



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2016 des Kernkraftwerks Leibstadt



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

ENSI 12/2511

Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2016 des Kernkraftwerks Leibstadt

Brugg, September 2019



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1-1
1.1	Veranlassung und Randbedingungen	1-1
1.1.1	Periodische Sicherheitsüberprüfungen	1-1
1.1.2	Langzeitbetrieb	1-1
1.2	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	1-1
1.3	Eingereichte Dokumente	1-2
1.4	Aufbau der Stellungnahme	1-2
2	Übersicht	2-1
2.1	Standort	2-1
2.1.1	Neue Industrieanlagen und Transportwege in der näheren Umgebung	2-1
2.1.2	Neue Erkenntnisse bezüglich meteorologischer Bedingungen	2-1
2.1.3	Neue Erkenntnisse bezüglich hydrologischer Bedingungen	2-2
2.1.4	Neue Erkenntnisse bezüglich Geologie und Erdbeben	2-3
2.1.5	Änderungen bezüglich Bevölkerungsverteilung und Notfallschutz-Vorsorgemassnahmen	2-5
2.2	Übergeordnetes Auslegungskonzept	2-5
2.2.1	Grundsätzlicher Aufbau des KKL	2-5
2.2.2	Barrierenkonzent	2-7
2.2.3	Schutzzielkonzent	2-7
2.2.4	Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge	2-8
2.2.5	Erfüllung der Vorgaben des schweizerischen Regelwerks	2-13
2.2.6	Stand der Nachrüsttechnik	2-13
2.3	Stand der Auflagen und Forderungen	2-17
2.3.1	Stand der Forderungen zur PSÜ 2006	2-17
2.3.2	Stand der in 2006 bis 2015 verfügbaren Forderungen	2-30
2.4	Aktuelle oder geplante Projekte zur Ertüchtigung des KKL	2-32
2.5	Wesentliche Entwicklungen nach dem Überprüfungszeitraum	2-32
3	Betriebsführung und Betriebsverhalten	3-1
3.1	Betriebserfahrung des KKL	3-1
3.2	Vorkommnisse	3-2
3.3	Reaktorkern, Brenn- und Steuerelemente	3-6
3.3.1	Reaktorkern	3-6
3.3.2	Brennelemente	3-11
3.3.3	Steuerelemente	3-21
3.4	Strahlenschutz	3-23
3.4.1	Organisation und Prozesse des Strahlenschutzes	3-23
3.4.2	Zonenkonzent	3-28
3.4.3	Massnahmen zur Reduktion der Dosis und der Kontamination	3-35
3.4.4	Begrenzung und Optimierung der Strahlenexposition des Personals	3-41
3.4.5	Sanitätsdienst	3-50
3.4.6	Abgabe radioaktiver Stoffe	3-51
3.5	Wasserchemie	3-54
3.5.1	Chemische und physikalische Parameter	3-54
3.5.2	Änderungen in der Wasserchemie	3-60
3.5.3	Anlagen zur Reinigung radiologisch belasteter Wässer	3-61

3.5.4	Abläufe im Labor und bei der Probenahme	3-63
3.5.5	Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik	3-66
3.6	Umgebungsüberwachung	3-67
3.7	Entsorgung	3-70
3.7.1	Abfallbehandlung	3-70
3.7.2	Lagerung der radioaktiven Abfälle und Grosskomponenten	3-71
3.7.3	Brennelemententsorgung	3-74
3.7.4	Transporte	3-77
3.8	Betriebserfahrung in vergleichbaren Anlagen	3-78
4	Sicherheitsrelevante Anlagenteile	4-1
4.1	Übersicht	4-1
4.2	Bauwerke des KKL	4-1
4.3	Nukleares Dampferzeugungssystem	4-6
4.3.1	Reaktordruckbehälter mit Einbauten	4-6
4.3.2	Umwälzsystem	4-10
4.3.3	Frischdampf- und Speisewassersystem	4-14
4.4	Verfahrenstechnische Sicherheits- und Hilfssysteme	4-18
4.4.1	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	4-18
4.4.2	Überprüfung der Auslegungsvorgaben der SSK	4-18
4.4.3	Übergeordnete Beurteilung der Betriebserfahrung und des Zustandes der SSK	4-20
4.4.4	Primär-/Sekundär-Containment inkl. Durchdringungen (XA, XE, XF, XG)	4-23
4.4.5	Wasserstoff-Rekombinatoren (XP)	4-26
4.4.6	Gefilterte Containment-Druckentlastung (XK)	4-26
4.4.7	Reaktorschutzsystem (YZ)	4-27
4.4.8	Neutronenfluss-Messung (YX)	4-28
4.4.9	Nach- und Notkühlsystem (TH)	4-28
4.4.10	Hochdruckkernsprühsystem (TJ)	4-31
4.4.11	Notstandsystem (TF)	4-33
4.4.12	Kernisolations-Kühlsystem (TM)	4-35
4.4.13	Steuerstab-Fahr- und Anzeigesystem (YV90)	4-36
4.4.14	Steuerstabantriebs-System (YV02-69)	4-37
4.4.15	Vergiftungssystem (TW)	4-39
4.4.16	Nebenkühlwassersystem (VF)	4-40
4.4.17	Lüftungstechnische Anlage Primärteil (TL)	4-41
4.4.18	Kälteanlagen kontrollierte Zone (UF-UF29)	4-42
4.4.19	Lüftungsanlagen Hauptkommandoraum, Notsteuerstellen, Betriebsgebäude und ZE-Elektorräume (UV10–UV42)	4-43
4.4.20	Brennelementbeckenkühlung (TG)	4-44
4.4.21	Hauptkondensatsystem (RM)	4-45
4.4.22	Reaktorwasserreinigungssystem (TC)	4-46
4.5	Elektro- und leittechnische Sicherheits- und Hilfssysteme	4-47
4.5.1	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	4-47
4.5.2	Überprüfung der Auslegungsvorgaben der SSK	4-47
4.5.3	Übergeordnete Beurteilung der Betriebserfahrung und des Zustands der SSK	4-49
4.5.4	Eigenbedarf und Notstromversorgung	4-49
4.5.5	Notstromdieselsysteme A, B, HPCS, SEHR-A und SEHR-B (BN, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ)	4-52

4.5.6	Sichere Schienen, Batterien, zugehörige Verteilanlagen (EM-EY, FM-FZ)	4-52
4.5.7	Speisewasserregelung (YR)	4-53
4.5.8	Sicherheitsrelevante Leittechnik und Leitstellen	4-54
4.5.9	Seismische Instrumentierung (MS)	4-56
4.6	Weitere wichtige Einrichtungen	4-57
4.6.1	Brandschutz	4-57
4.6.2	Blitzschutz	4-60
4.6.3	Flucht- und Rettungswege	4-62
4.6.4	Strahlenmesstechnik (inkl. Nachunfall-Probenahmesystem)	4-63
4.6.5	Hebezeuge	4-69
5	Instandhaltung und Alterungsüberwachung	5-1
5.1	Bautechnik	5-1
5.2	Maschinentechnik	5-2
5.3	Elektro- und Leittechnik	5-6
6	Deterministische Sicherheitsanalysen	6-1
6.1	Grundlagen deterministischer Sicherheitsanalysen	6-1
6.1.1	Grundlegende Anforderungen	6-1
6.1.2	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	6-3
6.1.3	Ausgangslage	6-3
6.1.4	Ereignisspektrum	6-4
6.1.5	Störfallkategorisierung	6-7
6.1.6	Rechenprogramme	6-9
6.2	Beurteilung der technischen Sicherheitsanalysen	6-9
6.2.1	Anlagentransienten – Anticipated Operational Occurrences	6-11
6.2.2	Störfälle (Accidents & Other Events)	6-18
6.2.3	Ausgewählte auslegungsüberschreitende Störfälle	6-29
6.3	Radiologische Auswirkungen von Auslegungsstörfällen	6-31
6.3.1	Nachweisführung	6-31
6.3.2	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	6-32
6.3.3	Aktivitätsinventare und Transport radioaktiver Stoffe	6-33
6.3.4	Methodik und Ergebnisse der Ausbreitungs- und Dosisberechnung	6-34
6.3.5	Ergebnisse der Transport-, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen	6-37
6.3.6	Radiologische Auswirkungen für das Betriebspersonal in der Anlage	6-52
6.4	Störfallanalysen der Lager und betrieblichen Lagerbecken	6-53
6.4.1	Störfallspektrum der Lager und betrieblichen Lagerbecken	6-53
6.4.2	Ausfall der Brennelementlagerbeckenkühlung und Leckagen von an das Brennelementlagerbecken anschliessenden Leitungen	6-54
6.4.3	Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager	6-55
7	Probabilistische Sicherheitsanalysen	7-1
7.1	Beurteilungsgrundlagen des ENSI	7-1
7.2	Vorgehen bei der Beurteilung	7-1
7.3	Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb	7-1
7.3.1	Zuverlässigkeit von Komponenten	7-2
7.3.2	Zuverlässigkeit von Operateurhandlungen	7-3
7.3.3	Thermohydraulische Analysen zur Bestimmung der Erfolgskriterien	7-6
7.3.4	Interne Ereignisse	7-6
7.3.5	Interne systemübergreifende Ereignisse	7-9

7.3.6	Externe Ereignisse	7-13
7.3.7	Ergebnisse der Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb	7-19
7.4	Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb	7-21
7.4.1	Kernschadenzustände der Anlage	7-21
7.4.2	Containmenttragfähigkeit	7-22
7.4.3	Containmentbeanspruchungen und Unfallablaufanalyse	7-22
7.4.4	Quelltermanalyse	7-24
7.4.5	Ergebnisse der Stufe-2-PSA	7-24
7.5	Risiko des Brennelementlagerbeckens bei Leistungsbetrieb	7-27
7.6	Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb	7-28
7.6.1	Definition und Dauer von Betriebszuständen	7-28
7.6.2	Zuverlässigkeit von Komponenten	7-29
7.6.3	Zuverlässigkeit von Operateurhandlungen	7-30
7.6.4	Thermohydraulische Analysen zur Bestimmung der Erfolgskriterien	7-31
7.6.5	Interne Ereignisse	7-31
7.6.6	Interne systemübergreifende Ereignisse	7-33
7.6.7	Externe Ereignisse	7-34
7.6.8	Ergebnisse der Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb	7-35
7.7	Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb	7-36
7.7.1	Analysen	7-36
7.7.2	Ergebnisse der Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb	7-37
7.8	Anwendungen der PSA	7-38
7.9	Zusammenfassende Bewertung	7-40
8	Organisation und Personal	8-1
8.1	Organisation des Bewilligungsinhabers	8-1
8.1.1	Eigentumsverhältnisse und Organisationsstruktur	8-1
8.1.2	Sicherheitsverantwortung	8-2
8.1.3	Aufgaben, Kompetenzen und Entscheidungsfindung von Unternehmens- und Kraftwerksleitung	8-3
8.2	Organisation des Kernkraftwerks	8-6
8.2.1	Organisationsstruktur, Verantwortlichkeiten, Kompetenzen, Funktionen und Aufgaben	8-6
8.2.2	Personalressourcen und -entwicklung	8-6
8.2.3	Aus- und Weiterbildung des Eigen- und Fremdpersonals	8-8
8.2.4	Beauftragung von Fremdpersonal und Fremdleistungen	8-10
8.2.5	Infrastruktur, Arbeitsmittel und Arbeitsbedingungen	8-11
8.2.6	Organisatorische Änderungen	8-12
8.2.7	Managementsystem	8-13
8.2.8	Führung	8-13
8.2.9	Sicherheitskultur	8-14
8.2.10	Meldewesen	8-15
8.2.11	Freigabeprozess und Qualität von Vorschriften	8-16
9	Notfallschutz	9-1
9.1	Notfallvorsorge und Notfallbereitschaft	9-1
9.2	Notfallorganisation, Notfalle Ausbildung und Notfallübungen	9-2
9.2.1	Notfallorganisation	9-2
9.2.2	Notfalle Ausbildung	9-3
9.2.3	Notfallübungen	9-4

9.3	Notfallabläufe	9-5
9.4	Notfalldokumentation	9-6
9.4.1	Störfallvorschriften	9-6
9.4.2	Severe Accident Management Guidance	9-7
9.5	Technische Ausrüstungen	9-9
9.5.1	Räumlichkeiten des Notfallschutzes	9-9
9.5.2	Technische Einrichtungen für das Notfallmanagement	9-10
9.5.3	Kommunikationsmittel für die Notfallorganisation	9-11
9.5.4	Störfallinstrumentierung	9-13
9.5.5	Safety Parameter Display System	9-13
9.5.6	Anlageparameter-System	9-14
10	Gesamtbewertung	10-1
10.1	Sicherheitsebenenorientierte Bewertung	10-1
10.2	Schutzzielorientierte Bewertung	10-3
10.3	Forderungen	10-4
	Anhang 1: Abkürzungen	A1-1
	Anhang 2: Referenzen	A2-1

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1-1:	Extremwetter-Gefährdungswerte für das KKL (10'000-jährliche Ereignisse)	2-2
Tabelle 4.2-1:	Klassierung der Bauwerke	4-2
Tabelle 4.2-2:	Bauliche Änderungen	4-3
Tabelle 4.4-1:	Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme	4-22
Tabelle 4.5-1:	Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der elektro- und leittechnischen Systeme	4-49
Tabelle 4.6-1:	Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der Brennelement-Handhabungseinrichtungen, Kräne und Hebezeuge	4-70
Tabelle 6.1-1:	Kriterien zur Bewertung der Störfallbeherrschung (Überblick)	6-2
Tabelle 6.1-2:	Abdeckendes Störfallspektrum mit den grössten Anforderungen an die Einhaltung der Schutzziele oder Auslegungsgrenzwerte des KKL	6-6
Tabelle 6.2-1:	Nachweisziele für die technischen Kriterien	6-10
Tabelle 6.3-1:	Maximal zu erwartende Dosis für Einzelpersonen in der Umgebung auf Grundlage der Richtlinie ENSI-G14 und der KKL-Analysen	6-36
Tabelle 7.3-1:	CDF-Beiträge interner Ereignisse (Volllast)	7-8
Tabelle 7.3-2:	CDF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Volllast)	7-19
Tabelle 7.4-1:	LERF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Volllast)	7-25
Tabelle 7.6-1:	Schwachlast- und Stillstandphasen in der KKL PSA 2016	7-29
Tabelle 7.6-2:	FDF-Beiträge interner Ereignisse (Nichtleistungsbetrieb)	7-32
Tabelle 7.6-3:	FDF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Nichtleistungsbetrieb)	7-35
Tabelle 7.7-1:	SLERF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Stillstand)	7-37
Tabelle 8.1-1:	Dokumente mit Regelungen zur Sicherheitsverantwortung des KKL	8-2
Tabelle 8.2-1:	Wesentliche organisatorische Änderungen 2006–2015	8-12

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.2-1:	Prinzipdarstellung des KKL	2-6
Abbildung 3.2-1:	Zuordnung der meldepflichtigen Vorkommnisse nach den Kriterien „Nukleare Sicherheit“ zu den betroffenen Sicherheitsebenen (L), Barrieren (B) und Schutzziele (S)	3-4
Abbildung 3.2-2:	Direkte Ursachen von Vorkommnissen gem. WANO-Kategorisierung (2009–2015)	3-5
Abbildung 3.4-1:	ODL-Verlauf an den RHR-Pumpen	3-37
Abbildung 3.4-2:	Verlauf der aus den Abgaben errechneten Dosiswerte für die meistbetroffenen Erwachsenen aus der Bevölkerung über 20 Jahre	3-53
Abbildung 3.4-3:	Aktivitätsabgaben des KKL mit dem Abwasser im Vergleich mit den anderen schweizerischen und dem Median der europäischen Reaktoren gemäss OSPAR ^{OSP}	3-54
Abbildung 3.5-1:	Aktivitätskonzentration von Iod-131 im Reaktorwasser während des Überprüfungszeitraums	3-56
Abbildung 3.6-1:	Darstellung des Skyshines aus der N-16-Strahlung über dem Maschinenhaus des KKL im Leistungsbetrieb der Anlage (Aufnahme mit einer sogenannten Gamma-Kamera durch das KKL)	3-69
Abbildung 7.4-1:	Einfluss früherer Nachrüstungen auf die LERF	7-26

1 Einleitung

1.1 Veranlassung und Randbedingungen

1.1.1 Periodische Sicherheitsüberprüfungen

Gemäss Art. 34 Abs. 1 der am 1. Februar 2005 in Kraft getretenen Kernenergieverordnung ^{KEV} hat der Inhaber einer Betriebsbewilligung für ein Kernkraftwerk alle zehn Jahre eine umfassende Sicherheitsüberprüfung (Periodische Sicherheitsüberprüfung, PSÜ) durchzuführen.

Entsprechend dem in der Richtlinie HSK-R-48^{R-48} für das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) festgelegten Termin hatte das KKL Ende 2006 erstmalig eine PSÜ, im Folgenden als PSÜ 2006 bezeichnet, eingereicht. Sie bezog sich auf den Zeitraum vom 1. Januar 1995 bis zum 31. Dezember 2005. Zu dieser PSÜ veröffentlichte das ENSI im August 2009 seine Stellungnahme ^{ENSI 12/1300}.

Die mit der vorliegenden sicherheitstechnischen Stellungnahme bewertete PSÜ 2016 bezieht sich auf den Überprüfungszeitraum vom 1. Januar 2006 bis 31. Dezember 2015. Wie im vorhergehenden PSÜ-Bericht berücksichtigen die Betrachtungen zur Alterungsüberwachung die gesamte Betriebszeit der Anlage beziehungsweise die seit damals wirkenden Alterungsmechanismen. Zusätzlich werden in Kap. 2.6 wesentliche Entwicklungen nach dem Überprüfungszeitraum betrachtet, die Untersuchungen zu Befunden an Brennelementen betreffen. Die Beurteilung der Sicherung ist nicht Gegenstand der PSÜ.

1.1.2 Langzeitbetrieb

Gemäss Richtlinie ENSI-A03^{A03} Kap. 5.8 ist ein Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb Bestandteil einer PSÜ. Ein solcher Nachweis ist für Kernkraftwerke, die voraussichtlich über 40 Jahre betrieben werden, zu erbringen und spätestens nach zehn Jahren zu aktualisieren.

Das KKL hat mit Brief vom 27. März 2015^{KKL-2015-03-27} den Projektplan für die PSÜ 2016^{PP PSÜ16} eingereicht und darin angekündigt, dass ein Betrieb über 40 Jahre, d. h. über das Jahr 2024 hinaus, beabsichtigt ist. Im Projektplan war beantragt, den Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb im Rahmen eines Projekts nach Abgabe der Unterlagen für die PSÜ 2016 zu erarbeiten. Eine Darstellung und Zusammenfassung der Ergebnisse der durchgeführten Bewertungen für Grosskomponenten (einschliesslich einer Prognose) sowie eine Darstellung von durchgeführten und geplanten Nachrüstungen waren im Rahmen der PSÜ 2016 vorgesehen. Ein Nachrüstkonzept für den Langzeitbetrieb und ein Betriebsdauermanagement sollten jedoch nur Bestandteil des nachfolgenden Projekts sein. Das ENSI hat sich mit Brief vom 22. September 2015^{ENSI-2015-09-22} mit diesem Vorgehen einverstanden erklärt.

Die vom KKL eingereichte PSÜ 2016 enthält die angekündigten Darstellungen zu Grosskomponenten und skizziert die geplanten Schritte für die Erbringung des Sicherheitsnachweises für den Langzeitbetrieb. Demnach ist vorgesehen, die Nachweise für den Langzeitbetrieb der Behörde spätestens zwei Jahre vor dem Abschluss des 40. Betriebsjahres, also Ende 2022, einzureichen. Dieses Vorgehen erfüllt die Anforderungen der Neufassung der Kernenergieverordnung vom 1. Juni 2017.

1.2 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

Als Beurteilungsgrundlagen gelten die schweizerischen Gesetze und Verordnungen, die ENSI-Richtlinien sowie eine Reihe bezeichneter Grundlagen, namentlich internationale Normen. Die für das einzelne Sachgebiet angewandten Beurteilungsgrundlagen sind in den nachfolgenden Kapiteln jeweils detailliert aufgeführt.

1.3 Eingereichte Dokumente

Das KKL reichte dem ENSI mit Brief vom 15. Dezember 2016 fristgerecht die PSÜ-Dokumentation ein. Sie umfasst folgende Unterlagen:

- **Übersicht über die Anlage:** Technische Berichte PSÜ/0030^{PSÜ/30}, PSÜ/0055^{PSÜ/55}, PSÜ/0061^{PSÜ/61} und PSÜ/0133^{PSÜ/133}
- **Betriebsführung und Betriebsverhalten:** Technische Berichte PSÜ/0004 bis PSÜ/0009^{PSÜ/4}, PSÜ/5, PSÜ/6, PSÜ/7, PSÜ/8, PSÜ/9, PSÜ/0015^{PSÜ/15}, PSÜ/0056^{PSÜ/56} und PSÜ/0074^{PSÜ/74}
- **Sicherheitsrelevante Anlagenteile:** Technische Berichte PSÜ/0011 bis PSÜ/0013^{PSÜ/11}, PSÜ/12, PSÜ/13, PSÜ/0017 bis PSÜ/0028^{PSÜ/17}, PSÜ/18, PSÜ/19, PSÜ/20, PSÜ/21, PSÜ/22, PSÜ/23, PSÜ/24, PSÜ/25, PSÜ/26, PSÜ/27, PSÜ/28, PSÜ/0031^{PSÜ/31}, PSÜ/0034^{PSÜ/34}, PSÜ/0040 bis PSÜ/0049^{PSÜ/40}, PSÜ/41, PSÜ/42, PSÜ/43, PSÜ/44, PSÜ/45, PSÜ/46, PSÜ/47, PSÜ/48, PSÜ/49, PSÜ/0051^{PSÜ/51}, PSÜ/0053^{PSÜ/53}, PSÜ/0054^{PSÜ/54}, PSÜ/0057^{PSÜ/57}, PSÜ/0063 bis PSÜ/0067^{PSÜ/63}, PSÜ/64, PSÜ/65, PSÜ/66, PSÜ/67, PSÜ/0072^{PSÜ/72}, PSÜ/0073^{PSÜ/73}, PSÜ/0075^{PSÜ/75}, PSÜ/0076^{PSÜ/76}, PSÜ/0078 bis PSÜ/0103^{PSÜ/78}, PSÜ/79, PSÜ/80, PSÜ/81, PSÜ/82, PSÜ/83, PSÜ/84, PSÜ/85, PSÜ/86, PSÜ/87, PSÜ/88, PSÜ/89, PSÜ/90, PSÜ/91, PSÜ/92, PSÜ/93, PSÜ/94, PSÜ/95, PSÜ/96, PSÜ/97, PSÜ/98, PSÜ/99, PSÜ/100, PSÜ/101, PSÜ/102, PSÜ/103, PSÜ/0105 bis PSÜ/0108^{PSÜ/105}, PSÜ/106, PSÜ/107, PSÜ/108, PSÜ/0110^{PSÜ/110}, PSÜ/0111^{PSÜ/111}, PSÜ/0113 bis PSÜ/0117^{PSÜ/113}, PSÜ/114, PSÜ/115, PSÜ/116, PSÜ/117, PSÜ/0120^{PSÜ/120}, PSÜ/0121^{PSÜ/121}, PSÜ/0126 bis PSÜ/0130^{PSÜ/126}, PSÜ/127, PSÜ/128, PSÜ/129, PSÜ/130, PSÜ/0132^{PSÜ/132} und PSÜ/0135 bis PSÜ/0137^{PSÜ/135}, PSÜ/136, PSÜ/137
- **Alterungsüberwachung:** Technischer Bericht PSÜ/0032^{PSÜ/32}
- **Sicherheitsanalysen:** Dokumente BET/02/132^{BET/02/132}, BET/05/0101^{BET/05/101}, BET/05/0182^{BET/05/182}, BET/07/0078^{BET/07/78}, BET/12/0096^{BET/12/96}, BET/97/027^{BET/97/27}, SET 13-021^{SET 13-21}, SET 13-035^{SET 13-35}, SET 13-045^{SET 13-45}, SET 13-077^{SET 13-77}, SET 13-105^{SET 13-105}, SET 13-128^{SET 13-128}, SET 13-170^{SET 13-170}, SET 14-115^{SET 14-115}, Programmbeschreibung EXPOG14^{EXPOG14}, technische Berichte PSÜ/0010^{PSÜ/10} und PSÜ/0014^{PSÜ/14}
- **Organisation und Personal:** Technische Berichte PSÜ/0036 bis PSÜ/0038^{PSÜ/36}, PSÜ/37, PSÜ/38
- **Notfallvorsorge und Notfallmanagement:** Technische Berichte PSÜ/0050^{PSÜ/50}, PSÜ/0052^{PSÜ/52}, PSÜ/0068^{PSÜ/68}, PSÜ/0069^{PSÜ/69} und PSÜ/0071^{PSÜ/71}
- **Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb:** Technischer Bericht PSÜ/0033^{PSÜ/33}
- **Gesamtbewertung der PSÜ:** Technischer Bericht PSÜ/0141^{PSÜ/141}

Im Zusammenhang mit der PSÜ 2016 reichte das KKL mit Brief vom 14. Dezember 2016^{KKL-2016-12-14} auch den aktualisierten Sicherheitsbericht^{SAR-2016} sowie mit Brief vom 16. Dezember 2016^{KKL-2016-12-16} eine aktualisierte PSA-Studie ein.

Im Rahmen der Grobprüfung der PSÜ 2016 hat das ENSI eine Reihe von Nachforderungen gestellt. Die wichtigsten der aufgrund von Nachforderungen nachgereichten Unterlagen sind in den nachfolgenden Kapiteln erwähnt.

1.4 Aufbau der Stellungnahme

In Anlehnung an die Richtlinie ENSI-A03 ist diese Stellungnahme in folgende Kapitel strukturiert:

- Kap. 2: Übersicht
- Kap. 3: Betriebsführung und Betriebsverhalten
- Kap. 4: Sicherheitsrelevante Anlagenteile
- Kap. 5: Instandhaltung und Alterungsüberwachung
- Kap. 6: Deterministische Sicherheitsanalysen
- Kap. 7: Schutz der Anlage gegen auslegungsüberschreitende Störfälle

-
- Kap. 8: Organisation und Personal
 - Kap. 9: Notfallschutz
 - Kap. 10: Gesamtbewertung

Die Bewertung der vom KKL eingereichten Darstellungen zu Grosskomponenten sowie der durchgeführten und geplanten Nachrüstungen ist in die Kap. 4 und 5 integriert.

