Bericht

NICHT ÖFFENTLICH

Kernkraftwerk Gösgen

Betrifft

EU Stresstest: Beurteilung der Sicherheitsmargen des KKG, Bericht des Genehmigungsinhabers

Dokument-Nr. BER-D-54731
EDMS-Nr. 531239
AKZ
Anzahl Seiten 148

Inhaltsübersicht

1 Einleitung ... 4
2 Methodisches Vorgehen ... 4
3 Allgemeine Angaben zu Standort und Anlage ... 5
3.1 Standort ... 5
3.2 Hauptcharakteristiken der Anlage ... 6
3.3 Systemfunktionen für die Sicherstellung und Versorgung der hauptsächlichen Sicherheitsfunktionen ... 38
3.4 Signifikante Unterschiede zwischen den Reaktorblöcken ... 71
3.5 Hauptergebnisse probabilistischer Sicherheitsanalysen ... 71
4 Beurteilung der Erdbebensicherheit ... 74
4.1 Auslegungserdbeben ... 74
4.2 Seismische Margenanalyse ... 82
4.3 Verbesserungsmassnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen ... 94
5 Beurteilung des Hochwasserschutzes ... 97
5.1 Auslegungsbasis ... 97
5.2 Sicherheitsmargenanalyse ... 101
5.3 Verbesserungsmassnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen ... 103
6 Extreme Witterungsbedingungen ... 104
6.1 Auslegungsbasis ... 104
6.2 Bestimmung der Sicherheitsmargen ... 105
7 Ausfall der Spannungsversorgung ... 114
7.1 Ausfall der externen Spannungsversorgung ... 114
7.2 Ausfall der externen Spannungsversorgung und der auf der Anlage verfügbaren Notstromversorgungseinrichtungen (Station Blackout – SBO) ... 118
8 Ausfall der Hauptwärmesenke ... 122
8.1 Verhalten der Anlage bei Ausfall der Hauptwärmesenke ... 123
8.2 Ausfall der Hauptwärmesenke und der zweiten Wasserfassung ... 124
8.3 Ausfall der Hauptwärmesenke und Eintritt des Station Blackouts (Notstandsfall) oder des Totalen Station Blackouts ... 125
8.4 Besondere Randbedingungen an die Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb ... 126
8.5 Verbesserungsmassnahmen ... 127

Geht an

Interner Verteiler gemäss Dokumentenprofil

ersetzt Dok.-Nr.				
Rev.		Datum	Name	Unterschrift
v1	erstellt	27.10.2011	[redacted]	[redacted]
	geprüft	28.10.2011	[redacted]	
	genehmigt	28.10.2011	[redacted]	

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

9 Notfallmanagement 129
9.1 Allgemeine Angaben 129
9.2 Notfallmassnahmen bei Ausfall der Kernkühlungsfunktionen 138
9.3 Notfallmassnahmen zum Schutz der Containmentintegrität 143
9.4 Notfallmassnahmen zur Linderung der Folgen eines Verlusts der Containmentintegrität 145
9.5 Notfallmassnahmen bei Ausfall der BE-Beckenkühlung 146

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

Änderungsübersicht

Rev.	Seite	Beschreibung der Änderung
v1		Erstausgabe

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

1 Einleitung

In Absprache mit der Europäischen Union hat die Schweiz entschieden, sich am Europäischen Stresstest zu beteiligen. Mit der Verfügung vom 1. Juni 2011 [1-1] hat das ENSI eine Überprüfung der Sicherheitsmargen des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken im Rahmen dieser Beteiligung verfügt. Der vorliegende Bericht stellt die deutsche Originalversion des vom Genehmigungsinhaber zu erstellenden Berichts zur Überprüfung der Sicherheitsmargen dar. Entsprechend den Vorgaben der ENSREG wird dieser Bericht für das vorgesehene internationale Review auch ins Englische übertragen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist im Zweifelsfall das deutsche Original zu verwenden. Der vorliegende Bericht folgt den Spezifikationen der ENSREG unter Berücksichtigung der Vorgaben des ENSI [1-2] zum Inhaltsverzeichnis des Berichts.

Referenzen zu Kapitel 1

[1-1] ENSI, Verfügung: Neubewertung der Sicherheitsmargen des Kernkraftwerks Gösgen im Rahmen des EU-Stresstests, 1. Juni 2011 (Prüfstatus: D1- behördliches Dokument)

[1-2] ENSI, Stresstest: Inhaltsverzeichnis für die Schweiz, Table of contents (TOC), 12. August 2011 (Prüfstatus D1 – behördliches Dokument)

2 Methodisches Vorgehen

Dem vorliegenden Bericht liegt eine ganzheitliche Sicherheitsbeurteilung zugrunde, die sich methodisch am IAEA Dokument INSAG 25 „Integrated Risk Informed Decision Making" [2-1] orientiert.

Die wesentlichen berücksichtigten Beurteilungselemente sind:

1) Die deterministische Auslegung der Anlage einschliesslich deterministischer Sicherheitsmargenanalysen unter Verwendung fortgeschrittener Verfahren gemäss dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.
2) Erkenntnisse aus der anlagenspezifischen PSA
3) Erkenntnisse aus der Betriebserfahrung
4) Notfallorganisation und Erkenntnisse aus Überprüfungen der Notfallbereitschaft

Bei der Charakterisierung der Standortgefährdung durch externe Ereignisse werden die sich im Laufe der Betriebszeit der Anlage veränderten Gefährdungsannahmen berücksichtigt. Entsprechend wird mit **H1** die ursprüngliche Auslegungsbasis bei Bewilligung der Anlage und mit **H2** die aktuelle Auslegungsbasis, die sich gegebenenfalls aus einer Änderung der Betriebsbewilligung ergeben hat, bezeichnet. Für die Sicherheitsmargenanalyse werden entsprechend den Vorgaben der Schweizer Sicherheitsbehörde veränderte Gefährdungsannahmen [2-2], [2-3] getroffen, die mit **H3** bezeichnet werden.

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

Der Prüfstatus der zitierten Dokumente des Genehmigungsinhabers wird wie folgt gekennzeichnet:

D1 – Validiert im behördlichen Bewilligungsverfahren.

D2 – Qualifiziert durch Bewilligungsinhaber.

D3 – Geprüft durch Bewilligungsinhaber (nicht verwendet)

In einer Reihe von Fällen wird auf öffentlich zugängliche Referenzen verwiesen, die entsprechend gekennzeichnet werden.

Bei der Beurteilung der Sicherheitsmargen und des Eintritts von „Cliff Edge" Effekten werden alle relevanten Betriebszustände der Anlage betrachtet.

Referenzen zu Kapitel 2

[2-1] IAEA, A Framework for an Integrated Risk Informed Decision Making Process, INSAG 25, Vienna, 2011 (öffentlich)

[2-2] ENSI, Stresstest: Inhaltsverzeichnis für die Schweiz, Table of contents (TOC), 12. August 2011

[2-3] ENSI, Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, 1.4.2011 (öffentlich)

3 Allgemeine Angaben zu Standort und Anlage

3.1 Standort

Der Standort (vgl. [3-1]) des Kernkraftwerks Gösgen-Däniken (KKG) liegt im Kanton Solothurn am Südufer der Aare zwischen Olten und Aarau in einem bis 1,5 km Distanz vorwiegend für Industrie genutztem Gebiet, gefolgt von kleineren Dörfern im Abstand von ca. 4 km und den Städten Aarau und Olten zwischen 4 und 6 km Distanz. Die Koordinaten des Kernkraftwerks auf dem "Aarefeld" sind 639 900/246 260/382. Das eigentliche Kraftwerksareal ist auf seiner Nordseite durch den Aarelauf begrenzt, der in einer Schleife das "Aarefeld" auf drei Seiten umschliesst. Das "Aarefeld" bildet ein ebenes Schotterfeld von etwa 1 km^2 Fläche. Während sich die südliche Uferpartie beim Standort nur mit einer Böschung zum Flusslauf neigt, steigt das nördliche Ufer als Aussenrandzone der Flussschleife naturgemäss steil zur Lehnenterrasse des Oberwasserkanals des Wasserkraftwerkes Gösgen an. Das Kraftwerksareal liegt auf Kote 382 m ü. M. (382.1m für den Referenzpunkt am Notstandsgebäude ZX), wobei das Gelände teilweise aufgeschüttet wurde.

Abbildung 1 zeigt die Lage des Kernkraftwerks Gösgen [3-1], [3-2]. Die Kühlwasserfassungen sind am Oberwasserkanal (Hauptkühlwasserfassung M0) und am Unterwasserkanal (zweite Wasserfassung M5) des Wasserkraftwerks Gösgen angeordnet.

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

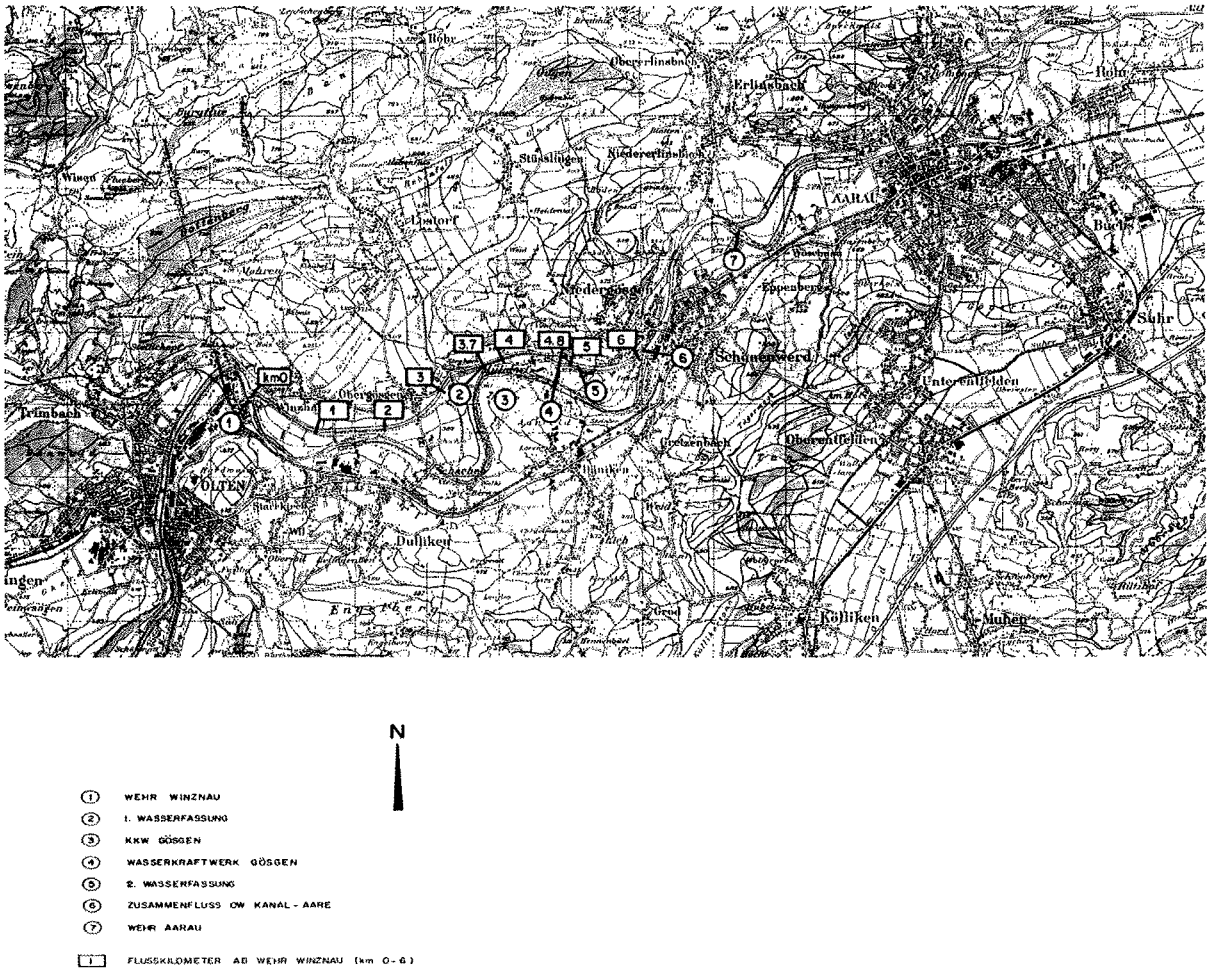


Abbildung 1 Lage des KKG (Übersicht)

3.2 Hauptcharakteristiken der Anlage

3.2.1 Übersicht

Das Kernkraftwerk Gösgen (nachfolgend KKG genannt) ist eine Einzelblockanlage.

Bewilligungsinhaber ist die Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG.

Das KKG verfügt über eine unbefristete Betriebsbewilligung, die am 29.9.1979 erteilt wurde. Die erste Kritikalität der Reaktoranlage erfolgte am 20.1.1979. Der kommerzielle Leistungsbetrieb wurde am 1. November 1979 aufgenommen.

KKG hat in zwei Schritten eine Leistungserhöhung von ursprünglich 2808 MW_{th} bis auf 3002 MW_{th} durchgeführt. Die Bewilligung der Leistungserhöhung auf 3002 MW_{th} erfolgte am 27. April 1992. Die aktuelle elektrische Bruttoleistung beträgt 1035 MW_e.

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

Beim Kernkraftwerk Gösgen handelt es sich um eine Druckwasserreaktoranlage des deutschen Lieferanten KWU (heute AREVA). Die im Reaktorkern erzeugte Wärme wird über drei parallele Kreisläufe an die Dampferzeuger abgeführt. Als Reaktorkühlmittel dient enthärtetes und entgastes Wasser, welches durch drei Hauptkühlmittelpumpen in den Reaktorkühlkreisläufen zwischen Reaktordruckbehälter und Dampferzeuger ständig umgewälzt wird. Die Reaktivitätskontrolle erfolgt mittels Steuerstäben und Borsäure. Durch die Hauptspeisewasserpumpen in der Dampfkraftanlage wird das Speisewasser in die Dampferzeuger eingespeist, wo es auf Siedetemperatur erhitzt wird. Für die Kühlung der Turbinenkondensatoren ist ein Kühlturmkreislauf mit Naturzugkühlern vorhanden. Das Nebenkühlwasser für den nuklearen und den konventionellen Zwischenkühlkreislauf wird dem Aarekanal entnommen und über einen Düker unterirdisch der Anlage zugeführt. Kühlwasser für das Notstandsystem kann aus den Brunnen des Notstandgebäudes gepumpt werden.

KKG verfügt über ein innerhalb des Containments angeordnetes Brennelement-Lagerbecken (Kompaktlager), ein innerhalb des Reaktorgebäudes angeordnetes Brennelement-Ladebecken sowie über ein externes, speziell gegen externe Einwirkungen geschütztes Nasslager für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente (vgl. [3-5]).

Sichere Betriebszustände des KKG sind die Zustände „heiss abgestellt" mit Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger, und „kalt abgestellt" mit Wärmeabfuhr im Nachkühlbetrieb [3-1]-[3-4]. In den Sicherheitsmargenanalysen wird abhängig vom Leitsystem zwischen drei Abfahrpfaden in einen sicheren Zustand unterschieden:

- Abfahren mit Hilfe des ungesicherten (ohne speziellen Schutz gegen Flugzeugabsturz) Reaktorschutzes (YZ) – 4 Redundanzen
- Abfahren mit Hilfe des gesicherten (inklusive Flugzeugabsturz) Reaktorschutz (RX) mit verkürzter Nachkühlkette, 2 Redundanzen
- Abfahren mit Hilfe von Notfallmassnahmen (Accident Management).

Die Wärmeabfuhr aus dem externen Brennelement-Nasslager erfolgt passiv und inhärent sicher durch Naturumlauf. Zusätzlich sind Notfallmassnahmen vorbereitet [3-6]. Die Beckenkühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment erfolgt über drei Beckenkühlkreise mit insgesamt 5 zugeordneten Pumpen. Die Beckenkühlkreise sind als Sicherheitssysteme klassiert und gegen Erdbeben ausgelegt. Mit Hilfe der verkürzten Nachkühlkette kann die Wärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken im Containment über das speziell geschützte Notstandssystem (inkl. Flugzeugabsturz) sicher gestellt werden.

3.2.2 Beschreibung der wichtigsten Sicherheitseinrichtungen des KKG

3.2.2.1 Gesamtübersicht

Tabelle 1 gibt einen schutzzielorientierten Gesamtüberblick über die Sicherheitsfunktionen der Anlage mit Zuordnung der relevanten Systemfunktionen. Unter dem Begriff „Systemfunktion" wird

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

stets die gesamte Funktionskette einschliesslich der Versorgungskette (Kühlwasser, Spannungsversorgung) zusammengefasst. Die Übersicht wurde der aktuellen Sicherheitsstatusanalyse (SSA) des KKG entnommen [3-7]. Detaillierte Beschreibungen und Bewertungen der Sicherheits- und Systemfunktionen sind ebenfalls in [3-7] aufgeführt.

Tabelle 1 Schutzzielorientierter Gesamtüberblick: Sicherheitsfunktionen des KKG mit Zuordnung der Systemfunktionen

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen
1. Kontrolle der Reaktivität	Reduzierung der erzeugten Wärme; Sicherstellung der Unterkritikalität	Inhärente Rückkopplung
		RESA (inklusive Steuerelement-Einwurf)
		Boreinspeisung Volumenregel-system TA
		Boreinspeisung Zusatzborier-system TA 81/82
		Boreinspeisung Not- u. Nach-kühlsystem TH inkl. Druck-speicher
		FD - Abschluss
		Abschaltung der Hauptkühl-mittelpumpen
2. Kühlung der Brennelemente		
2.1 a Sicherstellung des Wasserinventars im Reaktor-kühlkreislauf	Primärkühlmittelergänzung	Einspeisung Volumenregel-system TA
		Einspeisung Zusatzborier-system TA81/82
		HD–Sicherheitseinspeisung
		ND-Einspeisung aus Flutbehältern und/oder Sumpf

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

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen
		Druckspeichereinspeisung
		ND-Einspeisung vom Notstandssystem aus Flutbehältern oder Sumpf
	Minimierung Reaktorkühlmittelverlust[1]	Reaktorkühlkreislaufabschluss (PKA) aus dem gesicherten Reaktorschutz (RX)
		Sekundärkreisabschluss (SKA)
2.1 b Sicherstellung des Wasserinventars im Sekundärkreislauf	Dampferzeugerbespeisung	Bespeisung mit An- und Abfahr-pumpen[2] RR
		Bespeisung mit Notspeise-pumpen
		Bespeisung mit Notstandsnot-speisepumpen RX[3]
		Notfallmassnahme Sekundär-seitiges Feed and Bleed
	Minimierung Wasser-/Dampfverlust aus Sekundärkreislauf	Sekundärkreisabschluss (SKA)
2.2 a Sicherstellung der Integrität des Reaktorkühl-kreislaufes	Primärseitige Druckbegrenzung[4]	Druckbegrenzung mittels Druckhaltersicherheitsventil (1 von 3)

[1] Vollständige Beschreibung aller zugeordneten Systemfunktionen in [3-7]
[2] Bespeisung möglich bis zur Erschöpfung des Speisewasservorrats im Speisewasserbehälter, danach Deionatnachspeisung erforderlich
[3] Langzeitbespeisung durch Ergänzung der Deionatvorräte vom Brunnenwassersystem VX und des Dieseltreibstoffs mittels Tank-Mobil
[4] Es werden nur die relevanten Systemfunktionen aufgeführt, Funktionen die als Folge des Ereignisses ausfallen, werden ebenfalls nicht aufgeführt

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

Schutzziele	**Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen**	**Vorhandene Systemfunktionen**
		Primärseitige Druckentlastung (PDE) [5]
		RDB Deckelentlüftung[6]
2.2. b Sicherstellung der Integrität des Sekundärkreislaufes	DE- Überspeisungsabsicherung	DE-Füllstandsregelung
		Notstandsnotspeiseregelung
		Absperrung Notbespeisung RS
		Absperrung Notstandnotbespeisung RX
2.2. c Sicherstellung der Integrität der Sicherheitshülle	Druckbegrenzung in der Sicherheitshülle	FD-Abschluss
		Absperrung DE-Bespeisung (aus Reaktorschutz)
		Nachkühlung (*siehe primärseitige Nachwärmeabfuhr*)
		Gefilterte Druckentlastung des Containments
		Wasserstoffbeherrschung: Passives Durchmischungssystem der Containmentatmosphäre (XP50); thermische Rekombinatoren
2.3 a Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf	Primärseitige Nachwärmeabfuhr	Wärmetransport über Naturumlauf oder im Dampf-Kondensations-Modus
		Nachkühlung (Nachkühlbetrieb/Sumpfbetrieb)

[5] Notfallmassnahme
[6] Notfallmassnahme

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

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen
		Notstandnachkühlung/Verkürzte Nachkühlkette
2.3 b Nachwärmeabfuhr aus dem Sekundärkreislauf	Sekundärseitige Wärmeabfuhr	Abfahren über FD-Abblase-regelventile von ZX
		Abfahren über FD-Abblase-regelventile von ZE
		100K/h-Abfahren von ZE
		100K/h-Abfahren von ZX (manuelle Regelung)
		Sekundärseitiges Feed and Bleed [7]
2.3. c Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken im Containment	BE-Beckenkühlung	BE-Beckenkühlung über TH10/TH30 (Nachkühlpumpen)
		BE-Beckenkühlung über den dritten unabhängigen Becken-kühlstrang TH74
		BE-Beckenkühlung über die Notstandsnachkühlpumpen TH17/TH37 - verkürzte Nachkühlkette
		BE-Beckenkühlung / Leckageergänzung durch Einspeisen aus Flutbehälter (TH10/TH30)
		BE-Beckenkühlung / Leckageergänzung durch Einspeisen aus Flutbehälter mit Notstandsnachkühlpumpen (Notfallmassnahme)

[7] Notfallmassnahme

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

Schutzziele	Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen	Vorhandene Systemfunktionen
		BE-Beckenkühlung über Einspeisen/Verdampfen – Notfallmassnahme – Einspeisen von Feuerlöschwasser
2.3. d Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken im Nasslager ZS07	BE-Beckenkühlung	Fremdenergielose Kühlung über Naturumlauf
		BE-Beckenkühlung über vorbereitete Accident Management Anschlüsse, Kühlung über die Einhängekühler im BE-Becken[8]

Die wichtigsten Systeme und Einrichtungen werden nachstehend beschrieben. Detaillierte Darlegungen sind in der behördlich geprüften Anlagendokumentation des KKG zu finden [3-1], [3-2], [3-3], [3-4], [3-7] - [3-9].

3.2.2.2 Reaktorschnellabschaltung (RESA)

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

3.2.2.3 Reaktorschutzsystem

Mit umfangreichen Sicherheitssystemen [3-1] - [3-3], [3-7] wird im KKG die Einhaltung der folgenden Schutzziele beim Betrieb der Anlage und bei Auslegungsstörfällen sicher gestellt:

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

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

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

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

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

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

Der ungesicherte Bereich des Reaktorschutzes ist für die Beherrschung von anlageninternen Störfällen und äusseren Einwirkungen (bis einschliesslich Sicherheitserdbeben, Gefährdungsstufe **H1**, vgl. Kapitel 4) zweckbestimmt, während die dem gesicherten Bereich zugeordneten Reaktorschutzsignale primär der Beherrschung von äusseren Einwirkungen (einschliesslich sehr starker Erdbeben) dienen, zugleich aber eine Redundanz zu einigen im ungesicherten Bereich vorhandenen Reaktorschutzsignalen in Bezug auf anlageninterne Störfälle darstellen.

Reaktorschutzsignale haben stets Vorrang gegenüber normalen Schutzsignalen (Aggregateschutz) und Handeingriffen des Personals. Reaktorschutzsignale können bei anstehenden Anregesignalen nicht oder nur unter bestimmten Bedingungen zurückgestellt werden.

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

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

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

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

Die redundanten Messwertgeber des Reaktorschutzsystems werden durch Vergleicher überwacht. Der Logikteil beruht auf dem Prinzip der Fortpflanzung einer Impulskette, die zur Speisung der angeschlossenen Auslöserelais verwendet wird. Störungen führen zur Unterbrechung der Impulskette und somit zum Abfall der Relais bzw. lösen eine Meldung aus. Der nicht selbstmeldende Auslöserelais-Teil (6 – Kontaktsystem) wird während des Leistungsbetriebes per Hand periodisch geprüft.

Im Reaktorschutzsystem des KKG werden keine computerbasierten Leittechniksysteme verwendet.

3.2.2.4 Systeme zur Kernnot- und Nachkühlung

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

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

Alle zum Kernnotkühl– und Nachwärmeabfuhrsystem TH gehörenden Ausrüstungen sind innerhalb des Reaktorgebäudes gegen externe Einwirkungen geschützt aufgestellt und EK I (Bemessung gegen Sicherheitserdbeben, Gefährdungsstufe **H1** vgl. Kapitel 4) klassiert.

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

- die Hochdrucksicherheitseinspeisung,
- die Druckspeichereinspeisung,
- die Niederdrucksicherheitseinspeisung,
- die Nachwärmeabfuhr durch Nachkühlbetrieb oder Sumpfbetrieb,

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

- die Brennelement-Lagerbeckenkühlung.

1999 wurde ein dritter unabhängiger Beckenkühlstrang in das Not- und Nachkühlsystem integriert (TH74), der verfahrenstechnisch der Nachkühlkette des Stranges 2 zugeordnet ist.

Abbildung 2 zeigt ein Übersichtsschaltbild des Not- und Nachkühlsystems (ohne den dritten Beckenkühlstrang).

3.2.2.4.1 Hochdrucksicherheitseinspeisung

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

Da die Hochdrucksicherheitseinspeisepumpen bei hohem Druck einspeisen, dienen sie in erster Linie der Sicherstellung der Kernkühlung bei kleinen Kühlmittelverluststörfällen, welche nur zu einem langsamen Druckabfall im Reaktorkühlkreislauf führen. Die Nachzerfallswärme wird direkt über das Leck (in das Containment) und über die Dampferzeuger an die Sekundärseite abgeführt. Eine Umschaltung auf Sumpfbetrieb ist auslegungsgemäss nicht möglich. Deshalb wird die Anlage bei einem kleinen Leck mit 100 K/h über die Sekundärseite abgefahren, um die weitere Nachwärmeabfuhr mit den Nachkühlpumpen fortzusetzen.

3.2.2.4.2 Druckspeichereinspeisung

Das Kernnotkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem TH verfügt über sechs Druckspeicher. Jeweils zwei sind fest den Reaktorkühlmittelkreisläufen angeschlossenen TH-Strängen zugeordnet, wobei je ein Druckspeicher an einer „kalten" und an einer „heissen" Einspeiseleitung angeschlossen ist. In den Druckspeichern befindet sich ein unter Druck stehendes Stickstoffpolster. Bei einem Reaktordruck unterhalb 26 bar speisen die Druckspeicher (34 m^3 je Druckspeicher) selbsttätig ein. Die Druckspeicher kommen somit bei Kühlmittelverluststörfällen zum Einsatz, wenn der Druck im Reaktorkühlkreislauf gegenüber dem normalen Betriebsdruck deutlich gesenkt ist. Bei mittleren und grossen Kühlmittelverluststörfällen genügt die Wärmeabfuhr über das Leck, um den Kühlmitteldruck bis unter den Ansprechwert der Druckspeicher zu senken. Für diese Fälle ist das Wasserinventar in den Druckspeichern so bemessen, dass der Reaktorkern geflutet wird (dafür genügt das Inventar aus zwei Druckspeichern), bis das Niederdruckeinspeisesystem wirksam einspeisen kann.

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

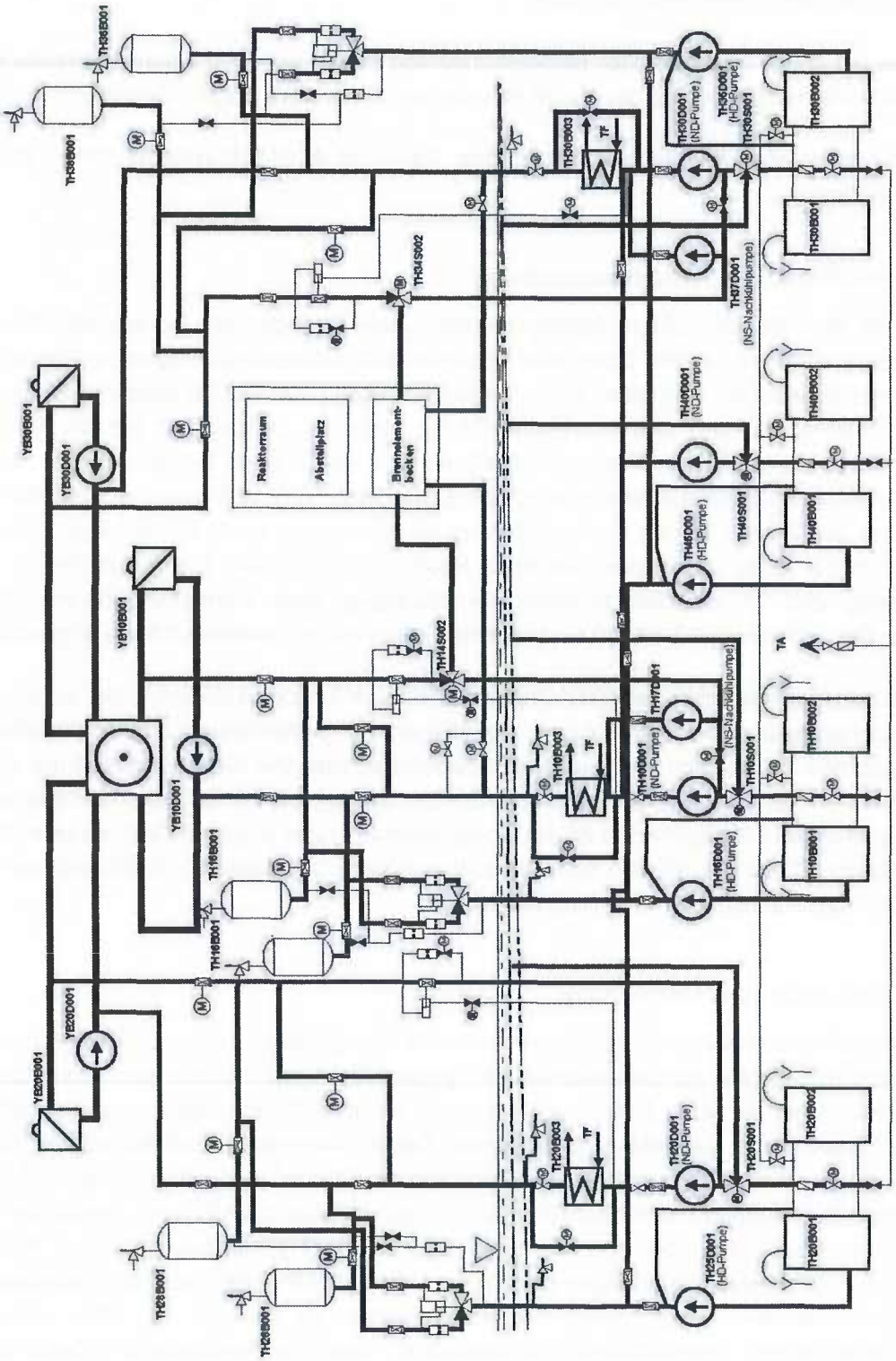


Abbildung 2 Übersichtsschaltbild Not- und Nachkühlsystem TH

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

3.2.2.4.3 Niederdrucksicherheitseinspeisung und Nachwärmeabfuhr

Bei Kühlmittelverluststörfällen dient das Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystem der Abfuhr der Nachzerfallswärme aus dem Reaktor und aus dem Containment. Die Wärmeabfuhr erfolgt hierbei im Sumpf- oder im Nachkühlbetrieb (kleine Lecks). Es stellt zudem sicher, dass der Reaktorkern auch langfristig mit Wasser bedeckt und durchströmt bleibt und eine Verdampfung vermieden wird. Aufgrund der fehlenden Dampfbildung besteht hier auch keine Gefahr für ein Eindicken (im Extremfall Auskristallisieren) der Borsäure. Das Niederdrucksicherheitseinspeisesystem speist kombiniert, d. h. heiss- und kaltseitig, in die Reaktorkühlmittelschleifen ein. Die Wärmeabgabe im Nachwärmekühler erfolgt an das nukleare Zwischenkühlwassersystem TF. Bei Strangrevision und unterstelltem Einzelfehler kann die Nachwärmeabfuhr im Sumpfbetrieb nur über einen TF-Strang erfolgen. Analysen haben gezeigt, dass die Nachwärme über eine TH- und eine TF-Pumpe erfolgreich abgeführt werden kann, selbst wenn eine zeitweilige Kavitation der Nachkühlpumpe unterstellt wird [3-7].

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

Zwei Stränge des Niederdrucksicherheitseinspeise- und Nachwärmeabfuhrsystems (TH10 und TH30) können zur Brennelementbeckenkühlung verwendet werden. Den Strängen TH10 und TH30 sind auch die vom Notstand versorgten Notstandsnachkühlpumpen TH17 und TH37 zugeordnet, die ebenfalls für die Beckenkühlung verwendet werden können. Bei Nichtverfügbarkeit des Zwischenkühlwassersystems TF kann die Nachwärme über die verkürzte Nachkühlkette an das notstandsgesicherte Brunnenwassersystem VX abgegeben werden. Auf diese Möglichkeit der Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken kann bei extremen externen Ereignissen zurückgegriffen werden. Mit Hilfe der Notstandsnachkühlpumpen kann auch ein Notstandsnachkühlbetrieb und ein Notstandssumpfbetrieb durchgeführt werden (manuelle Inbetriebnahme). Abbildung 3 zeigt einen Strang des Not- und Nachkühlsystems (TH10) in der Betriebsstellung für die BE- Beckenkühlung.

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

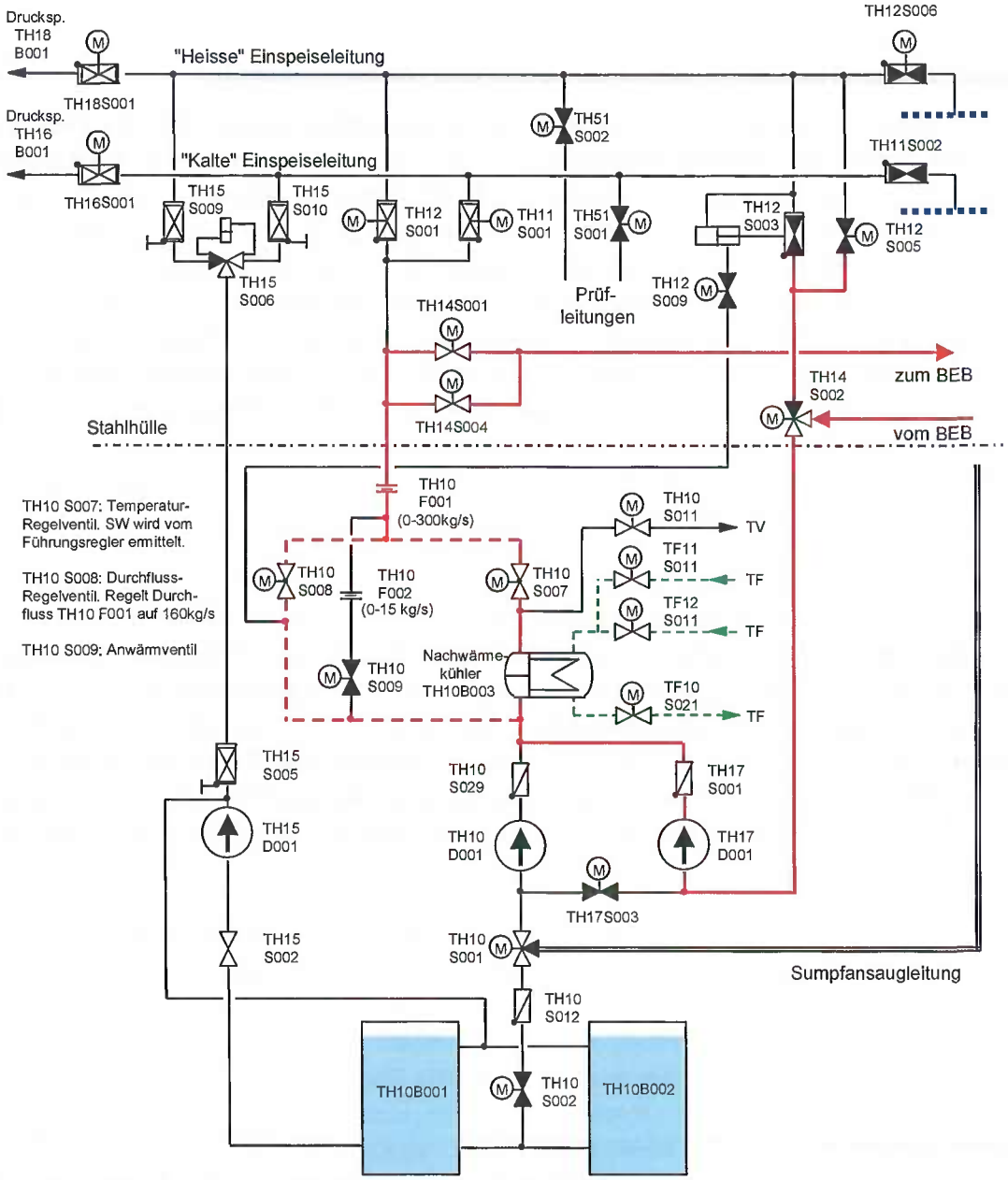


Abbildung 3 Betriebsstellung BE-Beckenkühlung (TH10)

Bei einem Kühlmittelverluststörfall kann die Brennelementbeckenkühlung unterbrochen (automatische Umschaltung auf LOCA-Betrieb), resp. auf eine konstante Kühlmittelergänzung über die Bypass-Armatur reduziert werden. Sie wird im späteren Störfallverlauf von Hand wieder in Betrieb genommen. 1999 wurde ein dritter unabhängiger Beckenkühlstrang nachgerüstet (TH74 mit eigenem Plattenwärmetauscher), der auf die maximale Leistung der aus dem Brennelement-Lagerbecken abzuführenden Nachwärme ausgelegt ist. Die Einrichtungen dieses dritten unabhängigen Beckenkühlstranges werden vom Notstrom versorgt und geben die Wärme an den Strang 2 des Zwischenkühlwassersystems TF und des nuklearen Nebenkühlwassersystems VE ab.

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

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

Im Rahmen der Einführung des integrierten Notfallmanagements im KKG wurde die Möglichkeit der Einspeisung von Wasser (Feuerlöschwasser) in den vierten Strang des Nachkühlsystems (TH40) und in den dritten Beckenkühlstrang (TH74) geschaffen. Die Einspeisung in das Nachkühlsystem dient der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus einem partiell zerstörten Reaktorkern bei einem schweren Unfall. Die Massnahme dient der Aufrechterhaltung der Integrität des Reaktordruckbehälters unter Unfallbedingungen bei Totalausfall aller anderen Einspeisequellen. Die Einspeisung in den Beckenkühlstrang dient der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken, insbesondere bei Unfällen im Anlagenstillstand.

Die Nachwärmeabfuhr aus dem TH-System kann über die folgenden Nachkühlketten erfolgen:

- TH –TF–VE–VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der ersten Wasserfassung (M0)
- TH – TF – VE –VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der zweiten Wasserfassung (M5)
- TH – VX Verkürzte Nachkühlkette, Nebenkühlwasserversorgung aus 2 x 100% Grundwasserbrunnen im Notstandsgebäude (ZX)

3.2.2.5 Systeme zur sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr

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

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

Wenn das Speisewassersystem RL zur Verfügung steht, kann es ebenfalls zur sekundärseitigen Nachwärmeabfuhr verwendet werden. Zusätzlich kann die Dampfabgabe über das Fremddampfsystem UP oder das Hilfsdampfsystem RQ (jeweils mittels Abblasen über Sicherheitsventile) zur Wärmeabfuhr genutzt werden. Diese Massnahmen sind im Notfallhandbuch [3-12] vorgesehen und beschrieben.

3.2.2.5.1 Einrichtungen zur Frischdampf-Druckbegrenzung und -Entlastung

Für die Frischdampfdruckentlastung können je nach Verfügbarkeit das Frischdampfumleitsystem, die Frischdampfsicherheitsventile oder die Frischdampfabblasearmaturen verwendet werden. Mit-

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

hilfe der Frischdampfsicherheitsventile ist es möglich, die Anlage im Zustand „heisse Bereitschaft" zu halten. Dieser Zustand ist für das KKG als sicherer Betriebszustand für den Notstandsfall definiert.

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

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

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

Mit Hilfe von Notfallmassnahmen kann fremdenergielos ein Abblasen („Secondary Bleed") über Dach zur Wärmeabfuhr und Druckentlastung der Dampferzeuger ausgelöst werden.

3.2.2.5.2 Frischdampfisolation

Bei Leitungsbrüchen im Frischdampfsystem haben die Isolationsventile die Aufgabe, die einzelnen Dampferzeuger vom Frischdampfsystem zu trennen, um das Ausdampfen von mehr als einem Dampferzeuger unter Annahme eines Einzelfehlers zu verhindern. Sie beschränken damit die Abkühlung des Reaktorkühlkreislaufes, den möglichen Druckaufbau im Containment und unterstützen damit die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr. Entsprechend dieser Aufgabenstellung sind diese Armaturen so ausgelegt, dass die Schliessfunktion der Ventile bei Frischdampflecks vor oder nach den Frischdampfarmaturenstationen aufrechterhalten wird. Die Armaturenstation mit den Frischdampfisolationsventilen, den Dampferzeugersicherheitsventilen und der Frischdampfabblasestation sind gegen externe Einwirkungen geschützt im „Reaktorgebäude Rucksack" angeordnet.

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

3.2.2.5.3 Wärmeabfuhr über Fremddampf- oder Hilfsdampfsystem

In einem technischen Notfall können die Sicherheitsventile des Fremddampfsystems UP oder des Hilfsdampfsystems RQ für die Wärmeabfuhr an die Atmosphäre genutzt werden. Entsprechende Massnahmen sind im Notfallhandbuch (Prozedur 8.2.3, [3-12]) beschrieben. Mit Hilfe eines UP-Sicherheitsventils (1 v. 2) kann eine Dampfmenge von ca. 26 kg/s abgegeben werden Dies entspricht einer Wärmeleistung von mehr als 1.5% der Nennleistung des KKG. Mit Hilfe eines RQ – Sicherheitsventils kann eine Dampfmenge von ca. 15 kg/s abgeblasen werden. Dies entspricht einer Wärmeleistung von ca. 0.9 % der Nennleistung des KKG.

3.2.2.5.4 Systeme zur Bespeisung der Dampferzeuger

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

3.2.2.5.4.1 An- und Abfahrsystem RR

Das An- und Abfahrsystem hat die Aufgabe,

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

Das An- und Abfahrsystem saugt aus dem Speisewasserbehälter an und verfügt über einen minimalen Wasservorrat von 140 m^3. Die Auslegung des An- und Abfahrsystems entspricht einer 2 x 50% Auslegung in Bezug auf ein Kaltfahren der Anlage und 2 x 100 % in Bezug auf die Nachwärmeabfuhr. Jede der beiden An- und Abfahrpumpen hat eine nominelle Förderkapazität von ca. 23,6 kg/s.

Das An- und Abfahrsystem ist notstromgesichert, sicherheitstechnisch aber nicht klassiert. Im Rahmen der PSÜ 2008 ([3-4], vgl. Kapitel 4) konnte gezeigt werden, dass das System dennoch über beträchtliche Auslegungsreserven für den Lastfall Erdbeben verfügt.

3.2.2.5.4.2 Notspeisesystem RS

Das notstromgesicherte Notspeisesystem dient zur Sicherstellung der Dampferzeugerbespeisung bei

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

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

Das Notspeisesystem verfügt über drei Notspeisestränge, die fest jeweils einem Dampferzeuger zugeordnet sind, und über einen vierten Notspeisestrang, der auf jeden der drei Dampferzeuger aufgeschaltet werden kann. Die Kapazität einer Notspeisepumpe beträgt 23,6 kg/s (Nennfördermenge). Jeder Notspeisestrang verfügt über ein Notspeisebecken mit einem Deionatvorrat von 210 m^3. Die Notspeisebecken verfügen zudem über eine betriebliche Deionatreserve, die bei einem Störfall mit genutzt werden kann. Die Notspeisebecken können untereinander verbunden werden, was im Falle des postulierten Ausfalls von Notspeisepumpen den Deionatvorrat für die verbleibenden Pumpen vergrössert. Als Notfallmassnahme wurde eine Einspeisung von Feuerlöschwasser in die Notspeisebecken vorbereitet, so dass auch ein Langzeitbetrieb des Notspeisesystems RS möglich ist. Abbildung 4 zeigt ein Prinzipschaltbild des Notspeisesystems.

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

Das Notspeisewassersystem wird automatisch in Betrieb genommen, wenn der Dampferzeugerfüllstand kleiner als 5 m ist. Für eine ausreichende, stabile Wärmeabfuhr vom Reaktorkühlkreislauf an die Sekundärseite genügt es, wenn die Notbespeisung den Dampferzeugerfüllstand oberhalb von ca. 1.5 m hält [3-7].

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

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

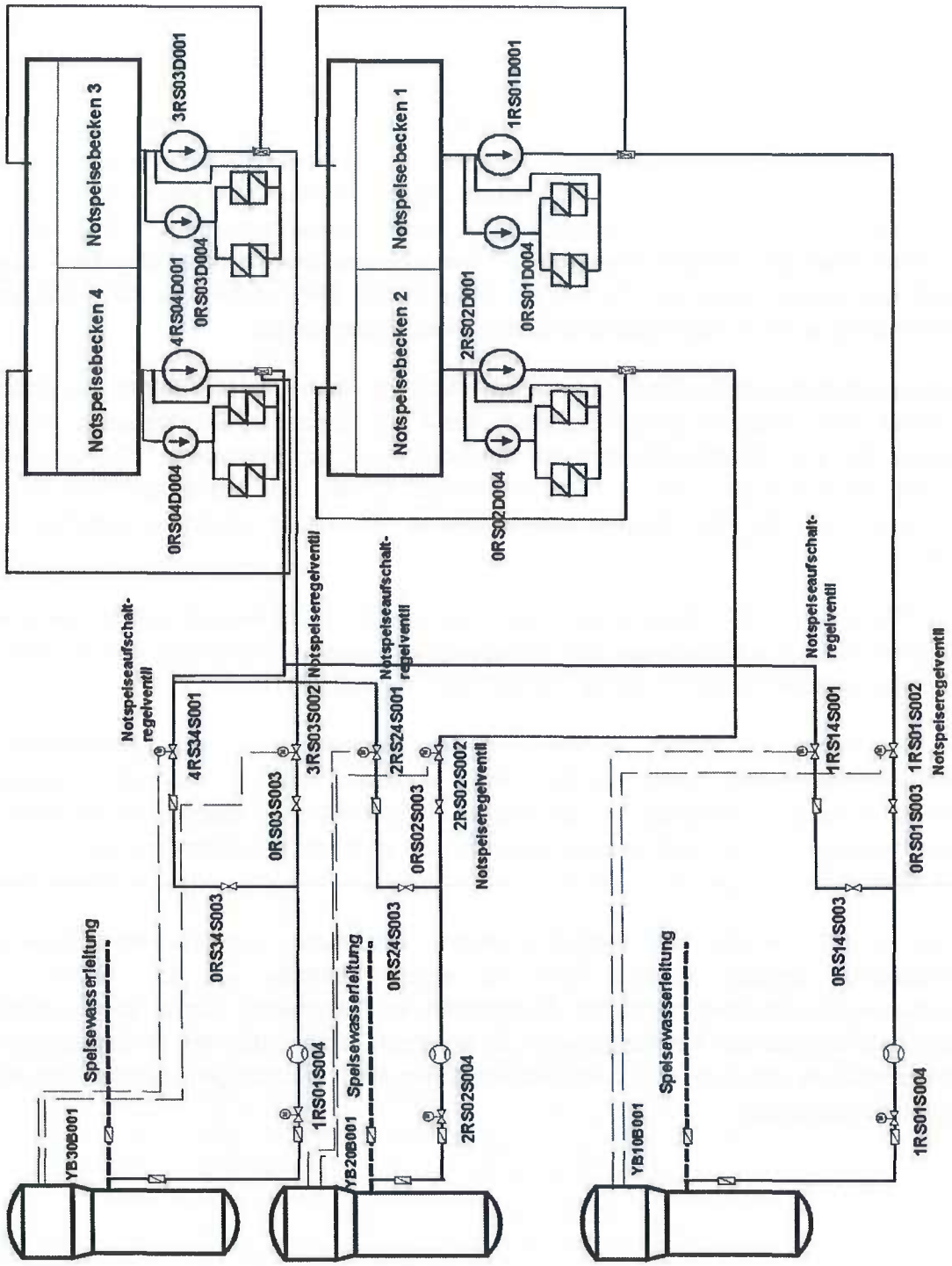


Abbildung 4 Prinzipschaltbild des Notspeisesystems RS

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

3.2.2.5.4.3 Notstandsspeisesystem RX

Das zweisträngig aufgebaute und im gegen äussere Einwirkungen geschützt ausgeführten Notstandsgebäude angeordnete Notstandsspeisesystem RX (siehe Abbildung 5) dient bei allen Störfällen, in denen die normale Nachwärmeabfuhr infolge von extremen äusseren Einwirkungen (z. B. Flugzeugabsturz, extreme Erdbeben, extremes Hochwasser oder Einwirkungen durch Dritte) ausgefallen ist, der Sicherstellung der Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf. Dazu wird die Sekundärseite der Dampferzeuger 1 und 3 mit kaltem Deionat bespeist und die Nachwärme durch Verdampfen des Dampferzeugerwassers und Abblasen des Dampfes über Dach abgeführt. Es steht ein Deionatvorrat von 2 x 530 m^3 in speziellen Notstandbecken zur Verfügung. Die Fördermenge einer RX-Pumpe beträgt 23.6 kg/s (Nennfördermenge).

Auslegungsgemäss stellt das Notstandsspeisesystem RX einen autarken Betrieb der Anlage über mindestens zehn Stunden sicher. Es dient somit als spezielles Schutzsystem für extreme Ereignisse, die zum Ausfall aller anderen notstromversorgten Systeme (z. B. Ausfall der vier Notstromdiesel EY11 bis EY41 = Station Blackout) führen. Die Notstandbecken können mit Grundwasser mit Hilfe des Brunnenwassersystems VX mittels einfacher Eingriffe aufgefüllt werden.

Für die Ergänzung des Dieselvorrates steht ein 3'000 l - Tankmobil mit Motorpumpe und zugehörigen Schlauchverbindungen zur Verfügung, mit dessen Hilfe Diesel aus auf der Anlage bestehenden Vorräten aufgefüllt werden kann (Stand 30. Juni 2011).

Unter Berücksichtigung dieser vorbereiteten Massnahmen kann ein Langzeitbetrieb des Notstandsspeisesystems, wie auch der anderen dem Notstand zugeordneten Sicherheitsfunktionen (Zusatzborierung mittels TA81/TA82, verkürzte Nachkühlkette zur Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelementlagerbecken und/oder dem Reaktorkühlkreislauf) sicher gestellt werden.

Im August 2011 wurde der bisherige mobile Dieseltank gegen einen grösseren, im Leistungsbetrieb bereits befüllten Tank mit einem Volumen von ca. 13'000 l ersetzt (Verbesserungsmassnahme nach den Ereignissen in Fukushima). Damit ist es möglich die Dieselkraftstoffvorräte der Notstandsdiesel zu ergänzen, ohne dass das Anlagenpersonal das Notstandsgebäude verlassen muss. Alle erforderlichen Hilfseinrichtungen befinden sich innerhalb des Notstandsgebäudes.

