation und -infrastruktur. Wesentliche Änderungen am Konzept werden vom Kraftwerksleiter beschlossen, der sich dabei von der Internen Sicherheitskommission beraten lässt.

Jährlich einmal ist eine Notfallübung unter Beobachtung durch das ENSI durchzuführen. Innerhalb von vier Jahren muss jedes Element der Notfallorganisation mindestens einmal im Rahmen der ganzen Notfallorganisation üben. In grösseren Zeitabständen beteiligen sich neben der Anlagen-internen Notfallorganisation auch die Notfallorgane des Bundes im Rahmen ihrer Pflichtenhefte aktiv an einer Notfallübung.

In den **Szenarien** der Notfallübungen müssen, über einen längeren Zeitraum betrachtet, alle im Notfallreglement definierten Notfallarten vorkommen; technische Notfälle, die von einem technischen Anlagenschaden ausgehen, werden häufiger berücksichtigt. Aber auch beispielsweise Drohung, Erpressung, Geiselnahme, werden beübt.

Die Szenarien der Notfallübungen erstrecken sich grundsätzlich bis zu den letzten Stufen des **Prinzips der gestaffelten Sicherheit**. Dabei wird besonderes Gewicht auf Handmassnahmen und das vorbeugende Accident-Management gelegt. Bei Szenarien mit äusseren Einwirkungen (Erdbeben, Flut) werden jeweils beide Blöcke als betroffen angenommen.

Neben den Notfallübungen erfolgt die Ausbildung für die Angehörigen der Notfallorganisation auf der Basis eines **Ausbildungsprogramms** für den Notfallleiter, den Notfallstab und seine Sekretäre, den Teilstab „Severe Accident Management", die Pikettingenieure, die technischen Stäbe und die Notfallequipen. Ein entsprechender Arbeitsplan ist festgelegt. Themen sind beispielsweise: die Ermittlung eines Quellterms anhand von Messwerten der vorhandenen Störfallinstrumentierung, Fluchtwege, Schutzmassnahmen, die Prozeduren zur Information der Aufsichtsbehörde und der Nationalen Alarmzentrale. Für diejenigen Notfallequipen, die sich ausschliesslich aus Spezialisten der Fachabteilungen zusammensetzen, legen die Abteilungsleiter das Ausbildungsprogramm fest.

Die Ausbildung der **Betriebsfeuerwehr** erfüllt die Mindestanforderungen des Aargauischen Versicherungsamts; sie wird entsprechend inspiziert. Der Feuerwehrkommandant arbeitet ein Ausbildungsprogramm aus, das den örtlichen und gefahrenmässigen Besonderheiten des KKB Rechnung trägt. Das Programm ist von der Feuerwehrkommission des KKB zu genehmigen. Die Feuerwehr übt periodisch auch den Vollzug von Accident-Management-Vorschriften.

### 9.1.2 Zugriff auf vorhandene Ausrüstungen

*Possibility to use existing equipment*

Den Notfallorganen stehen im Notfall die folgenden Ausrüstungen zur Verfügung, mit denen sie aufgrund ihrer alltäglichen Arbeit oder dank Schulung und Übungen vertraut sind:

- Die Dienst tuende Schicht verfügt über die von den Leitstellen (Hauptkommandoraum, Notstandleitstand) aus oder vor Ort steuerbaren systemtechnischen Ausrüstungen mechanischer, elektrotechnischer und messtechnischer Art.
- Die Anzeigen der zahlreichen Messfühler stehen dank dem Anlageninformationssystem (ANIS) auch ausserhalb der Hauptkommandoräume und Notstandleitstände an mehreren Orten im Kraftwerksareal zur Verfügung, insbesondere auch in Räumen des Notfallstabs.

- Die Betriebsfeuerwehr verfügt über Tanklöschfahrzeuge, Motorspritzen, Schläuche, Pioniermaterial usw. Dazu kommen persönliche Schutzausrüstungen, beispielsweise Atemschutzgeräte. Alles für Accident-Management notwendige Material und Gerät ist ab Sommer 2011 im Freien und ab Herbst 2011 in speziellen, erdbebensicheren und winterfesten Hallen innerhalb und ausserhalb des Anlagen-Perimeters gelagert.
- Die Strahlenschutzspezialisten verfügen über Schutzanzüge in grosser Zahl, über Schutzmasken, über Abschirmmaterialien, über Dekontaminationsmittel sowie über zahlreiche Dosimeter und weitere Messgeräte für radiologische Messungen (Personen, Objekte, Luft) mitsamt den für die Protokollierung von Dosen erforderlichen Hilfsmitteln. Auch für einen Teil dieses Material werden die erwähnten Hallen zur Verfügung stehen.
- Die Notfallequipe der Abteilung Dienste verfügt über externe Kommunikationsmittel (Notfallzentrale mit Telefon, Fax), soweit es sich nicht um Datenübertragungsleitungen (ANPA, ANIS) handelt.
- Die Betriebssanität verfügt unter anderem über Ausrüstungen für die Erste Hilfe, Bergungsmittel (Bahren, Schlitten, Decken) und für die Wiederbelebung Verschütteter.
- Die Instandhaltungs-Fachspezialisten der Abteilungen Maschinentechnik (KBM) und Elektrotechnik (KBE) haben Zugriff auf die Werkzeuge und Hilfsmittel, die sie täglich oder bei Revisionsstillständen innerhalb und ausserhalb der kontrollierten Zone benötigen. Dazu kommen bei KBM Hilfsmittel für die Handhabung schwerer Objekte, d.h. Bergungsmaterial.
- Die Fach-Spezialisten der Abteilung Elektrotechnik bilden zwei Notfall-Equipen: ‚Starkstrom', auch zuständig für die Handhabung der mobilen Notstromaggregate, und ‚Leittechnik'. Auch sie greifen auf ihre täglich benützten Werkzeuge und Hilfsmittel zurück.

Zur Instandhaltung dieser Ausrüstungen siehe 4.1.3.

### 9.1.3 Einsatz anlagenexterner Mittel – das externe Lager in Reitnau

*Provisions to use mobile devices (availability of such devices, time to bring them on site and put them in operation, accessibility to site)*

Aufgrund der ENSI-Verfügung vom 18. März 2011 ist in Reitnau LU ein externes Lager mit Material und Ausrüstungen zur Milderung der Folgen Auslegungsüberschreitender Unfälle in einem schweizerischen Kernkraftwerk eingerichtet und anfangs Juni 2011 in Betrieb genommen worden. Es ist jederzeit einsatzbereit.

In einer **zweiten Phase**, d.h. bis Ende Januar 2012, werden an jedem Kraftwerkstandort:
- die Schulungs- und Wartungsdokumentation erstellt und
- die Arbeitsabläufe für die Inanspruchnahme von Material und Ausrüstungen aus dem externen Lager in die bestehende Notfallorganisation und -dokumentation eingebunden.

In Reitnau selbst werden in dieser zweiten Phase
- die definitive Betriebsorganisation festgelegt und eingesetzt,
- die der anfänglichen Dotation mit Material und Ausrüstungen zu Grunde gelegten Annahmen überprüft und
- allfällige Anpassungen des Lagerkonzepts und der Anlagendokumentation festgelegt und umgesetzt.

Das **Sortiment von Material und Ausrüstungen**, das in Reitnau bereitliegt, erweitert die an den Kraftwerk-Standorten vorhandenen Einsatzmittel
- zur Abfuhr der Nachzerfallswärme,
- zur Wiederherstellung einer minimalen elektrischen Notstromversorgung,
- zur Überwachung der radiologischen Verhältnisse,
- zur Brandbekämpfung,
- für erste Reparatur-, Instandsetzungs-, Räumungs- und Bergungstätigkeiten.

Der **Dotierung des Lagers Reitnau** liegen die folgenden Rahmenbedingungen und Annahmen zugrunde:

- Die Betriebsmannschaften im betroffenen Werk und im externen Lager sind einsatzbereit.
- Der Landweg zum betroffenen Werk ist nicht verfügbar. Daher erfolgt die Anlieferung per Helikopter
- Am betroffenen Standort ist kein Einsatzmaterial mehr verfügbar.
- Das betroffene Werk hat weder Netzanspeisungen noch Notstromversorgung noch Notstand-Stromversorgung.
- Am betroffenen Standort sind die Anschlüsse für die Feuerwehr und andere Systeme für Accident-Management-Massnahmen intakt.
- Am betroffenen Standort ist Wasser in genügenden Mengen verfügbar. Nur in Ausnahmefällen soll es nötig sein, dass Wasser mit Helikoptern herantransportiert werden muss.

Für den Abruf der eingelagerten Materialien und Ausrüstungen besteht ein **Alarmierungskonzept**, welches in das vorhandene, landesweit wirksame Notfall-Alarmierungskonzept eingebunden ist.

### 9.1.4 Logistik für Betriebsstoffe

*Provisions for and management of supplies (fuel for diesel generators, water...)*

Siehe 7.1.3

### 9.1.5 Freisetzung radioaktiver Stoffe

*Management of radioactive releases, provisions to limit them*

Die Abluft aus der (bezüglich Strahlenschutz) kontrollierten Zone jedes Blocks wird, solange die Abluftventilatoren auslegungsgemäss arbeiten, über kontrollierte Pfade abgegeben. Abgabepunkt ist die Mündung des Fortluftkamins, der neben der zylindrischen Wand des Sicherheitsgebäudes bis auf eine Höhe von etwa 45 m über Grund hochgezogen ist. Dort werden Luftströme wie folgt freigesetzt:

- Luft aus verschiedenen Strängen der kontrollierten Zone der Nebengebäude, nachdem sie Schwebstofffilter durchströmt hat,
- Luft aus dem Lagerbereich des BE-Lagergebäudes, nachdem sie entweder Schwebstofffilter oder einen vom Operateur zugeschalteten Aktivkohlefilter durchströmt hat,
- Luft aus der kontrollierten Zone des Notstandgebäudes, nachdem sie einen Schwebstofffilter und eventuell einen vom Operateur zugeschalteten Aktivkohlefilter durchströmt hat,
- gegebenenfalls ein Gas/Dampf-Gemisch aus dem System für die gefilterte Sicherheitsgebäude-Druckentlastung (SIDRENT).

Das in den Jahren 1992/93 in Betrieb genommene System zur gefilterten Druckentlastung (Abfahrpfad #38 in Tabelle 1) ist speziell für auslegungsüberschreitende Störfälle konzipiert. Es stellt sicher, dass das Primärcontainment (Stahldruckschale) nicht unter zu hohem Innendruck birst und dass nicht radioaktive Stoffe unkontrolliert freigesetzt werden. Bei einem den Auslegungsdruck übersteigenden Überdruck öffnet eine Berstscheibe einen Freisetzungspfad, in den ein Nasswäscher eingebunden ist. Der Letztgenannte reduziert auslegungsgemäss im durchtretenden Gas/Dampf-Gemisch die Konzentration an Aerosolen auf 1/1000 und diejenige an elementarem Iod auf 1/100.

Dieses gefilterte Druckentlastungssystem kann auch ferngesteuert, bei totalem Stromausfall auch örtlich, geöffnet werden. So ergibt sich beim Notfall-Management die Möglichkeit, den Zeitpunkt der Freisetzung radioaktiver Stoffe den meteorologischen Bedingungen (Wind, Regen) anzupassen und die damit verbundene Kontamination von Landflächen zu minimieren.

### 9.1.6 Personendosen

*Management of workers' doses, provisions to limit them*

Das mit Vor-Ort-Massnahmen des Notfall-Managements im Innern der Gebäude beauftragte Personal ist Strahlenbelastungen aus zwei Quellen ausgesetzt:

- luftgetragene Kontamination: Als Schutzmassnahmen sind Schutzanzüge vorhanden, welche im KKB-Areal gelagert sind oder aus dem externen Lager in Reitnau (siehe 9.1.3) herantransportiert werden können.
- Direkt-Strahlung: Schutzmassnahme gegen das im Primärcontainment eingeschlossene radioaktive Gasvolumen ist in erster Linie die Distanz und die Gebäudewände; zum Aufbau temporärer Abschirmungen wird im Ereignisfall vermutlich die Zeit fehlen. Eine in den Neunzigerjahren ausgearbeitete so genannte Post-LOCA-Studie gibt Auskunft über das Strahlenfeld, das an denjenigen Stellen im Innern der Nebengebäude zu erwarten ist, wo Operateur-Interventionen erforderlich werden könnten.

Für die Schichtmannschaft und den Notfallstab bietet zusätzlich das Notstand-Gebäude mit seiner Betonwandstärke von 1,0 m und mit seiner gefilterten Luftzufuhr einen grossen Schutz gegen Strahlung.

Im Anforderungsfall messen Messequipen des Strahlenschutzes die tatsächlichen Strahlenfelder vor Ort aus. Ihr Einsatz kann sich auch auf Orte ausserhalb der Kraftwerksgebäude erstrecken. Sie liefern dem Notfallstab Anhaltspunkte zum Abwägen der Vertretbarkeit und der Vor- und Nachteile von Vor-Ort-Massnahmen. Sie kommen auch zum Einsatz, wenn die Abluftventilatoren der kontrollierten Zone nicht mehr funktionieren und daher mit dem Austritt kontaminierter Luft aus irgendwelchen Undichtheiten der Gebäudehüllen, auch auf tieferen Koten, zu rechnen ist.

Zur Messung von Individualdosen stehen Dosimeter zur Verfügung, welche mit handelsüblichen Batterien betrieben werden.

### 9.1.7 Kommunikation und Information

*Communication and information systems (internal, external)*

**Im KKB-Areal** sind mehrere Kommunikationsanlagen vorhanden, deren Erdbeben- und Flutfestigkeit unterschiedlich ist:

- eine Anlagen-weite Telefonanlage, die aus einer Festnetz- und einer Cordlessanlage besteht; die Geräte der Cordlessanlage dienen auch zur Alarmierung ihrer Träger,
- drei Anlagen-interne Funkanlagen für die Kontakte zwischen Angehörigen der Betriebsmannschaft im Hauptkommandoraum und im Areal sowie für die Zwecke der Betriebswache sowie der Feuerwehr,
- eine Alarmierungsanlage zum Alarmieren der im Areal befindlichen Mitglieder der Notfallorganisation mit elektroakustischen Signalen (Feueralarm, technischer Notfallalarm, Containment-Evakuierungsalarm),
- eine Alarmdurchsage-Anlage mit Lautsprechern in Gängen und Räumen,
- eine Gegensprechanlage („GSA-Notfallkreis") mit fest installierten Sprechstationen in verschiedenen Räumen der Notstandgebäude, in den Hauptkommandoräumen, in der Sicherungszentrale und im Notfallstab-Versammlungsraum,
- die so genannte Unterhaltsschlaufe mit fest installierten Anschlussdosen, an denen Sprechgeräte (Stanofone) mit Steckern angeschlossen werden können, wobei sich die Anschlussdosen (mit insgesamt vier Kanälen) vor allem bei grösseren mechanischen Komponenten, in Leittechnikräumen und Leitständen befinden.

**Externe Verbindungen** sind – abgesehen vom landesweiten Natel-Netz – wie folgt vorhanden:

- die oben erwähnte Telefonanlage, die mit Lichtwellenleitern an nahe Telefonzentralen angeschlossen ist,
- speziell für Notfallsituationen: direkte Amtsanschlüsse in den Kommunikationsräumen der Notstandgebäude, in den Hauptkommandoräumen und in den Notstandleitständen, wobei gewisse Leitungen für eingehende und andere für ausgehende Gespräche reserviert sind,
- Fax-Anschlüsse (einzelne nur abgehend) in den Kommunikationsräumen,
- Anschlüsse an das KKW-Mietleitungsnetz, das alle schweizerischen Kernkraftwerke, die Aufsichtsbehörde ENSI und die Nationale Alarmzentrale verbindet,
- Empfangsmöglichkeiten für Radio und Fernsehen in den Notstandleitständen, in den Notfallstab-Versammlungsräumen und in den Hauptkommandoräumen,
- Ein Satelliten-Telefon steht ebenfalls zur Verfügung.