Die Stellungnahme enthält überdies zwei Anhänge mit Abkürzungen und Referenzen.

2 Übersicht

2.1 Standort

2.1.1 Neue Industrieanlagen und Transportwege in der näheren Umgebung

Angaben des KKL

Im Umkreis von 3 km des Kernkraftwerks Leibstadt finden sich keine industriellen Betriebe und Treibstofflager mit einem Gefährdungspotential für die Anlage. Die nächste Gastransitleitung verläuft mehr als 20 km entfernt vom Standort des KKL. In dem für die PSÜ relevanten Überprüfungszeitraum sind keine neuen Industrieanlagen und Transportwege in der näheren Umgebung entstanden.

Die Gefährdung durch Transporte ist aufgrund des grossen Abstands zwischen Strasse und Kernkraftwerk sowie aufgrund des Damms zwischen Eisenbahnlinie und Kraftwerksgelände als sehr gering einzustufen, zumal das KKL gegen Einwirkungen von aussen ausgelegt ist. Der Rhein ist in Standortnähe nicht für die Transportschifffahrt zugänglich, sodass kein Gefährdungspotential daraus besteht.

Andere kerntechnische Einrichtungen in der näheren Umgebung des Standortes sind folgende:

- Kernkraftwerk Beznau in ca. 5 km Entfernung mit zwei Druckwasserreaktorblöcken mit einer Nennleistung von je 380 MWe;
- Zwischenlager Würenlingen (Zwilag) in ca. 6 km Entfernung;
- Paul Scherer Institut (PSI) in ca. 6,2 km Entfernung.

Es besteht kein direkter Einfluss dieser kerntechnischen Einrichtungen auf die Sicherheit des KKL.

Der Standort des Kernkraftwerks Leibstadt liegt ca. 30 km nordwestlich des Flughafens Zürich-Kloten und ca. 56 km westlich des Flughafens Basel-Mulhouse. Weiterhin befindet sich in ca. 18 km Entfernung der Sportflughafen Birrfeld. Die sicherheitstechnisch relevanten Anlagenteile des KKL sind gegen die Folgen eines Flugzeugabsturzes ausgelegt.

Beurteilung des ENSI

Für das ENSI ist es nachvollziehbar, dass sich in dem für die PSÜ relevanten Überprüfungszeitraum seit dem Jahr 2006 keine neueren Erkenntnisse bezüglich der genannten Einwirkungen aus Industrieanlagen und Transportwegen ergeben haben. Nach den dem ENSI vorliegenden Informationen ergeben sich aus den Verkehrswegen und Industrieanlagen in der Umgebung des Standorts keine unzulässigen Gefährdungen. Die Distanzen von Anlagen mit einem nennenswerten Gefährdungspotential sind ausreichend gross, um eine relevante Beeinträchtigung der Sicherheit ausschliessen zu können.

Zum Luftverkehr sei auf die Kap. 6.2.2.9, 6.4.3 und 7.3.6.5 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen.

2.1.2 Neue Erkenntnisse bezüglich meteorologischer Bedingungen

Angaben des KKL

Im Rahmen des Aktionsplans Fukushima^{ENSI 9106} wurden extremwertstatistische Auswertungen zur Bestimmung der 10'000-jährlichen Gefährdungen durch extreme Wetterbedingungen durchgeführt. Die Studie aus 2014 wurde aufgrund einer Überprüfung des ENSI im Hinblick auf die PSÜ 2016 überarbeitet. Für den Standort des KKL werden in der überarbeiteten Studie^{BET/14/5} folgende mittlere Gefährdungswerte ermittelt:

Tabelle 2.1-1: Extremwetter-Gefährdungswerte für das KKL (10'000-jährliche Ereignisse)

Instantan einwirkende Gefährdung	KKL-spezifischer Gefährdungswert
Wind	44,8 m/s
Tornado	50,2 m/s
Starkregen	Maximal mögliche Wasseransammlung auf den Gebäudedächern
Mittelfristig einwirkende Gefährdung	
Schneelast	2,21 kN/m ²
Maximale Lufttemperatur	43,2 °C
Minimale Lufttemperatur	-29,8 °C
Langfristig einwirkende Gefährdung	
Extreme Flusswassertemperaturen	28,9 °C / Auftreten von Eisbrei
Trockenheit	Flusspegel < 308,7 m ü. NN

Die Gefährdungen Hagel, vereisender Regen, Vereisung durch niedrige Aussen- bzw. Flusswassertemperaturen und Waldbrand wurden qualitativ untersucht. Darüber hinaus wurden die Kombinationen aus Schneelasten und minimaler Lufttemperatur sowie Trockenheit und maximaler Lufttemperatur berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hatte im Juni 2015 die Gefährdungswerte definiert, auf deren Basis das KKL seinen Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen die 10'000-jährlichen Gefährdungen geführt hat. Bei der Festlegung der Gefährdungswerte verschärfte das ENSI gewisse Gefährdungsannahmen gegenüber der KKL-Studie aus 2014. Die vom ENSI festgelegten Werte stellen mit Ausnahme der maximalen Sommertemperaturen höhere oder ähnlich hohe Anforderungen im Hinblick auf ihre Beherrschbarkeit, wie die in der neuen Gefährdungsstudie des KKL ausgewiesenen Werte.

Eine erste Überprüfung der neuen Gefährdungsstudie^{BET/14/5} zeigt, dass die Windgefährdung basierend auf den jährlichen Maximalwerten ermittelt wurde. Diese Methode führte in der vorherigen Analyse bei der Bewertung der maximalen Windgeschwindigkeiten zu einem um rund 10 m/s tieferen Gefährdungswert als eine Methode, welche die monatlichen Maximalwerte verwendet. Die Bestimmung der Tornadogefährdung entspricht nicht genau der neuen Richtlinie ENSI-A05 aus dem Jahr 2018, die aktuellere und umfassendere Daten zur Tornadogefährdungsbestimmung berücksichtigt. Das ENSI akzeptiert daher die vom KKL ausgewiesenen Werte bezüglich Wind und Tornado zurzeit nicht. Eine detaillierte Stellungnahme des ENSI erfolgt nach Erhalt (Ende 2018) der entsprechenden Gefährdungsstudien für alle anderen Schweizer KKW.

Für weitergehende Ausführungen zu extremen Wetterbedingungen sei auf die Kap. 6.2.2.9 und 7.3.6.3 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen.

2.1.3 Neue Erkenntnisse bezüglich hydrologischer Bedingungen

Angaben des KKL

Für das Auftreten von Flutwellen am Kraftwerkstandort wurde für die Auslegung der Anlage gegen Überflutungen das Versagen einer flussaufwärts liegenden Wehranlage im Rhein oder in der Aare angenommen. Berechnungen über die entstehenden Flutwellen wurden vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft in 1969 durchgeführt. Die ermittelte maximal zu erwartende Wellenhöhe beträgt 315,60 m ü. M.. Im Jahr 1996 wurden die Berechnungen nochmals durch das Bundesamt für Wasserwirtschaft bestätigt. Die Auslegungsfluthöhe von 315,60 m ü. M. befindet sich deutlich unterhalb des Terrains des KKL, das sich auf einer Höhe von 332,00 m ü. M. befindet. Auch das tiefer gelegene Nebenkühlwasser-Pumpenhaus bei 320,00 m ü. M. wird infolge der erhöhten und zurückverlegten Lage durch Flutwellen nicht erreicht.

Im Rahmen eines deterministischen Nachweises der Beherrschung von Hochwasser am Standort KKL wurden in 2011 Extremhochwasser neu untersucht. Die mittels moderner Methoden durchgeführten Analysen zeigen, dass der höchste berechnete Wasserstand beim KKL, welcher sich aufgrund des zu beherrschenden 10'000-jährlichen Extremhochwassers ergibt, mit 313,75 m ü. M. ca. 18 m unterhalb der Terrainhöhe des KKL liegt. Somit kann die ursprüngliche Auslegung des KKL gegen Überflutung weiterhin als konservativ abdeckend angesehen werden.

Beurteilung des ENSI

Die Angaben zur Hochwassersicherheit des KKL sind nachvollziehbar. Das ENSI kann bestätigen, dass entsprechend den vorliegenden Untersuchungen zur Hochwassergefährdung des KKL weder bei einem 10'000-jährlichen Hochwasser noch durch Flutwellen aufgrund des Versagens von Stauanlagen im Rhein oder in der Aare die Auslegungsfluthöhe von 315,60 m u. M. überschritten wird. Das ENSI verfolgt die Arbeiten und Ergebnisse des Projekts EXAR (Projekt Gefahregrundlagen für Extremhochwasser an Aare und Rhein), welches unter Leitung des Bundesamts für Umwelt durchgeführt wird.

2.1.4 Neue Erkenntnisse bezüglich Geologie und Erdbeben

Angaben des KKL

Geologie

Im Überprüfungszeitraum kam es zu keinen neuen Erkenntnissen bezüglich Geologie, die eine Überprüfung der diesbezüglichen Auslegungsgrundlagen hätten auslösen können.

Das KKL steht auf 50 m mächtigen alluvialen Schottern des jetzigen und früheren Rheins. Diese werden von triassischen Sedimenten und kristallinen Gesteinen des Schwarzwaldes unterlagert. Bis nach Ablagerung der Hochterrassenschotter sind in der Region Erdbeben und im Gefolge daran Dislokationen aufgetreten. Es werden zwei Bruchperioden genannt, eine erste im Mitteloligozän mit Verwerfungen in Nord-Süd-Richtung und eine zweite im obersten Miozän bis älteren Diluvium mit Bewegungen entlang des Rheintals, der Dinkelbergscholle, entlang der Zeininger-Verwerfung sowie Bewegungen auf Brüchen in Nord-Süd-Richtung und Verwerfungen in Ost-West-Richtung. In der näheren Umgebung des Standorts soll die Mettauer-Störung durchziehen, die eine relativ flachliegende Überschiebung darstellt.

Für Baugrunduntersuchungen und seismische Messungen wurden 1965 am Standort fünf Kernbohrungen bis in den Fels abgeteuft sowie 1973 weitere sechs Bohrungen beim Maschinen- und Reaktorgebäude. Für hydrogeologische Untersuchungen wurden insgesamt 18 zusätzliche Bohrungen abgeteuft und geoelektrische Sondierungen, geophysikalische Bohrlochmessungen, bodenmechanische und hydrogeologische Untersuchungen sowie Stabilitätsuntersuchungen durchgeführt. Auf Basis dieser Untersuchungen kommt das KKL zum Schluss, dass eine Gefahr von oberflächlichen Rutschungen und Gleitungen ausgeschlossen werden kann. Setzungen der Tonschieferereinschaltungen im Felsuntergrund sind wegen der Überlagerung durch die verkitteten Schotter kaum zu erwarten. Brüche, Verwerfungen, Überschiebungen, Abscherflächen, Schwächezonen mit zusammengestürztem und gestörtem Material sowie tiefgreifende Verkarstungen wurden nicht festgestellt und sind kaum zu erwarten.

Erdbebengefährdung

Im Kapitel zur Seismologie ist das zur Bestimmung der seismischen Auslegungsbeanspruchung des KKL seinerzeit angewendete Verfahren beschrieben^{PSÜ/61}. Zudem sind seit der Lizenzierung des Werks gewonnene Daten und Erkenntnisse dargelegt. Hinsichtlich der Entwicklungen im Betrachtungszeitraum der PSÜ wird auf die Erdbebengefährdungsstudien PEGASOS und PRP der Schweizer KKW hingewiesen. Mit dem PEGASOS Refinement Project (PRP) wurde zwischen 2008 und 2013 das Erdbebengefährdungsmodell des 2004 abgeschlossenen PEGASOS-Projekts unter Einbezug neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse verfeinert, wobei der Fokus auf der Reduzierung der Unsicherheiten, speziell bei den Abminderungs- und den standortspezifischen Verstärkungsmodellen lag. Im Vorfeld des PRP wurden mit Messkampagnen an den KKW-Standorten Boden-

kennwerte neu ermittelt. Für das KKL wurden unter dem Projektnamen OPAL unter anderem Schwerwellengeschwindigkeitsprofile, Eigenfrequenzen der Bodenkolonne, Dispersionskurven, dynamische Schermoduli und Dämpfungseigenschaften des Bodenmaterials mittels abgeteuffer Bohrungen und Messungen im Labor bestimmt. Die Ergebnisse wurden von den Experten des PRP beurteilt und im PRP in gewichteter Form mitberücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Geologie

Die Darstellungen des KKL zur Geologie sind deutlich veraltet. Die Terminologie und die Aussagen entsprechen fast ausschliesslich einem Sachstand vor 1980.

Ein Vergleich mit dem aktuellen geologischen Atlasblatt Zurzach (Erläuterungen durch Bitterli et al. 2000^{Bitt-2000}) bzw. dem im Internet einsehbaren „Geocover“-Datensatz^{swisstopo} der swisstopo zeigt, dass sich nicht nur die Begrifflichkeiten geändert haben, sondern dass sich aufgrund der heute vorhandenen 2D-seismischen Linien aus der Erdölexploration und der Endlagersuche der Nagra diverse neue Erkenntnisse ergeben haben, z. B. zur vom KKL beschriebenen Mettauer-Störung, zu einer potenziellen Störung, der Hagenfirst-Störung, ca. 800 m östlich des Reaktorgebäudes und zu zwei nahe des KKL-Standorts in Nordnordwest-Südsüdost-Richtung verlaufenden Staffelbrüchen.

Die Suche nach neotektonischen Störungen stützt sich seitens des KKL auf „photogeologische Auswertungen“. Für eine moderne Abklärung bezüglich neotektonisch aktiver Elemente würde das ENSI eine Auswertung auf LiDAR-Basis erwarten, insbesondere wenn bereits photogeologische Hinweise auf Strukturelemente vorliegen. Hochauflösende LiDAR-Datensätze für das Standortgebiet KKL können bei swisstopo eingesehen werden. Die Darstellung seitens KKL ist daher auch als methodisch veraltet anzusehen.

Zusammenfassend stellt das ENSI Folgendes fest:

- Die Ausführungen des KKL sind terminologisch, methodisch als auch bezüglich der Integration aktueller Erkenntnisse und Kartenwerke nicht auf den neusten Stand.
- Das ENSI sieht die von KKL dargestellte Geologie am Standort KKL dennoch als in den Grundzügen korrekt an.

Forderung 2.1-1

Die Darstellung der geologischen Verhältnisse am Standort KKL und in dessen Umgebung ist methodisch und fachlich auf den neusten Stand zu bringen und sicherheitstechnisch bzgl. aktueller Erkenntnisse zu beurteilen. Eine aktualisierte Darstellung und die sich daraus für den Standort KKL ergebenden sicherheitstechnischen Erkenntnisse sind bis zum 15. Dezember 2022 einzureichen.

Erdbebengefährdung

In Bezug auf die Untersuchungen zur Gefährdung durch seismische Bodenbeschleunigungen positiv hervorzuheben ist, dass das KKL im Betrachtungszeitraum, im Rahmen des Projekts OPAL, neue Standortdaten erhob. Diese Daten flossen in das PRP ein, in welchem international führende Experten den aktuellen Stand des Wissens nach rigiden prozesstechnischen Vorgaben bewerteten, und welches vom ENSI projektbegleitend und -abschliessend geprüft wurde^{ENSI 9657}.

Am 18. März 2011 verfügte das ENSI, dass die Auslegung der Kernkraftwerke in der Schweiz bezüglich Erdbeben erneut zu überprüfen war und legte, in einer zweiten Verfügung, am 1. April 2011 die Randbedingungen für die Überprüfung fest. Da das PRP noch nicht abgeschlossen war, waren die seismischen Gefährdungsannahmen auf der Grundlage des neuen Erdbebenkataloges des Schweizerischen Erdbebendienstes und der im Rahmen des PRP erhobenen Standortdaten neu zu ermitteln. Die in der Folge basierend auf dem damals aktuellen Stand von PRP ermittelten Erdbebengefährdungsannahmen wurden als „PRP Intermediate Hazard“ (PRP-IH) bezeichnet. In der Stellungnahme zur vom KKL eingereichten Dokumentation kommt das ENSI zum

Schluss, dass die Kernkühlung und die Kühlung der Brennelementlagerbecken unter Einwirkung eines 10'000-jährlichen Erdbebens und der Kombination von Erdbeben und erdbebenbedingtem Hochwasser einzelfehler-sicher gewährleistet bleiben. Der im Rahmen der Nachweise für die ausreichende Vorsorge einzuhaltende Dosiswert von 100 mSv wird bei diesen Störfällen eingehalten.

In der Verfügung vom 1. April 2011 ist festgelegt, dass nach Abschluss der Überprüfung der Ergebnisse des PRP durch das ENSI die Erdbebenfestigkeitsnachweise zu aktualisieren sind und der deterministische Nachweis zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens (nochmal) zu erbringen ist. Zwischenzeitlich ist die Überprüfung abgeschlossen. Mit der Verfügung vom 26. Mai 2016 wurden neu die Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 sowie die Randbedingungen und Termine für die zu erbringenden Sicherheitsnachweise festgelegt.

2.1.5 Änderungen bezüglich Bevölkerungsverteilung und Notfallschutz-Vorsorgemassnahmen

Angaben des KKL

Die Entwicklung der Bevölkerungszahlen um den Standort wird in einem PSÜ-Bericht^{PSÜ/61} für die schweizerischen und deutschen Gemeinden dargelegt. Insgesamt beträgt die Bevölkerung im Umkreis von 20 km ca. 273'000 auf der schweizerischen und ca. 124'000 Personen auf der deutschen Seite. Damit beträgt die Gesamtzahl der Bevölkerung im Umkreis von 20 km ca. 397'000, womit die Gesamtbevölkerungszahl seit 2000 um ca. 50'000, hauptsächlich auf der Schweizer Seite, zugenommen hat.

Beurteilung des ENSI

Die Darstellung und Beurteilung der Bevölkerungsverteilung um den Standort dient in erster Linie der Beurteilung der Durchführbarkeit von Notfallschutzmassnahmen zum Schutz der Bevölkerung. Den Aussagen des KKL zum Bevölkerungswachstum liegt eine Aussage zur Machbarkeit von Schutzmassnahmen nicht bei.

Im Rahmen der Revision der Iodtablettenverordnung im Jahre 2014 wurde z. B. die Vorverteilung der Kaliumiodid-Tabletten an die Einwohner auf einen Radius von 50 km um das KKL ausgedehnt. Unter Verwendung von aktuellen Einwohnerzahlen erfolgt zurzeit im Kanton Aargau die Planung von grossräumigen Evakuierungen nach Vorgaben des Bundes. Dies beinhaltet u. a. die vorsorgliche Festlegung und Ausrüstung von Notfalltreffpunkten, Aufnahmestellen und Betreuungsstellen sowie die Festlegung eines Notfallkommunikationsprinzips. Die selbstständige Evakuierung von Teilen der Bevölkerung wird bei der Bestimmung von notwendigen Transportkapazitäten berücksichtigt.

Das ENSI geht davon aus, dass aufgrund der bereits für den Standort bestehenden Vorkehrungen und Einrichtungen des Notfallschutzes und der moderaten Bevölkerungsdichte keine nachteiligen Faktoren hinsichtlich der Planung und Durchführung von Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung bestehen.

Die Planung einer Evakuierung bzw. die Erstellung eines entsprechenden Konzepts nach Vorgaben des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz obliegt gemäss Notfallschutzverordnung^{NFSV} den Kantonen der Zonen 1 und 2.

2.2 Übergeordnetes Auslegungskonzept

2.2.1 Grundsätzlicher Aufbau des KKL

Beim KKL handelt es sich um einen Siedewasserreaktor des Typs BWR/6 der amerikanischen Firma General Electric (GE) mit einer thermischen Leistung von 3600 MW. Der im Reaktor erzeugte Dampf wird direkt zu der aus Hoch- und Niederdruckturbinen bestehenden Turbinengruppe geleitet. Dort entspannt der Dampf und kondensiert anschliessend im Kondensator zu Wasser. Das Wasser wird gereinigt und mithilfe der Speisepumpen zum Reaktor zurückgeführt. Die Turbinengruppe treibt den Generator an, dessen elektrische Leistung über die Freiluftschaltanlage in das 400-kV-Netz gespeist wird.

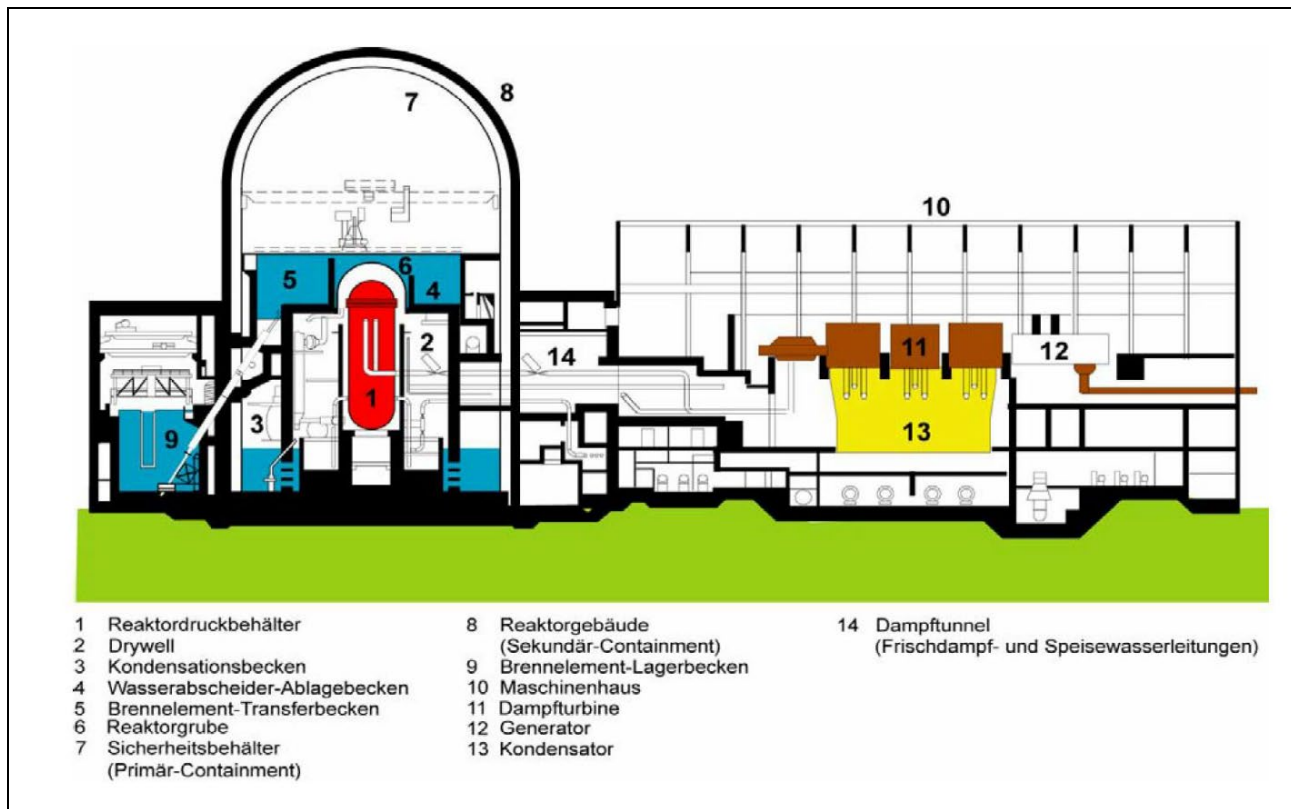


Abbildung 2.2-1: Prinzipdarstellung des KKL

Der Reaktor verfügt über zwei ausserhalb des Reaktordruckbehälters liegende Umwälzschleifen mit je einer Umwälzpumpe und je einem Regelventil. Über die Stellung der Regelventile werden die Umwälzmenge und dadurch die Reaktorleistung geregelt. Das nukleare Dampferzeugungssystem (Reaktordruckbehälter einschliesslich Umwälzleitungen sowie Abschnitte der Frischdampf- und Speiswasserleitungen mitsamt ihren Isolationsarmaturen) wird von einem Containment des Typs Mark III eingeschlossen, das aus Primär- und Sekundärcontainment besteht. Wesentliche Bestandteile des Primärcontainments sind Drywell, Kondensationsbecken und Stahlschale. Der Drywell ist in massivem Stahlbeton ausgeführt und hat die Aufgabe, den bei einem Leitungsbruch freigesetzten Dampf in das Kondensationsbecken zu leiten. Er dient gleichzeitig der Strahlenabschirmung. Die bis zu 37 mm starke Stahlschale stellt mit den durchführenden Leitungen und deren Isolationsarmaturen eine Barriere gegen die Freisetzung radioaktiver Stoffe dar. Zum Sekundärcontainment gehören Reaktorgebäude, Brennelementlagergebäude sowie Teile des Reaktorhilfsanlagen- und des Notstandgebäudes. Dieses stellt eine weitere Barriere dar, indem die dazugehörigen Räume gegenüber der Umgebung unter Unterdruck stehen. Leckagen im Sekundärcontainment können gezielt abgesaugt und die kontaminierte Raumluft über den Abluftkamin gefiltert an die Umgebung abgegeben werden.

Den zentralen Kraftwerksblock bilden das Reaktorgebäude, das Reaktorhilfsanlagengebäude, das Brennelementlagergebäude und das Notstandgebäude. Diese Gebäude sind durch massive, stahlbewehrte Betonmauern besonders gegen Einwirkungen von aussen geschützt und enthalten die Sicherheitssysteme. An den zentralen Kraftwerksblock schliessen weitere Gebäude an, die vornehmlich Betriebssysteme enthalten. Mit Ausnahme des Betriebsgebäudes und Teilen des Reaktorhilfsanlagen- und des Aufbereitungsgebäudes, gehören all diese Gebäude aus Gründen des Strahlenschutzes zur kontrollierten Zone. Räumlich getrennt vom Kraftwerksblock befinden sich weitere Gebäude, in denen sich wichtige Hilfssysteme wie die Notstrom- und die Kühlwasserversorgung befinden. Diese Gebäude gehören nicht zur kontrollierten Zone.