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

Notstandsystem RX (2 x 100 %; nur ein Strang gezeichnet)

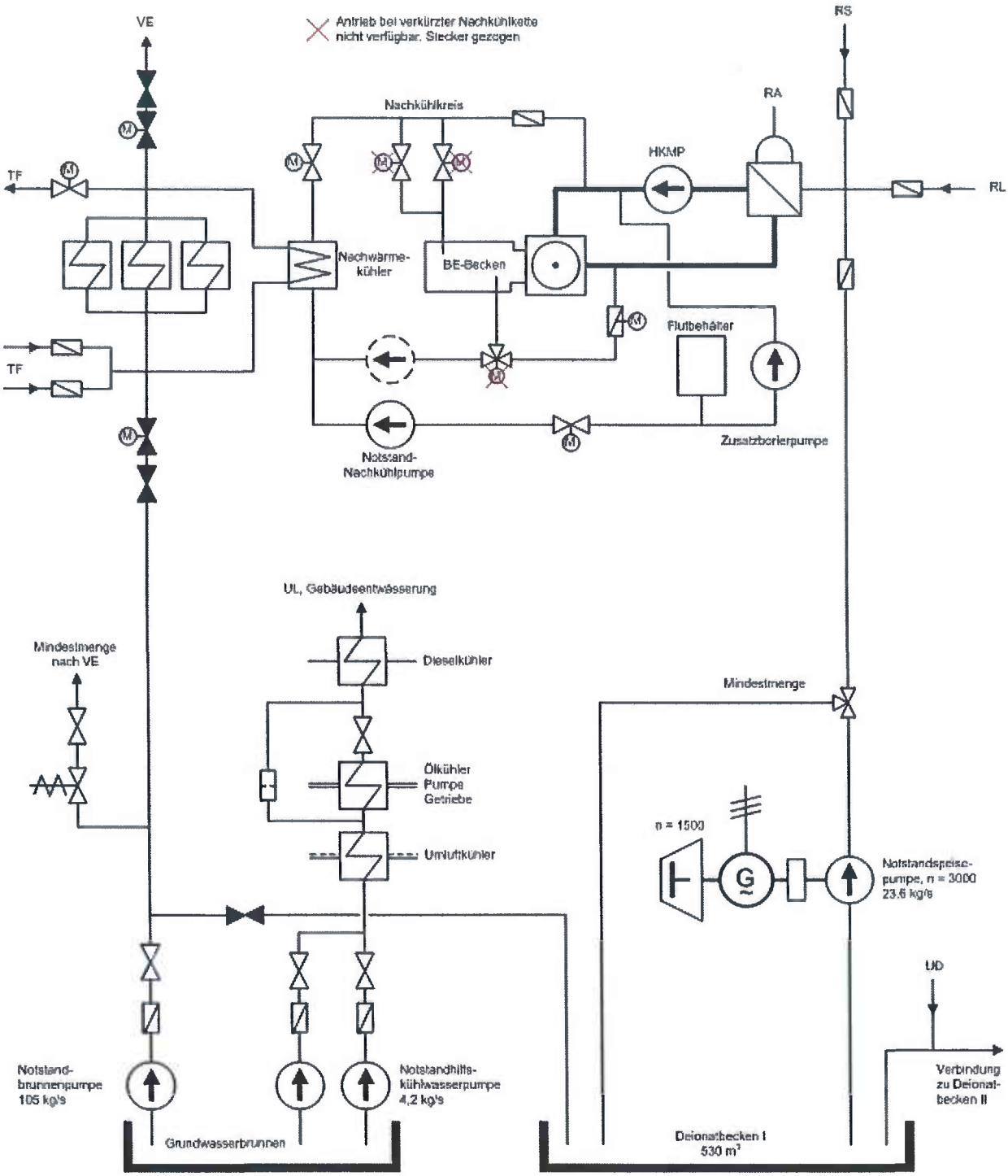


Abbildung 5 Schematische Darstellung des Notstands- und des Brunnenwassersystems

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

3.2.2.6 Volumenregelsystem (TA)

Die sicherheitstechnisch bedeutsamen Aufgaben des Systems sind:

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

Dem Volumenregelsystem TA ist auch das vom Notstand versorgte und gegen externe Einwirkungen vollständig geschützte Zusatzboriersystem TA81/82 zugeordnet, welches der Sicherstellung der Unterkritikalität im Notstandsfall (extreme Einwirkungen) dient.

Die HD-Reduzierpumpen des Volumenregelsystems sind notstromversorgt.

Die Abbildungen 6 und 7 geben eine Übersicht über das Volumenregelsystem in der Systemstellung Kühlmitteleinspeisung und der Notstandsborierfunktion TA81/82.

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

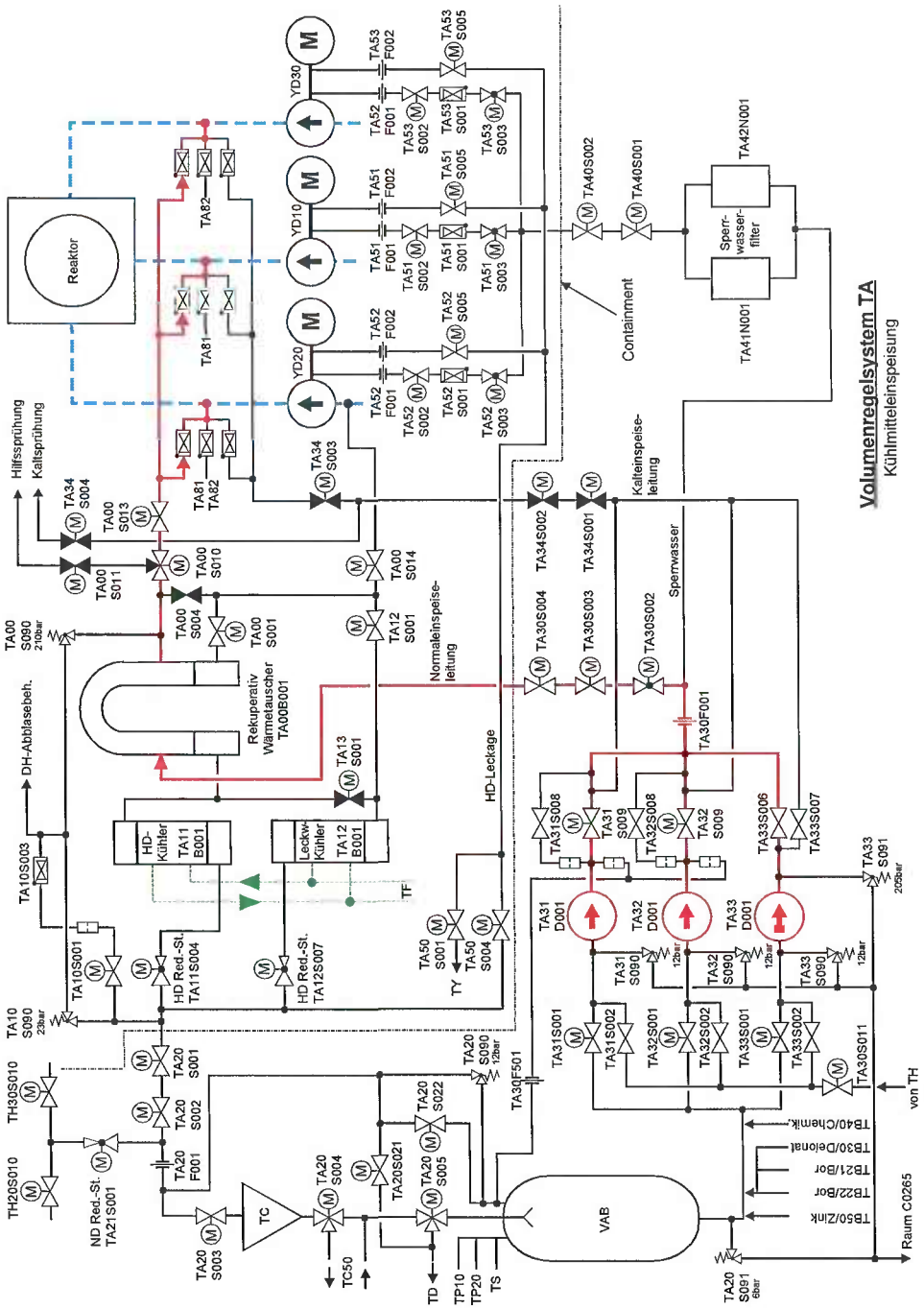


Abbildung 6 Volumenregelsystem TA – Betriebsstellung Kühlmitteleinspeisung

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

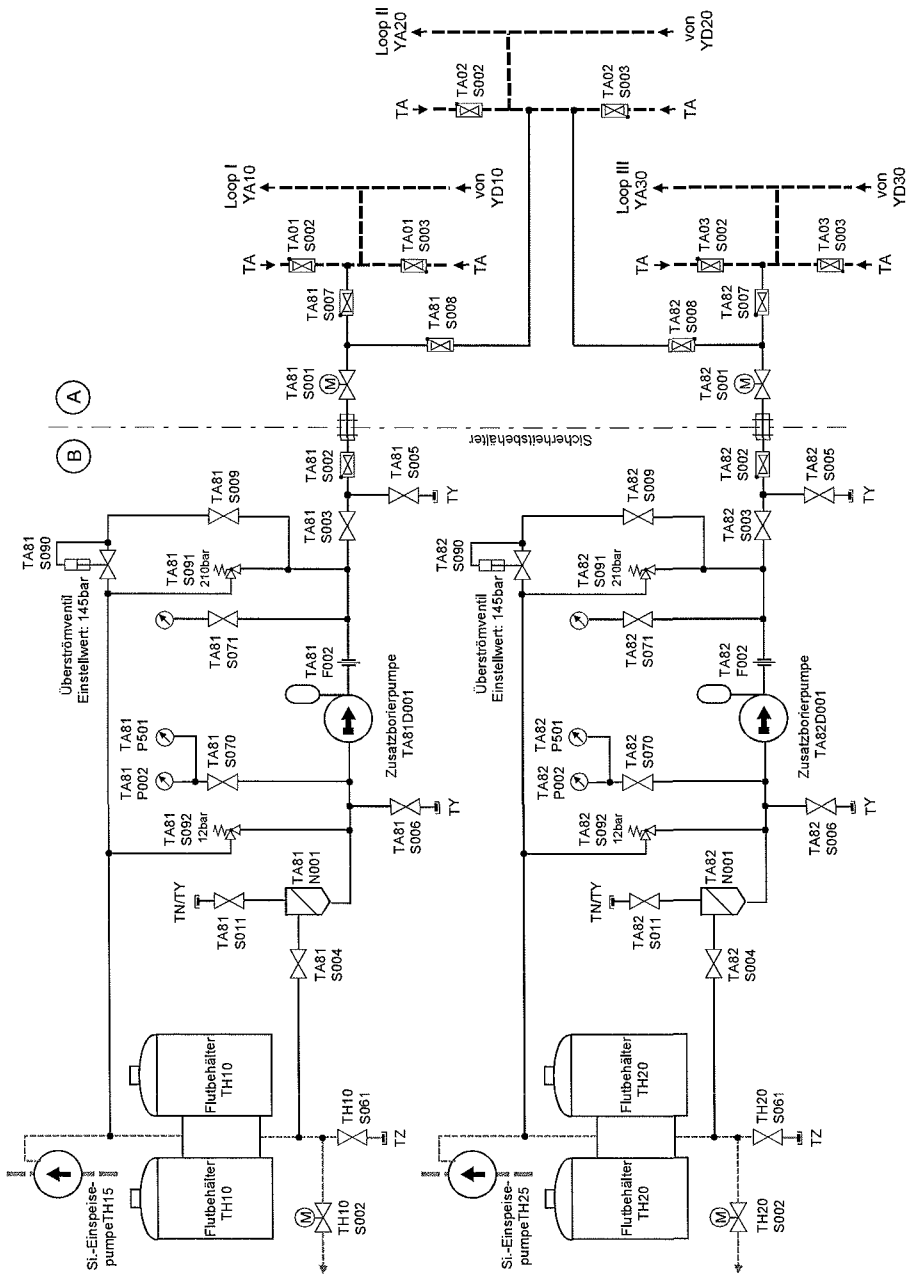


Abbildung 7 Notstandsboreinspeisung TA 81/82

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

3.2.2.7 Containment und Containmentsysteme

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

3.2.2.7.1 Primärcontainment

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

Das Primärcontainment des Kernkraftwerks Gösgen besteht aus einem kugelförmigen, gasdicht verschweissten, stählernen Reaktorsicherheitsbehälter mit einem Durchmesser von 52 m (Volumen ca. 55'000 m^3) und einem Auslegungsdruck (absolut) von 5,89 bar. Es handelt sich um einen Volldruckbehälter, das heisst, dass die bei Auslegungsstörfällen mit Kühlmittelverlust oder bei Brüchen von sekundärseitigen Leitungen innerhalb des Containments freigesetzte Energie zu einem Druckaufbau führt, der vom Primärcontainment ohne zusätzliche Massnahmen aufgenommen wird. Die Leckrate des Primärcontainments wurde mit 0.25 Vol.-%/d spezifiziert. Die Einhaltung dieser Leckrate wurde bei wiederkehrenden Prüfungen (alle vier Jahre) bisher stets erfolgreich nachgewiesen.

KKG hat im Rahmen der PSÜ 2008 [3-4], [3-13] eine detaillierte Neubestimmung des Versagensdrucks des Reaktorsicherheitsbehälters mittels Finite-Elemente-Analyse durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse haben gezeigt, dass der Versagensdruck deutlich über dem Auslegungsdruck und dem Ansprechdruck der Berstscheibe für das System der gefilterten Druckentlastung liegt.

3.2.2.7.2 Sekundärcontainment (Reaktorgebäude)

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

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

3.2.2.7.3 Isolationssystem des Primärcontainments

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

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

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

Bei der Planung des KKG war es generelles Auslegungsprinzip, dass alle Rohrdurchführungen durch das Primärcontainment mindestens zwei hintereinander angeordnete Absperrorgane aufweisen. Das bedeutet u. a., dass bei einem Einzelfehler an einer Armatur und der Instandhaltung an dem der zweiten Armatur zugeordneten Notstromdiesel im Notstromfall zwei hintereinander angeordnete Abschlussorgane ausfallen könnten. Deshalb wird im Fall von präventiven Instandhaltungsmassnahmen, die von der Massnahme nicht betroffene Armatur im Rahmen der Freischaltmassnahmen geschlossen, womit der Gebäudeabschluss für die betroffene Leitung sichergestellt ist.

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

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

3.2.2.7.4 Isolationssystem des Sekundärcontainments

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

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

3.2.2.7.5 Systeme zur Wasserstoffbeherrschung

Das Kernkraftwerk Gösgen verfügt über die folgenden Einrichtungen zur Wasserstoffbeherrschung:

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

Die im KKG vorhandenen Systeme zur Wasserstoffbeherrschung stellen für den Bereich der Auslegungsstörfälle sicher, dass keine unzulässige Wasserstoffkonzentration im Containment auftritt.

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

Hierdurch ist gewährleistet, dass keine Wasserstoffverbrennung als Folge eines Auslegungsstörfalls auftreten kann.

Im Rahmen der vom KKG eingeführten mitigativen Notfallmassnahmen (SAMG) können die Einrichtungen genutzt werden, um gezielt eine Zündung von Wasserstoffansammlungen herbeizuführen (z. B. durch thermische Überlastung der Rekombinatoren). Zudem kann die gefilterte Druckentlastung des Containments (vgl. 3.2.2.7.7) für einen Abbau der Wasserstoffkonzentration genutzt werden. Das System ist entsprechend ausgelegt (Stickstoffinertisierung, Auslegung gegen den doppelten Auslegungsdruck des Containments).

Die Analyse schwerer Unfallabläufe für das KKG hat gezeigt, dass bei der weit überwiegenden Anzahl möglicher Unfallszenarien der Reaktorsicherheitsbehälter des KKG infolge der Ansammlung von Wasserdampf inertisiert ist. Der Risikobeitrag von Wasserstoffverbrennungen zur Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung ist sehr gering und wird durch plötzliche, sehr schnelle Wasserstofffreisetzungen bestimmt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es keine vollständig für alle möglichen Unfallabläufe qualifizierten technischen Hilfsmittel, die geeignet sind, die möglichen Auswirkungen schneller Wasserstofffreisetzungen (Deflagration-Detonations-Übergang, DDT) durch rechtzeitige Reduktion der Wasserstoffkonzentration zu unterbinden. Zu beachten ist auch, dass der Versagensdruck des Reaktorsicherheitsbehälters sehr hoch liegt (> 10 bar absolut) und damit eine grosse Sicherheitsmarge bezüglich der Auswirkungen von Wasserstoffverbrennungen besteht.

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

Da sich das Brennelement-Lagerbecken innerhalb des Containments befindet, stellen die Systeme zur Wasserstoffbeherrschung auch die Integrität des Sicherheitseinschlusses bei Störfällen im Brennelement-Lagerbecken sicher.

3.2.2.7.6 Ringraumabsaugung (Notabluftsystem), Leckabsaugesystem

3.2.2.7.6.1 Ringraumabsaugung

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

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

3.2.2.7.6.2 Leckabsaugesystem

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

3.2.2.7.7 Gefilterte Druckentlastung

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

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

3.2.2.8 Wichtige Versorgungs- und Hilfssysteme

3.2.2.8.1 Stromversorgung

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

Neben der normalen Einspeisung über die Eigenbedarfstransformatoren besteht die Möglichkeit, über zwei Fremdnetztransformatoren von dem 220-kV-Reservenetz auf die 10-kV-Blockschienen einzuspeisen. Gemäss der bisherigen Erfahrung weist die externe Stromversorgung aus den beiden Hochspannungsnetzen eine sehr hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit auf. Bei Ausfall

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

der Versorgung durch den eigenen Generator und der Hauptnetzeinspeisung kann die Eigenbedarfsversorgung durch automatische Umschaltung vom Reservenetz gewährleistet werden.

Zusätzlich besteht die Möglichkeit (Notfallmassnahme) eine Einspeisung vom benachbarten Wasserkraftwerk Gösgen in den elektrischen Eigenbedarf des KKG herzustellen (Kapitel 8.9.1 des NHB [3-12]).

Die 24-V und die 220-V-Gleichstromversorgung bestehen aus vier Gleichstromsystemen, welche jeweils aus Batterien, Gleichrichtern (Ladegerät) und Verteilanlagen aufgebaut sind. Sie versorgen die Leistungsschalter, die leittechnischen Ausrüstungen und die Motor-Generator-Umformersätze (rotierende Umformer). Im Juni 2011 wurde der rotierende Umformer in der Redundanz 1 durch einen statischen Umformer ersetzt.

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

Bei Ausfall der betrieblichen Eigenbedarfsversorgung werden die benötigten Sicherheitssysteme zum Abfahren der Anlage und zur Beherrschung von Störfällen durch die Notstromversorgung mit Energie versorgt. Die Notstromversorgung ist viersträngig aufgebaut (Auslegung 4 x 50 %, effektiv 4 x 100 %) und gegen Sicherheitserdbeben (Auslegung gegen Gefährdungsstufe **H1** vgl. Kapitel 4) ausgelegt. Jeder Strang verfügt über einen Notstromdieselgenerator. Je zwei dieser Notstromdieselaggregate befinden sich, räumlich getrennt voneinander, in einem separaten Notstromdieselgebäude. Die einzelnen Redundanzen der Notstromversorgung sind funktional unabhängig ausgeführt. Vorhandene Doppeleinspeisungen, die der Erhöhung der Zuverlässigkeit dienen, sind rückwirkungsfrei gestaltet. Die so ausgeführte Notstromversorgung vermag auch beim Auftreten eines Sicherheitserdbebens das Kraftwerk während mehrerer Tage mit dem für die Sicherheit der Anlage benötigten Strom zu versorgen.

Im gegen extreme externe Einwirkungen ausgelegten Notstandsgebäude befinden sich die Notstandstromversorgungen. Diese bestehen aus den unabhängigen Strängen 5 und 6 mit je einem zugehörigen Notstanddieselgenerator (2 x 100 %) und dem Strang 7, der von den Strängen 5 und 6 versorgt werden kann. Ausserdem sind Gleichstromversorgungen mit Batterien und Gleichrichtern vorhanden, die ebenfalls den Redundanzen 5, 6 und 7 zugeordnet sind. Diese räumlich separierten Stromversorgungen gewährleisten die Versorgung der für die Nachwärmeabfuhr aus dem Primärsystem benötigten Systeme ohne Eingriffe über einen Zeitraum von zehn Stunden. Die für das Abfahren der Anlage benötigten Abblaseregelventile werden ebenfalls von den Notstandstromversorgungen bedient. Alle drei Abblaseregelventile bleiben auch bei einem Einzelfehler an einem Notstanddiesel verfügbar. Der Langzeitbetrieb der Notstandnotstromversorgung kann über vorbereitete Massnahmen (Dieselergänzung mit Hilfe eines vorhandenen 3000 l Tank-Mobils mit zugehöriger Motorpumpe und vorbereiteten Schlauchverbindungen) sicher gestellt werden. Als Folge aus dem Ereignis von Fukushima hat KKG zur Verbesserung der Langzeitversorgung mit Dieselkraftstoff einen mobilen Tank mit einem Fassungsvermögen von ca. 13'000 l beschafft, der in gefülltem Zustand im Notstandsgebäude aufgestellt ist.

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

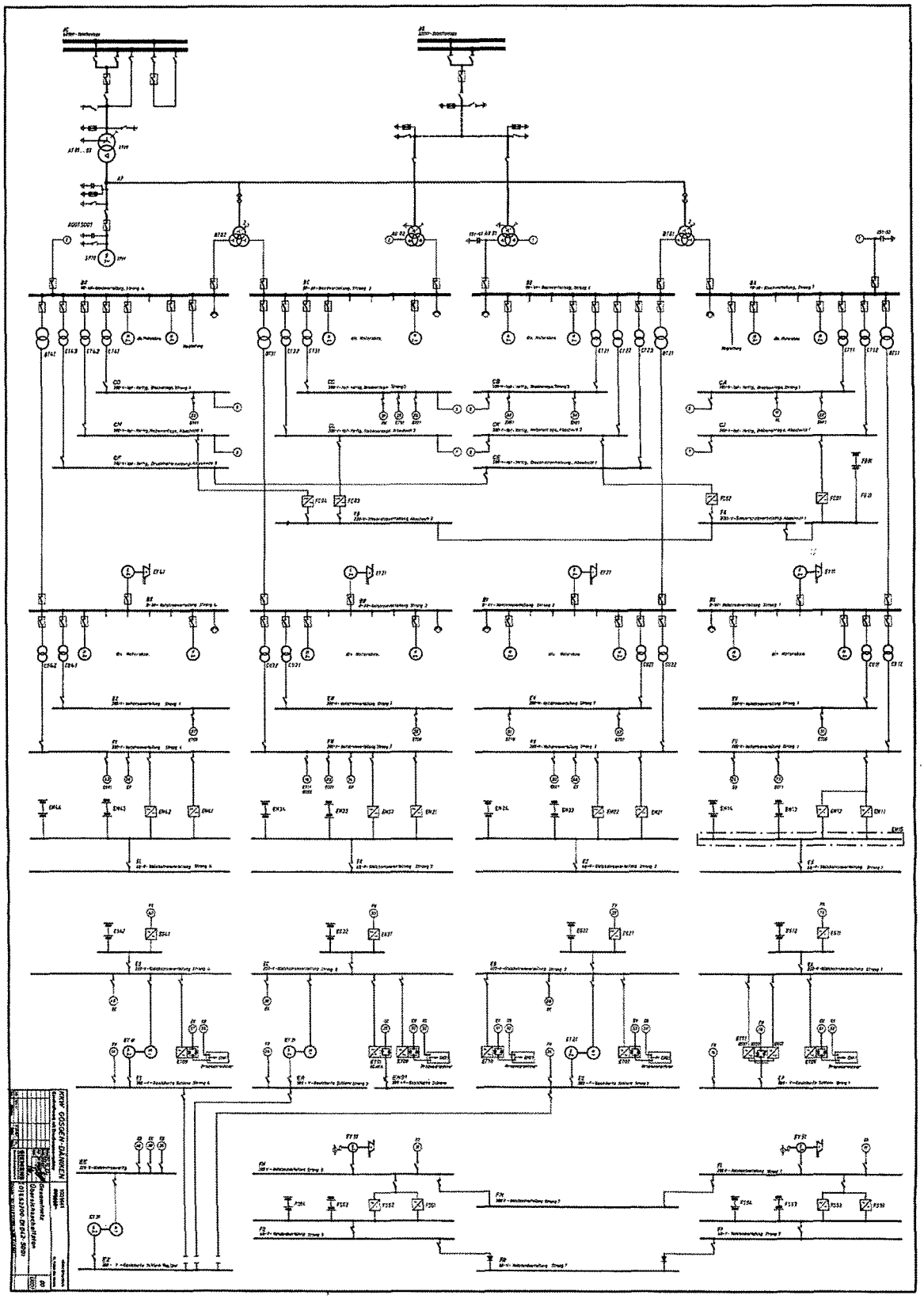


Abbildung 8 Elektrischer Eigenbedarf im KKG

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

Die zweite Wasserfassung (M5) verfügt über eine unabhängige Notstromversorgung (2 x 100 % Dieselanlagen) mit einer Dieselbevorratung für einen längeren Betrieb der Wasserfassung. Eine detaillierte Bewertung der Funktionen und Einrichtungen der elektrischen Eigenbedarfsversorgung erfolgt in Kapitel 7 des vorliegenden Berichts.

Neben der Möglichkeit eine Anspeisung vom Wasserkraftwerk Gösgen herzustellen, sind im Notfallhandbuch auch Massnahmen zur Beschaffung externer Notstromaggregate zur gezielten Wiederherstellung der Spannungsversorgung situativ festzulegender wichtiger Verbraucher vorgesehen (Kapitel 8.9.3 im NHB [3-12]). Mögliche Beschaffungsquellen sind ausgewiesen. Entsprechend der Verfügung des ENSI vom 18. März 2011 haben die Schweizer Kernkraftwerke ein externes Notfalllager in Reitnau eingerichtet. In diesem Lager werden technische Mittel (u. a. Notstromaggregate) vorgehalten, welche es gestatten, die Spannungsversorgung wichtiger sicherheitstechnischer Verbraucher in einer extremen Notsituation (z.B. totaler Station Blackout (vgl. Kapitel 7)) wiederherzustellen. Diese technischen Mittel können mit Helikopter zum KKG transportiert werden.

3.2.2.8.2 Nukleare Kühlwassersysteme

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

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

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

Die Stränge sind kühlwasserseitig nicht vermascht. Die Pumpe der Redundanz 4 versorgt direkt mit Kühlwasser eine notstromversorgte Kältemaschine und ein Notstromdieselaggregat und dient zugleich als Reservepumpe für die Kühlwasserstränge der Redundanzen 1, 2 und 3. Sie übernimmt bei Ausfall einer der Pumpen selbsttätig die Versorgung der betroffenen Redundanz.

Die nuklearen Nebenkühlwasserpumpen sind getrennt in separaten Scheiben des Nebenkühlwasserpumpenhauses aufgestellt. Die drei nuklearen Zwischenkühler (VE/TF) sind im Ringraum des Reaktorgebäudes in separaten Kammern angeordnet. Dadurch wird der Ringraum vor einer Überflutung z. B. bei einem Bruch einer VE-Leitung geschützt. Die vier notstromgesicherten Kältemaschinen sind im Notspeisegebäude und die vier Notstromdieselaggregate in zwei

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

verschiedenen Notstromdieselgebäuden aufgestellt. Die Kühlwasserleitungen zu den Kühlstellen sind im Kraftwerksgebäude in unterirdischen, begehbaren Kanälen installiert.

Die Kühlwasserfassungen (M0 und M5) haben vor allem die Aufgabe, die nuklearen und konventionellen Nebenkühlwassersysteme mit gereinigtem Kühlwasser (Flusswasser) zu versorgen. Darüber hinaus liefern sie auch Wasser für die Zusatzwasseraufbereitung des Kühlturmes und für die Wasseraufbereitung. Das Flusswasser wird im Normalfall dem Oberwasserkanal (erste Wasserfassung M0) des hydraulischen Kraftwerkes Gösgen entnommen und leicht erwärmt an diesen zurückgegeben. Bei Ausfall des Oberwasserkanals (Dammbruch infolge eines starken Erdbebens, Verlust der Stauhaltung der Wasserkraftanlage oder wegen Reinigung des Dükers) fördert die am Unterwasserkanal gelegene zweite Wasserfassung Kühlwasser. Die Zuschaltung erfolgt automatisch. Beide Wasserfassungen sind gegen das Sicherheitserdbeben (Gefährdungsstufe **H1**, vgl. Kapitel 4) ausgelegt.

3.2.2.8.3 Lüftungsanlagen

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

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

- Ringraumabsaugung (siehe auch Kapitel 3.2.2.7.6),
- Lüftung im Schaltanlagengebäude, insbesondere im Hauptkommandoraumbereich,
- Lüftung im Notstrom-, im Notstand- und im Notspeisegebäude.

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

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

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

- Erdbeben (Betriebserdbeben (OBE) und Sicherheitserdbeben (SSE), gemäss Gefährdungsstufe **H1**, vgl. Kapitel 4)
- Hochwasser infolge Dammbruch einschliesslich des Bruchs mehrer Dämme flussaufwärts oberhalb des Wehrs Winznau
- Hochwasser infolge extremer meteorologischer Bedingungen
- Erdbeben mit erdbebeninduziertem Dammbruch (abdeckende Szenarien – Versagen des Wehrs Winznau oder Erdbeben mit Versagen des Oberwasserkanals)

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

- Flugzeugabsturz auf das Reaktorgebäude (Verkehrsflugzeug B707) und auf das Schaltanlagengebäude (Auslegungsbasis für das Notstandssystem)
- Wind und Schneelasten
- Auslegung gegen Explosion eines mit TNT beladenen Güterwagens am Standort des ursprünglich geplanten Güterbahnhofs Däniken (Bahnhof wurde nicht errichtet), Auslegung gegen Explosionsdruckwelle.
- Externer Brand / Brandschutz gegen interne Brände

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

Tabelle 2: Erdbebenklassen und äussere Einwirkungen

Gebäude	Bauwerksklasse (Erdbeben-klasse)	Flugzeug-absturz	Güterwagen-explosion
Reaktorgebäude ZA/ZB	I	X	X
Reaktorhilfsanlagengebäude und Abfalllager ZC	I	-	X
Schaltanlagengebäude ZE	I	-	X
Maschinenhaus ZF	II	-	-
Notstromdieselgebäude ZK.1 und ZK.2	I	-	X
Notstandsgebäude ZX	I	X	X
Notspeisegebäude ZV	I	-	X
Kühlwassereinlaufbauwerke ZM.0 und ZM.5	I	-	X
Nebenkühlwasserpumpenhaus ZM.2 und Nebenkühlwasserleitungen	I	-	X
Messschacht ZM.1 und Wasserschlösser	I	-	-
Abluftkamin ZQ.1	I	-	X
Hilfskesselkamin ZQ.2	I	-	-
Wasserkraftanlage Gösgen (nur stauhaltende Teile des Wasserkraftwerks)	I	-	-
Nebenanlagengebäude: Wasseraufbereitungsgebäude ZG.0 Heizungszentrale ZL.0	II	-	-
Kühlturm ZP.1 und Hauptkühlwasserpumpenhaus ZM.3	II	-	-
Entkarbonatisierungsanlage ZN	II	-	-
Nasslagergebäude ZS07	I	X	Gasleitung

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

3.2.4 Sichere Betriebszustände der Anlage und Abfahrpfade

Für die Anlage KKG bestehen zwei sichere Betriebszustände, die über lange Zeit (>72h) ohne störfallinduzierte Brennstoffschäden aufrecht erhalten werden können. Dies sind die Zustände:

- Heiss abgestellt, mit Wärmeabfuhr über die Sekundärseite der Dampferzeuger
- Kalt abgefahren, mit Wärmeabfuhr über den Nachkühlbetrieb der Reaktoranlage

Diese Zustände können mit Hilfe der dem ungesicherten Bereich des Reaktorschutzes zugeordneten Systemfunktionen (YZ, **Abfahrpfad 1**) oder mit den dem gesicherten Bereich des Reaktorschutzes zugeordneten Systemfunktionen (RX, inklusive verkürzte Nachkühlkette, **Abfahrpfad 2**) oder mit Hilfe von fremdenergielos durchführbaren Notfallmassnahmen erreicht und aufrecht erhalten werden (**Abfahrpfad 3**)[3-3], [3-12].

Die auslegungsgemäss (ohne Berücksichtigung von Notfallmassnahmen) vorhandenen Nachkühlketten sind (vgl. Kapitel 3.2.2.4.3, [3-1], [3-7]):

- TH –TF–VE –VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der ersten Wasserfassung (M0)
- TH – TF – VE –VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der zweiten Wasserfassung (M5)
- TH – VX Verkürzte Nachkühlkette, Nebenkühlwasserversorgung aus 2 x 100% Grundwasserbrunnen im Notstandsgebäude (ZX)

Die Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment kann analog über drei verschiedene Wärmeabfuhrpfade (YZ – 3 Stränge, RX zwei Stränge inklusive verkürzte Nachkühlkette, Notfallmassnahmen) aufrechterhalten werden [3-7].

Die Nachwärmeabfuhr aus dem externen Nasslager ZS07 erfolgt über den inhärent sicheren Naturumlauf. Zusätzlich sind Notfallmassnahmen vorbereitet [3-5].

3.3 Systemfunktionen für die Sicherstellung und Versorgung der hauptsächlichen Sicherheitsfunktionen

In diesem Kapitel erfolgt die Darlegung der im KKG getroffenen Vorsorgemassnahmen zur Erfüllung der hauptsächlichen Sicherheitsfunktionen. Die zugehörigen Systemfunktionen werden beschrieben und bewertet. Bezüglich der technischen Beschreibung der Systeme wird auf die Darlegung in Kapitel 3.2 verwiesen. Die in diesem Kapitel angeführten Beschreibungen und Bewertungen beruhen auf den geprüften Unterlagen [3-1] – [3-7], [3-9] und [3-10]. Die für die Bewertung der Sicherheits- und Systemfunktionen verwendeten Kriterien, mit deren Hilfe die zeitliche Anforderung und die Notwendigkeit der betrachteten Sicherheitsfunktion für die Störfallbeherrschung beurteilt werden, sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt. Es werden die Kriterien entsprechend der aktuellen Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] verwendet.

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

Die Kriterien berücksichtigen die Anforderungen an das zeitliche Verhalten der Sicherheits- und Systemfunktion. Die Bewertung erfolgt auf der Basis des anforderungsbestimmenden Störfallspektrums der Sicherheitsstatusanalyse (SSA) des KKG. Eine Bewertung der über die Auslegung der Anlage hinaus bestehenden Sicherheitsmargen erfolgt in den Kapiteln 4 bis 9 des vorliegenden Berichts.

Es werden die folgenden Bezeichnungen verwendet:

K – Die Funktion ist kurzfristig erforderlich, **K1,** oder nützlich, **K2,** resp. die Massnahme wird kurzfristig ausgelöst und ist nützlich **K3**. Unter kurzfristig wird ein Zeitfenster von weniger als 30 Minuten für Auslegungsstörfälle oder von weniger als 10 h für den Notstandsfall (Station Blackout) verstanden. Für kurzfristig erforderliche Massnahmen K1 besteht die sicherheitstechnische Anforderung nach einer Automatisierung (ENSI Richtlinie R 101). Im KKG sind alle als K1 klassierten Systemfunktionen entsprechend dieser Anforderung automatisiert.

L – Die Funktion ist langfristig erforderlich, **L1,** oder nützlich, **L2,** resp. die Massnahme wird längerfristig ausgelöst und ist nützlich **L3**. Unter langfristig wird ein Zeitfenster von mehr als 30 Minuten für Auslegungsstörfälle oder von mehr als 10 h für den Notstandsfall (Station Blackout) verstanden. Für langfristig erforderliche Massnahmen **L1** besteht keine sicherheitstechnische Anforderung nach einer Automatisierung (ENSI Richtlinie R 101).

Die Einstufung der Funktionen erfolgt entsprechend der höchsten Anforderung, die durch einen der für KKG massgebenden anforderungsbestimmenden Störfälle (Auslegungsstörfälle), gestellt werden.

Die im EU-Stresstest geforderte Bewertung der Versorgungseinrichtungen ist entsprechend dem Aufbau der Sicherheitsstatusanalyse des KKG in Form der Bewertung der Sicherheitsfunktion „Sicherstellung Funktionsfähigkeit Systemfunktionen" in Kapitel 3.3.7 dargestellt. Eine Einstufung der Notfallmassnahmen nach den Bewertungskriterien für Auslegungsstörfälle wird nicht vorgenommen, da diese bei Funktionstüchtigkeit der vorgelagerten Schutzmassnahmen nicht zum Einsatz gelangen würden. Notfallmassnahmen stellen eine zusätzliche Absicherung für auslegungsüberschreitende Störfälle dar. Notwendige Massnahmen (Index 1) werden in den nachstehend aufgeführten Bewertungstabellen farblich hervorgehoben.

Tabelle 3 Kriterien zur Einstufung von Sicherheits- und Systemfunktionen

Sicherheitstechnische Anforderungen	Anforderungen an die Zuverlässigkeit	Sicherheits funktion	System-funktion
kurzfristige Anforderung (< 30 min., *); zur Störfallbeherrschung notwendig	sehr hohe Zuverlässigkeit; Beherrschung Einzelfehler und ggf. Instandhaltung, Schutz gegen übergreifende Störfallfolgen, inhärente oder automatisierte Auslösung mit sehr hoher Zuverlässigkeit	K1	K1

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

Sicherheitstechnische Anforderungen	Anforderungen an die Zuverlässigkeit	Sicherheits funktion	System-funktion
kurzfristige Anforderung (< 30 min., *); ist vorgelagert, d.h. beeinflusst Störfallverlauf günstig	gute Zuverlässigkeit; automatisierte Ansteuerung	K2	K2
kurzfristige Anforderung (< 30 min.); sicherheitstechnisch nicht relevant	keine besonderen Zuverlässig-keitsanforderungen	./.	K3[9]
langfristige Anforderung (> 30 min., *); zur Störfallbeherrschung notwendig	**hohe Zuverlässigkeit; Beherrschung Einzelfehler, Schutz gegen übergreifende Störfallfolgen oder Ersatzmass-nahme, ausreichende Zeit für Handmass-nahmen, Ansteuerung automatisiert (hoch zuverlässig) oder von Hand innerhalb Karenzzeit**	**L1**	**L1**
langfristige Anforderung (> 30 min.); ist vorgelagert, d.h. beeinflusst Störfallverlauf günstig	gute Zuverlässigkeit	L2	L2

3.3.1 Reaktivitätskontrolle

3.3.1.1 Anforderungen

Für die Sicherheitsfunktion ergeben sich folgende Anforderungen:

- Kurzfristiges Sicherstellen der Unterkritikalität (Abschaltung) nach allen Störfällen.
- Bei Störfällen mit Kühlmittelverlust auch kurzfristiges Sicherstellen der Unterkritikalität bei Temperaturabsenkung unter Berücksichtigung von Deionateintrag in das Sumpfwasser.
- Bei allen Störfällen langfristiges Sicherstellen der Unterkritikalität bis in den Zustand "kalt, Xenon-frei".

Die Sicherheitsfunktion ist gewährleistet, wenn für alle betrieblich möglichen Ausgangszustände:

- bei allen Störfällen eine Abschaltreaktivität > 1% kurzfristig hergestellt und bis zum Erreichen eines stabilen/sicheren Anlagenzustands erhalten werden kann.

[9] Dieser Bericht beschränkt sich auf eine Bewertung bis zur Einstufung (Index) 2. K3 wird in der ausführlichen Sicherheitsstatusanalyse [3-7] verwendet.

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

- bei Störfällen mit Unterkühlungstransiente soll eine vorübergehende Rekritikalität so begrenzt bleiben, dass ein Versagen von Brennstab-Hüllrohren nicht auftritt. Für die Nachweisführung wird das vorgelagerte Nachweisziel: kein Brennstoffzentralschmelzen und kein Filmsieden (DNB) verwendet. Schutzziel-orientiert ist die Begrenzung von Hüllrohrschäden entsprechend den Akzeptanzkriterien nachzuweisen.
- bei allen Störfällen mit relevanten Kühlmittelfreisetzungen ausserhalb der Sicherheitshülle (insbesondere Ereignisse mit DE-Heizrohrleck) die Unterkritikalität so schnell hergestellt werden kann, dass ein Versagen von Brennstab-Hüllrohren nicht auftritt.

3.3.1.2 Vorhandene Systemfunktionen / Anforderungen aus Störfällen

Inhärente Rückkopplung

Der Reaktorkern besitzt aufgrund inhärenter neutronenphysikalischer Eigenschaften ein stabiles Betriebsverhalten in dem Sinne, dass Temperaturanstiege im Brennstoff oder Kühlmittel zu einer Verminderung der Spaltleistung führen. Dampfblasen, die sich in stärker gestörten Zuständen bilden können (starke Abnahme der Dichte), sind in der Lage, den Reaktor für sich alleine abzuschalten. Diese Eigenschaft wird durch die Auslegung von Reaktorkern/Nachladungen sichergestellt.

Die Inhärente Rückkopplung auf die Reaktivität ist kurzfristig notwendig (**K1**)

- bei Kühlmittelverlust mit Grossem/Mittlerem Leck, da der Nichteinfall von Steuerelementen unterstellt wird, resp. beherrscht werden soll (Auslegungsziel)
- bei gravierenden, durch die Sekundärseite aufgeprägten Unterkühlungstransienten, bei denen nach einer evtl. Rekritikalität die Leistung durch den Temperaturanstieg inhärent begrenzt wird,
- bei unkontrolliertem Reaktivitätsanstieg infolge Steuerelement-Auswurf, wobei hier die Rückwirkung der Brennstofftemperatur zur Begrenzung des schnellen Leistungsanstieges bis zum Wirksamwerden der RESA bedeutsamer ist als die Rückwirkung infolge des etwas verzögerten KMT-Anstiegs,
- bei Verringerung des Kühlmitteldurchsatzes, z.B. beim durch Vorsorgemassnahmen eigentlich auszuschliessenden Hauptkühlmittelpumpen-Wellenbruch.

Bei anderen Ereignissen ist die Inhärente Rückkopplung nicht notwendig, sie kann aber die Sicherstellung der Unterkritikalität unterstützen (**K2**). Hinsichtlich Gewährleistung des Kernschutzes durch Unterkritikalität ist die inhärente Rückkopplung bei allen Ereignissen der Sicherheitsebene 3 allein ausreichend. Die Inhärente Rückkopplung ergibt sich mit der entsprechenden Kernauslegung und erfordert keine Ansteuerung.

Steuerelement-Einwurf (Einwerfen einzelner Steuerelemente bzw. Steuerelement-Gruppen)

Der Steuerelement-Einwurf (Ansteuerung über Begrenzungen) kann bei weniger gravierenden Transienten, bei denen eine vollständige Abschaltung nicht erforderlich ist bzw. RESA-Grenzwerte

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

(noch) nicht erreicht sind, vorgelagert die erzeugte Wärme reduzieren, so dass unter Umständen eine Reaktorschnellabschaltung nicht erforderlich ist bzw. aufgrund der frühzeitig reduzierten Reaktorleistung (z.B. TUSA ohne FD-Umleitstation) die Anlagentransiente "milder" verläuft (**K2**).

RESA (Einwurf aller Steuerelemente)

Die Reaktorschnellabschaltung ist bei allen Störfällen, bei denen es zu einer erheblichen Verringerung der sekundärseitigen Wärmeabfuhrkapazität kommt, kurzfristig notwendig (**K1**), um die Wärmeerzeugung entsprechend zu reduzieren. Die schnelle Reduktion der Reaktorleistung stellt die in der Systemauslegung verwendeten Wirksamkeitsbedingungen (100 % Wirksamkeit der Nachwärmeabfuhr bei Verfügbarkeit einer Pumpe (RL, RS, RR; RX) und eines Dampferzeugers (mit Abblase- oder Sicherheitsventil) sicher. Die Auslösung erfolgt über den Reaktorschutz bei Anstehen störfallspezifischer Kriterien. Ein Ausfall der RESA, dies haben ATWS-Analysen gezeigt, kann durch veränderte Wirksamkeitsbedingungen (Verfügbarkeit von zwei Dampferzeugern für die sekundärseitige Wärmeabfuhr (2 Pumpen, RS, RX, RR) der für die Wärmeabfuhr benötigten Systeme kompensiert werden, ohne das es zu einem Versagen von Barrieren kommt. Dies gilt selbst für den Notstandsfall (Station Blackout) [3-10].

Beim Grossen/Mittlerem Leck ist der Einfall von Steuerelementen günstig (**K2**), aber nicht notwendig, da die Unterkritikalität kurzfristig durch Inhärente Rückkopplung (Kühlmittel-Dichterückwirkung) und schnelle Einspeisung von boriertem Wasser sichergestellt ist. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf erfolgt in diesem Fall über das Leck.

Boreinspeisung über Volumenregelsystem TA (2 HD-Förderpumpen und 1 Abdrückpumpe, aus Chemikalieneinspeisung TB oder aus den Flutbehältern)

Die langfristige Sicherstellung der Unterkritikalität kann bei fast allen Störfällen (nicht bei Kühlmittelverlust oder Notstandsfall) vorgelagert über das Volumenregelsystem aus dem Chemikalieneinspeisesystem oder auch aus Flutbehältern erfolgen. Die Zuschaltung erfolgt manuell (**L2**).

Boreinspeisung über Zusatzboriersystem TA81/82 (2 Kolbenpumpen, aus den Flutbehältern)

Bei Störfällen mit geringem oder keinem Kühlmittelverlust kann das Zusatzboriersystem trotz seiner geringen Einspeiserate langfristig zur Sicherstellung der Unterkritikalität erforderlich sein (*K2/L1*). Die kurzfristige Ansteuerung erfolgt über den Reaktorschutz bei entsprechendem Füllstandsabfall im Reaktorkühlkreislauf.

Ersatzweise stehen auch die Borierung über das Volumenregelsystem bzw. das Chemikalieneinspeisesystem oder, bei niedrigerem Druck, auch über das Not- und Nachkühlsystem zur Verfügung.

Auch im Notstandsfall (die Funktionsbereitschaft der HD-Sicherheitseinspeisung des Not- und Nachkühlsystems sowie des Volumenregelsystems ist nicht sichergestellt) ist die Zuschaltung des Zusatzboriersystems kurzfristig günstig und erst langfristig notwendig, denn selbst bei Abkühlung nach Schäden an FD-Leitungen ausserhalb Reaktorgebäude ohne FD-Abschluss wird die Unterkritikalität kurzfristig (d.h. < 10 h) durch RESA und durch Xenonaufbau sichergestellt (bei

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

zusätzlich postuliertem stuck-rod als Einzelfehler wird dann allerdings die Boreinspeisung durch das Zusatzboriersystem als kurzfristig wirksam angenommen).

Boreinspeisung über Not- und Nachkühlsystem TH (HD-Sicherheitseinspeisung (4 Sicherheitseinspeisepumpen mit 3 unabhängigen Einspeisesträngen, 4 Flutbehälter-Paare mit je 236 t), Druckspeicher-Einspeisung (3 heiss- und 3 kaltseitig einspeisende Druckspeicher mit jeweils 34 t), ND-Einspeisung (4 Nachkühlpumpen mit 3 unabhängigen Einspeisesträngen sowie 2 Notstandsnachkühlpumpen, 4 x 236t aus Flutbehältern (gemeinsam mit HD-Einspeisung)))

Bei Kühlmittelverluststörfällen mit schneller Temperaturabsenkung im Reaktorkühlkreislauf ist eine Boreinspeisung über das Not- und Nachkühlsystem kurzfristig notwendig (**K1**), bei Grossem/Mittlerem Leck über die Druckspeicher-/ND-Einspeisung, bei Kleinem Leck über die HD-Einspeisung.

Die Einspeisungen über das Not- und Nachkühlsystem werden über den Reaktorschutz ausgelöst.

Bei Unterkühlungstransienten/Absinken des KMD unter 100 bar kann es auch zur für die Sicherstellung der Unterkritikalität kurzfristig günstigen Boreinspeisung mit den Sicherheitseinspeisepumpen kommen (**K2**).

Ohne oder mit sehr geringen Reaktorkühlmittelleckagen kann die Unterkritikalität alternativ zur Zusatzboriersystem-Einspeisung auch über die HD-Sicherheitseinspeisung langfristig sichergestellt werden (Absinken des Reaktorkühlkreislauf-Drucks auf < 100 bar erforderlich.)

Absperrung der DE-Bespeisung mit Speisewassersystem, An- und Abfahrsystem, Notspeisesystem, Notstandssystem

Bei Kühlmittelverluststörfall mit unterstellten Folgeschäden, z.B. an sekundärseitigen Wirkdruckleitungen, und bei Störfällen mit DE-Heizrohrbruch ist sehr langfristig eine Absperrung der DE-Bespeisung notwendig, um einen Deionateintrag in den Reaktorkühlkreislauf bzw. in den Sicherheitshüllen-Sumpf und damit eine Entborierung des Reaktorkühlmittels zu verhindern (**L1**).

Die Absperrung der Bespeisung wird in der Regel nicht automatisch ausgelöst (evtl. Überspeisungsschutzmassnahmen bei DE-Heizrohrbruch), wegen der geringen Leckgrössen für den Über-/Austritt des Speisewassers ist jedoch eine langfristige Absperrung ausreichend.

Bei einem nicht absperrbaren Sekundärkreislauf-Leck in der Sicherheitshülle ist die speisewasserseitige Absperrung des betroffenen DE günstig, um die Unterkühlungstransiente früher zu beenden (**K2/L2**). Diese Funktion ist jedoch nicht notwendig, da alternativ durch Borierung die Unterkritikalität im Reaktorkühlkreislauf sichergestellt werden kann.

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

FD-Abschluss

Bei einem Leck in einer FD-Leitung oder in einer Speisewasser-Leitung zwischen DE und Rückschlagarmatur ist eine FD-seitige Isolierung des betroffenen DE günstig, um die Unterkühlungstransiente früher zu beenden (**K2/L2**). Diese Massnahme ist jedoch nicht notwendig, da die Unterkritikalität im Reaktorkühlkreislauf durch die Borierung sichergestellt werden kann.

Abschalten Hauptkühlmittelpumpen

Insbesondere bei Störfällen, bei denen unter "verschärften" Bedingungen Wärme aus dem Reaktorkühlkreislauf über die FD-Ventile abgeführt werden muss (Kleines Leck oder Notstandsfall (Station Blackout)) ist es günstig, die Hauptkühlmittelpumpen auszuschalten, um die aus dem Reaktorkühlkreislauf abzuführende Wärmeleistung zu reduzieren (**K2**).

3.3.1.3 Bewertung der Sicherheitsfunktion

Bei allen Ereignissen ist die Reduzierung der erzeugten Wärme (Abschaltung) kurzfristig nötig; die Sicherstellung der Unterkritikalität bei Abkühlen des Reaktorkühlkreislaufs ist für Kühlmittelverluststörfälle, evtl. auch für Notstandsfall (Station Blackout, bei Annahme eines Einzelfehlers), kurzfristig nötig, bei allen anderen Ereignissen langfristig. Bei Verfügbarkeit von zwei Dampferzeugern für die Nachwärmeabfuhr ist auch beim Notstrom- und beim Notstandsfall die Unterkritikalität erst langfristig notwendig.

Die Anforderungen zur kurzfristigen Reduzierung der erzeugten Wärme werden durch RESA oder durch die inhärente Rückkopplung erfüllt. Die Anforderungen zur kurzfristigen Sicherstellung der Unterkritikalität werden durch RESA oder das Not- und Nachkühlsystem (im Notstandsfall ersatzweise durch das Zusatzboriersystem) erfüllt, zur langfristigen Sicherstellung der Unterkritikalität vom Zusatzboriersystem oder vom Not- und Nachkühlsystem.