Zusammen mit dem KKW Leibstadt ist das KKB an ein externes System zur raschen Mobilisation mittels Telefon (SMT) angeschlossen. Dieses System erlaubt die schnelle simultane Mobilisation der Mitglieder interner und externer Notfallorganisationen.

Das unter 9.1.1.2 beschriebene Notfallzentrum in Belgien wird über eine Datenübertragungsleitung mit aktuellen Messwerten aus dem Anlageninformationssystem (ANIS) des KKB auf dem Laufenden gehalten.

Die Aufsichtsbehörde ENSI erhält über eine spezielle Datenübertragungsleitung (ANPA – Anlageparameter) Einsicht in relevante, aktuelle Messwerte des Anlageninformationssystems.

### 9.1.8 Vorsorge für die Spätphase

*Long-term post-accident activities*

Wenn ein Notfall im Rahmen der Notfallvorschiften unter Kontrolle gebracht ist, konzentrieren sich die Festlegungen des Notfallstabs darauf, den Reaktor in einen kalt-unterkritischen Zustand mit gesicherter Nachwärmeabfuhr zu bringen, falls dieser nicht schon erreicht ist. Die weiteren Massnahmen wird der Notfallstab situativ planen. Beispiele von möglichen Massnahmen sind:

- die Vorräte an Treibstoff, Kaltkondensat, Borwasser und anderen Betriebsmitteln ergänzen zu lassen,
- mit chemischen und radiologischen Untersuchungen das Schadensausmass genauer zu ermitteln,
- die Gefährdung durch örtliche Ansammlungen von Wasserstoff abklären zu lassen,
- die Einsatzbereitschaft von Rettungs- und Bergungsmannschaften wiederherzustellen,
- die Begehbarkeit der Anlage soweit nötig und trotz allfälliger örtlicher Kontaminationen und Leckstellen mit radioaktiven Substanzen sicherzustellen, wozu auch die Wiederbesetzung eines vorübergehend verlassenen Hauptkommandoraums gehören kann,
- Entscheide betreffend die Vornahme wichtiger Reparaturen trotz beschränkter Möglichkeiten zu treffen.

Bei einem schweren Reaktorunfall mit der Anwendung von Unfallbegrenzungsrichtlinien regelt nach deren Beendigung die spezielle UR-R-SAEG-2 das weitere Vorgehen.

Weitere Massnahmen für die Spätphase sind vom Notfallstab in Absprache mit den anderen schweizerischen Werken, mit Reaktorlieferanten, mit der Einsatzorganisation des Bundes bei erhöhter Radioaktivität, mit der Aufsichtsbehörde etc. ad hoc festzulegen.

### 9.1.9 Arbeits- und Aufenthaltsbedingungen

*Conditions that would prevent staff from working in the main or secondary control room as well as in the plant emergency/crisis centre and what measures could avoid such conditions to occur.*

Innerhalb des KKB sind auslegungsgemäss die folgenden Massnahmen getroffen, um die Leitstellen mit der Dienst tuenden Betriebsmannschaft und die Arbeitsplätze des Notfallstabs zu schützen:

- Die Normalbetriebs-Zuluftleitungen zu den Hauptkommandoräumen werden geschlossen, sobald der (funktionsbereite) Aktivitätsmonitor in der Zuluftleitung zum Notstandgebäude desselben Blocks erhöhte Radioaktivität feststellt. Die Frischluftzufuhr geschieht anschliessend über einen Aktivkohlefilter, der radioaktive Partikel zurückhält.
- Die Zuluftleitungen zu jedem Notstandgebäude werden automatisch geschlossen, sobald der bereits erwähnte Aktivitätsmonitor erhöhte Radioaktivität feststellt. Die Frischluftzufuhr zur nicht-kontrollierten Zone im Gebäude geschieht anschliessend über Aktivkohlefilter. Damit werden der Notstandleitstand (d.h. die Betriebsmannschaft) und der Ersatznotfallraum (der Notfallstab) des betreffenden Blocks gegen Dosen aus radioaktiven Partikeln geschützt.

## 9.2 Ausfall der Reaktorkühlung

*Accident management measures for the loss of the core cooling function*

### 9.2.1 Massnahmen nach heutigem Konzept

*Describe the accident management measures currently in place at the various stages of a scenario of loss of the core cooling function: (1) Before occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel; (2) Last resorts to prevent fuel damage; (3) Elimination of possibility for fuel damage in high pressure scenarios; (4) After occurrence of fuel damage in the reactor pressure vessel; (5) After failure of the reactor pressure vessel.*

Der Ausfall der Reaktorkühlung und deren Wiederherstellung ist relevant nach einem Störfall mit Verlust von Kühlmittel aus dem Reaktorkühlsystem. Letzteres kann nebst einem direkten Kühlmittelverlust auch durch den Ausfall der Nachwärmeabfuhr über die ordentlichen Abfahrpfade (siehe Tabelle 1) verursacht werden, was wiederum die Folge eines beliebigen Störfalls sein kann.

Das Konzept der verschiedenen Vorschriften und Richtlinien des Unfallmanagements ist beschrieben im Kapitel 9.1.1.3 und dargestellt in Abbildung 6.

Als Erstes arbeitet die Dienst tuende Schicht (der Operateur) gemäss den **Notfallvorschriften**, während ein Notfallalarm ausgegeben wird. Konkret arbeitet der Operateur im Ereignisfall vorerst die Notfallvorschriften der obersten Ebene (NV-B-E-0 und -E-1) ab und geht dann je nach Entwicklung der Sachlage auf weitergehende Vorschriften über (NV-B-ES-..., -ECA-..., -FR-...). Bei Erfolg nimmt er schliesslich die in Betrieb genommenen Sicherheitsausrüstungen wieder ausser Betrieb und wendet wieder die Betriebsvorschriften für den Normalbetrieb an.

Bei Misserfolg, das heisst dem Ausfall der Kernkühlung, sind drei Fälle zu unterscheiden:

a) Totaler Station-Blackout: Die Schicht geht zur Notfallvorschrift NV-B-ECA-0.0 über.

b) Es ist an mindestens einer 6-kV-Schiene Spannung vorhanden, ohne LOCA: Die Schichtmannschaft geht beim Ausfall der Nachwärmeabfuhr primär gemäss der Notfallvorschrift NV-B-FR-H.1 vor.

c) Es ist an einer 6-kV-Schiene Spannung vorhanden, mit LOCA: Massgebend ist primär die Notfallvorschrift NV-B-FR-C.2, wenn diese nicht zum Erfolg führt die NV-B-FR-C.1.

In diesen drei Fällen wird der Operateur wie folgt auf Accident-Management-Massnahmen verwiesen:

a) Bei totalem Station-Blackout in Notfallvorschrift NV-B-ECA-0.0:
   - in Schritt 4 auf SV-B-BV.-NA zur Erstellung einer 6-kV-Querverbindung zum NS-Diesel des anderen Blocks
   - in Schritt 18 nach Rücksprache mit der Notfallleitung auf die Erstellung einer DE-Bespeisung vom Notspeisewassersystem LSE des andern Blocks
   - in Schritt 21 nach Rücksprache mit der Notfallleitung auf die Erstellung einer Niederdruck-DE-Bespeisung ab Speisewasserbehälter und Verwendung des darin enthaltenen Drucks (Abfahrpfad #7 von Tabellen 1 und 10)
   - in Schritt 21 nach Rücksprache mit der Notfallleitung auf die Erstellung einer Niederdruck-DE-Bespeisung mittels einer Feuerwehrpumpe gemäss AM-R-LSE-2 oder AM-R-LSN-1 (Abfahrpfad #9 von Tabellen 1 und 10),

b) bei vorhandener Spannung an einer 6-kV-Schiene ohne LOCA in NV-B-FR-H.1 in Schritt 15 nach Rücksprache mit der Notfallleitung auf die Erstellung einer Niederdruck-DE-Bespeisung mittels einer Feuerwehrpumpe gemäss AM-R-LSE-2 oder AM-R-LSN-1 (Abfahrpfad #9 von Tabellen 1 und 10),

c) bei vorhandener Spannung an einer 6-kV-Schiene mit LOCA in NV-B-FR-C.2 in Schritt 15 nach Rücksprache mit der Notfallleitung auf die Erstellung einer Einspeisung von Borwasser aus dem BE-Lagerbecken in den Reaktor mittels einer Feuerwehrpumpe gemäss AM-R-JRC-1.

Somit wird der Operateur auch während er Notfallvorschriften abarbeitet zum Komplex der **Accident-Management-Vorschriften** geleitet, damit die Kühlung des Reaktors mit mobilen Mitteln und mit Unterstützung der Betriebsfeuerwehr sichergestellt werden kann.

Dabei stehen die folgenden Accident-Management-Vorschriften im Vordergrund:
- AM-R-LSN-1, Löschwasserbespeisung der Dampferzeuger über das LSN-System
- AM-R-LSE-2, Löschwasserbespeisung der Dampferzeuger über die LSE-Querverbindung
- AM-R-JRC-1, Borwasserbespeisung des Reaktorkühlsystems.

Auch der Notfallleiter kann die Implementierung einer derartigen Accident-Management-Vorschrift anordnen, beispielsweise die Aufschaltung eines mobilen 890kW-Notstromaggregats zur Versorgung eines Teils der Notstandsysteme (AM-R-BVA-1) und zur Sicherstellung der Kernkühlung gemäss Abfahrpfad #8 in den Tabellen 1 und 10.

Bei Misserfolg der oben genannten Massnahmen, d.h. nach dem Erreichen von Übergangskriterien (siehe 9.2.2), muss der Operateur zu den Unfallbegrenzungsrichtlinien wechseln.

Damit übergibt die Schichtmannschaft die Verantwortung für das weitere Notfallmanagement definitiv dem Notfallleiter, der – unterstützt vom Notfallstab und einem speziellen Evaluationsteam – im Wesentlichen anhand der **Unfallbegrenzungs-Richtlinien**, d.h. mit den Mitteln der Severe-Accident-Management Guidelines, weitere Massnahmen anordnen wird.

Unter den Unfallbegrenzungs-Richtlinien sind an dieser Stelle vorerst relevant (siehe Tabelle 11):
- UR-R-SAG-1: Bespeisung der Dampferzeuger (um die Nachwärmeabfuhr wieder in Gang zu bringen und die mögliche Leckage aus dem Primärkreislauf durch Abblasen aus Sicherheitsventilen zu stoppen),
- UR-R-SAG-2: Druckabsenkung im Reaktor (um ein allfälliges Bersten des Reaktor-Druckbehälters unter hohem Innendruck zu vermeiden und um eine Niederdruck-Einspeisung in den Reaktor zu ermöglichen),

- UR-R-SAG-3: Bespeisung von Reaktor und Reaktorbecken (mit derselben Zielsetzung wie bei der oben erwähnten AM-R-JRC-1).

Ist aber damit zu rechnen, dass im Reaktor örtlich Brennelemente geschmolzen sind (d.h. eine partielle Kernschmelze eingetreten ist), besteht ein Interesse, im Containment eine Wasservorlage zur externen Kühlung des Reaktor-Druckbehälters vorzubereiten, welche das Durchschmelzen des RDB und damit den Verlust einer Schutzbarriere vermeiden soll. Das Letztere ist eine Zielsetzung der UR-R-SAG-4, Bespeisung des Containments. Ein vollständiges Fluten des Containments ist vorgesehen in der UR-R-SAG-7

Falls die Kernkühlung nicht beim Leistungsbetrieb ausfällt, sondern bei abgeschaltetem Reaktor während des An- oder Abfahrens oder beim Brennstoffwechsel, d.h. wenn das Restwärmesystem die Nachwärmeabfuhr überführt, ist die Notfallvorschrift NV-B-ARG-1 anwendbar (Ausfall der Wärmesenke über das Restwärmesystem JAC). Diese verweist vorerst auf die Abfahrpfade #11 - #15 von Tabelle 1; nötigenfalls kommt im Schritt 8 die oben erwähnte AM-R-JRC-1 und damit der Abfahrpfad #17 zur Anwendung.

### 9.2.2 Übergangskriterien

*Describe the criteria for the transition from the preventive EOP to SAMG for accidents initiated during power and shutdown operation*

Leistungsbetrieb und An- oder Abfahren mit betriebsbereiten Dampferzeugern: Kriterien für den Übergang von den Betriebsvorschriften auf Unfallbegrenzungs-Richtlinien sind an drei Stellen definiert (FR-S.1, Schritt 14, FR-C.1, Schritt 20, ECA-0.0, Schritt 27). Massgebend ist überall: Die am Kernaustritt gemessene Temperatur hat 650 °C erreicht, sie hat steigende Tendenz und es kann mit den Notfallvorschriften keine weitere Erfolg versprechende Massnahme mehr angeordnet werden.

Wenn das Restwärmesystem in Betrieb ist, sind in der Notfallvorschrift NV-B-ARG-1 im Schritt 11 Kriterien definiert, welche sich in erster Linie an der gemessenen Kernaustrittstemperatur (> 650 °C) orientieren. Bei deren Fehlen werden Ersatzkriterien massgebend.

### 9.2.3 Notfallübungen

*Summarize the emergency exercises carried out on severe accident management*

Die Unfallbegrenzungs-Richtlinien wurden im KKB im Jahr 2001 eingeführt. Seit diesem Zeitpunkt umfassten die Szenarien von drei Notfallübungen (Onkel Sam, Sirius, und Gesamt-Notfallübung Iris) auch Anlagenzustände mit Kernschaden, bei einer davon sogar solche mit grossen Edelgasfreisetzungen aus dem gefilterten Druckentlastungssystem.

### 9.2.4 Besonders erschwerende Umstände

*Identify any cliff edge effect and evaluate the time before it*

Der Ausfall der Stromversorgung vom Hydrowerk stellt für die Reaktorkühlung keinen besonders erschwerenden Umstand dar. Die im Tabelle 1 aufgezählten Abfahrpfade stützen sich grösstenteils nicht auf Strom aus dem HKB. Die für Accident-Management-Massnahmen eingesetzten Ausrüstungen sind ohnehin unabhängig von der elektrischen Eigenbedarfsversorgung.

Instrumentierung für die Überwachung der Wirksamkeit des Unfallmanagements ist vorhanden; sie ist grundsätzlich in jeder Unfallbegrenzungs-Richtlinie, soweit anwendbar, aufgelistet. Es gilt die Regel, dass der Notfallstab (genauer: sein Evaluationsteam) grundsätzlich alle verfügbaren Messwerte in Betracht ziehen, aber auch diese kritisch-vergleichend bewerten soll. Ob die Instrumentierung funktioniert, hängt von der Einsatzbereitschaft der speisenden Batterien ab; deren Ladegeräte können an mobile Stromquellen angeschlossen werden. Das Vorgehen ist in zwei Accident-Management-Vorschriften beschrieben:

- in der AM-R-BEK-1 zugunsten der 0,4-kV-Unterverteilungen BEK-A und -B und damit der dort angeschlossenen Ladegeräte
- in der AM-R-BVA-1 zugunsten der 0,4-kV-Unterverteilung BVA und das Ladegerät der 120-V-Batterie BNP und der 24-V-Batterie BNL.

Über besonders erschwerende Umstände beim Ausfall der Reaktorkühlung sind speziell für die Fälle Erdbeben und Überflutung in 4.1.2.3 und 5.1.2.4 detaillierte Informationen dargelegt.

### 9.2.5 Bewertung

*Assess the adequacy of the existing management measures, including the procedural guidance to cope with a severe accident, and evaluate the potential for additional measures. In particular, the licensee is asked to consider: (1) The suitability and availability of the required instrumentation; (2) The habitability and accessibility of the vital areas of the plant (the control room, emergency response facilities, local control and sampling points, repair possibilities); (3) Potential H2 accumulations in other buildings than containment*

Die vielen vorbereiteten Hardware-Massnahmen zur Einspeisung mit Feuerwehrpumpen (Abbildungen 2 und 4), die speziell im KKB entwickelten Accident-Management-Vorschriften sowie die Unfallbegrenzungsrichtlinien zeigen zusammen mit den Darlegungen in 4.2.1 und Tabelle 10, dass viele Möglichkeiten vorhanden sind, um die Kernkühlung auch mit Mitteln des Accident-Management zu gewährleisten. Die Kollektion der anlageninternen Vorschriften für die Betriebsmannschaft und den Notfallstab sowie die vorbereiteten Hardware-Mittel sind auf einem höheren Stand als der weltweite Durchschnitt. So berücksichtigen sie zum Beispiel nebst dem Leistungsbetrieb auch die Betriebsphasen des An- und Abfahrens und des Brennelementwechsels.