2.2.2 Barrierenkonzept

Angaben des KKL

Der Einschluss der im KKL befindlichen radioaktiven Stoffe ist durch gestaffelte Barrieren sowie Rückhaltefunktionen wie Filterung, Wasserüberdeckung, gerichtete Strömung durch Unterdruckhaltung, Verzögerungsstrecken, Gebäudeabdichtungen, Auffangwannen, Behälter oder sonstige Umschliessungen sichergestellt.

Barrieren sind

- 1) die Brennstoffmatrix mit dem Brennstabhüllrohr;
- 2) die druckführende Umschliessung des Reaktorkühlmittels;
- 3) das Primärcontainment; und
- 4) das Sekundärcontainment.

Die Barrieren sind derart ausgelegt, dass sie, soweit technisch möglich, so voneinander unabhängig sind, dass bei Störfällen als Folge der anzuwendenden Gefährdungsannahmen eine Barriere nicht als Folge des Ausfalls einer anderen Barriere versagen kann.

Für den geöffneten Reaktor im Revisionsstillstand, Brennelemente in einem Lagerbecken, Brennelemente in einem Transport- oder Lagerbehälter sowie radioaktive Abfälle stellt sich die Barrierensituation anders, jedoch sinngemäss dar.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und ENSI-G02 (Teil 1)^{G02}

Beurteilung des ENSI

Das vom KKL angeführte Barrierenkonzept entspricht den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G02 (Teil 1), Kap. 4.2. Demnach bilden die Brennstoffmatrix und das Brennstabhüllrohr die erste, die druckführende Umschliessung des Reaktorkühlmittels die zweite und das Containment die dritte Barriere. Die Ausführungen des KKL zum Revisionsstillstand, zu gelagerten Brennelementen und zu radioaktivem Abfall zeigen, dass sich das KKL systematisch und durchdacht mit dem Barrierenkonzept auseinandergesetzt hat. Die Integrität der Barrieren wird in Kap. 3.4 behandelt.

2.2.3 Schutzzielkonzept

Angaben des KKL

Das Schutzzielkonzept gewährleistet die Integrität der Barrieren gegen die Ausbreitung radioaktiver Stoffe und damit die in Art. 4 KEG formulierten Sicherheitsziele. Es beinhaltet technische Massnahmen zur Einhaltung der in der UVEK-Verordnung zu den Gefährdungsannahmen definierten grundlegenden Schutzziele:

- Kontrolle der Reaktivität
- Kühlung der Kernmaterialien und der radioaktiven Abfälle
- Einschluss der radioaktiven Stoffe
- Begrenzung der Strahlenexposition

zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit. Aus den Schutzzielen werden Funktionen bzw. Aufgabenstellungen abgeleitet, die auf den unterschiedlichen Sicherheitsebenen durch unterschiedliche technische Lösungen und Massnahmen umgesetzt werden.

Zur Kontrolle der Reaktivität wird die Energiezufuhr überwacht und begrenzt sowie die Energieerzeugung an die Möglichkeiten der Energieabfuhr angepasst. Dies wird durch folgende Anforderungen sichergestellt:

- Reaktivitätsänderungen sind auf zulässige Werte zu beschränken.
- Der Reaktorkern muss abgeschaltet und langfristig unterkritisch gehalten werden können.

- Bei der Handhabung sowie der Lagerung unbestrahlter und bestrahlter Brennelemente ist Unterkritikalität sicherzustellen.

Für die Kühlung der Kernmaterialien und der radioaktiven Abfälle werden die Kühlmittel und Wärmesenken, die Energieabfuhr und der Energietransport zur Wärmesenke sichergestellt. Die Energieabfuhr wird der Energieerzeugung angepasst.

Der Einschluss der radioaktiven Stoffe wird durch die Barrieren und Massnahmen zur Überwachung und Sicherstellung der Integrität der Barrieren gewährleistet. Hierfür werden die sich auf den verschiedenen Sicherheitsebenen ergebenden mechanischen, thermischen, chemischen und durch Strahlung hervorgerufenen Einwirkungen auf die Barrieren oder Rückhaltefunktionen so begrenzt, dass deren Wirksamkeit zur Einhaltung der anzuwendenden radiologischen Sicherheitsziele bzw. der radiologischen Akzeptanzgrenzwerte erhalten bleibt. Ebenso wichtig ist, dass die Barrierenfunktionen des Reaktorkühlkreislaufs und des Sicherheitsbehälters erforderlichenfalls ausreichend schnell hergestellt werden können.

Eine unzulässige Strahlenexposition des Personals des KKL und von Auftragnehmern, die im KKL eingesetzt werden, wird durch technische und organisatorische Massnahmen verhindert. Grundlage der organisatorischen Massnahmen sind die radiologische Arbeitsplanung sowie die radiologische Überwachung der Personen, Räume und Systeme. Diese werden unterstützt durch ständige und temporäre Massnahmen, z. B. zum Einschluss der radioaktiven Stoffe und zur Abschirmung der Strahlung aus den hochaktiven Systemen und Komponenten.

Zu jedem Schutzziel werden die für ihre Einhaltung erforderlichen technischen Systeme tabellarisch aufgeführt. Hilfsfunktionen, die sich nicht nur einem Schutzziel zuordnen lassen, jedoch für die Ausführung der Schutzziele erforderlich sind, werden als Schutzziel übergreifend bezeichnet. Dazu gehören im Wesentlichen die Systeme der elektrischen, hydraulischen und pneumatischen Energieversorgung sowie der Hilfsmedierversorgung. Deren Funktionen werden mehreren Schutzziele auf den relevanten Sicherheitsebenen zugeordnet.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und ENSI-G02 (Teil 1)^{G02}

Beurteilung des ENSI

Das KKL identifiziert systematisch die zur Einhaltung der vier grundlegenden, in der Gefährdungsannahmen-Verordnung genannten Schutzziele im KKL vorhandenen Systeme. Diese Systeme dienen dazu, dass die Schutzziele auf den einzelnen Sicherheitsebenen (vgl. Kap. 2.2.4) entsprechend den Anforderungen in der Richtlinie ENSI-G02 (Teil 1), Kap. 4.1 erfüllt werden.

Die Einhaltung der Schutzziele wird übergeordnet in Kap. 10.2 beurteilt.

2.2.4 Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge

Angaben des KKL

Das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge dient dem sicheren Einschluss der im Kernkraftwerk befindlichen radioaktiven Stoffe sowie der Abschirmung der von diesen Stoffen ausgehenden Strahlung. Zur Erreichung dieses Ziels ist ein Sicherheitskonzept umgesetzt, bei dem Massnahmen und Einrichtungen gestaffelten Sicherheitsebenen zugeordnet sind:

- Die Sicherheitsebene 1 „Normalbetrieb“ ist durch den bestimmungsgemässen, ungestörten Betrieb charakterisiert. Ziel der Massnahmen auf der Sicherheitsebene 1 ist die Vermeidung von Abweichungen vom Normalbetrieb.

- Die Sicherheitsebene 2 „Betriebsstörung“ deckt den gestörten Betrieb ab. Die Massnahmen auf der Sicherheitsebene 2 bezwecken die Beherrschung von Abweichungen vom Normalbetrieb, das Erkennen von Fehlern und das Verhindern von Störfällen.
- Die Sicherheitsebene 3 „Auslegungsstörfall“ umfasst Störfälle der Störfallkategorien 1 bis 3. Die Massnahmen auf dieser Ebene dienen der Beherrschung dieser Störfälle im Rahmen der Auslegung.
- Die Sicherheitsebene 4 „Auslegungsüberschreitende Störfälle“ wird in solche ohne Kernschmelze (Sicherheitsebene 4a) und solche mit Kernschmelze (Sicherheitsebene 4b) unterteilt. Ziel auf Ebene 4a ist die Vermeidung einer Kernschmelze, auf Ebene 4b die Begrenzung der Freisetzung radioaktiver Stoffe.

Das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge wird für alle Anlagenzustände des Leistungs- und Nichtleistungsbetriebs angewendet. Mit ihm wird sichergestellt, dass ein einzelnes technisches Versagen oder menschliches Fehlverhalten auf einer der Sicherheitsebenen 1 bis 3 die Wirksamkeit der Massnahmen und Einrichtungen der nächsten Sicherheitsebene nicht gefährdet.

Die systemweise Zuordnung der Schutzzielefunktionen der Systeme, Strukturen und Komponenten (SSK) zu den einzelnen Sicherheitsebenen ist den im Rahmen der PSÜ 2016 erstellten Berichten zu Betriebserfahrung und Zustand der SSK zu entnehmen. Eine detaillierte tabellarische Zuordnung der Systeme zu den Sicherheitsebenen ist angegeben.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 1 (Normalbetrieb)

Die technischen Massnahmen für die Gewährleistung eines zuverlässigen und störungsarmen Kraftwerksbetriebs des KKL sind:

- bewährtes, auf Weiterentwicklung beruhendes Kraftwerkskonzept mit konservativer Auslegung der Gebäude, Komponenten und Systeme;
- gute Qualität der Werkstoffe, der Komponenten, Systeme und Strukturen, qualitätsgesicherte Fertigung und Montage;
- kontinuierliche Modernisierung, Nachrüstung und Weiterentwicklung der Strukturen, Systeme und Komponenten;
- moderne Unterstützung aller Bereiche durch etablierte und fortschrittliche EDV-Anwendungen
- optimierte Schnittstellen Mensch/Maschine, klare Anzeigen, Bedienpulte und Informationsanzeigen, hoher Visualisierungsgrad von Prozessen und Zuständen;
- ausreichende Betriebsmargen und Zeitmargen für das Bedienpersonal zur Entscheidungsfindung und für Korrekturmaassnahmen bei Betriebsabweichungen.

Massnahmen zur Schaffung der organisatorischen Voraussetzungen für einen zuverlässigen und sicheren Betrieb umfassen:

- optimale Zahl des Kraftwerkspersonals mit gut ausgebildeter und erfahrener Betriebsmannschaft und geeigneter Organisation, um die verschiedenen Aufgaben ausreichend zu verteilen und zu erfüllen;
- vollständige Dokumentation;
- funktionierendes, vollständiges und gelebtes Qualitäts- und Sicherheitsmanagement, welches als Arbeits- und Vorgabebasis für alle Tätigkeiten im KKW dient;
- motiviertes und qualifiziertes Personal durch kontinuierliche, stufengerechte Ausbildung zu allen Fachgebieten und der Sicherheit;

- die erforderliche Qualifikation des Betriebspersonals wird durch Ausbildungsprogramme unter Einsatz eines Full-Scope-Simulators am Standort gewährleistet;
- Aufzeichnung und Auswertung der Betriebserfahrung, um zu lernen und zu verbessern, sowie Berücksichtigung der Betriebserfahrungen aus anderen Anlagen; expliziter Einbezug menschlicher und organisatorischer Einflüsse;
- umfassende, klar verständliche Anweisungen, Vorschriften und Regeln für alle Tätigkeiten in sicherheitstechnisch relevanten Bereichen; und
- präventive Instandhaltung mit Wartung und regelmässigen Prüfungen, Betriebsdauermanagement und Alterungsüberwachung.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 2 (Betriebsstörung)

Falls Betriebsstörungen in der Anlage auftreten, werden diese möglichst durch ein selbstregulierendes Anlagenverhalten aufgrund der entsprechenden Auslegung des KKL-Reaktorkerns und/oder durch automatische Eingriffe von Begrenzungssystemen aufgefangen, begrenzt und die Anlage in den Normalzustand zurückgeführt. Die automatische Begrenzung von Betriebsstörungen wird durch Handmassnahmen ergänzt, die durch automatische Meldungen veranlasst werden. Sicherheitsbezogene Systeme und Ausrüstungen verfügen in der Regel über eine separate oder aber als Sammelmeldung ausgeführte Anzeige- und Archivierungsfunktion. Sie verfügen darüber hinaus in der Regel über eine Ausfallerkennung mit entsprechender Meldung.

Zusätzlich wurden organisatorische Vorkehrungen für manuell durchzuführende Aktionen wie Inbetriebnahme, Ausserbetriebnahme, Wartungsprozeduren, Austausch und Reparatur getroffen. Für den Fall, dass der Ausfall von Ausrüstungen im Kommandoraum gemeldet wird, liegen für jede Meldung sogenannte Alarm-Störfallanweisungen (ASA) vor. Diese enthalten Handlungsanweisungen für die Operateure, die der Beherrschung der Störung und Rückführung der Anlage in den Normalbetrieb dienen. Falls die Entwicklung der Störung im weiteren Verlauf zu Störfallbedingungen führen kann, wird in den ASA auf diesen möglichen Verlauf hingewiesen. Es werden rechtzeitig und vorbeugend Handmassnahmen veranlasst, um eine Eskalation der Betriebsstörung zu vermeiden. Die für Betriebsstörungen erfolgten aufbau- und ablauforganisatorischen Festlegungen ordnen sich in das integrierte Managementsystem ein.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 3 (Auslegungsstörfall)

Die Beherrschung der Auslegungsstörfälle erfordert die Erfüllung folgender Erfolgskriterien:

- Die Sicherheitseinrichtungen müssen die erwartete rechtzeitige Wirksamkeit während der spezifizierten Störalläufe zeigen.
- Die Beanspruchungen der zur Störfallbeherrschung notwendigen Anlagenausrüstungen müssen innerhalb des spezifizierten Rahmens bleiben.
- Die radiologischen Auswirkungen in der Anlage und in der Umgebung müssen unterhalb der gesetzlichen Akzeptanzgrenzwerte bleiben.

Zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen ist im KKL eine Reihe von Sicherheitssystemen vorhanden. Um eine hohe Zuverlässigkeit bei der Einhaltung der nuklearen Schutzziele sicherzustellen, sind den KKL-Sicherheitssystemen folgende Auslegungsprinzipien zugrunde gelegt:

- Redundanz: Die verschiedenen Sicherheitssysteme im KKL bestehen oft aus mehreren funktionsidentischen Einzelsystemen. Im KKL wird eine Kombination des (n-1)- und des (n-2)-Redundanz-Prinzips angewendet (Einzelfehler- und Instandsetzungskriterium).
- Separation: Die ausreichende räumliche Trennung von einzelnen funktionsidentischen Sicherheitssystemen ist eine Voraussetzung, um einen gleichzeitigen Ausfall von Redundanzen, z. B. infolge einer anlageninternen Überflutung oder eines Brandes zu verhindern.

- **Diversität:** Die unterschiedliche Ausführung von funktionsidentischen Sicherheitssystemen bezweckt den gleichzeitigen Ausfall dieser Sicherheitssysteme infolge eines Auslegungsfehlers, eines Herstellungsfehlers oder eines Betriebsfehlers zu verhindern. Das Prinzip wurde, soweit erforderlich, für Sicherheitsfunktionen umgesetzt.
- **Automatische Funktion:** Die Automatisierung der Sicherheitssysteme für eine gewisse Zeit ab Störfallbeginn (30 min) ermöglicht es, dass das Betriebspersonal in Folge von Stressbedingungen keine vorschnellen, unzweckmässigen Entscheidungen treffen muss.
- **Test- und Prüffähigkeit:** Die Test- und Prüffähigkeit der Sicherheitssysteme ist auch während des Leistungsbetriebs des Reaktors gegeben, um eine hohe Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme zu gewährleisten.
- **Störfall-Qualifikation:** Die nachgewiesene Störfallfestigkeit aller Komponenten eines Sicherheitssystems für die beim Störfallspektrum ungünstigsten Bedingungen, stellt eine notwendige Voraussetzung für die Beherrschung von Auslegungsstörfällen dar.

Die technischen Massnahmen zur Störfallbeherrschung werden durch organisatorische Massnahmen unterstützt. Die Auslegung der Anlage sieht grundsätzlich für die ersten 30 min nach Störfalleintritt ausschliesslich automatische Massnahmen zur Störfallbeherrschung vor. Zur Milderung des Ereignisverlaufs sowie für Massnahmen, zu deren Durchführung mehr Zeit zur Verfügung steht, sehen die Störfallvorschriften Operateurmassnahmen vor.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 4 (auslegungsüberschreitende Störfälle)

Auf Sicherheitsebene 4a gelingt die Schutzzeleinhaltung bzw. die Wiederherstellung der Schutzzielkriterien durch Mittel, die dafür zumeist nicht durch die ursprüngliche Auslegung vorgesehen wurden. Auf Sicherheitsebene 4b kann die Schutzzeleinhaltung nicht mehr gewährleistet werden. Es stehen jedoch noch technische Einrichtungen und geplante Massnahmen zur Verfügung, um die Freisetzung radioaktiver Stoffe bzw. die radiologischen Auswirkungen von Freisetzungen zu minimieren.

Die nachfolgend aufgezählten typischen Massnahmen haben sich aufgrund von deterministischem Engineering Judgement und Risikostudien als nutzbringend für die Beherrschung auslegungsüberschreitender Störfälle und zur Linderung derer Konsequenzen herausgestellt:

- Umfassende Anlageninstrumentierung, verknüpft mit einem Datenerfassungs- und Auswertungssystem.
- Umfassende Störfall- und Notfallvorschriften, ergänzt mit Entscheidungshilfen für schwere Störfälle.
- Nachgerüstete technische Massnahmen wie z. B. Kernnotkühlung mittels alternativer Methoden zur Reaktoreinspeisung, Möglichkeit zum Fluten eines geschmolzenen Kerns im Containment, gefilterte Druckentlastung des Primärcontainments, Wasserstoffbeherrschung im Containment mittels Zündern.

Der Betriebsmannschaft des KKL kommt bei der Eindämmung und Beherrschung eines auslegungsüberschreitenden Störfalls eine entscheidende Rolle zu. Es wird deshalb grosses Gewicht auf eine umfassende Ausbildung, insbesondere für die Beherrschung auch sehr seltener auslegungsüberschreitender Störfälle, gelegt. Derartige Unfallszenarien werden seit einigen Jahren regelmässig in simulierten Störfällen durchgespielt, um neben der Technikbeherrschung auch die Notfallorganisation und das menschliche Verhalten unter aussergewöhnlichen Stresssituationen zu üben.

Unabhängigkeit der Vorsorgemassnahmen auf den einzelnen Sicherheitsebenen

Mit dem Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge wird sichergestellt, dass

- Funktionen untergeordneter Sicherheitsebenen Funktionen übergeordneter Sicherheitsebenen nicht beeinträchtigen; und
- ein einzelnes technisches Versagen oder menschliches Fehlverhalten auf einer der Sicherheitsebenen 1 bis 3 die Wirksamkeit der Massnahmen und Einrichtungen der nächsten Sicherheitsebene nicht gefährdet.

Alle Massnahmen und Einrichtungen sind derart ausgelegt, dass solche der Sicherheitsebenen 2 und 3 unabhängig von den Massnahmen oder Einrichtungen der Sicherheitsebenen 1 oder 2 sind, sodass auch beim Versagen von Massnahmen und Einrichtungen der Sicherheitsebenen 1 oder 2 jene der folgenden Sicherheitsebene den sicherheitstechnisch geforderten Zustand der Anlage herstellen können. Massnahmen und Einrichtungen, die auf mehreren Sicherheitsebenen wirksam sind, sind gemäss den Anforderungen der Sicherheitsebene ausgelegt, die die höchsten Anforderungen stellt.

Sofern identische Signale für Leitstellen auf unterschiedlichen Sicherheitsebenen genutzt werden, ist durch technologische Massnahmen die Unabhängigkeit gegeben, indem diese Signale rückwirkungsfrei von der Leitstelle mit höchster sicherheitstechnischer Bedeutung ausgeblendet werden. Ebenso existieren Vorrangsteuerungen, die bei aus den Leitstellen aktiv erzeugten Signalen zur Betätigung von Sicherheitseinrichtungen entsprechend der Sicherheitsebene Vorrang vor Signalen niedrigerer Sicherheitsebene haben. Auch hierdurch wird die Unabhängigkeit gewährleistet.

Die Unabhängigkeit der Energieversorgung besteht insoweit, dass das Versorgungsnetz für den Normalbetrieb auch die Betriebsbereitschaft der 0E- und 1E-Energieversorgungen sicherstellt, aber im Anforderungsfall (Notstromfall) vollständig von der Energieversorgung für den ungestörten Normalbetrieb unabhängig ist.

Auch bei den Strahlenschutzeinrichtungen existieren Vorrangsteuerungen, die bei aktiv erzeugten Signalen zur Betätigung von Sicherheitseinrichtungen entsprechend der Sicherheitsebene Vorrang vor Signalen niedrigerer Sicherheitsebene haben.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und ENSI-G02 (Teil 1)^{G02}

Beurteilung des ENSI

Das KKL legt die getroffenen technischen und organisatorischen Vorsorgemassnahmen auf den einzelnen Sicherheitsebenen entsprechend den Anforderungen der Richtlinie ENSI-A03 dar. Das ENSI beurteilt die Einordnung der Systeme als richtig. Das ENSI konstatiert, dass bereits mit dem Basisdesign die gestaffelte Sicherheitsvorsorge im KKL weitestgehend umgesetzt wurde. Insbesondere sind alle wesentlichen Massnahmen und Einrichtungen derart ausgelegt, dass solche der Sicherheitsebenen 3 unabhängig von den Massnahmen oder Einrichtungen der Sicherheitsebenen 1 oder 2 sind. Seit der Inbetriebnahme wurden im KKL insbesondere auf der Sicherheitsebene 4 zusätzliche Einrichtungen nachgerüstet und entsprechende organisatorische Massnahmen eingeführt. Die Anforderungen gemäss Richtlinie ENSI-G02, Kap. 4.4 an das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge sind aus Sicht des ENSI im KKL erfüllt.

2.2.5 Erfüllung der Vorgaben des schweizerischen Regelwerks

Angaben des KKL

Ein Teil der Prozesse zur Sicherstellung der Qualifikation von SSK ist die Überprüfung der Aktualität und Anwendbarkeit der gültigen Normen, Prüfverfahren und Regelwerke. Diese Überprüfung wird im Rahmen des Qualitätssicherungsprogramms durchgeführt und notwendige Anpassungen werden in den betroffenen Abläufen, Prozessen und Dokumenten vorgenommen. Eine entsprechende Beurteilung ist in den SSK-spezifischen PSÜ-Berichten enthalten. Das KKL hat diesbezüglich keine relevanten Abweichungen festgestellt.

Die in gesetzlichen sowie in bundesrätlichen und departementiellen Verordnungen festgelegten Anforderungen sind tabellarisch zusammengestellt und entsprechend Themengebieten und den Richtlinien des ENSI, die die entsprechenden Anforderungen konkretisieren, gruppiert. Den Themengebieten zugeordnet sind die PSÜ-Berichte, die Aussagen zu den jeweiligen Regelwerksanforderungen enthalten. Auf Basis dieser Überprüfung schliesst das KKL, dass die Regelwerksanforderungen vollumfänglich erfüllt werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-A03

Beurteilung des ENSI

Das KKL stellt übersichtlich den Zusammenhang zwischen den Vorgaben des schweizerischen Regelwerks und den PSÜ-Berichten, die deren Erfüllungsgrad überprüfen, dar. Durch diese systematische Herangehensweise werden alle relevanten Anforderungen des schweizerischen Regelwerks erfasst. Die Erfüllung der entsprechenden Vorgaben wird in den themenspezifischen Kapiteln bewertet.

2.2.6 Stand der Nachrüsttechnik

Angaben des KKL

Im KKL wird der Begriff „Nachrüstung“ in Berichten und im Schriftverkehr oft im Sinne von „zusätzlich zu installierenden Ausrüstungen“ ohne Bezug zur sicherheitstechnischen Relevanz dieser Ausrüstungen genannt. Da sowohl die neueren gesetzlichen Festlegungen als auch der Erläuterungsbericht der Richtlinie ENSI-A03 auf das sicherheitstechnische Erfordernis und somit auf Massnahmen auf Sicherheitsebene 3 abheben, werden hier ausschliesslich solche Anlagenänderungen als Nachrüstmassnahmen betrachtet, deren Durchführung aufgrund sicherheitstechnischer Erwägungen im Sinne Art. 44 KEV notwendig war und ausserdem zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beigetragen haben.

Während des Beurteilungszeitraums wurden Massnahmen aufgrund von Forderungen des ENSI zur PSÜ 2006 und aufgrund der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik ergriffen. In den Systemzustandsberichten zu Betriebserfahrung und Zustand der SSK wird im Detail auf die an den jeweiligen SSK durchgeführten Änderungsmassnahmen eingegangen und diese aus dem Blickwinkel der Systemeigenschaften bewertet. Darüber hinaus hat das KKL verschiedene Massnahmen zur Risikoreduktion bei auslegungsüberschreitenden Störfällen durchgeführt. Diese sind Teil des Accident Managements (AM) und werden im Rahmen des Themas „Notfallvorsorge und Notfallmanagement“ bewertet.

Folgende vertiefte Untersuchungen zum Stand der Nachrüsttechnik wurden während des Beurteilungszeitraums durchgeführt:

- Untersuchung der RDB-Füllstandmessung im Hinblick auf eine diversitäre Ausgestaltung

Aus Sicht des KKL ist die vorhandene RDB-Füllstandmessung robust und der Einbau einer diversitären Füllstandmessung nicht erforderlich. Ausserdem ist derzeit kein System erhältlich, welches die Anforderungen an eine diversitäre Füllstandmessung zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen auf Sicherheitsebene 3 erfüllen kann.

– Risikotechnische Bewertung zusätzlicher diversitärer Abblaseventile

Durch zusätzliche diversitäre Abblaseventile kann nur ein sehr geringer Sicherheitsgewinn bei auslegungsüberschreitenden Störfällen erzielt werden. Der Aufwand für eine derartige Nachrüstung wäre enorm.

– Bewertung des Stands der Nachrüsttechnik in Bezug auf auslegungsüberschreitende externe Einwirkungen durch Erdbeben und Hochwasser

Im Rahmen des EU-Stresstests wurde für das KKL kein Erfordernis für Nachrüstmassnahmen identifiziert. Jedoch resultierten zwei Auflagen zur Überprüfung der Erdbebenfestigkeit des Abschlusses des Reaktorkühlkreislaufs und der Containment-Druckentlastung.