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

Tabelle 4 Reduzierung der erzeugten Wärme, Sicherstellung Unterkritikalität

Anforderungen	vorhandene Systemfunktionen								
	Inhärente Rückkopplung	Steuer-element-Einwurf	RESA	Borein-speisung TA	Borein-speisung TA81/82	Borein-speisung TH	Absperrung DE-Bespeis. RL/RR/ RS/RX	FD-Abschluss	Abschaltung Hauptkühl-mittel-pumpen
Unterkritikalität bei Grossem / Mittlerem Leck	K1		K2			K1	L1 2)		
Unterkritikalität bei Kleinem Leck	K2		K1	L2	K2	K1	L1 2)		K2 1)
Unterkritikalität nach DE-Heizrohr-bruch			K1	L2	K2/L1	K2	K2/L1 3)		
Unterkrit. nach Sekundärkreislauf-Unterkühlungstransienten	K1		K1	L2	K2/L1 4)	K2	K2/L2 5)	K2/L2 5)	
Unterkritikalität im Notstandsfall	K1 4)		K1		L1			K2 2)	K2 1)
Unterkritikalität nach Steuer-element-Auswurf	K1		K1	L2	L1				
Unterkritikalität nach sonstigen Einwirkungen von innen und EVA	K2	K2	K1	L2	L1	Ersatzmass-nahme			

1) Reduzierung der in den Reaktorkühlkreislauf eingebrachten Wärme
2) nur bei Folgeschäden am Sekundärkreislauf
3) im betroffenen Dampferzeuger
4) als Alternative beim Versagen/Ausbleiben DE-Isolierung, bei Verfügbarkeit beider RX-Einspeisestränge L2
5) dazu alternativ Boreinspeisung

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

3.3.2 Wärmeabfuhr aus dem Reaktor zur letzten Wärmesenke

Die „Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf" ist in der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] als Teilschutzziel dem Schutzziel „Kühlung der Brennelemente" zugeordnet. Die nachfolgende Darlegung bezieht sich auf die in der Sicherheitsstatusanalyse [3-7] getroffenen Bewertungen. Für die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor bis zur letzten Wärmesenke werden die Sicherheitsfunktionsgruppen „Primärseitige Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage" mit den Sicherheitsfunktionen „Primärseitige Wärmeabfuhr" und „Reaktorkühlmittelergänzung" sowie „Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage über die Dampferzeuger" mit den Sicherheitsfunktionen „Sekundärseitige Wärmeabfuhr" und „Dampferzeugerbespeisung" betrachtet. Die Sicherheitsstatusanalyse [3-7] berücksichtigt im Rahmen der Bewertung der Einhaltung des Schutzziels „Kühlung der Brennelemente" weitere Teilschutzziele mit den zugehörigen Sicherheits- und Systemfunktionen, welche die Einhaltung des Teilschutzziels „Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf" unterstützen. Auf diese behördlich geprüften Bewertungen wird an dieser Stelle verwiesen.

3.3.2.1 Primärseitige Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage

Bezüglich der Beurteilung der primärseitigen Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage sind primär die Sicherheitsfunktionen „Primärseitige Wärmeabfuhr" und „Reaktorkühlmittelergänzung" zu betrachten. Die Sicherheitsstatusanalyse berücksichtigt weitere Teilschutzziele mit den zugehörigen Sicherheits- und Systemfunktionen, welche die Erfüllung der Aufgaben der genannten beiden hauptsächlichen Sicherheitsfunktionen unterstützen.

3.3.2.1.1 Primärseitige Wärmeabfuhr

3.3.2.1.1.1 Anforderungen

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Integrität der Barrieren muss die Wärme aus Reaktorkern / Reaktorkühlkreislauf / Sicherheitshülle so abgeführt werden, dass die Temperaturen der Brennstab-Hüllrohre sowie die Drücke in Reaktorkühlkreislauf sowie Sicherheitshülle in zulässigen Grenzen bleiben.

Die Sicherheitsfunktion ist erfüllt, wenn die in der Schweiz geltenden radiologischen Grenzwerte eingehalten werden und bei Auslegungsstörfällen bis einschliesslich der Störfallkategorie 2 nach ENSI Richtlinie A01 keine Brennstoffschäden eintreten. Dies schliesst die Sicherstellung der Langzeitkühlung ein, wobei die Temperatur der Brennstab-Hüllrohre hierbei langfristig die Temperaturwerte des Nennbetriebszustands nicht überschreiten soll. Die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf ist so zu bemessen, dass bei Auslegungsstörfällen keine unzulässigen Druck- und Temperaturbelastungen der Sicherheitshülle auftreten können.

Bei auslegungsüberschreitenden Störfällen dient die Sicherheitsfunktion der Beschränkung der Störfallfolgen.

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

3.3.2.1.1.2 Vorhandene Systemfunktionen / Anforderungen aus Störfällen

Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb

Für alle Ereignisse ausser EVA, bei denen die Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb bleiben, ist die primärseitige Wärmeabfuhr an die DE über Zwangsumwälzung günstig (**K2/L2**), sie ist bei abgeschaltetem Reaktor zum Abführen der Speicher-/Nachzerfallswärme jedoch nicht notwendig.

Wärmetransport über Naturumlauf

Bei allen Ereignissen bis auf grössere Lecks, bei denen die Wärme über das Leck abgeführt werden kann, ist nach Ausfall der Hauptkühlmittelpumpen ein Wärmetransport zu den Dampferzeugern über Naturumlauf kurzfristig notwendig (**K1**). Diese Funktion ist inhärent gewährleistet, wenn

- der Reaktorkern ausreichend mit Wasser bedeckt ist
- die sekundärseitige Wärmeabfuhr sichergestellt ist
- der Eintrag nicht kondensierbarer Gase in den Reaktorkühlkreislauf ausreichend begrenzt ist

Die Wärme wird vom Reaktorkern zu den DE entweder im einphasigen oder im zweiphasigen (mit Dampfanteil) Naturumlauf oder im so genannten reflux-condenser-mode (Dampfströmung zu den DE, dort Kondensation und Rückströmung zum Kern) transportiert.

Absperrung Druckspeicher

Die Absperrung der Druckspeicher dient dazu, bei Leckstörfällen mit Abführen der Wärme an die DE einen Eintrag von Stickstoff in den Reaktorkühlkreislauf zu vermeiden. Diese Funktion ist günstig (**L2**), aber nicht notwendig, da bei Leckgrössen, die ein Abführen der Wärme an die DE erforderlich machen, der Druck im Reaktorkühlkreislauf durch die Einspeisesysteme über 6 bar gehalten wird, so dass es nicht zum Eintrag von Stickstoff in den Reaktorkühlkreislauf kommt. Im Übrigen würde auch beim Ausströmen des Stickstoffpolsters von mehr als einem Druckspeicher die verbleibende Wärmetauscherfläche in den DE zur Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf genügen.

Nachkühlung (Nachkühlbetrieb)

Bei allen Ereignissen ist langfristig eine Nachwärmeabfuhr über das Not- und Nachkühlsystem im Nachkühlbetrieb notwendig (**L1**), wenn die sekundärseitige Wärmeabfuhr nicht mehr gewährleistet und/oder das Abfahren auf "unterkritisch kalt" erforderlich ist, sonst ist diese Funktion langfristig günstig (**L2**).

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

Bei einem grösseren Primärleck, bei dem die Wärme aus dem Reaktorkühlkreislauf über das Leck und dann aus der Sicherheitshülle über Nachkühlung im Sumpfbetrieb abgeführt wird, ist der Nachkühlbetrieb nicht relevant.

Nachkühlung im Sumpfbetrieb

Die Funktion ist zur Nachwärmeabfuhr beim Grossen/Mittleren Leck kurzfristig günstig und langfristig notwendig (**K2/L1**). Beim Kleinen Leck ist sie langfristig notwendig (**L1**); sie kann bei entsprechender Leckgrösse die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr ersetzen.

Notstandnachkühlung (2 Stränge mit je einer Notstand-Nachkühlpumpe u. verkürzte Nachkühlkette)

Die Funktion ist im Notstandsfall, wenn die Nachwärmeabfuhr über die Sekundärseite nicht mehr zur Verfügung steht oder/und zum Abfahren in den Zustand kalt, drucklos langfristig notwendig (**L1**), sonst als Reserve für Nachkühl- und Sumpfbetrieb günstig.

Abblasen über DH-Sicherheitsventile

Bei Ereignissen auf der Sicherheitsebene 3 (keine auslegungsüberschreitenden Ausfallannahmen) kommt es nicht zur Anforderung von DH-Sicherheitsventilen zur primärseitigen Wärmeabfuhr. Entsprechend den Anforderungen aus dem der Auslegung des KKG zugrunde liegenden deutschen Regelwerk kommt es nur bei sehr seltenen Transienten zum Ansprechen der DH-Sicherheitsventile.

Für auslegungsüberschreitende Störfälle (Sicherheitsebene 4) wurde 2005 die Funktion der primärseitigen Druckentlastung (PDE) nachgerüstet. Diese dient primär der Vermeidung eines Hochdruck-Kernschmelzpfades. Bei extremen externen Ereignissen die zum Ausfall der sekundärseitigen Wärmeabfuhr führen (z.B. einem kurzzeitig andauernden totalen Station Blackout (Zeitdauer 2 h mit nachfolgender Spannungsrückkehr)) kann die PDE – Funktion auch zur Druckentlastung zwecks Herstellung der Kernkühlung mit dem Not- und Nachkühlsystem TH dienen [3-11]. Bei Ausfall des Not- und Nachkühlsystems kann die vorbereitete Notfallmassnahme „Einspeisung von Feuerlöschwasser" zur Begrenzung der Störfallfolgen herangezogen werden. Dazu ist ein Einspeisestutzen in den aufschaltbaren Strang des Not- und Nachkühlsystems TH40 vorbereitet.

Anforderungsbestimmende Fälle

- Absperrung Druckspeicher: Kleines Leck
- Nachkühlung Sumpfbetrieb: Grosses/Mittleres Leck
- Notstandnachkühlung: Notstandsfall

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

3.3.2.1.1.3 Bewertung der Sicherheitsfunktion

Die Sicherheitsfunktion ist immer kurzfristig notwendig (**K1**).

Tabelle 5 Primärseitige Wärmeabfuhr

	vorhandene Systemfunktionen						
Anforderungen	**Hauptkühl-mittelpumpen in Betrieb**	**Wärme-transport über Natur-umlauf 1)**	**Absperrung Druckspei-cher**	**Nachkühlung Nachkühl-betrieb**	**Nachkühlung Sumpfbetrieb**	**Notstand-Nach-kühlung**	**Abblasen über DH-Sicherheitsv.**
Nachwärmeabfuhr beim Kleinen Leck		K1 inhärent	L2 2)	L2	L1		
Nachwärmeabfuhr beim Grossen/Mittleren Leck					K2/L1		
Nachwärmeabfuhr im Notstandsfall		K1 inhärent	L2 5)			L1/L2 4,3)	
Nachwärmeabfuhr nach sonstigen Einwirkungen von innen und EVA	K2/L2 6)	K1 inhärent	L2 5)	L1/L2 4)			
Notfallmassnahme							PDE mit Einspeisung Feuer-löschwasser

1) im Sinne einer Systemfunktion; wegen der geodätischen Anordnung RDB/DE nur ausreichendes Wasserinventar im Reaktorkühlkreislauf sowie Sekundärseitige Wärmeabfuhr notwendig
2) nicht notwendig, da entweder Wärme über das Leck abgeführt oder Reaktorkühlkreislauf-Druck über 6 bar gehalten werden kann, wodurch unzulässiger Stickstoffeintrag verhindert wird
3) Notnachkühlung
4) Notwendig, wenn Nachwärme über Sekundärseite nicht langfristig abgeführt werden kann, sonst L2
5) nur relevant, wenn Abfahren unter Störfallbedingungen erforderlich
6) nicht bei EVA mit sehr langer Nachwärmeabfuhr über FD- Abblaseregelventile (Reduzierung der in den Reaktorkühlkreislauf eingebrachten Wärme)

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

3.3.2.1.2 Reaktorkühlmittelergänzung

3.3.2.1.2.1 Anforderungen

Die Sicherheitsfunktion ist erforderlich, um den Reaktorkern bei Störfällen mit Reaktorkühlmittelverlust ausreichend mit Wasser bedeckt zu halten (Voraussetzung für Wärmeabfuhr), oder bei mittleren und grossen Kühlmittelverluststörfällen den Kern zu fluten, so dass die Brennelemente wieder ausreichend mit Kühlmittel bedeckt sind.

Die Einrichtungen zur Reaktorkühlmittelergänzung müssen Kühlmittelverluste durch Lecks mit einem Spektrum von "Minilecks" bis zum 2 F-Bruch der Hauptkühlmittelleitung abdecken.

Durch die Leckgrössen mit entsprechender Kombination von Leckausströmung und sich einstellendem Druck ist jeweils vorgegeben:

- die erforderliche Förderrate und Förderhöhe der Einspeisesysteme
- der Umfang der Wasservorräte, die für die Reaktorkühlmittelergänzung bis zum Erreichen eines stabilen Zustands der Nachwärmeabfuhr (insbesondere kalt, drucklos; Rückförderung der Leckagemengen in das Reaktorkühlsystem) benötigt werden.

Die Anforderungen lassen sich im Wesentlichen durch folgende Leckkategorien charakterisieren:

- Grosse Lecks (2 F der Hauptkühlmittelleitung)
- Mittlere Lecks bis ca. 380 cm² (0,1 F der Hauptkühlmittelleitung)
- kleine Mittlere Lecks bis 180 cm² (z.B. Querschnitte von Anschlussleitungen an den Reaktorkühlkreislauf)
- Kleine Lecks bis ca. 60 cm² (z.B. Brüche von Messleitungen, DE-Heizrohren, Entwässerungsleitungen, Sprühleitungen)
- Leckagen bis zu ca. 20 kg/s (z.B. aus unterkritischen Rissen, Dichtungsleckagen, Heizrohrlecks).

Darüber hinaus müssen auch nach sonstigen Einwirkungen von innen (z. B. Brand) und nach EVA (Flugzeugabsturz) eventuelle geringfügige Kühlmittelleckagen langfristig ergänzt werden. Durch die Auslegung der Anlage ist sichergestellt, dass nur sehr kleine Leckagen zu erwarten sind.

Die Sicherheitsfunktion ist gewährleistet,

- wenn der Reaktorkern mit Wasser bedeckt gehalten oder
- wenn ein Füllstandsabfall im Kern so begrenzt werden kann (Dauer und Umfang), dass infolge von temperaturbedingten Veränderungen an den Hüllrohren bei Störfällen der Kategorie 2 keine Brennstabschädeneintreten bzw. bei Störfällen der Kategorie 3 die zulässigen radiologischen Grenzwerte sowie bei Kühlmittelverluststörfällen die Erfolgskriterien für die Kernnotkühlung nach ENSI Richtlinie R 101 eingehalten bleiben.

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

3.3.2.1.2.2 Vorhandene Systemfunktionen/Anforderungen aus Störfällen

Zur Reaktorkühlmittelergänzung stehen folgende Systemfunktionen zur Verfügung:

Einspeisung Volumenregelsystem TA (2 HD-Förderpumpen + 1 Abdrückpumpe)

Bei kleinen Lecks und sonstigen Leckagen ist die Einspeisung über das Volumenregelsystem der Reaktorkühlmittelergänzung über das Not- und Nachkühlsystem vorgelagert, bei Leckraten bis ca. 20 kg/s kann sie die Anforderung der HD-Sicherheitseinspeisung ersetzen (**K2/L2**). Die Einspeisung erfolgt normalerweise aus dem VAB und ist nach Umschaltmassnahmen auch aus den Flutbehältern möglich.

Einspeisung Zusatzboriersystem TA81/82 (2 Pumpen)

Die Einspeisung über Zusatzboriersystem mit Ansaugen aus den Not- und Nachkühlsystem-Flutbehältern ist im Notstandsfall langfristig notwendig, um eventuelle nicht absperrbare Reaktorkühlkreislauf-Leckagen auszugleichen und den Reaktorkühlkreislauf gefüllt zu halten, die kurzfristige Auslösung ist günstig (**K2/L1**).

Sonst ist die Einspeisung über das Zusatzboriersystem günstig, soweit es sich um den Ausgleich kleiner Leckagen (Kleines Leck, DE-Heizrohrbruch) handelt (**K2/L2**).

Zum Ausgleich kleinster Leckagen oder der Kühlmittel-Kontraktion beim Abkühlen mit geringem Gradienten ist die Einspeisung über das Zusatzboriersystem langfristig notwendig (K2/L1); wobei diese Anforderung in der Regel vorgelagert durch das Volumenregelsystem erfüllt wird, und (bei nicht ausreichender Zusatzborier-Einspeiserate bei zu grossem Abfahrgradienten) ersatzweise durch die Sicherheitseinspeisepumpen (bei KMD < 100 bar) abgesichert ist.

HD-Sicherheitseinspeisung (4 HD-Sicherheitseinspeisepumpen)

Bei kleinem Mittlerem und Kleinem Leck (< ca. 180 cm²) im Reaktorkühlkreislauf ist die Reaktorkühlmittelergänzung durch die HD-Sicherheitseinspeisung kurzfristig notwendig (K1), bei sehr kleinen Lecks (z.B. DE-Heizrohrleck) kann sie langfristig notwendig sein, wobei die kurzfristige Zuschaltung günstig ist (**K2/L1**).

Bei Grossem und grossem Mittleren Leck ist die HD-Sicherheitseinspeisung zur Ergänzung der ND-Einspeisung günstig, aber nicht notwendig (**K2**).

Bei Einwirkungen von aussen mit Störungen im Schaltanlagengebäude (z.B. Notstandsfall) ist die HD-Sicherheitseinspeisung unter Umständen nicht kurzfristig verfügbar, langfristig kann sie jedoch als Ersatzmassnahme zur Zusatzborier-Einspeisung herangezogen werden.

Bei sonstigen Einwirkungen von innen und EVA kann die Kühlmittelergänzung durch die Sicherheitseinspeisepumpen günstig sein (kurzfristig bei stärkeren Unterkühlungstransienten mit Kühlmittelkontraktion) (**K2/L2**).

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

Druckspeichereinspeisung (3 x 2 Druckspeicher)

Bei Grossem Leck (> ca. 380 cm²) ist die Druckspeicher-Einspeisung notwendig (**K1**). Bei kleineren Lecks ist die Reaktorkühlmittelergänzung über die Druckspeichereinspeisung günstig, zur Einhaltung der Kriterien für die Erfüllung der Sicherheitsfunktion jedoch nicht notwendig (**K2/L2**).

ND-Einspeisung aus Flutbehältern (4 Nachkühlpumpen, zusätzlich 2 Notstandsnachkühlpumpen)

Bei Grossem/Mittlerem Leck ist aufgrund des schnellen Druck- und Füllstandsabfalls im Reaktorkühlkreislauf eine Reaktorkühlmittelergänzung über die ND-Einspeisung aus den Flutbehältern kurzfristig notwendig (**K1**). Beim Kleinen Leck kann sie günstig sein (**L2**), sie ist jedoch nicht notwendig, da durch die Sicherheitseinspeisepumpen genügend Wasser aus den Flutbehältern eingespeist wird.

ND-Einspeisung aus Sumpf (4 Nachkühlpumpen, zusätzlich 2 Notstandsnachkühlpumpen)

Bei Grossem und grossem Mittleren Leck (> ca. 180 cm²) ist die Leckausströmung so gross, dass wegen Entleerung von Flutbehältern kurzfristig auf ND-Einspeisung aus dem Sumpf umgeschaltet werden muss (**K1**). Bei kleineren Lecks ist die ND-Einspeisung aus dem Sumpf zur Reaktorkühlmittelergänzung auf jeden Fall langfristig notwendig (**L1**). Dabei muss bei kleinem Leck (bis ca. 60 cm²) durch sekundärseitige Wärmeabfuhr der Reaktorkühlkreislauf-Druck unter den Einspeisedruck der Nachkühlpumpen abgesenkt werden, bevor - nach Entleerung der Flutbehälter über die HD-Sicherheitseinspeisung und soweit verfügbar der Druckspeicher (**K2**) - der Füllstand im RDB deutlich unter die Kernoberkante fällt und ein Aufheizen des Kühlmittels beginnt.

(*Die genannten Korrelationen Leckgrösse/Notwendigkeit einer Einspeisefunktion gelten unter der Annahme, dass nur ein Einspeisestrang wirksam ist. Beispielsweise ist bei gegebener Wirksamkeit von mehr als einer Nachkühlpumpe die Notwendigkeit einer Druckspeicher-Einspeisung zu grösseren Leckquerschnitten verschoben.*)

Bei Einspeisung über das Zusatzboriersystem, HD-Sicherheitseinspeisung oder ND-Einspeisung aus Flutbehältern ist jeder Pumpe jeweils eins der 4 Not- und Nachkühlsystem-Flutbehälterpaare zugeordnet. Die Flutbehälterpaare können untereinander verbunden werden (Notfallmassnahme). Damit kann sicher gestellt werden, dass gegebenenfalls auch eine letztverbliebene HD-Sicherheitseinspeisepumpe auf das Kühlmittelvolumen in allen Flutbehältern zurückgreifen kann.

Für Notfallmassnahmen steht die Möglichkeit der Einspeisung von Feuerlöschwasser über einen speziellen Einspeisestutzen in den aufschaltbaren vierten Strang (TH40) des Kernnot- und Nachkühlkühlsystems zur Verfügung. Diese Einspeisung dient primär der Verhinderung eines RDB-Versagens im Rahmen der mitigativen Notfallmassnahmen. Die Massnahme kann jedoch auch (gegebenenfalls unter Beimischung von Bor) zur Kernkühlung bei Ausfall aller anderen Nachspeisemöglichkeiten herangezogen werden.

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

Anforderungsbestimmende Fälle

- Einspeisung Zusatzboriersystem: Notstandsfall
- HD-Sicherheitseinspeisung, Förderhöhe, Vorräte: kleines Leck (bis ca. 60 cm²)
- Kombination HD-/ND-Einspeisung: kleines mittleres Leck (bis ca. 180 cm²)
- ND-Einspeisung: grosses Leck
- Druckspeicher-Einspeisung: grosses Leck

3.3.2.1.2.3 Bewertung der Sicherheitsfunktion

Bei Kühlmittelverluststörfällen ist die Sicherheitsfunktion kurzfristig notwendig, bei sehr kleinen Lecks und Leckagen (z.B. Heizrohrbruch, Notstandsfall, lang dauernder Notstromfall) langfristig notwendig.

Tabelle 6 Reaktorkühlmittelergänzung

	vorhandene Systemfunktionen					
Anforderungen	**Einspeisung Volumen-regelsystem**	**Einspeisung Zusatz-boriersystem**	**HD-Sicher-heits-einspeisung**	**Druck-speichereinspeisung**	**ND-Einspei-sung aus Flutbeh.**	**ND-Einspei-sung aus Sumpf**
Kühlmittel-Ergänzung bei Grossem Leck (über 380cm^2)			**K2**	K1	K1	K1
Kühlmittel-Ergänzung bei Mittlerem Leck (bis 380 cm^2)			**K2**	**K2**	K1	K1
Kühlmittel-Ergänzung bei kleinem Mittleren Leck (bis 180 cm^2)			K1	**K2**	K1	**L1**
Kühlmittel-Ergänzung bei Kleinem Leck (bis ca. 60 cm^2)	**K2**	**K2**	K1	**L2**	**L2**	**L1**
Kühlmittel-Ergänzung bei DE-Heizrohrbruch	**K2/L2**	**K2/L2**	**K2/L1**			
Kühlmittel-Ergänzung im Notstandsfall		**K2/L1**	**Ersatzmass-nahme**			
Kühlmittel-Ergänzung nach sonstigen Einwirkungen von innen und EVA	**K2/L2**	**K2/L1**	**K2/L2**			

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

3.3.2.2 Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage über die Dampferzeuger

Bezüglich der Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage über die Sekundärseite der Dampferzeuger sind die Sicherheitsfunktionen sekundärseitige Wärmeabfuhr und Dampferzeugerbespeisung zu betrachten. Für eine erfolgreiche Dampferzeugerbespeisung ist zudem die Sicherheitsfunktion Minimierung Wasser-/Dampfverlust aus Sekundärkreislauf zu betrachten. Dabei steht die Teilsicherheitsfunktion Absperrung der DE-Abschlämmung (RZ) zur Vermeidung von unkontrollierten DE-Leckagen im Vordergrund (vgl. [3-7]). Im vorliegenden Bericht wird die Teilsicherheitsfunktion Absperrung der DE-Abschlämmung (RZ) im Zusammenhang mit der Sicherheitsfunktion Dampferzeugerbespeisung diskutiert. Eine detaillierte Bewertung der Sicherheitsfunktion Minimierung Wasser-/Dampfverlust aus Sekundärkreislauf ist in der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] angeführt.

3.3.2.2.1 Sekundärseitige Wärmeabfuhr

3.3.2.2.1.1 Anforderungen

Die Einrichtungen zur sekundärseitigen Wärmeabfuhr müssen die in den Dampferzeugern vom Reaktorkühlkreislauf an den Sekundärkreislauf übertragene Wärmeleistung an die Hauptwärmesenke oder an die Atmosphäre abgeben. Hierbei sind folgende Anforderungen zu unterscheiden:

- Abfuhr der Nachzerfallsleistung über die Sekundärseite im Zustand "unterkritisch, heiss"
- Abfahren der Anlage bei DE-Heizrohrbruch entsprechend BHB, Isolation des defekten DE und (bei Vorliegen der Notkühlkriterien); nach Erreichen der erforderlichen Bedingungen Abschalten der Sicherheitseinspeisepumpen
- Abfahren der Anlage mit 100 K/h bis auf Übernahmebedingungen der primärseitigen Not- und Nachkühlsysteme bei Kühlmittelverlust mit Kleinem Leck im Reaktorkühlkreislauf
- Abfahren der Anlage auf Übernahmebedingungen der primärseitigen Not- und Nachkühlsysteme bei sonstigen Einwirkungen von innen und EVA, wenn die Wärmeabfuhr über die DE nicht weiter gewährleistet ist.

Die Sicherheitsfunktion ist erfüllt,

- wenn der Druck im Reaktorkühlkreislauf bei Störfällen der Sicherheitsebene 3 den 1,3-fachen Auslegungsüberdruck nicht überschreitet (vorgelagertes Kriterium dazu ist, dass der Kühlmitteldruck unterhalb des Ansprechdrucks der DH-Sicherheitsventile gehalten wird),
- wenn Temperaturen und damit Druck im Reaktorkühlkreislauf bei Störfällen mit Kühlmittelverlust, aber ohne ausreichende Energieabfuhr über das Leck so schnell abgesenkt werden können, dass der jeweilige Einspeisedruck der Systeme zur Reaktorkühlmittelergänzung unterschritten wird, bevor es zu relevanten Kernfreilegungen infolge ungenügender Kühlmittelergänzung kommt,
- wenn der Druck im Sekundärkreislauf bei allen Anlagenzuständen ausreichend begrenzt bleibt.

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

3.3.2.2.1.2 Vorhandene Systemfunktionen / Anforderungen aus Störfällen

FD-Maximaldruckbegrenzung (FD-Umleitstation)

Steht der Turbinenkondensator (Hauptwärmesenke) zur Dampfaufnahme zur Verfügung, wird bei allen Ereignissen nach RESA/TUSA die Nachwärme automatisch über die FD-Umleitstation abgeführt, ohne dass Dampf an die Atmosphäre abgegeben werden muss (**K2**).

Abblasen über FD-Sicherheitsventile

Steht die vorgenannte Möglichkeit zur Nachwärmeabfuhr im Zustand "heiss, unterkritisch" nicht zur Verfügung, ist die Wärmeabfuhr und damit die Druckbegrenzung über die FD-Sicherheitsventile kurzfristig notwendig (**K1**).

Abfahren über FD-Umleitstation

Die Verfügbarkeit der FD-Umleitstation ist für das Abfahren (betrieblich bzw. mit 100 K/h) günstig, da hierbei eine Dampfabgabe an die Atmosphäre und damit Wasser-/Dampfverlust vermieden wird (**L2**).

Abfahren über FD-Abblaseregelventile

Ist die FD-Umleitstation unverfügbar und das 100 K/h-Abfahren nicht erforderlich, dann ist das Abfahren/Abblasen über die FD-Abblasregelventile langfristig günstig (**L2**).

Für das Abfahren auf "unterkritisch, kalt" im Notstandsfall (Abfahren mit geringem Gradienten, aufgrund des langsamen Aufborierens mit dem Zusatzboriersystem darf nicht zu schnell abgefahren werden) und in allen sonstigen Fällen zum Übergang auf primärseitige Wärmeabfuhr, z. B. bei DE-Heizrohrleck oder wenn die sekundärseitige Wärmeabfuhr nicht weiter gewährleistet ist, ist das geregelte Abblasen über die FD-Abblaseregelventile langfristig notwendig (**L1**).

100 K/h-Abfahren über FD-Abblaseregelventile

Steht die FD-Umleitstation zum schnellen Abfahren nicht zur Verfügung, ist das schnelle Abfahren über die FD-Abblaseregelventile zur Beherrschung von Störfällen mit kleinem Leck langfristig notwendig (**L1**).

Bei DE-Heizrohrbruch (im Notstromfall oder wenn die Notkühlkriterien erreicht wurden) ist das 100 K/h-Abfahren bis auf 50 bar (in allen DE) langfristig notwendig, um das Schutzziel „Aktivitätseinschluss" einzuhalten und den Überspeisungsschutz der DE zu gewährleisten (**L1**). Das Erstellen des Druckausgleichs zwischen Reaktorkühlkreislauf und DE dient der Minimierung der Leckmenge (**L2**).

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

Sekundärseitige Druckentlastung (SDE) und Bespeisung

Als Notfallmassnahme ist die fremdenergielose sekundärseitige Druckentlastung der Dampferzeuger über die FD-Abblasestation mit Bespeisung über die bestehende Druckdifferenz zum Speisewasserbehälter (wird bei Verfügbarkeit des Stützdampfsystems mit Druck beaufschlagt) und/oder Feuerlöschwasser (Einspeisung in den Aufschaltstrang des Notspeisesystems) vorgesehen. Die Wärmeabfuhr an die Atmosphäre kann im Notfall auch mit Hilfe des Fremd- und Hilfsdampfsystems UP und RQ realisiert werden. Entsprechende Notfallmassnahmen sind vorbereitet (vgl. Kapitel 9, [3-12]).

Anforderungsbestimmende Fälle

- FD-Maximaldruckbegrenzung: TUSA
- Abblasen über FD-Sicherheitsventil: TUSA ohne FD-Umleitstation
- 100 K/h-Abfahren über FD-Abblaseregelventile: kleines Leck im Reaktorkühlkreislauf

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

3.3.2.2.1.3 Bewertung der Sicherheitsfunktionen

Die Sicherheitsfunktion ist bei allen Störfällen, mit Ausnahme von Kühlmittelverluststörfällen mit einer zur Nachwärmeabfuhr ausreichenden Leckgrösse, kurzfristig zur Nachwärmeabfuhr notwendig.

Tabelle 7 Sekundärseitige Wärmeabfuhr

	vorhandene Systemfunktionen				
Anforderungen	**FD-Maximal-Druckbegrenzung (FD-Umleit-station)**	**Betriebliches Abfahren über FD-Umleitstation**	**Abblasen über FD-Sicherheits-ventile**	**Abfahren über FD-Abblaseregel-ventile**	**100 K/h-Abfahren über FD- Abbla-seregelventile**
Wärmeabfuhr/Abfahren beim kleinen Leck	K2	L2	K1		L1
Wärmeabfuhr/Abfahren bei DE-Heizrohrbruch	K2	L2 1)	K1	L1 1)	L1 1)
Wärmeabfuhr/Abfahren bei allen sonstigen Störfällen ausser beim grossen/mittleren Leck	K2	L2	K1	L1 2)	

1) Gemäss BHB 3.2 [3-14]

2) L1 wenn Abfahren auf primärseitige Wärmeabfuhr erforderlich ist, sonst L2

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

3.3.2.2.2 Dampferzeugerbespeisung

3.3.2.2.2.1 Anforderungen

Die Sicherheitsfunktion wird benötigt, um genügend Wasser in die DE zu fördern, wenn nach Abschaltung des Reaktors die Nachzerfalls- und erforderlichenfalls auch die Speicherwärme über die Sekundärseite abzuführen ist.

- Bei einem kleinen Leck im Reaktorkühlkreislauf ist neben der Nachzerfallswärme die Speicherwärme so schnell abzuführen, dass nach Erschöpfung der Borwasservorräte in den Flutbehältern bei HD-Einspeisung auf ND-Einspeisung übergegangen werden kann, bevor der Füllstand im RDB deutlich unter die Kernoberkante fällt.
- Bei intaktem Reaktorkühlkreislauf ist grundsätzlich nur die Nachzerfallswärme abzuführen, bei Einwirkungen von aussen jedoch unter Umständen für einen Zeitraum von mindestens 10 Stunden mit anschliessendem Abführen der Speicherwärme zum Abfahren der Anlage.

Die Sicherheitsfunktion ist im notwendigen Umfang erfüllt,

- wenn die Summe der Füllstände in den DE (bezogen auf die Summe der Volllastfüllstände) für das Abfahren der Anlage über ca. 10 % (z.B. 1 DE > 3 m) für das reine Abführen der Nachzerfallswärme über ca. 5 % (z.B. 1 DE > 1,5 m) gehalten werden können (kurzfristiges Unterschreiten führt im Wesentlichen nur zu einer vorübergehend höheren primär-/sekundärseitigen Temperaturdifferenz).
- wenn die gesicherten Speisewasservorräte für ein 10-stündiges Abführen der Nachzerfallswärme mit anschliessendem Abfahren ausreichen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Dampferzeugerbespeisung ist die Absperrung der Dampferzeugerabschlämmung zumindest des bespeisten Dampferzeugers (bei FD-seitiger Isolation der anderen Dampferzeuger).

3.3.2.2.2.2 Vorhandene Systemfunktionen/Anforderungen aus Störfällen

<u>Teilsicherheitsfunktion: Absperrung der Dampferzeugerabschlämmung</u>

Die Dampferzeugerabschlämmung bleibt auch nach Abschaltung der Anlage aus dem Leistungsbetrieb heraus zunächst in Betrieb. Eine Isolation der Dampferzeugerabschlämmung erfolgt Dampferzeuger bezogen bei DE-Niveau zu tief (< 5m) über das Reaktorschutzsignal YZ59 aus dem ungesicherten Reaktorschutz (1 v 3). Eine Isolation der Abschlämmleitungen bei DE-Niveau zu tief (<5m) erfolgt zusätzlich und unabhängig aus dem gesicherten Reaktorschutz (Reaktorschutzsignal RX 50) durch Schliessen von zwei aus dem Notstand angesteuerten Absperrarmaturen in der Sammelleitung des Abschlämmsystems. Beide Reaktorschutzsignale sperren ebenfalls die Probenahme aus den Dampferzeugern ab.

Bei Verfügbarkeit der betrieblichen Bespeisung (in diesem Fall wird die Leckmenge überspeist) ist diese Funktion kurzfristig oder langfristig nützlich (**K2/L2**), im Falle eines Bruchs der DE-Abschlämmleitung oder im Notstandsfall (Station Blackout) ist diese Funktion kurzfristig notwendig (**K1**).

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

Bespeisung mit Hauptspeisepumpen RL (3 Pumpen)

Das Hauptspeisewassersystem bleibt auch nach Abschaltung der Anlage aus dem Leistungsbetrieb heraus zunächst in Betrieb, wenn keine Störungen vorliegen, die die Speisepumpen selbst beeinträchtigen (z.B. Absperren/Ausschalten Hauptspeisepumpen bei Signal Druckabfallgradient > 4 bar/min). Eine Hauptspeisepumpe reicht für alle Anforderungen. Die Umschaltautomatik zwischen den drei Hauptspeisepumpen ist immer aktiv, so dass auch nach Abschaltung der Anlage bei Ausfall eines Pumpenaggregates automatisch auf die Reservepumpe umgeschaltet wird. Die Funktion des Hauptspeisewassersystems ist somit vorgelagert (**K2**).

Bespeisung mit An- und Abfahrpumpen RR (2 Pumpen)

Das An- und Abfahrsystem übernimmt die Bespeisung der DE bei Abschaltung bzw. Unverfügbarkeit des Hauptspeisewassersystems. Die Zuschaltung der An- und Abfahrpumpen erfolgt automatisch (Betriebliche Automatik) bei Ausfall der Hauptspeisepumpen. Das An- und Abfahrsystem ist notstromgesichert und kann somit die Dampferzeugerbespeisung auch bei Störungen mit Ausfall der Eigenbedarfsversorgung aufrechterhalten. Die Wassernachspeisung des Speisewasserbehälters übernimmt dabei dann das Deionatsystem, so dass ausreichende Speisewasservorräte zur Verfügung stehen. Die Funktion des An- und Abfahrsystems ist einer Anforderung des Notspeisesystems vorgelagert (**K2**).

Bespeisung mit Notspeisepumpen RS (4 Pumpen mit jeweils zugeordnetem Notspeisebecken)

Das Notspeisesystem stellt als reines Sicherheitssystem, ausser im Notstandsfall, die DE-Bespeisung bei allen Störfällen mit Ausfall der (vorgelagerten) betrieblichen Bespeisungssysteme sicher. Seine Funktion ist dann kurzfristig notwendig (**K1**).

Bespeisung mit Notstandsnotspeisepumpen RX (2 Pumpen mit jeweils zugeordnetem Notstand-Notspeisebecken)

Das Notstandsnotspeisesystem stellt im Notstandsfall mit Ausfall von Hauptspeisewassersystem, An- und Abfahrsystem, Notspeisesystem die DE-Bespeisung sicher. Seine Funktion ist dann kurzfristig notwendig (**K1**).

Bei anderen Störfällen mit Ausfall des Hauptspeisewassersystems und des An- und Abfahrsystems erfolgt die Bespeisung durch das Notstandssystem ergänzend zum Notspeisesystem, was jedoch nicht notwendig wäre (**K2**).

Als Notfallmassnahmen stehen die Bespeisung über einen mit Druck beaufschlagten Speisewasserbehälter und/oder mittels Feuerlöschpumpe in den aufschaltbaren vierten Strang des Notspeisesystems zur Verfügung. Entsprechende Notfallprozeduren sind im NHB vorbereitet.

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

Anforderungsbestimmende Fälle

- Bespeisung mit Notspeisepumpen : 100K/h Abfahren bei kleinem Kühlmittelverlust
- Bespeisung mit Notstand-Notspeisepumpen: Notstandsfall
- Absperrung der DE-Abschlämmung: Bruch der DE-Abschlämmung

3.3.2.2.2.3 Bewertung der Sicherheitsfunktion

Bei allen Störfällen aus dem Leistungsbetrieb und mit der Notwendigkeit, Wärme aus dem Reaktorkühlkreislauf über die Sekundärseite abzuführen, ist die Sicherheitsfunktion kurzfristig notwendig. (Bei Störfällen aus Nulllast ist die Sicherheitsfunktion langfristig notwendig.) Die Sicherheitsfunktion wird durch das Notspeisesystem bzw. das Notstandsnotspeisesystem gewährleistet. Das Hauptspeisewassersystem und das An- und Abfahrsystem als vorgelagerte Einspeisesysteme reduzieren die Anforderungshäufigkeit der Notspeisesysteme RS/RX.

Tabelle 8 Dampferzeugerbespeisung

	Vorhandene System-/Teilsicherheitsfunktione				
Anforderungen	**Bespeisung mit Haupt-speisepumpen**	Absperrung der DE-Abschlämmung	**Bespeisung mit An- u. Abfahr-pumpen**	Bespeisung mit Notspeise-pumpen	Bespeisung mit Notstand-Not-speisepumpen
bei Kleinem Leck am Reaktorkühlkreislauf (Nachwärmeabfuhr, 100K/h-Abfahren)	**K2**	**K2/L2**	**K2**	K1	**K2**
Abfuhr Nachzerfallswärme nach sonstigen Einwirkungen von innen	**K2 1)**	**K2/L2**	**K2 1)**	K1	**K2**
Abfuhr Nachzerfallswärme im Notstandsfall		K1			K1
Bruch der DE-Abschlämmleitung	**K2 2)**	K1	**K2 2)**	K1	**K2**

1) wenn vom Ausgangsereignis nicht betroffen (z.B. Notstromfall bzw. Leck in Speisewasser- Leitung)
2) Der Bespeisung mit Sicherheitssystemen wird Priorität (Index 1) zugeordnet (Überlagerung mit Notstromfall führt zum Ausfall der betrieblichen Bespeisung (RL) und/oder macht Deionatnachspeisung durch Handeingriffe erforderlich)

3.3.3 Wärmeabfuhr aus den Brennelement-Lagerbecken an die letzte Wärmesenke

Bezüglich der Wärmeabfuhr aus den Brennelement-Lagerbecken werden die Lagerbecken im externen Nasslager ZS07 und im Reaktorgebäude ZA/ZB detailliert betrachtet [3-1], [3-3], [3-4] - [3-5], [3-7]. Zusätzlich ist das nur temporär genutzte Brennelementladebecken zu bewerten. Dieses Becken dient nicht der Lagerung von Brennelementen.

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

3.3.3.1 Wärmeabfuhr aus dem Brennelementladebecken

Das während der jährlichen Revisionen und im Leistungsbetrieb für Servicearbeiten temporär genutzte Brennelement-Ladebecken im Reaktorgebäude-Ringraum ist bei Einhaltung der Vorgaben der technischen Spezifikation des KKG bezüglich Abklingzeit nur mit einer sehr geringen Wärmeleistung beaufschlagt. Das vorhandene Wasservolumen von ca. 250 m^3 stellt hohe Karenzzeiten für die Wiederherstellung der Kühlung sicher. Bei Annahme des ungünstigsten Beladezustands des Ladebeckens bei Servicearbeiten und konservativer Annahme einer Beckentemperatur von 45°C (bei Servicearbeiten infolge des anwesenden Personals üblicherweise < 30°C) ergibt sich eine Zeitdauer von *82 h 40 min (> 3 Tage)* bis zum Aufheizen des Beckens auf 80°C (vgl. Kapitel 9). Die Kühlung des Beckens über das sicherheitstechnisch klassierte und gegen Sicherheitserdbeben (Gefährdungsstufe **H1** vgl. Kapitel 4) ausgelegte Schleusrohrkühlsystem (verfügbare Systemfunktion [3-1]) kann nach dieser Karenzzeit wieder in Betrieb genommen werden. Die Funktion ist nur sehr langfristig notwendig (**L1**).

KKG plant die Installation einer fest installierten Einspeiseleitung zur Nachspeisung in das Brennelementladebecken zur Erleichterung von Notfallmassnahmen und hat eine entsprechende Anlageänderung eingeleitet.

3.3.3.2 Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken im Reaktorgebäude

3.3.3.2.1 Anforderungen

Die Einrichtungen zur BE-Beckenwärmeabfuhr (Lagerbecken im Sicherheitsbehälter) müssen verhindern, dass die Temperatur des BE-Beckenwassers über 80°C ansteigt. (Selbst bei 100°C wären jedoch keine Schäden am Becken mit relevanten Leckagen zu erwarten. [3-7])

Vorgelagertes Kriterium für die Erfüllung der Sicherheitsfunktion ist die Begrenzung der BE-Beckentemperatur unter 60° C.

3.3.3.2.2 Vorhandene Systemfunktionen/Anforderungen aus Störfällen

BE-Beckenkühlung über Nachkühlsystem mit Nachkühlpumpen

Zwei Stränge des Nachkühlsystems (TH10/30) können so geschaltet werden, dass sie aus dem BE-Becken ansaugen und über die Nachwärmekühler wieder zurück ins Becken fördern.

Bei Erreichen der Notkühlkriterien wird die Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken wegen der vorrangigen Anforderung der Nachkühlpumpen für Reaktorkühlmittelergänzung und Nachkühlung automatisch ab/umgeschaltet (Umschalten von TH10/30 auf Notkühleinspeisung, Vorbereiten der Überlaufkühlung über die Bypassleitung). Mit Start der Nachkühlpumpen wird die Überlaufbeckenkühlung in Betrieb genommen, d. h. ein geringer Teil des Einspeisestromes der Nachkühlstränge TH10/30 wird über Bypassleitungen (Bypass zu den eigentlichen Beckenkühlsträngen) ins BE-Becken geleitet, überschüssiges Wasser gelangt über Überläufe in den Sumpf, womit der

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

Kühlkreislauf geschlossen ist, wenn die Nachkühlpumpen aus dem Sumpf ansaugen. Damit ist bei einer kleinen Nachzerfallsleistung im BE-Becken eine ausreichende Wärmeabfuhr gewährleistet oder zumindest (bei grösserer Leistung) der Temperaturanstieg begrenzt.

BE-Beckenkühlung mit Hilfe des dritten unabhängigen Beckenkühlstranges TH74

Der 3. Beckenkühlstrang besteht aus der Beckenkühlpumpe TH 74 D001, dem Beckenkühler TH 74 B001 und den dazugehörigen Rohrleitungen. Die Saug- und Druckleitungen des Systems haben eigene Anschlüsse an das BE-Becken. Der Beckenkühler wird durch den Abfahrkreislauf TF 20 des nuklearen Zwischenkühlsystems mit Kühlwasser versorgt. Das System ist Notstrom gesichert.

BE-Beckenkühlung über Nachkühlsystem mit Notstand-Nachkühlpumpen

Parallel zu den obigen zwei Nachkühlpumpen des Nachkühlsystems (TH10/30) sind die Notstand-Nachkühlpumpen installiert, die über dieselben Leitungen die Nachwärme aus dem BE-Becken abführen können, wobei diese normalerweise über die Nachkühlkette, im Notstandsfall über die verkürzte Nachkühlkette abgeleitet wird.

Ausgehend von der im bestimmungsgemässen Betrieb einzuhaltenden Temperatur von höchstens 45°C (in der Praxis bei ca. 30°C) stehen im Leistungsbetrieb bis zum Erreichen begrenzender Temperaturen (vgl. Kapitel 9.5, Tabelle 25) auch ohne Berücksichtigung der Überlaufkühlung sehr grosse Zeitfenster zur Verfügung. Bei diesen grossen Karenzzeiten ist die Funktion der Überlaufkühlung nicht notwendig. Die Nachwärmeabfuhr über einen Strang des Nachkühlsystems mit einer Notstandsnachkühlpumpe, dem dritten Beckenkühlstrang oder einer Nachkühlpumpe ist erst sehr langfristig notwendig (**L1**).

Bei Unterbruch der BE-Becken-Wärmeabfuhr (bei Notstromfall, im Nachkühlbetrieb nach einem kleinen Leck) ist vor Erreichen einer BE-Beckentemperatur von 60°C die Wärmeabfuhr, vorzugsweise mit dem dritten unabhängigen Beckenkühlstrang, wiederherzustellen. Bei Kernvollausladung kann es zeitweilig erforderlich sein, dass zwei Beckenkühlstränge für die Nachwärmeabfuhr erforderlich sind, um die BE-Beckentemperatur unter dem betrieblichen Grenzwert von 45°C zu halten.

Als Notfallmassnahme besteht die Möglichkeit der Einspeisung von Feuerlöschwasser über einen speziell vorbereiteten Stutzen in den dritten unabhängigen Beckenkühlstrang. Die Bespeisung kann mit Hilfe einer Feuerwehrpumpe (insbesondere bei externen Ereignissen) oder über die geodätische Druckdifferenz zur bestehenden Ringleitung (soweit verfügbar) vorgenommen werden. Der Betriebsdruck der Ringleitung wird durch das Wasserreservoir im Sören gestützt.

Gegenwärtig ist die Einrichtung einer zweiten räumlich getrennten Einspeisemöglichkeit in Vorbereitung.

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

Anforderungsbestimmende Fälle

- Nachkühlsystem: Bei Kühlmittelverluststörfall mit nur zwei verfügbaren Not- und Nachkühlsystem-Strängen langfristig Inbetriebnahme des dritten unabhängigen Beckenkühlstranges.
- Notstand-Nachkühlung: Ausfall der BE-Beckenwärmeabfuhr für mindestens 10 h im Notstandsfall, bei Einzelfehlerannahme für Nachwärmeabfuhr nur ein Notstand-Nachkühlstrang verfügbar.

(Für das Nachkühlsystem TH ist die Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken nicht anforderungsbestimmend [3-7])

3.3.3.3 Kühlung des externen Nasslagers

3.3.3.3.1 Anforderungen

Die Einrichtungen zur BE-Beckenwärmeabfuhr müssen verhindern, dass die Temperatur des BE-Beckenwassers über 80°C ansteigt (vorgelagertes Sicherheitskriterium). Selbst bei 100°C wären jedoch keine Schäden am Becken mit relevanten Leckagen zu erwarten.

3.3.3.3.2 Vorhandene Systemfunktionen/Anforderungen aus Störfällen

Für das externe Nasslager wurden die Störfälle:

- Ausfall Beckenkühlstrang oder Ausfall Kühlturmventilator
- Ausfall Eigenbedarfsversorgung
- Betriebserdbeben (OBE)

gemäss der zum Zeitpunkt der Planung gültigen Version der HSK (heute ENSI) Richtlinie R 100 in die Ereigniskategorie 1 eingestuft. Die für die Beherrschung dieser Störfälle erforderlichen Systeme wurden daher so bemessen, dass die Nasslagerbeckentemperatur unter 60°C verbleibt. Unter Berücksichtigung des Einzelfehlers ergibt sich gemäss der aktuellen ENSI Richtlinie A01 eine Einstufung dieser Störfälle in die Störfallkategorie 2. Die Bemessung der Systeme enthält daher im Vergleich mit den aktuellen behördlichen Sicherheitsanforderungen eine Sicherheitsmarge.

Die Störfälle:

- Sicherheitserdbeben (mit zusätzlichem Sicherheitsfaktor im Vergleich zur Gefährdungsstufe **H1**)
- Flugzeugabsturz

wurden gemäss der zum Zeitpunkt der Planung gültigen Version der HSK (heute ENSI)-Richtlinie R 100 in die Ereigniskategorie 3 eingestuft. Die für die Beherrschung dieser Störfälle erforderlichen Systeme wurden so bemessen, dass die Nasslagerbeckentemperatur mit grosser Sicherheitsmarge unter 80°C verbleibt (auf Grund des grossen Wasserinhalts des Nasslagerbeckens bestehen Karenzzeiten von 1'000 Stunden, das Nasslagerbecken wurde auf Gerbdämpfern

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

(seismische Isolation) abgestützt). Unter Berücksichtigung des Einzelfehlers würde sich gemäss der aktuellen ENSI Richtlinie A01 eine Einstufung des Störfalls Flugzeugabsturz in die Kategorie „auslegungsüberschreitend" ergeben, da neu bei der Ermittlung der Eintrittshäufigkeit der Störfälle die Eintrittshäufigkeit des zusätzlich anzusetzenden unabhängigen Einzelfehlers zu berücksichtigen ist.

Lagerbeckenkühlung

Die Lagerbeckenkühlung erfolgt passiv und inhärent sicher mittels Naturumlauf, wobei die Wärme über die im BE-Becken angeordneten Einhängekühler (im gegen extreme externe Einwirkungen geschützten Bereich) an die Kühltürme abgegeben wird. Aufgrund der geringen Wärmeleistung des im BE-Becken eingelagerten Brennstoffs und dem grossen Wasserinventar bestehen ausserordentlich hohe Karenzzeiten, so dass die Lagerbeckenkühlung als langfristig notwendig (**L1**) eingestuft ist. Die Verfügbarkeit der Kühlung ist kurzfristig günstig (**K2**).

Zusätzlich sind Notfallmassnahmen vorbereitet. Für diesen Zweck bestehen Accident Management Einspeiseleitungen zu den Einhängekühlern im BE-Becken. Zudem besteht die Möglichkeit einer langfristigen Deionatnachspeisung [3-5]

Gegenwärtig ist gemäss Verfügung des ENSI vom 18.3.2011 die Einrichtung einer weiteren Einspeisemöglichkeit in Vorbereitung.

Anforderungsbestimmende Fälle

Flugzeugabsturz – anforderungsbestimmend für die Gebäudebemessung

3.3.3.4 Bewertung der Sicherheitsfunktion Wärmeabfuhr aus den BE-Lagerbecken an die letzte Wärmesenke

Die Sicherheitsfunktion „Wärmeabfuhr aus den BE-Lagerbecken" wird für beide Lagerebcken zusammenfassend bewertet. Die Funktion ist für beide BE-Lagerebecken nur sehr langfristig notwendig.

Anforderung	Wärme-abfuhr mit Nachkühl-pumpen	Wärme-abfuhr mit Notstand-Nachkühl-pumpen	Wärmeabfuhr mit drittem unabhängigen Beckenkühl-strang	Wärmeabfuhr über Naturumlauf	Wärmeabfuhr über Schleusrohr-kühlsystem
Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken nach Störfällen	K2/L2	K2/L2	K2/L1		
Wärmeabfuhr aus dem externen Nasslager ZS07				K2/L1	

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

Anforderung	Wärme-abfuhr mit Nachkühl-pumpen	Wärme-abfuhr mit Notstand-Nachkühl-pumpen	Wärmeabfuhr mit drittem unabhängigen Beckenkühl-strang	Wärmeabfuhr über Naturumlauf	Wärmeabfuhr über Schleusrohr-kühlsystem
Wärmeabfuhr aus dem BE-Ladebecken im Reaktorgebäude-Ringraum					K2/L1

3.3.4 Wärmeabfuhr aus dem Reaktorsicherheitsbehälter an die letzte Wärmesenke

Im bestimmungsgemässen Betrieb erfolgt die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorsicherheitsbehälter über das nukleare Lüftungssystem TL und die Kälteanlage UF an die Atmosphäre (Kamin). Bei einem Störfall (Notstromfall, Kühlmittelverluststörfall) erfolgt eine Abschaltung der betrieblichen nuklearen Lüftungsanlagen. Eine detaillierte Beschreibung der nuklearen Lüftungsanlagen ist im Sicherheitsbericht [3-1] und im zugehörigen Systemhandbuch [3-9] zu finden. Bei einem Kühlmittelverluststörfall erfolgt die Inbetriebnahme der Ringraumabsaugung, welche durch Unterdruckhaltung im Ringraum und gefilterte Abgabe über den Kamin die Aktivitätsabgaben in die Umgebung minimiert.