Themen wie Instrumentierung, Arbeits- und Aufenthaltsbedingungen und die mögliche Ansammlung von Wasserstoff werden anderswo in diesem Bericht diskutiert: 9.2.4, 9.1.9, 9.4.3 und 9.5.5.

## 9.3 Schutz der Containment-Integrität

*Accident management measures and plant design features for protecting containment integrity after fuel damage*

### 9.3.1 Massnahmen nach heutigem Konzept

*Describe the accident management measures and plant design features for protecting integrity of the containment function after occurrence of fuel damage, (1) Prevention of H2 deflagration or H2 detonation (inerting, recombiners, or igniters, etc.), also taking into account venting processes; (2) Prevention of over-pressurization of the containment; (3) If for the protection of the containment a release to the environment is needed, it should be assessed, whether this release needs to be filtered. In this case, availability of the means for estimation of the amount of radioactive material released into the environment should also be described; (4) Prevention of re-criticality; (5) Prevention of basemat melt through; (6) Need for and supply of electrical AC and DC power and compressed air to equipment used for protecting containment integrity.*

Das integrierte Paket der **Unfallbegrenzungsrichtlinien** (UR-R-..., SAMGs) der Westinghouse Owners Group hat die primäre Zielsetzung, die Integrität des Containments zu erhalten und die Freisetzung radioaktiver Stoffe zu minieren.

Die Tabellen 11 und 12 zeigen alle Massnahmen und Strategien auf, welche zur Erhaltung der Containment-Integrität ergriffen werden.

Speziell zur Linderung der Containment-Bedingungen geht der Notfallstab nach der Unfallbegrenzungs-Richtlinie UR-R-SAG-6 vor. Diese hat die Ziele,

- die Gefährdung der Containment-Integrität durch Überdruck zu vermeiden,
- das Versagen von Werkstoffen in Durchführungen durch hohe Temperatur zu vermeiden,

- die Gefährdung von Ausrüstungen und Instrumentierung im Containment durch extreme Umgebungsbedingungen zu minimieren,
- die Konzentration radioaktiver Schwebstoffe in der Containment-Atmosphäre zu verringern,
- das Ausmass allfälliger Leckage radioaktiver Stoffe aus dem Containment zu reduzieren.

Die SAG-6 sieht vor, dass gegebenenfalls **Accident-Management-Massnahmen** eingesetzt werden, um Containment-Druck und –Temperatur zu senken. Dafür stehen zur Verfügung:

- AM-R-KHV-1. Löschwasserbespeisung der Containment-Umluftkühler (Abfahrpfad #36 von Tabelle 1),
- AM-R-JCS-1, Borwasserbespeisung des Containments,
- AM-R-JCS-2, Löschwasserbespeisung des Containments.

Die beiden letztgenannten Vorschriften regeln auch die Einspeisung von Wasser in die Containment-Sprühleitung zur Begrenzung des Containment-Drucks (Abfahrpfad #37 von Tabelle 1)

Zum Schutz des Containments gegen Überdruck ist im KKB das spezielle System der **gefilterten Containment-Druckentlastung** vorhanden (siehe 9.1.5). Dieses kommt zum Einsatz, wenn der Containmentdruck den Auslegungsdruck erreicht. Dann kommt die Unfallbegrenzungs-Richtlinie UR-R-SCG-2 zur Anwendung, welche die akute Gefährdung der Containment-Integrität durch Überdruck abwenden soll. Jeder Abblasevorgang ist mit dem ENSI und der Nationalen Alarmzentrale abzusprechen. Abschätzungen über die mutmasslich freigesetzte Menge radioaktiver Stoffe sind anhand der Dosisleistung an drei im Ringraum, unmittelbar ausserhalb der Stahldruckschale des Primärcontainments, installierten Messfühlern möglich.

Mit den in den Tabellen 11 und 12 genannten Unfallbegrenzungs-Richtlinien kommt Wasser als Kühlmittel in grösseren Mengen zum Einsatz. Dieses sammelt sich auf dem weiten, ebenen Boden des Containments und dringt auch in den Bereich unter dem Reaktor-Druckbehälter vor. Damit werden Voraussetzungen geschaffen, um das allmähliche Eindringen der heissen Kernschmelze in den Beton zu verlangsamen oder sogar zu stoppen.

Unabhängig davon und speziell im Hinblick auf die Möglichkeit der Freisetzung von Wasserstoff aus der Kernschmelze-Beton-Wechselwirkung sind an verschiedenen Orten im Containment **Wasserstoffrekombinatoren** eingebaut worden, welche mit grossen, mit einem Katalysator beschichteten Kontaktflächen selbsttätig den allenfalls örtlich vorhandenen Wasserstoff- und Kohlenmonoxidgehalt reduzieren, indem sie diese brennbaren Gase mit Sauerstoff unter Wärmeentwicklung rekombinieren.

Im Anhang E von [24] und in [25] wird nachgewiesen, dass der bei der Zirkon-Oxidation der Hüllrohre innerhalb des Reaktordruckbehälters entstehende Wasserstoff für die Stahldruckschale des Containments keine reelle Gefährdung darstellt. Die Wasserstoffrekombinatoren sind deshalb nur zum Abbau der möglichen langfristigen Produktion von Wasserstoff und Kohlenmonoxid im Containment-Sumpf ausgelegt. Trotzdem reduzieren sie den Wasserstoffaufbau im Containment während und nach der Phase der Hüllrohroxidation.

Die Gefahr, dass sich nach einem Kernschaden eine kritische Konfiguration bildet, d.h. die Kernspaltung wieder in Gang kommt, wird als sehr gering eingeschätzt: Das dafür als Moderator notwendige Wasser ist in einer Kernschmelze kaum in einer dafür geeigneten Geometrie zwischen Partikel mit spaltbarem Material verteilt. Der Einsatz von borfreiem Wasser für die Zwecke des Severe-Accident-Management wird daher als unbedenklich beurteilt.

### 9.3.2 Besonders erschwerende Umstände

*Identify any cliff edge effect and evaluate the time before it*

Der Ausfall der Stromversorgung vom HKB erschwert zwar die Nachwärmeabfuhr aus dem Containment, stellt für den Schutz der Containment-Integrität aber keine Gefahr dar. Zwar geht damit die Anspeisung der Containment-Umluftventilatoren verloren (Abfahrpfade #31 und #32 von Tabelle 1). Die Containment-Kühlung durch die interne Rezirkulation (#33 und #34), mit Hilfe von Pumpen im Notstandgebäude (#35) sowie – bei deren allfälligem Verlust – die erwähnten Accident-Management-Massnahmen (#36 und #37, bedingt auch #38) bieten einen vollwertigen Ersatz.

### 9.3.3 Bewertung

*Assess the adequacy of the existing management measures, including the procedural guidance to cope with a severe accident, and evaluate the potential for additional measures. In particular, the licensee is asked to consider: (1) The suitability and availability of the required instrumentation; (2) The habitability and accessibility of the vital areas of the plant (the control room, emergency response facilities, local control and sampling points, repair possibilities); (3) Potential H2 accumulations in other buildings than containment*

Mit den im KKB implementierten Hardware-Massnahmen (Notsprühung mit Feuerwehrpumpe, gefilterte Containment-Druckentlastung, Wasserstoffrekombinatoren) sowie den Unfallbegrenzungsrichtlinien (SAMG) und den Accident-Management-Vorschriften ist im KKB der Schutz des Containments bei schweren Reaktorunfällen in einem ausserordentlich hohen Mass gewährleistet. Dabei sind diese Massnahmen vorbereitet, um sowohl nach Leistungsbetrieb wie bei Stillstandszuständen angewendet zu werden.

Zur Notwendigkeit der Betriebsbereitschaft der Instrumentierung siehe 9.2.4.

Dass sich in der unter 9.3 beschriebenen Phase eines Stör- oder Unfalls Wasserstoff ausserhalb des Containments ansammeln könnte, ist unwahrscheinlich, da nicht der Verlust der Containment-Integrität postuliert wird. Aus demselben Grund ist auch nicht mit dem Austreten grosser Mengen radioaktiver Stoffe aus dem Containment in benachbarte Gebäude zu rechnen.

## 9.4 Massnahmen nach Verlust der Containment-Integrität

*Accident management measures to mitigate the consequences of the loss of containment integrity*

### 9.4.1 Massnahmen nach heutigem Konzept

*Describe the accident management measures currently in place to mitigate the consequences of loss of containment integrity.*

Wenn die Containment-Integrität verloren ist, geht es einerseits darum, die Prozesse und Mechanismen zu schwächen, welche die weitere Freisetzung in Gang halten (Druck und Temperatur im Containment), und andererseits diejenigen zu intensivieren, welche die Freisetzung eindämmen (Kühlung von Corium am Containmentboden, Verhinderung der Kernschmelze-Beton-Wechselwirkung, Auswaschvorgänge in Wasser). Dazu dienen Massnahmen gemäss den folgenden Unfallbegrenzungs-Richtlinien UR-R-... (siehe Tabellen 11 und 12):

- SAG-1, Bespeisung der Dampferzeuger (Milderung Containment-Bypass über DE)
- SAG-5, Verringerung der Spaltprodukt-Freisetzung (bei kleinen Leckagen aus dem Containment, Kriterium: Dosisleistung auf dem Gelände),
- SCG-1, Reduzierung der Spaltprodukt-Freisetzung (bei grossen Leckagen aus dem Containment, Kriterium: Dosisleistung auf dem Gelände).

Dabei ist die SCG-1 bei einem zehnmal höheren Dosisleistungs-Grenzwert anzuwenden als die SAG-5. Mit der SCG-1 wird der Notfallstab beim Abwägen der Vor- und Nachteile eines Vorgehens pragmatischer handeln, d.h. allfällige Nachteile geringer gewichten als bei der Anwendung der SAG-5.

Die primären Massnahmen in SAG-5 und SCG-1 sind dabei die Sprühung im Containment, der Betrieb der Containment-Umluftkühler und (nur in SCG-1) der Einsatz der gefilterten Druckentlastung des Containments.

### 9.4.2 Besonders erschwerende Umstände

*Identify any cliff edge effect and evaluate the time before it*

Der Verlust der Integrität des Containments ist allein schon ein besonders erschwerender Umstand. Die damit verbundene Freisetzung radioaktiver Stoffe beschränkt die Beweglichkeit auf dem Areal und – je nach Lage der Leckstelle in einem Gebäude – innerhalb der Gebäude.

### 9.4.3 Bewertung

*Assess the adequacy of the existing management measures, including the procedural guidance to cope with a severe accident, and evaluate the potential for additional measures. In particular, the licensee is asked to consider: (1) The suitability and availability of the required instrumentation; (2) The habitability and accessibility of the vital areas of the plant (the control room, emergency response facilities, local control and sampling points, repair possibilities); (3) Potential H2 accumulations in other buildings than containment*

Dank dem selbsttätigen oder gesteuerten Einsatz der gefilterten Containment-Druckentlastung kann einerseits die Gefahr des Containment-Berstens (und damit einer unkontrollierten Freisetzung) vermieden und andererseits die mit einer Freisetzung verbundene Kontamination von Landflächen stark reduziert werden (siehe 9.1.5).

In der hier diskutierten Situation steht dieselbe Instrumentierung zur Verfügung wie schon in 9.3 erwähnt.

Der Schutz des auf dem Areal tätigen Personals gegen luftgetragene Kontamination ist durch individuelle Massnahmen zu gewährleisten, soweit er nicht durch die vorhandenen Zuluftfilter zum Hauptkommandoraum und zum Notstandgebäude gewährleistet ist.

Dass sich nach dem Verlust der Containment-Integrität in Räumen ausserhalb des Containments Wasserstoff ansammeln könnte – vielleicht sogar in einer explosiven Konzentration – lässt sich schwer prognostizieren, aber auch nicht ausschliessen. Massgebend sind die Gaszusammensetzung im Innern des Containments und der Leckpfad selbst.

## 9.5 Massnahmen beim Ausfall der BE-Becken-Kühlung

*Accident management measures for the loss of the cooling function in the fuel storage*

### 9.5.1 Massnahmen nach heutigem Konzept

*Describe the accident management measures currently in place at the various stages of a scenario of loss of cooling function in the fuel storage (the following indications relate to a fuel pool): (1) Before/after losing adequate shielding against radiation; (2) Before/after occurrence of uncover of the top of fuel in the fuel pool; (3) Before/after occurrence of fuel degradation (fast cladding oxidation with hydrogen production) in the fuel pool.*

Nach Ausfall der BE-Becken-Kühlung kommt vorerst eine Accident-Management-Vorschrift zur Anwendung; nötigenfalls ist später auch eine Unfallbegrenzungs-Richtlinie zu befolgen:

- Zur Inbetriebnahme der alternativen Brennelementbeckenkühlung gibt es die Accident-Management-Vorschrift AM-R-FEC-1 (Abfahrpfad #23). Damit kommt das im Jahr 1999 nachgerüstete FEC-System zum Einsatz.

- Die Vorschrift beschreibt im Weiteren die Nachspeisung von Löschwasser in die BE-Lagerbecken über Leitungen des FEC-Systems (Abfahrpfad #24).
- Wenn in der Anlage während der Anwendung der genannten AM-Vorschrift gewisse Übergangskriterien erreicht werden, kommt auch die Unfallbegrenzungs-Richtlinie UR-R-SAG-8 zur Anwendung. Diese ist Teil des Massnahmenpakets für das Severe-Accident-Management (siehe Tabelle 11) und sie zählt eine Reihe von Systemen auf, mit denen eine Nachspeisung von Wasser in das Becken erstellt werden kann.

### 9.5.2 Übergangskriterien

*Describe the criteria for the transition from the preventive EOP to SAMG for accidents initiated during power and shutdown operation if the accident does not coincide with damage of fuel in the reactor pressure vessel*

Die Accident-Management-Vorschrift AM-R-FEC-1 kommt wie folgt zur Anwendung:
- gestützt auf eine Betriebsvorschrift der Betriebsabteilung: wenn die normale Wärmeabfuhr aus den BE-Lagerbecken (Abfahrpfade #21 und 22 gemäss Tabelle 1) ausgefallen ist und die Temperatur in den BE-Lagerbecken 60 °C übersteigt,
- aus der Accident-Management-Vorschrift AM-R-KAC-1, Notkühlung des primären Zwischenkühlsystems KAC, wenn das Primäre Zwischenkühlsystem (KAC) ausgefallen ist,
- ausgehend von der Unfallbegrenzungs-Richtlinie UR-R-SAG-8, Freisetzung aus BE-Lager unterbinden oder begrenzen,
- auf Beschluss der Notfallleitung.

Die Unfallbegrenzungs-Richtlinie UR-R-SAG-8 kommt wie folgt zur Anwendung:
- wenn die Dosisleistung im BE-Lagergebäude über 1 mSv/h gestiegen ist oder
- falls der Füllstand in den BE-Lagerbecken unter die Oberkante der Brennelemente gefallen ist.

Es ist anzunehmen, dass das zweitgenannte Kriterium nie zur Anwendung kommt, denn mit dem fallenden Füllstand sinkt die Abschirmwirkung des Wassers über den Brennelementen, sodass die Dosisleistung im Gebäude ihren Grenzwert lange vor dem Zeitpunkt erreicht, zu dem der Füllstand bis zur Brennelement-Oberkante gesunken ist.

### 9.5.3 Notfallübungen

*Summarize the emergency exercises carried out on severe accident management*

Erfahrungen aus einer Notfallübung mit entsprechendem Szenario im Jahr 2006 wurden in die AM-R-FEC-1 eingearbeitet.