Die im Rahmen des Projekts ERSIM (Umsetzung des Punktes „Sicherheitsmargenanalyse“ aus dem ENSI-Aktionsplan Fukushima) durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass das KKL über sehr grosse Sicherheitsmargen verfügt, die deutlich über die Anforderungen der 10'000-jährlichen Ereignisse Erdbeben oder Überflutung hinausgehen. Im Ergebnis seiner Bewertung erachtete das ENSI keine weiteren Massnahmen als notwendig.

Zusammenfassend stellt das KKL fest, dass die Auslegung des KKL dem aktuellen Stand der Nachrüsttechnik entspricht. Im Berichtszeitraum wurden verschiedene Massnahmen realisiert, um die Sicherheitsmargen bei Ereignisabläufen auf Sicherheitsebene 4a und 4b zu verbessern und somit die Gefährdung durch die Nutzung der Kernenergie auch über die Auslegung hinaus vermindert. Es wurden keine Abweichungen vom Stand von Wissenschaft und Technik in Bezug auf erforderliche Nachrüstungen festgestellt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

– Richtlinie ENSI-A03^{A03}

Beurteilung des ENSI

Wie in dem Erläuterungsbericht der Richtlinie ENSI-A03 dargestellt, ist der Stand der Nachrüstungstechnik ein dynamischer Begriff. Das ENSI ist unter Berücksichtigung des in der Botschaft zum Kernenergiegesetz zum Ausdruck gebrachten Willens des Gesetzgebers und der bisherigen Praxis zum Schluss gekommen, dass es angesichts der Unterschiedlichkeit der einzelnen Kernkraftwerke und der jeweiligen Standortbedingungen nicht sicherheitsgerichtet ist, den Begriff generisch zu definieren. Das ENSI hält es hinsichtlich nuklearer Sicherheit für zielführender, im Einzelfall abzuwägen, welche Nachrüstungen notwendig sind.

Wie vom KKL korrekt dargestellt, wurde in den einzelnen Systemberichten zur Betriebserfahrung und zum Zustand der SSK bereits eine Reihe von Systemanpassungen an den Stand der Nachrüsttechnik aufgeführt. Diese umfassen insbesondere die Erneuerung von (oftmals betrieblichen) Systemen mit neueren Leittechnik-Systemen, Einsatz von Komponenten mit besserer Korrosionsbeständigkeit, besserer Ersatzteilverfügbarkeit und erweiterten Überwachungsmöglichkeiten.

Die vom KKL durchgeführten vertieften Untersuchungen zum Stand der Nachrüsttechnik bewertet das ENSI wie folgt:

RDB-Füllstandmessung

Die Meldung der US NRC vom August 1992^{GL 92-4} zu Problemen bei der RDB-Füllstandmessung bei Siedewasserreaktoren behandelt das Ausgasen von Radiolysegas in den Referenzbeinen der RDB-Füllstandmessung sowie das Ausdampfen der Referenzbeine nach einem auslegungsüberschreitenden Ereignis. Weitere Nachteile des Messverfahrens, insbesondere auf Sicherheitsebene 3, sind dem ENSI nicht bekannt.

Ein Ausdampfen der Referenzbeine der Füllstandmessung kann bei Auslegungsstörfällen nur in einer Spätphase bei niedrigem Reaktordruck auftreten. In diesem Anlagenzustand ist der Reaktor bereits durch die

Sicherheitssysteme geflutet. Eine fehlerhafte Füllstandmessung hätte dann keinen Einfluss auf die Störfallbeherrschung. Weiterhin ist in den entsprechenden Störfallvorschriften festgelegt, dass bei Anzeichen einer unzuverlässigen Füllstandmessung der Reaktor zu fluten ist, wodurch keine Anzeigen der RDB-Füllstandmessung mehr notwendig sind. In den Blöcken B und C des Kernkraftwerks Gundremmingen führten die Analysen zu Nachrüstungen in 2012 von Incore-Thermoelementen für die Sicherheitsebene 4. Das ENSI beurteilt weitere Massnahmen auf der Sicherheitsebene 3 und auch 4 hinsichtlich dieses Aspekts für das KKL als nicht notwendig, weil Thermoelemente in Versuchsanlagen auch Fehlmessungen zeigten, was während eines Störfalls zu Fehlhandlungen des Betriebspersonals führen kann.

Das KKL hatte temporär die RDB-Füllstandmessung mit einer kontinuierlichen Bespeisung der Referenzbeine mit entgastem, kaltem Kühlmittel aus dem Steuerstabantriebssystem nachgerüstet. Damit ist ein Ausgasen von potentiell angesammeltem Radiolysegas, was eine Fehlmessung nach einer starken Druckentlastung bewirken könnte, ausgeschlossen. Analysen haben gezeigt, dass ein Ausgasen von Radiolysegas bisher nicht im KKL aufgetreten ist und dass die Störfallbeherrschung dadurch auch nicht beeinträchtigt wäre. Das KKL hat mit Brief vom 20. Dezember 2017 dem ENSI mitgeteilt^{KKL-2017-12-20}, dass die Auswertungen der Erfahrungen mit einer kontinuierlichen Bespeisung der Referenzbeine im KKL bereits begonnen wurden und der Entscheid über die Umsetzung einer entsprechenden Nachrüstung als permanente Anlagenänderung im ersten Quartal 2019 erfolgen wird. Dazu wird das KKL auch die Ergebnisse einer noch durchzuführenden internen Sicherheitsbetrachtung nutzen.

Das ENSI beurteilt diese Nachrüstung grundsätzlich als weitere Verbesserung der Zuverlässigkeit der Füllstandmessung insbesondere im auslegungsüberschreitenden Bereich. Insgesamt ist das ENSI mit dem KKL-Vorgehen zur Festlegung der Nachrüstentscheidung im ersten Quartal 2019 einverstanden.

Diversitäre Abblaseventile

Aus Sicht des ENSI ist hier zu unterscheiden zwischen diversitären Druckentlastungen auf Sicherheitsebene 3 und auf Sicherheitsebene 4. Das ENSI sieht keinen Verbesserungsbedarf der Druckentlastung auf Sicherheitsebene 3. Im auslegungsüberschreitenden Bereich erachtet das ENSI allerdings diversitäre Massnahmen zur Druckentlastung als längerfristige Verbesserungsoption. Die Bewertung der Nachrüstung diversitärer Abblaseventile bzw. alternativer Massnahmen zum Öffnen der Abblaseventile ist aus Sicht des ENSI noch nicht abgeschlossen. Das ENSI teilt die Ansicht des KKL nicht, dass eine allfällige Nachrüstung zwangsläufig mit unangemessen hohen Kosten verbunden ist.

Nach Ablauf des Überprüfungszeitraums der PSÜ sind weitere Abklärungen erfolgt. Das KKL hat zwischenzeitlich dargelegt^{KKL-2017-12-20}, dass das Versagen der Druckentlastung durch das gleichzeitige Versagen der Ventildichtungen bei auslegungsüberschreitenden Ereignissen eine bekannte Schwachstelle ist. Seit den Ereignissen in Fukushima gibt es Bestrebungen der Industrie, das Dichtungsmaterial zu verbessern und die Versagenswahrscheinlichkeit der Dichtungen unter den zu erwartenden radiologischen und temperaturmässigen Unfallbedingungen weiter zu reduzieren. Das KKL verfolgt diese Entwicklungen. Dieser Lösungsansatz würde es aus Sicht des KKL auch erlauben, die Verhältnismässigkeit der Kosten zum Sicherheitsgewinn zu gewährleisten. Das KKL beabsichtigt, dieses Thema im Zuge des einzureichenden Langzeitbetriebskonzepts (PSÜ 2022) nochmals neu zu bewerten und gemessen am dann etablierten Stand von Wissenschaft und Technik darzustellen. Das ENSI begrüsst das KKL-Vorgehen, zumal das ENSI bereits vom KKL eine Untersuchung im Rahmen des Sicherheitsnachweises für den Langzeitbetrieb gefordert hat.

Auslegungsüberschreitende externe Einwirkungen durch Erdbeben und Hochwasser

Im Rahmen des EU-Stresstests und des Projekts ERSIM (Erhöhung der Sicherheitsmargen) wurden die Ereignisse Erdbeben und externe Überflutung erneut detailliert bewertet. Der bereits sehr gute Schutz des KKL wurde noch punktuell, insbesondere im Bereich des Accident Managements, verbessert.

Zusätzlich zu den vom KKL durchgeführten vertieften Untersuchungen sind aus Sicht des ENSI noch in folgenden Bereichen Untersuchungen zum Stand der Nachrüsttechnik bzw. Nachrüstungen erforderlich:

Nachwärmeabfuhr aus der Druckabbaukammer

Im Rahmen der Untersuchung zum Schadstoffeintrag in Grundwasser und Fliessgewässer bei auslegungsüberschreitenden Störfällen^{BET/15/257} hat das KKL untersucht, ob es Ansaugstellen im KKL für Wasser aus der DAK gibt, um im Rahmen einer AM-Massnahme die Nachwärme über einen transportablen Wärmetauscher abzuführen. Dazu müsste Wasser aus der DAK entnommen werden. Zum Wiedereinspeisen sind bereits mehrere AM-Einspeisestellen im KKL vorhanden.

Aus Sicht des ENSI sollte die Option einer Nachrüstung von Anschlüssen zur Kühlung der DAK mit externem Kühlkreislauf für den Langzeitbetrieb analysiert werden, um ggf. langfristig nach auslegungsüberschreitenden Störfällen nicht mehr über die gefilterte Containment-Druckentlastung (FCVS) die Wärme abführen zu müssen, sondern auch einen geschlossenen Kühlkreislauf zur Verfügung zu haben.

Forderung 2.2-1

Es ist ein Konzept zur Wärmeabfuhr aus dem Containment mit Accident-Management-Massnahmen zu erarbeiten, das ermöglicht, in der Spätphase eines auslegungsüberschreitenden Störfalls auf die gefilterte Containment-Druckentlastung zu verzichten. Die Konzeptunterlagen sind dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.

Verfügbarkeit des RCIC bei auslegungsüberschreitenden Störfällen

Bei einem Ausfall der gesamten Wechselstromversorgung und damit einem Ausfall aller Wechselstrom betriebenen Einspeise- und Kühlsysteme besteht im KKL die Möglichkeit, einen ausreichenden Füllstand im RDB mit dem RCIC (Kernisoliations-Kühlsystem) zu gewährleisten. Im KKM besteht im Gegensatz zum KKL zusätzlich die Möglichkeit, einen direkten Dampfeintrag in die Druckabbaukammer (DAK) zu vermeiden, indem der Dampf zur Nachwärmeabfuhr über die Deckelsprühleitung ins Containment und zur gefilterten Containment-Druckentlastung geleitet werden kann. Damit steht dort fast das gesamte Wasser der Druckabbaukammer für die RDB-Einspeisung mit dem RCIC zur Verfügung, weil eine Kavitation der RCIC-Pumpe aufgrund hoher Temperaturen ausgeschlossen werden kann. Das ENSI hält es für sinnvoll, dass das KKL das Kavitieren der RCIC-Pumpe unter auslegungsüberschreitenden Bedingungen und wenn möglich eine Fahrweise mit Umgehung der DAK für gewisse auslegungsüberschreitende Ereignisse untersucht.

Forderung 2.2-2

Das KKL hat zu analysieren, ab welchem Füllstand und ab welcher Temperatur der Druckabbaukammer mit einem Kavitieren bzw. einem Ausfall der Funktion der RCIC-Pumpe in Abhängigkeit von der Drehzahl zu rechnen ist. Zusätzlich hat das KKL zu untersuchen, ob eine alternative Dampfableitung in das Containment – ggf. mit einer gefilterten Druckentlastung über das Containment-Druckentlastungssystem – möglich ist, bei der ein Aufheizen der Druckabbaukammer verhindert werden kann und ein grosser Teil des gesamten Wasserinventars der Druckabbaukammer vom RCIC (keine Kavitation) zur Einspeisung in den RDB genutzt werden könnte. Der Analysebericht hat den möglichen Sicherheits- bzw. Zeitgewinn sowie mögliche Nachteile auszuweisen und ist bis zum 15. Dezember 2020 dem ENSI einzureichen.

2.3 Stand der Auflagen und Forderungen

2.3.1 Stand der Forderungen zur PSÜ 2006

Das ENSI hatte in seiner Stellungnahme zur PSÜ 2006^{ENSI 12/1300} insgesamt 50 Forderungen gestellt. Diese Forderungen betreffen zusammengefasst die Bereiche Betriebsüberwachung, Betriebsvorschriften, Störfallanalysen und Anlagenauslegung. Alle Forderungen wurden erfüllt.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Forderungen eingegangen.

2.3.1.1 PSÜ-Forderungen aus dem Bereich der Betriebsüberwachung

Forderung 5.5.2-1

Das KKL hat bis 31. Dezember 2009 als Grundlage für Instandhaltungs-, Alterungsüberwachungs- und Wiederholungsprüfprogramme vollständige und aktuelle Komponentenlisten aller sicherheitstechnisch klassierten mechanischen Ausrüstungsteile bei der HSK einzureichen.

Das KKL reichte die geforderten Unterlagen fristgerecht ein. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2010.

Forderung 5.5.2-2

Das KKL hat bis 31. Dezember 2009 für die prüfpflichtigen Komponenten der Sicherheitsklassen 2 bis 4, insbesondere für Behälter und angeschlossene Rohrleitungen der Sicherheitsklassen 3 und 4, die Wiederholungsprüfprogramme auf Vollständigkeit hin zu überprüfen und bei Bedarf zu ergänzen.

Das KKL begann zeitnah mit der Überprüfung der entsprechenden Wiederholungsprüfprogramme. Der Umfang aller einzureichenden und zu prüfenden Dokumente betrug gesamthaft 461 Einzeldokumente. Nachdem das KKL zusätzliche vom ENSI geforderte Ergänzungen zu einzelnen Systemen in das Wiederholungsprüfprogramm aufgenommen hatte, wurden die Anforderungen der SVTI (Schweizerischer Verein für technische Inspektionen)-Festlegung NE-14 im Jahr 2015 als erfüllt anerkannt und das zur Forderung gehörige Geschäft geschlossen.

Forderung 5.5.2-3

Das KKL hat bis 31. Dezember 2009 die Schadensursachen zu analysieren, die zu einer Verkürzung der Prüfintervalle sicherheitstechnisch klassierter Sicherheitsventile in verschiedenen druckführenden Systemen führten, mögliche Verbesserungsmassnahmen zu identifizieren und der HSK einen Bericht darüber einzureichen.

Die Analyse der Schadensursachen wurde vom KKL in einem Bericht zusammengefasst und dem ENSI fristgerecht eingereicht. Das KKL leitete insgesamt sechs Verbesserungsmassnahmen ein und legte zusätzlich fest, dass die Wirksamkeit der Massnahmen mit einem Bericht zu dokumentieren ist. Die Berichte werden dem ENSI seither jährlich zur Kenntnis eingereicht. Mit diesem Vorgehen erachtete das ENSI im Jahr 2011 die Forderung als erledigt und schloss das zugehörige Geschäft.

Forderung 5.5.3-1

Das KKL hat über die Systeme der Sicherheitsklasse 1 hinaus weitere ermüdungsrelevante Stellen von Komponenten aller Sicherheitsklassen in die Ermüdungsüberwachung einzubeziehen. Die Festlegung der ermüdungsrelevanten Stellen ist technisch zu begründen, die Überwachungsmethoden sind darzulegen. Die Bereiche, die mit dem Ermüdungsüberwachungsprogramm FatiguePro überwacht werden sollen, sind festzulegen. Die HSK ist darüber im Jahresbericht 2009 zur aktuellen Ermüdungsausnutzung zu informieren.

Das KKL identifizierte potenzielle Bereiche hinsichtlich der Ermüdungsrelevanz und reichte eine Bewertung derer in verschiedenen Berichten dem ENSI fristgerecht zur Beurteilung ein. Es konnte gezeigt werden, dass

aufgrund der zu erwartenden niedrigen Ausnutzungsziffern eine Aufnahme zusätzlicher Bereiche in die regelmässige Ermüdungsüberwachung für eine Betriebsdauer der Gesamtanlage über 60 Jahre nicht notwendig ist. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2011.

Forderung 5.5.6-1

Zur Sicherstellung der Alterungsüberwachung der Bauwerke der Bauwerksklasse 1 (BK 1) sind vom KKL folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

- a) *Bis 31. Dezember 2009 ist ein Terminplan für das gesamte Inspektionsprogramm des Alterungsüberwachungsprogramms (AÜP) Bautechnik vorzulegen. Darin sind für alle Bauwerke der Bauwerksklasse 1 und für alle Unterkomponenten (Stahl- und Spannbeton, Stahlbau, Durchdringungen, Befestigungen, Brandabschlüsse, Fugenbänder, Abdichtungen, Beschichtungen) die ausstehenden Basisinspektionen, sowie die folgenden Zwischen- und Hauptinspektionen festzulegen.*
- b) *Die noch ausstehenden Steckbriefe zu den Bauwerken der Bauwerksklasse 1 sind bis 31. Dezember 2009 einzureichen.*
- c) *Die Ergebnisse der noch ausstehenden Basisinspektionen der Bauwerke der Bauwerksklasse 1 sind in den Steckbriefen zu ergänzen. Die ergänzten Steckbriefe sind bis 31. Dezember 2011 gestaffelt einzureichen, je ein Drittel der ergänzten Steckbriefe bis 31. Dezember 2009 und bis 31. Dezember 2010.*

Die zu überarbeitenden Dokumente wurden entsprechend der terminlichen Staffelung fristgerecht vom KKL eingereicht. Die Steckbriefe wurden mit den Ergebnissen der Basis- und Hauptinspektionen ergänzt. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2013.

Forderung 5.10-1

Das KKL hat die Untersuchungen zu den Vibrationen der Rohrleitungssysteme und am Dampftrockner unter Beachtung der Empfehlungen der Betreiberorganisation BWROG und des Herstellers durchzuführen und die Ergebnisse einschliesslich geplanter Massnahmen der HSK bis 31. Dezember 2009 einzureichen.

Das KKL reichte fristgerecht die Nachweise und Unterlagen ein. Das ENSI forderte nachfolgend zusätzlich, dass das KKL weitere, bereits durchgeführte Analysen zusammenzustellen und sicherheitstechnisch zu bewerten hat. Ebenso sollten die Massnahmen zur Ertüchtigung von Stossbremsen dokumentiert und dem ENSI eingereicht werden. Aufgrund der Empfehlung des Anlagenherstellers erweiterte das KKL die visuellen Inspektionen am Dampftrockner und nahm die Erweiterung als festen Bestandteil der jährlichen Inspektionen in die Prüfvorschrift auf. Das ENSI bewertete die getroffenen Massnahmen als ausreichend und schloss die Forderung im Jahr 2011.

Forderung 6.3.1-1

Das KKL hat bis 31. Dezember 2010 die Duktil-Sprödbruch-Übergangskurven für das unbestrahlte Schweissmaterial der Längs- und Rundnaht des Reaktordruckbehälters aus originalgetreuem Material zu bestimmen und danach die Ergebnisse des ersten Bestrahlungssatzes erneut auszuwerten.

Diese Forderung wird zusammen mit der Forderung 6.3.1-2 behandelt.

Forderung 6.3.1-2

Das KKL hat bis 31. Dezember 2010 die bruchmechanischen Proben des unbestrahlten Probensatzes sowie des zweiten Bestrahlungssatzes nach dem standardisierten Masterkurvenkonzept zu prüfen und die Sprödbruch-Referenztemperatur RT_{To} des Reaktordruckbehälters zu bestimmen.

Das KKL führte die erforderlichen Analysen und Versuche durch und reichte die Nachweise und Berichte sowie eine zusammenfassende sicherheitstechnische Bewertung fristgerecht ein. Mit Hilfe der Bewertung der Untersuchungsergebnisse auf Grundlage von internationalen Regelwerksvorgaben^{RG1.99} zur Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte, konnte nachgewiesen werden, dass die Neutronenversprödung der Materialien des Reaktordruckbehälters im KKL keine Einschränkungen im Hinblick auf den Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks darstellen. Die Erfüllung der beiden Forderungen 6.3.1-1 und 6.3.1-2 wurde vom ENSI im Jahr 2011 bestätigt.

Forderung 6.3.1-3

Das KKL hat bis 31. Dezember 2009 gemäss dem aktuellen Stand der Technik abzuklären, ob für die zugrunde gelegten Transienten zur Berechnung der Teilerschöpfungsgrade an den ermüdungsrelevanten Bereichen des Nuklearen Dampferzeugungssystems der Einfluss der Wasserchemie zu berücksichtigen ist. Die Ermüdungsanalysen sind gegebenenfalls nachzuführen.

Das KKL konnte zeigen, dass im Zusammenhang mit der geforderten Betrachtung der Teilerschöpfungsgrade, unter Berücksichtigung der Wasserchemie, auf Grundlage des Stands von Wissenschaft und Technik keine grundlegend neuen Erkenntnisse ableitbar sind. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2010.

Forderung 6.3.1-4

Das KKL hat für die ermüdungsrelevanten Bereiche des Nuklearen Dampferzeugungssystems die Überwachung und Aufzeichnung der Transienten mittels EDV entsprechend dem heutigen Stand der Technik einzuführen und die Ergebnisse der Ermüdungsanalyse der HSK jährlich mitzuteilen (erstmalig im Jahresbericht Ermüdung 2009).

Das KKL reichte den geforderten Erstbericht fristgerecht ein. Die Ergebnisse der Ermüdungsüberwachung im KKL werden seitdem jährlich dem ENSI in einem Gesamtbericht zur Beurteilung eingereicht. Das ENSI bestätigte im Jahr 2011, dass die geforderten Massnahmen vom KKL umgesetzt wurden, und schloss die Forderung.

Forderung 6.3.2-1

Das KKL hat die Alterungsüberwachung der Umwälzschleife bis 31. März 2010 einer erneuten vollständigen Überprüfung zu unterziehen. Dabei sind die Erkenntnisse von eigenen Befunden und von Befunden aus vergleichbaren ausländischen Anlagen auszuwerten.

Das KKL führte eine umfangreiche Bewertung der eigenen Befunde und von Befunden aus vergleichbaren ausländischen Anlagen durch und liess die Erkenntnisse in die Dokumentation zur Alterungsüberwachung einfließen. Mit Einreichung des aktualisierten Steckbriefs zur Alterungsüberwachung sah das ENSI die Forderung als erfüllt an und schloss sie im Jahr 2010.

Forderung 6.4.1-1

Das KKL hat die Alterungsmechanismen für die im Primärcontainment eingesetzten Beschichtungen im Detail zu dokumentieren. Zudem ist eine Spezifikation für die Beurteilung des Zustandes von Beschichtungen zu erstellen, die auch bei Wasservorlagen anwendbar ist, und es sind geeignete Inspektionsmethoden zur Beurteilung des Zustandes der Beschichtung darzustellen. Diese Dokumente sind bis 31. Dezember 2010 der HSK einzureichen.

Das KKL reichte fristgerecht eine umfangreiche Dokumentation zur Beurteilung des Zustands der Beschichtung des Primärcontainments mit Hilfe von geeigneten Inspektionsmethoden ein. Die Einsetzbarkeit der vom KKL gewählten Methode wurde in einer ersten Inspektion im Jahre 2010 erfolgreich nachgewiesen. Die neuen

Intervalle zur Durchführung der Inspektionen wurden in die entsprechenden Dokumente der Alterungsüberwachung aufgenommen. Damit erachtete das ENSI die Forderung im Jahr 2011 als erfüllt und schloss das entsprechende Geschäft.

Forderung 6.4.4-1

Das KKL hat bis 31. März 2010 zu prüfen und der HSK zu berichten, ob die unter Wasser liegenden Teile von Containment-Durchdringungen, insbesondere die gemäss SVTI-Festlegung NE-14 der Prüfkategorie 2.2 zuzuordnenden Teile, sowie die Durchdringungen mit hohen Ermüdungsausnutzungen ($U_{eff} > 0,7$) im Wiederholungsprüfprogramm hinreichend erfasst sind. Bei Bedarf ist das Wiederholungsprüfprogramm anzupassen.

Das KKL inspizierte verschiedene Bereiche der unter Wasser liegenden Containment-Durchdringungen im Rahmen einer Prüfung im Jahre 2012 erstmals visuell. Die hierfür anzuwendende Prüfvorschrift wurde im Nachgang durch die Qualifizierungsstelle anerkannt und die Bereiche in die Komponentenprüfpläne aufgenommen. Die Forderung wurde im Jahr 2013 geschlossen.

Forderung 6.4.5-1

Die Schliesszeiten der Klappen zur Isolierung der Betriebslüftung des Reaktorhilfs- sowie des Brennelement-lagergebäudes sind vom KKL im Rahmen des Nachweises der Funktionstüchtigkeit des Notabluftsystems zu überprüfen. Die in den radiologischen Analysen unterstellten Schliesszeiten sind als Nachweisziel in die „Technische Spezifikation“ aufzunehmen und die hieraus resultierenden Änderungen in der „Technischen Spezifikation“ sind der HSK bis 31. Dezember 2009 zur Freigabe einzureichen.

Das KKL führte im Rahmen der Forderung umfangreiche radiologische Analysen durch und berücksichtigte dabei die in der Auslegung des Notabluftsystems zugrunde gelegten Schliesszeiten. Es stellte einen entsprechenden Freigabeantrag zur Ergänzung der „Technischen Spezifikation“. Das ENSI erteilte die Freigabe mit der Auflage, neu eine Schliesszeit von 15 s in der „Technischen Spezifikation“ für den Nachweis der Funktionstüchtigkeit der betroffenen Isolationsklappen festzulegen, und schloss im Jahr 2010 die Forderung.

Forderung 6.5.3-1

Die als Störfallinstrumentierung zu deklarierenden Instrumentierungskanäle sind vom KKL unter Berücksichtigung der im US NRC Regulatory Guide 1.97 definierten Parameter-Typen (A bis E) und zuzuordnenden Kategorien (1 bis 3) festzulegen und bis 31. Dezember 2009 in die „Technische Spezifikation“ (TSL) aufzunehmen.