Bei Störfällen erfolgt die Wärmeabfuhr aus dem Reaktorsicherheitsbehälter indirekt über die Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage. Die dafür zur Verfügung stehenden Sicherheits- und Systemfunktionen sind in Kapitel 3.3.2.1 beschrieben und bewertet worden. Eine detaillierte Übersicht einschliesslich unterstützend wirkender Sicherheits- und Systemfunktionen ist in der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] angeführt. Aufgrund der Auslegung des Reaktorsicherheitsbehälters (Stahldruckschale) ist eine Wärmeabfuhr aus dem Reaktorsicherheitsbehälter nur langfristig notwendig (**L1**).

Bei auslegungsüberschreitenden schweren Störfällen kann das System der gefilterten Druckentlastung zur Wärmeabfuhr herangezogen werden (vgl. Kapitel 3.2).

3.3.5 Elektrischer Eigenbedarf – Drehstromversorgung

Die Beschreibung des elektrischen Eigenbedarfsnetzes inklusive der Drehstromversorgung ist in Kapitel 3.2.2.8.1 angeführt. Abbildung 8 gibt einen Überblick über den Aufbau des elektrischen Eigenbedarfs. Neben den auslegungsgemäss vorgesehenen Mitteln zur Sicherstellung des elektrischen Eigenbedarfs mit den Verbindungen zum 400 kV Netz und dem Fremdeinspeisetrafo mit Verbindung zum 220 kV Netz besteht die Möglichkeit mit Hilfe einer Notfallmassnahme eine Netzeinspeisung (50 kV) vom Wasserkraftwerk Gösgen herzustellen. In der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] ist die Funktion des elektrischen Eigenbedarfs der systemübergreifenden Sicherheitsfunktion „Sicherstellung Funktionsfähigkeit von Systemfunktionen" zugeordnet. Eine Bewertung dieser übergeordneten Sicherheitsfunktion wird in Kapitel 3.3.7 vorgenommen.

Aufgrund der konsequenten Auswertung der eigenen Betriebserfahrung sowie von Erfahrungen aus dem Betrieb von Kernkraftwerken in anderen Ländern (VGB-Erfahrungsmeldungen, WANO, IAEA und andere) konnte die Zuverlässigkeit der Drehstromversorgung verbessert werden. Sie hat

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

inzwischen ein hohes Niveau erreicht. Im aktuellen PSA-Modell [3-8] wurde die Häufigkeit eines Notstromfalls (LOOP) zu 1.33 x 10^{-2}/a (Erwartungswert, ohne Berücksichtigung externer Ereignisse) bestimmt. Die Häufigkeit eines partiellen Verlustes des externen Netzes (Verlust der Anbindung an das 400 kV Netz) beträgt 9.0 x 10^{-2}/a (Erwartungswert, ohne Berücksichtigung externer Ereignisse).

3.3.6 Elektrischer Eigenbedarf – Gleichspannungsversorgung

Die Beschreibung des elektrischen Eigenbedarfsnetzes inklusive der Drehstromversorgung ist in Kapitel 3.2.2.8.1 angeführt. Abbildung 8 gibt einen Überblick über den Aufbau des elektrischen Eigenbedarfs. In der Sicherheitsstatusanalyse des KKG [3-7] ist die Funktion des elektrischen Eigenbedarfs der systemübergreifenden Sicherheitsfunktion „Sicherstellung Funktionsfähigkeit von Systemfunktionen" zugeordnet. Eine Bewertung dieser übergeordneten Sicherheitsfunktion wird in Kapitel 3.3.7 vorgenommen. Für die Beurteilung der Folgen eines Ausfalls der Gleichspannungsversorgung (Batteriekapazität) wird auf Kapitel 7 verwiesen.

Die Betriebserfahrungen mit der Gleichspannungsversorgung sind positiv. Die aktuelle PSA [3-8] weist eine hohe Zuverlässigkeit der Gleichspannungsversorgung im KKG aus. Im Rahmen der im KKG geplanten Ersatzinvestitionen ist eine Umrüstung der bisher verwendeten rotierenden Umformer (M-G-Sets ET11-ET41) in statische Umformer vorgesehen. In einer Redundanz ist diese Umrüstung bereits abgeschlossen (ET 11).

3.3.7 Sicherheitsfunktion Sicherstellung Funktionsfähigkeit Systemfunktionen

3.3.7.1 Anforderungen

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen (und in der Sicherheitsstatusanalyse [3-7] vollständig dargelegten) Sicherheitsfunktionen werden durch verschiedene Systemfunktionen gewährleistet, die z. T. wiederum nur den Anforderungen entsprechend verfügbar sind, wenn bestimmte Randbedingungen erfüllt sind (insbesondere durch Hilfs- und Versorgungsfunktionen).

Die zur Sicherstellung der Randbedingungen für die notwendigen (primären) Systemfunktionen (**K1/L1**) erforderlichen aktiven Massnahmen bzw. (Hilfs-) Systemfunktionen werden im Folgenden beschrieben. Auslegungsüberschreitende Anforderungen und die vorhandenen Sicherheitsmargen werden in den Kapiteln 4 bis 9 beschrieben und beurteilt.

Die Sicherheitsfunktion Sicherstellung Funktionsfähigkeit von Systemfunktionen ist erfüllt, wenn die in den vorstehenden Kapiteln genannten Systemfunktionen anforderungsgerecht gewährleistet werden können.

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

3.3.7.2 Vorhandene Systemfunktionen / Anforderungen aus Störfällen (vollständige Auflistung gemäss SSA)

Notstromversorgung mit Dieselkühlung

Grundsätzlich sind alle Ereignisse der Sicherheitsebene 3 (Auslegungsstörfälle) auch dann zu beherrschen, wenn die Eigenbedarfs-Drehstromversorgung ausgefallen ist. Die Versorgung der sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher mit elektrischer Energie wird dann, soweit die Versorgung nicht unterbrechungslos über Batterien erfolgt, von der Notstromversorgung mit den Notstromdieseln kurzfristig übernommen (**K1**, nicht im Notstandsfall). Zur Kühlung der Diesel wird das Nukleare Nebenkühlwassersystem deshalb ebenfalls kurzfristig benötigt (**K1**).

Notstand-Notstromversorgung mit Dieselkühlung

Im Notstrom- und im Notstandsfall muss die Notstromversorgung der erforderlichen Systemfunktionen von den Notstand-Notstromdieseln kurzfristig übernommen werden **(K1)**. Das zur Kühlung der Diesel vorgesehene Brunnenwassersystem wird deshalb ebenfalls kurzfristig benötigt (**K1**).

Abschaltung An- und Abfahrpumpen

Um eine Beeinträchtigung der Notstromversorgung wegen Überlastung der Notstromdiesel zu vermeiden, (besonders bei Störfällen mit Anforderung des Not- und Nachkühlsystem relevant) werden die An- und Abfahrpumpen kurzfristig abgeschaltet, wenn es bei Störfällen zu einer gleichzeitigen Anforderung des Notspeisesystems kommen sollte (**K1**).

Nukleare Nachkühlkette

Bei Kühlmittelverluststörfällen ist der Betrieb der nuklearen Nachkühlkette (nukleares Zwischenkühlsystem TF, nukleares Nebenkühlwassersystem VE) kurzfristig notwendig, um Wärme von Kühlstellen der Pumpen des Not- und Nachkühlsystems abzuführen (**K1**). Die Wärmeabfuhr von den Nachwärmekühlern ist (beim grossen/mittleren Leck) kurzfristig günstig und langfristig notwendig (**K2/L1**).

Auch bei Störfällen ohne Kühlmittelverlust (Überspeisung von Leckagen durch das Volumenregelsystem-System möglich) ist ein Übergang auf primärseitige Nachkühlung und damit der Betrieb der nuklearen Nachkühlkette langfristig dann erforderlich, wenn die Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger nicht langfristig möglich ist (**L1**).

Not-Nachkühlkette

Im Notstandsfall ist der Betrieb der Not-Nachkühlkette (Wärmeabfuhr von den Nachwärmekühlern TH10/30 über das Brunnenwassersystem VX, verkürzte Nachkühlkette) für die Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken und die Nachwärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlkreislauf, wenn dies über die DE nicht mehr möglich ist (beim Abfahren auf "kalt, drucklos"), langfristig notwendig (**L1**).

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

Ergänzung Notstand-Notspeisevorräte

Im Notstandsfall ist zur längerfristigen Gewährleistung der Sekundärseitigen Wärmeabfuhr (>24h) die Ergänzung der Notstand-Notspeisevorräte über das Brunnenwassersystem VX langfristig notwendig (**L1**, Ersatzmassnahme Deionatvorräte aus Deionat-Versorgungsanlage TN nutzen oder Ergänzung mit Deionattransportfahrzeug).

Ergänzung Dieselvorrat im Notstandsgebäude

Im Notstandsfall ist zur längerfristigen Sicherstellung des Betriebs der Notstandsdiesel eine Ergänzung der Diesel- und Schmierstoffvorräte erforderlich. Dazu sind entsprechende Massnahmen vorbereitet (mobiler Dieseltank mit Pumpe, sowie Schmierstoffreservebehälter). Seit August 2011 steht im Notstandsgebäude ein neuer, grosser mobiler Dieseltank zur Verfügung, der im Normalbetrieb bereits gefüllt ist (ca. 13'000 l).

Absperrung Volumenregelsystem TA-, Not- und Nachkühlsystem TH-, Deionat Versorgungsanlage TN-, Feuerlöschanlage UJ-, Nukleares Nebenkühlwassersystem VE-Leck (anbindende Taproggeanlage) im Ringraum

Bei einem unterstellten Leck im Ringraum in einem der genannten Systeme ist eine Absperrung des Lecks langfristig erforderlich, um eine Überflutung sicherheitstechnisch wichtiger Komponenten oder eine unzulässige Veränderung der Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte) im Ringraum zu verhindern (**L1**).

Lüftungsabschluss der Sicherheitshülle

Aufgrund der eingeschränkten Qualifikation (gemäss den Bedingungen für Ringraumleck) der im Reaktorgebäude-Ringraum aufgestellten Sicherheitseinrichtungen ist ein Lüftungsabschluss der Sicherheitshülle langfristig notwendig, um die zulässigen Umgebungsbedingungen für einen Langzeitbetrieb dieser Einrichtungen bei Leckagen der den Ringraum durchdringenden Lüftungsleitungen nicht zu überschreiten. Ohne Erreichen der Notkühlkriterien (z. B. bei Sekundärleck ohne primärseitige relevante Unterkühlung) ist der in Reaktorschutzqualität ausgeführte betriebliche Lüftungsabschluss langfristig notwendig (**L1**) sonst, also wenn die Notkühlkriterien erreicht werden, vorgelagert (**K2/L2**) zum bei Kühlmittelverluststörfall ohnehin kurzfristig notwendigen Gebäudeabschluss Lüftung (GBA Lüftung) (**K1**).

Anforderungsbestimmende Fälle:

- Notstromversorgung mit Dieselkühlung, Abschaltung An- und Abfahrpumpen: kleines Leck
- Nukleare Nachkühlkette: grosses/mittleres Leck
- Notnachkühlkette, Ergänzung Notstand-Notspeisevorräte: Notstandsfall
- Absperrung von Lecks im Ringraum: Leck mit der maximal zu unterstellenden Grösse in den jeweiligen Leitungen
- GBA Lüftung der Sicherheitshülle: grosses Leck

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

(bei heissem Sekundärleck ohne Erreichen der Notkühlkriterien durch betrieblichen Lüftungsabschluss gewährleistet)

3.3.7.3 Bewertung der Sicherheitsfunktion

Diese Sicherheitsfunktion fasst ein Gemisch von Systemfunktionen zusammen, die kurz- oder langfristig notwendig sind. Massgebend für die Einstufung ist die Einstufung der zu versorgenden Sicherheits- und Systemfunktionen.

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

Anforderung	vorhandene Systemfunktionen							
	Notstrom-Versorgung mit Dieselkühlung (VE)	Notstand-Notstromversorg. mit Dieselkühlung (VX)	Abschaltung An- und Abfahrpumpen	Nukleare Nachkühlkette	Notnachkühlkette	Ergänzung Notstand-Notspeisewasser	Absperrung systemeigener Lecks im Ringraum	GBA-Lüftung der Sicherheitshülle
Drehstromversorgung bei Ausfall Eigenbedarfsversorgung	K1	K1	K1 3)					
Drehstromversorgung im Notstandsfall		K1						
primärseitige Wärmeabfuhr bei Kühlmittelverluststörfall				K1				
primärseitige und BE-Becken-Wärmeabfuhr ohne Kühlmittelverluststörfall				L1 2)				
primärseitige und BE-Becken-Wärmeabfuhr im Notstandsfall					L1 2)			
Sekundärseitige Wärmeabfuhr im Notstandsfall						L1		
Verhinderung unzulässigen Wasseranstiegs im Ringraum							L1 1)	
Gewährleistung der Ringraum-Umgebungsbedingungen								K1/L1 4)

1) nur bei Leck im entsprechendem System TA, TH, TN, UJ, VE
2) für primärseitige Wärmeabfuhr, wenn Wärmeabfuhr über DE nicht langfristig möglich
3) bei Anforderung der Notspeisepumpen
4) bei Leck ohne Erreichen der Notkühlkriterien (z.B. Speisewasserleitungsleck) kann der betriebliche Lüftungsabschluss notwendig sein, das K1 ergibt sich aus der Notwendigkeit des Aktivitätseinschlusses bei Kühlmittelverluststörfällen im Sicherheitsbehälter

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

3.4 Signifikante Unterschiede zwischen den Reaktorblöcken

KKG ist eine Einzelblockanlage. Daher ist dieses Kapitel nicht relevant.

3.5 Hauptergebnisse probabilistischer Sicherheitsanalysen

KKG verfügt über ein vollständiges integriertes PSA Modell der Stufen 1 und 2 für alle Betriebsarten der Anlage und für alle für den Standort und Typ der Reaktoranlage relevanten auslösenden Ereignisse. Für einige auslösende Ereignisse wurde ein Ausscheidungsverfahren angewandt und gezeigt, dass der Risikobeitrag dieser auslösenden Ereignisse vernachlässigbar gering ist. Das aktuelle PSA-Modell wurde im Rahmen der PSÜ 2008 überarbeitet. Der Prüfbescheid des ENSI zur PSA erfolgte mit Brief vom 12. Juli 2011. Die nachstehende Tabelle fasst die Ergebnisse der PSA für den Leistungsbetrieb unter Berücksichtigung der im Brief des ENSI vom 12. Juli 2011 [3-15] verlangten Sofortmassnahmen zur Anpassung der Leistungs-PSA zusammen. Diese Ergebnisse beziehen sich auf den Anlagenzustand von Ende 2008 mit Ausnahme der vor dem 30. Juni 2011 durchgeführten Verbesserungsmassnahmen auf dem Gebiet des Hochwasserschutzes, welche berücksichtigt wurden. Weitere seit 2008 durchgeführte anlagentechnische Verbesserungen, die zu einer Reduktion der Kernschadenshäufigkeit führen, wurden im Modell noch nicht berücksichtigt. Die weitere Anpassung der Methodik der PSA an die 2009 durch das ENSI in Kraft gesetzte Richtlinie A05 wird zu einer gewissen Reduktion der Kernschadenshäufigkeit insbesondere für die Kategorie Flugzeugabsturz führen.

Tabelle 9 PSA - Ergebnisse für den Leistungsbetrieb, PSA Stufe 1

Bezeichnung	Ereigniskategorie	Beitrag zur CDF, [1/a]	Anteil an der CDF, %
CAIRC	Flugzeugabsturz	4.89E-08	1.43
CATWS	ATWS	1.065E-08	0.31
CEXTFL	Externe Überflutung	3.69E-09	0.11
CFIRE	Brand	1.025E-07	3.0
CINTAK	Ausfall der Wasserfassung	3.10E-09	0.09
CINTFL	Interne Überflutung	4.43E-09	0.13
CLOCAS	Kühlmittelverluststörfälle	3.71E-07	10.9
COTHER	Forciertes Abfahren	2.10E-10	0.007
CSEIS	Erdbeben	2.815E-06	82.4
CSGTR	DE-Heizrohrlecks oder Heizrohrbrüche	2.63E-08	0.77
CTRAN	Transienten	2.91E-08	0.85
CWIND	Wind/Tornado	<1E-10 (Ausschlussanalyse)	
FTURB	Turbinenzerknall	<1E-10 (Ausschlussanalyse)	
-	Industrie- und Transportunfälle, Bruch von Gasleitungen	<1E-09 (Ausschlussanalyse)	
CDTOT	**Gesamt**	**3.415E-06**	**100**

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

Die Aktualisierung der Stillstands-PSA wurde noch nicht abgeschlossen. Abschätzungen lassen jedoch erkennen, dass sich die Ergebnisse nur unwesentlich verändern. Die Risikokennzahlen für die Brennstoffschadenshäufigkeit im Nichtleistungsbetrieb liegen im Bereich der Ergebnisse für die Kernschadenshäufigkeit im Leistungsbetrieb. Die detaillierten Ergebnisse sind in [3-8] angegeben.

Tabelle 10 zeigt die wichtigsten Ergebnisse der Stufe 2 PSA unter Berücksichtigung der geforderten Verbesserungsmassnahmen aus dem Brief des ENSI vom 12. Juli 2011 [3-15].

Tabelle 10: Ergebnisse der Stufe-2-PSA – Häufigkeiten der Freisetzungskategorien

Bezeichnung	Freisetzungskategorie	Freisetzungshäufigkeit, [1/a]	Anteil an der Kernschadenshäufigkeit, %
VENTF	Freisetzung über gefilterte Druckentlastung	2.82E-07	8.4
LERF	Grosse frühe Freisetzung	5.93E-07	17.5
LLR	Grosse späte Freisetzung	1.67E-06	48.9
SMREL	Kleine oder mittlere Freisetzung	6.99E-07	20.5
LSEIS	Beitrag von Erdbeben zur LERF	5.69E-7	16.7%

Die Ergebnisse der PSA zeigen, dass der Lastfall Erdbeben die PSA-Ergebnisse für den Leistungsbetrieb dominiert. Das Erdbebenrisiko wurde in der PSA unter vollständiger Berücksichtigung der Ergebnisse der PEGASOS-Studie ermittelt (Erdbebengefährdung **H3**, siehe Kapitel 4). Im internationalen Vergleich ist die bedingte Wahrscheinlichkeit einer grossen frühen Freisetzung bei gegebenem Kernschaden mit 0.175 relativ hoch. Dies ist wiederum auf den Beitrag des Lastfalls Erdbeben zurückzuführen, der ca. 96 % des Freisetzungsrisikos ausmacht. Weitere 2 % des Freisetzungsrisikos bezüglich einer grossen frühen Freisetzung werden durch den Lastfall Flugzeugabsturz verursacht. Insgesamt tragen externe Ereignisse zu 97.3 % des Freisetzungsrisikos einer grossen frühen Freisetzung bei.

Ein ähnliches Risikoprofil wurde auch in vergangenen Studien (vor den Ereignissen von Fukushima) ermittelt. Dies belegt die grosse Bedeutung extremer externer Ereignisse für die Sicherheit von modernen Kernkraftwerken.

Im Unterschied zur Leistungs-PSA liefert für den Nichtleistungsbetrieb die Störfallgruppe „Brand" den grössten Beitrag zum Risiko. Der Beitrag von Erdbeben fällt wegen der kürzeren Zeitdauer des Nichtleistungsbetriebs und der damit verbundener geringeren Eintrittshäufigkeit von Erdbeben (bezogen auf ein Kalenderjahr) niedriger aus.

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

Referenzen Kapitel 3

[3-1] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – (Prüftstatus D1, Validiert im Genehmigungsverfahren)

[3-2] HSK / KSA , Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, HSK 17/400, KSA17/261, November 1999 (Prüfstatus D1, Behördliche Prüfunterlage) – im Internet durch das ENSI publiziert

[3-3] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG, BER-D-50708, 2011 Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren) – im Internet durch das ENSI publiziert

[3-4] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER-D-33022, 2008, Prüftstatus D1 (Grobprüfung durch ENSI abgeschlossen)

[3-5] KKG, Sicherheitsbericht BE-Nasslager, Revision 1, AREVA - Prüfstatus D1 (Validiert)

[3-6] Sicherheitstechnischer Nachweis des Hochwasserschutzes - Verfügung des ENSI vom 1. April 2011, BER-D-51283, 2011, Prüftstatus D1 (Validiert)

[3-7] KKG, Sicherheitsstatusanalyse (SSA) Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG/D) mit Druckwasserreaktor, ALD-D-32994, 2008, Prüftstaus D1 (Grobprüfung durch ENSI abgeschlossen)

[3-8] GPSA2009: Gösgen Probabilistic Safety Assessment, R-1699596-1751, 2008 (D1, Validiert im Prüfverfahren, siehe Referenz [3-15])

[3-9] PSÜ 2008: Systemhandbücher, Stand 2009 (D2, in Prüfung beim ENSI)

[3-10] KKG, Störfallanalysen: Kontrollrechnung ATWS mit Notstromfall, BER-D-45339, 2010 (D2, eingereicht mit [3-6] zur Prüfung im Genehmigungsverfahren)

[3-11] FANP, KKG/D: PISA Transientenanalysen Analyse der Transiente „ATWS – Ausfall der Hauptspeisewasserversorgung", NGES1/2002/de/0264

[3-12] KKG, Notfallhandbuch, HDB-D-19319, aktuelle Version (D1 – geprüft mit Einführung SAMG, 2005).

[3-13] ABS Consulting, Containment Overpressure Capacity for Gösgen Nuclear Power Plant, Report 1380652-R-001, 2005 (D1 – Validiert im Genehmigungsverfahren)

[3-14] KKG, Betriebshandbuch BHB, aktuelle Version per 30.6.2011 (D1 – TS (validiert) und Störfall- BHB geprüft bei Einführung des symptomorientierten Vorgehens)

[3-15] ENSI-Brief v. 12. Juli 2011, Zwischenstellungnahme zur GPSA 2009, D1 (Prüfbescheid)

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

4 Beurteilung der Erdbebensicherheit

4.1 Auslegungserdbeben

4.1.1 Entwicklung der Bemessungsbasis

4.1.1.1 Ursprüngliches Auslegungserdbeben

Die nachfolgende Darlegung stützt sich auf die folgenden geprüften Referenzen:

- Ergebnisse der PSÜ 1998 [4-1]
- Erdbebenauslegungsbericht 2008 [4-2]
- Gutachten KSA inklusive referenziertes Gutachten Prof. Weber [4-3]
- Erdbebenrisikokarten der Schweiz und Neubestimmung der Erdbebengefährdung [4-4] und [4-5]
- Sicherheitsbericht und Sicherheitsstatusanalyse [4-6] bis [4-7]

Weiterhin wurde auf Nachweisunterlagen zurückgegriffen, die im Zusammenhang mit der Bearbeitung der in der Schweiz geforderten Sicherheitsüberprüfung [4-8] erstellt oder aktualisiert wurden [4-9].

Der Auslegung des KKG lagen bereits bei der Planung erhöhte Anforderungen an die Erdbebensicherheit zugrunde. Verwendet wurde das Doppelerdbebenkonzept, bestehend aus einem OBE (Operational Basis Earthquake) und einem Sicherheitserdbeben (Safe Shutdown Earthquake). Die Erdbebengefährdung des KKG wurde auf der Basis einer deterministischen Erdbebengefährdungsstudie (Gutachten Prof. Weber in [4-3] referenziert) festgelegt. Grundlage bildete das grösste in der Schweiz historisch registrierte Erdbeben, das Erdbeben von Basel von 1356, welches aufgrund der Nähe zum Standort des KKG als relevant eingestuft wurde. Dementsprechend wurden für den Standort des KKG eine Standortintensität (nach MSK 64) von 7 und ein Ankerpunkt des Bemessungsspektrums auf Fels von 0.11 g vorgeschlagen. Die KSA als zuständiger Gutachter forderte im Gutachten zur Errichtungsbewilligung (KSA) die Einführung eines zusätzlichen Sicherheitsfaktors von ca. 1.4, was zur Festlegung eines Ankerpunktes von 0.15 g auf Fels für das Bemessungsspektrum führte (für 33 Hz). Dies entspricht einer Standortintensität von 7+ nach der Skala MSK 64. Die Standortverstärkung von Erdbebenwellen, die sich als Folge der Aufschüttung des Kraftwerksareals mit Schotter ergibt, wurde bis zu einer spektralen Frequenz von ca. 7 Hz berücksichtigt. Dies entsprach den damaligen Modellvorstellungen bezüglich der Verstärkung von Erdbebenwellen bei linear-elastischem Verhalten des Untergrunds. Abbildung 9 zeigt das resultierende Pseudo-Beschleunigungsspektrum für die maximale horizontale Beschleunigungskomponente. Diesem Spektrum wurde eine Starkbebendauer von 30 s zugeordnet, was nach heutigen Kenntnissen einer Erdbebenmagnitude grösser 7 entspricht. Diese Kombination von Parametern (Beschleunigungsspektrum und Starkbebendauer) wird nachfolgend als Auslegungsgefährdung **H1**

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

bezeichnet. Das in Abbildung 9 gezeigte Spektrum wurde in den Auslegungsberechnungen an der Unterkante der Gebäudebodenplatte ohne Berücksichtigung der Boden-Struktur-Wechselwirkung angesetzt. Die Boden-Struktur-Wechselwirkung (Englisch: SSI = Soil-Structure Interaction) führt für Gebäude mit Einbettung der Gebäudegründung im Boden zu einer Reduktion der effektiv wirkenden Gebäudelasten infolge Energieabstrahlung. Da alle Gebäude im KKG eingebettet sind, führte die Nichtberücksichtigung der Boden-Struktur-Wechselwirkung bei der Bestimmung der Etagenantwortspektren und der Bemessung der Komponenten zu inhärent grossen Sicherheitsmargen.

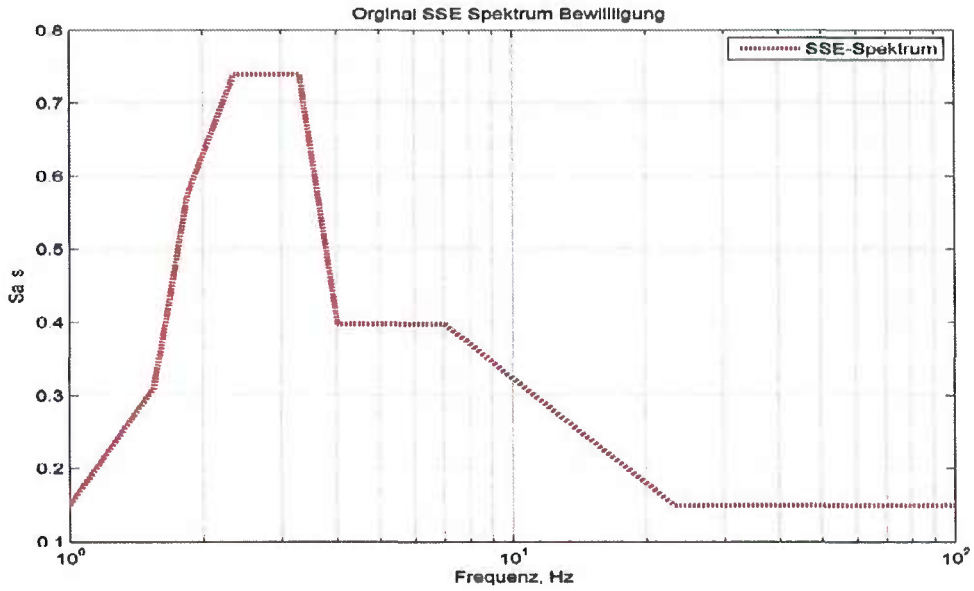


Abbildung 9 Auslegungserdbeben gemäss Gutachten der KSA (Starkbebendauer 30s)

4.1.1.2 Weiterentwicklung der Gefährdungsannahmen und der Auslegungsbasis des KKG

Vor der Inbetriebnahme des KKG (1978/79) wurden die ersten probabilistischen Erdbebenrisikokarten der Schweiz publiziert [4-4]. Auf Basis der Ergebnisse dieser Studien legte die Aufsichtsbehörde ein standortspezifisches Reviewerdbeben fest. Dementsprechend ist am Standort des KKG mit einer Erdbebenstärke der Intensität > 8 (Intensitätsfaktor 8.6) auf der Standortoberfläche zu rechnen. Dieser Intensität wurde ein Breitbandspektrum entsprechend den damals gültigen NRC Richtlinien (RG 1.60) mit einem Ankerpunkt von 0.28 g auf Oberfläche und von 0.2 g auf Fels zugeordnet. Das Spektrum bezog sich auf die maximale horizontale Beschleunigungskomponente. Der wesentliche Unterschied des behördlichen Reviewerdbebens im Vergleich zur Auslegung bestand in der Verbreiterung des spektralen Verstärkungsbereichs infolge des Übergangs zu einer Breitbandspektrenform.

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

Die Aufsichtsbehörde prüfte die Auslegung des KKG im Vergleich zu diesem Reviewerdbeben vor der Inbetriebsetzung des Kraftwerks und kam zu der Schlussfolgerung, dass die Auslegung des KKG diesen veränderten Anforderungen genügt. Diese nachfolgend als **H2** bezeichnete Erdbebengefährdung (Reviewerdbeben) wurde im KKG nicht explizit verwendet, da im Zeitraum zwischen der Inbetriebsetzung des KKG bis zum Abschluss der Periodischen Sicherheitsüberprüfung von 1999 keine bezüglich Erdbebensicherheit relevanten Anlageänderungen durchgeführt wurden. Im Ergebnis der Periodischen Sicherheitsüberprüfung von 1999 wurde durch die HSK die Verwendung verbreiteter linear-elastischer Etagenantwortspektren für die Bemessung von Komponenten bei Auslegungsänderungen vorgegeben. Dabei wurde durch KKG ebenfalls von einer Starkbebendauer entsprechend einem Erdbeben mit grosser Magnitude (ca. 7) ausgegangen.

Im Jahr 2000 wurde auf Forderung der Aufsichtsbehörde das Projekt PEGASOS durch die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber gestartet. Dieses Projekt beinhaltet die Durchführung standortspezifischer probabilistischer Erdbebengefährdungsstudien für alle Schweizer Kernkraftwerksstandorte nach dem in [4-11] definierten Verfahren bei Anwendung der höchsten Anforderungsstufe (Level 4). Im Ergebnis einer probabilistischen Erdbebengefährdungsstudie werden gefährdungskonsistente Spektren (UHS Uniform Hazard Spectrum) bestimmt. Gefährdungskonsistente Spektren sind dadurch gekennzeichnet, dass die Überschreitenshäufigkeit für jeden einzelnen Punkt des Spektrums gleich gross ist. Das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass alle Punkte des Spektrums gleichzeitig bei einem Erdbeben überschritten werden, entsprechend sehr gering ausfällt. Ein gefährdungskonsistentes Spektrum ist in der Regel ein Breitbandspektrum. Im Unterschied zu früheren Studien beruht die in PEGASOS verwendete Methode [4-10] nicht mehr auf der Bestimmung einer Standortintensität mit nachfolgender Zuordnung eines passenden Beschleunigungsspektrums, sondern hat das Ziel, direkt ein standortspezifisches Beschleunigungsspektrum auf der Basis von empirischen Modellen zur Bestimmung der Bodenbewegungsparameter in Abhängigkeit von Magnitude und Entfernung zum Erdbeben zu definieren. Der in PEGASOS verwendeten Methode liegt dabei ein anderes mathematisches Modell zur Behandlung der Unsicherheiten zugrunde [4-12], als es in früheren probabilistischen Studien verwendet wurde. Aufgrund der in der Schweiz weitgehend fehlenden Erdbebendaten beruhte das PEGASOS Projekt [4-10], wie auch das seit 2007 in Bearbeitung befindliche Verfeinerungsprojekt primär auf Expertenschätzungen. Das in den USA zu diesem Zweck (Berücksichtigung von Unsicherheiten mittels Expertenbefragung) vor längerer Zeit entwickelte und von der Schweizer Aufsichtsbehörde und dem schweizerischen Erdbebendienst für die Beurteilung der Erdbebengefährdung geforderte SSHAC-Verfahren [4-11] wird nur in der Schweiz für die Sicherheitsbeurteilung von in Betrieb befindlichen Kernkraftwerken nach der höchsten Anforderungsstufe des Verfahrens (Level 4) verwendet. International wird dieses Verfahren, wenn überhaupt, nur in vereinfachter Form angewandt. Unterschiedliche Verfahren zur mathematischen Aggregation der Expertenmeinungen bei Verwendung gleicher Eingabedaten führen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen der Erdbebengefährdung [4-13], [4-14].

Die Verwendung des SSHAC-Verfahrens ([4-11], [4-12]) hat zur Folge, dass allein aufgrund des veränderten Modells zur Berücksichtigung von Unsicherheiten bei unveränderten geologischen und seismotektonischen Eingangsdaten erhöhte Beschleunigungsspektren im Vergleich zu früheren Studien [4-3], [4-4] berechnet werden.

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

Ein Verbesserungspotenzial bezüglich der PEGASOS-Studie wurde durch das von der HSK (heute ENSI) eingesetzte begleitende Reviewteam unabhängig von der (von KKG umgesetzten (vgl. Kapitel 3.5 und die Darlegung in diesem Abschnitt)) behördlichen Vorgabe, die Ergebnisse in der Erdbeben PSA und als Grundlage für die Auslegung bei Anlageänderungen und für Neubaukraftwerke zu verwenden, anerkannt [4-15].

Da die Ergebnisse des PEGASOS-Projekts für den Standort des KKG zu einem etwas erhöhten Beschleunigungs-Spektrum und einer weiteren Spektrenverbreiterung führen, wird diese nachfolgend als **H3** bezeichnete Erdbebengefährdung für die Überschreitenshäufigkeit 10^{-4}/a entsprechend den Anforderungen der Schweizer Aufsichtsbehörde ENSI der Sicherheitsmargenanalyse des KKG (vgl. Kapitel 4.2) zugrunde gelegt. Die Ergebnisse der PEGASOS-Studie wurden auch zur Beurteilung des Erdbebenrisikos des KKG in der PSA verwendet. Mit der Wahl eines höheren Gefährdungsspektrums wird bei diesen Beurteilungen konservativ sicherheitsgerichtet vorgegangen.

Entsprechend diesem sicherheitsgerichteten Ansatz hat KKG bereits im Jahr 2002 vor Abschluss des PEGASOS-Projekts bei Neubauvorhaben und grösseren Anlageänderungen ein erhöhtes Bemessungsspektrum, das KKG-2002 Spektrum, verwendet. Dabei handelt es sich um ein Breitbandspektrum, wobei eine Starkbebendauer entsprechend einem Erdbeben der Magnitude von ca. 7 unterstellt wird. Nach Abschluss des PEGASOS-Projekts wurde gezeigt, dass das KKG 2002 Spektrum in ingenieurtechnischer Hinsicht die Bemessungsanforderungen aus dem PEGASOS-Projekt abdeckt. Diese erhöhten Anforderungen wurden bei Grossprojekten, wie dem Bau des externen Nasslagers und der Umrüstung der Sicherheitsventilstation des Druckhalters (Projekt PISA) angewandt. Bei einer Vielzahl der seit dem Jahr 2000 durchgeführten sicherheitstechnischen Nachrüstungen wurden vergleichbare zusätzliche Sicherheitsfaktoren von 1.5 bis 2 verwendet. Der aktuelle Stand des im KKG verwendeten Erdbebenbemessungskonzepts, welches den gesetzlichen Anforderungen der Schweiz [4-16] entspricht, ist in [4-17] dargelegt. Dieses Vorgehen stellt das einzelfehlersichere Abfahren der Anlage auch bei einem ursprünglich auslegungsüberschreitenden Erdbeben sicher, wobei der häufigen Veränderung der Gefährdungsannahmen für die Schweiz Rechnung getragen wird.

4.1.1.3 Beurteilung der unterschiedlichen Gefährdungsannahmen und Ableitung des Reviewerdbebens für die Sicherheitsmargenanalyse

Ein Vergleich unterschiedlicher Erdbebengefährdungen und eine sicherheitstechnische Beurteilung bezüglich möglicher Auswirkungen auf ein Kernkraftwerk ist allein auf der Basis von Beschleunigungsspektren nicht möglich, da die schädigende Wirkung nicht allein von den von einem Erdbeben erzeugten Kräften sondern in einem ganz erheblichen Masse von der Dauer der Einwirkung und von der Spektrenform abhängig ist. Die Erdbebenanregung der sich innerhalb eines Gebäudes befindlichen Komponenten wird durch die zugehörigen Etagenantwortspektren bestimmt, die von der Übertragungsfunktion des Gebäudes abhängt. Die Eigenfrequenzen der in Kernkraftwerken typischerweise vorhandenen Gebäude liegen im mittleren Frequenzbereich, wodurch Beschleunigungen im Bereich höherer Anregefrequenzen nur gefiltert in das Gebäudeinnere übertragen werden. Eine ähnliche Filterwirkung hat die Einbettung der Gebäude, die dazu beiträgt, dass hochfrequente Anregungen nicht in das Gebäudeinnere übertragen

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

werden. Dieser Effekt der Boden-Struktur-Wechselwirkung (SSI) ist am Beispiel einer rechnerischen Simulation für das Schaltanlagengebäude des KKG in Abbildung 10 illustriert. Bei dieser Simulation (dient zur Illustration des Phänomens) sind zusätzlich der stochastische Charakter der Erdbebenanregung und die Streuung der Materialparameter des Untergrunds berücksichtigt.

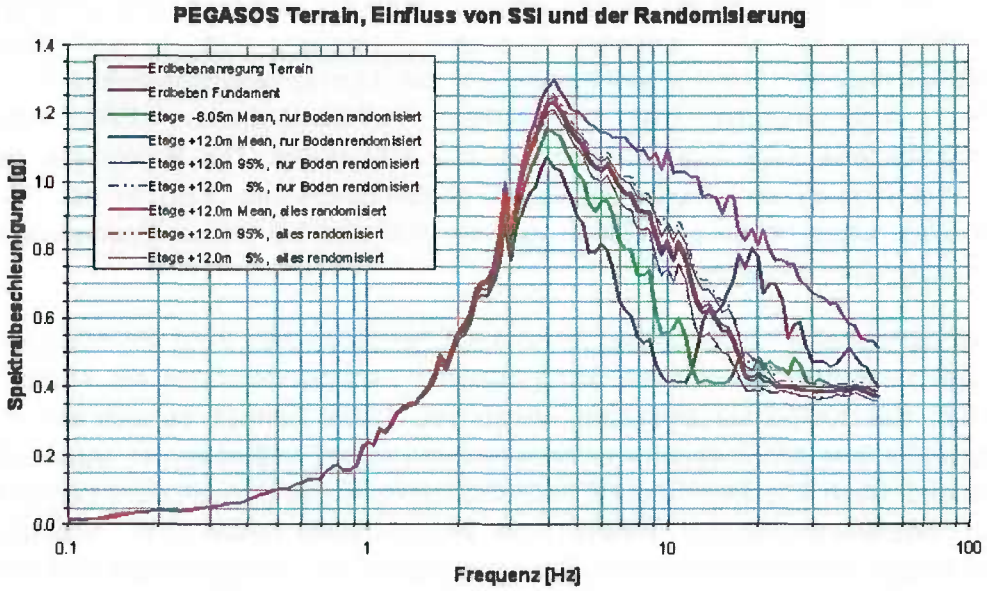


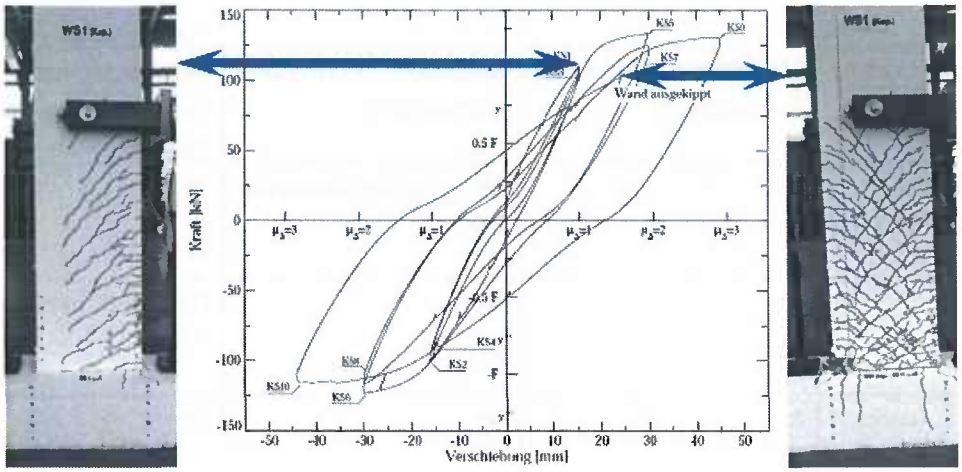
Abbildung 10 Einfluss der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung – Simulationsbeispiel für das Schaltanlagengebäude

Der Einfluss der Starkbebendauer auf den Schadensprozess ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Die Schädigung einer Baustruktur ist ein nichtlinearer Prozess. Bis zu einem funktionalen Versagen (bezogen auf die zu erfüllende sicherheitstechnische Funktion) einer Struktur oder einer Komponente können in einem gewissen Umfang plastische Verformungen oder bei Bauwerken Rissbildungen toleriert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Kernkraftwerk nach einem starken Erdbeben in der Regel nicht wieder in Betrieb geht. Diese Zulässigkeit nichtlinearen Verhaltens gilt selbst für Baustrukturen mit relativ geringer Duktilität. Das tatsächlich auftretende Schadensausmass hängt bei gleicher Form des Anregespektrums von der Anregedauer ab, wie u. a. auch Versuche an der ETH Zürich gezeigt haben (siehe Abbildung 11, links Schadensbild nach kurzer Einwirkung, rechts Schadensbild nach längerer Einwirkung für die gleiche zyklisch-statische Anregung)).

In der Ingenieurtechnik findet eine Reihe von Schadensindizes Verwendung (speziell für Baustrukturen) bei denen das vorhergesagte Schadensausmass eine direkte Funktion der Starkbebendauer des Erdbebens ist. Dazu gehören der Park-Ang Index und Fajfar's Index [4-18], [4-19]. Mit Zunahme der Starkbebendauer vergrössert sich das Schadenspotenzial eines Erdbebens. Entsprechend ist auch in der Methodik von EPRI [4-20], [4-21] eine Korrektur der Tragfähigkeit einer Baustruktur für Bauwerke mit Eigenfrequenzen im mittleren Frequenzbereich in Abhängigkeit von der Starkbebendauer vorgesehen.

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

Bei den möglichen Einwirkungen eines Erdbebens auf Baustrukturen und Komponenten ist daher zu differenzieren, welche Belastungs- und zugehörige Versagensart zu einem Funktionsausfall der betrachteten Struktur oder Komponente führt. Eine höhere Spitzenbodenbeschleunigung, selbst eine bezüglich des Ankerpunktes des Erdbebenspektrums angehobenes Beschleunigungsspektrum bedeutet nicht automatisch ein höheres Schadenpotenzial, wenn sich die Spektrenform ändert oder sich die Einwirkungsdauer des Erdbebens deutlich reduziert.



Quelle: A. Dazio, T. Wenk, H. Bachmann „Vorversuche an Stahlbetontragwänden unter zyklisch-statischer Einwirkung", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, November 1995

Abbildung 11 Bestimmung des Schadensbildes an Stahlbetonwänden bei zyklisch-statischer Belastung mit unterschiedlicher Einwirkungsdauer

Im Unterschied zur Erdbebengefährdung **H1** wird die PEGASOS-Gefährdung **H3** nicht durch Erdbeben grosser Magnitude sondern durch standortnahe kleinere Erdbeben im Magnitudenbereich von 5.5 bis 6 verursacht. Dies führt dazu, dass die zu berücksichtigende Starkbebendauer wesentlich geringer ausfällt (ca. 3-5 s) als ursprünglich unterstellt. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Ergebnisse der PEGASOS-Studie in Form des geometrischen Mittels (aus den aufgezeichneten zeitabhängigen Beschleunigungsvektoren) bestimmt wurden.

Tabelle 11 zeigt einen Vergleich der unterschiedlichen für KKG getroffenen Gefährdungsannahmen (H1 – H3).

Ein sinnvoller Vergleich im statistischen Sinn bezüglich zu erwartender Schadensauswirkungen zwischen unterschiedlichen Gefährdungsannahmen ergibt sich, wenn man die sich aus den Gefährdungsannahmen ergebenden Intensitäten am Standort des Kraftwerks vergleicht.

Intensitäten in der EMS-Skala (EMS-98) sind statistisch gut mit beobachteten oder zu erwartenden Schäden an normierten Bauwerken korreliert, wenn sie auch für ingenieurtechnische Berechnungen einzelner Bauwerke oder Komponenten in der ingenieurtechnischen Praxis nicht herangezogen werden.

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

Tabelle 11 Vergleich der unterschiedlichen Gefährdungsannahmen

Charakteristik	H1	H2	H3 (PEGASOS)
Ankerpunkt des Spektrums auf Fels	0.15 g	0.2 g	0.23 g
Typ des Spektrums	Schmalband	Breitband	Breitband, leichte Verschiebung in den Bereich höherer Frequenzen
Verwendete horizontale Bewegungskomponente	Maximale horizontale Komponente	Maximale horizontale Komponente	Geometrisches Mittel der beiden horizontalen Komponenten
Standortintensitätsfaktor (EMS-98 (H3), MSK-64 (H1, H2))	7 +	>8 (Intensitätsfaktor 8.6)	7+
Mittlerer Standortverstärkungsfaktor Fels - Oberfläche	1.7	1.4	Räumlich variabel, ca. 2.0
Starkbebendauer (uniform duration), s	30	30	<5
Kontrollierende(s) Erdbeben, Magnitude M_w, Entfernung	7 , ca. 35 km	7, ca. 30 km	5.5 – 6, ca. 5-10 km

Vergleicht man die PEGASOS-Ergebnisse (**H3**) mit den Ergebnissen der früheren Gefährdungsstudien in Intensitäten [4-2], so ergibt sich, dass die Ergebnisse sehr gut mit dem Gutachten von Prof. Weber aus dem Bewilligungsverfahren des KKG übereinstimmen (**H1,** [4-3]) und unterhalb der Ergebnisse der Gefährdungsstudie von Basler und Hofmann (**H2**) liegen (siehe Tabelle 11). Aufgrund des anderen mathematischen Modells zur Behandlung der Unsicherheiten werden in PEGASOS Erdbeben geringer Stärke (geringer Energiefreisetzung) grössere Beschleunigungen von allerdings wesentlich kürzerer Einwirkungsdauer zugrunde gelegt. Bezüglich einer Beurteilung der Erdbebengefährdung (gemessen an beobachtbaren Erdbebenschäden, in Intensitäten) ist dieses Vorgehen nicht konservativ.
Die Verwendung eines gefährdungskonsistenten Spektrums (UHS) führt andererseits zu einer Verbreiterung des Spektrums, während der stärker durch standortnahe, kleine Erdbeben bestimmte Gefährdungshintergrund zu einer geringen Verschiebung des Spektrums in den höherfrequenten (und damit tendenziell weniger gefährlichen) Bereich führt.

Für die Sicherheitsmargenanalyse im Rahmen des EU-Stresstests wurde die **H3** Gefährdung mit dem zugehörigen Breitbandspektrum verwendet und postuliert, dass dieses Spektrum Ergebnis der Erdbebenanregung durch ein Starkbeben ist. Das heisst, dass die Unterschiede in der Starkbebendauer zwischen den Erdbeben, die den Gefährdungshintergrund der PEGASOS-Studie bilden und einem starken Erdbeben, wie dem Baselerdbeben, nicht berücksichtigt werden. Dies führt zu einem konservativen, probabilistisch bestimmten Reviewerdbeben für die Sicherheitsmargenanalyse und entspricht den Vorgaben des ENSI für den EU-Stresstest. Dieses Vorgehen deckt die Gefährdung **H2** bezüglich der zu erwartenden Standortintensitätsfaktoren wie auch die Auswirkungen einer Wiederholung des Baselerdbebens von 1356 ab.

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

Abbildung 12 zeigt das resultierende gefährdungskonsistente Spektrum für eine Überschreitenshäufigkeit von 10^{-4}/a inklusive der in der PEGASOS-Studie [4-10] ermittelten Unsicherheiten.

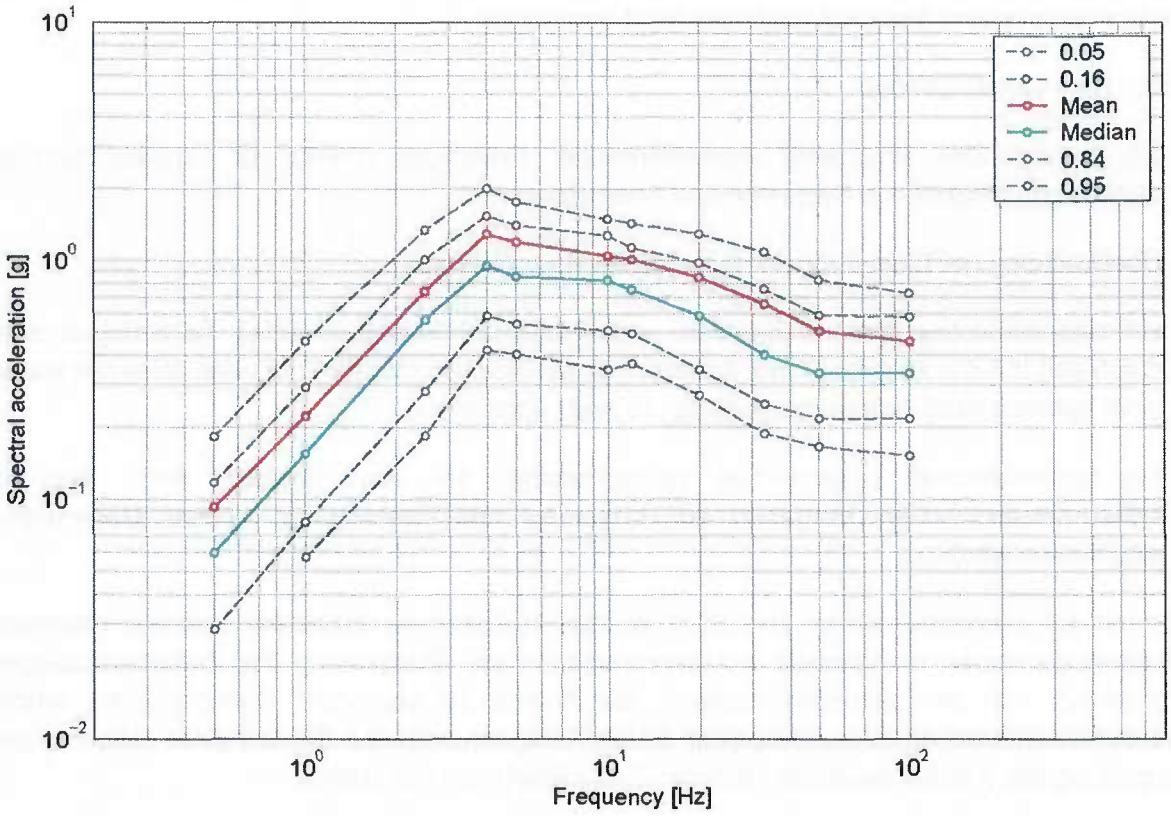


Abbildung 12 Referenzspektrum für die Sicherheitsmargenanalyse, Standortoberfläche, Überschreitenshäufigkeit 10^{-4}/a

4.1.2 Schutzmassnahmen gegen die Auswirkungen des Sicherheitserdbebens

Die Auslegung des KKG gegen Erdbeben ist in Kapitel 3.2 beschrieben. Der Abschnitt 3.2.3 fasst die wesentlichen Schutzmerkmale der Anlage gegen externe Einwirkungen in Kurzform zusammen. Weiterführende Angaben können den geprüften Referenzen [4-6] bis [4-9] entnommen werden. Die im KKG getroffenen Schutzmassnahmen (vgl. Kapitel 3) stellen die Verfügbarkeit der nach einem Erdbeben benötigten Sicherheitsfunktionen auch bei starken Erdbeben sicher.