### 9.5.4 Besonders erschwerende Umstände

*Identify any cliff edge effect and evaluate the time before it*

Eine erschwerende Begleiterscheinung nach dem Ausfall der BE-Becken-Kühlung ist die allmählich, aber nicht abrupt steigende Temperatur über den Lagerbecken, sodass die Verdunstung intensiver wird. Damit verbunden ist auch die intensivere Freisetzung radioaktiver Stoffe, die sonst im Beckenwasser gelöst bleiben. Der Aufenthalt von Betriebspersonal zur Vornahme allfälliger Eingriffe ist dann nur unter erschwerten Bedingungen möglich.

### 9.5.5 Bewertung

*Assess the adequacy of the existing management measures, including the procedural guidance to cope with a severe accident, and evaluate the potential for additional measures. In particular, the licensee is asked to consider: (1) The suitability and availability of the required instrumentation; (2) The habitability and accessibility of the vital areas of the plant (the control room, emergency response facilities, local control and sampling points, repair possibilities); (3) Potential H2 accumulations in other buildings than containment*

Mit der Nachrüstung einer alternativen BE-Lagerbecken-Kühlung in den späten Neunzigerjahren wurde die Originalauslegung mit den Abfahrpfaden #21 und #22 wesentlich verbessert und ergänzt. Der oben beschriebene Rückgriff auf Accident-Massnahmen macht den Erfolg der alternativen BE-Lagerbecken-Kühlung weitgehend unabhängig von der Anlagen-internen Stromversorgung: Die FEC-Pumpe bezieht Strom von einer Schiene, welche von einem Flutdiesel versorgt werden kann; alternativ kann sie Strom von einer mobilen Notstromversorgung gemäss AM-R-BEK-1 erhalten.

Mit dem in Kapitel 4.2.1.2 erwähnten zusätzlichen System zur Kühlung des Brennelementlagerbeckens werden in den nächsten Jahren faktisch zur Erfüllung einer Forderung des ENSI nach Fukushima nochmals zwei zusätzliche Sicherheitsstränge nachgerüstet.

Als Teil dieser Forderung wird zudem eine weitere, zur heutigen FEC-Leitung räumlich getrennte Nachspeisemöglichkeit in das Becken geschaffen, damit als Accident-Management-Massnahme Wasser in das Becken nachgespeist werden kann.

Besonders günstig bezüglich des Einsatzes von Accident-Management-Massnahmen beim Brennelementlagerbecken sind die Tatsachen:

- dass sehr viel Zeit zur Verfügung steht, bis eine alternative Kühlung erstellt werden muss (siehe Kapitel 4.2.1.2),
- dass das Becken ausserhalb des Containment platziert und damit unabhängig von den Bedingungen im Containment für die Operateure und die Feuerwehr zugänglich ist,
- dass die geringe benötige Menge an Wasser zur Nachspeisung von nur ca. 2 l/s mit einer Vielzahl von Feuerwehrpumpen erbracht werden kann, beispielsweise von erdbebensicher gelagerten Pumpen des internen Lagers oder von solchen des externen Lagers in Reitnau (Kapitel 9.1.3).

Die Instrumentierung (Dosisleistung im BE-Becken-Gebäude) ist für das gewählte Vorgehen mit der UR-R-SAG-8 und der AM-R-FEC-1 ausreichend. Wünschbar sind allerdings im Interesse der laufenden Beurteilung der Sachlage auch Messwerte über die Wassertemperatur und den Füllstand. Diese werden ebenfalls als Folge einer Verfügung des ENSI nach Fukushima in den nächsten Jahren nachgerüstet (siehe 4.2.1.2).

Mit der Freisetzung radioaktiver Stoffe aus dem eingelagerten Brennstoff muss in zunehmendem Mass gerechnet werden, wenn sich das Wasser in den Becken aufgewärmt hat und zum Teil schon verdampft ist, sodass seine Absorptionswirkung allmählich kleiner wird. Die im Jahr 2008 in Betrieb genommene Notfortluftanlage (KHV 74/75) kann zwar mit ihrem Aktivkohlefilter anfänglich zur Rückhaltung beitragen, wäre damit aber längerfristig überfordert. Der Schutz des auf dem Areal tätigen Personals gegen luftgetragene Kontamination ist daher durch individuelle Massnahmen zu gewährleisten, soweit er nicht durch die vorhandenen Zuluftfilter zum Hauptkommandoraum und zum Notstandgebäude gewährleistet ist.

Mit der Freisetzung von Wasserstoff aus dem BE-Lagerbecken muss nicht gerechnet werden, solange kein Brennstoff abgedeckt ist und sich unter der Wirkung der Nachwärme auf Temperaturen über 800 °C aufgewärmt hat.

# 10 Referenzdokumente

*Referenced documents should be classified into: D1 validated in the licensing process. i.e. ENSI has delivered its review comments; D2 not validated in the licensing process but gone through licensee's quality assurance program; D3 none of the above.*

Die in diesem Bericht verwendeten Referenzdokumente sind den folgenden drei Kategorien zugeordnet:

D1: bestätigt im Bewilligungsverfahren, d.h. es liegt mindestens eine ENSI-Stellungnahme vor

D2: zwar nicht im Bewilligungsverfahren bestätigt, aber durch das Qualitätssicherungsprogramm des Gesuchstellers erhärtet

D3: weder D1 noch D2

Referenzdokumente sind:

[1] KKB 511D0127, Rev. 3 (Oktober 2009), „Beznau Unit 2, Full-Power Probabilistic Risk Assessment (BERA)" (D1)

[2] KKB 511D0125, PLG-1208 (Juni 1998), "Beznau Unit 2, Shutdown und Low Power Probabilistic Risk Assessment (BESRA)", mit Updates (in Form von Technischen Mitteilungen) bis 2010 (D1)

[3] KKB 077D0025 und 0026 (Ausgabe 2010), Technische Spezifikationen für den Reaktorbetrieb (Tech-Specs) (D1)

[4] TM-511-R11018 (31. März 2011), Antworten zu den Punkten 5a) bis 5c) der ENSI-Verfügung vom 18. März 2011 aufgrund der Ereignisse in Fukushima (D1)

[5] AN-511-RA06002 Rev. 1 (Oktober 2006), Nachweis der Beherrschung des Sicherheitserdbebens im KKB (D1)

[6] TM-511-R11029 (30. Juni 2011), Sicherheitstechnischer Nachweis für das 10 000-jährliche Hochwasser (D1)

[7] KKB 211D0051 (Februar 2009), Hydrologische Untersuchungen an der Aare für die Kraftwerke in Beznau, Bericht 08/102 C der Scherrer AG (D1)

[8] KKB 211D0053 (März 2011), Überflutung KKW Beznau, Szenarien zur Untersuchung der Überflutung der Beznau-Insel, Bericht TKC1618 der TK Consult AG (D1)

[9] KKB 211D0052 (September 2008), Überflutung KKW Beznau, Szenarien zur Untersuchung der Überflutung der Beznau-Insel, Bericht TKC0918 der TK Consult AG (D1)

[10] TM-511-R11030 (30. Juni 2011), Konzept für den sicherheitstechnischen Nachweis für das PEGASOS-Erdbeben (D2)

[11] ETH Zürich, „Erdbebenkarten der Schweiz" (1977) (D1)

[12] Basler & Hofmann, Beznau NPP, Site-Specific Seismic Hazard Functions for Probabilistic Risk Assessment (1984) (D1)

[13] KKB 511D0229 (July 2004), Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project)", Nagra (D1)

[14] HSK-AN-6252 (Juni 2007), Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerk-Standorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS) (D1)

[15] HSK-Brief SN/BS/VB-14/05/005 an KKB (26. Januar 2006), Forderungen im Zusammenhang mit der PEGASOS-Übergangslösung (D1)

[16] NUREG/CR-6372, „Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: Guidance on uncertainty and use of experts", 1997 (D1)

[17] Bericht FGK-11.039.65 (May 2011), Intermediate Seismic Hazard, Swissnuclear and Interoil (D2)

[18] KKB 313D0027, Rev. 0, 30. August 2011, "Kernkraftwerk Beznau, Block 1 und 2, PEGASOS Refinement Project, PRP Intermediate Soil Hazard Results for Beznau – July 2011" (D2).

[19] KKB 511D0053 und 0054 (Dezember Dezember 2006 bzw. Dezember 2008), Sicherheitsberichte für die beiden Blöcke des KKB (D1)

[20] Bericht über die Neubeurteilung der Fragilities im KKB nach Fukushima (in Vorbereitung, erscheint im Herbst 2011) (D2)

[21] NA-K-01, Rev. 3 vom 1. April 2010, „Übergeordnete Aufgaben und Pflichten der Notfallorgane" (D1).

[22] KKB 261D0009, Rev. 2, 2010, Externe Überflutung infolge Hochwasser (D2)

[23] SV-B-01.1, Rev. 5 vom 1. Februar 2011, „Betriebliche Massnahmen bei Hochwasser infolge Starkregen und bei Sturmwarnung" (D1)

[24] KKB 511D0147, Rev. 1 (December 2002), „Beznau Unit 2, Full-Power PSA (BERA) – Level 2" (D1)

[25] TM-233-RN04006 (15. Juli 2004), „Gefährdung der Containment-Integrität durch brennbare Gase" (D2)

[26] NV-B-..., Notfallvorschriften des KKB (D1)

[27] UR-R/B-... Unfallbegrenzungs-Richtlinien des KKB (D1)

[28] AM-R-..., Accident-Management-Vorschriften des KKB (D1)

**Tabelle 1 (Seite 1 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment**

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil a): Reaktor nach Leistungsbetrieb | | | | | | | | | | | |
| #1 | LSN_BEK | Nachwärmeabfuhr mit **Hilfsspeisewasser LSN ab Notstromstrang BEK;** Schutz der Dichtungen der Reaktor-Hauptpumpen mit Sperrwasser aus Ladepumpen | ja | ja | ja | | Hydro A oder Flutdiesel XG 1000 in UM(Ost) | BNA/BNB in UN(D) | LSN 1 (evtl. LSN 2), KCH 7-C, PKZ 1, LSH 4, LBW-Pumpe, QIA 1 | Beim Hydro keine, bei Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | Aufschaltung Flutdiesel manuell Manuelle Umschaltung ab LSH 4 auf LBW nach ca. 12 h erforderlich |
| #2 | LSN_XG2000 | Nachwärmeabfuhr mit **Hilfsspeisewasser LSN ab Flutdiesel XG 2000;** Schutz der Dichtungen der Reaktor-Hauptpumpen mit Sperrwasser aus Ladepumpen | ja | ja | ja | | Flutdiesel XG 2000 in UM(Ost) | BNA/BNB in UN(D) | LSN 2, KCH 7-B, PKZ 2, LSH 4, LBW-Pumpe allenfalls des andern Blocks, QIA 2 | 1-2 d (Treibstoff für Flutdiesel) | Aufschaltung Flutdiesel manuell Manuelle Umschaltung ab LSH 4 auf LBW nach ca. 12 h erforderlich Querkupplung Schiene BEK-B mit BFL-A und BFL-B gemäss NV-B-ECA-0.0 |
| #3 | LSE_BFL | Nachwärmeabfuhr mit **Notspeisewasser LSE ab Notstromstrang BFL;** Schutz der Dichtungen der Reaktor-Hauptpumpen mit Sperrwasser aus Ladepumpen | ja | ja | ja | | Hydro B (evtl. Flutdiesel XG 2000) | BNA/BNB in UN(D) | LSE 1, KCH 7-B, QIA 4 | 7 h (LSE-Tank, Nachspeisemöglichkeit ist vorbereitet) | Diverse Nachspeisemöglichkeiten in LSE-Tank (Kaltkondensat, Trinkwasser oder FW-Pumpen gemäss AM-R-LSE-1) Falls nötig, könnte Querkupplung XG 2000 ⇒ BEK-A ⇒ BFL-A/B erstellt werden |
| #4 | NS_AUTO | Erster, automatischer Notstand-Strang: Nachwärmeabfuhr mit Notstandspeisewasser LNA; Schutz der RHP-Dichtungen mit Sperrwasser der Notstand-Sperrwasserpumpe | ja | ja | | | Notstand-Diesel XG 3000 in UP | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | LNA 1, JNA 1, LNB-Pumpe | 10 d (Treibstoff) | Kein Operateur-Eingriff notwendig Nachspeisung LNB zu LNA-Tank automatisch |

d: Anlagezustand 4 (hot shutdown) mit Hauptkühlmitteltemperatur bei etwa 280 °C (Nulllasttemperatur)
f: Anlagezustand 4 (hot shutdown) mit Hauptkühlmitteltemperatur bei etwa 120 °C
g: Anlagezustand 5 (cold shutdown) mit geschlossenem Primärkreislauf
i: Anlagezustand 6 (cold shutdown) mit offenem Primärkreislauf

**Tabelle 1 (Seite 2 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment**

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil a): Reaktor nach Leistungsbetrieb (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | |
| #5 | **NS_MANUAL** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems:** Nachwärmeabfuhr mit Bleed-and-Feed (mit Notstand-Ausrüstungen) im Verbund mit Notstand-Rezirkulation; falls notwendig Querverbindungen zu Versorgungssystemen des andern Blocks | ja | ja | ja | | Notstand-Diesel XG 3000 (evtl. des andern Blocks) in UP | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | JSI 1-D, JSI 3, LNB 1 (evtl. des andern Blocks), Druckhalter-Abblaseventil JRC 1200/1210 | 10 d (Treibstoff) | Manuelles Öffnen eines DH-Abblaseventils und Start der NS-SE-Pumpe, langfristig NS-Rezirkulation<br>Ein Notstand-Diesel und eine LNB-Pumpe können in den meisten Betriebszuständen beide Blöcke gleichzeitig versorgen |
| #6 | **FABL_NNS** | **Feed-and-Bleed-Betrieb mit Nicht-Notstand-Ausrüstungen** | ja | ja | ja | | Hydro A oder Hydro B | BNA/BNB in UN(D) | JSI 1-B oder 1-C, eine KAC- und eine PRW-Pumpe, Druckhalter-Abblaseventil JRC 1200/1210 | – | Manuelles Öffnen eines DH-Abblaseventils und Start einer SE-Pumpe, langfristig Rezirkulation mit Pumpen JSI 2 |
| #7 | **AM_LSH** | **Accident-Management-Bespeisung der DE aus Speisewasserbehälter** | ja | | | | – | – | LSH 4, Handkurbel an Abblasesystem LDA | Wenige Stunden, danach Übergang auf anderen Abfahrpfad notwendig | Druckabsenkung in DE mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A und Einspeisung des Wassers der Speisewasserbehälter gemäss NV-B-ECA-0.0 |
| #8 | **AM_DG** | **Accident-Management-Versorgung mittels mobilem Notstromaggregat** | ja | ja | ja | | – | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | Teile des Notstandsystems: LNA, JNA, LNB; oder Niederdruckbespeisung der DE mittels LNB | 20 d (Treibstoff) | Zwei 890-kW-Dieselaggregate sind am 31.10.2011 im KKB stationär vorhanden;<br>AM-Vorschrift AM-R-BVA-1 ist vorbereitet |
| #9 | **AM_FWP** | **Accident-Management-Bespeisung der DE mittels Feuerwehrpumpe** | ja | ja | ja | | – | – | Feuerwehrpumpe, Handkurbel an Abblasesystem LDA | – | Druckabsenkung in DE mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A und Einspeisung in DE mittels Feuerwehrpumpe gemäss AM-R-LSE-2 oder AM-R-LSN-1, langfristig evtl. Bespeisung des Reaktors gemäss AM-R-JRC-1 notwendig |