Das KKL reichte eine tabellarische Zusammenstellung der möglichen betroffenen Instrumentierungskanäle und eine Bewertung dazu dem ENSI ein. Das ENSI forderte in einer ersten Stellungnahme das KKL auf, auf Grundlage der sicherheitstechnischen Bewertung eine abschliessende Liste zu erstellen und die entsprechenden Änderungen in das Kapitel der „Technischen Spezifikation“ einfliessen zu lassen. Mit der entsprechenden Änderung der „Technischen Spezifikation“ konnte die Forderung im Jahr 2011 geschlossen werden.

Forderung 6.7.1-1

Das KKL hat zu prüfen, ob die Wiederholungsprüfprogramme für die mechanischen Komponenten des Reaktorkernisolations-Kühlsystems TM über die Grundanforderungen der SVTI-Festlegung NE 14 hinaus erweitert werden müssen, um das Auftreten von Schäden (z. B. durch Erosion, Ermüdung) früher zu erkennen und Instandsetzungsmassnahmen rechtzeitig einleiten zu können. Die Prüfergebnisse sind in der nächsten jährlichen AÜP-Nachführungsdokumentation (30. Juni 2010) darzulegen.

Das KKL reichte die Änderung des Wiederholungsprüfprogramms für die mechanischen Komponenten des betroffenen Systems dem Sachverständigen zur Bewertung ein. Dieser anerkannte die vom KKL eingereichte

Änderung. Die Ergebnisse der erweiterten Prüfungen sind seitdem Bestandteil der Nachführungsdokumentation des Alterungsüberwachungsprogramms (AÜP). Das ENSI stimmte im Jahr 2010 den vom KKL vorgeschlagenen Massnahmen zu und schloss das zur Forderung gehörige Geschäft.

Forderung 6.7.4-1

Das KKL hat bis 31. Dezember 2009 zu überprüfen, inwieweit die in der Komponentenliste festgehaltene Klassierung der Komponenten der Containment-Brennelementlagerbecken-Kühlung (TH24) der Systemspezifikation entspricht und hat gegebenenfalls die Komponentenliste zu ergänzen und der HSK einzureichen.

Das KKL reichte eine aktualisierte Komponentenliste aller sicherheitstechnisch klassierten mechanischen Ausrüstungsteile ein. Das ENSI prüfte die überarbeitete Komponentenliste und konnte sich von der Vollständigkeit der Komponenten der Containment-Brennelementlagerbeckenkühlung (TH24) überzeugen. Die Forderung wurde im Jahr 2010 geschlossen.

Forderung 6.11-2

Das KKL hat bis 30. Juni 2011 alle stationären Nasslöschanlagen einer Generalüberholung zu unterziehen und die entsprechenden Erstinspektionsprotokolle der HSK einzureichen.

Das KKL reichte die geforderten Erstinspektionsberichte dem ENSI fristgerecht ein. Ebenso erfolgte eine Generalüberholung derjenigen betroffenen Abschnitte der Nasslöschanlagen, die bei der Erstinspektion mit einem Befund bewertet worden waren. Die Forderung wurde im Jahr 2011 geschlossen.

Forderung 6.14.4-1

Das KKL hat die in der Jahresrevision 2005 entdeckten Schäden an mechanischen Ausrüstungen des Reaktorwasserreinigungssystems bis 31. Dezember 2009 auf ihre Relevanz für die Alterungsüberwachung zu überprüfen.

Das KKL nahm auf Grundlage der festgestellten Schäden eine sicherheitstechnische Bewertung vor und stellte fest, dass sich im Wesentlichen keine Übertragbarkeit auf andere Komponenten des Reaktorwasserreinigungssystems ergibt und dass sich ebenso nur eine geringe Relevanz für die Alterungsüberwachung ableiten lässt. Das ENSI konnte die Ausführungen nachvollziehen und schloss die Forderung im Jahr 2010.

Forderung 6.16-1

Das KKL hat die Strahlenmesstechnik und deren Dokumentation an den Stand der Technik anzupassen. Dabei ist wie folgt vorzugehen:

- a) *Bis 31. Dezember 2010 sind das Konzept der Strahlungs- und Aktivitätsüberwachung in der Anlage sowie die Auslegung der einzelnen Messsysteme zu überprüfen. Dazu gehören unter anderem folgende Aspekte:*
 - *Darlegung und Bewertung des Konzepts der Strahlungs- und Aktivitätsüberwachung*
 - *Darlegung der sicherheitstechnischen Bedeutung der einzelnen Messung und Klassierung der Messeinrichtungen*
 - *Überwachungs- bzw. Messmethode, Aufbau der Messgeräte*
 - *Ableitung und Begründung der Alarmwerte*
 - *Messbereich, Nachweisgrenze, Kalibriernuklid*
 - *Rückführbarkeit auf Normale*
 - *Umgebungsbedingungen, Messmediumsbedingungen, Vergleich mit der Auslegung des zu überwachenden Systems*

- *Beurteilung der Auslegung der Probenahme; dazu gehört ihre Repräsentativität, die Gesamtübertragungsraten für Partikel, Dichte etc.*
 - *Bewertung der Stromversorgung*
- b) *Die Ergebnisse dieser Überprüfung sind bei der Ertüchtigung der Strahlenmesstechnik zu berücksichtigen. Die geplanten Verbesserungen sind vor der Einreichung eines allfälligen Freigabeantrags in Fachgesprächen mit der HSK zu erörtern.*
- c) *Zusätzlich ist die Dokumentation der Strahlenmesstechnik zu verbessern und zu ergänzen. Dazu gehören technische Beschreibungen, vollständige technische Daten sowie Einsatz- und Umgebungsbedingungen, Kalibrierzertifikate einschliesslich einer Darlegung der Rückverfolgbarkeit auf Referenznormale, Messbereiche und Nachweisgrenzen, Ableitung und Begründung der Grenzwerte, Stromversorgung und aktueller Standortplan.*

Das ENSI zeigte sich grundlegend mit den vom KKL vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen einverstanden und schloss die Teilforderung 6.16-1 a) im Jahr 2014. In Bezug auf die Teilforderungen 6.16-1 b) und c) erkannte das ENSI im Jahr 2016 an, dass das KKL den Stand der Technik der Strahlenmesstechnik ausreichend dokumentiert und bewertet hatte. Abweichungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung sind behoben.

Forderung 6.16-2

Die elektrischen Anspeisungen der Messstellen zur Überwachung der Notkühlwassersysteme 10XT46 und 20XT47 sind im Hinblick auf ihre Verfügbarkeit bei Störfällen zu verbessern. Insbesondere müssen die Messeinrichtungen immer auch dann mit Strom versorgt sein, wenn der jeweilige Strang des Notkühlwassersystems in Betrieb genommen wird. Das KKL hat dazu bis 31. Dezember 2010 ein Konzept mit einem Zeitplan für die Umsetzung zu entwickeln und der HSK vorzulegen.

Das KKL reichte ein Konzept zur Verbesserung der elektrischen Anspeisung fristgerecht ein. Das ENSI hatte keine Einwände und schloss die Forderung im Jahr 2010.

Forderung 6.16-3

Das KKL hat die Überwachung der radioaktiven Emissionen mit der Kaminfortluft in folgenden Bereichen zu verbessern:

- a) *Bei Störfällen müssen die radioaktiven Emissionen mit der Kaminfortluft über den gesamten Messbereich der Instrumentierung für den Normalbetrieb und den Messbereich der Störfall-Dosisleistungsmonitore zeitlich lückenlos erfasst werden*
- b) *Die Störfall-Dosisleistungsinstrumentierung zur Überwachung der Kaminfortluft muss einzelfehler sicher ausgelegt sein*
- c) *Die Edelgasabgaben über das Containment-Druckentlastungssystem müssen kontinuierlich erfasst werden.*

Zur Umsetzung dieser Punkte ist bis 31. Dezember 2010 ein Konzept mit einem Zeitplan zu erarbeiten und der HSK vorzulegen.

Das KKL reichte einen Bericht und ein Konzept zur Verbesserung der elektrischen Anspeisung von Messstellen, eine zusammenfassende Darstellung der Auslegungsanforderungen an die Kaminstörfallinstrumentierung sowie Berichte zum optimalen Sondenstandort für die Erfassung der Edelgasabgaben ein. Das ENSI bestätigte im Jahr 2011, dass die Teilforderung 6.16-3 a) erfüllt ist. Auf die Umsetzung der Teilforderung 6.16-3 b) wurde verzichtet, da zwar eine Abweichung zu den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G13^{G13} besteht, der aktuelle Zustand im KKL aber als gleichwertig anerkannt wird. Ebenso anerkannte das ENSI, dass die Teilforderung 6.16-3 c) durch das Versetzen der Dosisleistungsdetektoren im Kamin erfüllt ist.

2.3.1.2 PSÜ-Forderungen aus dem Bereich der Betriebsvorschriften

Forderung 4.3-1

Das KKL hat die Betriebsvorschriften für die Kalibrierungs- und Funktionstests (IFT/SFT) hinsichtlich des Gefahrenpotenzials bei einer fehlerhaften Durchführung zu überprüfen. Weiterhin hat das KKL die in den Betriebsvorschriften geforderten Schutzmassnahmen zu bewerten. Dazu sind Bewertungskriterien zu entwickeln. Die Ergebnisse sind der HSK bis 31. Dezember 2009 einzureichen.

Das KKL überprüfte alle Vorschriften der Kalibrierungs- und Funktionstests und überarbeitete die Liste der Prüfungen mit besonderem Gefährdungspotenzial. Als Bewertungskriterien wurden die drei Kategorien Gefährdung der Schutzziele, der Anlage und von Personen festgelegt. Die erkannten Verbesserungspotenziale wurden in die jeweiligen Prüfvorschriften übernommen. Das ENSI erachtete die Kriterien als zweckmässig und schloss die Forderung im Jahr 2011.

Forderung 5.7.1-1

Das Strahlenschutzreglement ist bis 31. Dezember 2009 zu revidieren, indem ein Dokument zu erstellen ist, das die Umsetzung des Strahlenschutzreglements in die entsprechenden praxistauglichen Prozesse des neuen TQM darstellt.

Das KKL beantragte termingerecht im Juli 2009 die Freigabe des neuen Strahlenschutzreglements und legte gleichzeitig den Nachweis zur praxistauglichen Einbindung in das Total-Quality-Management (TQM)-System dar. Die im TQM-System mitgeltenden Dokumente wurden entsprechend angepasst, woraufhin das ENSI die Forderung im Jahr 2009 schloss.

Forderung 6.11-3

Die Beschreibung des Brandschutzkonzepts ist vom KKL bis 31. Oktober 2009 an den aktuellen Stand der Brandschutzvorkehrungen anzupassen.

Das KKL reichte die geforderte Dokumentation des aktualisierten Brandschutzkonzepts zur Bewertung ein. Das ENSI schloss daraufhin im Jahr 2009 die Forderung.

Forderung 9.3-1

Die Entscheidungshilfen für das Notfallmanagement (SAMG) sind vom KKL wie folgt zu verbessern:

- a) *Es ist ein übergeordnetes Leitschema zur regelmässigen Bestimmung des Anlagenzustands und zur entsprechenden Festlegung der Prioritäten bis 31. Dezember 2009 zu ergänzen.*
- b) *Die SAMG sind bis 31. Dezember 2009 auf den Stillstandsbetrieb zu erweitern.*
- c) *Die Volllast-SAMG sind bis 31. Dezember 2010 zu überarbeiten:*
 - *Für alle im SAMG-Bereich durchgeführten Handlungen sind mögliche negative Auswirkungen zu ermitteln und in den SAMG-Unterlagen zu dokumentieren.*
 - *Die aus SAMG aufgerufenen, präventiven Vorschriften sind auf ihre Eignung im Schwerunfallbereich hin zu untersuchen.*
 - *Es sind Prioritäten für die Durchführung von mitigativ wirksamen Massnahmen mit Konfliktpotenzial festzulegen. Ferner ist festzulegen, wie mit Massnahmen zu verfahren ist, mit denen vor dem Eintritt in die SAMG begonnen wurde und die noch andauern.*
 - *Für die Beendigung von eingeleiteten Massnahmen sind entsprechende Kriterien zu entwickeln.*

Das KKL reichte dem ENSI die geforderten SAMG (Servere Accident Management Guidance)-Unterlagen ein. Das ENSI bestätigte im Jahr 2011, dass damit die geforderte Verbesserung der SAMG umgesetzt ist und schloss die Forderung.

2.3.1.3 PSÜ-Forderungen aus dem Bereich der Störfallanalysen

Forderung 5.9.2-1

Das KKL hat mithilfe einer Störfallanalyse bis 30. Juni 2010 die radiologischen Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf das Abfallzwischenlager zu ermitteln und zu bewerten.

Mit den vom KKL eingereichten Analysen konnte der Nachweis der Einhaltung des Schutzziels von 100 mSv grundsätzlich erbracht werden. Daher schloss das ENSI die Forderung im Jahr 2011. Ergänzungen zu der vorgelegten Studie wurden vom ENSI in weiterführenden Geschäften gefordert und verfolgt. Die radiologischen Auswirkungen eines Flugzeugabsturzes auf das Abfallzwischenlager werden in Kap. 6.4.3 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 7.2.5-1

Das KKL hat bis 31. Dezember 2010 die Analyse für die limitierende Transiente „Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile“ unter ATWS-Bedingungen hinsichtlich des Einflusses von Brennelementen mit teillangen Brennstäben sowie des Speisewasser-Runbacks zu aktualisieren.

Das KKL reichte die Analysen zum unterstellten Störfall und den zusammenfassenden Bericht dem ENSI zur Bewertung ein. In seiner Stellungnahme kam das ENSI im Jahr 2012 zum Schluss, dass die geforderte Aktualisierung in Bezug auf die im KKL verwendeten Brennelemente mit teillangen Stäben durchgeführt wurde und dass die Anforderungen an die technischen Analysen auslegungsüberschreitender Störfälle gemäss Richtlinie ENSI-A01 erfüllt wurden. Damit wurde die Forderung geschlossen.

Forderung 7.4.2-1

Das KKL hat die Häufigkeit des Störfalls „RWCU-Leitungsbruch“ unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Leitungslängen und -grössen in den jeweiligen Gebäudebereichen auf Basis internationaler Betriebserfahrungen bis 30. Juni 2010 zu bestimmen.

Das KKL nahm eine Neubeurteilung der Häufigkeit des betreffenden Störfalls vor und reichte diese dem ENSI zur Bewertung ein. Aufgrund offener Fragen des ENSI überarbeitete das KKL den entsprechenden Bericht nochmals. Das ENSI prüfte das vom KKL angewandte Verfahren zur Bestimmung der Eintrittshäufigkeit des RWCU-Leitungsbruchs, bewertete die Häufigkeit im Jahr 2016 abschliessend als plausibel und schloss die Forderung.

Forderung 7.5.1-1

Das KKL hat mithilfe anerkannter Methoden zu überprüfen, inwieweit die sicherheitstechnisch klassierten Anlagenteile des KKL den Einwirkungen aus Erdbeben mit ausreichender Sicherheit standhalten, die nach heutiger Erkenntnis mit einer Häufigkeit von 10^{-4} pro Jahr zu erwarten sind. Hierfür ist ein Konzept zu erstellen, in dem das Überprüfungsverfahren, die verwendeten Methoden, Schnittstellen zu anderen Forderungen, ggf. beauftragte Experten und verbindliche Termine für die einzelnen Überprüfungs-schritte festzulegen sind. Das Konzept ist der HSK bis 31. Dezember 2009 zur Abstimmung einzureichen.

Das KKL reichte für den Nachweis der Standsicherheit sicherheitstechnisch klassierter Anlagenteile für den zu unterstellenden Störfall eines Erdbebens ein umfangreiches Konzept ein. Das ENSI erachtete in seiner Stellungnahme aus dem Jahr 2010 das Konzept als gute Basis für eine Überarbeitung der deterministischen und probabilistischen Analysen und schloss die Forderung. Neue Erkenntnisse zur Erdbebengefährdung werden in Kap. 2.1.4 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 7.5.2-1

Das KKL hat der HSK bis 31. Dezember 2009 den Mindestumfang der gegen Blitzschlag zu schützenden elektrischen Einrichtungen, die zur Einhaltung der grundlegenden Schutzziele erforderlich sind, zur Stellungnahme einzureichen.

Das ENSI prüfte die vom KKL eingereichte Dokumentation für den Auslegungsstörfall „Blitzschlag“ und hielt fest, dass ein abdeckender Nachweis für die Einhaltung des quellenbezogenen Dosisrichtwerts unter den angenommenen Randbedingungen erbracht werden konnte. Die Forderung wurde im Jahr 2011 geschlossen.

Forderung 7.6.1-1

Das KKL hat die Auswirkungen der neuen Quelltermspezifikation ANS-18.1-1999 auf die in den radiologischen Störfallanalysen zugrunde gelegten Aktivitätsinventare bis 30. Juni 2010 aufzuzeigen.

Das KKL reichte fristgerecht neue Analysen ein, die zeigten, dass der KKL-Quellterm gegenüber dem Quellterm der genannten Spezifikation^{ANS-18.1} konservativ ist. Das ENSI anerkannte die vom KKL dargelegte Vorgehensweise und stellte fest, dass kein weiterer Handlungsbedarf mehr besteht. Die Forderung wurde im Jahr 2010 geschlossen.

Forderung 7.6.1-2

Das KKL hat bis 30. Juni 2010 aufzuzeigen, dass die beim Speisewasser-Leitungsbruch auftretenden dynamischen Strömungsvorgänge durch die in den radiologischen Analysen zugrunde gelegten Aktivitätsinventare abgedeckt sind.

Das KKL bewertete in mehreren Berichten die radiologischen Auswirkungen des Speisewasserleitungsbruchs unter Berücksichtigung konservativer Randbedingungen bei der Freisetzung neu und reichte die Berichte fristgerecht ein. Die Ergebnisse zeigten, dass die ermittelten Dosiswerte weit unterhalb des zulässigen Grenzwerts für diesen Störfall liegen. Daher schloss das ENSI die Forderung im Jahr 2013.

Forderung 7.6.3-1

Die Einordnung der Brennelement-Handhabungsstörfälle „Blockade des Transportschlittens im Transportrohr“ und „Entleerung des Transferbeckens“ in die Störfallkategorie 3 sowie die Abdeckung der radiologischen Auswirkungen durch den Störfall „Absturz des Transportschlittens“ sind vom KKL bis 30. Juni 2010 anhand einer detaillierten Analyse nachweislich zu belegen.

Das KKL reichte Dokumente zur Bewertung der Eintrittshäufigkeit der unterstellten Störfälle und zur Zuordnung in die jeweilige Störfallkategorie ein und überarbeitete diese zur Klärung offener Fragen des ENSI nochmals. Das ENSI akzeptierte im Jahr 2016 die vorgenommene Störfallkategorisierung und schloss die Forderung. Es hielt fest, dass, basierend auf den jeweiligen technischen Störfallabläufen, die radiologischen Analysen im Rahmen der PSÜ 2016 durch das KKL neu zu bewerten und dem ENSI einzureichen sind. Die radiologischen Analysen von Brennelement-Handhabungsstörfällen werden in Kap. 6.3 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 7.6.3-2

Die Analyse der radiologischen Auswirkungen von Kühlmittelverluststörfällen innerhalb des Drywells ist vom KKL bis 30. Juni 2010 insbesondere in folgenden Punkten zu überarbeiten:

- a) *Der Bezug zur Anlage und der Nachweis der Konservativität des verwendeten Modells im Vergleich zu den Vorgaben im Reg. Guide 1.183 ist besser zu dokumentieren.*

- b) *Da nur 1 % der Hüllrohre störfallbedingt als beschädigt angenommen werden, ist nachvollziehbar darzulegen, dass der in der KKL-Analyse nicht berücksichtigte Beitrag der Primärkühlmittelaktivität zur Gesamtdosis vernachlässigbar ist.*
- c) *Die Modellierung der Abgaben über die Freisetzungspfade, insbesondere derjenigen unter Umgehung des Sekundär-Containment aufgrund definierter Undichtheiten in den Speisewasser- und Frischdampfleitungsabsperrungen, ist im Detail aufzuzeigen und zu bewerten. Dazu gehört auch eine nachvollziehbare Begründung und Herleitung verwendeter Rückhalte-, Dekontaminations- und Partitionsfaktoren.*
- d) *Kleine und mittlere Kühlmittelverluststörfälle sind entsprechend ihrer Eintrittshäufigkeit in Störfallkategorien einzuteilen. Die Einhaltung der relevanten Dosisgrenzwerte ist nachvollziehbar zu belegen bzw. die abdeckenden Störfälle sind zu bezeichnen.*

Die vom KKL zu den einzelnen Sachverhalten a) bis d) eingereichten Analysen und die jeweiligen sicherheitstechnischen Bewertungen der Störfälle, die zu einem Eintrag von Kühlmittel in den Drywell führen, sowie die zugehörigen radiologischen Analysen wurden fristgerecht eingereicht. Das ENSI bewertete die Angaben des KKL abschliessend und schloss die Forderung im Jahr 2012.

Forderung 7.6.3-3

Die radiologische Analyse für Störfälle im Abgasfiltergebäude ist vom KKL bis 30. Juni 2010 wie folgt zu ergänzen:

- a) *Es sind die radiologischen Auswirkungen eines systemtechnisch bedingten Ausfalls des Abgassystems neu zu analysieren. Die Einstufung des Störfalls, das zu unterstellende Schadensbild und die Einhaltung des Dosisgrenzwerts sind hierbei nachvollziehbar aufzuzeigen.*
- b) *Die Eintrittshäufigkeit eines Brandes der Aktivkohlefilter im Abgassystem ist zu bestimmen. Ferner sind die radiologischen Auswirkungen unter Berücksichtigung von kreditierbaren Massnahmen zur Begrenzung der Auswirkungen zu ermitteln und die Einhaltung des relevanten Dosisgrenzwerts ist nachvollziehbar aufzuzeigen.*
- c) *Der gemäss NUREG-0800, BTP 11-5-5 zu postulierende Störfall im Abgassystem durch Operateurfehler ist bezüglich Eintretenshäufigkeit und Einhaltung der Dosisgrenzwerte zu analysieren oder es ist nachvollziehbar aufzuzeigen, dass der Störfall durch vorhandene Störfallanalysen abgedeckt ist.*

Das KKL führte neue Analysen auf Grundlage der jeweiligen Einstufung des Störfalls in die entsprechende Störfallkategorie durch. Das ENSI überzeugte sich von der Vollständigkeit der Angaben des KKL und erkannte ebenfalls an, dass es keine zu berücksichtigenden Operateurfehler gibt. Die Forderung wurde im Jahr 2012 geschlossen.

Forderung 7.6.3-4

Die radiologischen Auswirkungen eines systemtechnisch bedingten Bruchs der Dampfstrahlsaugerleitung im Maschinenhaus sind vom KKL bis 30. Juni 2010 neu zu analysieren. Die Einstufung des Störfalls, das zu unterstellende Schadensbild und die Einhaltung des Dosisgrenzwerts sind hierbei nachvollziehbar aufzuzeigen.

Das KKL konnte im Rahmen der Neubewertung des Störfalls zeigen, dass durch einen Bruch der Leitung im Maschinenhaus – auch bei einem zu unterstellenden Operateurfehler – der zulässige Dosisgrenzwert nicht überschritten wird. Die Forderung wurde im Jahr 2012 geschlossen.

Forderung 7.6.3-5

Die Eintrittshäufigkeit eines Versagens des Verdampfers im Aufbereitungsgebäude ist vom KKL zu bestimmen und die Annahmen und Modellansätze für die Analyse der radiologischen Auswirkungen sind nachvollziehbar darzustellen. Ferner sind die Massnahmen zur Begrenzung der Störfallauswirkungen und die Einhaltung des entsprechenden Dosisgrenzwerts bis 30. Juni 2010 nachvollziehbar aufzuzeigen.

Das KKL ordnete das Versagen des Verdampfers der Störfallkategorie 2 zu und konnte nachweisen, dass der entsprechende Dosisgrenzwert eingehalten wird. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2014.

Forderung 7.6.3-6

Es ist vom KKL bis 30. Juni 2010 eine nachvollziehbare Analyse für die radiologischen Auswirkungen eines Bruchs im Reaktorwasser-Reinigungssystem durchzuführen, indem je nach Ort der Bruchstelle unterschiedliche Störfallvarianten berücksichtigt werden. Darauf basierend ist aufzuzeigen, dass diese entweder durch andere, explizit analysierte Störfälle abgedeckt sind oder es sind spezifische Analysen durchzuführen.

Die vom ENSI geforderten Analysen wurden unter der Annahme von unterschiedlichen Bruchlagen mit zusätzlich grossen Leckagemengen als konservative Randbedingung durchgeführt und die Einhaltung des Dosisgrenzwerts für alle betrachtete Szenarien nachgewiesen. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2012.

Forderung 7.6.3-7

Das KKL hat die Aktivitätsinventare der Komponenten und Systeme zu ermitteln, die basierend auf den Untersuchungen gemäss Forderung 7.5.1-1 den Einwirkungen aus Erdbeben mit einer Häufigkeit von 10^{-4} pro Jahr nicht mit ausreichender Sicherheit standhalten. Darauf basierend ist die beim Störfall „Erdbeben“ zu erwartende Gesamtdosis unter realistischen Schadensannahmen zu ermitteln und die Einhaltung des Dosisgrenzwerts gemäss StSV für Störfälle der Kategorie 2 nachzuweisen. Der Termin für diesen Nachweis ist in dem gemäss Forderung 7.5.1-1 bis 31. Dezember 2009 zu erstellenden Konzept verbindlich festzulegen.