Die Auslegung des KKG gegen Erdbeben berücksichtigt auch kombinierte Ereignisse. Dazu gehören z.B. Erdbeben kombiniert mit dem Bruch des Wehrs in Winznau und/oder gleichzeitigem Bruch des Oberwasserkanals des Wasserkraftwerkes Gösgen (vgl. 4.2.3)

Das im KKG eingeführte integrierte Notfallmanagement umfasst präventive Massnahmen zur Vermeidung eines Kernschadens wie auch Massnahmen zur Linderung der Folgen eines Kernschadens unter Berücksichtigung des Auftretens extremer externer Ereignisse (vgl. Kapitel 9).

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

4.1.3 Massnahmen zur Überwachung des Auslegungszustands

Für die Überwachung der Einhaltung der Auslegungsanforderungen sind im KKG umfassende Regelungen getroffen. Die im KKG geltenden Regelungen sind als Bestandteil des Managementsystems des KKG nach ISO-9001 zertifiziert.

Zu den Regelungen gehören:

- ein umfassendes Programm wiederkehrender Prüfungen (WKP) zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit von Systemen und Ausrüstungen
- Überwachung der Einhaltung der technischen Spezifikationen
- ein systematisches Änderungswesen, wobei alle sicherheitsrelevanten Änderungen intern durch den ISA frei zu geben sind, Änderungen mit Relevanz für die Erdbebensicherheit werden einer internen Ausführungsüberprüfung „as built" unterzogen.
- ein systematisches „seismisches Housekeeping" bei dem überprüft wird, dass die sicherheitstechnischen Vorgaben zur Lagerung und Befestigung mobiler Gegenstände eingehalten werden.

Während der Jahresrevision im Juni 2011 wurden in Zusammenarbeit mit externen erfahrenen Erdbebeningenieuren umfassende Anlagenrundgänge zur Überprüfung der Erdbebenauslegung durchgeführt, um den aktuellen Zustand der Anlage zu bewerten. Dabei wurden erhöhte Erdbebenanforderungen zugrunde gelegt. Diese Anlagenrundgänge dienten einer zielgerichteten Überprüfung des Anlagenzustands nach den Ereignissen von Fukushima.

4.2 Seismische Margenanalyse

4.2.0 Vorgehen

Im Rahmen der 2008 abgeschlossenen periodischen Sicherheitsüberprüfung des KKG [4-22], [4-2] wurde eine umfassende Überprüfung der seismischen Margen bei starken Erdbeben durchgeführt. Als Grundlage für diese Analyse wurde die Erdbebengefährdung **H3** verwendet. Bei diesen Analysen wurde der sich aus der Deaggregation der Ergebnisse der PEGASOS-Studie ergebende Gefährdungshintergrund berücksichtigt. Da die PEGASOS-Gefährdung durch standortnahe, kleine Erdbeben verursacht wird, wurde in den nach dem Stand der Wissenschaft vorgenommenen Berechnungen der Erdbebentragfähigkeit eine entsprechende Kalibrierung durchgeführt.

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

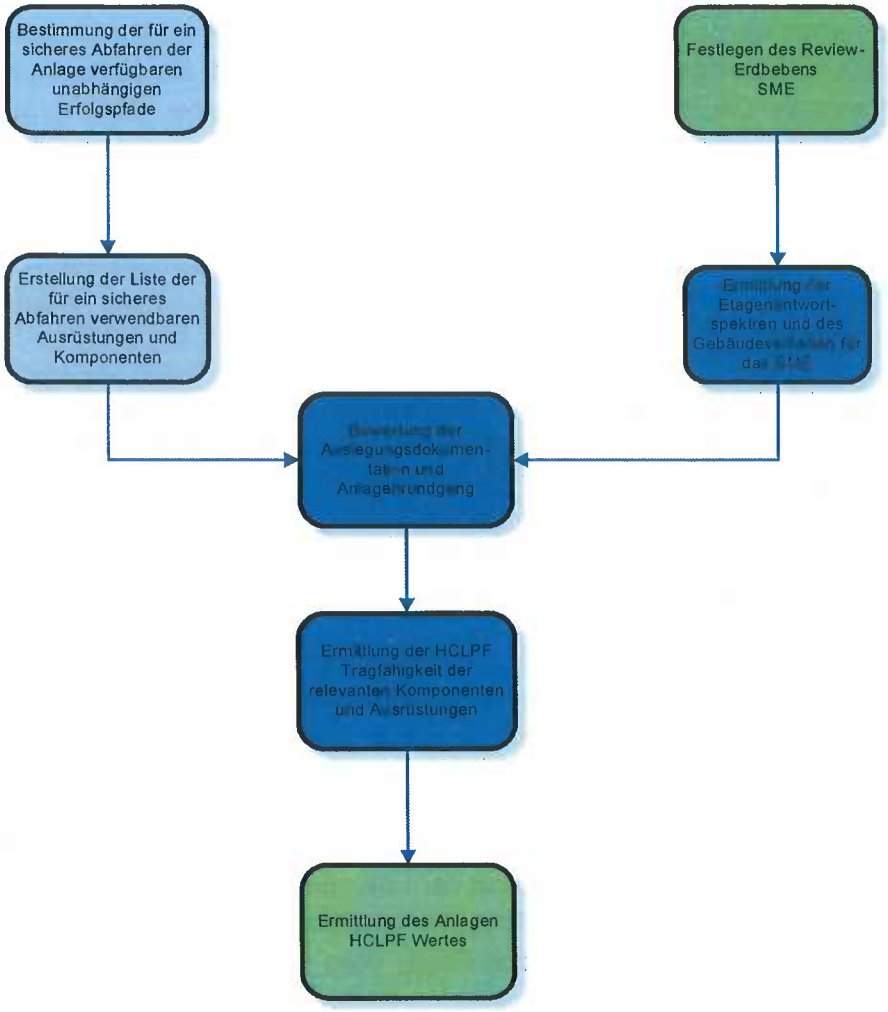


Abbildung 13 Vorgehen bei der seismischen Sicherheitsanalyse

Für den EU-Stresstest wurde eine aktualisierte Bewertung vorgenommen, wobei entsprechend Abschnitt 4.1.1.3 postuliert wird, dass das der H3 Gefährdung entsprechende Breitbandspektrum durch ein starkes Erdbeben (ca. Magnitude 7) verursacht wird. Dieses Vorgehen führt, wie in Kapitel 4.1.1.3 ausgeführt, zu einer konservativen Beurteilung der Sicherheitsmargen.

Abbildung 13 illustriert das Vorgehen bei der seismischen Sicherheitsanalyse am Beispiel des sicheren Abfahrens der Reaktoranlage. Als Reviewerdbeben wird im Fall von KKG die Gefährdung H3 verwendet. Die sicheren Anlagezustände und zugehörigen Abfahrpfade sind in Kapitel 3.2.4 des vorliegenden Berichts definiert. Analog wird für die Funktionen der BE-Beckenkühlung und des Sicherheitseinschlusses vorgegangen. Das gewählte Verfahren der seismischen Margenanalyse entspricht den internationalen Anforderungen, wie sie durch die IAEA in [4-24] beschrieben wurden. Bei der sicherheitstechnischen Beurteilung der Folgen eines Erdbebens kommt das Verfahren zur Bestimmung von Fragiliies (eine Fragility Funktion stellt die kumulative bedingte Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Versagen einer Komponente oder einer Baustruktur zur Anwendung (4-20], [4-21]).

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

Für den EU-Stresstest wurde auf bereits früher ermittelte Fragilities [4-24] zurückgegriffen, welche entsprechend den veränderten Gefährdungsanforderungen und dem aktualisierten EPRI-Guide [4-21] aktualisiert wurden. Die Bewertung der Tragfähigkeit der einzelnen Abfahrpfade erfolgt nach der MaxMin Strategie aus der Entscheidungstheorie. Für Komponenten, die der gleichen Funktionskette zugehören, wird die niedrigste Tragfähigkeit als Tragfähigkeit der Funktionskette ausgewählt. Für Funktionsketten die unabhängig voneinander und funktionell redundant sind (z. B. die unterschiedlichen Abfahrpfade) wird dementsprechend das Maximum der Tragfähigkeit der funktionell redundanten Funktionsketten verwendet (der Maximalwert der Tragfähigkeiten der Redundanten = MaxMin).

Aufgrund der Ähnlichkeit der Spektrenform wurden für die Aktualisierung der Fragilities die vorliegenden Fragility-Funktionen für die Spektrenform D1 (Erdbeben in Standortnähe des KKG, [4-25]) als Grundlage verwendet.

Die nach Konsultation mit einem amerikanischen Erdbebeningenieur (Berater) aus dem neuen EPRI-Guide [4-21] abzuleitenden Anpassungen sind:

- Durchgängige Verwendung probabilistischer Etagenantwortspektren unter Berücksichtigung der Variabilität der Boden- und der strukturmechanischen Parameter der Gebäude aus denen auch die totale Unsicherheit β_c direkt ermittelt werden kann.

- Bei Verwendung eines mit Hilfe einer probabilistischen Erdbebengefährdungsstudie bestimmten Reviewerdbebens sind die Unsicherheiten des strukturmechanischen Antwortverhaltens infolge der Variabilität der Erdbebenanregung (Peak – Valley Variabilität) bereits in der Beschreibung der Erdbebengefährdung berücksichtigt und dürfen nicht doppelt gezählt werden. Dies hat zur Folge, dass der Beitrag zur Variabilität β_R in den bisher berechnten Fragility-Funktionen zu korrigieren ist.

- Die von KKG verwendeten erfahrungsbasierten resp. nach dem EPRI-Screening-Verfahren ermittelten Fragilities aus EPRI-6041 resp. der SQUG-Erfahrungsbasis fallen nach heutigem Kenntnisstand höher aus.

KKG hat im Rahmen des EU-Stresstests keine vollständige Neuberechnung der Tragfähigkeit durchgeführt und bei der Aktualisierung der Fragility-Funktionen nur die Korrektur der Unsicherheiten durchgeführt. Die totale Unsicherheit wurde dazu aus der totalen Variabilität der Anregung bestimmt. Die Variabilität der Anregespektren wird unverändert wie in der ursprünglichen Fragilityanalyse nach einem vereinfachten Verfahren durchgeführt. Dies führt zu einer konservativen Bewertung der Tragfähigkeit und der Sicherheitsmargen im Vergleich zum detaillierten Verfahren unter Verwendung probablistsicher Etagenantwortspektren [4-26].

Im Rahmen der Neuberechnung der Fragility-Funktionen, die gemäss der Verfügung des ENSI vom 1.4.2011 [4-8] durchgeführt wird, erfolgt eine weiterführende Anpassung des Berechnungsverfahrens an den neuen EPRI-Guide [4-21].

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

4.2.1 Bestimmung der seismischen Grenztragfähigkeit für die Funktionen der Nachwärmeabfuhr und Brennelement-Beckenkühlung

Die Tabellen 12 -15 geben einen Überblick über die für eine sichere Nachwärmeabfuhr notwendigen Teilfunktionen mit den für einen Funktionserhalt des Abfahrpfads massgebenden (begrenzenden) Komponenten und den zugehörigen Tragfähigkeiten. Letztere sind ausgedrückt in Form der Eckdaten der Fragilityfunktion (Best-estimate Tragfähigkeit – entspricht gemäss dem verwendeten Modell statistisch dem Median der kombinierten epistemisch-aleatorischen Unsicherheitsverteilung [4-22] für die Tragfähigkeit, HCLPF (High Confidence of Low Probability of Failure) – entspricht der unter Berücksichtigung der Unsicherheiten zu erwartenden minimalen Tragfähigkeit). Die Tabelle wurde auf der Grundlage der im Rahmen der PSÜ durchgeführten Überprüfung der Erdbebenauslegung zusammen gestellt [4-2], wobei die Tragfähigkeitsbewertungen entsprechend der für den EU-Stresstest gewählten Vorgehensweise aktualisiert wurden. Die Tragfähigkeitswerte beziehen sich auf den Einhängewert des Bezugsspektrums des Reviewerdbebens H3 (pga). Die angegebenen Werte beziehen sich auf die für die Funktion massgebenden Komponenten oder Baustrukturen und stellen die kritische Schnittmenge aus den untersuchten knapp 2000 Komponenten und Strukturen, die in ca. 230 Berechnungseinheiten zusammengefasst wurden, dar. Farblich hervorgehoben sind die für den jeweiligen Abfahrpfad bezüglich der Tragfähigkeit massgebenden Komponenten (abgestuft orange und rot), sowie die abgeleitete Grenztragfähigkeit für den Abfahrpfad (blau).

Tabelle 12 Strukturen und Komponenten deren Tragfähigkeit die Verfügbarkeit aller Abfahrpfade begrenzt

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Reaktorgebäude ZA/ZB	Kollapssicherheit, unzulässige Deformationen, die zu einem Leitungsbruch an einer Durchdringung führen können	(3.76, 1.37)
Versagen des Reaktordruckbehälters oder einer sehr grossen Rohrleitung	Exzessiver Kühlmittelverlust	(4.5, 1.7)
Bruch einer grossen Leitung im Reaktorgebäude-Ringraum	Sehr grosser Kühlmittelverlust im Nachkühlsystem	(4.5, 1.7)

Tabelle 13 Strukturen und Komponenten deren Tragfähigkeit die Verfügbarkeit des Abfahrpfads 1 beeinflusst

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Schaltanlagengebäude	Kollaps, Funktionales Versagen (umfassender Ausfall in der Spannungsversorgung oder der Leittechnik)	(2.23, 0.93)

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

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Notstromdieselgebäude ZK01/ZK02	Kollaps, Funktionales Versagen (umfassender Ausfall in der Spannungsversorgung oder der Leittechnik)	(2.5, 1.02)
Notspeisegebäude ZV	Kollaps, Funktionales Versagen (Ausfall der Notspeisefunktion)	(2.45, 1.02)
Wasserfassung ZM05	Kollaps, Funktionales Versagen (Ausfall der Kühlwasserversorgung)	(3.4, 1.42)
Nebenkühlwassergebäude ZM02	Kollaps, Funktionales Versagen (Ausfall der Kühlwasserversorgung)	(>5, > 2.4)
Maschinenhaus ZF	Kollaps, Funktionales Versagen (induzierte Leitungsbrüche)	(3.28, 1.37)
Kleiner/Mittlerer Kühlmittelverlust	Bruch der Rohrleitung mit minimaler Tragfähigkeit, als Folge ist aktives sekundärseitiges Abfahren erforderlich	(3.0, 1.12)
Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung (Schränke, Batterien, Batterieladegeräte)	Funktionales Versagen	(0.78, 0.29)
Rotierende Umformer/ Statische Umformer (in einer Redundanz, Austausch im Gang)	Funktionales Versagen	(0.87, 0.33)/ (1.3, 0.5)
Transformatoren der Notstromversorgung	Funktionales Versagen	(1.27, 0.48)
Schaltanlagen der Notstromversorgung	Funktionales Versagen	(2.66, 1.0)
Notstromdiesel mit Versorgungseinrichtungen	Start- oder Betriebsversagen	(0.84, 0.32)
Ausfall der Not- und Nachkühlpumpen	Start- oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Ausfall der Hochdruck-Sicherheitseinspeisepumpen (werden nur bei kleinem Kühlmittelverlust benötigt)	Start oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Kabelwege im Schaltanlagengebäude	Funktionaler Ausfall	(1.08, 0.41)
Ausfall von Armaturen im Not- und Nachkühlsystem	Funktionaler Ausfall	(1.51, 0.57)
Flutbehälter (werden nur bei kleinem Kühlmittelverlust benötigt)	Verlust des Inventars (Leck)	((3.87, 1.45)

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

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Ausfall von Armaturen in der Nebenkühlwasserversorgung VE	Funktionaler Ausfall	(1.16, 0.44)
Ausfall der Wärmetauscher im Zwischenkühlwasserkreislauf oder im Nachkühlsystem	Unkontrolliertes Leck	(1.84, 0.69)
Ausfall der Pumpen der sicheren Nebenkühlwasserversorgung	Start- oder Betriebsversagen	(2.2, 0.83)
Ausfall der Pumpen des Zwischenkühlwasserkreislaufs	Start- oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Leitstände im Hauptkommandoraum (nur im Fall eines kleinen Lecks notwendig)	Umsturz, Funktionales Versagen bezogen auf den Leitstand mit geringster Tragfähigkeit)	(0.39, 0.15)
Grenztragfähigkeit des Abfahrpfads	Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung	(0.78, 0.29)

Tabelle 14 Strukturen und Komponenten deren Tragfähigkeit die Verfügbarkeit des Abfahrpfads 2 beeinflusst

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Schaltanlagengebäude	Kollaps, Ausfall der Betriebsmannschaft	> (2.23, 0.93)
Notstandsgebäude	Kollaps, Funktionales Versagen	(2.78, 1.16)
Ausfall der notstandsgesicherten Gleichspannungsversorgung (Batterien, Schränke, Batterieladegeräte)	Funktionales Versagen	(1.18, 0.44)
Kühlmittelverluststörfall[10]	Leck an einer TA-Leitung, Ausfall des Zusatzboriersystems	(3.0, 1.12)
Notstandsdiesel inklusive Versorgungseinrichtungen und dieselgetriebener Notspeisepumpe	Funktionales Versagen	(1.14, 0.43)
Kabelwege im Notstandsgebäude inkl. Verbindender Kanäle	Funktionales Versagen (Ausfall der Spannungsversorgung und der Signalübertragung)	(1.80, 0.67)
RX und VX Pumpen	Start- oder Betriebsversagen	(2.26, 0.85)

[10] Minilecks können durch das Zusatzboriersystem kompensiert werden

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

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Umluftkühler (ein Ausfall kann bei funktionstüchtigem Notstandssystem durch Öffnen des Gebäudes kompensiert werden)	Start- oder Betriebsversagen	(0.92, 0.34), kein kritischer Ausfall
Grenztragfähigkeit des Abfahrpfades		(1.18, 0.43)

Tabelle 15 Strukturen und Komponenten deren Tragfähigkeit die Verfügbarkeit des Abfahrpfads 3 beeinflusst (Notfallmassnahmen)

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Notspeisegebäude ZV	Kollaps, Funktionales Versagen (Ausfall der Notspeisefunktion)	(2.45, 1.02)
Maschinenhaus ZF	Kollaps, Funktionales Versagen (induzierte Leitungsbrüche)	(3.28, 1.37)
Rohrleitungsbrüche im Notspeisesystem	Grosser Inventarverlust, Umlenkströmung,	(3.0, 1.12)
Kleiner/Mittlerer Kühlmittelverlust	Bruch der Rohrleitung mit minimaler Tragfähigkeit	(3.0, 1.12)
Mechanisch blockierte Armatur im Notspeisesystem Strang 4	Von Hand nicht mehr betätigbar	(2.2, 1.12)
FD-Abblasestation (mechanisch blockiert)	Von Hand nicht mehr betätigbar, geschlossene Stellung	Ca. 2.0-fache der Tragfähigkeit für Fehlöffnen, ca. (2.0, 0.9)
Feuerwehrmagazin, Lager	Kollaps, Vollständiger Verlust der Zugänglichkeit	Bei geöffnetem Tor ca. (2.0, 0.9)
Grenztragfähigkeit des Abfahrpfades		ca. (2.0, 0.9)

In analoger Form können die massgebenden Teilfunktionen und Komponenten (Berechnungseinheiten) für die Funktion der BE-Beckenkühlung bestimmt werden. KKG hat im Zusammenhang mit den Arbeiten zur ENSI-Verfügung vom 1.4.2011 [4-8] eine Überprüfung der strukturellen Integrität des externen Nasslagers durchführen lassen [4-27]. Die Kühlung der Brennelemente im externen Nasslager erfolgt passiv und inhärent sicher durch Naturumlauf und bedarf keiner aktiven Kühlfunktionen. Das Bauwerk verfügt über sehr grosse Sicherheitsreserven, die einer Tragfähigkeit (HCLPF) von grösser 0.9 g bezogen auf das Referenzerdbeben **H3** entsprechen. Das Brennelementlagerbecken ist aseismisch gelagert. Zudem ist die Nachzerfallsleistung der im Nasslager eingelagerten Brennelemente sehr gering, so dass auch bei einem sehr starken Erdbeben mit grossen Karenzzeiten gerechnet werden kann. Anforderungsbestimmend bezüglich der Sicherstellung der Funktion der BE-Beckenkühlung ist daher die Kühlung der Brennelemente im Lagerbecken nach erfolgter Vollausladung des

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

Reaktorkerns (vgl. Kapitel 9.5). Bei einem strukturellen Versagen des Reaktorgebäudes fällt auch die Beckenkühlung aus.

Tabelle 16 Brennelementbeckenkühlung – BE-Lagerbecken – Kühlung über Sicherheitskühlkreisläufe mit Betätigung aus dem Schaltanlagengebäude (Wärmeabfuhrpfad 1)

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Leitstände im Hauptkommandoraum	Umsturz, Funktionales Versagen bezogen auf den Leitstand mit geringster Tragfähigkeit)	(0.39, 0.15), alternativ ist Betätigung aus der Schaltanlage möglich
Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung (Schränke, Batterien, Batterieladegeräte)	Funktionales Versagen	(0.78, 0.29)
Notstromdieselgebäude ZK01/ZK02	Kollaps, Funktionales Versagen (umfassender Ausfall in der Spannungsversorgung oder der Leittechnik)	(2.5, 1.02)
Kühlmittelverlust	Nicht kompensierbares Leck (bauliche Integrität) oder Leck in Beckenkühlleitung	(3.0, 1.12)
Transformatoren der Notstromversorgung	Funktionales Versagen	(1.27, 0.48)
Schaltanlagen der Notstromversorgung	Funktionales Versagen	(2.66, 1.0)
Notstromdiesel mit Versorgungseinrichtungen	Start- oder Betriebsversagen	(0.84, 0.32)
Ausfall der Not- und Nachkühlpumpen	Start- oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Kabelwege im Schaltanlagengebäude	Funktionaler Ausfall	(1.08, 0.41)
Ausfall von Armaturen im Not- und Nachkühlsystem	Funktionaler Ausfall	(1.51, 0.57)
Ausfall von Armaturen in der Nebenkühlwasserversorgung VE	Funktionaler Ausfall	(1.16, 0.44)
Ausfall der Wärmetauscher im Zwischenkühlwasserkreislauf oder im Nachkühlsystem	Unkontrolliertes Leck	(1.84, 0.69)
Ausfall der Pumpen der sicheren Nebenkühlwasserversorgung	Start- oder Betriebsversagen	(2.2, 0.83)
Ausfall der Pumpen des Zwischenkühlwasserkreislaufs	Start- oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Ausfall von Armaturen in der Nebenkühlwasserversorgung VE	Funktionaler Ausfall	(1.16, 0.44)

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

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Grenztragfähigkeit des Wärmeabfuhrpfades 1		(0.39, 0.15), bei Betätigung aus der Schaltanlage (0.78, 0.29)

Tabelle 17 Brennelementbeckenkühlung – BE-Lagerbecken – Kühlung über verkürzte Nachkühlkette aus dem Notstandsgebäude (Wärmeabfuhrpfad 2) und Sicherheitseinspeisung aus dem Notstand

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in[g]
Schaltanlagengebäude	Kollaps, Ausfall der Betriebsmannschaft	> (2.23, 0.93)
Notstandsgebäude	Kollaps, Funktionales Versagen	(2.78, 1.16)
Ausfall der notstandsgesicherten Gleichspannungsversorgung (Batterien, Schränke, Batterieladegeräte)	Funktionales Versagen	(1.18, 0.44)
Kühlmittelverluststörfall	Nicht kompensierbares Leck (bauliche Integrität) oder Leck in Beckenkühlleitung	(3.0, 1.12)
Beckenkühlpumpen	Start- oder Betriebsversagen	(3.09, 1.16)
Ausfall der Wärmetauscher im Nachkühlsystem	Unkontrolliertes Leck	(1.84, 0.69)
Notstandsdiesel inklusive Versorgungseinrichtungen	Funktionales Versagen	(1.14, 0.43)
Kabelwege im Notstandsgebäude inkl. Verbindender Kanäle	Funktionales Versagen (Ausfall der Spannungsversorgung und der Signalübertragung)	(1.80, 0.67)
VX Pumpen	Start- oder Betriebsversagen	(2.26, 0.85)
Flutbehälter (nur für Sicherheitseinspeisung in das BE-Becken)	Verlust des Inventars (Leck)	((3.87, 1.45)
Umluftkühler (ein Ausfall kann bei funktionstüchtigem Notstandssystem durch Öffnen des Gebäudes kompensiert werden)	Start- oder Betriebsversagen	(0.92, 0.34) – kein kritischer Ausfall
Grenztragfähigkeit des Abfahrpfades		(1.18, 0.43)

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

Tabelle 18 Brennelementbeckenkühlung – BE-Lagerbecken – Kühlung mittels Notfallmassnahmen, Einspeisen Verdampfen (Wärmeabfuhrpfad 3)

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Kühlmittelverlust	Nichtkompensierbares Leck > 30 l/s	(3.0, 1.12)
Feuerwehrmagazin, Lager	Kollaps, Vollständiger Verlust der Zugänglichkeit	Bei geöffnetem Tor ca. (2.0, 0.9)
Grenztragfähigkeit des Abfahrpfades		ca. (2.0, 0.9)

Tabelle 19 fasst die Ergebnisse der Sicherheitsmargenanalyse für die Nachwärmeabfuhr und die BE-Beckenkühlung zusammen. Der in der Tabelle angegebene Sicherheitsfaktor bezieht sich auf die Gefährdung H2.

Tabelle 19 Ergebnisse der Sicherheitsmargenanalyse

Abfahrpfad	HCLPF, pga in [g]	Best Estimate (Median), pga in [g]	Sicherheitsfaktor, Basis HCLPF	Sicherheitsfaktor, Basis (Best Estimate (Median))	Begrenzende Ausrüstung
Abfahren der Anlage im Leistungsbetrieb					
Abfahrpfad 1 (über Funktionen im Schaltanlagengebäude)	0.29	0.78	1.04	2.79	Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung
Abfahrpfad 2 (über notstandsgesicherte Funktionen)	0.43	1.14	1.[redacted]4	4.07	Notstandsdiesel inkl. Versorgungseinrichtungen
Abfahrpfad 3 (Notfallmassnahmen)	ca. 0.9	ca. 2.0	3.21	7.14	Feuerwehrmagazin, Blockieren der FD-Abblasestation
Sicherheitsmarge der Anlage	ca. 0.9	ca. 2.0	3.21	7.14	Feuerwehrmagazin, Blockieren der FD-Abblasestation
Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Becken					
Wärmeabfuhrpfad 1 (über Funktionen im Schaltanlagengebäude)	0.29	0.78	1.04	2.79	Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung
Wärmeabfuhrpfad 2 (über notstandsgesicherte Funktionen)	0.43	1.14	1.54	4.07	Notstandsdiesel inkl. Versorgungseinrichtungen
Wärmeabfuhrpfad 3 (Notfallmassnahmen)	ca. 0.9	ca. 2.0	3.21	7.14	Feuerwehrmagazin

Entsprechend den Analyseergebnissen verfügt die Anlage KKG unter Berücksichtigung der vorbereiteten Notfallmassnahmen über einen Sicherheitsfaktor bezogen auf die Gefährdung **H2** der im Intervall zwischen 3.2 und 7.1 liegt. Die beiden Eckpunkte des Intervalls entsprechen Extremsituationen. Der Sicherheitsfaktor bezogen auf den HCLPF beruht auf der Annahme, dass die vorhandenen Unsicherheiten bezogen auf das Antwortverhalten der Anlage und die Anforderungen der Erdbeben für alle weitgehend räumlich getrennten Abfahrpfade in gleicher Weise „ungünstig" zum Tragen kommen. Bei der Best Estimate Betrachtung (Median) wird

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

postuliert, dass sowohl die Anforderungen des Erdbebens als auch das Antwortverhalten der Anlage dem als realistisch bewerteten Verhalten folgen. Diese beiden Annahmen hüllen das im Sinne einer Vorhersage beim nächsten starken Erdbeben zu erwartende Verhalten ein, weshalb es sinnvoll ist, den Sicherheitsfaktor als einen Wertebereich in Intervallform anzugeben.

Diese Aussage kann durch eine Betrachtung der räumlichen Verteilung der Erdbebenanregung im Falle eines starken Erdbebens unterstrichen werden. KKG hat hierzu eine Serie von Simulationsrechnungen für das Baselerdbeben durchführen lassen [4-28]. Infolge der Inkohärenz der Wellenausbreitung sind die verschiedenen Gebäude auf dem Areal des KKG und damit die unterschiedlichen Sicherheitsfunktionen völlig unterschiedlichen Anforderungen ausgesetzt, wie Abbildung 14 selbst für den Extremfall der Annahme eines gleichartigen Aufbaus des Untergrunds veranschaulicht. Die Ergebnisse in Abbildung 14 wurden mit Hilfe einer hybriden 1D-2D (Standortbereich) Simulation bestimmt [4-28]. Berücksichtigt man die Heterogenität des Aufbaus des Untergrunds werden die Unterschiede bezüglich der zu erwartenden seismischen Anforderung noch grösser [4-28]. Ein völlig gleichartiges Ausfallverhalten der Sicherheitsfunktionen bei einem Erdbeben kann daher ausgeschlossen werden.

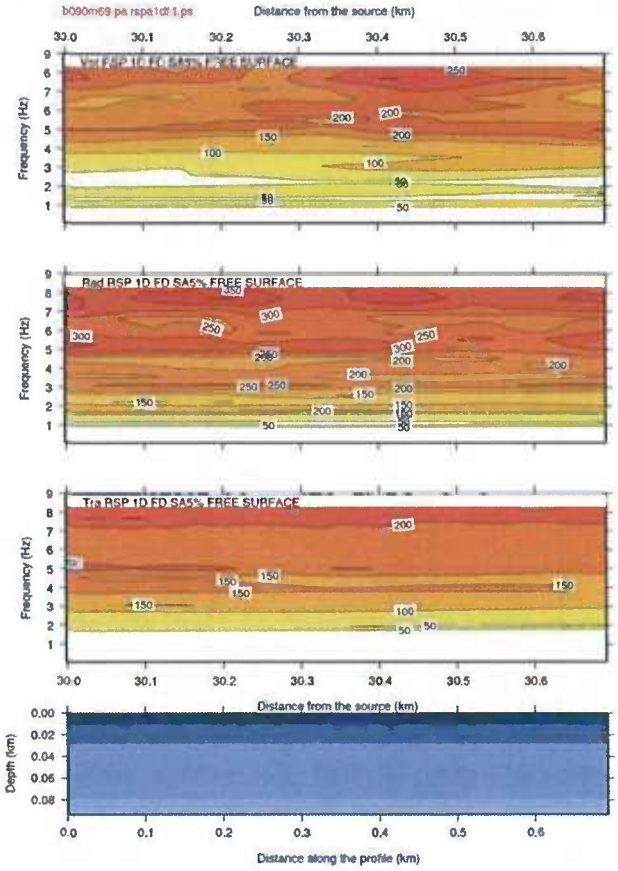


Abbildung 14 Räumliche Verteilung der Bodenbeschleunigungen gemäss einer Simulation des Baselerdbebens von 1356 (Magnitude 6.9) im Standortbereich des KKG. Von oben nach unten – vertikale, radiale und tranversale Beschleunigungskomponente in cm^2/s (aus [4-28])

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

4.2.2 Bestimmung der seismischen Grenztragfähigkeit für den Aktivitätseinschluss

Massgebend für die Gewährleistung des Sicherheitseinschlusses sind die Containment- und die Containmentisolationsfunktionen (vgl. Beschreibung in Kapitel 3.2.6) und die für ihre Verfügbarkeit erforderlichen Versorgungsfunktionen (vgl. Kapitel 3.3.7). Weiterhin ist die seismische Sicherheitsmarge der gefilterten Containmentdruckentlastung zu beurteilen, die im Normalbetrieb jedoch isoliert ist. Ausfälle der Containmentisolation können auch bei einem Versagen (Integritätsverlust) von Rohr- oder Lüftungsleitungen im nichtisolierbaren Bereich ausserhalb des Containments eintreten. Anteilmässig ist der nichtisolierbare Bereich von Rohrleitungen und Lüftungsleitungen ausserhalb des Containments gering bezogen auf die Gesamtleitungslänge.

Kommt es infolge eines Erdbebens zu einem Ausfall der automatischen Auslösung der Containmentisolation, so können die Containmentdurchdringungen manuell isoliert werden, sofern die Zugänglichkeit für Betriebspersonal gegeben ist. Im Notfallhandbuch des KKG [4-29] ist eine entsprechende Vorgehensweise beschrieben (vgl. Kapitel 9). Da für alle Containmentdurchdringungen mindestens eine der Absperrarmaturen ausserhalb des Containments angeordnet ist, ist eine manuelle Isolation technisch möglich.

Tabelle 20 stellt die massgebenden, bezüglich Containmentisolation zu betrachtenden Funktionen und die Ergebnisse der Bewertung der Fragilityanalyse zusammen.

Tabelle 20 Funktionen mit Einfluss auf die Containmentintegrität

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Reaktorgebäude ZA/ZB	Kollapssicherheit, unzulässige Deformationen, die zu einem Leitungsbruch an einer Durchdringung führen können	(3.76, 1.37)
Bruch einer grossen Leitung im Reaktorgebäude-Ringraum	Sehr grosser Kühlmittelverlust im Nachkühlsystem	(4.5, 1.7)
Notstromgesicherte Gleichspannungsversorgung (Schränke, Batterien, Batterieladegeräte)	Funktionales Versagen, kann durch Notfallmassnahmen kompensiert werden,	(0.78, 0.29)
Lüftungsklappen (Isolation der Ringraumabsaugung und der Containmentabluft)	Fehloffen (Ausfall der automatischen Funktion); Manuell nicht mehr schliessbar (ca. 1.5 x Ausfall der automatischen Isolation = grosses Leck)	(1.23, 0.48); (1.845, 0.72)
Lüftungsleitungen	Leck (die bestimmte Fragility bezieht sich auf ein Auftreten signifikanter plastischer Verformungen) – kleines Leck	(1.23, 0.48)
Notfallmassnahmen		Ca. (2.0, 0.9)

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

Struktur/Komponente	Ausfallart	Tragfähigkeit (Median, HCLPF) bezogen auf pga in [g]
Containment	Ausfall Containmentventing (Tank, mit angeschlossenen Rohrleitungen, Ausfall = vorabgesperrtes Leck)	(0.54, 0.23)
Containment	Kleines Leck	(1.23, 048)
Containment (Grenztragfähigkeit)	Grosses Leck	(1.845, 0.72)

Entsprechend diesen Ergebnissen ist festzustellen, dass der Sicherheitsfaktor für den Erhalt der Containmentintegrität bezogen auf den Eintritt eines kleinen Lecks und das Gefährdungsniveau **H2** im Intervall von (1.71, 4.39) anzusetzen ist (vgl. die Diskussion zur Interpretation dieser Ergebnisse in Kapitel 4.2.2).

4.2.3 Kombination von Erdbeben und Überflutung

Die Ereigniskombination starkes Erdbeben und Dammbruch resp. Versagen des Oberwasserkanals wurde bei der Auslegung der Anlage berücksichtigt. Durch die Auslegung der zweiten Wasserfassung (Sohlschwellen im Unterwasserkanal [4-30]) ist sicher gestellt, dass auch bei einem Dammbruch und/oder einem Versagen des Oberwasserkanals bis zum Eintreffen des über die alte Aare nachströmenden Flusswassers sauberes Wasser für die Kühlwasserversorgung zur Verfügung steht. Eine Überflutung des Kraftwerksareals tritt unter diesen Bedingungen nicht ein. Nach Besetzung des Einlaufbauwerks der zweiten Wasserfassung kann das Betriebspersonal gegebenenfalls anfallendes Geschwemmsel oder Geschiebe entfernen. Unterstellt man im Sinne eines „Cliff Edge" Effekts den Ausfall beider Wasserfassungen als Konsequenz aus der Ereigniskombination Erdbeben mit Hochwasser als Folge eines Dammbruchs oder des Bruchs des Oberwasserkanals, so stehen für die sichere Wärmeabfuhr die Abfahrpfade 2 und 3 weiterhin zur Verfügung. Analog stehen auch für die Nachwärmeabfuhr aus dem Brennelement-Lagerbecken die Wärmeabfuhrpfade 2 und 3 zur Verfügung.

Anforderungsbestimmend bezüglich der Auswirkungen auf die Anlage sind die Erdbebenanforderungen. Diese bestimmen die Sicherheitsmarge der Anlage.

4.3 Verbesserungsmassnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen

KKG plant durch zielgerichtete Massnahmen eine weitere Erhöhung der Sicherheitsmargen bei Erdbeben. Im Rahmen anstehender Ersatzinvestitionen ist ein Ersatz der bestehenden Kabeltragwerke durch eine seismisch weiter verstärke Konstruktion geplant. Die Ertüchtigung der Leitstände im Kommandoraum ist für 2012 geplant (Sicherung gegen Funktionsausfall durch Kippen). Mittelfristig werden die Leitstände im Rahmen des bereits vor den Ereignissen von Fukushima geplanten Ersatzinvestitionsprogramms ersetzt. Weiterhin wird gegenwärtig die Möglichkeit der aseismischen Lagerung der vorhandenen Notstromdieselaggregate sowie die Verstärkung der Befestigungen von Hilfseinrichtungen untersucht.

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

Referenzen Kapitel 4

[4-1] HSK / KSA , Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, HSK 17/400, KSA17/261, November 1999 (Prüfstatus D1, Behördliche Prüfunterlage) – im Internet durch das ENSI publiziert

[4-2] PSÜ 2008: Überprüfung der Erdbebenauslegung des KKG, BER-D-31030, 2008 – Prüfstatus D1 (Grobprüfung im Rahmen der PSÜ 2008 abgeschlossen)

[4-3] Eidg. Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen. Gutachten zum Gesuch der Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, Olten um Erteilung einer ersten Teilbaubewilligung für ein Leichtwasserkernkraftwerk am Standort Gösgen, KSA 17/26, Würenlingen, 31. Januar 1974 – Prüfstatus D1 (Behördliche Unterlage)

[4-4] Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Erdbebenrisikokarten der Schweiz, Basler & Hofmann, September 1977 – Prüfstatus D1 (Behördliche Unterlage) ,

[4-5] Bundesamt für Energiewirtschaft, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Erdbeben – Bemessungsspektren für Schweizerische Kernanlagen, Basler & Hofmann, April 1984 – Prüfstatus D1 (Behördliche Unterlage)

[4-6] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[4-7] Sicherheitsstatusanalyse, ALD-32949, 2008 - Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren

[4-8] ENSI, Verfügung: Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung, 1.4.2011

[4-9] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG, BER-D-50708, 2011 – Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[4-10] Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project), NAGRA, 2004 – Prüfstatus – D1 (Vorgabe der Aufsichtsbehörde)

[4-11] Lawrence Livermore National Laboratory, Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts, NUREG/CR-6372, 1997 (öffentlich)

[4-12] Bommer, J.J., and N.A. Abrahamson, Why Do Modern Probabilistic Seismic-Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?, Bullettin of the Seismological Society of America, 96, pp. 1976-1977, 2006

[4-13] KKG, Alternative Aggregationsverfahren zur Integration der PEGASOS-Ergebnisse – Eine systematische Untersuchung, BER-D-17379, 2005 - Prüftstatus D2

[4-14] Klügel, J.-U., Uncertainty Analysis and Expert Judgment in Seismic Hazard Analysis, Pure and Applied Geophysics, 168, 2011, pp. 27-53 (öffentlich)

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

[4-15] HSK-RT Final report: Review Approach, and Comments on probabilistic Seismic hazard Analysis for Swiss Nuclear Power Plant Sites (PEGASOS Project) – Final report, HSK-AN-5364 – Prüfstatus D1 (Behördliche Unterlage)

[4-16] Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen, SR 732.112.2, 2009

[4-17] KKG, Erdbebenauslegung 2010 im KKG -Berücksichtigung von PEGASOS, BER-D-46905 –Prüfstatus D2

[4-18] Park, Y. J. and A.H.-S. Ang, Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, J. Struct. Eng., ASCE, 111, no. ST4, 722-739, 1985 (öffentlich)

[4-19] Fajfar, P., T. Vidic, and M. Fishinger, A measure of earthquake motion capacity to damage medium-period structures, Soil Dyn. Earthquake Eng, 9, 236-242 (öffentlich)

[4-20] EPRI, Methodology for Developing Seismic Fragilities, Technical report, TR-103959, 1994 (öffentlich)

[4-21] EPRI, Seismic Fragility Applications Guide Update, EPRI-TR 1019200, 2009.

[4-22] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER-D-33022, 2008 – Prüfstatus D1 (Grobprüfung abgeschlossen)

[4-23] IAEA Safety Guide NS-G-2.13, Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installations, Vienna 2009 (öffentlich)

[4-24] PSÜ: Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse der gültigen Störfallanalysen für die anforderungsbestimmenden Störfälle des KKG, ALD-D-38664 Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[4-25] Paul C. Rizzo Associates, Inc., Fragility Analysis for NPP Gosgen Structures, Systems and Components, project GPSA2007, Kernkraftwerk Gösgen, Report No. 05-3402-04, 2008, Prüftstatus D2 (im Zusammenhang mit der PSÜ 2008 zur Prüfung eingereicht)

[4-26] APA Consulting, Study on Support of the Gösgen Nuclear Power PRA, 2008, Prüftstatus D2 (Unabhängiger Review Bericht für Referenz [4-26]

[4-27] AREVA, Seismische Neubewertung für das Nasslager. Statische Berechnung RE., PECS-G/20117de/0010, 2011 - Prüfstatus D2

[4-28] ICTP, Scenario-based hazard assessment for PEGASOS Refinement project (PRP), Support of PRP quality assurance program, Basel Earthquake Scenario, 2010 (D2, High Level International Research)

[4-29] KKG, Notfallhandbuch, Aktuelle Fassung zum Zeitpunkt der Berichtserstellung, HDB-D-19319

[4-30] KKG, Sicherheit der Nebenkuehlwasserversorgung, insbesondere Sicherheit der 2. Wasserfassung, Zusatzbericht Nr. 19 zum Sicherheitsbericht (FSAR), Motor-Columbus Ingenieurunternehmung, 1976 – Prüfstatus D1

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

5 Beurteilung des Hochwasserschutzes

5.1 Auslegungsbasis

5.1.1 Auslegungshochwasser

Das „Ereignis Hochwasser" wurde bereits in der Planung des Kernkraftwerks Gösgen umfassend berücksichtigt [5-1]-[5-5]. Um die möglichen Auswirkungen eines Hochwassers sowie die getroffenen Schutzmassnahmen nachvollziehen zu können, ist es sinnvoll die Lage des KKG an der alten Aare hinter der Wasserscheide am Wehr Winznau aufzuzeigen (Abbildungen 1 und 15).

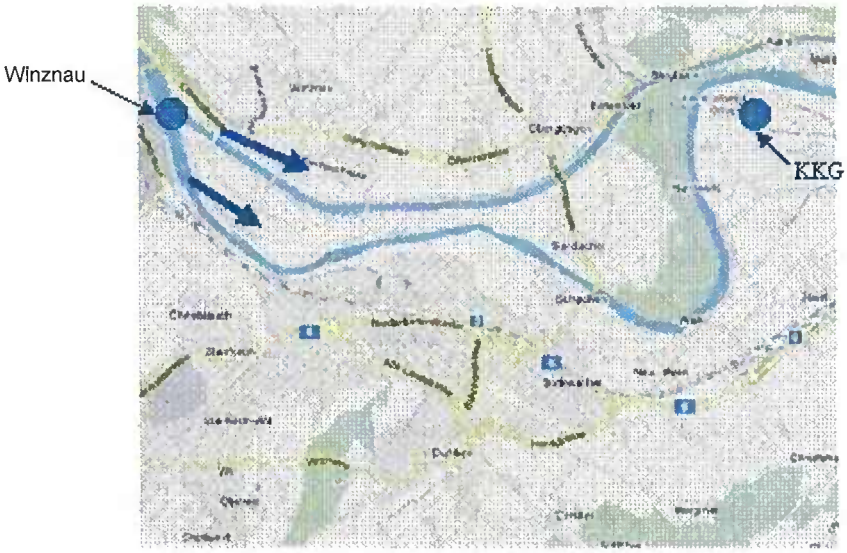


Abbildung 15 Lage des KKG (Detail)

Entsprechend den bei der Planung gültigen Gefährdungsannahmen wurden Damm- und Wehrbrüche entfernter Stauanlagen sowie meteorologisch bedingte Hochwasser bis zum „1'000-jährigen Hochwasser" mit zusätzlichen Fehlerannahmen (Versagen des Wehrs Winznau, kein Abfluss in den Oberwasserkanal) berücksichtigt. Zudem wurde die Ereigniskombination Erdbeben mit Versagen des Oberwasserkanals bei der Auslegung der Nebenkühlwasserversorgung berücksichtigt [5-1], [5-5].

Diese Ereigniskombination deckt auch den Lastfall Erdbeben mit Versagen des Wehrs Winznau ab. Das Areal des Kraftwerks wurde während der Bauphase aufgeschüttet, wobei bei der Aufschüttung eine zusätzliche Sicherheitsmarge gegenüber den bei der Planung unterstellten Gefährdungsannahmen berücksichtigt wurde. Im Rahmen der Auslegung wurde ebenfalls die Möglichkeit von Dammbrüchen (Einzel- und Mehrfachbrüche, sequentiell) berücksichtigt [5-1], [5-5].

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

Aus der Darstellung in den Abbildungen 1 und 15 geht hervor, dass eine Überflutung am Standort des KKG nur auftreten kann, wenn es zu einem signifikanten Wasseranstieg in der alten Aare kommt. Der Wasserabfluss in die alte Aare wird durch die Stauhaltung am Wehr in Winznau wirksam begrenzt. Bei einem Hochwasser wird die am Wehr Winznau eintreffende Wassermasse zunächst in den oberhalb des Wehres gelegenen Oberwasserkanal des Wasserkraftwerkes Gösgen geleitet. Dort befindet sich die erste Wasserfassung des Kernkraftwerks Gösgen. Von dort gelangt das Wasser nach Durchströmen der Turbinen des Wasserkraftwerkes in den Unterwasserkanal, wo sich die zweite Wasserfassung des Kernkraftwerks Gösgen befindet.

Bis zum Umbau des Oberwasserkanals 2003/2004 befand sich am Eintritt in den Kanal eine Mauer mit Überlaufregelung zur Gewährleistung des Zuflusses zum Wasserkraftwerk. Die Überlaufregelung war auf einen Abfluss in den Oberwasserkanal von 380 m^3/s begrenzt. Diese Mauer wurde 2003 entfernt, so dass das am Wehr Winznau eintreffende Hochwasser ungehindert in den Oberwasserkanal abströmen kann.

Als „1'000-jähriges" Hochwasser wurde im Rahmen des Bewilligungsverfahrens ein Abfluss in die alte Aare von 1270 m^3/s der Auslegung zugrunde gelegt [5-1], [5-5]. Diese Gefährdungsannahme wird nachstehend mit **H1** für das externe Ereignis „Hochwasser" bezeichnet.

Im Zusammenhang mit der Einführung neuer gesetzlicher Anforderungen [5-6] wurde durch die Aufsichtsbehörde das als Gefährdungsannahme zu berücksichtigende Hochwasser auf einen Abfluss von ca. 1550 m^3/s in die alte Aare bei Annahme eines Aarezuflusses am Wehr Winznau von 1700 m^3/s festgelegt (Gefährdung **H3,** siehe 5.1.2)

5.1.2 Schutzmassnahmen gegen Hochwasser

Die in der Bauphase vorgenommene Aufschüttung des Areals bis auf 382.1 m (Referenzpunkt am Notstandsgebäude) bot dabei eine zusätzliche Reserve von ca. 1 m gegenüber den für diesen Bemessungswert ermittelten Wasserständen. Das Wehr in Winznau wurde ursprünglich auf ein extremes (militärisches Hochwasser) ausgelegt (Staudruck).

Nach der Mitte der neunziger Jahre abgeschlossenen Umrüstung des Wasserkraftwerkes Gösgen von Francis- auf Kaplanturbinen ist das Wasserkraftwerk selbst im abgestellten Zustand im „Segelbetrieb" in der Lage, einen Minimaldurchfluss von 40 % der Konzessionswassermenge (dieser beträgt zur Zeit 380 m3/s) durchzulassen. Da die neuen Turbinen wesentlich tiefer angeordnet sind, als die alten Turbinen (um ca. 4 m) ist die Gefahr einer Verstopfung durch oberflächennahes Geschwämmsel praktisch beseitigt. Zudem gestatten die neuen Turbinen das Turbinieren von wesentlich höheren allerdings nicht konzessionierten Wasserdurchflüssen. Dies hat dazu geführt, dass die am Oberwasserkanal befindliche Mauer mit der Überlaufregelung 2003 entfernt werden konnte, da diese als Schutz des Wasserkraftwerkes gedachte Massnahme nicht mehr notwendig war. Insgesamt führte diese Anlagenänderung zu einer Reduktion der Hochwassergefährdung für das Kraftwerksareal des KKG. Ein Hochwasser am Standort des KKG als Folge meteorologischer Bedingungen ist nur möglich, wenn zum Zeitpunkt des Auftretens extrem erhöhter Aareabflussmengen am Wehr Winznau das Wehr (trotz Auslegung gegen einen hohen Staudruck) bricht oder eine schnelle Notentlastung am Wehr zum Schutz der Siedlungen

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

am Oberwasserkanal durchgeführt wird. Bei der Festlegung der Gefährdungsannahme **H3** ging die Aufsichtsbehörde von der Annahme eines extremen Aarezuflusses von 1700 m^3/s am Wehr Winznau in Kombination mit dem zeitgleichen Eintritt eines Notstromfalls im KKG und eines Netzausfalls am Wasserkraftwerk Gösgen aus. Dies führt zu einem resultierenden Abfluss in die alte Aare von ca. 1550 m^3/s (**H3**).

Bei einem Pegelabfluss in die alte Aare von mehr als 1450 m^3/s kann eine partielle Überdeckung des Kraftwerkareals über einen Einbruchspfad in der Böschung auf der Höhe des Parkplatzes des Simulatorgebäudes nicht ausgeschlossen werden. Bis zum Gefährdungshochwasser **H3** bleibt der Wasserstand auf dem Areal gering, der verbleibende Pegelabfluss in den Oberwasserkanal zum Wasserkraftwerk (im Segelbetrieb, nominell ca. 152 m^3/s Abfluss) ist zu gering, um eine Beeinträchtigung der Funktion der zweiten Wasserfassung zu verursachen. Die zweite Wasserfassung wurde für Überflutungshöhen entsprechend einem Abfluss von 1600 m^3/s in den Unterwasserkanal ausgelegt (flutsichere Ausführung). Im Grenzfall ist auch ein Weiterbetrieb bis zu einem militärischen Hochwasser von 1900m^3/s (Versagen der Stauanlagen des Wasserkraftwerks bei Extremhochwasser) möglich. Zudem wird die zweite Wasserfassung bei einer Hochwasserwarnung durch Betriebspersonal besetzt.

Die alte Aare vereinigt sich unterhalb der zweiten Wasserfassung mit dem Unterwasserkanal, wobei der Flusslauf ein beträchtliches Gefälle in Richtung Aarau stromabwärts ausweist. Die Wasserentnahme in der zweiten Wasserfassung (Sohlschwellen im Unterwasserkanal stellen einen Mindestwasservorrat sicher) wird im Falle einer Verstopfung des Einlaufs (Rechenanlage) auf eine ungefilterte Ansaugung über eine gewichtsgesteuerte selbsttätig auslösende Bypassklappe umgeschaltet, so dass die Kühlwasserversorgung nicht unterbrochen wird. Bei einer Hochwasserwarnung wird die zweite Wasserfassung M5 besetzt, sodass im Falle einer Umschaltung der Wasserfassung auf ungefilterte Wasserentnahme eine Reinigung des Rechens und eine Rückschaltung der Wasserfassung auf den Haupteinlass durchgeführt werden kann. Die im KKG vorliegende Betriebserfahrung aus Störungen der zweiten Wasserfassung (Sturmbedingter Eintrag von Laub) haben bestätigt, dass derartige Reinigungs- und Umschaltmassnahmen erfolgreich durchgeführt werden können.