**Tabelle 1 (Seite 3 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment**

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil b): Reaktor im Stillstand | | | | | | | | | | | |
| #11 | **JAC_BEK** | **Restwärmebetrieb ab Notstromstrang BEK** über Kühlkette JAC/KAC/PRW | | ja | ja | ja | Hydro A oder Flutdiesel XG 1000 oder XG 2000 in UM(Ost) | BNA/BNB in UN(D) | JAC 5-A, KAC 1-A oder KAC 1-C, PRW 1-B | Beim Hydro keine, bei Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | – |
| #12 | **JAC_BFL** | **Restwärmebetrieb ab Notstromstrang BFL über Kühlkette JAC/KAC/PRW** | | ja | ja | ja | Hydro B | BNA/BNB in UN(D) | JAC 5-B, KAC 1-B, PRW 1-C | – | – |
| #13 | **NS_SD1** | **Notstand-Rezirkulation im Stillstand** | | ja | ja | ja | Notstand-Diesel XG 3000 in UP | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | JSI 3, LNB 1, QNA 1, Notstand-Kaltfahrleitung, evtl. DH-Abblaseventil JRC 1200/1210 | 10 d (Treibstoff) | Aufschaltung gemäss NV-B-ARG-1 |
| #14 | **NS_SD2** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems im Stillstand: Nachwärmeabfuhr mit Feed-and-Boil mittels Pumpe JSI 1-D; falls notwendig Querverbindungen zu Versorgungssystemen des andern Blocks** | | ja | ja | ja | Notstand-Diesel XG 3000 (evtl. des andern Blocks) in UP | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | JSI 1-D (oder JSI 3), LNB 1 (evtl. des andern Blocks), Notstand-Kaltfahrleitung oder DH-Abblaseventil JRC 1200/1210 | 24 h (BOTA-Volumen), danach Querkupplung zum BOTA des andern Blocks notwendig | Aufschaltung gemäss NV-B-ARG-1 Gedrosselte Einspeisung aus BOTA in Reaktor und verdampfen lassen Ein Notstand-Diesel und eine LNB-Pumpe können in den meisten Betriebszuständen beide Blöcke gleichzeitig versorgen |
| #15 | **FB_SD** | **Feed-and-Boil mit Nicht-Notstand-Ausrüstungen** | | ja | ja | ja | Hydro A oder B oder Flutdiesel XG 1000 oder XG 2000 | BNA/BNB in UN(D) | Eine der Pumpen KCH 7-A/B/C (mit QIA), JSI 1-B/C oder JCS 2-A/B, Notstand-Kaltfahrleitung oder DH-Abblaseventil JRC 1200/1210 | 24 h (BOTA-Volumen), danach Querkupplung zum BOTA des andern Blocks notwendig; bei Flutdiesel-Betrieb 1-2 d (Treibstoff) | Aufschaltung gemäss NV-B-ARG-1 Gedrosselte Einspeisung aus BOTA in Reaktor und verdampfen lassen Für das Offenhalten eines DH-Abblaseventils ist auch Gleichstrom von BNM/BNL und BNP/BNQ notwendig, die zugehörigen Ladegeräte können gemäss AM-R-BVA-1 versorgt werden |

## Tabelle 1 (Seite 4 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil b): Reaktor im Stillstand (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | |
| #16 | **AM_SD_DG** | **Accident-Management im Stillstand mittels mobilem Notstromaggregat** | | ja | ja | ja | – | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | Teile des Notstandsystems (JSI 3 und LNB 1) für NS-Rezirkulation oder Feed-and-Boil | 20 d (Treibstoff) | Zwei 890-kW-Dieselaggregate sind am 31.10.2011 im KKB stationär vorhanden;<br>AM-Vorschrift AM-R-BVA-1 ist vorbereitet |
| #17 | **AM_SD_FWP** | **Accident-Management-Bespeisung des Reaktors im Stillstand mittels Feuerwehrpumpe** | | ja | ja | ja | – | – | Universal-Löschfahrzeug der Feuerwehr<br>Notstand-Kaltfahrleitung oder DH-Abblaseventil JRC 1200/1210 | Entnahme aus BE-Lagerbecken während ca. 10 h möglich | Entnahme von Borwasser aus BE-Lagerbecken und gedrosselte Einspeisung in Reaktor gemäss AM-R-JRC-1<br>Für das Offenhalten eines DH-Abblaseventils ist auch Gleichstrom von BNM/BNL und BNP/BNQ notwendig;<br>die zugehörigen Ladegeräte können gemäss AM-R-BVA-1 versorgt werden |
| Teil c): Brennelement-Lagerbecken | | | | | | | | | | | |
| #21 | **FAC_BEK** | **Kühlung der BE-Lagerbecken ab Notstromstrang BEK** über die Kühlkette FAC/KAC/PRW | ja | ja | ja | ja | Hydro A oder Flutdiesel XG 1000 oder XG 2000 in UM(Ost) | BNA/ BNB in UN(D) | FAC 3-B, KAC 1-A oder KAC 1-C, PRW 1-B | Beim Hydro keine, bei Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | Pumpe FAC 3-B an der Schiene BDH-A muss über Querkupplung mit der Schiene BEK-A verbunden werden; dafür stehen viele Stunden zur Verfügung |
| #22 | **FAC_BFL** | **Kühlung der BE-Lagerbecken ab Notstromstrang BFL** über die Kühlkette FAC/KAC/PRW | ja | ja | ja | ja | Hydro B (evtl. Flutdiesel XG 2000) | BNA/ BNB in UN(D) | FAC 3-A, KAC 1-B, PRW 1-C | Beim Hydro keine, bei Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | Falls nötig, könnte Querkupplung XG 2000 ⇒ BEK-A ⇒ BFL-A/B erstellt werden |

**Tabelle 1 (Seite 5 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment**

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil c): Brennelement-Lagerbecken (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | |
| #23 | **FEC** | **Kühlung der BE-Lagerbecken mit FEC-System** | ja | ja | ja | ja | Hydro A oder Hydro B oder Flutdiesel XG 1000 oder XG 2000 in UM(Ost) | – | FEC 7105 GTW-System oder Feuerwehrpumpen | – | System muss manuell in Betrieb genommen werden gemäss AM-R-FEC-1<br>Stromversorgung wählbar BEK/BFL<br>Reserve-FEC-Pumpe ist vorhanden |
| #24 | **AM_FP** | **Accident-Management-Bespeisung der BE-Lagerbecken** | ja | ja | ja | ja | – | – | Eine von diversen Feuerwehrpumpen | – | Für diese Handlung steht sehr viel Zeit zur Verfügung<br>Spezielle Instrumentierung ist nicht erforderlich, weil das Becken überspeist werden kann |
| Teil d): Containment | | | | | | | | | | | |
| #31 | **KHV_BEK** | **Kühlung der Containment-Atmosphäre ab Notstromstrang BEK** mit einem vom PRW-System versorgten Umluftkühler | ja | ja | Ja | ja | Hydro A | BNA/BNB in UN(D) | KHV 1, PRW 1-B | – | – |
| #32 | **KHV_BFL** | **Kühlung der Containment-Atmosphäre ab Notstromstrang BFL** mit einem vom PRW-System versorgten Umluftkühler | ja | ja | ja | ja | Hydro B | BNA/BNB in UN(D) | KHV 2, PRW 1-C | – | – |
| #33 | **JSI_BEK** | **Rezirkulationskühlung des Rezirkulationssumpfs ab Notstromstrang BEK** mit dem Rezirkulations-Kreislauf des Sicherheitseinspeisesystems im Verbund mit der Kühlkette KAC/PRW | ja | ja | ja | ja | Hydro A oder Flutdiesel XG 1000 oder XG 2000 in UM(Ost) | BNA,/BNB in UN(D) | JSI 2-A/C, KAC 1-A oder KAC 1-C, PRW 1-B | Ab Hydro keine, bei Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | – |

**Tabelle 1 (Seite 6 von 6): Abfahrpfade mit ihren Kühlketten vom Reaktor, BE-Lagerbecken und Containment**

| Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Anlagezustand (1) | | | | Stromquelle für | | Benötigte Ausrüstungen (ausser Notstrom) | zeitliche Einschränkungen | Spezielle Eigenheiten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | d | f | g | i | Motoren | Steuerung | | | |
| Teil d): Containment (Fortsetzung) | | | | | | | | | | | |
| #34 | **JSI_BFL** | **Rezirkulationskühlung des Rezirkulationssumpfs ab Notstromstrang BFL** mit dem Rezirkulations-Kreislauf des Sicherheitseinspeisesystems im Verbund mit der Kühlkette KAC/PRW | ja | ja | ja | ja | Hydro B (evtl. Flut-diesel XG 2000) | BNA/BNB in UN(D) | JSI 2-B/D, KAC 1-B, PRW 1-C | Ab Hydro keine, beim eventuellen Flutdieselbetrieb 1-2 d (Treibstoff) | Falls nötig, könnte Querkupplung XG 2000 ⇒ BEK-A ⇒ BFL-A/B erstellt werden |
| #35 | **NS_REZ** | **Notstand-Rezirkulations-kühlung des Rezirkulations-sumpfs** | ja | ja | ja | ja | Notstand-Diesel in UP | BNL/BNM, BNP/BNQ in UP | JSI 1-D, JSI 3, LNB 1 | 10 d (Treibstoff) | – |
| #36 | **KHV_AM** | **Accident-Management Not-speisung der Containment-Umluftkühler** | ja | ja | ja | ja | Hydro A oder Hydro B | BNA/BNB in UN(D) | KHV 1 oder KHV 2, Feuerwehrpumpe | – | Geregelt in AM-R-KHV-1 |
| #37 | **JCS_AM** | **Accident-Management Not-sprühung des Containments (ohne Wärmeabgabe aus dem Containment)** | ja | ja | ja | ja | – | – | Leistungsfähige Feuerwehrpumpe | – | Geregelt in AM-R-JCS-1 und AM-R-JCS-2 |
| #38 | **VENT_CT** | **Gefilterte Containment-Druckentlastung des Con-tainments** | ja | ja | Ja | ja | – | – | KHV 2900 | – | Zum Schutz des Containments bei schweren Reaktorunfällen System geht passiv in Betrieb über Berstscheibe, manuelle Inbetrieb-nahme gemäss AM-R-KHV-2 |

**Tabelle 2 (Seite 1 von 2): Für den Erfolg der Abfahrpfade erforderliche Fluid-Systeme oder mobile Einrichtungen**

| System | Code | Gebäude | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 | #9 | #11 | #12 | #13 | #14 | #15 | #16 | #17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reaktorkühlsystem | JRC | US | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Druckhalter-Abblaseventile | JRC 1200/1210 | | | | | | X | X | | | | | | | (*) | (*) | (*) | (*) |
| Notstand-Kaltfahrleitung | JAC 816/JSI 980 | | | | | | | | | | | | | X | (*) | (*) | (*) | (*) |
| Frischdampfsystem | LDF | US, UN(D) | X | X | | | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| Handkurbel Abblasesystem | LDA | UN(D) | | | | | | | X | | X | | | | | | | |
| Sicherheitseinspeisesystem | JSI | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| • SE-Pumpen im Nebengebäude | JSI 1-B/C | UN(A) | | | | | | X | | | | | | | | (**) | | |
| • NS-SE-Pumpe im Notstandgebäude | JSI 1-D | UP | | | | | X | | | | | | | | X | | | |
| • SE-Rezirkulationspumpen | JSI 2 | US | | | | | | X | | | | | | | | | | |
| • NS-Rezirkulationspumpe | JSI 3 | UP, US | | | | | X | | | | | | | X | | | X | |
| Borwasservorratstank (BOTA) | JCS 1 | UU(BOTA) | X | X | X | X | X | X | | X | | | | X | X | X | X | |
| Speisewasserbehälter | LSH 4 | UM(Ost) | X | X | | | | | X | | | | | | | | | |
| Hilfsspeisewassersystem | LSN | UM(Ost), UN(D) | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Brunnenwassersystem | LBW | u.a. UM(Ost) | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Notspeisewassersystem | LSE | UU(LSE), UN(A) | | | X | | | | | | | | | | | | | |
| Restwärmesystem | JAC | US | | | | | | | | | | X | X | | | | | |
| Brennelementbecken-Kühlsystem | FAC | UN(B, C) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alternatives BE-Lagerbeckenkühlsystem | FEC | UN(B) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Primäres Zwischenkühlwassersystem | KAC | UN(C), US | | | | | | X | | | | X | X | | | | | |
| Primäres Nebenkühlwassersystem | PRW | UM(Ost), UN(C) | | | | | | X | | | | X | X | | | | | |
| Sekundäres Zwischenkühlsystem | PKZ | UM(Ost, West) | X | X | | | | | | | | | | | | | | |
| Ladepumpen (Chemie- und Volumen-Regel-system) | KCH | UN(C), US | X | X | X | | | | | | | | | | | (**) | | |
| Steuerluftsystem | QIA | UN, US, UM | X | X | X | | | | | | | | | | | (***) | | |
| Containment-Sprühsystem | JCS | UN(A), US | | | | | | | | | | | | | | (**) | | |
| Containment-Umluftkühler (Ventilatoren) | KHV | US | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Containment-Ventingsystem | KHV 2900 | UY | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Notstand-Sperrwassersystem | JNA | UP, US | | | | X | | | | X | | | | | | | | |
| Notstand-Speisewassersystem | LNA | UP | | | | X | | | | X | | | | | | | | |
| Notstand-Brunnenwassersystem | LNB | UP, UX | | | | X | X | | | X | | | | X | X | | X | |
| Notstand-Steuerluftsystem | QNA | UP, US | | | | | | | | | | | | X | | | | |
| Mobile Einrichtungen | - | Im Freien | | | | | | | | X | X | | | | | | X | X |

(*): Wahlweise einer dieser Pfade | (**): Wahlweise eine dieser Pumpen | (***): Bei Betrieb der Ladepumpen

**Tabelle 2 (Seite 2 von 2): Für den Erfolg der Abfahrpfade erforderliche Fluid-Systeme oder mobile Einrichtungen**

| System | Code | Gebäude | #21 | #22 | #23 | #24 | #31 | #32 | #33 | #34 | #35 | #36 | #37 | #38 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reaktorkühlsystem | JRC | US | | | | | | | | | | | | |
| Druckhalter-Abblaseventile | JRC 1200/1210 | | | | | | | | | | | | | |
| Notstand-Kaltfahrleitung | JAC 816/JSI 980 | | | | | | | | | | | | | |
| Frischdampfsystem | LDF | US, UN(D) | | | | | | | | | | | | |
| Handkurbel Abblasesystem | LDA | UN(D) | | | | | | | | | | | | |
| Sicherheitseinspeisesystem | JSI | | | | | | | | | | | | | |
| • SE-Pumpen im Nebengebäude | JSI 1-B/C | UN(A) | | | | | | | | | | | | |
| • NS-SE-Pumpe im Notstandgebäude | JSI 1-D | UP | | | | | | | | | X | | | |
| • SE-Rezirkulationspumpen | JSI 2 | US | | | | | | | X | X | | | | |
| • NS-Rezirkulationspumpe | JSI 3 | UP, US | | | | | | | | | X | | | |
| Borwasservorratstank (BOTA) | JCS 1 | UU(BOTA) | | | | | | | | | X | | | |
| Speisewasserbehälter | LSH 4 | UM(Ost) | | | | | | | | | | | | |
| Hilfsspeisewassersystem | LSN | UM(Ost), UN(D) | | | | | | | | | | | | |
| Brunnenwassersystem | LBW | u.a. UM(Ost) | | | | | | | | | | | | |
| Notspeisewassersystem | LSE | UU(LSE), UN(A) | | | | | | | | | | | | |
| Restwärmesystem | JAC | US | | | | | | | | | | | | |
| Brennelementbecken-Kühlsystem | FAC | UN(B, C) | X | X | | | | | | | | | | |
| Alternatives BE-Lagerbeckenkühlsystem | FEC | UN(B) | | | X | | | | | | | | | |
| Primäres Zwischenkühlwassersystem | KAC | UN(C), US | X | X | | | | | X | X | | | | |
| Primäres Nebenkühlwassersystem | PRW | UM(Ost), UN(C) | X | X | | | X | X | X | X | | | | |
| Sekundäres Zwischenkühlsystem | PKZ | UM(Ost, West) | | | | | | | | | | | | |
| Ladepumpen (Chemie- und Volumen-Regelsystem) | KCH | UN(C), US | | | | | | | | | | | | |
| Steuerluftsystem | QIA | UN, US, UM | | | | | | | | | | | | |
| Containment-Sprühsystem | JCS | UN(A), US | | | | | | | | | | | X | |
| Containment-Umluftkühler (Ventilatoren) | KHV | US | | | | | X | X | | | | X | | |
| Containment-Ventingsystem | KHV 2900 | UY | | | | | | | | | | | | X |
| Notstand-Sperrwassersystem | JNA | UP, US | | | | | | | | | | | | |
| Notstand-Speisewassersystem | LNA | UP | | | | | | | | | | | | |
| Notstand-Brunnenwassersystem | LNB | UP, UX | | | | | | | | | X | | | |
| Notstand-Steuerluftsystem | QNA | UP, US | | | | | | | | | | | | |
| Mobile Einrichtungen | - | Im Freien | | | X | X | | | | | | X | X | |