Das KKL reichte fristgerecht auf Ende 2009 ein Konzept zur Beurteilung der mit Stellungnahme zur PSÜ 2006 erhobenen Forderungen 7.5.1-1, 7.6.3-7 und 8.2.6-1 ein. Das ENSI erachtete in seiner Stellungnahme aus dem Jahr 2010 das Konzept als gute Basis für eine Überarbeitung der deterministischen und probabilistischen Analysen und schloss die genannten Forderungen. Neue Erkenntnisse zur Erdbebengefährdung sowie der Stand der entsprechenden Sicherheitsnachweise des KKL werden in Kap. 2.1.4 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 7.6.4-1

Die Post-LOCA-Studie ist vom KKL bis 30. Juni 2011 unter Berücksichtigung der vorgenommenen Anlagenänderungen und der Erweiterung des Notfallmanagements hinsichtlich ihrer Aktualität zu überprüfen und ggf. zu aktualisieren.

Das KKL beantragte im April 2011 zunächst eine Fristerstreckung zur Einreichung der vom ENSI geforderten Unterlagen mit der Begründung, dass sich Erkenntnisse aus den Ereignissen in Fukushima für die zu betrachtenden Szenarien der „LOCA-Störfälle“ ergeben könnten. Die anschliessend eingereichten Unterlagen zu den Post-LOCA-Studien entsprachen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2012.

Forderung 8.2.6-1

Die Erdbebenanalyse der LPSA2006 ist so zu überarbeiten, dass sie dem Stand der Technik und der aktuellen Anlagenkonfiguration entspricht. Insbesondere sind:

- *die Entscheide zur Auswahl der Komponenten und Bauten (Screening) anhand eines modernen, auf einer umfassenden Anlagenbegehung beruhenden Verfahrens zu treffen;*
- *die Fragilityanalysen insgesamt zu aktualisieren;*
- *die Erdbebenanalyse umfassend und nachvollziehbar zu dokumentieren.*

Darauf basierend sind allfällige seismische Schwachstellen in der Anlage systematisch zu identifizieren und potenzielle Nachrüstungen risikotechnisch zu bewerten.

Bis 31. Dezember 2009 ist hierfür ein verbindliches Konzept einzureichen, welches die verwendeten Methoden, den Umfang der Analysen, den Zeitplan für die einzelnen Analyseschritte, die beauftragten Experten und die Erdbebengefährdungsannahmen konkret bestimmt.

Das KKL reichte die geforderten Unterlagen zur Bewertung fristgerecht ein. Das ENSI erachtete in seiner Stellungnahme aus dem Jahr 2010 das vom KKL eingereichte Konzept als gute Basis für die Überarbeitung der Erdbebenanalysen und schloss die Forderung. Die auf diesem Konzept basierend zu erstellenden Analysen wurden vom ENSI in weiterführenden Geschäften verfolgt. Die Erdbebenanalyse der KKL PSA 2016 sowie die Bewertung der seismischen Robustheit der Anlage werden in Kap. 7 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 8.3.1-1

Die Kernschadenszustände (Key Plant Damage States, KPDS) der LPSA2006 sind nach der Überarbeitung der Stufe-1-PSA zu aktualisieren. Anschliessend ist die gesamte Stufe-2-PSA des KKL bis 30. Juni 2012 aufzudatieren.

Das KKL reichte die aktualisierten Unterlagen zu Kernschadenszuständen im Rahmen des Modells KKL PSA 2012 dem ENSI zur Bewertung ein. Das ENSI prüfte die Angaben zu den Kernschadenszuständen und stellte fest, dass ihre Charakterisierung die gemäss Richtlinie ENSI-A05^{A05} geforderten Merkmale enthält, sodass die Forderung im Jahr 2013 geschlossen werden konnte.

Forderung 8.5-1

Der in der PSA-Aktionsliste festgehaltene Verbesserungsbedarf ist wie folgt umzusetzen:

- a) *Die Analyse der Stör- und Notfallvorschriften ist der HSK bis 31. Dezember 2009 einzureichen.*
- b) *Für die in der Aktionsliste explizit genannten Fragestellungen zu den Erfolgskriterien als Grundlage zur Modellierung der Unfallabläufe sind die entsprechenden Analysen der HSK bis 31. Dezember 2009 einzureichen. Die vollständig überarbeiteten Analysen der Erfolgskriterien für die Unfallablaufanalysen sind der HSK bis 31. Dezember 2010 einzureichen.*
- c) *Bis 31. Dezember 2011 sind sämtliche in der Aktionsliste festgehaltenen Verbesserungspunkte umzusetzen und das PSA-Modell inklusive zugehöriger Dokumentation der HSK einzureichen. Ferner ist zu jedem in der Aktionsliste festgehaltenen Verbesserungspunkt kurz darzulegen, wie dieser im neuen Modell bzw. in der neuen Dokumentation umgesetzt wurde. Diese Darlegung ist anlässlich von Fachgesprächen gemäss Arbeitsfortschritt und abschliessend spätestens bis 31. Dezember 2011 schriftlich festzuhalten.*

Das KKL reichte die geforderten Unterlagen zu Teilforderung 8.5-1 a) und b) fristgerecht ein. Aufgrund der systematischen Analyse des KKL und der Verbesserungen der Stör- und Notfallvorschriften wurde die Teilforderung 8.5-1 a) im Jahr 2010 geschlossen. Nach Klärung offener Fragen zu den Erfolgskriterien wurde die

Teilforderung 8.5-1 b) im Jahr 2013 geschlossen. Das KKL informierte regelmässig über den Stand der weiteren Arbeiten und reichte unter anderem die KKL PSA 2012 ein. Das ENSI bewertete jeweils die Angaben des KKL. Eine überarbeitete PSA, die KKL PSA 2014, welche das KKL auch durch internationale Experten der IAEA überprüfen liess, wurde im Februar 2015 vom KKL eingereicht. Das ENSI kam im Jahr 2015 zum Schluss, dass sämtliche Punkte der PSA-Aktionsliste erledigt waren und schloss die Teilforderung 8.5-1 c).

Forderung 8.5-2

Es ist vom KKL bis 30. Juni 2012 eine Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb zu entwickeln.

Das KKL beantragte zweimal eine Terminverschiebung, zuerst um eine vollumfängliche Stufe-2-PSA für alle Anlagenzustände zeitgleich einreichen zu können und anschliessend wegen erhöhter Arbeitsbelastung unter anderem für die Aufarbeitung der Ereignisse in Fukushima. Beiden Anträgen stimmte das ENSI zu. Die im Jahr 2014 eingereichte Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb enthielt die relevanten Anlagenzustände und alle relevanten externen und internen Ereignisse. Daher schloss das ENSI die Forderung im Jahr 2016.

2.3.1.4 PSÜ-Forderungen aus dem Bereich der Anlagenauslegung

Forderung 6.9.8-1

Das KKL hat die Ergebnisse der detaillierten Überprüfung der Auslegung des 130-t-Brennelement-Lagerkrans und des 115/5-t-Polarkrans der HSK bis 30. Juni 2010 zur Prüfung vorzulegen.

Das KKL legte eine Überprüfung der Auslegung der genannten Kräne sowie weitergehende Unterlagen zu ihrer geplanten Ertüchtigung vor. Das ENSI prüfte die vom KKL eingereichten Unterlagen im Hinblick auf die Auslegung und stellte fest, dass die mechanische Klassierung der Hebezeuge dem zum Zeitpunkt der Bewertung gültigen Regelwerk entspricht. Die bestehenden Abweichungen der Auslegung der elektrischen Ausrüstungen stellten die erforderliche Sicherheit nicht in Frage. Sie können im Fall der geplanten gesamthaften Erneuerung eliminiert werden, weshalb das ENSI die Forderung im Jahr 2010 schloss. Der Zustand der genannten Kräne wird in Kap. 4.6.5 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Forderung 6.10.2-1

Die Auslegung des Überspeisungsschutzes ist vom KKL bis 31. Dezember 2009 unter Berücksichtigung möglicher Ausfallfolgen und der Auslegung des Überspeisungsschutzes in anderen Siedewasserreaktoren zu überprüfen.

Nach verschiedenen Untersuchungen des KKL zu diesem Sachverhalt und mehreren Nachforderungen des ENSI schlug das KKL das weitere Vorgehen einschliesslich einer Terminplanung vor, um alle Untersuchungen und Bewertungen bis zum Einreichen der PSÜ 2016 abzuschliessen. Das ENSI akzeptierte im Jahr 2014 die vorgeschlagene Vorgehensweise und schloss die Forderung. Zum Thema Überspeisungsschutz sei auf Kap. 6.2.2.6 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen.

Forderung 6.11-1

Der Brandschutz in den Brandabschnitten 80 (Dekontaminationsgebäude) und 13 (Aufbereitungsgebäude) ist vom KKL bis 31. Dezember 2010 so zu ertüchtigen, dass im Falle eines Brandes der in der Richtlinie HSK-R-50 festgelegte Richtwert für die Aktivitätsfreisetzung nicht überschritten wird.

Durch Nachrüstungen in den entsprechenden Brandabschnitten und durch weitere administrative Massnahmen stellte das KKL sicher, dass die festgelegten Richtwerte^{R-50} nicht überschritten werden. Das ENSI schloss die Forderung im Jahr 2011.

Forderung 6.12-1

Das KKL hat bis 31. Dezember 2010 die Blitzschutznachrüstungen abzuschliessen und deren Wirksamkeit zu belegen.

Das KKL reichte das geforderte Dokument zur Bewertung ein. Das ENSI kam zum Schluss, dass das KKL nach den durchgeführten Blitzschutznachrüstungen grundsätzlich dem aktuellen Stand der Technik entspricht und schloss im Jahr 2013 die Forderung. Die Umsetzung restlicher Verbesserungsmassnahmen wurde im Rahmen der Aufsicht begleitet, sie ist abgeschlossen (vgl. Kap. 4.6.2).

Forderung 8.3.5-1

Das KKL hat bis 31. Oktober 2009 zu untersuchen, wie der automatische Containmentabschluss (Absperrung der Entwässerungsleitungen) bei Erdbeben verbessert werden kann.

Das KKL identifizierte im Rahmen einer risikotechnischen Bewertung insgesamt vier Armaturen der Boden- und Apparateentwässerung, die im Anforderungsfall sicher geschlossen werden müssen, um das Risiko einer frühzeitigen Freisetzung im erdbebenbedingten Notstromfall massgeblich reduzieren zu können. Das ENSI schloss die entsprechende Forderung im Jahr 2009. Die betroffenen Armaturen wurden im Rahmen einer Anlagenänderung in der Jahreshauptrevision 2010 ertüchtigt.

2.3.2 Stand der in 2006 bis 2015 verfügbaren Forderungen

Das ENSI hat im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 im Zusammenhang mit verschiedenen Sachverhalten insgesamt acht Forderungen dem KKL mit einer Verfügungsanordnung zugestellt. Die erste Verfügung betraf die Durchführung einer zerstörungsfreien Prüfung an den Mischverbindungen und Anschlussnähten des N3-Stützens des Reaktordruckbehälters in der Jahreshauptrevision (JHR) 2009. Weitere sechs Forderungen standen im Zusammenhang mit den Ereignissen in Fukushima (Japan) im März 2011. Die letzte Verfügung betraf die Überprüfung und Aktualisierung der Studie zum vorsätzlichen Flugzeugabsturz.

2.3.2.1 Verfügung vom 24. Oktober 2008

Mit Verfügung vom 24. Oktober 2008 wurde gefordert, dass das KKL zerstörungsfreie Prüfungen gemäss den Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14, Rev. 6, an den Mischverbindungen und Anschlussnähten der RDB-Stützen N3 in der Jahreshauptrevision 2009 durchzuführen hat. Um den Zustand der Schweissnähte bewerten zu können, war ein qualifiziertes Prüfsystem nach den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B07 einzusetzen.

In der JHR 2009 wurden alle Mischnähte und ca. 50 % der austenitischen Anschlussnähte mit einem qualifizierten Prüfsystem erfolgreich geprüft. Anzeigen von betriebsinduzierten Schäden wurden nicht festgestellt. Die Verfügung wurde daraufhin vom ENSI mit Stellungnahme vom 18. September 2009 geschlossen. Die abschliessende Prüfung der austenitischen Schweissnähte erfolgte in der JHR 2010.

2.3.2.2 Verfügungen im Zusammenhang mit den Ereignissen in Fukushima

Das ENSI hatte infolge der Ereignisse in Fukushima (Japan) im März 2011 mit Verfügung vom 18. März 2011 verschiedene Sofortmassnahmen sowie die Klärung von Fragen verlangt. Die Sofortmassnahmen umfassten:

- 1) Prüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung;
- 2) Bereitstellung von zusätzlichen Einsatzmitteln in einem externen Lager;
- 3) Nachrüstung von extern zugänglichen Anschlüssen; und
- 4) Nachrüstung zur externen Bespeisung der Brennelementlagerbecken.

Die zu klärenden Fragen betrafen folgende Themen:

- a) Sicherstellung der Kühlmittelversorgung für Sicherheits- und Hilfssysteme;
- b) Schutz allfälliger ausserhalb des Primärcontainments befindlicher Brennelementlagerbecken gegen interne und externe Einwirkung; und
- c) die Brennelementbeckenkühlung.

Falls die Beantwortung der Fragen Defizite aufzeigen sollte, war darzulegen, wie das KKL diese Defizite beseitigen will.

Mit Verfügung vom 1. April 2011 präzisierte das ENSI, unter welchen Randbedingungen und mit welchen Gefährdungsannahmen der deterministische Nachweis der Beherrschung eines 10'000-jährlichen Erdbebens, eines 10'000-jährlichen Hochwassers und der Kombination von Erdbeben und dem durch das Erdbeben ausgelösten Versagen von Stauanlagen im Einflussbereich des KKL zu führen war.

Bei der Beurteilung der Antworten des KKL auf die Fragen aus der Verfügung vom 18. März 2011 identifizierte das ENSI Verbesserungsbedarf, weshalb mit Verfügung vom 5. Mai 2011

- Lösungsansätze zur Ertüchtigung von Möglichkeiten zur Überwachung der Brennelementbecken-temperatur und des Brennelementbeckenfüllstandes
- eine Überprüfung der Auslegung der Brennelementlagerbecken, -gebäude und -kühlsysteme sowie
- eine Bewertung des Schutzes vor Wasserstoffdeflagrationen und -explosionen im Bereich der Brennelementbecken

gefordert wurden.

Mit Verfügung vom 1. Juni 2011 forderte das ENSI, dass das KKL eine gezielte Neubewertung der Sicherheitsmargen des Kernkraftwerks im Rahmen des EU-Stresstests durchzuführen hatte. Diese Neubewertung hatte folgende drei Bereiche zu umfassen:

- Auslösende Ereignisse: Analyse der Einwirkung von extremen Erdbeben, Hochwassern sowie der Kombination von Erdbeben und von Erdbeben ausgelösten Überflutungen.
- Ausfall von Sicherheitsfunktionen: Überprüfung der Folgen des Verlusts der Strom- und Kühlwasserversorgung unabhängig vom auslösenden Ereignis.
- Notfallmanagement: Überprüfung der Wirksamkeit der vorbereiteten Massnahmen gegen schwere Unfälle.

Im Zusammenhang mit der Überprüfung des KKL-Berichts zum EU-Stresstest hatte das ENSI zusätzlichen Klärungsbedarf identifiziert und daher mit Verfügung vom 10. Januar 2012 gefordert, dass die seismische Robustheit der Isolation des Containments, des Primärkreises sowie des Containment-Druckentlastungssystems zu überprüfen und die Ergebnisse einzureichen waren. Darüber hinaus waren Massnahmen zur Erhöhung der Erdbebenfestigkeit des Containment-Druckentlastungssystems vorzuschlagen.

Ergänzend forderte das ENSI mit Verfügung vom 22. April 2013 im Hinblick auf die Vorsorge gegen auslegungsüberschreitende Störfälle,

- die Einrichtungen zur Wasserstoffmessung zu überprüfen;
- die SAMG und ihnen zugrunde gelegte Analysen in Bezug auf bestimmte Aspekte der Wasserstoffverbrennung zu überprüfen;
- einen Lösungsansatz zur Ausrüstung des Containments mit passiven autokatalytischen Rekombinatoren zu erarbeiten; und
- die Verbreitung von Wasserstoff ausserhalb des Primärcontainments zu analysieren.

Das ENSI legte den jeweiligen Stand der Verfolgung der Punkte zur Überprüfung der Schweizer Kernkraftwerke, die im Zusammenhang mit den Ereignissen in Fukushima identifiziert wurden, jährlich im Aktionsplan Fukushima^{ENSI 7844, ENSI 8226, ENSI 8711, ENSI 9106} dar. Im Schlussbericht Aktionsplan Fukushima^{ENSI 9872} wurde festgehalten, dass die geplanten Untersuchungen mit den identifizierten Schwerpunkten allesamt abgeschlossen sind. Ein Grossteil der daraus abgeleiteten Verbesserungsmaßnahmen wurde bereits abgeschlossen.

Die für das KKL noch nicht vollständig umgesetzten Folgemaßnahmen werden im Rahmen des Aufsichtsverfahrens durch das ENSI verfolgt. Über die Umsetzung von allfälligen Massnahmen wird im Rahmen der jährlichen Aufsichtsberichte des ENSI berichtet.

2.3.2.3 Verfügung vom 17. Mai 2013

Mit Verfügung vom 17. Mai 2013 zum vorsätzlichen Flugzeugabsturz wurden insbesondere die Durchführung von Versuchen an Simulatoren zur Identifizierung relevanter Anflugrichtungen, die Aktualisierung der Studien zum vorsätzlichen Flugzeugabsturz (wo notwendig) sowie die Überprüfung, ob weitere Massnahmen zur Erhöhung des Schutzes angezeigt sind, gefordert.

Das KKL führte die geforderten Untersuchungen durch. Diese Aktualisierung der entsprechenden Analysen bestätigt, dass das KKL über einen ausreichenden Schutzgrad gegen einen vorsätzlichen Flugzeugabsturz verfügt. Die Forderungen aus der Verfügung waren erfüllt, das zugehörige Geschäft wurde geschlossen. Details werden aus Gründen der Sicherheit nicht weiter ausgeführt.

2.4 Aktuelle oder geplante Projekte zur Ertüchtigung des KKL

Das KKL wird in den kommenden Jahren zur weiteren Erhöhung der Verfügbarkeit der Gesamtanlage und zur Gewährleistung der nuklearen Sicherheit verschiedene Anlagenänderungen umsetzen. Hierzu gibt es bereits laufende Projekte bzw. Projekte, die sich in der Planungsphase befinden.

Die bereits laufenden und geplanten Massnahmen umfassen insbesondere:

- die Sanierung und Optimierung des Reaktorumwälzsystems (YUMOD);
- den Austausch des Steuerstab-Steuer- und Informationssystems (RC&IS);
- den Ersatz bzw. den Umbau im Bereich des Hauptkondensators (ERKO);
- den Ersatz der Strahlenschutzinstrumentierung (NEX);
- den Ersatz des Systems zur Messung des Neutronenflusses im Reaktor (PRNM);
- die Erweiterung/Modernisierung des Systems zur Erfassung von Anlagenparametern (ANIS, ANIS+);
- die Modernisierung von Nebenanlagen (NAMOD);
- die seismische Ertüchtigung des Systems der gefilterten Containment-Druckentlastung (FCVS).

2.5 Wesentliche Entwicklungen nach dem Überprüfungszeitraum

Untersuchungen zu Befunden an Brennelementen

Ein Brennelement-Schaden im Zyklus 30 war im Verlauf der ersten Ursachenanalyse der lokalen Überhitzung aufgrund eines Dryouts als der wahrscheinlichsten Ursache zugeschrieben worden. Da die Brennelementinspektionen in der nachfolgenden Jahreshauptrevision lokale Verfärbungen an äquivalenten Brennstabpositionen identifizierten, die als verstärkte Oxidation interpretiert wurden, ohne dass allerdings ein Schaden auftrat, erliess das ENSI für den Betrieb des Zyklus 32 eine Erhöhung der Sicherheitsmarge gegen Dryout. Nach dem Zyklus 32 wurden weitere ähnliche Befunde – jedoch keine Schäden – festgestellt, sodass das ENSI noch umfangreichere Brennelementinspektionen und Untersuchungen verlangte. Dabei wurde identifiziert, dass die Befunde nur in neueingesetzten Brennelementen eines Typs bei einer Brennelementleistung von über 7,4 MW in Verbindung mit hohen Kerndurchsätzen auftraten. Für den Betrieb in den folgenden Zyklen wurden deshalb der Kerndurchsatz und die Leistung für neueingesetzte und geringabgebrannte Brennelemente dieses Typs limitiert, was eine reduzierte Gesamtleistung der Anlage ab der Jahreshauptrevision 2016 zur Folge hatte. Die

Massnahmen waren erfolgreich, wie umfangreiche Brennelementinspektionen in den Jahreshauptrevisionen 2017 und 2018 zeigten. Die im Rahmen der Ursachenfindung angestellten Analysen und Untersuchungen – auch in den Heisszellen des PSI – verfolgt das ENSI eng, die Untersuchungen sind aufgrund der hohen Komplexität weiterhin im Gang.

Aktuelle Ergebnisse der Heisszellenuntersuchungen zeigen, dass die festgestellten Marken verstärkten lokalen CRUD-Ablagerungen zugeschrieben werden können. Das Hüllrohr wurde dadurch – mit Ausnahme des Brennstabschadens aus Zyklus 30 – nicht geschwächt. Ob diese lokalen CRUD-Ablagerungen den Brennstabschaden in Zyklus 30 verursacht haben, befindet sich noch in der Abklärung. Der weitere Reaktorbetrieb soll jedoch weiterhin nur unter solchen Bedingungen erfolgen, dass starke lokale CRUD-Ablagerungen vermieden werden.

3 Betriebsführung und Betriebsverhalten

3.1 Betriebserfahrung des KKL

Angaben des KKL

Die Beurteilung der Betriebserfahrung stützt sich hauptsächlich auf die Auswertung und Beurteilung der jeweiligen „Jahresberichte Sicherheit“ des KKL und dabei insbesondere auf die Sicherheitsindikatoren der Jahre 2006 bis einschliesslich 2015. Sie werden auf ihre Zweckmässigkeit und Vollständigkeit hin überprüft, ihre Verläufe und die damit gemachten Erfahrungen bewertet und diese soweit möglich mit denen anderer Kernkraftwerke verglichen. Die Sicherheitsindikatoren werden von den Performance-Indikatoren der World Association of Nuclear Operators (WANO) abgeleitet und betreffen u. a. die Bereiche Arbeitsverfügbarkeit, Nichtverfügbarkeiten, ungeplante Reaktorschnellabschaltungen sowie strahlenschutztechnische Aspekte. Das KKL beurteilt die Sicherheitsindikatoren als zweckmässig und vollständig. Sie ermöglichen einen Vergleich der Leistungsfähigkeit in den Bereichen der nuklearen Sicherheit, Betriebszuverlässigkeit und Arbeitssicherheit. Im Bereich der nuklearen Sicherheit zeigen die schutzzielbasierten Sicherheitsindikatoren im Überprüfungszeitraum ein konstant hohes Niveau.

Die globalen Sicherheitsindikatoren erlauben einen schnellen Überblick über den Betriebsverlauf der Gesamtanlage im Sinne einer rückwirkenden Erfolgskontrolle. Der Einfluss zahlreicher Anlagenänderungen oder spezifischer Verbesserungsmaßnahmen auf das Betriebsverhalten wird durch die Sicherheitsindikatoren allerdings nicht direkt aufgezeigt. Dies gilt auch für die Verwendung der Sicherheitsindikatoren der Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter (GSKL). Die Indikatoren eignen sich damit auch nicht als Grundlage für Managemententscheide. Diese bedürfen schneller zu ermittelnder Daten.

Das KKL gibt an, dass der Umfang der vorhandenen Sicherheitsindikatoren eine Beurteilung der sicheren Betriebsführung bietet, die zugrunde liegende Datenerfassung jedoch noch Verbesserungspotenzial aufweist. In jenen Bereichen, in denen die erhobenen Daten ausreichend validiert worden sind, kann zwar eine gute Erfolgskontrolle vorgenommen werden, für eine umfassende Schwachstellenanalyse ist die jeweilige Aussagekraft jedoch noch nicht ausreichend. Das Erkennen von Schwachstellen in der Anlage, in Vorschriften und im Betriebsablauf ist mittels der Indikatoren noch nicht gegeben. Eine Möglichkeit die Betriebserfahrung verbessert und detaillierter darzustellen, wäre eine ursachenorientierte Darstellung der Nichtverfügbarkeiten. Ein solches Vorgehen bedarf allerdings einer ausreichenden Datenmenge, die in einer einzelnen Anlage nur schwer zu erheben ist.

Aus den Trendanalysen erkennt das KKL einzig für den Sicherheitsindikator Kollektivdosen ein Potenzial für künftige Verbesserungen. Dem permanenten Anstieg sollte durch gezielte Massnahmen entgegengewirkt werden, um auch hier wieder in den Bereich der besten BWR-6-Anlagen zu kommen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 33 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und ENSI-G08^{G08}

Beurteilung des ENSI

Basierend auf den WANO-Performance-Indikatoren nutzt das KKL seine Sicherheitsindikatoren für eine rückwirkende Erfolgskontrolle hinsichtlich einer sicheren Betriebsführung. Im Rahmen einer systematischen Sicherheitsbewertung werden die Indikatoren auch zur Trendanalyse herangezogen, wie das identifizierte Verbesserungspotenzial bei den Kollektivdosen zeigt. Hinsichtlich der Beurteilung des vom KKL identifizierten Anstiegs der Kollektivdosen wird auf Kap. 3.4.3 und 3.4.4 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen. Das KKL möchte die Indikatoren zukünftig allerdings noch stärker für eine umfassende Schwachstellenanalyse nutzen und hat dazu im Bereich der Datenerfassung weiteres Verbesserungspotenzial identifiziert.

Die Auswertung der Betriebserfahrung auf Basis der KKL-Sicherheitsindikatoren erfüllt die massgeblichen Vorgaben der KEV sowie der Richtlinien ENSI-A03 und ENSI-G08.

3.2 Vorkommnisse

Angaben des KKL

Die systematische Erfassung und Auswertung der internen und externen Betriebserfahrung erfolgt im KKL innerhalb des Supportprozesses „Feststellungen, Ereignisse und Befunde“. Dieser Prozess wurde nach den Vorgaben der massgeblichen internationalen Organisationen, z. B. International Atomic Energy Agency (IAEA) und WANO, konzipiert und an das organisationale Umfeld angepasst. Ziel des Prozesses ist eine effektive und effiziente Nutzung der Erkenntnisse aus der internen und externen Betriebserfahrung zu erreichen und damit einen Beitrag zur Verbesserung der Anlagensicherheit und -zuverlässigkeit zu leisten.