Durch das Vorhandensein von vier partiell diversitären Kühlwasserfassungen (zwei Wasserfassungen und zwei Notstandsgrundwasserbrunnen vgl. Kapitel 3.2.4 und 3.3.7) kann im KKG die Kühlwasserversorgung auch bei extremen Hochwassersituationen mit Ausfall beider Wasserfassungen sichergestellt werden.

Unterstellt man einen derartigen Ausfall beider Wasserfassungen kann die Nachwärmeabfuhr aus der Reaktoranlage und aus dem Brennelementbecken im Reaktorgebäude mit Hilfe des Notstandssystems sichergestellt werden (Abfahrpfad 2, vgl. Kapitel 3.2.4 und die Beurteilung der Sicherheitsfunktionen in 3.3).

Die Zeitdauer eines Hochwassers mit Pegelabflüssen in die alte Aare, die zu einer Überdeckung des Kraftwerksareals führen könnten, ist im für KKG relevanten Teil der Aare (für die Gefährdung **H3)** statistisch gesehen auf eine Zeitdauer von einigen Stunden begrenzt. In technischer Hinsicht ist die Zeitdauer durch die auf Bundes- und kantonaler Ebene im Falle eines Hochwassers

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

geplanten Gegenmassnahmen insbesondere zur Kontrolle des Pegelabflusses aus dem Bieler See limitiert. Dank dem Einsatz dieser erfahrenen behördlichen Verwaltungs- und Notfallstrukturen kann innerhalb von weniger als 24 h mit einem wirksamen Eingriff zur Reduktion des Pegelabflusses aus dem Bielersee in die Aare gerechnet werden.

Ungeachtet der robusten Auslegung wurden im KKG umfangreiche zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen für den Fall eines Hochwassers getroffen. Hintergrund der Vorbereitung dieser Massnahmen ist die nicht auszuschliessende Überlagerung eines Hochwassers mit nicht im Detail vorhersehbaren Sekundäreffekten, wie z.B. der Verklausung von Brücken (z.B. im Bereich des Oberwasserkanals oder stromabwärts Richtung Aarau). Derartige mit zahlreichen Unwägbarkeiten verbundenen Szenarien können potenziell die über die Uferbresche auf das Areal des KKG abfliessende Wassermenge beeinflussen über Rückstaueffekte beeinflussen.

Zu diesen zusätzlichen Massnahmen [5-3] gehört:

- Einführung eines automatischen, zeitlich vorgelagerten Hochwasseralarms ab der Messstation Aare-Murgenthal bei einem Pegelabfluss von 1050 m^3/s durch das automatische Alarmsystem des BAFU. Diese Alarmierung ist seit dem 1. November 2010 eingeführt und gewährleistet eine grosse Vorwarnzeit bis zum Erreichen eines Pegelabflusses, der zum Beginn einer Überflutung des Kraftwerksareals führen kann. Die Vorwarnzeit beträgt mehr als drei Stunden (Laufzeit und Pegelanstiegzeit bis zu einer möglichen Überflutung). Eine zusätzliche Vorwarnung, welche in den Vorschriften des KKG berücksichtigt ist, erfolgt zudem vom Kraftwerk Flumenthal.
- Anpassung des Notfallreglements, Berücksichtigung des Kapitels „Hochwasser" in einem separaten Kapitel mit zugehörigen Massnahmen.
- Abdichten der Aussenhülle von Gebäuden in denen sich Ausrüstungen befinden, die für ein sicheres Abfahren der Anlage erforderlich sind, zur Minimierung möglicher Leckagemengen.
- Austausch von Türdichtungen an inneren Barrieren des Notstandsgebäudes (ZX00T217, ZX00T201).
- Abdichten der Dieselnotstromgebäude (Lufteinlässe, Abdichten der Türen).
- Vorbereitung von Notfallmassnahmen zur Errichtung eines Dammschottes vor dem Materialtor des Notstandsgebäudes und eines inneren Schottes hinter der Personenschleuse (hinter ZX00T217).
- Überprüfung/Austausch der Dichtungen der Objektschutztüren der Gebäude ZB, ZC, ZV, ZM02 (14 Türen).
- Vorbereitung der Errichtung eines Dammschottes für das Schaltanlagengebäude.
- Installation von Flutklappen zum Verschliessen von Lüftungseinlässen in die zum Schaltanlagengebäude führenden Kanäle ZW8110, ZW8120, ZW8130, ZW8410.

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

- Anpassung der Schichtanweisung SA 58 für Massnahmen bei Hochwasser u. a. das vorgezogene Aufgebot des Notfallstabs, der Feuerwehr, die Besetzung des Notstandsgebäudes und der zweiten Wasserfassung, sowie vorbereitete Checklisten.

Die Feuerwehr verfügt über mobile Einsatzmittel (Wasserschläuche, Sandsäcke) um kritische Bereiche über die Wasser in Gebäude eindringen könnte abzusperren. Diese Mittel kommen in einem Hochwassernotfall zum Einsatz. Dafür stehen aufgrund der Vorwarnzeit sehr grosse Zeitfenster zur Verfügung. Die genannten Massnahmen wurden bereits vor den Ereignissen in Fukushima eingeführt.

5.1.3 Überwachung der Auslegungsanforderungen

Für die Überwachung der Einhaltung der Auslegungsanforderungen sind im KKG umfassende Regelungen getroffen. Die im KKG geltenden Regelungen sind als Bestandteil des Managementsystems des KKG nach ISO-9001 zertifiziert.

Zu den Regelungen gehören:

- ein umfassendes Programm wiederkehrender Prüfungen (WKP) zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit von Systemen und Ausrüstungen
- Überwachung der Einhaltung der technischen Spezifikationen
- ein systematisches Änderungswesen, wobei alle sicherheitsrelevanten Änderungen intern durch den ISA frei zu geben sind, Änderungen mit Relevanz für die Hochwassersicherheit werden einer internen Ausführungsüberprüfung „as built" unterzogen.

Nach den Ereignissen in Fukushima wurde der Zustand der Anlage nochmals gezielt im Rahmen von Anlagenrundgängen überprüft. Dabei wurde insbesondere die wirksame Umsetzung der bereits vorgängig eingeleiteten Verbesserungsmassnahmen für den Hochwasserschutz überprüft.

5.2 Sicherheitsmargenanalyse

5.2.0 Vorgehen

Eine vollständige Sicherheitsmargenanalyse wurde im Zusammenhang mit der Bearbeitung der ENSI-Verfügung vom 1.4.2011 [5-3] durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse werden unter Berücksichtigung der Prüfkommentare des ENSI zusammenfassend wiedergegeben. Zusätzlich wurde die maximale Überflutungskote des Areals bestimmt und ein zugehöriger maximaler Pegelabfluss in die alte Aare der dieser Höhe entspricht abgeschätzt.

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

5.2.1 Sicherheitsmargen bei Überflutung

Tabelle 21 zeigt die Ergebnisse der Sicherheitsmargenanalyse [5-3] bis zum PMF (Probable Maximum Flood) wie sie im Rahmen der Standortuntersuchungen für das geplante Kernkraftwerk Niederamt [5-7] festgelegt wurde. Die Sicherheitsanalyse wurde auf der Basis einer Kombination experimenteller und analytischer Methoden durchgeführt. Zusätzlich wurde die absolute Obergenze für eine Überflutung, die sich aus der Höhe der tiefsten Lüftungseinlässe in das Notstandsgebäude ergibt, bestimmt. Dabei wurde die V-förmige Form des Abflusskanals in die alte Aare berücksichtigt, die bei zunehmender Überdeckung des Areals zu einer Verbreiterung des Abflusses und damit zu einer deutlichen Reduktion des Anstiegs der Überdeckungshöhe mit der Zunahme des Pegelabflusses in die alte Aare führt. Dieser Effekt setzt etwa bei einem Pegelabfluss in die alte Aare von 2'000 m^3/s ein.

Hervorzuheben ist die Erkenntnis aus der durchgeführten Sicherheitsmargenanalyse, dass mit zunehmenden Wasserstand, die nach aussen öffnenden Türen in der Aussenhülle der sicherheitstechnisch relevanten Gebäude durch den erhöhten Anpressdruck dichter schliessen und damit eindringenden Leckagemengen minimiert werden.

Tabelle 21 Ergebnisse der Sicherheitsmargenanalyse

Abfahrpfad	Flooding Limit (mit Notfall-massnahmen[11]), Pegelabfluss in die alte Aare	Sicherheits-faktor (mit Notfall-massnahmen) – bezogen auf H3	Limitierendes Gebäude, limitierende Funktion (mit Notfallmassnahmen)
Nachkühlkette über YZ	1700 m^3/s	1.1	abhängig von der Zeitdauer, Personalressourcen
Notstands-funktionen (gesicherter Reaktorschutz)	> 2100 m^3/s	> 1.35	Notstandsgebäude ZX
Anlage	**> 2100 m3/s**	> 1.35	
Absolute Obergrenze der Überflutungshöhe	**> 2.3 m** (abgeschätzter Pegelabfluss > 3400 m^3/s)	ca. 2.2	

[11] Der Begriff Notfallmassnahme bezieht sich auf spezielle Handlungen zur Abdichtung der Gebäude durch die Notfallorganisation (Feuerwehr)

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

5.3 Verbesserungsmassnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen

Im Rahmen der bereits länger geplanten Erneuerung des Sicherungsperimeters der Anlage ist die Errichtung einer Hochwasserschutzmauer geplant. Diese Massnahme (Sicherheitsebene 4, Verbesserung des Notfallschutzes) vereinfacht die Notfallmassnahmen, da damit der Wassereinbruch über die Bresche in der Uferböschung am Parkplatz vor dem Simulatorgebäude verhindert werden kann. Kombiniert wird diese Massnahme mit der Vorbereitung eines Absperrschotts für die Zufahrt über die Kraftwerkstrasse.

Die in Kapitel 7 beschriebenen Massnahmen zur Verbesserung der Beherrschung eines lang andauernden Notstandsfalls (Station Blackout) führen ebenfalls zu einer Verbesserung der Anlagensicherheit bei einem extremen Hochwasser, insbesondere bei einem Ausfall beider Wasserfassungen.

Referenzen Kapitel 5

[5-1] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[5-2] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG, BER-D-50708, 2011 Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[5-3] Sicherheitstechnischer Nachweis des Hochwasserschutzes - Verfügung des ENSI vom 1. April 2011, BER-D-51283, 2011, Prüftstatus D1

[5-4] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER D 33022, 2008, Prüftstatus D1 (Grobprüfung abgeschlossen)

[5-5] KKG, Sicherheit der Nebenkuehlwasserversorgung, insbesondere Sicherheit der 2. Wasserfassung, Zusatzbericht Nr. 19 zum Sicherheitsbericht (FSAR), Motor-Columbus Ingenieurunternehmung, 1976 – Prüfstatus D1

[5-6] Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen, SR 732.112.2, 2009

[5-7] KKN, Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederamt, Sicherheitsbericht, Ber-08-002, v. 002, 2009 (D1 – geprüft im Rahmenbewilligungs-verfahren KKN)

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

6 Extreme Witterungsbedingungen

6.1 Auslegungsbasis

6.1.0 Grundlagen

Spezielle Witterungsbedingungen wurden bei der Auslegung als Zusatzlasten für die Bemessung der Bauanlagen und bei der systemtechnischen Auslegung der Kühlwasserversorgung berücksichtigt [6-1] – [6-4].

Grundlage für die Bestimmung der Zusatzlasten für die Bauwerke waren die Normen des schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins SIA 160-162 in der während der Planungszeit gültigen Form. Als Zusatzlasten wurden Schnee- und Windlasten mit Betriebslasten kombiniert [6-1]. Die auf Standorthöhe des KKG minimal zu berücksichtigende Schneelast betrug 90 kg/m^2 (Gefährdung H1, in Kombination mit betrieblichen Lasten).

Zusätzlich wurden die für ein sicheres Abfahren der Anlage wichtigen Gebäude gegen extreme dynamische Lasten ausgelegt, die höhere Anforderungen an die Bemessung der Gebäude stellen, als die als Folge extremer Witterungsbedingungen zu erwartenden Lasten (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3). Zu diesen speziellen Lasten (vgl. Tabelle 2) gehören die Erdbebenauslegung, welche zu einer Bemessung gegen grosse Horizontalkräfte führt, die Auslegung gegen Flugzeugabsturz (inklusive gegen die Folgen von Trümmerbildung und Kerosinbrand), sowie gegen externe Explosionsdruckwellen (Explosion eines Güterwagens mit 20 t TNT am Standort des früher geplanten Güterbahnhofs Däniken).

Der Dimensionierung der Kühlkette (Zwischenkühlwassersystem TF/VE) lag eine maximale Kühlwassertemperatur von 23.5°C (im Sinne einer Langzeitbetriebstemperatur) zugrunde [6-5]. Der mechanischen Auslegung der Systeme liegen jedoch erheblich höhere Temperaturen, im Regelfall kühlwasserseitig zumindest 50°C zugrunde. Die Auslegung der Komponenten und Systeme ist daher in der Praxis nicht durch die im Nebenkühlwasser auftretenden maximalen Temperaturen begrenzt. Es gibt daher keine Limite für die zulässige Kühlwassertemperatur in der technischen Spezifikation des Kernkraftwerks Gösgen.

Die vorliegende Betriebserfahrung der Anlage bei hohen Aussentemperaturen wie auch bei sehr niedrigen Temperaturen ist positiv. Es kam während des bisherigen Betriebs der Anlage zu keinen Betriebsunterbrechungen als Folge extremer Witterungsbedingungen. Funktionsprüfungen, z. B. der Notstromdieselaggregate, die bei erhöhter Aussentemperatur durchgeführt wurden, verliefen stets erfolgreich.

6.1.1 Bewertung der Auslegungsbasis

In methodischer Hinsicht fusste die Bemessung der Anlage (Gefährdung **H1**) bezüglich extremer Witterungsbedingungen auf anderen Methoden und Verfahren, als sie im aktuellen kerntechnischen Regelwerk der Schweiz verankert sind („Verordnung des UVGK über die Gefährdungsan-

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

nahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen" SR 732.112.2). Die Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen verlangt eine probabilistische Gefährdungsanalyse für naturbedingte Gefährdungen, wobei Ereignisse mit einer Häufigkeit bis zu 10^{-4}/a in den Sicherheitsanalysen zu berücksichtigen sind. Für Ereignisse dieser Kategorie ist nachzuweisen, dass die Anlage auch bei Berücksichtigung eines Einzelfehlers in einen sicheren Zustand abgefahren werden kann und die radiologischen Grenzwerte für Auslegungsstörfälle der Kategorie 3 dabei eingehalten bleiben. Neue Bemessungsgrundlagen (**H3**) für extreme Witterungsbedingungen auf dieser Basis wurden bisher nicht festgelegt. Aufgrund der positiven Betriebserfahrung und den vorhandenen Sicherheitsmargen der für ein sicheres Abfahren der Anlage erforderlichen Bauwerke, Systeme und Komponenten kann davon ausgegangen werden, dass die sich aus extremen Witterungsbedingungen ergebenden Lastfälle nicht anforderungsbestimmend sind (vgl. Kapitel 6.2).

Im KKG sind für das sichere Abfahren und Halten der Anlage in einem sicheren Zustand allein das zweisträngig aufgebaute Notstandssystem, der Verbindungskanal zwischen Notstandsgebäude und Reaktorgebäude, sowie das Reaktorgebäude erforderlich. Mit diesem System kann sowohl die Wärme aus dem Reaktor (im Zustand „heiss abgestellt"), als auch die Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken im Containment einzelfehlersicher abgeführt werden [6-8] - [6-11].

Sowohl das Notstandsgebäude als auch das Reaktorgebäude (inkl. unterirdischem Verbindungskanal) sind gegen wesentlich grössere Lasten ausgelegt, als in Folge veränderter Auslegungsannahmen bezüglich extremer Witterungsbedingungen zu erwarten sind. Ein sicheres Abfahren ist daher auch bei extremen Witterungsbedingungen sicher gestellt. Die Sicherheitsmargen werden nachfolgend bewertet.

6.2 Bestimmung der Sicherheitsmargen

6.2.1 Bestimmung der Sicherheitsmargen gegen Einwirkungen extremer Witterungsbedingungen

6.2.1.1 Methodisches Vorgehen

Basierend auf den Untersuchungen für das geplante Kernkraftwerk Niederamt [6-7] und den Untersuchungen in der anlagenspezifischen PSA des KKG [6-6] wird die standortbezogenen Gefährdung durch extreme Witterungsbedingungen nach dem aktuellen Kenntnisstand beurteilt. Behandelt werden die folgenden Ereignisse und Kombinationen:

- extremer Niederschlag/Schneefall
- Sturm/Tornado
- Extreme Trockenheit
- Waldbrand
- Vereisung der Wasserfassungen

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

- Kombination Erdbeben/Dammbruch
- Kombination Sturm/Tornado und Flugzeugabsturz
- Einflüsse eines möglichen Klimawandels

Die Bewertung erfolgt semiquantitativ. Sofern quantitativ bewertbare Belastungsgrenzen bestimmbar sind, werden diese angegeben.

6.2.1.2 Lastfall Schneefall

Bezüglich des Lastfalls Schneefall wurde KKG nach den zum Zeitpunkt der Planung der Anlage gültigen Gefährdungsannahmen ausgelegt (vgl. [6.1]). Bei der Planung der Anlage wurde festgestellt, dass die infolge Schneefall verursachten Lasten bei Gebäuden der Bauwerksklasse I durch andere Auslegungslastfälle für extreme externe Ereignisse mit höheren Anforderungen an die bauliche Ausführung abgedeckt sind (Explosionsdruckwelle, Erdbebenlasten, Flugzeugabsturz und/oder Trümmerschutz). Eine Plausibilitätsüberprüfung gemäss den heute geltenden Gefährdungsannahmen der SIA (SIA 260) (Raumlasten bei Schnee) und den Ergebnissen der Untersuchungen für den Standort des geplanten Kernkraftwerks Niederamt [6-7] hat bestätigt, dass die aus Schneelasten resultierenden Lasten weiterhin nicht anforderungsbestimmend sind. Gemäss den behördlich akzeptierten Untersuchungen für den Standort des geplanten Kernkraftwerks Niederamt entspricht das gemäss der "Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen" (SR 732.114) zu berücksichtigende „zehntausendjährige" Ereignis (Überschreitenshäufigkeit 10^{-4}/a) einem Ein-Tages Schneefall von 127 cm., Abbildung 16 zeigt die entsprechende statistische Auswertung des KKN nach der Extremwertstatistik einschliesslich des zugehörigen Unsicherheitsbereichs. Die aus diesem Schneefall resultierende Flächenlast bei Neuschnee beträgt ca. 1.3 kN/m^2. Bei Annahme der Ablagerung als Nassschnee mit Verdichtung fällt die Last um ca. einen Faktor 4 höher aus. Da ein Schneefall bis zum Erreichen einer Schneehöhe von 127 cm ein zeitlich langsam ablaufendes Ereignis darstellt, so dass rechtzeitig eine Schneeräumung eingeleitet werden kann, erscheint die Verwendung der Dichtekennwerte für Neuschnee realitätsnäher. Ungeachtet dieser möglichen Spannbreite von Lastkennwerten (1.3 kN/m^2 - 5.2 kN/m^2) bleibt die resultierende Last im Vergleich zu den äquivalenten statischen Ersatzlasten aus Explosionsdruckwelle oder den Aufpralllasten bei Flugzeugabsturz oder Flugzeugtrümmern sehr gering ([6-3], [6-6], [6-12], [6-13]). So übersteigt die Auslegung von Reaktor- und Notstandsgebäude, deren Verfügbarkeit (vgl. 3.3, [6-8], [6-10]) allein genügt, um die Anlage in einen sicheren Betriebszustand zu überführen, gegen externe Explosionsdruckwelle nach näherungsweiser Umrechnung in eine äquivalente statische Ersatzlast (HCLPF) diesen Wert deutlich mindestens einen Faktor 25 (resp. mehr als 100 bei Annahme von Neuschnee).

Grössere Schneeablagerungen sind nur auf Gebäuden mit Flachdächern möglich, d. h. das Reaktorgebäude des KKG bleibt von diesem Lastfall praktisch unbeeinflusst. Bei starkem Schneefall besteht zudem eine grosse Vorwarnzeit für Gegenmassnahmen (Aufgebot der Notfallorganisation, Schneeräumung), so dass davon ausgegangen werden kann, dass extreme Schneelasten nicht über längere Zeit auftreten können.

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

Extrapoliert man den betrachteten 10'000-jährigen Schneefall auf noch grössere Werte, so muss mit der Möglichkeit eines Abfahrens der Anlage oder eines Unterbruchs der externen Spannungsversorgung gerechnet werden. Die Anlage kann jedoch allein mit dem Notstandssystem einzelfehlersicher in einem sicheren Zustand gehalten werden [6-8], [6-10].

Aus anlagendynamischer Sicht ist der in den Sicherheitsanalysen betrachtete lang andauernde Notstromfall abdeckend für einen unterstellten extremen (auch das 10'000-jährige Ereignis überschreitenden) Schneefall [6-8].

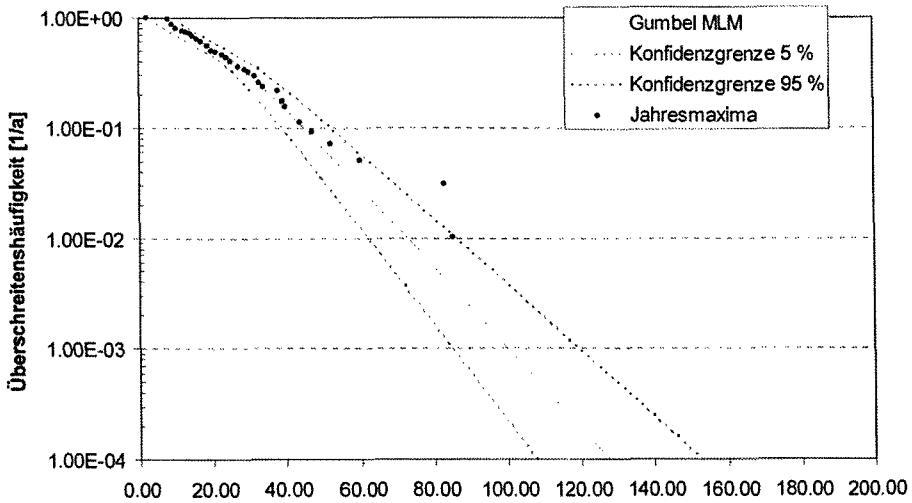


Abbildung 16 Extremwertauswertung (Gumbel) für den maximalen Ein-Tages-Schneefall (cm) gemäss Sicherheitsbericht KKN

6.2.1.3 Lastfall extreme Regenniederschläge

Extreme Regenniederschläge wurden bei der Planung des KKG nur indirekt in Form der möglicherweise resultierenden Hochwassersituationen (vgl. Kapitel 5) berücksichtigt. Die Bestimmung der Sicherheitsmargen beruht auf den Untersuchungen für den Standort des geplanten Kernkraftwerks Niederamt [6-7].

Die Ergebnisse der Extremwertauswertung für die maximale Regenintensität aus den Untersuchungen für KKN [6-7] sind in Abbildung 17 gezeigt. Das im Rahmen der Auslegung zu berücksichtigende „zehntausendjährige" Ereignis entspricht einer Regenintensität von 34 mm Niederschlag pro 10 Minuten. Diese Intensität hält jedoch nicht über 24 h an. In der Schweiz geht man im Extremfall von einer maximalen Niederschlagsmenge von 2200 mm pro Tag aus [6-7]. Das im KKG vorhandene Arealentwässerungssystem ist längerfristig in der Lage diese Niederschlagsmengen in die alte Aare abzuführen. Bei zeitweiligen Überschreitungen der Kapazität des Entwässerungssystems (Intensität des Regenfalls zeitweilig grösser als die abführbare Wassermenge) kann sich temporär eine geringe Wasserüberdeckung des Areals einstellen, die jedoch ein sicheres Abfahren der Anlage nicht verhindert (vgl. Kapitel 5).

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

Bei einem starken Regenfall handelt es sich um ein Ereignis für welches eine grosse Vorwarnzeit besteht, so dass Vorsorgemassnahmen wie ein Aufgebot der Feuerwehr oder des Notfallstabs (vgl. Kapitel 9) getroffen werden können. Zur Anwendung kämen das Kapitel 6.5.4 des Notfallreglements (Hochwasser, sinngemäss) oder das Kapitel 6.5.5 (andere Notfälle).

Im Zusammenhang mit der Erneuerung des Anlagenperimeters (Projekt GEPE 11) ist eine Erhöhung der Kapazität der Arealentwässerung (auf ca. 1.6 m^3/s) geplant.

Aus anlagendynamischer Sicht ist der in den Sicherheitsanalysen betrachtete lang andauernde Notstromfall abdeckend für unterstellte extreme (auch das 10'000-jährige Ereignis überschreitende) Niederschläge [6-8].

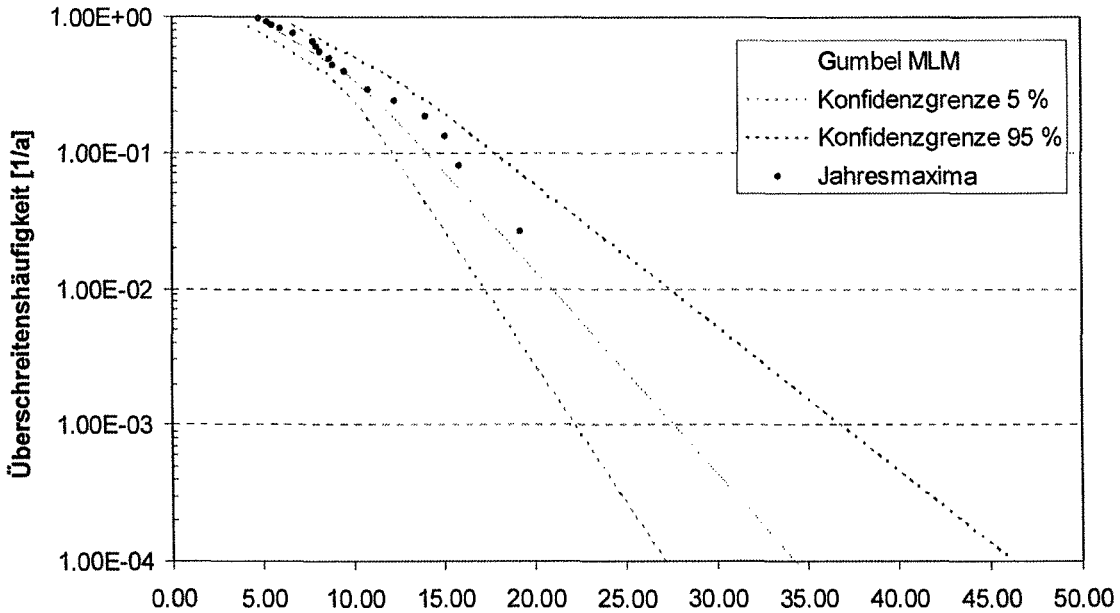


Abbildung 17 Extremwertauswertung (Gumbel) für die Regenintensität (mm/ 10min)

6.2.1.4 Wind- und Tornadolasten

Windlasten wurden im Rahmen der Auslegung der Bauwerke als Zusatzlast zu den betrieblichen Lasten entsprechend der während der Planung des KKG geltenden Norm SIA 160 berücksichtigt. Tornadolasten wurden nicht explizit betrachtet, waren aber Gegenstand probabilistischer Sicherheitsuntersuchungen ([6-6] und geprüfte Vorläuferversionen der PSA).

Bezüglich Wind- und Tornadolasten sind ebenfalls die in der Auslegung berücksichtigten Lastfälle Explosionsdruckwelle und Flugzeugabsturz und/oder Trümmerschutz massgebend für die bauliche Ausführung der Gebäude der Bauwerksklasse I.

Gemäss Untersuchungen für die aktuelle PSA [6-6], die sich mit Erkenntnissen aus den Standortuntersuchungen für das Kernkraftwerk Niederamt [6-7] decken, ergeben sich Böenspitzengeschwindigkeiten für das „10'000-jährige" Ereignis von ca. 47 m/s. Abbildung 18 zeigt die

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

Ergebnisse der Extremwertauswertung aus dem Sicherheitsbericht des KKN. Der äquivalente Staudruck für diese Windgeschwindigkeit bleibt unterhalb von 2 kPa und liegt damit deutlich unterhalb der Bemessung der KKG Bauwerke gegen Explosionsdruckwellen. Für das Reaktor- und Notstandsgebäude beträgt der verfügbare Sicherheitsfaktor nach näherungsweiser Umrechnung der dynamischen Auslegungslasten aus der Explosionsdruckwelle in eine statische Druckdifferenz (HCLPF) [6-6] ca. 100.

Tornados wurden in historischer Zeit in Nähe des Standortes des KKG nicht beobachtet. Bei Verwendung der Annahmen zur Tornadohäufigkeit der Richtlinie A05 (diese berücksichtigt über entsprechend gewählte Werte auch mögliche langfristige Klimaveränderungen) ist allenfalls mit dem Auftreten eines Tornados (in der traditionellen Fujitaklasse) der Stärke F0/F1 am Standort des KKG im Rahmen der für die Auslegung zu berücksichtigenden Ereignisse zu rechnen. Für die Auslegung des geplanten Kernkraftwerks Niederamt [6-7] war konservativ abdeckend eine Bemessung gegen einen Tornado der Klasse Fujita F2 geplant. Ein Tornado dieser Stärke führt bei Gebäuden zu einem äquivalenten Staudruck von ca. 2.3 kPa. Die daraus resultierenden Lasten sind deutlich niedriger als die bei der Bemessung der Gebäude berücksichtigten Lasten aus dem Lastfall Explosionsdruckwelle [6-3]. Diese Bewertung ist unabhängig vom Schadenszug des Tornados, da sie auf dem maximalen äquivalenten Staudruck beruht.

Die durch Tornados möglicherweise induzierten Trümmerlasten (fliegende Teile) liegen unterhalb der Auslegung des Reaktorgebäudes und des Notstandsgebäudes gegen Flugzeugabsturz und/oder Trümmerschutz [6-1], [6-4], [6-6].

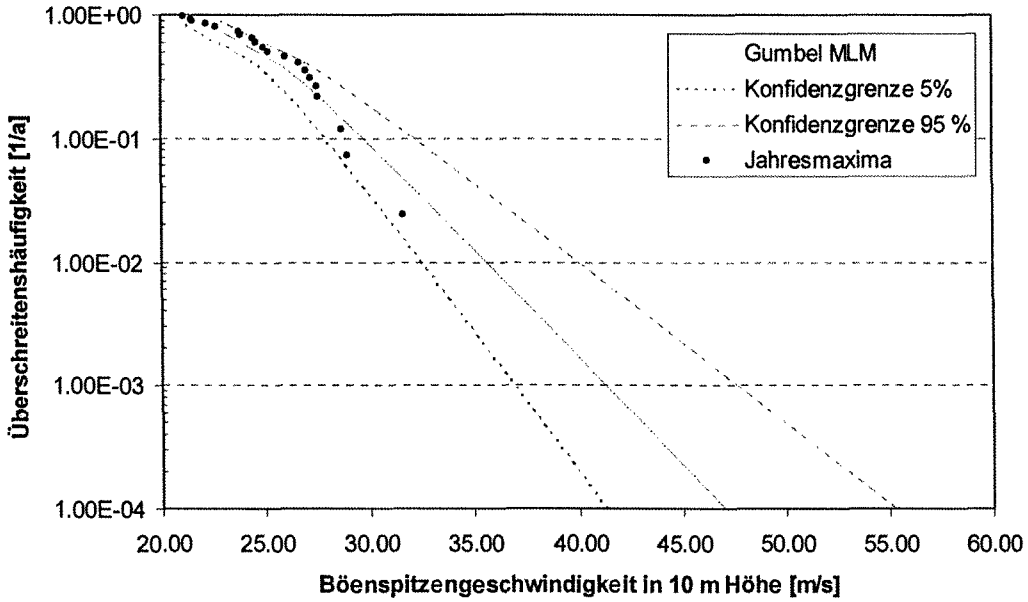


Abbildung 18 Extremwertauswertung (Gumbel) für die maximale Böenwindgeschwindigkeit auf 10 m Höhe

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

Aus anlagendynamischer Sicht ist der in den Sicherheitsanalysen betrachtete Notstandsfall abdeckend für unterstellte extreme (auch auslegungsüberschreitende) Lastfälle infolge Sturm/Tornado [6-8].

6.2.1.5 Extreme Trockenheit

Der Wasserbedarf des KKG im bestimmungsgemässen Betrieb ist infolge der Kühlung des Kühlwassers mittels Kühlturm begrenzt und beschränkt sich auf das Zusatzwasser zur Kompensation von Verdunstungsverlusten. Eine extreme Trockenheit (auslegungsüberschreitend) könnte bei postulierten Cliff-Edge Szenarien zu einer Beeinträchtigung der Funktion der ersten und noch extremer, der zweiten Wasserfassung (sehr geringer Wasserbedarf der abgestellten Anlage von $5m^3/s$) führen. Anlagendynamisch führt diese extrem unwahrscheinliche, aufgrund fehlender Daten quantitativ nicht bewertbare und als hypothetisch einzustufende Situation zum Ausfall der beiden Wasserfassungen (Ausfall der Hauptwärmesenke und der alternativen Wärmesenke) der sicherheitstechnisch mit dem zweisträngigen Notstandssystem beherrscht wird [6-8], [6-10]. Für die Kühlwasserversorgung des Notstandssystems steht ein sehr hohes Grundwasserreservoir zur Verfügung, wie aktuelle Pumpversuche im Zusammenhang mit den Standortuntersuchungen für KKN [6-7] gezeigt haben.

6.2.1.6 Waldbrand

Grössere Waldbrände in der Umgebung des KKG sind aus meteorologischen Gründen sehr wenig wahrscheinlich. Direkte kausal verursachte Ausfälle von Sicherheitssystemen des KKG sind einem derartigen Fall nicht zu besorgen. Die Anlage kann mit den vorhandenen Sicherheitseinrichtungen in einen sicheren Zustand abgefahren werden (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3). Die Kühlung der BE-Becken im Nasslager ZS07 und im Reaktorgebäude wird bei einem Waldbrand nicht beeinträchtigt. Aus anlagendynamischer Sicht ist der in den Sicherheitsanalysen ([6-8], vgl. Kapitel 3.3) betrachtete lang andauernde Notstromfall abdeckend für den Fall eines postulierten extremen Waldbrandes. Einschränkungen bezüglich der Verfügbarkeit von Sicherheitsfunktionen sind bei einem Waldbrand über die im EU-Stresstest zu betrachtende Zeitdauer von 24 h (ohne externe Hilfe) nicht zu besorgen.

6.2.1.7 Vereisung oder anderweitige Verstopfung von Wasserfassungen. Vereisung der Kühltürme des externen Nasslagers.

Eine Vereisung oder anderweitige Verstopfung von Wasserfassungen als Folge extremer (auslegungsüberschreitender) Witterungseinflüsse kann nicht völlig ausgeschlossen werden. Die Konsequenz wäre ein Ausfall der ersten und möglicherweise auch der zweiten Wasserfassung (postuliertes Common Mode Versagen). Anlagendynamisch führt diese extrem unwahrscheinliche Situation zum Ausfall der beiden Wasserfassungen (Ausfall der Hauptwärmesenke und der alternativen Wärmesenke) der sicherheitstechnisch mit dem zweisträngigen Notstandssystem und dem zugehörigen zweisträngigen Brunnenwassersystem (Grundwasser) beherrscht wird (vgl. Kapitel 3.2 und 3.3).

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

Der Lastfall „Vereisung" der Kühltürme des externen Nasslagergebäudes wurde bei der Auslegung des Nasslagers berücksichtigt. Dies kann potenziell die Wärmeabfuhr aus dem BE-Becken im Nasslager beeinflussen. Mit zunehmender Beladung des Nasslagers reduziert sich jedoch das Risiko eines derartigen Szenariums. Aufgrund der grossen Karenzzeiten bis zur Beckenaufheizung und aufgrund der vorbereiteten Notfallmassnahmen kann die Beckenkühlung jedoch problemlos durch Personaleingriffe wiederhergestellt werden [6-8], [6-9].

6.2.1.8 Kombination Erdbeben mit erdbebeninduziertem Dammbruch

Bei der Auslegung des KKG wurde die Ereigniskombination starkes Erdbeben und Dammbruch resp. Bruch des Oberwasserkanals berücksichtigt. Ein derartiges Szenarium führt nicht zu einer Überflutung des Kraftwerkareals. Bezüglich der Anforderungen an die Sicherheit sind daher die Erdbebenanforderungen führend. Die Massnahmen zur Sicherheitsvorsorge bei Erdbeben sind in Kapitel 4 beschrieben. Die Anlage kann selbst im Fall sehr starker Erdbeben kombiniert mit dem Eintritt von Dammbrüchen in einen sicheren Zustand abgefahren werden. Abdeckend wäre wiederum das Störfallszenarium „Lang andauernder Notstromfall bei Nichtverfügbarkeit der Wasserfassungen". Bezüglich möglicher „Cliff Edge" Effekte als direkte Folge von Erdbeben wird auf Kapitel 4 verwiesen.

6.2.1.9 Kombination Sturm/Tornado und Flugzeugabsturz

Die Ereigniskombination Sturm/Tornado und Flugzeugabsturz wurde in der Auslegung des Kernkraftwerks Gösgen nicht explizit berücksichtigt. Da bei grösseren Windgeschwindigkeiten (und gegebenenfalls bei Unwetterwarnung) ein Landeverbot auf den in Standortnähe befindlichen Flughäfen Zürich und Basel/ Mulhouse für grössere Verkehrsflugzeuge ausgesprochen wird, kann davon ausgegangen werden, dass lediglich kleinere Flugzeuge, die nicht der Kontrolle der Flugsicherung unterstehen, von einem starken Unwetter in Kraftwerksnähe betroffen sein können. Bei einem Absturz eines Kleinflugzeugs kann die Anlage selbst bei Annahme eines gleichzeitig auftretenden Sturms oder eines Tornados in einen sicheren Zustand überführt werden, da Reaktorgebäude und Notstandsgebäude wie auch das externe Nasslager gegen grössere Flugzeug- und Trümmerlasten ausgelegt sind [6-7], respektive über eine hohe Grenzlasttragfähigkeit verfügen [6-12], [6-13].

Aus anlagendynamischer Sicht ist der in den Sicherheitsanalysen betrachtete Notstandsfall (Station Blackout) abdeckend für eine derartige extreme Lastkombination [6-8].

6.2.1.10 Andere Effekte des Klimawandels

In Sicherheitsanalysen sind grundsätzlich auch mögliche weitere Effekte des Klimawandels zu berücksichtigen. Es kann nicht völlig ausgeschlossen werden, dass der Klimawandel zu einer

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

Verstärkung von Wetterextremen führt. Insbesondere kann ein Anstieg der Häufigkeit von Wetterextremen nicht ausgeschlossen werden.

Möglich ist auch ein Anstieg der Wassertemperatur in der Aare, was auch zu einem Temperaturanstieg des Kühlwassers von KKG führen würde. Dies hat primär einen Einfluss auf den Wirkungsgrad der Energieerzeugung, da die Kühlwassertemperatur im KKG nicht anforderungsbestimmend für die mechanische Auslegung der Kühlwassersysteme ist. Eine erhöhte Temperatur kann zu geringen Veränderungen der Kapazität der Wärmeabfuhrsysteme (Wärmetauscher) führen. Da diese Veränderungen jedoch nicht schlagartig auftreten, können für diesen Fall im Rahmen von Instandhaltung oder Ersatzinvestitionen technische Gegenmassnahmen eingeleitet werden.

Bezüglich weiterer möglicher Wirkungen des Klimawandels kann analog davon ausgegangen werden, dass diese nicht schlagartig eintreten, so dass bei Erfordernis technische Gegenmassnahmen eingeleitet werden können.

6.2.2 Verbesserungsmassnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen gegen Einwirkungen extremer Witterungsbedingungen

Die durchgeführte Bewertung der Sicherheitsmargen des KKG bei Einwirkungen aus extremen Witterungsbedingungen hat das Vorhandensein hoher Sicherheitsmargen bestätigt. Lastfälle die als Folge extremer Witterungsbedingungen resultieren sind nicht anforderungsbestimmend für die Sicherheit der Anlage sondern durch andere in der Auslegung berücksichtigte Lastfälle abgedeckt. Extreme Witterungsbedingungen können zu einem Notstromfall und/oder einem Ausfall der Hauptwärmesenke(n) führen. Massnahmen die zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Notstrom- oder der Notstandsnotstromversorgung führen, tragen letztendlich auch zu einer Erhöhung des Schutzgrades der Anlage gegen extreme Witterungsbedingungen bei. Die entsprechenden masnahmen sind in Kapitel 7 (7.1.4, 7.2.1.4, 7.2.2.2.4) und 8.5 aufgeführt.

Referenzen zu Kapitel 6

[6-1] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – (Prüfstatus D1, Validiert im Genehmigungsverfahren)

[6-2] KKG, Sicherheit der Nebenkühlwasserversorgung, insbesondere Sicherheit der 2. Wasserfassung, Zusatzbericht Nr. 19 zum Sicherheitsbericht (FSAR), Motor-Columbus Ingenieurunternehmung, 1976 – Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[6-3] KKG, Sicherheit gegen Explosionen ausserhalb der Anlage, Auslegungsgrundlagen. Zusatzbericht Nr. 7 zum Sicherheitsbericht (FSAR), Motor-Columbus Ingenieurunternehmung, 1976 – Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

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

[6-4] KKG, Sicherheit gegen Flugzeugabsturz, Teil 2: Grenzsicherheitsbetrachtung, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung, 1978 – Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[6-5] PSÜ 2008: Systemhandbücher, Stand 2009 (D2, in Prüfung beim ENSI)

[6-6] GPSA2009: Gösgen Probabilistic Safety Assessment, R-1699596-1751, 2008 (D1, Validiert im Prüfverfahren, Aktualisierung gemäss neuer ENSI Richtlinie A05 in Bearbeitung)

[6-7] KKN, Rahmenbewilligungsgesuch für ein neues Kernkraftwerk im Niederamt, Sicherheitsbericht, Ber-08-002, v. 002, 2009 (D1 – geprüft im Rahmenbewilligungsverfahren KKN)

[6-8] KKG, Sicherheitsstatusanalyse (SSA) Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG/D) mit Druckwasserreaktor, ALD-D-32949

[6-9] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG, BER-D-50708, 2011 Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[6-10] Sicherheitstechnischer Nachweis des Hochwasserschutzes - Verfügung des ENSI vom 1. April 2011, BER-D-51283, 2011, Prüftstatus D1

[6-11] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER-D-33022, 2008, Prüfstatus D1 (Grobprüfung durch ENSI abgeschlossen)

[6-12] AREVA, Ergänzende Ermittlung der dynamischen Beanspruchung für das BE-Becken für den Flugzeugabsturz, Lastfall Single A, unter Berücksichtigung der optimierten aseismischen Lagerung, Selbständige Datenzusammenstellung, NEEC-G/2006/de/0046, Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[6-13] KKG, Grenzwertbetrachtungen zum Lastfall „Flugzeugangriff auf Schweizer Kernkraftwerke“, 2002, **Vertraulich,** Prüfstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

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

7 Ausfall der Spannungsversorgung

7.1 Ausfall der externen Spannungsversorgung

7.1.1 Aufbau des elektrischen Eigenbedarfs

Abbildung 8 zeigt das Schema der elektrischen Eigenbedarfsversorgung des Kernkraftwerks Gösgen. Detaillierte Darlegungen zu Aufbau und Funktion der Einrichtungen der elektrischen Spannungsversorgung sind in Kapitel 3.2.2.8.1 Stromversorgung sowie in den Referenzen [7-1] bis [7-7] und [7-10] enthalten. Das detaillierte PSA-Modell des KKG welches auf anlagenspezifischen Daten beruht, belegt die hohe Zuverlässigkeit der Einrichtungen des elektrischen Eigenbedarfs im KKG [7-8]. Aus Sicht einer schutzzielorientierten Beurteilung sind die Systeme und Einrichtungen des elektrischen Eigenbedarfs der Sicherheitsfunktion *Sicherstellung Funktionsfähigkeit Systemfunktionen* zugeordnet (vgl. Kapitel 3.3.7).

7.1.2 Verhalten der Anlage bei Ausfall der externen Spannungsversorgung

Ein Ausfall der elektrischen Spannungsversorgung für das KKG tritt ein, wenn die folgenden externen Einspeisemöglichkeiten ausgefallen sind:

- 400 kV – Netzeinspeisung
- 220 kV – Netzeinspeisung
- Noteinspeisung vom Wasserkraftwerk Gösgen über 50 kV Netz (Notfallmassnahme zur mittelfristigen Wiederherstellung einer externen Einspeisung)

Der Ausfall der externen Spannungsversorgung ist ein Auslegungsstörfall für das KKG und wird als Notstromfall bezeichnet. Für die Notstromversorgung der sicherheitstechnisch wichtigen Funktionen stehen:

- 4 Notstromdiesel EY11...EY41D001,
- 2 Notstandsdiesel FY51/61D001,
- 2 Dieselgetriebene Kühlwasserpumpen in der zweiten Wasserfassung M5

zur Verfügung. Sofern der Notstromfall nicht durch ein extremes externes Ereignis ausgelöst wurde, kann die Kühlwasserversorgung nach automatisch erfolgter Abschaltung betrieblicher Verbraucher auch von der ersten Wasserfassung M0 aufgrund des geodätischen Höhenunterschiedes weiter genutzt werden. Eine Umschaltung auf die zweite Wasserfassung M5 erfolgt im Bedarfsfall automatisch über die Kühlwasserschutzlogik. Die Notstromdiesel werden ebenfalls automatisch aus dem Reaktorschutz gestartet (mit Vorrangsignal, oder als nullredundantes Notstromsignal). Die Abschaltung der betrieblichen Verbraucher und die

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

Zuschaltung der sicherheitstechnisch wichtigen Verbraucher erfolgen über das Dieselbelastungsprogramm zeitversetzt.

Die Anlage kann bei einem Notstromfall über sehr lange Zeit sicher betrieben werden. Dafür stehen ausreichende Diesel- und Kühlwasservorräte zur Verfügung [7-7]. Die nachstehende Tabelle zeigt die verfügbaren Dieselvorräte, die für den Betrieb der Notstrom- und Notstandsdiesel genutzt werden können.

Tabelle 22 Dieselbevorratung

Gebäude	Bezeichnung/ (Zahl)	AKZ	Nutzvolumen je Einheit	Mindestvolumen je Einheit
ZK01	Vorratstank (2)	EY11/21B201	19'000 l	17'300l
ZK02	Vorratstank (2)	EY31/41B201	19'000 l	17'300l
ZK01	Betriebstank (2)	EY11/21B202	1425 l	1425 l
ZK02	Betriebstank (2)	EY31/41B202	1425 l	1425 l
ZX	Vorratstank (2)	FY51/61B201	4750 l	4300 l
ZX	Stationärer mobiler Tank (**ab August 2011**)		>13'000 l	
ZX	Mobiler Tank für Notfallmassnahmen		3'000 l (muss befüllt werden)	
ZM5	Vorratstank (2)	PE70/80B001	64'600 l	50'000
ZM5	Betriebstank	PE76/86B001	2'850 l	2'850 l
ZS1	Lagertank (2)	PE03/04B001	256'500 l	230'000 l
ZS1	Heizöllagertank[12]	PE01/02B001	256'500 l	230'000 l

Die verfügbaren Dieselvorräte gestatten bei dem Störfall „Verlust der elektrischen Eigenbedarfsversorgung" einen autonomen Betrieb aller Notstromdiesel EY11...EY41D001 von bis zu 29 h. Da nur ein Notstromaggregat benötigt wird, um den Zustand heiss abgestellt aufrecht erhalten zu können, kann mit Hilfe der erforderlichen Zu- und Abschaltungen ein autonomer Betrieb im Falle des Verlustes des elektrischen Eigenbedarfs (Ausfall beider Fremdnetzeinspeisungen 400 kV und 220 kV) eine wesentliche Verlängerung der Autonomiezeiten erreicht werden. Die Tabelle 23 gibt einen Überblick über die Zeitdauer eines möglichen autonomen Betriebs der verschiedenen Abfahrpfade (vgl. Kapitel 3.2.4) im Falle eines lang andauernden Notstromfalls.

12 Heizöl kann als Dieselersatz verwendet werden

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

In jedem Fall kann unter Berücksichtigung der auf der Anlage verfügbaren Ressourcen ein sicherer Anagenzustand über mehr als 72 h aufrechterhalten werden, selbst wenn der Notstromfall durch ein extremes externes Ereignis verursacht wurde (vgl. Kapitel 4 und 5). Wurde der Notstromfall auf einem anderen Wege verursacht (Zusammenbruch des externen Netzes) so ist ein Langzeitbetrieb bis zu mehr als 100 Tagen (>2'400 Stunden) möglich.

Tabelle 23 Autonomiebetrieb der Anlage bei lang andauerndem Notstromfall

	Abfahrpfad 1 (YZ),	**Abfahrpfad 2 (RX)**	**Notfallmassnahme Abfahrpfad 3**
Systemtechnische Anforderungen	1 v 4 Notstromdiesel mit zugehörigen Funktionsketten	1 v 2 Notstandsdiesel mit zugehörigen Funktionsketten, Brennelement-Lager-beckenkühlung über verkürzte Nachkühlkette	Sekundärseitiges Feed and Bleed, fremdenergielos
Zeitdauer (mit Ergänzung der Dieselvorräte der Notstromdiesel aus lokalen Vorräten)	ca. 84 h	> 2'400 h (> 100 Tage)	> 72 h (bis Eintreffen externer Hilfe)
Begrenzende Komponente (begrenzender Parameter) für Wärmeabfuhr aus dem Reaktor	Dieselvorräte in der zweiten Wasserfassung M5	Dieselvorräte auf der Anlage	Personalressourcen
BE-Beckenkühlung	Im Leistungsbetrieb innerhalb der ersten 72 h auch bei maximaler Beckenleistung nicht erforderlich, daher >156 h	>2'400 h (>100 Tage)	> 72 h (bis Eintreffen externer Hilfe)
Begrenzende Komponente (begrenzender Parameter) für Wärmeabfuhr aus dem BE-Lagerbecken	Dieselvorräte in der zweiten Wasserfassung M5	Dieselvorräte auf der Anlage	Personalressourcen
Autarkiezeit der Anlage bei lang andauerndem Notstromfall	> 2'400 h (bis Eintreffen externer Hilfe)		

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

7.1.3 Besondere Anforderungen an die Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb

Im Nichtleistungsbetrieb (z. B. bei einem Brennelementwechsel) wird im KKG das automatische Reaktorschutzsystem unscharf geschaltet, um Fehlanregungen von Sicherheitssystemen ausschliessen zu können. Das nullredundante Notstromsignal, welches zu einem automatischen Start der Notstromdiesel führt, bleibt jedoch verfügbar. Sicherheitssysteme müssen durch Operateurhandlungen in Betrieb genommen werden, wofür mit Ausnahme von Betriebszuständen mit reduziertem Kühlmittelinventar grosse Zeitfenster zur Verfügung stehen (vgl. Kapitel 9.5).

In Anlagezuständen mit reduziertem Kühlmittelinventar wird das Notstandsgebäude durch die Betriebsmannschaft besetzt. Damit ist sicher gestellt, dass bei Bedarf das Notstandsystem einschliesslich der verkürzten Nachkühlkette zügig in Betrieb genommen werden kann. Die Durchschaltung der verkürzten Nachkühlkette (vgl. Kapitel 3.2.2.5.4.3, 3.2.2.8.2, 3.3.7) wird dazu vorgängig gemäss einer Checkliste im Betriebshandbuch (BHB, vgl. Kapitel 9) vorbereitet.

Entsprechend den Vorgaben der technischen Spezifikation müssen während der Phase der Reduktion des Kühlmittelinventars (Übergang auf „Mitte-Loop-Betrieb“ (im KKG ein 3/4-Loop-Betrieb)) bis zum Öffnen des Reaktorkühlkreislaufs mindestens zwei Dampferzeuger im druckentlasteten Zustand und zur Atmosphäre geöffnet für die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr verfügbar gehalten werden. Damit kann bei Störungen in der Nachwärmeabfuhr bei Erfordernis wieder auf die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr umgestellt werden. Zudem werden durch diese Massnahmen die Karenzzeiten für die Einleitung von Gegenmassnahmen deutlich vergrössert [7-9]. In diesem Zustand stehen alle auch für den Leistungsbetrieb verwendeten Sicherheits- und Systemfunktionen (soweit diese nicht von Unterhaltsarbeiten betroffen sind) zur Verfügung. Im KKG wird auch während der jährlichen Revisionen stets nur geplanter Unterhalt in einer einzelnen (der 6 für die Nachwärmeabfuhr vorhandenen) Redundanzen durchgeführt.