**Tabelle 3: Gleichstromquellen ausser- und innerhalb des Notstandgebäudes**

| Speisung | Bezeichnung, Spannung, Kapazität, Standort | Auslegungs-Nutzungsdauer | Verbraucher |
|---|---|---|---|
| BDH, BFL | 120 V: **BNA** (1360 Ah) – in UN(D) (alternative Anspeisemöglichkeiten: Schiene BNA von BNC, Unterschiene BQA von BNG, Unterschiene BQB von BNC) | 2 h | GB- und T-Schalter für grosse Motoren, Motor Control Centers für kleinere Motoren, Solenoids von pneumatisch betätigten Ventilen, Leittechnik des Notspeisewassersystems (LSE) dazu pro Batterie: 1, evtl. 2 Schienen der gesicherten Wechselstromversorgung [1] |
| BEK, BGM | 120 V: **BNB** (1360 Ah) – in UN(D) (Schiene BNB auch anspeisbar von BNG) | 2 h | |
| | | | |
| BDH, BFL | 120 V: **BNC** (1360 Ah) – in UN(D) | 2 h | Turbinen-Leittechnik, Notbeleuchtung ausserhalb Notstandgebäude, Kommunikationssysteme dazu pro Batterie: 1, evtl. 2 Schienen der gesicherten Wechselstromversorgung |
| BEK; BGM | 120 V: **BNG** (1360 Ah) – in UN(D) | 2 h | |
| | | | |
| BEK, BFL | 24 V: **BND** (850 Ah) – in UN(D) | 2 h | Turbinen-Leittechnik |
| | | | |
| BVA | 120 V: **BNP** (680 Ah) – in UP | 2 h | Druckhalter-Sicherheits- und Isolier-Ventile, Frischdampf-Schnellschlussventile, Motor Control Centers im Notstandgebäude, Notbeleuchtung im Notstandgebäude |
| BFL | 120 V: **BNQ** (680 Ah) – in UP | 2 h | |
| | | | |
| BVA | 24 V: **BNL** (3'400 Ah) – in UP | 2h | Notstandschutzsystem inkl. Messwertaufbereitung, Weitbereich-Neutronenflussinstrumentierung (2 von 4 Kanälen), Leittechnik der Sicherheitsgebäude-Druckentlastung, Hilfssysteme der Notstand-Notstromdiesel |
| BFL | 24 V: **BNM** (3'400 Ah) – in UP | 2 h | |

[1] Die **gesicherte Wechselstromversorgung** speist (a) die 26-V-DC-Versorgung des Reaktorschutzsystems (RSS) und damit auch die Signalerfassung und -aufbereitung von Messgrössen ausserhalb der eigentlichen Sicherheitssysteme (Engineered Safety Features), (b) das Brandmeldesystem ausserhalb des Notstandgebäudes, (c) die Weitbereichs-Neutronenflussinstrumentierung (2 von 4 Kanälen) und (d) die 1E-klassierten Kanäle des Aktivitätsüberwachungssystems.

**Tabelle 4: Kernschadenshäufigkeit CDF und Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung LERF für Leistungsbetrieb**

| | Kernschadenshäufigkeit CDF [pro Kalenderjahr] | | | Häufigkeit grosser, früher Freisetzung LERF [pro Kalenderjahr] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | % | | % | % |
| **Gesamte Häufigkeit** | **1.71E-05** | **100** | | **3.06E-06** | **100** | |
| | | | | | | |
| **Interne Ereignisse** | **1.45E-06** | **8.5** | | **3.17E-08** | **1.0** | |
| LOCA | 1.03E-06 | | 6.0 | 2.65E-08 | | 0.9 |
| Transienten | 2.41E-07 | | 1.4 | 3.53E-09 | | 0.1 |
| Hilfssystemausfälle | 1.76E-07 | | 1.0 | 1.67E-09 | | 0.05 |
| **Systemübergreifende Ereignisse** | **1.60E-06** | **9.4** | | **1.76E-08** | **0.6** | |
| Brand | 1.46E-06 | | 8.5 | 1.38E-08 | | 0.5 |
| Interne Überflutung | 1.44E-07 | | 0.8 | 3.75E-09 | | 0.1 |
| Turbinenhavarie | 4.72E-09 | | | 6.39E-11 | | 0.0 |
| **Externe Einwirkungen** | **1.41E-05** | **82.1** | | **3.01E-06** | **98.4** | |
| Erdbeben | 1.27E-05[1] | | 74.4 | 2.98E-06[1, 2] | | 97.4 |
| Externe Überflutung | 4.49E-07 | | 2.6 | 7.13E-09 | | 0.2 |
| Flugzeugabsturz | 1.64E-07 | | 1.0 | 1.25E-08 | | 0.4 |
| Verstopfung Kühlwassereinlauf | 2.52E-07 | | 1.5 | 1.80E-09 | | 0.06 |
| Wind / Tornado | 4.64E-07 | | 2.7 | 8.72E-09 | | 0.3 |

1 Die Werte sind mit der H3-Gefährdung gemäss [13] und [14] ermittelt. Bei Annahme der H2-Gefährdung gemäss [11] und [12] wären sie um mindestens eine Grössenordnung kleiner

2 Der Wert berücksichtigt Ertüchtigungen zur Verbesserung der Containment-Isolation, welche in den Jahren 2011 und 2012 im Gange sind.

**Tabelle 5: Brennstoffschadenshäufigkeit FDF und Häufigkeit einer grossen Freisetzung SLRF für Stillstand und An-/Abfahren**

| | Brennstoffschadenshäufigkeit FDF [pro Kalenderjahr] | | | Häufigkeit grosser Freisetzung im Stillstand SLRF [pro Kalenderjahr] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | % | | % | % |
| **Gesamte Häufigkeit** | **4.03E-06** | **100** | | **1.14E-06** | **100** | |
| | | | | | | |
| **Interne Ereignisse** | **2.52E-06** | **62.5** | | **6.73E-07** | **58.8** | |
| LOCA | 1.47E-06 | | 36.5 | 5.05E-07 | | 44.1 |
| Transienten | 9.60E-07 | | 23.8 | 1.49E-07 | | 13.0 |
| Hilfssystemausfälle | 8.98E-08 | | 2.2 | 1.94E-08 | | 1.7 |
| **Systemübergreifende Ereignisse** | **4.46E-07** | **11.1** | | **1.10E-07** | **9.6** | |
| Brand | 3.74E-07 | | 9.3 | 8.30E-08 | | 7.3 |
| Interne Überflutung | 7.18E-08 | | 1.8 | 2.72E-08 | | 2.4 |
| Turbinenhavarie | - | | - | - | | - |
| **Externe Einwirkungen** | **1.07E-06** | **26.4** | | **3.61E-07** | **31.6** | |
| Erdbeben | 8.86E-07[1] | | 21.9 | 3.48E-07[1] | | 30.4 |
| Externe Überflutung | 5.81E-08 | | 1.4 | 1.86E-09 | | 0.2 |
| Flugzeugabsturz | [2] | | [2] | [2] | | [2] |
| Verstopfung Kühlwassereinlauf | 8.98E-08 | | 2.2 | 1.11E-08 | | 1.0 |
| Wind / Tornado | 3.18E-08 | | 0.8 | 4.64E-10 | | 0.04 |

1 Die Werte sind mit der H3-Gefährdung gemäss [13] und [14] ermittelt. Bei Annahme der H2-Gefährdung gemäss [11] und [12] wären sie um mindestens eine Grössenordnung kleiner

2 Der Beitrag wurde als nicht risikorelevant ausgescreent

**Tabelle 6: Grenztragfestigkeiten ausgewählter KKB-Gebäude**

| Gebäude, Bauteil | Median-Kapazität bezüglich PGA | $\beta_R$ | $\beta_U$ | HCLPF bezüglich PGA | Relevant für | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | NS_AUTO #4 | NS_MANUAL #5 | AM_DG #8 | AM_FWP #9 | BE-Lager-becken | Contain-ment |
| Reaktorgebäude – innere Strukturen | 2.86 | 0.16 | 0.27 | 1.40 | X | X | X | X | | X |
| Reaktorgebäude – globales Versagen | 1.83 | 0.28 | 0.41 | 0.59 | X | X | X | X | | X |
| Reaktorgebäude – örtliches Versagen der Aussenwand | > 1.50(*) | 0.28 | 0.41 | > 0.55(*) | X | X | X | X | | X |
| Notstandgebäude | 3.56 | 0.18 | 0.33 | 1.51 | X | X | X | | | |
| BOTA-Gebäude | 1.30 | 0.18 | 0.35 | 0.54 | X | X | | | | |
| Nebengebäude UN(A) – Schubwand-Versagen | 0.67(**) | 0.13 | 0.42 | 0.27(**) | | | | X | | |
| BE-Lagerbecken im Gebäude UN(B) | 3.72 | 0.13 | 0.24 | 2.02 | | | | X | X | |
| Nebengebäude UN(D) – Schubwand-Versagen | 0.95 | 0.18 | 0.32 | 0.42 | | X | X | X | | |
| Nebengebäude UN(E) – Schubwand-Versagen | 0.97 | 0.19 | 0.32 | 0.42 | | X | X | X | | |

(*) Wert ausnahmsweise gemäss [20], alle übrigen Werte gemäss [1]

(**) Eine Neubewertung und allfällige Ertüchtigung von Nebengebäude UN(A) wurde eingeleitet und ist in dieser Tabelle noch nicht berücksichtigt.

**Bemerkungen:**

- Die Werte in [1] sind bezogen auf die Spektralfrequenz 5 Hz berechnet, in dieser Tabelle sind sie aber ausgedrückt in der Starrkörperfrequenz PGA. Der zugehörige Umrechnungsfaktor ist 1/3.023.
- Die Parameter $\beta_R$ und $\beta_U$ repräsentieren die Unsicherheitsverteilung und stellen einen mathematischen Zusammenhang zwischen der Median-Kapazität und dem HCLPF-Wert dar.

**Tabelle 7: Grenztragfestigkeiten ausgewählter KKB-Systeme und -Komponenten**

| Gebäude | Seismische Komponente | Median-Kapazität bezüglich PGA | $\beta_R$ | $\beta_U$ | HCLPF bezüglich PGA | Relevant für | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | NS_AUTO #4 | NS_MANUAL #5 | AM_DG #8 | AM_FWP #9 | BE-Lager-becken | Con-tainment |
| Reaktorgebäude US | Kontrollstabantriebe | 2.10 | 0.27 | 0.38 | 0.72 | X | X | X | X | | |
| | Containment-Absperrarmaturen | 1.38 | 0.25 | 0.31 | 0.55 | | | | | | X |
| | Ventile am Druckhalter | 1.27 | 0.25 | 0.31 | 0.51 | | X | | | | |
| | Restwärmekühler | 1.72 | 0.25 | 0.31 | 0.68 | | | | | | X |
| | Verankerung des Reaktordruckbehälters | 2.24 | 0.23 | 0.25 | 1.02 | X | X | X | X | | |
| | Abstützungen der Dampferzeuger | 1.48 | 0.23 | 0.25 | 0.67 | X | X | X | X | | |
| | Kerneinbauten | 2.60 | 0.27 | 0.44 | 0.81 | X | X | X | X | | |
| | Abstützungen des Druckhalters | 1.84 | 0.28 | 0.28 | 0.73 | X | X | X | X | | |
| | Gitter des Rezirkulationssumpfs | 1.76 | 0.25 | 0.31 | 0.70 | | X | | | | |
| | KCH-Armaturen im Containment | 1.72 | 0.25 | 0.31 | 0.68 | | | | | | X |
| | Wasserstoff-Rekombinatoren | 1.27 | 0.25 | 0.31 | 0.51 | | | | | | X |
| | Containment-Umluftkühler | 1.27 | 0.25 | 0.31 | 0.51 | | | | | | X |
| | KAC-Rohrleitungen im Containment | 2.54 | 0.30 | 0.38 | 0.83 | | | | | | X |
| | PRW-Rohrleitungen im Containment | 2.54 | 0.30 | 0.38 | 0.83 | | | | | | X |
| | QIA-Rohrleitungen im Containment | 1.27 | 0.25 | 0.31 | 0.51 | | | | | | X |
| | Rohrleitungen des Reaktorkühlsystems | 1.93 | 0.36 | 0.47 | 0.49 | X | X | X | X | | |
| | Dampf-/Speisewasser-Leitungen | 1.93 | 0.36 | 0.47 | 0.49 | X | X | X | X | | |
| Notstandgebäude UP | Steuerschränke | 1.64 | 0.22 | 0.40 | 0.59 | X | | | | | |
| | Ausrüstung im Notstand-Leitstand | 1.64 | 0.24 | 0.48 | 0.50 | | X | X | | | |
| | Druckspeicher | 1.29 | 0.24 | 0.22 | 0.61 | X | X | X | | | |
| | Wechselstrom-Ausrüstungen | 1.52 | 0.24 | 0.48 | 0.46 | X | X | X | | | |
| | Gleichstrom- und Lüftungs-Ausrüstungen | 1.42 | 0.24 | 0.38 | 0.51 | X | X | X | | | |
| | mechanische Ausrüstungen | 1.29 | 0.24 | 0.23 | 0.60 | X | X | X | | | |
| | Notstand Ventile | 1.72 | 0.25 | 0.31 | 0.68 | X | X | X | | | |
| BOTA-Gebäude UU | Borwasser-Vorratstank | 1.56 | 0.15 | 0.30 | 0.74 | X | X | X | | | |

**Bemerkungen:**

- Die Werte in [1] sind bezogen auf die Spektralfrequenz 5 Hz berechnet, in dieser Tabelle sind sie aber ausgedrückt in der Starrkörperfrequenz PGA. Der zugehörige Umrechnungsfaktor ist 1/3.023.
- Die Parameter $\beta_R$ und $\beta_U$ repräsentieren die Unsicherheitsverteilung und stellen einen mathematischen Zusammenhang zwischen der Median-Kapazität und dem HCLPF-Wert dar.

**Tabelle 8: Seismische Kapazität der wichtigsten Abfahrpfade zur Kühlung des Reaktors nach Leistungsbetrieb**

| Abfahrpfad Nr. | Kurzbezeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | HCLPF-Wert | | Median-Kapazität | | Limitierende Ausrüstung und deren Funktion |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | HCLPF bezüglich PGA [g] | Sicherheitsfaktor = HCLPF/SSE | Median bezüglich PGA [g] | Sicherheitsfaktor = Median/SSE | |
| #4 | **NS_AUTO** | **Erster, automatischer Notstand-Strang:** Nachwärmeabfuhr mit Notstandspeisewasser LNA; Schutz der RHP-Dichtungen mit Sperrwasser der Notstand-Sperrwasserpumpe | **0.46** | **2.2** | **1.52** | **7.2** | Notstand-Wechselstrom-Ausrüstungen für Betrieb Notstand-Systeme |
| #5 | **NS_MANUAL** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems:** Nachwärmeabfuhr mit Bleed-and-Feed (mit Notstand-Ausrüstungen) im Verbund mit Notstand-Rezirkulation; falls notwendig Querverbindungen zu Versorgungssystemen des andern Blocks | **0.42** | **2.0** | **0.95** | **4.5** | Integrität Nebengebäude UN(D) zur Sicherstellung der Frischdampf-Isolation |
| #1, #2, #3 | **-** | **Abfahrpfade der Nicht-Notstand-Anlage** | Kapazität deutlich geringer als beim Notstandsystem (*) | | | | Diverse Ausrüstungen |
| #8 | **AM_DG** | **Accident-Management-Versorgung mittels mobilem Notstromaggregat** | **0.42** | **2.0** | **0.95** | **4.5** | Integrität Nebengebäude UN(D) zur Sicherstellung der Frischdampf-Isolation |
| #9 | **AM_FWP** | **Accident-Management-Bespeisung der DE mittels Feuerwehrpumpe** | **0.27(**)** | **1.3(**)** | **0.67(**)** | **3.2(**)** | Integrität Nebengebäude UN(A) für langfristig notwendige Einspeisung in Reaktor |

(*) Mit dem Umbau der Notstromversorgung (Projekt AUTANOVE) wird in den nächsten Jahren der Abfahrstrang #3 zu einem weiteren, seismisch robusten Sicherheitsstrang ausgebaut.