Kenngrossen des Prozesses sind unter anderem die Anzahl eingegangener Feststellungen, die Anzahl der analysierten internen Ereignisse und Befunde, die Anzahl der beurteilten externen Ereignisse, die Anzahl umgesetzter Massnahmen und der Terminverzug bei der Erstellung von Analysen respektive Korrekturmassnahmen. Diese Kenngrossen werden periodisch ausgewertet.

Die in diesem Prozess erfasste Betriebserfahrung deckt ein weites Spektrum von Meldungen der Mitarbeitenden (Teilprozess „Feststellung“), über interne Befunde und Ereignisse (Teilprozess „Interne Ereignisse und Befunde“) bis hin zu externen Vorkommnissen (Teilprozess „Externe Ereignisse“) ab. Zur Erfassung von Feststellungen stehen den Mitarbeitenden mehrere Kanäle und Instrumente zur Verfügung. Je nach Bewertung einer Feststellung besteht die Möglichkeit, diese in eine höhere Kategorie („internes Ereignis“) einzustufen.

Interne Ereignisse und Befunde werden ausnahmslos mit einem standardisierten Auswertungstool erfasst. Die Auswertung erfolgt nach Erstbeurteilung gemäss einem Vier-Stufen-Konzept, welches die Intensität und die Qualität der Erstanalyse bestimmt. Die Einstufung erfolgt durch die Gruppe „Auswertung Betriebserfahrung“ und wird durch die Kraftwerksleitung geprüft, wobei im Rahmen der Stufe 1 u. a. die Meldekriterien gemäss Richtlinie ENSI-B03 überprüft werden. Je nach Stufe gelten detaillierte Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeitenden, welche die Vorkommnisanalyse durchführen. Die Koordinierung und abschliessende Beurteilung erfolgt durch das fachbereichsübergreifende Gremium „Betriebserfahrungsgruppe“. Der Teilprozess „Massnahmen“ kommt bei Bedarf für jegliche Art von Betriebserfahrungen zum Einsatz und beschreibt u. a. die Initialisierung, Umsetzung und Bewertung von Massnahmen.

Im Überprüfungszeitraum wurden vom KKL insgesamt 599 Ereignisse und Befunde erfasst und bewertet. 104 Ereignisse und acht Befunde erfüllten die Kriterien der Meldepflicht nach Richtlinie HSK-R-15 (bis 2008) bzw. ENSI-B03 (ab 2009).

Insgesamt traten im KKL in der Beurteilungsperiode drei Vorkommnisse mit besonderer Bedeutung für die nukleare Sicherheit auf, die gemäss den Vorgaben des INES User's Manual (IAEA, Vienna 2008) der Stufe 1 (Anomalie) zugeordnet wurden. Ein weiteres Vorkommnis wurde aufgrund der Überschreitung von Dosisgrenzwerten der Stufe 2 (Incident) zugeordnet.

- Auslösung des SEHR-ADS während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen (2007)
Für den periodischen Austausch der Blitzschutzbeschaltung im SEHR-System (Special Emergency and Heat Removal, Notstandssystem) sollten bei einem Instrumentierungsfunktionstest diverse Grenzwertkarten und deren Signalausgänge zwecks Absicherung überbrückt werden. Infolge eines Fehlers bei der Durchführung der Überbrückung erfolgte eine Initialisierung der automatischen Druckentlastung (ADS) mit anschliessendem Öffnen von acht der insgesamt 16 Sicherheitsabblaseventile. Dadurch wurden rund 50 % der produzierten Dampfmenge aus dem Reaktor in die Druckabbaukammer abgeleitet. Der rasch absinkende Füllstand im Reaktor führte bei Erreichen des Grenzwerts L3 zu einer Reaktorschnellabschaltung. Als beitragende Faktoren für das Auftreten des Vorkommnisses wurden eine unzureichende Kommunikation und Kontrolle, eine unzulängliche Anwenderunterstützung und eine unangemessene Sicherheitsbewertung sowie eine unzureichende Risikoeinschätzung der Arbeiten ermittelt.

Eine Bewertung des Vorkommnisses erfolgte auf der Basis der Eintrittshäufigkeit nach Figur 9 des INES User's Manual. Da das Ereignis tatsächlich eingetreten und gemäss damals gültiger Richtlinie HSK-R-100 der Störfallkategorie 2 zuzuordnen war, erfolgte die Zuordnung in die Häufigkeitskategorie „possible“. Das Vorkommnis wurde deshalb der Stufe INES 1 zugeordnet.

– Überschreitung der zulässigen Strahlendosis einer Person bei Instandhaltungsarbeiten (2010)

Während des Revisionsstillstands nahm ein Taucher im Brennelement-Transferbecken Instandhaltungsarbeiten vor. Nach Abschluss aller geplanten Arbeiten sammelte er unter Wasser auf Anweisung loses Material ein. Darunter war auch ein rund 30 cm langer rohrähnlicher Gegenstand. Der Taucher legte diesen in seinen Werkzeugkorb. Während des Hochziehens des Korbes mass ein Strahlenschutzmitarbeiter die Dosisleistung an der Wasseroberfläche. Als der Korb sich der Wasseroberfläche näherte, löste die Raumstrahlungsüberwachung einen Alarm aus und die Messung des Strahlenschutzes zeigte eine erhöhte Dosisleistung. Das Ereignis führte zu einer unzulässigen Strahlenbelastung des Tauchers.

Das Vorkommnis wurde vom ENSI auf der internationalen Ereignisskala INES der Stufe 2 zugeordnet, da sowohl der Grenzwert für die Ganzkörperdosis von 20 mSv als auch der Grenzwert für die Hand- und Hautdosis von 500 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen überschritten worden waren.

– Beschädigung des Stahlcontainments (2014)

Am 24. Juni 2014 wurde bei einer Begehung im Primärcontainment auf der Ebene +28 m festgestellt, dass die Halterungen für zwei Handfeuerlöcher mittels Bohrungen und Verschraubungen an der Stahlwand des Primärcontainments angebracht waren. Die Halterungen wurden umgehend entfernt und die durchgehenden Bohrungen provisorisch verschlossen. Zusätzlich wurde geprüft, ob sich an der Innenseite des Primärcontainments weitere, in unzulässiger Weise angebrachte Komponenten befanden. Dabei ergaben sich keine Befunde. Anhand von schriftlichen Belegen konnte rekonstruiert werden, dass die Bohrungen am Primärcontainment im November 2008 vorgenommen worden waren. Die Montage der Feuerlöcher erfolgte gemäss dem für Änderungen ohne Bezug zur nuklearen Sicherheit massgeblichen Prozess. Es wurde nicht erkannt, dass im vorliegenden Fall eine Bedeutung für die nukleare Sicherheit bestand. Korrekterweise wäre ein anderer Prozess anzuwenden gewesen, in dem die Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit geprüft werden, was das Vorkommnis verhindert hätte.

Das Vorkommnis hatte technisch eine geringe Bedeutung für die nukleare Sicherheit. Durch die Beschädigungen am Primärcontainment traten keine unzulässigen Abgaben von radioaktiven Stoffen an die Umgebung auf. Im Anforderungsfall wäre das Schutzziel „Einschluss radioaktiver Stoffe“ erfüllt worden. Aufgrund der unzureichenden Prozessvorgaben bei der Instandhaltung und der Mängel bei der Qualitätssicherung ist das Vorkommnis unter dem Aspekt der Sicherheitskultur jedoch als schwerwiegender zu bewerten, was zu einer Einstufung auf der internationalen Ereignisskala als INES 1 führte.

– Unverfügbarkeit der SEHR-Grundwasserpumpen der Div. 51 und 61 (2014)

Bei der periodischen Durchführung von Tests der beiden Notstandssysteme (SEHR) traten bei den Grundwasserpumpen im Verlauf des Jahres 2014 wiederholt Störungen auf. Der Ausfall der Grundwasserpumpe bei Tests am 29. September 2014 im einen und der Ausfall am 1. Oktober 2014 im anderen Notstandssystem führten zu einer latenten Nichtverfügbarkeit des gesamten SEHR-Systems von rund 263 h. Gemäss der jährlichen risikotechnischen Bewertung nach Richtlinie ENSI-A06 ergab diese zeitgleich vorliegende latente Unverfügbarkeit beider Grundwasserpumpen eine inkrementelle bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit von $2,28 \cdot 10^{-6}$.

Das KKL bewertete das Vorkommnis auf Basis der Richtlinien ENSI-A06, Kap. 6.6.2 und ENSI-B03, Anhang 6 folgerichtig als Vorkommnis der Stufe INES 1 auf der internationalen Ereignisskala. Diese Einstufung wurde bei der Anwendung der Kriterien des INES User's Manual (IAEA, Wien 2008) vom ENSI bestätigt. Ursachen waren Ausfälle der elektrischen Leistungsschalter der Grundwasserpumpen. Es hat sich gezeigt, dass die Ausfälle durch eine unzureichende Wartungsplanung in Kombination mit einer Überschreitung der Wartungsintervalle begünstigt wurden. Dies hatte dazu geführt, dass die Zuverlässigkeit der betroffenen Schalter über einen längeren Zeitraum vermindert war.

Im Rahmen einer systematischen Sicherheitsbewertung ordnet das KKL seit Inkrafttreten der Richtlinie ENSI-B03 die nach den Kriterien „Nukleare Sicherheit“ meldepflichtigen Vorkommnisse den betroffenen Sicherheitsebenen, Barrieren und Schutzzielen zu (vgl. Abb. 3.2-1).

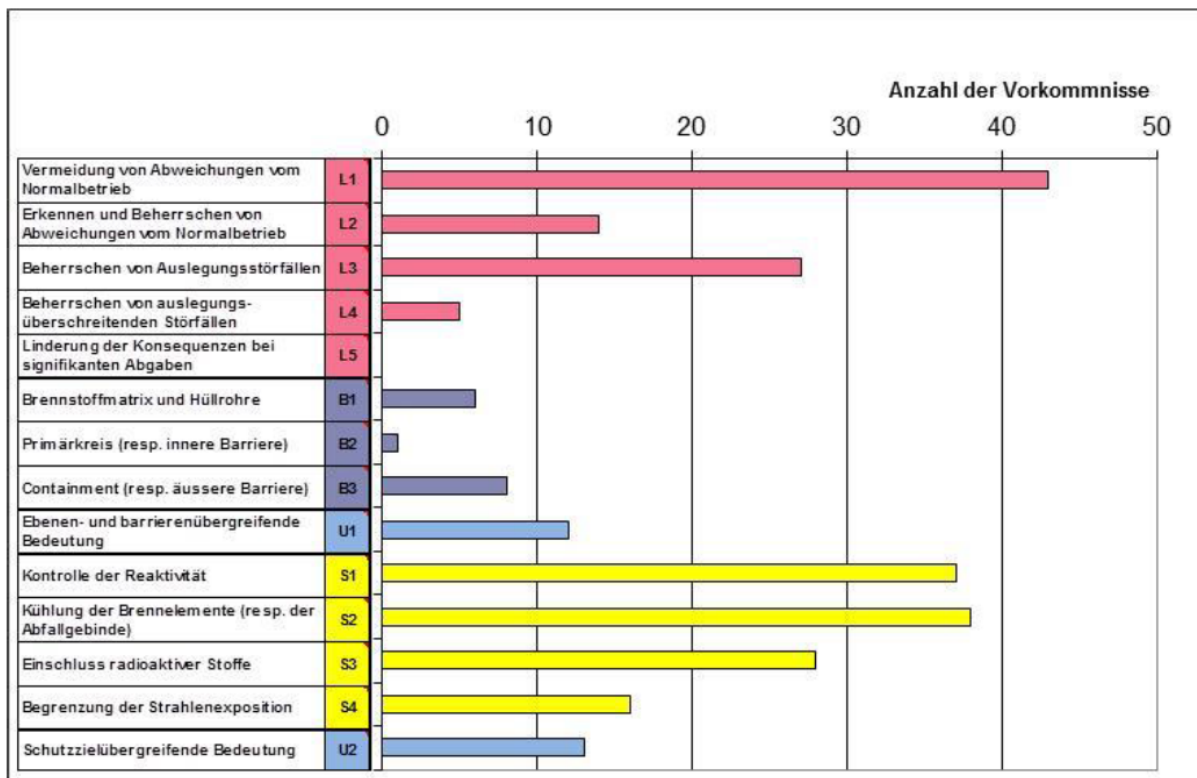


Abbildung 3.2-1: Zuordnung der meldepflichtigen Vorkommnisse nach den Kriterien „Nukleare Sicherheit“ zu den betroffenen Sicherheitsebenen (L), Barrieren (B) und Schutzzielen (S)

Die Vorkommnisse werden im Rahmen der Bearbeitung und Analyse auch auf Abweichungen vom erwarteten Verhalten und auf möglichen Verbesserungsbedarf überprüft. Mehrheitlich können die festgestellten Abweichungen und der festgestellte Verbesserungsbedarf dem Zustand und Verhalten der Anlage zugeordnet werden. Zusätzlich erfolgte eine Zuordnung der Ursachen und der beitragenden Faktoren im KKL anhand der von der WANO festgelegten Kodierung, die eine detaillierte Auswertung auch bezüglich MTO (Mensch, Technik, Organisation)-Aspekten erlaubt.

Bei den vertieften Analysen der Vorkommnisse ist zu erkennen, dass Defizite im Bereich der Arbeitspraktiken gehäuft zum Auftreten der Vorkommnisse beitragen haben. Diesen erkannten Defiziten ist das KKL am Ende des Überprüfungszeitraums durch die Festlegung von Massnahmen im Rahmen von identifizierten gesamtororganisationale Schwerpunktthemen begegnet. Hierzu nennt das KKL die Einführung von vor Ort Begehungen von Entscheidungsträgern in Form des Manager-in-the-Field-Programms (Schwerpunktthema: Verantwortung der Führung stärken) und die Stärkung der anzuwendenden Standards und Erwartungen für internes und externes Personal (Schwerpunktthema: Intensivierung von Training und Schulung der KKL-Standards)

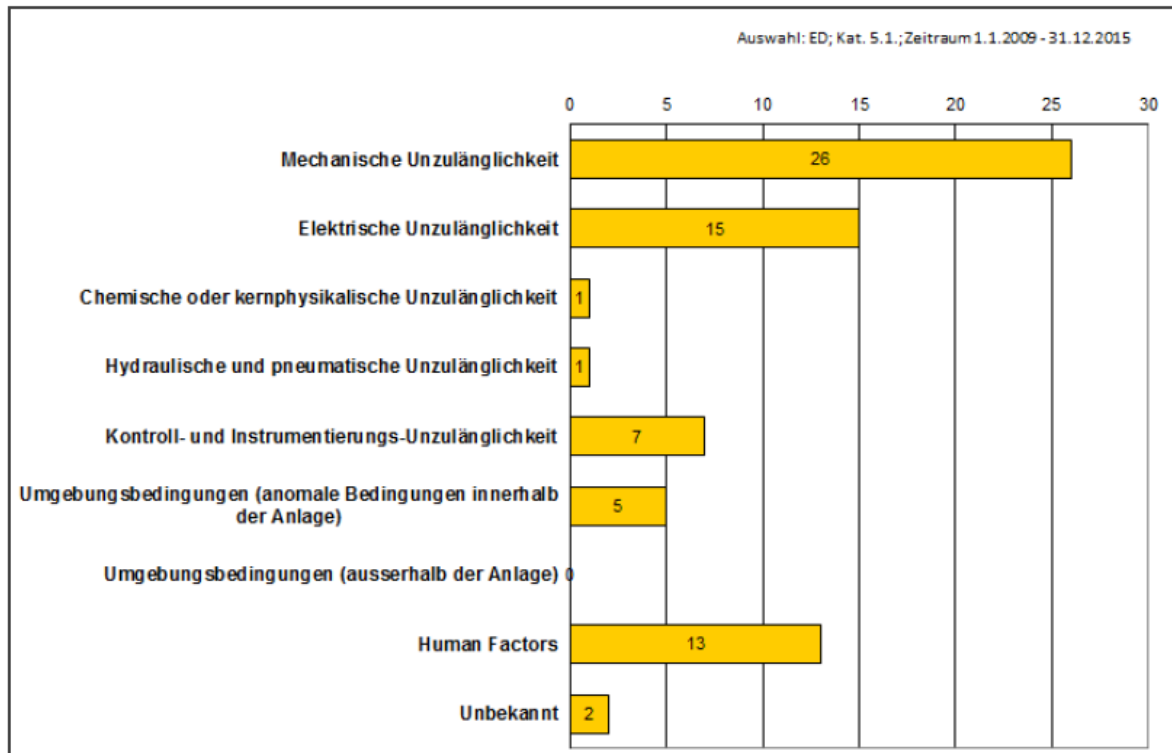


Abbildung 3.2-2: Direkte Ursachen von Vorkommnissen gem. WANO-Kategorisierung (2009–2015)

Im KKL werden auch Vorkommnisse und Feststellungen, die nicht zu einem meldepflichtigen Ereignis oder Befund geführt haben, einer systematischen Untersuchung durch KKL-interne Fachspezialisten unterzogen. Diese Art der Auswertung wurde innerhalb des Überprüfungszeitraums etabliert und ist in den entsprechenden Teilprozessen des TQM hinterlegt bzw. festgehalten. Das Verfahren zur Erfassung von Feststellungsmeldungen erlaubt es dem KKL-Personal, offen oder auch vertraulich Auffälligkeiten bei der Arbeit zu melden. Ein seit 2010 beginnender Trend zu weniger Feststellungsmeldungen wurde vom Management erkannt, ein Konzept für die Stärkung des Feststellungsmeldeverfahrens war per Ende der Überprüfungsperiode deshalb in der Umsetzung.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 33 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B03^{B03}, ENSI-G07^{G07} und ENSI-G08^{G08}

Beurteilung des ENSI

Das KKL konnte zeigen, dass bei der Erfassung, Auswertung und Analyse von Vorkommnissen nachweislich systematische Prozesse verwendet werden, sodass die Zuordnung der festgestellten Sachverhalte den Vorgaben in Bezug auf das jeweils betroffene Schutzziel entspricht. Die vermehrt auftretenden technischen Unzulänglichkeiten (Zustand und Verhalten der Anlage) werden folgerichtig im Rahmen der Vorkommnisbearbeitung erkannt und entsprechende Massnahmen eingeleitet. Die dabei abgeleiteten Verbesserungspotenziale wurden ereignisübergreifend auch auf andere Massnahmen übertragen und fachgebietsübergreifend umgesetzt.

Die Prozesse zur Erfassung und Auswertung der internen Betriebserfahrung aus Vorkommnissen entsprechen den Vorgaben der KEV und Richtlinie ENSI-G07.

Die meisten Vorkommnisse, die das KKL den Sicherheitsebenen 3 und 4 zugeordnet hat, stellen lediglich eine Schwächung der Vorsorgemassnahmen dar, ohne dass Sicherheitssysteme angefordert wurden. Lediglich bei

drei Vorkommnissen kam es zu einer Anforderung von Sicherheitssystemen, nämlich zweimal zu einer Reaktorschneidabschaltung und einmal zur Auslösung des SEHR-ADS. Diese Vorkommnisse wurden auf der Sicherheitsebene 3 sicher abgefangen.

Die Erfahrungen aus einigen Vorkommnissen im Überprüfungszeitraum weisen auf organisationale Schwachstellen hin. Hier ist insbesondere das Vorkommnis „Beschädigungen am Primärcontainment“ vom 24. Juni 2014 mit entsprechender Höherstufung auf INES 1 zu nennen. Andere Vorkommnisse bestätigen diese Schlussfolgerung.

Auf Basis der Analyse des Vorkommnisses „Beschädigungen am Primärcontainment“ hat das KKL auf der gesamtorganisationalen Ebene am Ende des Überprüfungszeitraums folgende Schwerpunktthemen mit zugehörigen Massnahmen festgelegt:

- Verantwortung der Führung stärken
- Intensivierung von Training und Schulung der KKL-Standards
- Anpassung der Prozesse, Überprüfung der Arbeitspapiere

Das KKL erprobt ein neues Konzept zur Beurteilung der Wirksamkeit der zugehörigen Massnahmen. Nach der Erprobungsphase soll dies in den zugehörigen TQM-Prozess implementiert werden. Das ENSI verweist hier auch auf die im Rahmen einer Inspektion zur Betriebserfahrung^{ENSI 12/2477} erhobene Forderung, die Überprüfung der Wirksamkeit in den Prozess „Feststellungen, Ereignisse und Befunde“ zu übernehmen.

Forderung 3.2-1

Das KKL hat dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einen Bericht einzureichen, aus dem hervorgeht, ob die im Rahmen der Schwerpunktthemen

- *Verantwortung der Führung stärken*
- *Intensivierung von Training und Schulung der KKL-Standards*
- *Anpassung der Prozesse, Überprüfung der Arbeitspapiere*

eingeleiteten Massnahmen die gewünschte Wirkung zeigen. Die Wirkung ist auf gesamtorganisationaler Ebene zu beurteilen. Dabei ist das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation zu berücksichtigen. Insbesondere ist auch die Wirksamkeit des in 2015 überarbeiteten Verfahrens für die Feststellungsmeldungen hinsichtlich einer verbesserten Akzeptanz zu beurteilen.

3.3 Reaktorkern, Brenn- und Steuerelemente

3.3.1 Reaktorkern

Anfang 2015 setzte das ENSI die Richtlinie ENSI-G20 in Kraft, die die bisherigen Richtlinien auf dem Gebiet der Reaktortechnik HSK-R-60 und HSK-R-61 ersetzt. Diese Richtlinien dienten dem ENSI bzw. der HSK als Bewertungsgrundlagen in dem Überprüfungszeitraum. Sie werden in diesem Kapitel nicht mehr erwähnt, da sie inhaltlich vollumfänglich durch die neue Richtlinie abgedeckt sind.

3.3.1.1 Kernausslegung

Angaben des KKL

Die jährliche Kern- und Zyklusauslegung wird seit 1999 in enger Zusammenarbeit zwischen dem KKL, der Axpo Power AG (vormals NOK, im Folgenden Axpo) und dem jeweiligen Lieferanten der Brennelementnachladung ausgearbeitet, wobei der Kern sicher und wirtschaftlich betrieben werden soll.

Die im Rahmen der Kernausslegung durchgeführten beladungsspezifischen Sicherheitsanalysen werden dokumentiert und die wesentlichen Ergebnisse in dem Bericht „Reload Licensing Submittal“ zusammengefasst. Die zyklusübergreifenden Sicherheitsanalysen, die im Rahmen der Freigabe neuer Brennelementtypen erstellt

werden, sind in den Grundlagenberichten für Nachladungen der Firma Westinghouse Electric Sweden AB (im Folgenden Westinghouse) und der Firma AREVA GmbH, Deutschland (im Folgenden AREVA) dokumentiert und stellen mit dem „Reload Licensing Submittal“ den Sicherheitsnachweis jeder neuen Kernbeladung dar.

Die Kernbeladungen wurden nach dem bewährten Konzept kleiner Neutronenleckage realisiert, bei dem die Brennelemente in letzter Standzeit vorwiegend in den äussersten Reaktorreihen stehen. Dies maximiert die Brennstoffausnützung und minimiert die Strahlenbelastung des Druckbehälters bzw. der Kerneinbauten. Die in der Kernausslegung ebenfalls bewährte Kontrollzell-Fahrweise mit tief eingefahrenen Steuerstäben und nur wenigen Kontrollstabmusteränderungen trug im Betrieb zu einem ruhigen Reaktorverhalten bei.

Der neue Reaktorkern wird so ausgelegt, dass im Betrieb ausreichende Margen zu den definierten Betriebsgrenzwerten vorhanden sind, die wiederum den Sicherheitsgrenzwerten vorgelagert sind. Die der Kernausslegung zugrunde gelegte Marge zu den thermischen Betriebsgrenzwerten, lineare Brennstableistung und kritisches Leistungsverhältnis (Critical Power Ratio, CPR), betrug etwa 8 % und konnte mit wenigen Unterschreitungen im Betrieb eingehalten werden.

Die für die Reaktorschnellabschaltung erforderliche minimale Abschaltsicherheit von 0,5 % $\Delta k/k$ wurde in der Kernausslegung mit mehr als 1 % $\Delta k/k$ übertroffen und vor jedem Zyklus gemessen. Auch die Wirksamkeit des redundanten Sicherheitssystems der Kühlmittelborvergiftung wurde zyklusspezifisch mit Margen rechnerisch nachgewiesen.

Im Überprüfungszeitraum wurden insgesamt 1196 frische Brennelemente von Westinghouse und von AREVA eingesetzt. Die mittlere Nachlademenge pro Zyklus betrug dementsprechend etwa 120 Brennelemente, was einer Einsatzzeit im Reaktor von fünf bis sechs Jahreszyklen entspricht.

Mit 772 Brennelementen dominierte das Nachladebrennelement SVEA-96 Optima2 (im Folgenden Optima2) von Westinghouse. Im Zyklus 27 wurden acht Vorläuferbrennelemente des weiterentwickelten Typs SVEA-96 Optima3 (im Folgenden Optima3) eingesetzt. Im Zyklus 22 wurden vier Vorläuferbrennelemente ATRIUM 10XM von AREVA in den Kern geladen. Nach positiver Betriebserfahrung dieser Brennelemente wurden in den Zyklen 25 bis 27 volle Nachladungen und im Zyklus 28 eine Teilnachladung mit diesem Typ realisiert. Insgesamt waren 408 Brennelemente dieses Typs im Einsatz. Im Zyklus 30 wurden acht Vorläuferbrennelemente vom Typ ATRIUM 11 geladen. Die vor dem Überprüfungszeitraum eingesetzten Brennelemententypen SVEA-96 Optima/L, SVEA-96+/L, ATRIUM 10B, ATRIUM 10XP und GE14 wurden betrieben, jedoch nicht neu eingesetzt.