Die Dauer des „Mitte-Loop Betriebs“ bei geöffnetem Reaktor wird während den Revisionen des KKG bewusst sehr kurz gehalten. In dieser Zeitphase steht die sekundärseitige Nachwärmeabfuhr (aus physikalischen Gründen, bei einem Ausfall der Nachwärmeabfuhr würde die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor in das Containment erfolgen) nicht zur Verfügung. Das Notkühl- und Nachwärmeabfuhrsystem ist notstromgesichert. Die Nachwärmeabfuhr kann auch aus dem Notstandssystem erfolgen, wobei bei Bedarf die verkürzte Nachkühlkette in Betrieb zu nehmen ist.

Während des „Mitte-Loop Betriebs“ befindet sich der Pikettingenieur im Kommandoraum. Neben den verfügbaren Sicherheitsfunktionen sind Notfallmassnahmen vorbereitet, wie die Einspeisung von Kühlmittel aus den Flutbehältern mit den Notstandsnachkühlpumpen TH17/TH37 oder die Einspeisung von Kühlmitteln aus den normalerweise abgesperrten Druckspeichern.

Während des „Mitte-Loop-Betriebs“ werden keine geplanten Unterhaltsarbeiten durchgeführt. Arbeiten im elektrischen Eigenbedarf werden während dieses Zustands ebenfalls nicht durchgeführt. Um dies auch für den nicht von KKG zu verantwortenden Bereich (Hochspannungsschaltanlagen, Transformatoren AT01..3, AU01, AU02) sicher zu stellen, wurden entsprechende Vereinbarungen mit dem Netzbetreiber getroffen.

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

Die Kühlung des Brennelementlagerbeckens im Containment kann mit den 3 verfügbaren Beckenkühlkreisen (mit total 5 Pumpen) sichergestellt werden. Alle Pumpen und zugehörigen Einrichtungen sind notstromversorgt. Zudem stehen Notfallmassnahmen für die BE-Beckenbespeisung zur Verfügung (vgl. Kapitel 3.3.3, Kapitel 9). Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Notstromfall nicht betroffen.

7.1.4 Verbesserungsmassnahmen

Im Notstandsgebäude wurde neu (nach dem 30.6.2011) ein mobiler Dieseltank mit einem Kraftstoffvorrat von ca. 13'000 l inklusive benötigter Hilfseinrichtungen installiert. Damit ist es möglich einen Langzeitbetrieb der Notstandssysteme über mehr als 72 h allein mit Hilfe der im Gebäude vorhandenen Ressourcen sicherzustellen.

7.2 Ausfall der externen Spannungsversorgung und der auf der Anlage verfügbaren Notstromversorgungseinrichtungen (Station Blackout – SBO)

7.2.1 Ausfall der externen Spannungsversorgung und der gewöhnlichen Notstromversorgungseinrichtungen (Station Blackout)

7.2.1.1 Ausfälle die zu einem Station Blackout führen

Dieses Störfallszenarium (Station Blackout) setzt den Ausfall der folgenden Einrichtungen zur Spannungsversorgung voraus:

- 400 kV – Netzeinspeisung
- 220 kV – Netzeinspeisung
- Noteinspeisung vom Wasserkraftwerk Gösgen über 50 kV Netz (Notfallmassnahme zur mittelfristigen Wiederherstellung einer externen Einspeisung)
- Ausfall der 4 x 100 % Notstromdiesel EY11/EY21/EY31/EY41D001, die paarweise in getrennten Notstromdieselgebäuden untergebracht sind (vgl. Kapitel 3.2.2.8.1) und innerhalb dieser Gebäude räumlich separiert sind.

7.2.1.2 Verhalten der Anlage bei Station Blackout

Bei einem Station Blackout stehen (siehe Kapitel 3.2.4, Tabelle 23) im KKG die Notstandssysteme (Abfahrpfad 2, 2 x 100 %) sowie die vorbereiteten Notfallmassnahmen (Abfahrpfad 3, siehe Kapitel 9) zur Verfügung. Der Abfahrpfad 1 steht in Folge des Ausfalls der normalen Notstromeinrichtungen nur eingeschränkt (Abfahren mit Hilfe des Notstandsystems und der verkürzten Nachkühlkette (TH-VX) an Stelle der auslegungsgemässen Sicherheitsnachkühlkette

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

TH-TF-VE-VA) zur Verfügung. In einer derartigen Situation würde zumindest mittelfristig ein Verbleiben der Anlage im Zustand „heiss abgestellt" mit Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger vorgezogen werden. Ein Übergang zum Zustand „kalt abgestellt" bleibt jedoch insbesondere nach Eintreffen externer Unterstützung (>72 h) möglich. Sofern das betrachtete Unfallszenarium nicht durch ein extremes externes Ereignis verursacht wird (vgl. Kapitel 4 und 5) kann die Anlage bei unterstellter Verfügbarkeit einer Redundanz des Notstandssystems bis zu mehr als **2'400 h** (>100 Tage) allein mit den auf der Anlage verfügbaren Mitteln in einem sicheren Anlagenzustand gehalten werden. Dies macht Personalhandlungen zur Ergänzung der Dieselkraftstoffvorräte im Notstandsgebäude erforderlich. Dafür stehen ausreichende Dieselkraftstoffvorräte auf der Anlage zur Verfügung (vgl. Kapitel 7.1, Tabellen 22-23).

Analysen haben gezeigt (u. a. [7-11]), dass die Nachwärmeabfuhr selbst im Fall eines ATWS mit überlagertem Notstandsfall (Station Blackout) über lange Zeit sicher gestellt werden kann.

Die Notstandssysteme sind so ausgelegt, dass sowohl die Kühlung der Reaktoranlage als auch eine Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment möglich sind. Über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden sind keine Operateureingriffe zur Sicherstellung eines sicheren Anlagezustands erforderlich. In diesem Fall erfolgt die Nachwärmeabfuhr durch Bespeisen eines Dampferzeugers mit dem Notstandssystem RX und Verdampfen des eingespeisten Deionats. Es ist möglich die Kühlung der BE-Lagerbecken über ein Zeitfenster von 24 h zu unterbrechen (vgl. Kapitel 9). Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Station Blackout nicht betroffen.

7.2.1.3 Besondere Anforderungen an die Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb beim Notstandsfall (SBO)

Bezüglich der generellen Randbedingungen bezüglich des Eintritts eines Spannungsverlustes wird auf Kapitel 7.1.3 verwiesen. Die Notstandssysteme sind so ausgelegt, dass sowohl die Kühlung der Reaktoranlage als auch eine Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment möglich sind. Eine Kühlung des BE-Lagerbeckens im Containment ist innerhalb der ersten 24 h nach Eintritt eines Station Blackouts nicht erforderlich. Wird die BE-Beckenkühlung über eine so lange Zeitperiode unterbrochen, so muss das BE-Lagerebecken im Containment zunächst mit Notfallmassnahmen wieder aufgefüllt werden. Dies ist möglich durch Einspeisung von Kühlmittel aus den Flutbehältern mit Hilfe der Notstandsnachkühlpumpen TH17/TH37 oder durch Einspeisen von Wasser mit Hilfe von Feuerlöscheinrichtungen über vorbereitete Stutzen. Anschliessend kann die BE-Beckenkühlung wieder in Betrieb genommen werden. Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Station Blackout nicht betroffen.

7.2.1.4 Verbesserungsmassnahmen

Die in Kapitel 7.1.4 genannte Verbesserungsmassnahme führt auch zu einer Verbesserung bei der Störfallbeherrschung eines Notstandsfalls (Station Blackout). Aufgrund einer Verfügung des ENSI werden bis Ende 2012 Anzeigen für die Kühlmitteltemperatur im BE-Becken im Containment sowie für den Füllstand im BE-Becken in der Notsteuerstelle im Notstandsgebäude ZX nachgerüstet.

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

7.2.2 Ausfall der externen Spannungsversorgung und aller auf der Anlage verfügbaren Wechselstromquellen (Total Station Blackout)

7.2.2.1 Ausfälle die zu einem Totalen Station Blackout führen

Dieses Störfallszenarium (Totaler Station Blackout) setzt den Ausfall der folgenden Einrichtungen zur Spannungsversorgung voraus:

- 400 kV – Netzeinspeisung
- 220 kV – Netzeinspeisung
- Noteinspeisung vom Wasserkraftwerk Gösgen über 50 kV Netz (Notfallmassnahme zur mittelfristigen Wiederherstellung einer externen Einspeisung)
- Ausfall der 4 x 100 % Notstromdiesel EY11/EY21/EY31/EY41D001, die paarweise in getrennten Notstromdieselgebäuden untergebracht sind (vgl. Kapitel 3.2.2.8.1) und innerhalb dieser Gebäude räumlich separiert sind.
- Ausfall der Notstandsysteme mit den Notstandsdieseln FY51/61D001 im Notstandsgebäude ZX (2 x 100 %, räumlich von den gewöhnlichen Notstromdieseln separiert)

Entsprechend den vorgegebenen Randbedingungen für den EU-Stresstest wird auch der Ausfall vorhandener mobiler Notstromaggregate der Feuerwehr und des Zivilschutzes unterstellt.

7.2.2.2 Verhalten der Anlage bei einem Totalen Station Blackout

Von den verfügbaren (vgl. Kapitel 3.2.4) drei Abfahrpfaden steht bei einem Totalen Station Blackout nur der Abfahrpfad 3 (Sekundärseitiges Feed and Bleed) als Notfallmassnahme zur Verfügung. Diese Massnahmen können fremdenergielos durchgeführt werden. Um eine einfache Diagnose des Anlagenzustandes sicherstellen zu können, ist es sinnvoll, die Gegenmassnahmen innerhalb der durch die Batteriekapazität vorgegebenen Lebensdauer der Störfallinstrumentierung und der Notbeleuchtung einzuleiten. Bei Berücksichtigung des Ausfalls der Mehrzahl der normalerweise vom Gleichspannungsnetz versorgten Verbraucher reicht diese Lebensdauer über mehrere Stunden bis ca. 8 h (220V GS Netz) an.

Durchgeführte Analysen ([7-7, technische Beilagen] haben gezeigt, dass bei einer rechtzeitigen Einleitung der sekundärseitigen Druckentlastung und Bespeisung der Dampferzeuger mit Hilfe von Feuerlöscheinrichtungen (vgl. Kapitel 9, [7-12]) auch ein über mehr **als 72 h** andauernder Totaler Station Blackout ohne störfallinduzierte Brennstoffschäden beherrscht werden kann. Das auf der Anlage verfügbare Personal und die verfügbaren Zeitfenster sind ausreichend für die Durchführung der erforderlichen Handlungen.

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

7.2.2.3 Besondere Anforderungen an die Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb (Totaler Station Blackout)

Bezüglich der generellen Randbedingungen bezüglich des Eintritts eines Spannungsverlustes wird auf Kapitel 7.1.3 verwiesen. Die höchsten Anforderungen an die Unfallbeherrschung stellt der Eintritt eines Totalen Station Blackouts während des „Mitte-Loop-Betriebs" bei geöffnetem Reaktorkühlkreislauf. Aufgrund der kurzen Zeitdauer dieses Anlagenzustands ist der Eintritt dieses Unfallszenariums sehr unwahrscheinlich. Dennoch sind Notfallmassnahmen vorbereitet. Zu diesen Massnahmen gehört die Einspeisung von Kühlmittel aus den normalerweise abgesperrten Druckspeichern und im Extremfall die Einspeisung von Wasser mit Hilfe von Feuerlöscheinrichtungen über einen vorbereiteten Anschlussstutzen in den vierten Strang des Not- und Nachkühlsystems (TH40) oder direkt in den Reaktor (solange das Containment zugänglich ist). Eine Kühlung des BE-Lagerbeckens im Containment ist innerhalb der ersten 24 h nach Eintritt eines Station Blackouts nicht erforderlich. Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Totalen Station Blackout nicht betroffen.

7.2.2.4 Verbesserungsmassnahmen

Entsprechend einer Verfügung des ENSI werden bis Ende 2012 zusätzliche Einspeisestutzen zur Kühlung der BE-Becken mit Hilfe von Notfallmassnahmen vorbereitet.

Referenzen zu Kapitel 7

[7-1] HSK / KSA , Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, HSK 17/400, KSA17/261, November 1999 (Prüfstatus D1, Behördliche Prüfunterlage) – im Internet durch das ENSI publiziert

[7-2] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungs-verfahren)

[7-3] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Aus-legung des KKG, BER-D-50708, 2011 Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfah-ren)

[7-4] KKG, Sicherheitsstatusanalyse (SSA) Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG/D) mit Druckwasserreaktor, ALD-D-32994, 2008, Prüftstaus D1 (Grobprüfung durch ENSI abgeschlossen)

[7-5] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER-D-33022, 2008, Prüftstatus D1 (Prüfung durch ENSI abgeschlossen)

[7-6] KKG, Sicherheitsbericht BE-Nasslager, Revision 1, AREVA - Prüfstatus D1 (Validiert)

[7-7] Sicherheitstechnischer Nachweis des Hochwasserschutzes - Verfügung des ENSI vom 1. April 2011, BER-D-51283, 2011, Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigngsverfahren)

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

[7-8] GPSA2009: Gösgen Probabilistic Safety Assessment, R-1699596-1751, 2008 (D1 – vgl. Kapitel 3.5)

[7-9] KKG, PSA: Validation of Time Windows for External Events HRA, Rev. 1, ANO-D-33959, 2008

[7-10] PSÜ 2008: Systemhandbücher, Stand 2009 (D2, in Prüfung beim ENSI)

[7-11] KKG, Störfallanalysen: Kontrollrechnung ATWS mit Notstromfall, BER-D-45339, 2010 (D2, eingereicht zur Prüfung beim ENSI)

[7-12] KKG, Notfallhandbuch, Aktuelle Fassung zum Zeitpunkt der Berichtserstellung, HDB-D-19319

8 Ausfall der Hauptwärmesenke

Die Auslegung der Kühlwasserversorgung des KKG ist in Kapitel 3.2.2.8 zusammenfassend, sowie in den Referenzunterlagen [8-1] bis [8-5] detailliert beschrieben. Eine Bewertung der Zuverlässigkeit der Kühlwasserversorgung wurde in der Sicherheitsstatusanalyse [8-4] vorgenommen und kann an Hand der Systemzuverlässigkeitsanalysen (Fehlerbäume) der PSA [8-6] nachvollzogen werden. Als Wärmesenken stehen zur Verfügung:

- Flusswasser bei Entnahme aus der ersten Wasserfassung M0 im Oberwasserkanal des Wasserkraftwerkes Gösgen
- Flusswasser bei Entnahme aus der zweiten Wasserfassung M5 aus dem Unterwasserkanal des Wasserkraftwerkes Gösgen
- Grundwasser aus den beiden Grundwasserbrunnen des Notstandsgebäudes ZX.

Die Wärmeabfuhr kann dabei über die Kühlwasserketten

- TH –TF–VE –VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der ersten Wasserfassung (M0 – primary ultimate heat sink = Hauptwärmesenke)
- TH – TF – VE –VA mit Nebenkühlwasserversorgung aus der zweiten Wasserfassung (M5, 2 x 100 %)
- TH – VX Verkürzte Nachkühlkette, Nebenkühlwasserversorgung aus 2 x 100 % Grundwasserbrunnen (ZX)

oder aber an die Atmosphäre über die Frischdampfabblasestation, die FD-Sicherheitsventile oder das Fremd- und Hilfsdampfsystem UP/RQ erfolgen.

In einem extremen Notfall (schwerer Unfall) kann die Wärme auch über die Druckhaltersicherheitsventile in das Containment abgeführt (Primärseitige Druckentlastung) und

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

von dort mit Hilfe des gefilterten Containment-Druckentlastungssystems in die Atmosphäre abgegeben werden.

8.1 Verhalten der Anlage bei Ausfall der Hauptwärmesenke

8.1.1 Ausfall der Hauptwärmesenke ohne Notstromfall

Der Ausfall der Hauptwärmesenke M0 ist eine in der Auslegung der Anlage berücksichtigte Anlagentransiente [8-4]. Bei diesem Auslegungsstörfall stehen alle in Kapitel 3.2.4 aufgeführten Abfahrpfade zum Aufrechterhalten eines sicheren Anlagenzustands zur Verfügung (vgl. Tabelle 23, Kapitel 3.2.4). Ein Ausfall der Hauptwärmesenke führt zu einer Reaktorschnellabschaltung. Mit Hilfe der Kühlwasserschutzlogik erfolgt eine automatische Umschaltung auf die zweite Kühlwasserfassung, welche die für die Nachwärmeabfuhr aus der Reaktoranlage, dem Containment und dem Brennelement-Lagerbecken im Containment erforderliche Kühlwasserversorgung sicherstellt. Die Brennelement-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Ausfall der Hauptwärmesenke nicht betroffen.

Mit Hilfe der zweiten Kühlwasserfassung kann die Anlage **zeitlich unbegrenzt** ohne Zuhilfenahme externer Ressourcen in einem sicheren Zustand (kalt abgestellt) gehalten werden. Da die Kühlwasserversorgung aus der zweiten Wasserfassung mit Hilfe von dieselgetrieben Kühlwasserpumpen sichergestellt wird, sind die in der zweiten Wasserfassung vorhandenen Dieselvorräte zu ergänzen. Ohne Ergänzung der Dieselvorräte ist ein Betrieb über ca. **84 Stunden** möglich. Tabelle 11 kann entnommen werden, dass hierfür ausreichende Dieselvorräte auf der Anlage vorhanden sind, die zur zweiten Wasserfassung transportiert werden müssen. Es bestehen Vereinbarungen zur kurzfristigen Lieferung von Dieselkraftstoff mit Lieferanten (externer Eingriff), auf die gegebenenfalls langfristig (**nach 3 Tagen**) zurückgegriffen werden kann. Weiterhin besteht die Möglichkeit die Elektropumpe VA93D001 in Betrieb zu nehmen, sofern das externe elektrische Netz zur Verfügung steht. Ein Ausfall der Hauptwärmesenke führt nicht kausal zu einem Ausfall der externen Netzverbindung zur zweiten Wasserfassung. Die Kapazität der Elektropumpe ist genügend, um die für die Nachwärmeabfuhr ab ca. einem Tag nach der Reaktorschnellabschaltung erforderliche Kühlwassermenge sicherzustellen.

Das Vorgehen der Betriebsmannschaft bei Ausfall der ersten Wasserfassung und Reaktorschnellabschaltung ist im symptomorientierten Störfall-BHB des KKG definiert (vgl. Kapitel 9, [8-7]). Zusätzlich wird bei einem technischen Notfall der Notfallstab aufgeboten [8-8]. Bei Erfordernis kann längerfristig auf externe Unterstützung unter Verwendung der Hilfsmittel aus dem externen Notfalllager der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber in Reitnau und zusätzliches Personal zurückgegriffen werden. Damit steht ausreichend qualifiziertes Personal für die Bewältigung der Störfallsituation zur Verfügung.

Auslegungsgemäss kommt es zu keinen störfallinduzierten Brennstoffschäden bei diesem Störfallablauf.

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

Da bei zusätzlichen Störungen das Notstandssystem zur Verfügung (2 x 100%) steht und Notfallmassnahmen vorbereitet sind, gibt es keinen direkt mit einem Ausfall der Hauptwärmesenke zu verknüpfenden „Cliff Edge" Effekt. Für die Beherrschung des Störfalls „Ausfall der Hauptwärmesenke" sind auslegungsgemäss keine Notfallmassnahmen notwendig. Ein zusätzlicher zu postulierender Ausfall der zweiten Wasserfassung (im Sinne einer Verschärfung des Unfallablaufs „Cliff edge") ist in Kapitel 8.2 behandelt.

8.1.2 Ausfall der Hauptwärmesenke mit Notstromfall

Grundsätzlich sind die Ausführungen zum Verhalten der Anlage bei Ausfall der Hauptwärmesenke ohne Notstromfall in Kapitel 8.1.1 auf diese Situation übertragbar. Lediglich die Elektrokühlwasserpumpe VA93D001 kann für die Kühlwasserversorgung nicht herangezogen werden, was eine Ergänzung des Dieselkraftstoffs unter Verwendung externer Mittel **nach 84 h** erforderlich macht.

Das Vorgehen der Betriebsmannschaft bei Ausfall der ersten Wasserfassung und Reaktorschnellabschaltung ist im symptomorientierten Störfall-BHB des KKG [8-7] definiert. Bei einer Verletzung von Schutzzielen der nuklearen Sicherheit erfolgt ein Übergang in das Notfallhandbuch. Zusätzlich wird bei einem technischen Notfall der Notfallstab [8-8] aufgeboten. Bei Erfordernis kann längerfristig auf externe Unterstützung unter Verwendung der Hilfsmittel aus dem externen Notfalllager der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber in Reitnau und zusätzliches Personal zurückgegriffen werden. Damit steht ausreichend qualifiziertes Personal für die Bewältigung der Störfallsituation zur Verfügung.

Auslegungsgemäss kommt es zu keinen störfallinduzierten Brennstoffschäden bei diesem Störfallablauf.

Da bei zusätzlichen Störungen das Notstandssystem zur Verfügung (2 x 100 %) steht und Notfallmassnahmen vorbereitet sind, gibt es keinen direkt mit einem Ausfall der Hauptwärmesenke zu verknüpfenden „Cliff Edge" Effekt. Für die Beherrschung des Störfalls „Ausfall der Hauptwärmesenke" sind auslegungsgemäss keine Notfallmassnahmen notwendig. Ein zusätzlicher zu postulierender Ausfall der zweiten Wasserfassung (im Sinne einer Verschärfung des Unfallablaufs „Cliff edge") ist in Kapitel 8.2 behandelt.

8.2 Ausfall der Hauptwärmesenke und der zweiten Wasserfassung

Der Ausfall beider Wasserfassungen ist bezüglich der anlagendynamischen Anforderungen durch den Störfall „Lang andauernder Notstromfall mit Verfügbarkeit des Notstandssystems" abgedeckt. Das Anlageverhalten entspricht dem in Kapitel 7.2.1.2 beschriebenen Fall des Eintritts eines Station Blackouts (Notstandsfall). Dabei stehen (siehe Tabelle 23 und Kapitel 3.2.4) im KKG die Notstandssysteme (Abfahrpfad 2, 2 x 100 %) sowie die vorbereiteten Notfallmassnahmen (Abfahrpfad 3, und Kapitel 9) zur Verfügung. Der Abfahrpfad 1 steht in Folge des Ausfalls der Kühlwasserversorgung nur eingeschränkt zur Verfügung. Ein Abfahren der Anlage mit Hilfe des Notstandsystems und der verkürzten Nachkühlkette (TH-VX) an Stelle der auslegungsgemässen

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

Sicherheitsnachkühlkette (TH-TF-VE-VA) ist jedoch möglich. Ein Verbleiben der Anlage im Zustand „heiss abgestellt" mit Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger wird in dieser Situation bevorzugt. Ein Übergang zum Zustand „kalt abgestellt" kann nach Eintreffen externer Unterstützung (>72 h) durchgeführt werden. Sofern das betrachtete Unfallszenarium nicht durch ein extremes externes Ereignis verursacht wird (vgl. Kapitel 4 und 5) kann die Anlage bei unterstellter Verfügbarkeit einer Redundanz des Notstandssystems bis zu mehr als **2'400 h** (>100 Tage) allein mit den auf der Anlage verfügbaren Mitteln in einem sicheren Anlagenzustand gehalten werden. Dies macht Personalhandlungen zur Ergänzung der Dieselkraftstoffvorräte im Notstandsgebäude erforderlich. Dafür stehen ausreichende Dieselkraftstoffvorräte auf der Anlage zur Verfügung (vgl. Tabelle 22).

Die Notstandssysteme sind so ausgelegt, dass sowohl die Kühlung der Reaktoranlage als auch eine Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment möglich sind. Über einen Zeitraum von **mehr als 24 Stunden** sind **keine** Operateureingriffe zur Sicherstellung eines sicheren Anlagezustands erforderlich. In diesem Fall erfolgt die Nachwärmeabfuhr durch Bespeisen eines Dampferzeugers mit dem Notstandssystem RX und Verdampfen des eingespeisten Deionats. Es ist möglich die Kühlung der BE-Lagerbecken über ein Zeitfenster von 24 h zu unterbrechen (vgl. Kapitel 9). Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Station Blackout nicht betroffen.

Das Vorgehen der Betriebsmannschaft bei einem Notstandsfall ist im symptomorientierten Störfall-BHB des KKG definiert [8-7]. Zusätzlich wird bei einem technischen Notfall der Notfallstab aufgeboten [8-8]. Bei einer Verletzung von Schutzzielen der nuklearen Sicherheit erfolgt ein Übergang in das Notfallhandbuch [8-9]. Für die Durchführung der Personalhandlungen stehen ausreichende Zeitfenster zur Verfügung, auch wenn die Ausfälle durch externe Ereignisse verursacht wurden [8-10]. Bei Erfordernis kann längerfristig auf externe Unterstützung unter Verwendung der Hilfsmittel aus dem externen Notfalllager der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber in Reitnau und zusätzliches Personal zurückgegriffen werden. Damit steht ausreichend qualifiziertes Personal für die Bewältigung der Störfallsituation zur Verfügung.

Eine Unterscheidung zwischen Unfallabläufen mit und ohne Eintritt eines Notstromfalls ist nicht erforderlich, da in beiden Fällen als langfristig verfügbare systemtechnische Ressource allein das Notstandssystem verfügbar verbleibt (2 x 100 %), welches speziell für die Beherrschung derartiger Unfallabläufe konzipiert wurde.

Auslegungsgemäss kommt es zu keinen störfallinduzierten Brennstoffschäden bei diesem Störfallablauf.

8.3 Ausfall der Hauptwärmesenke und Eintritt des Station Blackouts (Notstandsfall) oder des Totalen Station Blackouts

Aus anlagendynamischer Sicht unterscheidet sich dieser Unfall nicht signifikant von dem bereits betrachteten Fall eines Station Blackouts. Es stehen die Abfahrpfade 2 und 3 gemäss Tabelle 23 (vgl. 3.2.4) zur Verfügung. Der Abfahrpfad 1 (Tabelle 23) steht in Folge des Ausfalls der Kühlwasserversorgung nur eingeschränkt (Abfahren mit Hilfe des Notstandsystems und der

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

verkürzten Nachkühlkette (TH-VX) an Stelle der auslegungsgemässen Sicherheitsnachkühlkette TH-TF-VE-VA) zur Verfügung. In einer derartigen Situation würde zumindest mittelfristig ein Verbleiben der Anlage im Zustand „heiss abgestellt" mit Wärmeabfuhr über die Dampferzeuger vorgezogen werden. Ein Übergang zum Zustand „kalt abgestellt" bleibt jedoch insbesondere nach Eintreffen externer Unterstützung (>72 h) möglich. Sofern das betrachtete Unfallszenarium nicht durch ein extremes externes Ereignis verursacht wird (vgl. Kapitel 4 und 5) kann die Anlage bei unterstellter Verfügbarkeit einer Redundanz des Notstandssystems bis zu mehr als **2'400 h** (>100 Tage) allein mit den auf der Anlage verfügbaren Mitteln in einem sicheren Anlagenzustand gehalten werden. Dies macht Personalhandlungen zur Ergänzung der Dieselkraftstoffvorräte im Notstandsgebäude erforderlich. Dafür stehen ausreichende Dieselkraftstoffvorräte auf der Anlage zur Verfügung (vgl. Tabelle 22).

Die Notstandssysteme sind so ausgelegt, dass sowohl die Kühlung der Reaktoranlage als auch eine Kühlung des Brennelement-Lagerbeckens im Containment möglich sind. Über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden sind keine Operateureingriffe zur Sicherstellung eines sicheren Anlagezustands erforderlich. In diesem Fall erfolgt die Nachwärmeabfuhr durch Bespeisen eines Dampferzeugers mit dem Notstandssystem RX und Verdampfen des eingespeisten Deionats. Es ist möglich die Kühlung der BE-Lagerbecken über ein Zeitfenster von 24 h zu unterbrechen (vgl. Kapitel 9). Die BE-Beckenkühlung im externen Nasslager erfolgt durch passive Kühlsysteme inhärent sicher im Naturumlauf und ist vom Station Blackout nicht betroffen.

Das Vorgehen der Betriebsmannschaft bei einem Notstandsfall ist im symptomorientierten Störfall-BHB des KKG definiert. Zusätzlich wird bei einem technischen Notfall der Notfallstab aufgeboten. Bei einer Verletzung von Schutzzielen der nuklearen Sicherheit erfolgt ein Übergang in das Notfallhandbuch (Referenzen [8-7] bis [8-9]). Bei Erfordernis kann längerfristig auf externe Unterstützung unter Verwendung der Hilfsmittel aus dem externen Notfalllager der Schweizer Kernkraftwerksbetreiber in Reitnau und zusätzliches Personal zurückgegriffen werden. Damit steht ausreichend qualifiziertes Personal für die Bewältigung der Störfallsituation zur Verfügung.

Auslegungsgemäss kommt es zu keinen störfallinduzierten Brennstoffschäden bei diesem Störfallablauf.

Der Ausfall der Hauptwärmesenke mit gleichzeitigem Eintritt eines Totalen Station Blackouts führt anlagendynamisch zu den gleichen Unfallabläufen wie sie bereits in Kapitel 7.2.2 betrachtet wurden.

8.4 Besondere Randbedingungen an die Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb

Die zu beachtenden speziellen Randbedingungen bezüglich der Beherrschung von Störfällen im Nichtleistungsbetrieb sind in Kapitel 7.1.3 beschrieben und grundsätzlich auch auf Störfälle mit Ausfall der Wärmesenken übertragbar.

Die bezüglich eines möglichen Störfallablaufs ungünstigste Anlagenkonfiguration ist der „Mitte Loop" Betrieb (im KKG in der Realität ein 3/4- Loop Betrieb).

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

Bei den Störfällen *„Ausfall der Hauptwärmesenke" (mit und ohne Notstromfall)* bleiben aufgrund der automatischen Umschaltung auf die zweite Wasserfassung alle für die Nachwärmeabfuhr verfügbaren Sicherheitsfunktionen verfügbar, sofern sie nicht von einer gleichzeitig eintretenden ungeplanten Instandhaltungsmassnahme (unabhängige Störung) betroffen sind. Die Systeme müssen gegebenenfalls manuell in Betrieb genommen werden, weshalb den Personalhandlungen eine höhere Bedeutung zukommt (vgl. 7.1.3 und 9 bezüglich der geltenden Regelungen). Bei einer Verletzung von Schutzzielen der nuklearen Sicherheit erfolgt der Übergang ins Notfallhandbuch. Für Störfälle im Nichtleistungsbetrieb ist ein spezielles Kapitel mit Leitschema im Notfallhandbuch vorgesehen.

Die verfügbaren Karenzzeiten sind im Wesentlichen von der Verfügbarkeit der Dieselkraftstoffvorräte in der zweiten Wasserfassung bestimmt (**84 Stunden** ohne Massnahmen zur Dieselkraftstoffergänzung). Im Vergleich zur Situation im Leistungsbetrieb sind die Karenzzeiten wegen der geringeren Nachwärmeleistung etwas höher wenn der Zeitpunkt bis zum Eintritt eines Brennstoffschadens betrachtet wird. Auslegungsgemäss kommt es zu keinen störfallinduzierten Brennstoffschäden bei diesem Störfallablauf.

Beim Störfall „Ausfall beider Wasserfassungen" bleiben die Notstandssysteme verfügbar. Mit ihrer Hilfe kann die Wärmeabfuhr aus dem Reaktor und aus dem BE-Lagerbecken ohne störfallinduzierte Brennstoffschäden sichergestellt werden. Die Notstandsysteme müssen manuell in Betrieb genommen werden, insbesondere muss die verkürzte Nachkühlkette hergestellt werden. Während des „Mitte-Loop-Betriebs ist das Notstandsgebäude durch die Betriebsmannschaft besetzt (vgl. Kapitel 7.1.3, Analysen in [8-9]). Ein Langzeitbetrieb der Notstandseinrichtungen grösser 24 h macht eine Ergänzung der Dieselkraftstoffvorräte und ein Nachfüllen der Notstandsbecken aus dem Brunnenwassersystem VX oder über einen externen Füllanschluss von einem Deionattankfahrzeug aus, erforderlich. Ein mobiler Dieseltank mit den erforderlichen Hilfseinrichtungen (Stand 30.6.2011) befindet sich im Notstandsgebäude. Sofern das betrachtete Unfallszenarium nicht durch ein extremes externes Ereignis verursacht wird (vgl. Kapitel 4 und 5) kann die Anlage bei unterstellter Verfügbarkeit einer Redundanz des Notstandssystems bis zu mehr als **2'400 h** (>100 Tage) allein mit den auf der Anlage verfügbaren Mitteln in einem sicheren Anlagenzustand gehalten werden.

Der Störfall „Ausfall beider Wasserfassungen" und Ausfall der auslegungsgemässen Notstromversorgung verläuft im Nichtleistungsbetrieb analog dem bereits betrachteten Störfall „Ausfall beider Wasserfassungen". Da die Notstandsysteme verfügbar bleiben, kommt es auslegungsgemäss nicht zu störfallinduzierten Brennstoffschäden.

Darüber hinaus sind zusätzlich Notfallmassnahmen vorbereitet (vgl. Kapitel 7.1.3 und Kapitel 9).

8.5 Verbesserungsmassnahmen

Die in Kapitel 7.1.4 genannte Verbesserungsmassnahme (Installation eines grösseren, ca. 13'000 l Dieseltanks mit Hilfseinrichtungen im gefüllten Zustand) führt auch zu einer Verbesserung bei der Störfallbeherrschung von Unfallabläufen mit Ausfall der Wärmesenken (M0, und M5), da der Personalaufwand für das Nachfüllen der Dieseltanks im Notstandsgebäude verringert wird. Der

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

bisher installierte mobile Dieseltank kann für das Heranschaffen weiterer Dieselreserven aus anderen Anlagebereichen genutzt werden. Aufgrund einer Verfügung des ENSI werden bis Ende 2012 Anzeigen für die Kühlmitteltemperatur im BE-Becken im Containment sowie für den Füllstand im BE-Becken in der Notsteuerstelle im Notstandsgebäude ZX nachgerüstet. Dies trägt zu einer Verbesserung der Überwachung des Anlagezustands insbesondere im Nichtleistungsbetrieb nach Kernvollausladung bei.

Referenzen Kapitel 8

[8-1] HSK / KSA , Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken, HSK 17/400, KSA17/261, November 1999 (Prüfstatus D1, Behördliche Prüfunterlage) – im Internet durch das ENSI publiziert

[8-2] KKG, Sicherheitsbericht Stand 2008 – Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfahren)

[8-3] KKG, ENSI: Ereignisse in Fukushima – Bewertung der sicherheitstechnischen Auslegung des KKG, BER-D-50708, 2011 Prüftstatus D1 (Validiert im Genehmigungsverfah-ren)

[8-4] KKG, Sicherheitsstatusanalyse (SSA) Kernkraftwerk Gösgen-Däniken (KKG/D) mit Druckwasserreaktor, ALD-D-32994, 2008, Prüftstaus D1 (Grobprüfung durch ENSI abgeschlossen)

[8-5] KKG, Zusammenfassung der Ergebnisse der Periodischen Sicherheitsüberprüfung BER-D-33022, 2008, Prüftstatus D1 (Prüfung durch ENSI abgeschlossen)

[8-6] GPSA2009: Gösgen Probabilistic Safety Assessment, R-1699596-1751, 2008 (D1 – vgl. Kapitel 3.5)

[8-7] Betriebshandbuch des KKG, Störfall-BGB (Kapitel 3). Stand 30.6.2011, Prüfstatus D1 (Zustimmung der Einführung)

[8-8] KKG, Abläufe und Organisation im Notfall (Notfallreglement), RG-D-0004, 2011, Prüfstatus D1 (Freigabe)

[8-9] KKG, Notfallhandbuch, HDB-D-19319, Stand 30.6.2011, Prüfstatus D1 (Zustimmung bei Einführung, Meldepflicht)

[8-10] KKG, PSA: Validation of Time Windows for External Events HRA, Rev. 1, ANO-D-33959, 2008 , Prüfstatus D1 (Grobprüfung im Rahmen der PSÜ)

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

9 Notfallmanagement

9.1 Allgemeine Angaben

9.1.1 Aufbau der Notfallorganisation und Beurteilung der Wirksamkeit der Notfallorganisation

Das für die Notfallorganisation im KKG massgebende Reglement ist das Notfallreglement [9-1], welches den Aufbau der Notfallorganisation und die Aufgaben der einzelnen Elemente der Notfallorganisation beschreibt.

Die Notfall-Grundorganisation besteht aus dem Notfallleiter, dem amtierenden Pikettingenieur, dem Stabchef, dem Notfallstab und den Notfallequipen gemäss nachstehender Abbildung:

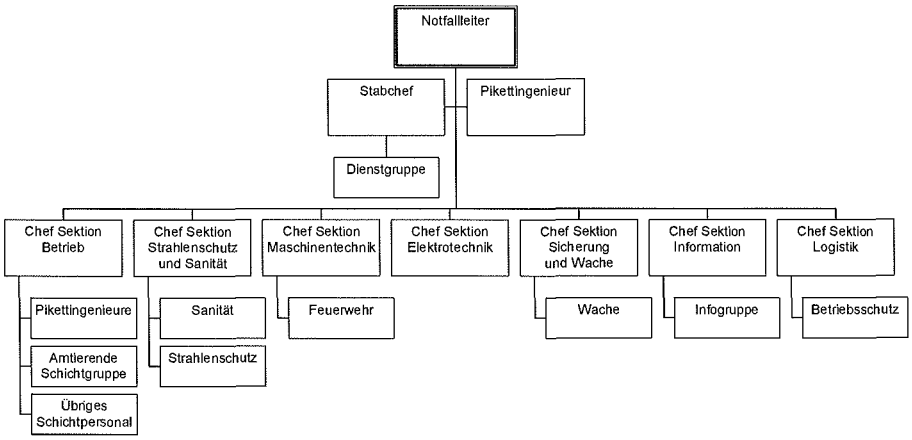


Abbildung 19 Organigramm Grundgliederung der Notfallorganisation

Der Notfallleiter, der Pikettingenieur, der Stabchef und der Notfallstab bilden zusammen die Notfallleitung.

In der Grundgliederung amtiert der Kraftwerksleiter als Notfallleiter. Bei dessen Abwesenheit übernimmt der stellvertretende Kraftwerksleiter dieses Amt. Sind beide abwesend, erfolgt die Übernahme durch den ersteingetroffenen technischen Abteilungsleiter (Abt. B, C, E, M).

Unmittelbar nach dem Auftreten eines Notfalles – bis zur Einsatzbereitschaft weiterer Kräfte – amtiert der Schichtchef bzw. im Bereich der Sicherung der Wachgruppenchef als Notfallleiter und führt die Aktionen zur Notfallbekämpfung. Sobald sich der amtierende Pikettingenieur mit der Situation vertraut gemacht hat, übernimmt er das Amt des Notfallleiters vom Schichtchef bzw. vom Wachgruppenchef.

Die Handlungsfähigkeit des Notfallstabes ist gegeben, sobald der Notfallleiter gemäss Grundgliederung und mindestens zwei Mitglieder des Notfallstabes anwesend und orientiert sind.

Jeder Vollzeitbeschäftigte des KKG kann entsprechend den Anstellungsgrundlagen zu einem Einsatz in einer Equipe der Notfallorganisation herangezogen werden. Diese Regelung, die

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

Bestandteil der Arbeitsverträge des KKG ist, stellt sicher, dass die Equipen der Notfallorganisationen stets über eine anforderungsgerechte Mannschaftsstärke verfügen.

Das Kraftwerksreglement des KKG [9-2] enthält in Übereinstimmung mit den behördlichen Vorgaben (Richtlinie G09) Festlegungen zur organisatorischen Mindeststärke des Personals, die im Alltagsbetrieb in der Regel übertroffen werden. Damit ist sichergestellt, dass stets eine Mindestanzahl an Fachpersonen verfügbar ist, welche für die Bewältigung einer Notfallsituation herangezogen werden können.

Die Mitglieder der Notfallorganisation behalten ihre Linienfunktion gemäss der Kraftwerksorganisation bei und können jederzeit auf ihre nicht in Notfallequipen eingeteilten Mitarbeiter zurückgreifen, sollte es die Situation erfordern.

Über einen Vertrag mit AREVA ist der Krisenstab der AREVA in Erlangen in die Notfallorganisation des KKG eingebunden. Gemäss Vertrag ist der Krisenstab der AREVA innerhalb von 2 Stunden nach Alarmierung einsatzbereit und unterstützt den Notfallstab des KKG bei der Lagebeurteilung.

Für die Betreuung möglicher Leidtragender eines Notfalls steht ein externes Help Care Team zur Verfügung, welches über eine vertragliche Vereinbarung in die Notfallorganisation des KKG eingebunden ist.

Die Notfallorganisation erfüllt die Anforderungen aus der Notfallschutzverordnung der Schweiz [9-3].

9.1.2 Entwicklung und Struktur der Störfall- und Notfallvorschriften im KKG

Die ersten Störfallvorschriften des KKG (Bestandteil des BHB) waren ereignisorientiert aufgebaut. Die Erfahrungen aus dem Reaktorunfall von TMI haben jedoch gezeigt, dass eine Störfalldiagnose unter Umständen erschwert sein kann. Der Einsatz von anlagenspezifischen Simulatoren hat zudem verdeutlicht, dass man die Vielzahl möglicher Randbedingungen eines Störfallablaufs nur schwer ereignisorientiert beschreiben kann. Bei Anlagen des gleichen Reaktorlieferanten hat diese Erkenntnis zur Entwicklung des Schutzziel-BHB geführt. Im KKG wurde die Schutzzielüberwachung ebenfalls eingeführt und in das Notfallreglement und in das neu erstellte Notfallhandbuch (seit 1994) aufgenommen [9-4].

International erfolgte nach TMI ein konsequenter Übergang von ereignisorientierten hin zu ausschliesslich symptom- bzw. schutzzielorientierten Vorschriften.

Nach der periodischen Sicherheitsüberprüfung 1999 wurde auch im KKG in enger Zusammenar¬beit mit dem führenden Reaktorlieferanten Westinghouse der Übergang von ereignisorientierten zu symptomorientierten Störfallvorschriften vollzogen. Die Schutzzielkontrolle ist in die Vorschriften integriert. Bei der Gestaltung der Vorschriften (Ergonomie, Handhabung, Aufgabenverteilung bei der Abarbeitung) wurde das Schichtpersonal umfassend einbezogen.

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

Die Einführung des neuen Störfall-BHB ging einher mit einem umfangreichen Verifizierungs- und Validierungsprogramm, wobei das grundsätzliche Vorgehen mit dem NUREG-0711 der US NRC übereinstimmte. Dieses Programm wurde von der Aufsichtsbehörde überwacht. Für die Verifizierung und Validierung des neuen Störfall-BHB wurde der 2000 in Betrieb genommene anlagenspezifische Simulator umfassend genutzt.

Die im KKG geltenden Notfallvorschriften wurden ebenfalls umfassend weiterentwickelt. In Beantwortung der erhöhten sicherheitstechnischen Anforderungen wurde durch das KKG gemeinsam mit dem Anlagelieferanten FANP/KWU das Konzept des integrierten Notfallmanagements entwickelt. Dieses Konzept beruht auf einer Fortschreibung des schutzzielorientierten Vorgehens im präventiven Bereich zu einem schadenszustandsorientierten Vorgehen im mitigativen Notfallbereich. Das *integrierte Notfallmanagement* wurde in Form eines überarbeiteten Notfallhandbuchs im KKG-Vorschriftenwerk implementiert. Der Inhalt des Notfallhandbuchs ist zusammenfassend in Kapitel 9.1.4 dargestellt.

Bei der Neugestaltung des Vorschriftenwerkes wurde das Notfallreglement zur übergreifenden administrativen Vorschrift für alle Notfallsituationen ausgestaltet. Das Notfallhandbuch wurde umfassend überarbeitet und neu gestaltet. Neben der Einführung des integrierten Notfallmanagements (technische Weiterentwicklung) wurde es auch neu strukturiert (modularer Aufbau) und mit zahlreichen Schemata und Hilfsmitteln ergänzt. Abbildung 20 zeigt die Struktur der Notfallvorschriften im KKG.

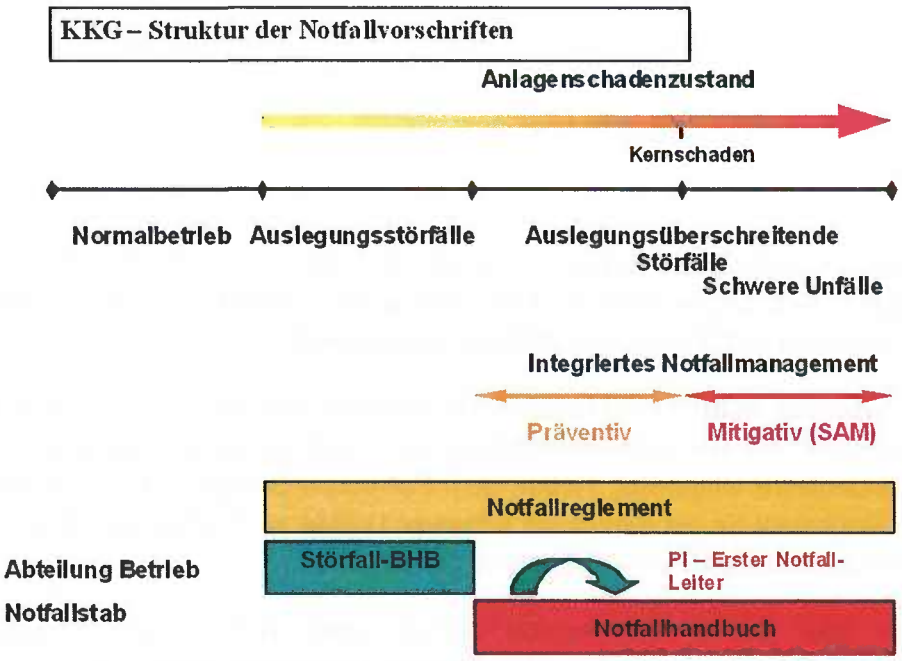


Abbildung 20 Struktur der Notfallvorschriften im KKG

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

Entsprechend dem im KKG gelebten Grundsatz der kontinuierlichen Verbesserung werden die für die Betriebsführung wichtigen Vorschriften bei Vorliegen neuer Erkenntnisse und unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus der Verwendung der Vorschriften (z.B. in Simulator- oder Notfallübungen) weiter verbessert. Dies betrifft auch die Störfall- und Notfallvorschriften. In der Regel erfolgen jährliche Überprüfungen der Vorschriften. Eine detaillierte Beurteilung der Notfallorganisation wurde in [9-3] vorgenommen.

9.1.3 Ausbildung und Beurteilung der Wirksamkeit der Notfallorganisation

Ausbildungen, Schulungen und Übungen auf dem Gebiet des Notfallmanagements für schwere Unfälle werden regelmässig durchgeführt. Alle Mitglieder des Notfallstabs und alle Pikettingenieure sind in die Ausbildungsmassnahmen einbezogen. Mindestvoraussetzung für eine Mitwirkung im Notfallstab ist die Absolvierung eines Grundkurses zu den Phänomenen schwerer Unfälle und zum Aufbau der Notfallvorschriften des KKG. In einem dreijährigen Zyklus werden Wiederholungsschulungen durchgeführt, wobei alternierende Ausbildungen durchgeführt werden zu:

- Phänomene schwerer Unfälle
- Diagnose von Anlagen – und Sicherheitsbehälterzuständen bei schweren Unfällen
- Interne Notfallstabsübungen (sofern eine derartige Übung nicht im behördlich beaufsichtigten Notfallübungsprogramm vorgesehen ist).

Diese Ausbildungen werden zusätzlich zu den von der Aufsichtsbehörde beaufsichtigten offiziellen Notfallübungen durchgeführt. In das Programm der Notfallübungen werden periodisch in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde Übungsszenarien, die auf dem Eintritt schwerer Unfälle fussen, beübt.

Bereits die Validierungsübung für SAMG im KKG im Jahr 2005 beruhte auf einem durch ein schweres Erdbeben ausgelösten schweren Unfall (Übung GEO). Im Jahr 2010 bildeten die Schulung zu den Auswirkungen schwerer Erdbeben und die Zusammenarbeit mit der nationalen Alarmzentrale bei einem Notfall einen Ausbildungsschwerpunkt.

Im Jahr 2011 wird der dritte Ausbildungszyklus auf dem Gebiet der Notfallmassnahmen bei schweren Unfällen mit der Grundlagenausbildung der Neuzugänge zum Notfallstab und für neu ernannte Pikettingenieure eingeleitet. Neben dem Full-scope Simulator des Kraftwerks steht ein spezielles Simulationstool für die Simulation schwerer Unfälle zur Verfügung (MELSIM_KKG) der auf dem Simulationscode MELCOR 1.8.6 beruht.

Eine Übersicht über die in den letzten Jahren unter Aufsicht der Sicherheitsbehörde durchgeführten Notfallübungen kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

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

Tabelle 24 Übersicht über Notfallübungen im KKG 1998-2010

Übung	Geiselnahme, Erpressung	Besetzung, Eindringen	Sabotage, Bombendrohung	Technischer Notfall	Brand oder Explosion	Personenunfall	Überschreitung Jahresabgabelimite Abluft	Schneller Störfall	Überschreitung Jahresabgabelimite Abwasser	Erdbeben	Flugzeugabsturz	Auslaufen von Öl oder Chemikalien	Kriegerische Ereignisse	Anlageschäden	Katastrophe in der Umgebung
1998 GAIA				X			X								
1999 NOTFALLÜBUNG					X	X									
2000 DONNERSCHLAG	X		X												
2001 INTERMEZZO		X			X	X									
2002 FEUERTAUFE				X	X	X									
2003 FEUERBALL	X		X			X									
2004 ORKAN				X		X									
2005 GEO				X		X				X					
2006 HEUREKA				X	X	X									
2007 LEDA			X		X	X	X				X				
2008 KASTOR						X									
2009 CORVUS	X	X	X												
2010 BINTAKO				X	X	X									

9.1.4 Das integrierte Notfallmanagement im KKG – Aufbau des Notfallhandbuchs.

Das Notfallhandbuch (NHB) [9-4] ist das wichtigste technische Führungsdokument bei einem technischen Notfall. Zusätzlich steht jedem Mitglied des Notfallstabs und den Pikettingenieuren ein Pikettingenieurbehelf als Hilfsmittel zur Verfügung.

Das im Zuge der Einführung des Integrierten Notfallmanagements überarbeitete NHB des KKG besteht inhaltlich gesehen aus zwei Teilen. Zusätzlich steht eine technische Hintergrunddokumentation zur Verfügung, in der die wesentlichen Kernpunkte der Notfallstrategien erläutert sind. Das NHB umfasst:

- ein übergeordnetes Leitschema zum Vorgehen im Leistungsbetrieb,
- die Diagnose des Anlagenzustandes

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

  - Schutzzielkontrolle (präventives Notfallmanagement)
  - Kontrolle des Sicherheitsbehälterzustandes
  - Kontrolle des Kernschadenzustandes mit den zugehörigen Rechenhilfsmitteln,
- ein Leitschema für die Behandlung von Notfällen im Nichtleistungsbetrieb (Vorgehen in Abhängigkeit vom Betriebszustand).