(**) Eine Neubewertung und allfällige Ertüchtigung von Nebengebäude UN(A) wurde eingeleitet und ist in dieser Tabelle noch nicht berücksichtigt.

**Tabelle 9: Seismische Kapazität der wichtigsten Abfahrpfade zur Kühlung des Reaktors im Stillstand**

| Ab-fahr-pfad Nr. | Kurzbezeich-nung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | HCLPF-Wert | | Median-Kapazität | | Limitierende Ausrüstung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | HCLPF bezüglich PGA [g] | Sicherheits-faktor = HCLPF/SSE | Median bezüglich PGA [g] | Sicherheits-faktor = Median/SSE | |
| #13 | **NS_SD1** | **Notstand-Rezirkulation im Stillstand** | **0.46** | **2.2** | **1.52** | **7.2** | Notstand-Wechselstrom-Ausrüstungen für Betrieb Notstand-Systeme |
| #14 | **NS_SD2** | **Zweiter, manueller Strang des Notstandsystems im Stillstand:** Nachwärmeabfuhr mit Feed-and-Boil mittels Pumpe JSI 1-D; falls notwendig Querverbindungen zu Versorgungssystemen des andern Blocks | **0.42** | **2.0** | **0.97** | **4.6** | Integrität Nebengebäude UN(E) (Hauptkommando-raum) für Operateure des andern Blocks |
| #11, #12 | **mehrere** | **Abfahrpfade der Nicht-Notstand-Anlage** | Kapazität deutlich geringer als beim Notstandsystem | | | | Diverse Ausrüstungen |
| #16 | **AM_SD_DG** | **Accident-Management im Stillstand mittels mobilem Notstromaggregat** | **0.42** | **2.0** | **0.97** | **4.6** | Integrität Nebengebäude UN(E) (Hauptkommando-raum) für Operateure |
| #17 | **AM_SD_FWP** | **Accident-Management-Bespeisung des Reaktors im Stillstand mittels Feuerwehr-pumpe** | **0.27**(*) | **1.3**(*) | **0.67**(*) | **3.2**(*) | Integrität Nebengebäude UN(A) für Einspeisung in Reaktor |

(*) Eine Neubewertung und allfällige Ertüchtigung von Nebengebäude UN(A) wurde eingeleitet und ist in dieser Tabelle noch nicht berücksichtigt.

**Tabelle 10: Accident-Management-Kühlmöglichkeiten des Reaktors nach Leistungsbetrieb bei Totalem Station-Blackout**

| Abfahr-pfad Nr. | Kurzbe-zeichnung | Methode zur Wärmeabfuhr, evtl. weitere Funktionen | Weitere Massnahmen | Zeitfenster und Vorschriften |
|---|---|---|---|---|
| Kühlmöglichkeiten mittels Querverbindungen zum anderen Block (falls dort Wechselstrom vorhanden) | | Erstellung DE-Bespeisung vom Notspeisewassersystem LSE des anderen Blocks | Abkühlen der Anlage durch Öffnen eines DE-Abblaseventils mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A (*) | Zwei Stunden geregelt in NV-B-ECA-0.0 |
| | | Erstellung DE-Niederdruckbespeisung vom Brunnenwassersystem LBW oder Notstand-Brunnenwassersystem LNB des andern Blocks | | Zwei Stunden gemäss Führung durch den Notfallstab |
| #7 | **AM_LSH** | **Accident-Management-Bespeisung der DE aus Speisewassertanks,** mittelfristig Übergang auf Abfahrpfad #8 oder #9 | Abkühlen der Anlage durch Öffnen eines DE-Abblaseventils mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A | Zwei Stunden geregelt in NV-B-ECA-0.0 |
| #8 | **AM_DG** | **Accident-Management-Versorgung mittels mobilem Notstromaggregat** | Start und Betrieb ausgewählter Komponenten des Notstandsystems<br>Evtl. Abkühlen der Anlage durch Öffnen eines DE-Abblaseventils mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A notwendig | Zwei Stunden geregelt in AM-R-BVA-1 |
| #9 | **AM_FWP** | **Accident-Management-Bespeisung der DE mittels Feuerwehrpumpe** | Abkühlen der Anlage durch Öffnen eines DE-Abblaseventils mittels Handkurbel gemäss BV-B-LDA-A<br>Bespeisen eines Dampferzeugers mit einer Feuerwehrpumpe (*) | Zwei Stunden geregelt in AM-R-LSE-2 und AM-R-LSN-1 |

(*) Nach Einspeisen und Entleeren der Druckspeicher muss infolge eines möglichen RHP-Dichtungs-LOCAs langfristig evtl. gemäss AM-R-JRC-1 mittels einer Feuerwehrpumpen Borwasser vom BE-Lagerbecken in den Reaktor eingespeist werden.

Zudem muss zur Erhaltung der Betriebsbereitschaft der Notstand-Instrumentierung innerhalb von acht Stunden ein auf Platz vorhandenes 50-kW-Notstromaggregat gemäss AM-R-BVA-1 auf die Notstand-Schiene BVA aufgeschaltet werden oder dann muss der Dampferzeuger überspeist werden.

**Tabelle 11: Richtlinien und Strategien des SAMG-Unfalldiagnoseplans im KKB**

| Name der Richtlinie | Titel der Richtlinie | Allgemeine Strategie |
|---|---|---|
| SAG-1 | Bespeisung der Dampferzeuger | • Erstellen Nachwärmeabfuhr und Stoppen der Leckage aus Primärkreislauf<br>• Verhindern Kriechversagen der DE-Rohre und damit eines Containment-Bypass<br>• Erstellen Wasservorlage für Auswaschung von Spaltprodukten bei DE-Rohrreisser |
| SAG-2 | Druckabsenkung im Reaktor | • Verhindern Hochdruck-Versagen des Reaktordruckbehälters und damit schwerwiegender Belastungen des Containments (Direct Containment Heating, Rocket-Mode, etc.)<br>• Ermöglichen einer Niederdruckbespeisung des Reaktorkerns |
| SAG-3 | Bespeisung von Reaktor oder Reaktor-Becken | • Stoppen der Kernbeschädigung und Kühlen des Brennstoffs<br>• Verhindern RDB-Versagen und damit schwerwiegender Belastungen des Containments (DCH, Rocket Mode, ex-vessel-Dampfexplosion, Fundament-Durchschmelzen) |
| SAG-4 | Bespeisen des Containments | • Kühlen des Brennstoffs und Verhindern von RDB-Versagen durch Aussenkühlung der unteren Kalotte<br>• Verhinderung schwerwiegender Belastungen des Containments (DCH, Rocket Mode, ex-vessel-Dampfexplosion, Fundament-Durchschmelzen)<br>• Kühlen einer Kernschmelze im Containment-Sumpf |
| SAG-5 | Verringerung der Spaltproduktfreisetzung | • Minimierung Freisetzung aus Containment, Dampferzeugern, Nebengebäude und Notstandgebäude |
| SAG-6 | *Linderung der Containmentbedingungen* | • Erstellen einer *Druckabsenkung und Nachwärmeabfuhr aus* dem Containment zur Verhinderung von Überdruckversagen |
| SAG-7 | Fluten des Containments | • Kühlen des Brennstoffs und Verhindern von RDB-Versagen durch Aussenkühlung des Reaktordruckbehälters und langfristige Stabilisierung der Anlage |
| SAG-8 | Freisetzung aus Brennelementlager unterbinden oder begrenzen | • Stoppen der Lüftung<br>• Erstellen Wassernachspeisung in das Becken |

**Tabelle 12: Richtlinien und Strategien des SAMG-Gefährdungs-Statusbaums im KKB**

| Name der Richtlinie | Titel der Richtlinie | Allgemeine Strategie |
|---|---|---|
| SCG-1 | Begrenzung der Spaltproduktfreisetzung | • Minimierung Freisetzung aus Containment, Dampferzeugern, Nebengebäude und Notstandgebäude |
| SCG-2 | Druckabsenkung im Containment | • Starten von Containment-Kühlsystemen (Sprühung, Umluftkühler)<br>• gefilterte Druckentlastung des Containments |
| SCG-3 | Begrenzung des Unterdrucks im Containment | • Stoppen Containment-Kühlsysteme<br>• Öffnen von Ventilen am Reaktorkühlsystem |