Einstiegskriterien für den Übergang vom präventiven Notfallmanagement (gesteuert über die Schutzzielkontrolle) in das *mitigative* Notfallmanagement sind:

- das Überschreiten einer Kernaustrittstemperatur (Brennelementaustrittstemperatur) von 620°C (entspricht unter Berücksichtigung des Messfehlers unter ungünstigen Bedingungen einer transienten Dampf-/Gasströmung einer Temperatur von 670°C)

oder

- die Verletzung von zwei Schutzzielen bei gleichzeitiger Überschreitung einer Dosisleistung im Sicherheitsbehälter von 10'000 mSv/h

oder

- das Überschreiten einer Wasserstoffkonzentration im Sicherheitsbehälter von mehr als 0.5 %

Ist keines dieser Kriterien erfüllt, wird die Schutzzielkontrolle im Rahmen des präventiven Notfallmanagements fortgeführt. Nach Einstieg in das mitigative Notfallmanagement wird die Diagnose des Anlagenschadenzustandes aufgenommen. Da das primäre Ziel mitigativer Notfallmassnahmen in einer Reduktion radioaktiver Abgaben besteht, beginnt die Diagnose des Anlagenzustandes stets mit der Beurteilung des Zustandes des Sicherheitsbehälters wiederum beginnend mit dem potenziell kritischsten Zustand – einem großen Leck im Sicherheitsbehälter. Insgesamt werden neun Sicherheitsbehälterschadenzustände unterschieden. Nach der Diagnose des Zustandes des Sicherheitsbehälters erfolgt die Bewertung des Kernschadenzustandes. Es werden drei Kernschadenzustände unterschieden. Abbildung 21 gibt einen Überblick über die physikalisch möglichen Kombinationen von Schadenzuständen und ihre Definition. Für die Diagnose der Anlagenschadenzustände stehen sowohl auf Messungen beruhende Kriterien als auch (bei Nichtverfügbarkeit der Messungen) Rechenhilfsmittel zur Verfügung. Im Notfallhandbuch sind die als am meisten zuverlässig bei einem schweren Unfall eingestuften Messungen aufgelistet. Die mögliche Ausfallrichtung ist angegeben. Eine Bewertung der Messgenauigkeit der vorhandenen Messungen wurde im Rahmen eines VGB-Projektes zur Erstellung von Krisenstabhilfsmitteln durchgeführt [9-5]. Die Kriterien zur Lagebeurteilung (Diagnose der Anlagenschadenzustände) enthalten einen Fehlervorhalt zur Berücksichtigung der Messunsicherheiten. Im Falle eines Ausfalls der Instrumentierung kann zusätzlich auf vorbereitete Rechenhilfsmittel zurückgegriffen werden. Im Notfallhandbuch ist die Ausfallrichtung der für die Lagebeurteilung heranzuziehenden und bezeichneten Instrumentierung angegeben.

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

SHB-Zustand / Zustand Kern	SHB Z1	SHBZ2	SHBZ3	SHBZ4	SHBZ5	SHBZ6	SHBZ7	SHBZ8	SHBZ9
Präventiver Notfallbereich	SCHUTZZIELKONTROLLE								
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	Nicht möglich
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	Nicht möglich
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9

Abbildung 21 Anlagenschadenszustände im Notfallhandbuch (mitigativer Bereich)

Legende zu Abbildung 14

KERNZUSTÄNDE

A – Kernoxidation hat begonnen
B – Kern geschmolzen, RDB noch intakt
C – Kernschmelze außerhalb RDB, RDB-Versagen

SHB-ZUSTÄNDE

SHBZ1 – Integrität sichergestellt
SHBZ2 – Integrität gefährdet
SHBZ3 – Druckentlastung eingeleitet
SHBZ4 – Bypass zur Sekundärseite
SHBZ5 – Bypass zum Ringraum
SHBZ6 – Bypass zum Hilfsanlagengebäude
SHBZ7 – Kleines RSB-Leck
SHBZ8 – Grosses RSB-Leck
SHBZ9 – Fundament Penetration

9.1.5 Technische Notfallmittel für auslegungsüberschreitende Störfälle und Einsatzbedingungen des Personals

Die im Fall von auslegungsüberschreitenden Störfällen im KKG zur Verfügung stehenden Hilfsmittel lassen sich unterteilen in

- Definitiv installierte Hardware zur Durchführung von geplanten und vorbereiteten Notfallmassnahmen

und

- mobile Einrichtungen, die den Notfallequipen des KKG zur Durchführung Ihrer Aufgaben zur Verfügung stehen (z.B. mobile Notstromaggregate, Motorspritzen, Fahrzeuge etc.)

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

Die definitiv installierte Hardware schliesst auch betriebliche Einrichtungen und Systeme ein, die im Normalbetrieb einem anderen Verwendungszweck dienen, in einem Notfall aber zur Durchführung von Notfallmassnahmen verwendet werden können.

Die zur ersten Gruppe zuzuordnenden Ausrüstungen sind in Kapitel 3.3 bei der schutzzielorientierten Bewertung der Sicherheitsfunktionen aufgeführt und zusammenfassend beschrieben. Die Art und Weise ihrer Verwendung ist im Notfallhandbuch des KKG [9-4] detailliert beschrieben. Zusammenfassend sind die wichtigsten der definitiv installierten technischen Hilfsmittel nachstehend aufgelistet:

- Einspeisestutzen für externe Kühlwasser/Feuerlöschwassereinspeisung
    - Deionatvorratsbehälter der Notspeisesysteme
    - Deionatsvorratsbehälter des Notstandssystems
    - Filterbehälter de gefilterten Druckentlastungssystems
    - Vierter Strang des Notspeisesystems RS
    - Vierter Strang der Not- und Nachkühlsystems TH
    - Einspeisestutzen in den dritten Beckenkühlstrang TH74 in das BE-Lagerbecken im Containment
    - Accident Management Anschlüsse zur Einspeisung in die Einhängekühler des Brennelementbeckens im externen Nasslager
- Nachspeisemöglichkeit der Deionatvorratsbehälter im Notstandsgebäude vom Brunnenwassersystem
- Nachspeisemöglichkeit des Speisewasserbehälters von der Deionatversorgung
- Nachspeisemöglichkeit der Deionatvorratsbehälter des Notspeisesystems von der Deionatversorgung
- Gefilterte Druckentlastung des Containments XL10
- Sekundärseitige Druckentlastung der Dampferzeuger
    - Fremdenergielos über die FD - Abblasestation
    - Fremdenergielos über Fremddampf- und Hilfsdampfsystem
- Bespeisung druckentlasteter Dampferzeuger vom mit Druck beaufschlagten Speisewasserbehälter
- Primärseitige Druckentlastung über die Druckhaltersicherheitsventilstation
- RDB-Druckentlastung über die RDB Deckelentlüftung

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

- Einspeisemöglichkeit mit den Notstandsnachkühlpumpen aus den Flutbehältern in den Reaktor und in das BE-Becken im Containment (Sicherheitseinspeisung in das BE-Becken)
- Möglichkeit der Verbindung der Flutbehälter und der Deionatvorratsbehälter des Notspeisesystems zur vollständigen Ausnutzung der vorhandenen Wasservorräte in einem Notfall
- Manuelle Einspeisung aus den Druckspeichern bei Mitte-Loop Betrieb
- Wasserstoffüberwachungssystem im Containment
- Passives Durchmischungssystem der Containmentatmosphäre
- Thermische Wasserstoffrekombinatoren im Containment
- Leistungsstarkes Tanklöschfahrzeug

Neben diesen fest installierten Einrichtunegn steht ein mobiler Dieseltank zur Ergänzung von Dieselkraftstoff in den Notstromdieselgebäuden zur Verfügung (neu seit August 2011: mobiler Tank zuzüglich bereits gefülltem Tank im Notstandsgebäude)

Neben diesen definitiven Einsatzmitteln stehen zusätzliche Ausrüstungen der Feuerwehr und die Schutzausrüstungen des Strahlenschutzes zur Verfügung. Diese Einsatzmittel schliessen die bei einem Notfall mit möglichen radiologischen Konsequenzen benötigen Personenschutzausrüstungen ein.

Zusätzlich wurde das gemeinsame externe Notfalllager der Schweizer Kernkraftwerke in Reitnau eingerichtet, in dem umfangreiches zusätzliches Einsatzmaterial gelagert wird. Ein Lufttransport dieser Einsatzmittel ist vorbereitet. Innerhalb eines Tages können schätzungsweise 80 t Notfallmaterial zur Anlage per Helikopter transportiert werden.

Als gesichertes Kommunikationsmittel für die Koordinierung von Notfallmassnahmen auf der Anlage steht die betriebliche Stanofonanlage zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Anlage ist es möglich gezielte Punkt zu Punkt Verbindungen aus speziell gegen externe Einwirkungen geschützten Bereichen aufzubauen. Zusätzlich verfügen die Notfallequipen über Sprechfunkanlagen. Bei Ausfall dieser Kommunikationsmittel ist auf das Konzept des Meldeläufers zurück zu greifen.

9.1.6 Personaleinsatz im Notfall

Die im KKG geltenden Regelungen zum Personaleinsatz im Notfall einschliesslich der Einteilung der Einsatzkräfte sind im Notfallreglement des KKG beschrieben [9-1]. Die Regelungen und das Vorgehen bezüglich Alarmierung sind dort ebenfalls angegeben. Aufgrund der Verteilung der Wohnorte des Einsatzpersonals in den Kantonen Aargau und Solothurn (räumlich separiert) kann es als sehr unwahrscheinlich beurteilt werden, dass auch bei einer grösseren regionalen Katastrophe (Hochwasser, Erdbeben) alle in die KKG Notfallorganisation eingebunden Personen gleichermassen von den Auswirkungen des regionalen Ereignisses betroffen sein werden.

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

Zugleich ist sicher gestellt, dass eine genügend grosse Anzahl von Mitgliedern der KKG Notfallorganisation und insbesondere der Einsatzequipen (Feuerwehr, Sanität, Strahlenschutz) in geringer Entfernung zum Kraftwerk wohnen und dieses gegebenenfalls per Velo oder zu Fuss erreichen können.

Die Planung und Beurteilung der Wirksamkeit der vorbereiteten Notfallmassnahmen geht davon aus, dass in einer Extremsituation die ersten Notfallmassnahmen mit der minimal auf der Anlage verfügbaren Betriebsmannschaft inklusive Wache eingeleitet und durchgeführt werden können. Gelingen diese ersten Massnahmen vergrössert sich das verfügbare Zeitfenster für das Heranführen von zusätzlichen Einsatzkräften. Die für Notfallmassnahmen verfügbaren Mittel und Massnahmen sind detailliert in den Kapiteln 3.3, und 4 bis 8 beschrieben.

Die radiologische Situation betreffend Personaleinsatz wird durch den in die Notfallorganisation eingebundenen Strahlenschutz überwacht. Vor einem Einsatz von Notfallpersonal in einem radiologisch gefährdeten Bereich wird die mögliche Gefährdung abgeschätzt und es werden gegebenenfalls Schutzmassnahmen vorgesehen. Bei Fehlen von Messinformationen im Falle eines schweren Störfalls kann auf Ergebnisse einer speziell durchgeführten Studie zur Strahlenbelastung nach einem schweren Störfall zurückgegriffen werden [9-6]. Im Rahmen dieser Studie wurde eine Beurteilung der radiologischen Aufenthaltsbedingungen an verschiedenen Arbeitsorten auf dem Kraftwerksareal vorgenommen.

Die Langzeitplanung für den Einsatz des Personals wie auch für die Langzeitmassnahmen nach einem schweren Unfall erfolgt situativ und in Absprache mit der externen Notfallorganisation (zuständige Stellen des Bundes und der Kantone, sowie Fachunterstützung durch den Krisenstab der AREVA).

Im Vordergrund der Einsatzplanung der Notfallorganisation steht in der Langzeitphase die Wiederherstellung der Schutzziele der nuklearen Sicherheit. Dies sind primär die Sicherstellung der Wärmeabfuhr aus der Reaktoranlage, aus den Brennelementlagerbecken und der Einschluss der Radioaktivität. Voraussetzung dafür ist die Wiederherstellung (sofern unterbrochen) der Sicherheitsfunktion „Verfügbarkeit der Systemfunktionen“ (vgl. Kapitel 3.3.7), wobei gegebenenfalls erforderliche Reparaturen eingeleitet werden. Bis zur Wiederherstellung dieser Sicherheitsfunktion ist der Zustand der Anlage mit Hilfe der vorbereiteten Notfallmassnahmen, gegebenenfalls unter Rückgriff auf zusätzliche Einsatzkräfte aus anderen Kernanlagen und auf Hilfsmittel aus dem externen Notfalllager in Reitnau zu stabilisieren.

In der Schweiz werden gegenwärtig die gesetzlichen Bedingungen für einen Einsatz des Militärs nach einem schweren Unfall in einem Kernkraftwerk abgeklärt.

9.2 Notfallmassnahmen bei Ausfall der Kernkühlungsfunktionen

Gemäss dem in Kapitel 9.1.2 erläuterten Konzept des integrierten Notfallmanagement und dem dort beschriebenen Aufbau des BHBs und der Notfallvorschriften (siehe auch Kapitel 9.1.4 zum NHB) wird ein Ausfall der Kernkühlung mit der bereits in das Störfall-BHB integrierten Überwachung der Schutzziele der nuklearen Sicherheit erkannt. Die Überwachung wird dabei

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

zunächst von der Schicht und nach Eintreffen im Kommandoraum unabhängig dazu vom Pikettingenieur auf Basis des NHB vorgenommen. Als Anhaltspunkt für das weitere Vorgehen im Leistungsbetrieb dient das folgende Leitschema:

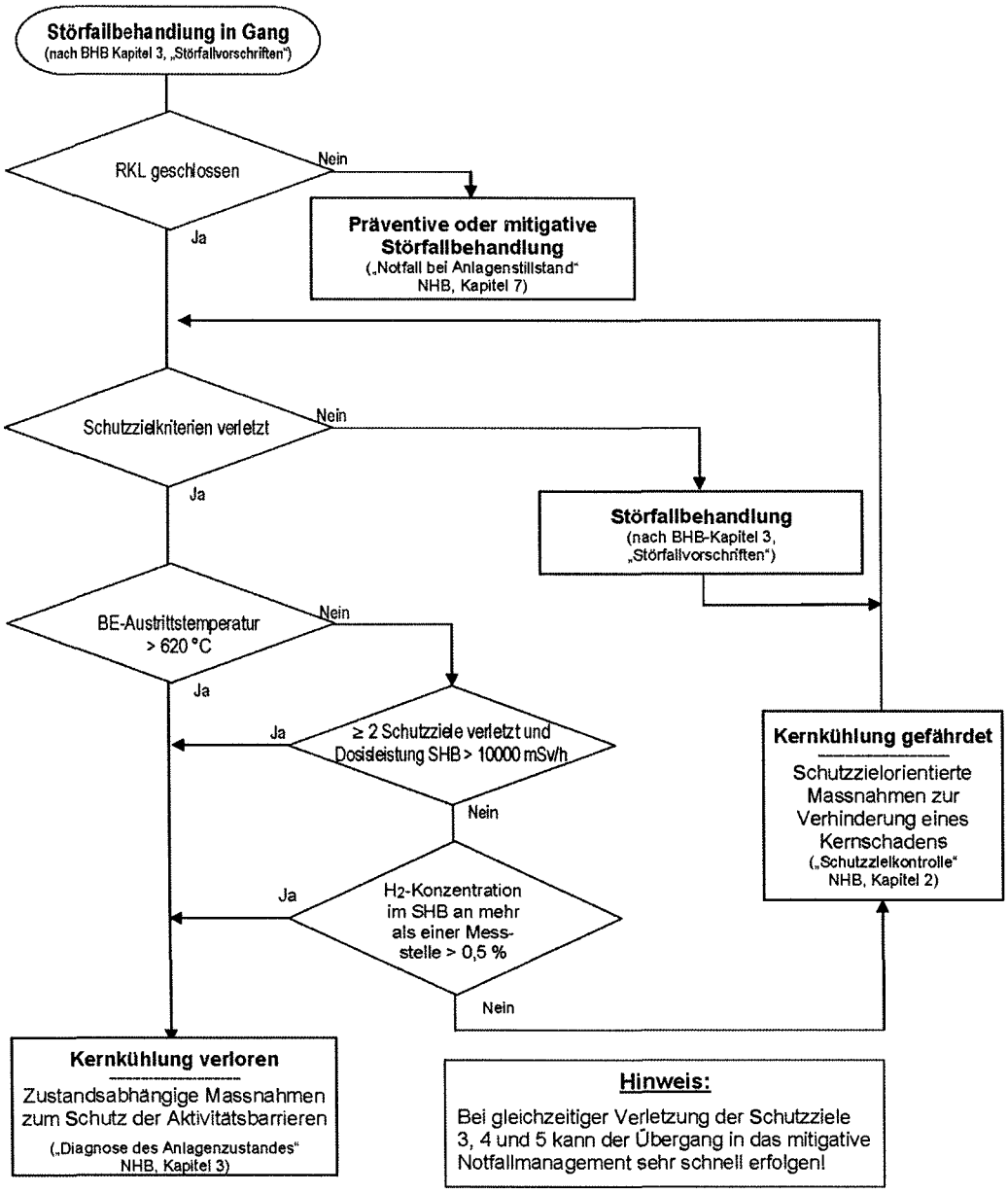


Abbildung 22 Leitschema „Technischer Notfall"

Das Leitschema enthält die Kriterien mit deren Hilfe der Verlust der Kernkühlung erkannt wird. Bei Verlust der Kernkühlung erfolgt der Übergang in das mitigative Notfallmanagement, welches auf der Diagnose der Sicherheitsbehälter- und Kernschadenszustände beruht (vgl. Kapitel 9.1.4 und [9-4]). Sind die Kriterien für einen Verlust der Kernkühlung nicht erreicht, erfolgt die Abarbeitung der Schutzzielorientierten Notfallmassnahmen. Die dafür zur Verfügung stehenden Mittel wurden

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

bereits bei der Beurteilung der einzelnen Sicherheitsfunktionen (siehe Kapitel 3.3) aufgeführt. Das konkrete Vorgehen ist im Notfallhandbuch des KKG [9-4] beschrieben.

Nach Verlust der Kernkernkühlung haben Massnahmen zum sicheren Einschluss der Radioaktivität Vorrang vor Massnahmen zur notfallmässigen Wiederherstellung der Kernkühlung. Dies wird bereits deutlich bei der Reihenfolge der Abfrage und Beurteilung der Schadenszustände. Die Beurteilung der Sicherheitsbehälterschadenszustände hat Vorrang vor der Beurteilung der Kernschadenszustände. Die Diagnose der Sicherheitsbehälterschadenszustände erfolgt abgestuft, wobei der Notfallstab die Diagnose in Richtung abnehmender Schwere einer Freisetzung vornimmt (siehe Abbildung 23).

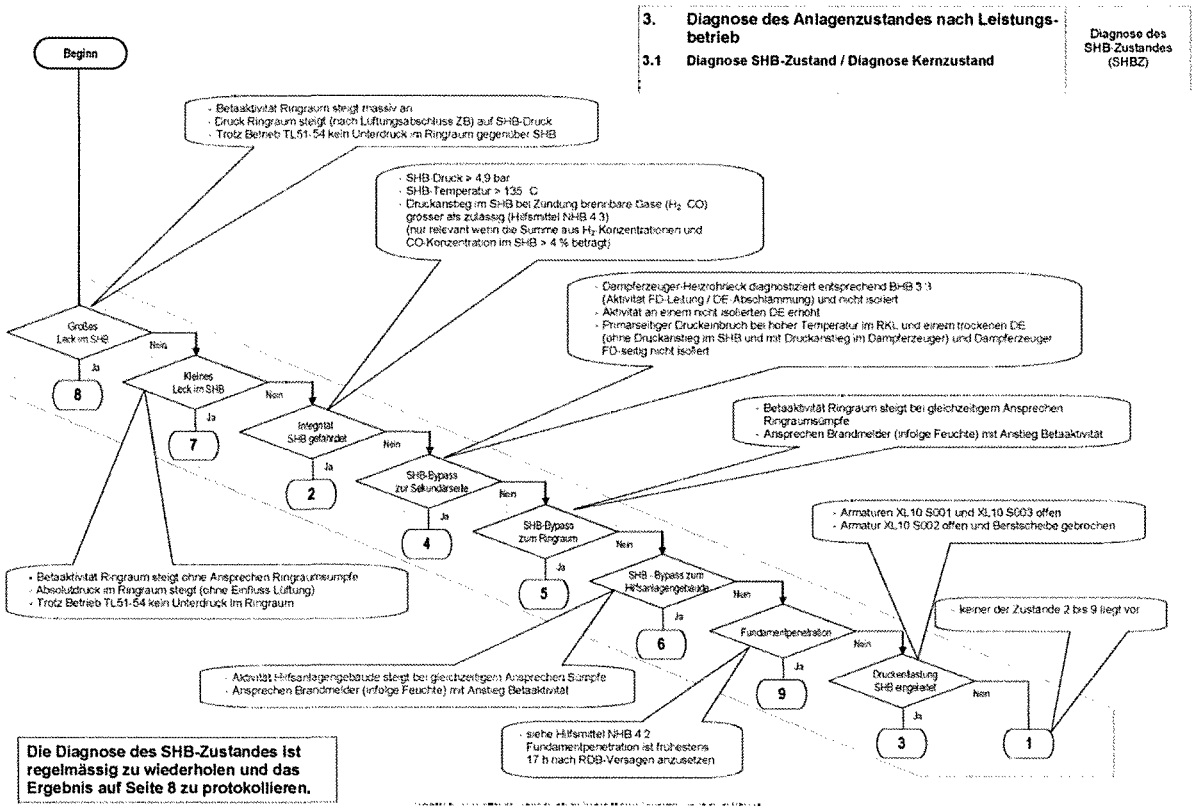


Abbildung 23 Leitschema: Diagnose Sicherheitsbehälterzustand

Ist die Integrität des Sicherheitsbehälters festgestellt (der Verlust der Integrität des Sicherheitsbehälters wird in Kapitel 9.4 behandelt), wendet sich die Notfallleitung (Schichtchef, PI oder bereits etablierte Notfallleitung) der Diagnose des Kernschadenszustandes zu (Abbildung 24). In Abhängigkeit vom diagnostisierten Zustand entscheidet die Notfallleitung nach Abwägung möglicher negativer Konsequenzen auf Basis der im Notfallhandbuch vorgegebenen Strategie über die durchzuführenden Massnahmen und beauftragt deren Durchführung. Parallel zu diesen Schritten (sofern nicht durch die Notfallleitung anders entschieden) setzt die Betriebsmannschaft die Arbeiten an bereits festgelegten Massnahmen fort. Dieses Vorgehen hat sich bewährt (wurde beübt), da insbesondere im Falle eines erfolgreichen Gebäudeabschlusses auf Massnahmen zur Wiederherstellung der Kernkühlung zurückgegriffen wird, die bereits im Rahmen des Schutzziel

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

basierten Vorgehens eingeleitet worden sind und möglicherweise nur nicht rechtzeitig zu einem Erfolg geführt haben.

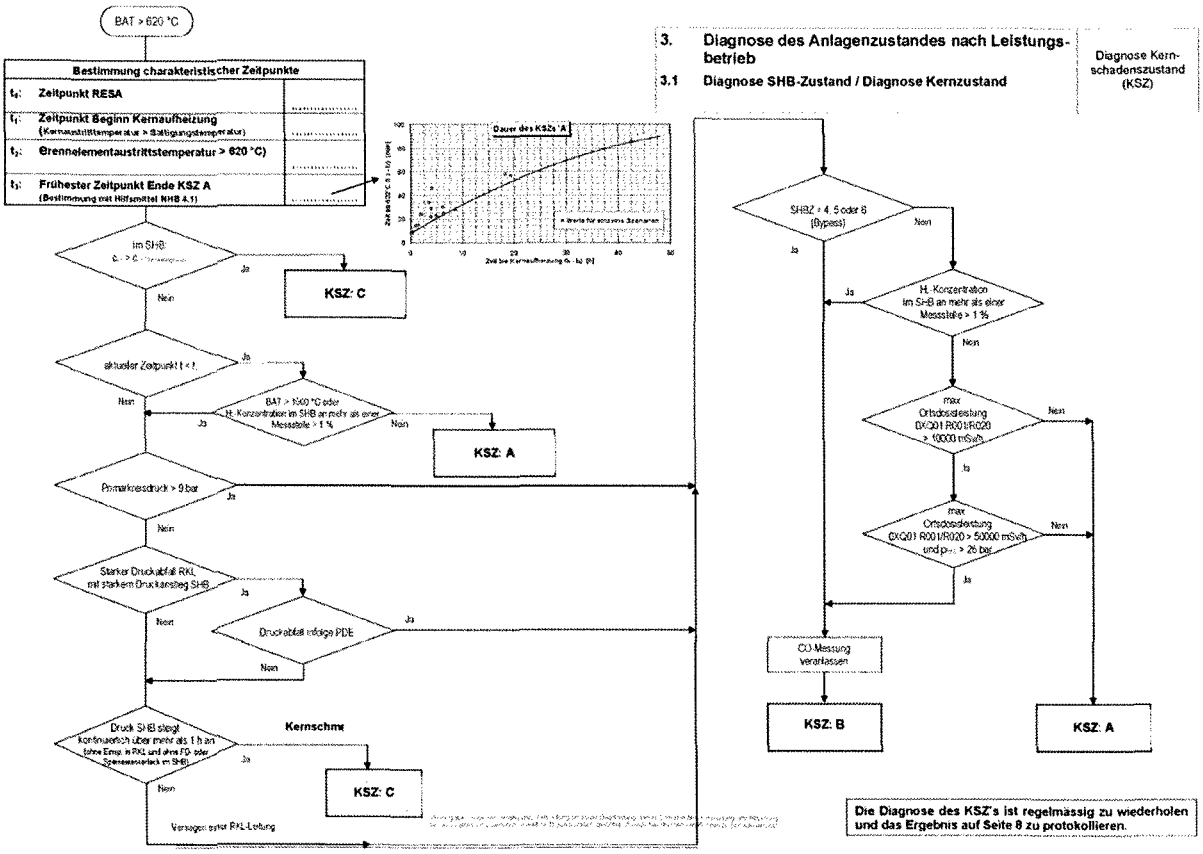


Abbildung 24 Leitschema: Diagnose des Kernschadenzustandes

Die detaillierten Strategien und Massnahmen sind im Notfallhandbuch festgelegt. Das Vorgehen zur Auswahl der Strategien ist in Abbildung 25 dargestellt.

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

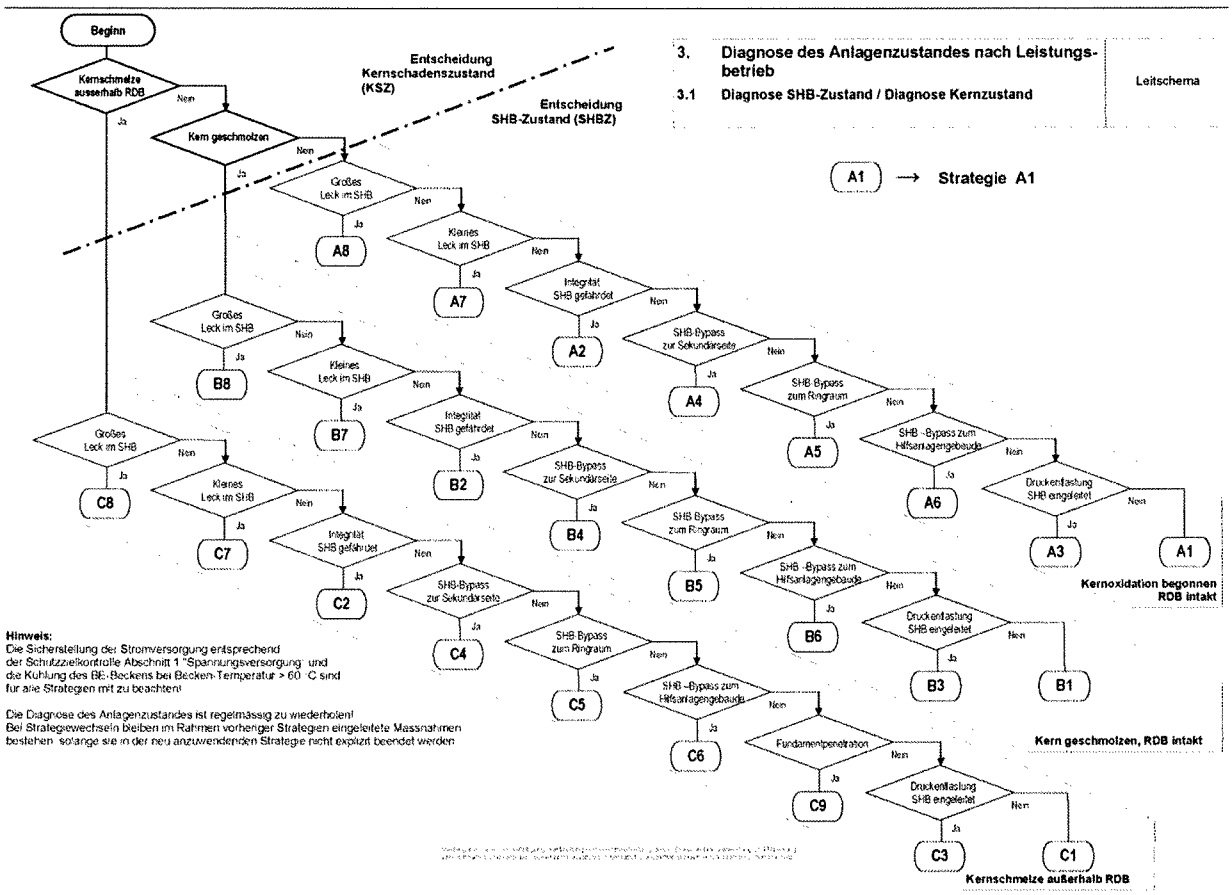


Abbildung 25 Auswahl der Strategien zur Unfallbekämpfung

Exemplarisch wird in Abbildung 26 das Vorgehen für den Sicherheitsbehälterzustand 1 (Sicherheitsbehälter isoliert) und Kernschadenszustand A (einsetzende Kernschädigung) dargestellt (Strategie A1). In dieser Unfallphase bestehen auf Basis durchgeführter Simulationen schwerer Unfälle und der Auswertung der verfügbaren wissenschaftlich-technischen Grundlagen für SAMG [9-7] gute Chancen den Schadensvorgang wirksam zu begrenzen. Gelingen die dafür vorgesehenen Massnahmen nicht (zunächst Priorität der sekundärseitigen Massnahmen), so wird die Druckentlastung des Reaktorkühlkreislaufes eingeleitet. Damit wird der Gefahr eines Hochdruckversagens des Reaktordruckbehälters vorgesorgt. Zugleich werden die Voraussetzungen für eine passive Kühlmitteleinspeisung in den Reaktor mittels der Druckspeicher und gegebenenfalls der Niederdrucknotkühlsysteme geschaffen. Die Diagnose des Anlagenzustandes wird kontinuierlich überwacht und die Ergebnisse werden schriftlich festgehalten und im Einsatzraum des Notfallstabs visualisiert. Erfolgt eine weitere Verschlechterung des Anlagenzustandes so erfolgt auf Basis der Neubewertung der Sicherheitsbehälter- und Kernschadenszustände der Übergang auf eine andere Unfallbekämpfungsstrategie (z.B. auf B1). Sind die eingeleiteten Massnahmen erfolgreich, so werden schrittweise Massnahmen zur Langzeitstabilisierung der Anlage eingeleitet (vgl. Kapitel 9.1.6).

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

Für den Fall eines Verlustes der Kernkühlung im Nichtleistungsbetrieb ist ein analoges Leitschema vorbereitet (Kapitel 7 im Notfallhandbuch ([9-4], vgl. auch Kapitel 9.5). Gelingt es nicht die Kernkühlung wiederherzustellen, so werden mit höchster Priorität Massnahmen zur Sicherstellung des Aktivitätseinschlusses (Containmentisolation) eingeleitet. Analog zur Situation im Leistungsbetrieb sind verschiedene Strategien mit zugehörigen Prozeduren im Notfallhandbuch vorbereitet.

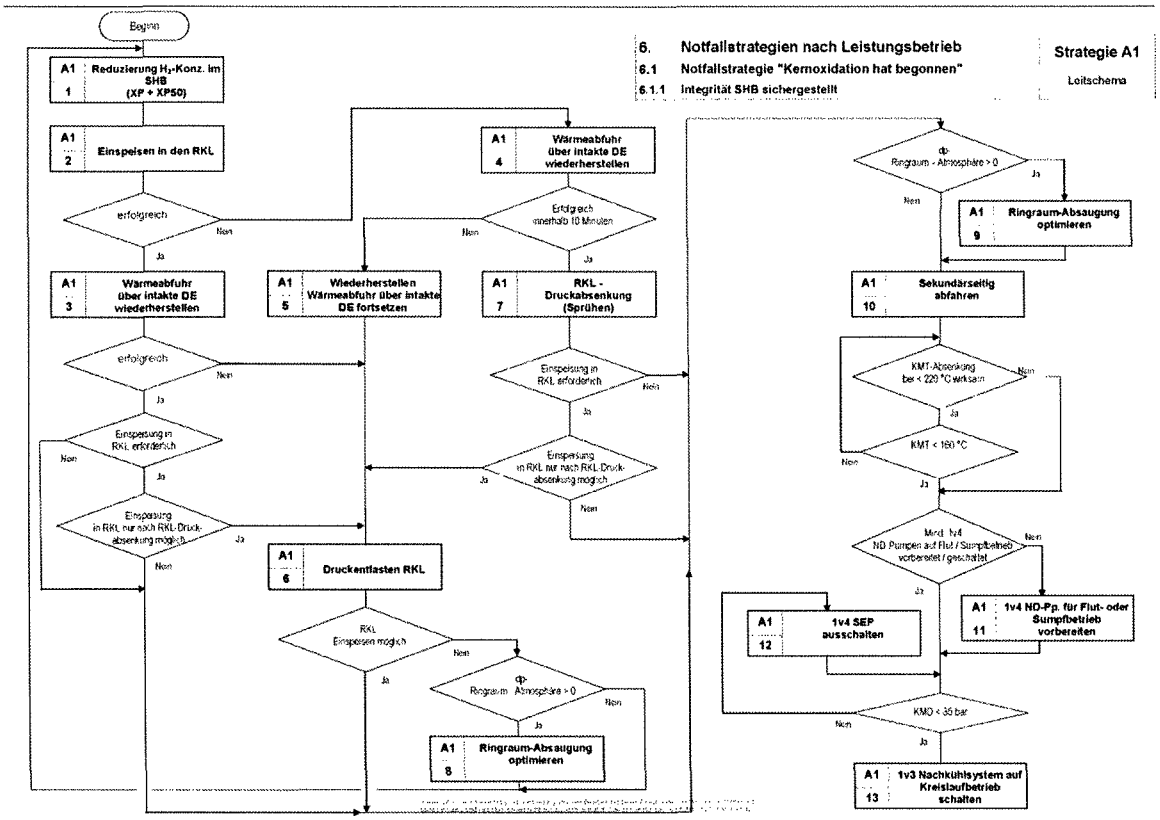


Abbildung 26 Ableitung von Notfallmassnahmen bei intaktem Containment und Kernschadenszustand A (Kernoxidation hat begonnen)

9.3 Notfallmassnahmen zum Schutz der Containmentintegrität

Die Überwachung der Integrität des Sicherheitsbehälters bei einem schweren Unfall ist systematisch und prioritär im Notfallhandbuch des KKG verankert (vgl. Abbildung 23 und [9-4]). Diese Überwachung beruht auf Messungen und ist durch Rechenhilfsmittel ergänzt. Im Falle eines schweren Unfalls mit anfänglich isoliertem Containment kann mit Hilfe der Messmittel und/oder der Rechenhilfsmittel eine potenzielle Gefährdung des Containments in Folge eines allmählichen Druckaufbaus, von Wasserstoff- und Kohlenmonoxidbildung oder durch direkte Containmentaufheizung im Falle eines Hochdruckversagens des Reaktorkühlkreislaufes erkannt und es können Gegenmassnahmen eingeleitet werden.

Die wichtigsten technischen Gegenmassnahmen zum Schutz des Containments sind ausgerichtet auf die Vermeidung eines Hochdruckversagens des Reaktorkühlkreislaufs bei einem Kernschaden

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

dies würde infolge der dabei möglicherweise auftretenden Lasten (HPME – High Pressure Melt Ejection, DCH – Direct Containment Heating) zu einer extremen Beanspruchung führen. Die Schutzmassnahmen sind daher ausgerichtet auf eine rechtzeitige Druckentlastung des Reaktorkühlkreislaufs zur Vermeidung des Hochdruckkernschmelzens und den Schutz des Containments vor einem Überdruckversagen. Die wichtigsten Massnahmen sind:

- Sekundärseitige Druckentlastung (kann in einem Notfall auch fremdenergielos durchgeführt werden, vergleiche Kapitel 3.3 und [9-4])
- Primärseitige Druckentlastung (PDE-Funktion oder Entlastung über RDB-Deckelentlüftung, vergleiche Kapitel 3.3 und [9-4])
- Sicherstellung eines hohen Versagensdrucks (hohe Sicherheitsmarge im Vergleich zum Auslegungsdruck) des Sicherheitsbehälters (vgl. [9-8])
- Funktion zur gefilterten Druckentlastung des Containments (DES) mit aktivem und passivem Auslösungspfad
- Massnahmen zur Reduktion der Folgen der Bildung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid (passives Durchmischungssystem, thermische Rekombinatoren, Nutzung der gefilterten Druckentlastung)

Der Sicherheitsbehälter des KKG hat einen sehr hohen Versagensdruck, der durch das Entstehen von Leckagen an Containmentdurchdringungen (Frischdampfleitungen mit Kompensatoren) bei einem langsamen Druckanstieg im Containment bestimmt wird (ca. 11.8 bar bei einer Temperatur von 150°C). Bei dynamischen Lasten (externe Dampfexplosion, Wasserstoffdeflagrationen oder – Wasserstoffdetonationen) liegt der Versagensdruck mit ca. 13.5 bar noch etwas höher [9-8].

Analysen schwerer Unfälle haben gezeigt (u. a. [9-7] und für die Stufe 2 PSA [9-9], dass unter Berücksichtigung der Wirkung des passiven Durchmischungssystems (vgl. Kapitel 3.3) das Containment bei Unfallszenarien ohne Containmentbypass global inertisiert ist. Verbrennungen und im Extremfall postulierte Deflagrationen sind nur lokal eingeschränkt oder bei niedrigerem Containmentdruck (unzureichende Inertisierung durch Wasserdampf; dies entspricht einem niedrigen Partialdruck des Wasserdampfes in der Containmentatmosphäre) zu erwarten. Die Containmenttragfähigkeit ist ausreichend, um ein Containmentversagen bei den realistisch als Folge von Metall-Wasserdampf-Reaktionen zu erwartenden Wasserstoffmengen ausschliessen zu können.

Die gefilterte Druckentlastung des Containments (bei Auslösung über die Berstscheibe im passiven Strang) parallel mit einer Einspeisung von Wasser in den Reaktorkühlkreislauf (auch nach dessen Versagen, Kernschadenszustand C) stellt sicher, dass der Sicherheitsbehälter nicht unter hohem Druck als Folge von Wasserstoff- oder Kohlenmonoxidverbrennungen versagen kann.

Um ein verfrühtes Ansprechen der Berstscheibe und damit eine verfrühte Freisetzung von Aktivität vermeiden zu können, ist die Berstscheibe durch eine Motorangetriebene und auch manuell

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

fernbetätigbare (über Kardonstange) Armatur im Normalbetrieb vorabgesperrt. Diese Armatur wird bei Annäherung an den Auslegungsdruck des Containments geöffnet. Die Vorabsperrung verhindert ein unerwünschtes Ansprechen der Berstscheibe infolge lokaler Wasserstoffverbrennungen vor dem Erreichen des Auslegungsdruckes resp. vor der Einleitung der behördlich vorgesehenen externen Notfallmassnahmen.

Für den Fall eines Verlustes der Kernkühlung im Nichtleistungsbetrieb ist ein analoges Leitschema vorbereitet (Kapitel 7 im Notfallhandbuch ([9-4], vgl. auch Kapitel 9.5). Gelingt es nicht die Kernkühlung wiederherzustellen, so werden mit höchster Priorität Massnahmen zur Sicherstellung des Aktivitätseinschlusses (Containmentisolation) eingeleitet. Im Vordergrund steht dabei das Schliessen aller Containmentdurchdringungen einschliesslich des Materialtors. Analog zur Situation im Leistungsbetrieb sind für das weitere Vorgehen je nach Situation verschiedene Strategien mit zugehörigen Prozeduren im Notfallhandbuch vorbereitet.

9.4 Notfallmassnahmen zur Linderung der Folgen eines Verlusts der Containmentintegrität

Das im KKG realisierte integrierte Notfallmanagement sieht im NHB [9-4] auch Massnahmen zur Reduktion der Aktivitätsabgaben bei Verlust der Integrität des Containments vor (vgl. Kapitel 9.1.4). Ein typisches Beispiel für die Ableitung von Gegenmassnahmen ist in Abbildung 27 für den Zustand „Kleines Leck im Sicherheitsbehälter bei Kernschadenszustand A) gezeigt.

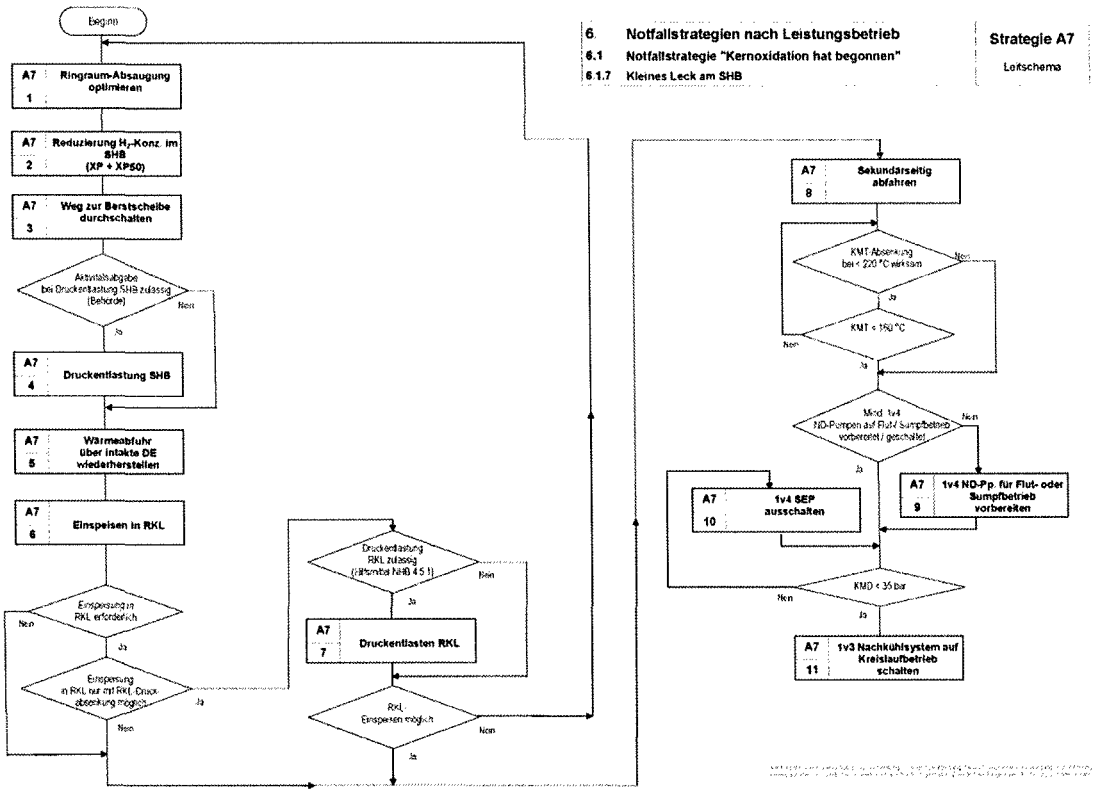


Abbildung 27 Ablaufschema zur Auswahl der Strategien bei isoliertem Containment und Kernschadenszustand A

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

Ein analoges Leitschema mit vorgeplanten Notfallmassnahmen besteht auch für andere Kernschadenzustände mit Verlust der Integrität des Containments (vgl. Kapitel 9.1.4). Die Gegenmassnahmen sind zustandsorientiert definiert.

Ziel der Gegenmassnahmen ist es die Abgaben von Radioaktivität an die Umgebung zu beschränken. Die Gegenmassnahmen sind dabei darauf ausgerichtet, die Abgaben über unkontrollierte Leckagepfade zu minimieren und das Entstehen weiterer unkontrollierter Leckagepfade zu verhindern. Dabei wird auf alle möglichen und in Abhängigkeit von ihrer Verfügbarkeit einsetzbaren Systemfunktionen zurückgegriffen.

Erfolgt die Aktivitätsabgabe zum Beispiel über ein Dampferzeugerheizrohrleck (Containmentbypass), so kann mit Hilfe einer Einspeisung in den betroffenen Dampferzeuger ein hohes Mass an Aktivitätsrückhaltung sichergestellt werden. Parallel dazu kann eine gefilterte Druckentlastung ein mögliches späteres Versagen des Containments aufgrund eines anderen Schadensmechanismusses verhindern.

Der ungünstigste Anlagenzustand wird im Falle des Versagens des Reaktorkühlkreislaufes und einem Versagen des Containmentfundaments erreicht. Hier kann eine gefilterte Druckentlastung dazu beitragen, die Reaktionsgeschwindigkeit der Beton-Schmelze-Wechselwirkung zu bremsen und/oder ein spätes Versagen der Sicherheitshülle zu verhindern, während die Einspeisung von Notkühlmedium (gegebenenfalls Feuerlöschwasser) die Ausbildung einer Schmelzkruste an der Coriumoberfläche fördert und dadurch Aktivitätsabgaben minimiert. Zugleich dient die in dieser Situation vorgesehene Massnahme zum Aufrechterhalten eines hohen Sumpfwasserstandes der Minimierung von Abgaben für den Fall, dass die Kernschmelze den Sumpfbereich erreicht, resp. der Inventarergänzung im Falle eines Sumpfwassereinbruchs in die Reaktorgrube. Eine langfristige Einspeisung von Wasser führt zu einem Stoppen der Schmelzeausbreitung, wodurch der Hauptteil der aus dem Reaktorkühlkreislauf freigesetzten Aktivität lokal am Standort gebunden werden kann. Die über den Luftpfad abgegebene Aktivität wird dabei deutlich reduziert.

Zur Vermeidung der Ausbreitung grösserer Mengen Aktivität über den Grundwasserpfad sind langfristig (Zeitraum mehrere Tage oder Wochen) je nach Situation Massnahmen zur Aufstauung (z. B. Spundwände) und gegebenenfalls der Reinigung des Grundwassers vorzusehen. Über die Durchführung von Langzeitmassnahmen wird in Abstimmung mit der behördlichen Notfallorganisation entschieden.

Das Vorgehen bei Eintritt eines schweren Unfalls im Nichtleistungsbetrieb ist in Kapitel 7 des Notfallhandbuchs ([9-4], vgl. auch Kapitel 9.5) dargestellt. Gelingt es nicht eine Containmentisolation wiederherzustellen oder ein Versagen des Containments zu verhindern, fokussieren sich die Massnahmen auf eine Kühlung der Brennelemente resp. der Schmelze zur Minimierung der Abgaben analog zur Situation im Leistungsbetrieb.

9.5 Notfallmassnahmen bei Ausfall der BE-Beckenkühlung

Das Brennelementlagerbecken des KKG befindet sich innerhalb des Containments und kann über drei verschiedene Beckenkühlkreise mit 5 x 100 % Pumpen gekühlt werden. Zwei Pumpen davon

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

sind notstandsversorgt (vgl. Kapitel 3). Die Kühlung der Brennelemente im externen Nasslager erfolgt mittels inhärent sicherem passiven Naturumlauf.

Die verfügbaren Karenzzeiten bei Ausfall der BE-Beckenkühlung sind sehr hoch. Tabelle 25 zeigt die verfügbaren Karenzzeiten für alle im KKG vorhandenen Becken in denen sich Brennelemente befinden können.

Tabelle 25 Verfügbare Karenzzeiten bei Ausfall der BE-Beckenkühlung

BE-Becken	Anlagenkonfiguration	Anfangs-temperatur	End-temperatur	Karenz-zeit
Lagerbecken ZA	Leistungsbetrieb, Beckenleistung, 3MW	45°C	80°C	10h 40 min
Lagerbecken ZA	Leistungsbetrieb, Beckenleistung, 3 MW	30°C	100°C	16 h 45 min
Lagerbecken ZA	Leistungsbetrieb, Beckenleistung, 3 MW	45°C	Ausdampfen	> 7 Tage
Lagerbecken ZA	Nach Entladung, Dichtschütz gesetzt, 10.9 MW (bei normaler betrieblicher Nutzung Leistung nach Schliessen Dichtschütz, minimaler Beckenfüllstand)	30°C	100°C	5h 55 min
Externes Nasslager	1. Ausbaustufe 500kW (z. Zt. ca. 200 kW)	30°C	80°C	4 Tage (10 Tage)
Ladebecken	Servicekampagne mit maximaler Beladung (3 BE mit total ca. 122kW, unterstelltes Wasservolumen 250m^3 – normal 320m^3)	30°C	80°C	82h 40 min
Ladebecken	Servicekampagne mit maximaler Beladung (ca. 122kW, Wasservolumen – normal 320m^3)	30°C	100°C	ca. 8 Tage

Dessen ungeachtet sind Notfallmassnahmen zur Wiederherstellung der Kühlung für beide Becken vorgesehen (vgl. Kapitel 3.3.3). Die sicherheitstechnisch höchsten Anforderungen an die Sicherstellung der BE-Beckenkühlung ergeben sich für den Fall eines Verlusts der Beckenkühlung für das Kompaktlager im Containment im Nichtleistungsbetrieb.

Das Vorgehen bei der Auswahl der Strategien für Gegenmassnahmen für diesen Fall ist im Kapitel 7 des Notfallhandbuchs „Notfallstrategie im Anlagenstillstand" beschrieben. Es besteht die Möglichkeit einer Flutung des Beckens aus den Flutbehältern mit Hilfe der Notstandsnachkühlpumpen (z.B. Station Blackout (Notstandsfall)) mit nachfolgender

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

Wiederinbetriebnahme der Beckenkühlung vom Notstandsgebäude aus über die verkürzte Nachkühlkette) oder die Möglichkeit einer Nachspeisung von Wasser mit Hilfe einer Feuerlöschpumpe.

Gelingen diese Massnahmen nicht, und die BE-Beckenkühlung kann nicht wiederhergestellt werden, greifen die bereits beschriebenen Massnahmen zur Minimierung der Abgaben (Kapitel 9.4). Im Vordergrund steht dabei die Isolation des Containments einschliesslich aller Durchdringungen und des Materialtors. Bei einem isolierten Containment erfolgt der Druckaufbau nach einem Verlust der BE-Beckenkühlung wegen der geringeren Ausgangsleistung langsamer als im Leistungsbetrieb. Die verschiedenen zur Verfügung stehenden Sicherheitsfunktionen und Notfallmassnahmen zum Schutz des Containments (vgl. Kapitel 3 und Kapitel 9.3) kommen in einem derartigen Unfallszenarium ebenfalls zum Tragen. Bei erfolgreicher Isolation des Containments nach Verlust der BE-Beckenkühlung kann ein Versagen des Containments auch für den Fall eines Totalausfalls der Beckenkühlung (inklusive Notfallmassnahmen) innerhalb von 72 h nach Unfalleintritt ausgeschlossen werden, wie Unfallanalysen im Zusammenhang mit der Erstellung der Stillstands-PSA gezeigt haben [9-9].

Referenzen zu Kapitel 9

[9-1] KKG, Abläufe und Organisation im Notfall (Notfallreglement), RG-D-0004, 2011 - Prüfstatus D1

[9-2] KKG, Kraftwerksreglement , Prüfstatus D1

[9-3] KKG, PSÜ-2008 – Notfallbereitschaft, BER-C-32257 – Prüftstatus D1 (Grobprüfung im Rahmen der PSÜ)

[9-4] KKG, Notfallhandbuch, HDB-D-19319, Stand 30.6.2011 - Prüfstatus D1 (Zustimmung bei Einführung, Meldepflicht)

[9-5] KKG-D: Einfluss veränderter Umgebungsbedingungen auf die Instrumentierung des Primärkreislaufes – Arbeitshilfe für den Krisenstab Nr. 2.3 KS-Gruppe 3 (DWR), KKWU NDS 5-2022, 1995 -Prüfstatus D2

[9-6] Siemens, KKG-CH. Kernschmelzunfall und daraus resultierende Strahlenpegel, 1993, - Prüfstatus D1

[9-7] AREVA, Hintergrundokument für mitigative Notfallmassnahmen, NGPS4/2005/de/0047, 2005. - Prüfstatus D1 (Prüfung als Bestandteil der SAMG Einführung)

[9-8] ABS Consulting, Containment Overpressure Capacity for Gösgen Nuclear Power Plant, December 2005. – Prüftstatus D1.

[9-9] GPSA2009: Gösgen Probabilistic Safety Assessment, R-1699596-1751, 2008 - Prüfstatus D1 (vgl. Kapitel 3.5)

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