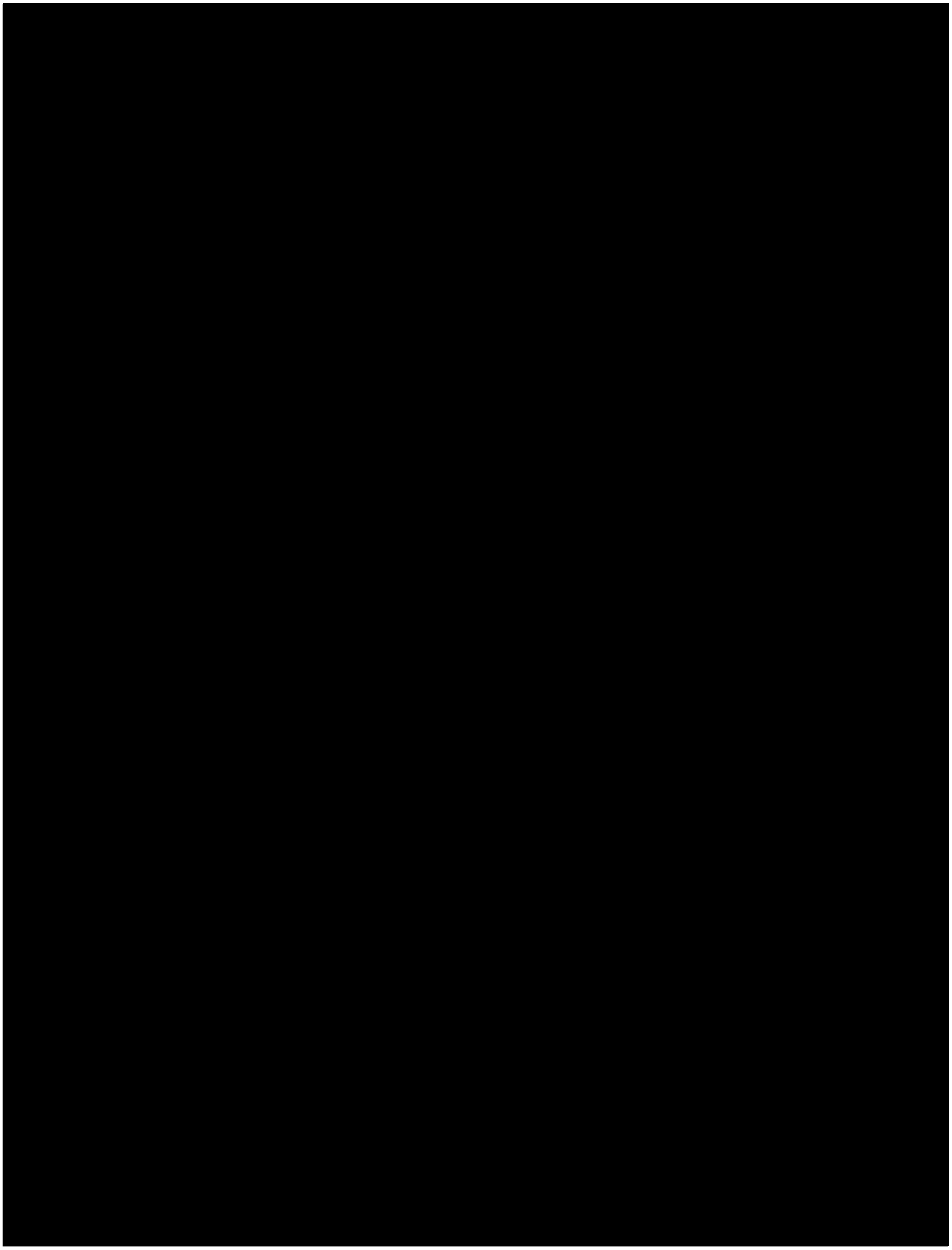

**Abbildung 1: Übersichtsplan der KKB-Gebäude**

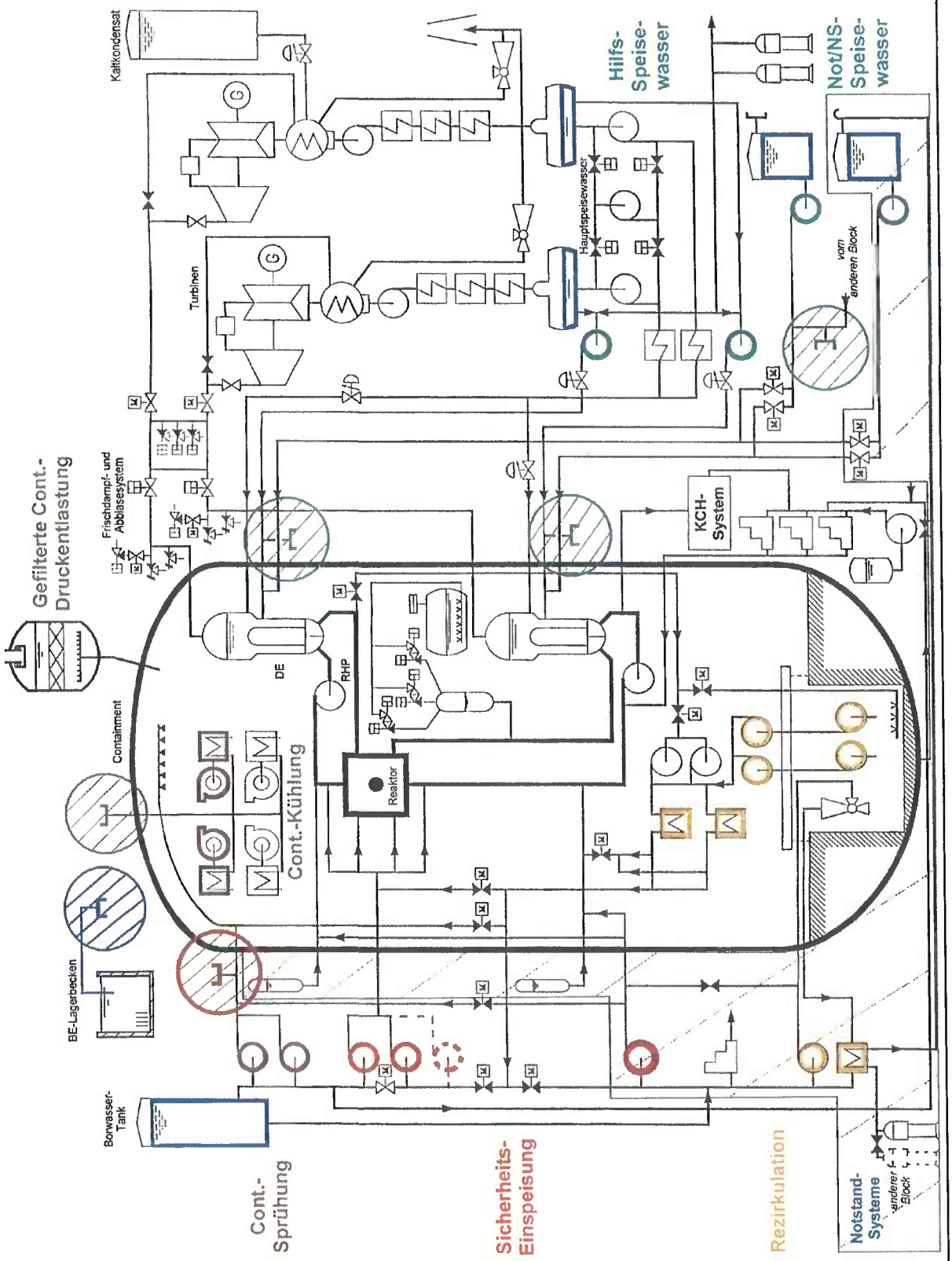


**Abbildung 2: Wichtigste KKB-Systeme (ohne Versorgungssysteme) sowie Einspeisemöglichkeiten für Accident-Management**

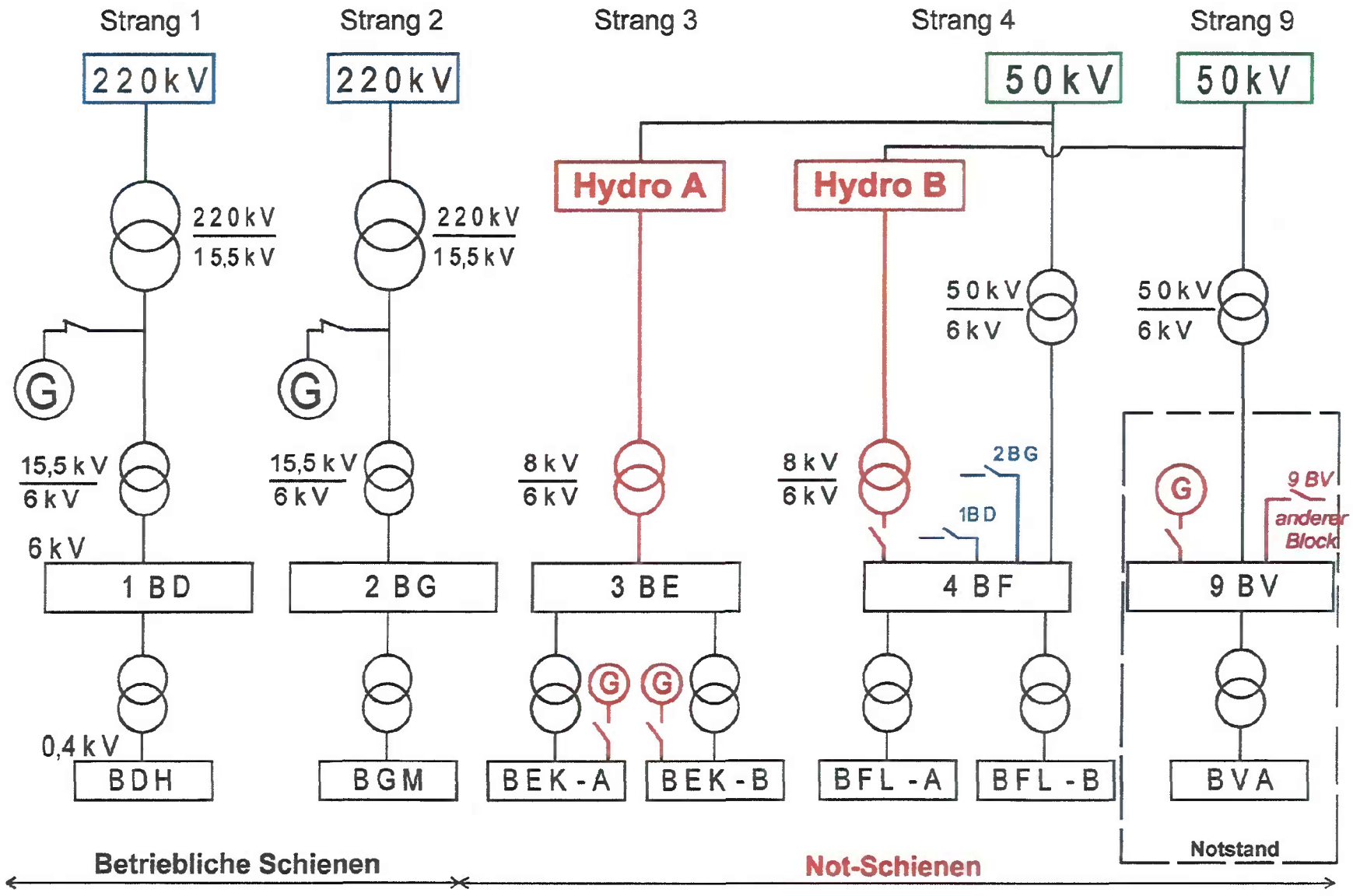


Abbildung 3: Notstromversorgung des KKB

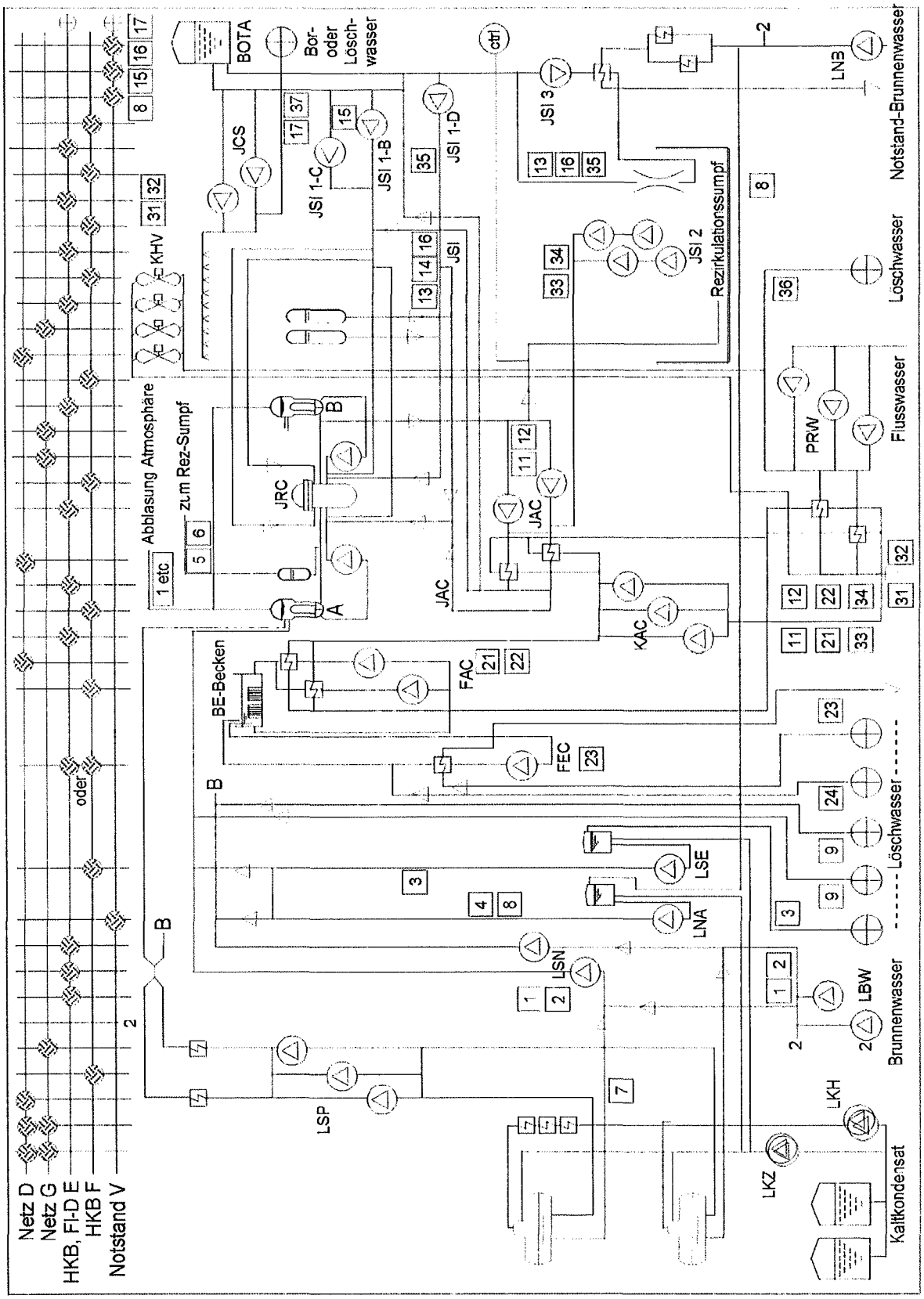


**Abbildung 4: Abfahrpfade des KKB mit ihren Stromversorgungen und Kühlketten**

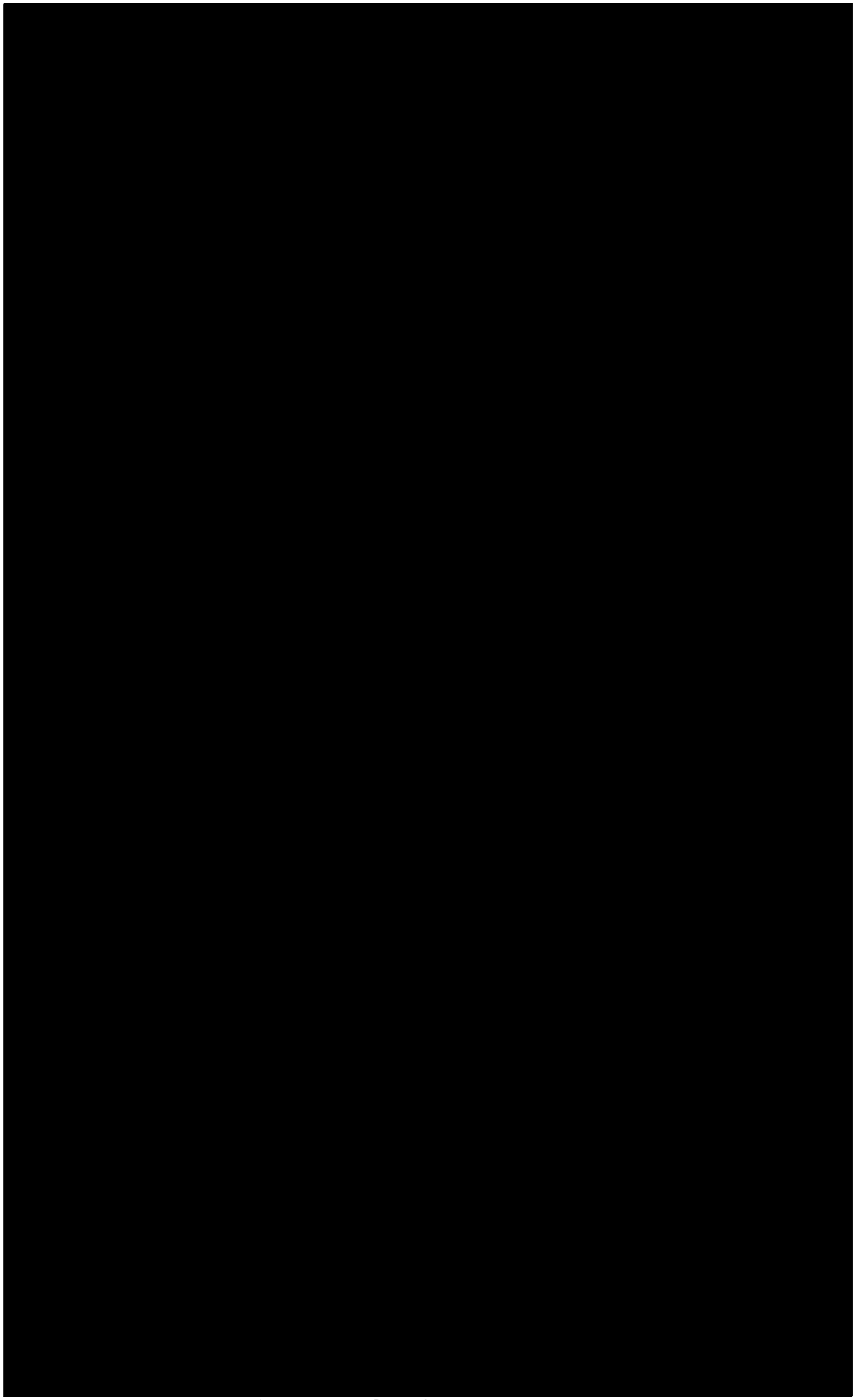

**Abbildung 5: Standorte im Bock 2 des KKB**

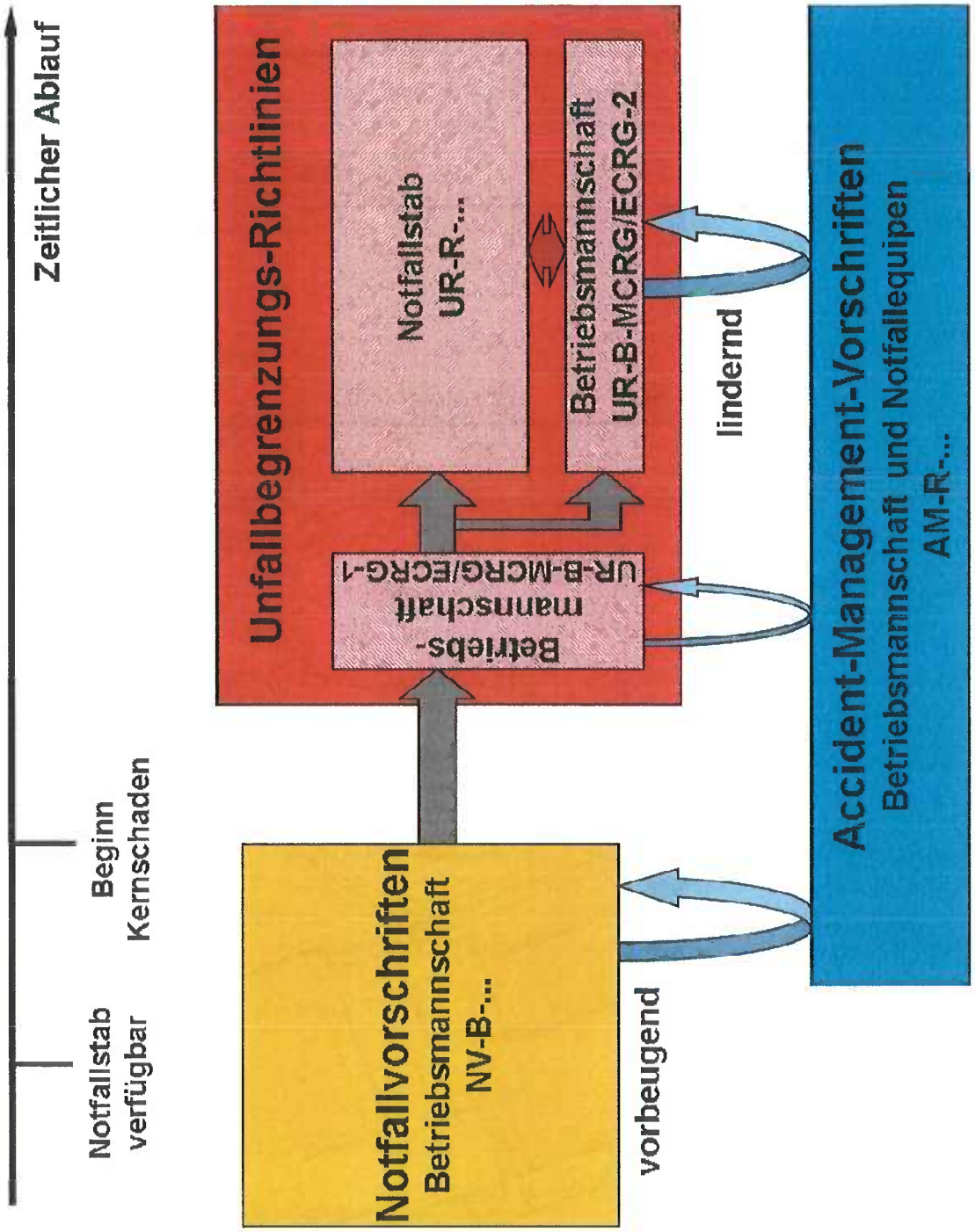


**Abbildung 6: Vorschriften, Richtlinien und Verantwortlichkeiten bei verschiedenen Phasen der Störfallbeherrschung im KKB**