Der mittlere Entladeabbrand liegt zwischen 50 und 55 MWd/kg Uran. Der maximale Abbrand der Vorläuferelemente Optima2 von 60 MWd/kg Uran wurde in sieben bzw. acht Betriebszyklen erreicht, mit dem Vorläuferelement ATRIUM 10 dann 63 MWd/kg Uran in sechs Betriebszyklen.

Der Abbrand war bis zum Zyklus 25 durch den mittleren Brennelementabbrand und den lokalen Brennstababbrand begrenzt. Da gezeigt werden konnte, dass die Struktur der eingesetzten Brennelemente robust und der lokale Brennstababbrand der begrenzende Wert ist, wurde ab dem Zyklus 26 bei allen eingesetzten Brennelement-Typen nur der lokale Brennstababbrand auf 75 MWd/kg Uran beschränkt.

Die mittlere Anreicherung der Brennelemente betrug zu Beginn des Überprüfungszeitraums 4,17 Gew.-% und wurde mit den ersten Nachladungen von ATRIUM 10XM auf 4,26 Gew.-% leicht angehoben. Die ab dem Zyklus 28 eingesetzten Brennelemente Optima2 wiesen eine mittlere Anreicherung von 4,44 Gew.-% auf. Durch die höhere Anreicherung werden bei nachgewiesener Sicherheit eine bessere Brennstoffausnützung und kleinere Nachlademengen erzielt; 116 frische Brennelemente waren es im Zyklus 29, 108 dann im Zyklus 30. Die Gadolinium-Auslegung der Nachladebrennelemente wurde nur leicht angepasst.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-A01^{A01}, ENSI-A04^{A04} und ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Die Änderung der Kernbeladung ist freigabepflichtig und wird vom ENSI im zweistufigen Verfahren freigegeben. In der ersten Stufe werden für die vorläufige Kernbeladung die Einhaltung der Sicherheitsparameter im Betrieb, der Nachweis der qualitätsgesicherten Herstellung der neu zuzuladenden Brennelemente und die Einhaltung der Schutzziele während des Brennelementwechsels überprüft. Nach dem Abfahren der Anlage wird der Zustand der Brennelemente bei allfälligen Inspektionen für den weiteren Betrieb beurteilt. Nach eventuellen Änderungen wird die Auslegung der definitiven Kernbeladung in der zweiten Stufe sicherheitstechnisch beurteilt und für den neuen Zyklus freigegeben. Im Überprüfungszeitraum wurden die wichtigsten Sicherheitsparameter durch das Paul Scherrer Institut (PSI) mittels Nachrechnungen überprüft. Die realisierten Kernbeladungen erfüllten die Anforderungen des schweizerischen Regelwerks und wurden ohne Auflagen für den Betrieb freigegeben. Die Schutzziele waren während der Kernumladungen stets eingehalten.

Beim Anfahren der Anlage führte das ENSI Inspektionen der reaktorphysikalischen Messungen durch, die das erwartete Verhalten bestätigten. Im Überprüfungszeitraum lagen alle Messwerte innerhalb der Anforderungen. Die periodische Berichterstattung über den Reaktorbetrieb wies die Einhaltung der Betriebsgrenzwerte nach.

Der Einsatz neuer Brennelementtypen wird in separaten Freigabeverfahren behandelt (vgl. Kap. 3.3.2).

Im Gegensatz zur Erhöhung der Anreicherung im Brennstoff ist die Erhöhung des Abbrandlimits freigabepflichtig. Als solche wurde auch die realisierte Begrenzung des Abbrands alleine durch das lokale Brennstabmaximum beurteilt. Das ENSI kam nach Prüfung der eingereichten Unterlagen zum Schluss, dass Kriterien für die Brennstäbe sowie die Struktur der eingesetzten Brennelemente nachweislich vom lokalen Abbrand abgedeckt sind, und gab die Änderungen der Abbrandbegrenzung in 2009 frei. Diese Praxis hat sich bewährt.

3.3.1.2 Programme und Auslegungsverfahren

Angaben des KKL

Stationäre Kernanalyse

Die konzeptuelle Kernausslegung wird von der Axpo mit dem Kernsimulator PRESTO2 durchgeführt, der auf den Daten des Neutronentransportprogramms HELIOS aufbaut, das im KKL auch für die Kernüberwachung eingesetzt wird. Die stationären Zyklusberechnungen werden mit dem jeweiligen Code des Nachladungslieferanten (POLCA7 oder MICROBURN-B2) wiederholt und die Resultate mit PRESTO2 verglichen, wodurch eine hohe Qualität der Auslegung sichergestellt wird. Die stationären Zyklusberechnungen des Lieferanten bilden die Grundlage für die vom ihm durchgeführten Analysen limitierender Störfälle.

Die Kernsimulatoren der Lieferanten und weitere Programme der stationären Kernausslegung wurden im Überprüfungszeitraum mehrmals erweitert und aktualisiert, wobei die Änderungen keinen oder nur geringen Einfluss auf die Rechenergebnisse hatten. Es wurden keine prinzipiellen Änderungen der physikalischen Modelle vorgenommen. Die neuen Programmversionen wurden gemäss KKL-internen Richtlinien auf der Basis eines Verifikations- und Validations-Prozesses überprüft und dokumentiert.

Der im Kernsimulator überwachte Betriebsgrenzwert der Siedeübergangsleistung (Operational Limit of Minimum Critical Power Ratio, OLMCPR) garantiert, dass während der Transienten mehr als 99,9 % der Brennstäbe im Kern keinen Dryout, also kein Austrocknen des Flüssigkeitsfilms am Brennstab, erfahren. Sowohl der Sicherheitsgrenzwert (Safety Limit of Minimum Critical Power Ratio, SLMCPR) als auch OLMCPR werden zyklusspezifisch bestimmt. Mit dem Einsatz der AREVA-Brennelementnachladungen in den Zyklen 25 bis 27 wurde das minimale kritische Leistungsverhältnis (Minimum Critical Power Ratio, MCPR) um einen weiteren Wert ergänzt, der rechnerisch sicherstellte, dass im stationären Betrieb kein Brennstab vom Dryout betroffen ist. Diese Nachweisführung wurde auch für die darauffolgenden Nachladungen von Westinghouse verfolgt, bis das neue Programm McSLAP ab dem Zyklus 30 eingesetzt wurde. In diesem Programm wird eine Vielzahl an Reaktorleistungsverteilungen mit Brennelementparametern berechnet, die gemäss ihren Unsicherheitsverteilungen jeweils zufällig bestimmt werden. Die Ergebnisse aller Rechenläufe werden dann statistisch ausge-

wertet und daraus der SLMCPR sowie ein neuer Betriebsgrenzwert $MCPR_{0,01}$ bestimmt. Der neue Betriebsgrenzwert basiert auf den im McSLAP berechneten Häufigkeiten und ist so definiert, dass in 100 Jahren Reaktorbetrieb rein rechnerisch ein Dryout auftritt.

Für die AREVA-Brennelemente wurde eine neue Version des Brennstabauslegungsprogramms CARO-E3 eingeführt. Bei gleichbleibender Programmstruktur wurden die Modelle an neue Erkenntnisse, insbesondere im Hochabbrandbereich, angepasst. Die Einführung zog die Überarbeitung von den mit dem Brennstabauslegungsprogramm zusammenhängenden Analysen nicht nur für den stationären Reaktorbetrieb und die Störfallanalysen, sondern auch für die Lagerung der Brennelemente nach sich.

Die neueste Version des Brennstabauslegungsprogramms STAV 7.5 von Westinghouse wurde zur Verwendung beantragt.

Störfallanalysen für neue Kernbeladungen

Für die Berechnung von Störfällen verwendete Westinghouse drei Versionen des Programms BISON/SLAVE, die um neue Funktionalitäten und die CPR-Korrelation neuer Brennelementtypen ergänzt wurden. Die Änderungen der Versionen hatten einen nicht signifikanten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse.

Die Störfallanalysen von AREVA wurden mit einer Version des Systemcodes S-RELAP5/RAMONA5 durchgeführt, wobei im damit zusammenhängenden Programm für die Heisskanalanalyse die neue CPR-Korrelation implementiert wurde.

Nach dem Einsatz ganzer Nachladungen von AREVA wurden die zyklusspezifischen Transientenanalysen mit jenen von Westinghouse verglichen. Die im Umfang und in den Resultaten festgestellten Unterschiede konnten mit den Unterschieden in den Annahmen bzw. Randbedingungen der Analysen sowie in den Unterschieden der Berechnungsverfahren erklärt werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-A01^{A01}, ENSI-A04^{A04} und ENSI-G20^{G20}
- KTA-Regeln 3101.1^{KTA3101.1} und 3101.2^{KTA3101.2}
- Kap. 4.2 NUREG-0800^{NUREG-0800}

Beurteilung des ENSI

Stationäre Kernanalyse

Die vom KKL und von den Lieferanten eingesetzten Kernsimulatoren sind mit den Reaktormessdaten erprobte Programme, die über eine ausreichende Validierungsbasis verfügen und deren Unterhalt im geregelten Qualitätsmanagement erfolgt. Der Vergleich der Auslegungsparameter zwischen den Kernsimulatoren stellt aus Sicht des ENSI einen wichtigen Teil deren Qualitätssicherung dar. Im Überprüfungszeitraum wurden an den Kernsimulatoren der Lieferanten keine freigabepflichtigen Änderungen durchgeführt. Der Kernsimulator PRESTO2 wird im Abschnitt Kernüberwachung bewertet (vgl. Kap. 3.3.1.3). Das ENSI gab die Verwendung des neuen Programms McSLAP und der darin verwendeten Methode zur Bestimmung des neuen Betriebsgrenzwerts $MCPR_{0,01}$ mit Auflagen frei. Alle Auflagen wurden vor dem Gebrauch der Methoden erfüllt. Zum Vorkommnis im Zyklus 30, bei dem die Ursachenanalyse noch nicht abgeschlossen ist, sei auf Kap. 3.3.2.4 verwiesen.

Die Vorläuferbrennelement-Programme im vorhergehenden Überprüfungszeitraum ebneten den Weg für die Erhöhung des Brennelementabbrands und trugen zur Erweiterung der Validierungsbasis der Brennstabauslegungsprogramme bei. Das ENSI forderte in 2009 die Einführung der aktuellen Versionen dieser Programme bei allen Schweizer Betreibern. Das ENSI bewertete den beantragten Einsatz von CARO-E3 in allen betroffenen Fachgebieten und erteilte die Freigabe unter Auflagen, die vom KKL erfüllt wurden. Beim Einsatz des

Vorläuferbrennelements Optima3 wurde vom ENSI die Einführung der neusten Version des Brennstabauslegungsprogramms STAV 7.5 von Westinghouse gefordert, das entsprechende Freigabeverfahren ist pendent.

Störfallanalysen für neue Kernbeladungen

Die Änderungen in BISON 6.8 bzw. deren Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse wurden dem ENSI im Rahmen des „Reload Licensing Submittal“ des Zyklus 28 mitgeteilt und vom ENSI mit der Freigabe des gleichen Zyklus bewertet. Die Änderungen in der Version 6.9 wurden dem ENSI im Rahmen des „Reload Licensing Submittal“ des Zyklus 30 mitgeteilt und vom ENSI als nicht freigabepflichtig beurteilt.

Im Anbetracht der Unterschiede in den Transientenanalysen zwischen AREVA und Westinghouse forderte das ENSI Untersuchungen, die die Diskrepanzen der Transientenvorhalte CPR in den generischen und zykluspezifischen Transientenanalysen beleuchten sollten. Das ENSI konnte die Schlussfolgerungen des KKL bestätigen, wonach die grössten Diskrepanzen aus den unterschiedlichen Modellierungsansätzen der beiden Lieferanten herrühren. Diese Untersuchungen führten ebenfalls zur Überprüfung der Inputparameter der Transientenanalysen und anschliessender Korrektur einiger Parameter. Insgesamt konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass die Hauptunterschiede in der etwas konservativeren Modellierung der Westinghouse-Analysen begründet sind.

3.3.1.3 Kernüberwachung

Angaben des KKL

Mit der Kernüberwachung werden die im Kernauslegungsprozess festgelegte Betriebsweise und die Einhaltung der Grenzwerte verfolgt und kontrolliert. Sie liefert Signale der Kernsteuerung und trägt damit zur Einhaltung des Normalbetriebs bei. Die Kernüberwachung ist mit dem Anlageninformationssystem ANIS+ verbunden und liefert bzw. bezieht eine Reihe von Daten aus demselben. Die mittlere Verfügbarkeit von 99,90 % ist mit der sehr guten Verfügbarkeit des Vorgängersystems vergleichbar.

Kernsimulator

Das Kernüberwachungssystem MinuteMan mit dem Kernsimulator PRESTO2 ist seit 2003 in Betrieb. Seither wurde es benutzerfreundlicher und leistungsfähiger gestaltet sowie hinsichtlich der Brennelement- und Steuerstabüberwachung optimiert. Im Überprüfungszeitraum wurden in PRESTO2 bzw. dessen Eingabeparametern eine meldepflichtige und vier freigabepflichtige Änderungen zur Korrektur von Fehlern durchgeführt.

Die Leistungsverteilung und die daraus ermittelten Abstände zu den thermischen Betriebsgrenzwerten der Brennelemente für Stableistung und kritisches Leistungsverhältnis werden im Fünf-Minutentakt berechnet. Im Überprüfungszeitraum bestand immer ein hinreichender Spielraum zu den jeweiligen Grenzwerten. Die Genauigkeit der Kernüberwachung kann auf Basis der Traversing-Incore-Probe-Messungen, die alle 1000 h durchgeführt werden, beurteilt werden. Im Überprüfungszeitraum lagen die Standardabweichungen der nodalen und der radialen Leistungsverteilung innerhalb der Akzeptanzgrenzen.

Der Verlauf der Kritikalität über die Betriebszyklen des Überprüfungszeitraums zeigt ein konsistentes Bild. Für alle Betriebszyklen im Überprüfungszeitraum lag die Differenz zwischen der effektiven und der in der Auslegung vorausberechneten Kernreaktivität weit innerhalb der in den Technischen Spezifikationen festgelegten Grenzen.

Die Druckdifferenz über die untere Kerngitterplatte wird zum einen gemessen und im Anlageninformationssystem ANIS+ aufgezeichnet und zum anderen mit dem Kernsimulator berechnet. Die mit PRESTO2 berechnete Druckdifferenz lag mit 95 % Zuverlässigkeit innerhalb von 50 mbar zur Messung. Mit einem neuen Modellansatz, bei dem der Faktor für Ablagerungen auf dem Hüllrohr (CRUD) bei Westinghouse-Brennelementen bzw. für die Oberflächenrauigkeit bei AREVA-Brennelementen als Funktion des Abbrandes bestimmt wurde, konnten die gemessenen Werte gut reproduziert werden. Der Grenzwert wurde im Überprüfungszeitraum eingehalten.

Chemische Parameter

Visualisiert werden die für die Überwachung des Reaktorkerns relevanten Nuklide und Elemente. Insbesondere ist die Konzentration von Iod-131 im Kühlmittel zur Überwachung des entsprechenden Grenzwerts von Bedeutung. Auch die Menge an sog. Tramp-Uran im Primärkreislauf (vgl. Kap. 3.5) wurde in das Online-Kernüberwachungssystem implementiert.

Das eingeführte Abgas-Online-Messsystem mit der Visualisierung im MinuteMan-System führt die Daten der chemischen und nuklidspezifischen Messwerte mit den Betriebsdaten des Reaktorkerns zusammen und ergibt rasche Information zur Interpretation der Kenngrößen bei Schäden von Brennstäben und Steuerelementen. Es ist eine KKL-Eigenentwicklung und besteht aus einer gammaspektrometrischen und einer massenspektrometrischen Heliummessung. Gegenüber einer täglichen Probenahme und Analyse im Labor bietet es die Möglichkeit, Edelgase aus einem Brennstabschaden oder Helium aus einem Steuerstabschaden laufend zu detektieren. In Kombination mit der lokalen Leistungsunterdrückung können Brennelementschäden schneller lokalisiert und deren radiologische Folgen reduziert werden. Kontinuierliche Messungen des Verhältnisses von Cs-134 zu Cs-137 im Kühlmittel wurden zur Interpretation der Brennelementschäden verwendet, da sie auf das Alter des beschädigten Brennelements schliessen lassen.

In den Jahren 2012 bis 2013 wurde das KKL-spezifische Bormodell zur Überwachung defekter Steuerstäbe entwickelt, ausgetestet und schliesslich im Online-Kernüberwachungssystem implementiert.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Die festgestellten Fehler im Kernsimulator PRESTO2 wurden dem ENSI gemeldet. Die freigabepflichtigen Korrekturen wurden vom ENSI im Rahmen der Vorkommnisbearbeitung auf Ursachen und Folgemassnahmen hin überprüft, da sie Einfluss auf die überwachten Sicherheitsparameter hatten. Die Genauigkeit der mit dem Kernsimulator bestimmten Sicherheitsparameter wird vom ENSI in regelmässiger Aufsichtstätigkeit überprüft, die Kernüberwachung wird planmässig oder nach Bedarf inspiziert. Die Implementierung neuer Erkenntnisse aus dem Anlagenbetrieb in die Kernüberwachung wird vom ENSI im Rahmen von Projekten verfolgt. Das Kernüberwachungssystem ist auf aktuellem Stand und hat sich bewährt.

Die Entwicklung der Online-Messtechnik zur Detektion von Brennelement- und Steuerstabschäden und die Darstellung der relevanten chemischen Parameter zur schnellen Entscheidungsfindung gehen über die Vorgaben des Regelwerks hinaus und werden vom ENSI als gute Praxis bewertet.

3.3.2 Brennelemente

3.3.2.1 Änderungen der Brennelemente

Angaben des KKL

Im Überprüfungszeitraum wurden die Brennelementtypen Optima3 von Westinghouse und ATRIUM 11 von AREVA mechanisch neu ausgelegt. Mit ausgewählten Brennelementen wurden neuartige Brennstabhüllrohre, Brennelementkästen oder Fremdkörperfilter sowie Brennstoff mit erhöhter Dichte eingesetzt.

Westinghouse-Brennelemente

Die wesentlichen Weiterentwicklungen des Brennelements Optima3 gegenüber dem Typ Optima2 bestehen aus schmalen Abstandhaltern, dem Ersatz der Kopfplatte durch einen Abstandhalter, dem verbesserten Fremdkörperfilter TripleWave+ und einer vereinfachten Fussplatte. Die verbesserten Abstandhalter sorgen für grössere Margen zur Siedeübergangsleistung und zum besseren Stabilitätsverhalten. Die konstruktiven Än-

derungen der Brennstäbe lassen ein grösseres Freivolumen für einen tieferen Innendruck, was zu einem höheren thermomechanischen Spielraum führt bzw. eine längere Brennstoffsäule zulässt. In jeweils vier Vorläufern wurden sowohl Standardbrennstoff als auch dotierter Brennstoff mit erhöhter Dichte eingesetzt, der bessere Brennstoffausnutzung und Spaltgasrückhaltung verspricht. Mit Optima3 wurde auch die neue Siedeübergangskorrelation D5 anhand thermohydraulischer Tests entwickelt, die die Leistungsverteilung im Kern exakter berücksichtigt.

An vier Vorläuferelementen Optima3 wurden Brennelementkästen aus dem neuen zinnarmen ZIRLO-Material eingesetzt. Nach den positiven Inspektionsergebnissen wurde dieses Material ab Zyklus 30 auch für die Nachladungen verwendet.

Ab Zyklus 31 sind in vier Optima2-Brennelementen je 14 Brennstäbe mit einem neuartigen Hüllrohrmaterial mit erhöhtem Eisengehalt im Einsatz. Von diesem Material verspricht man sich bessere Korrosionsbeständigkeit und geringere Wasserstoffaufnahme.

AREVA-Brennelemente

Im Zyklus 22 wurden vier Vorläuferbrennelemente ATRIUM 10XM als eine für den Betrieb im KKL weiterentwickelte Variante der Vorläufer ATRIUM 10XP eingesetzt. In beiden Brennelementtypen werden gleiche Materialien verwendet. Unterschiede bestehen in Anzahl und Lage der Abstandhalter und der teillangen Brennstäbe sowie im grösseren Gasplenum einiger Brennstäbe. Die Änderungen erhöhen die Marge zur Siedeübergangsleistung um etwa 10 %. Zwei dieser Brennelemente enthalten einige Brennstäbe mit einem geringen Zusatz von Chromoxid im Brennstoff, der dadurch eine höhere Dichte, eine bessere Rückhaltung der Spaltprodukte und eine kleinere Wechselwirkung mit dem Hüllrohr aufweist. Mit einer Konstruktionsänderung am Kopf des ATRIUM 10XM konnte die Sicherheit bezüglich der Handhabung weiter verbessert werden.

Bei den ab Zyklus 30 eingesetzten Vorläuferbrennelementen ATRIUM 11 handelt es sich um eine Neukonstruktion mit einem 11 mal 11 Brennstabgitter auf Basis der Material-, Design- und Bestrahlungserfahrung der ATRIUM-10-Reihe. Die 112 Brennstäbe weisen einen kleineren Durchmesser und eine längere Brennstoffsäule auf. Die Anzahl der teillangen Stäbe steigt von 12 auf 20, davon 12 kurze und acht lange. Im unteren Teil des Brennelements werden die Brennstäbe durch die Abstandhalter tendenziell zur Aussenecke verschoben. Im Unterschied zum Vorgängertyp gibt es drei verschiedene Typen von Abstandhaltern. Ausserdem sind weitere Strukturteile wie der Brennelementkasten, der interne Wasserkanal und der Brennelementfuss geändert. Die Weiterentwicklung erfolgte aus Gründen einer besseren Brennstoffnutzung, einer geringeren Brennstabbelastung durch eine niedrigere lineare Stableistung und eine Verbesserung der Zuverlässigkeit durch eine geringere Wechselwirkung zwischen Brennstoff und Hüllrohr. Wie schon bei den Vorläuferelementen ATRIUM 10XM wurden die Brennelemente teilweise mit Chrom-dotiertem Brennstoff und neu mit Hüllrohren aus LTP2-Material versehen, die mit bzw. im Falle von Chrom-dotiertem Brennstoff ohne Innenliner ausgestattet sind.

Angereicherter Brennstoff im untersten Bereich der Brennelemente

Ab Zyklus 22 wiesen sämtliche Brennelemente im Kern in den untersten 15 cm der Brennstoffsäule anstelle des Natururans einen auf durchschnittlich 4,19 Gew.-% angereicherten Brennstoff auf. Dies ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Brennelemente, führt jedoch zur Mehrbelastung der im Betrieb ausgefahrenen Steuerstäbe und der Kerneinbauten unterhalb der aktiven Zone durch Neutronenfluenz. Der Neutronenfluss im epithermischen Energiebereich steigt um einen Faktor von drei an. Im Vergleich dazu trägt die Leistungserhöhung ab Zyklus 19 nur 15 % zu diesem Anstieg bei. Die Mehrbelastung der Kerneinbauten wurde im Rahmen der Leistungserhöhung mit der Annahme der Kernbelastung des Zyklus 14 analysiert, in dem manche Brennelemente bereits ein angereichertes unteres Ende hatten. Die Analysenergebnisse sind in den AÜP-Steckbrief für die Reaktordruckbehälter-Einbauten eingeflossen. Die Kernbelastungen aus dem Überprüfungszeitraum werden in der Überarbeitung des AÜP-Steckbriefs berücksichtigt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-A01^{A01}, ENSI-A04^{A04} und ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Dem ursprünglichen Antrag des KKL für den Einsatz des Brennelements Optima3 in vollen Nachladungen auf Grundlage der Betriebserfahrung mit Optima2 folgte das ENSI nicht. Stattdessen wurde der Einsatz von acht Vorläuferelementen im ordentlichen Verfahren geprüft und unter Auflagen freigegeben. Darunter wurde die CPR-Überwachung mit der bisher bewährten CPR-Korrelation D4 gefordert. Alle Auflagen bis auf die Neukategorisierung des Brennelement-Handhabungsstörfalls wurden bis zum Einsatz der Brennelemente erfüllt. Die Neukategorisierung wurde vom ENSI später bewertet und akzeptiert. Dem vorgeschlagenen Inspektionsprogramm dieser Brennelemente konnte das ENSI zustimmen, da dabei alle Innovationen und wichtigen Betriebsindikatoren berücksichtigt wurden. Nachdem die Betriebserfahrung mit den Vorläufern Optima3 positiv war, wurde der Einsatz dieser Brennelemente in vollen Nachladungen mit Auflagen freigegeben. Alle Auflagen konnten vor dem Einsatz der Nachladungen erfüllt werden. Die parallele Überwachung des CPR-Grenzwerts mit der bewährten Korrelation D4 und der neuen Korrelation D5 deckte eine Schwachstelle der neuen Korrelation auf. Nach der Korrektur wurde die neue Korrelation für den Betrieb zugelassen.

Den Einsatz von zinnarmem ZIRLO für Brennelementkästen und von Zircalloy mit erhöhtem Eisengehalt für Hüllrohre gab das ENSI unter Berücksichtigung des Inspektionsprogramms frei. Die bisherige Betriebserfahrung beider Materialien ist positiv.

Da die Betriebserfahrung der vier Vorläuferbrennelement ATRIUM 10XM ab Zyklus 22 positiv war, wurde der Einsatz in vollen Nachladungen ab Zyklus 25 mit Forderungen, die bis zum Einsatz erfüllt wurden, freigegeben. Die Betriebserfahrung mit den drei Nachladungen ist positiv, die Mehrheit dieser Brennelemente erreichte bereits ihren Endabbrand.

Den Einsatz des neu konstruierten Brennelements ATRIUM 11 gab das ENSI ab Zyklus 30 mit Auflagen, die bis zum Antransport ins KKL bzw. zum Einsatz erfüllt wurden, frei. Die bisherige Betriebserfahrung mit den Vorläuferelementen ATRIUM 11 ist positiv.

Die Mehrbestrahlung durch die angereicherte unterste Brennstoffzone führte im Überprüfungszeitraum zur vermehrten Borauswaschung aus den Steuerstäben, zum häufigeren Austausch der Abschaltsteuerstäbe und zu der Notwendigkeit, einen separaten Überwachungsgrenzwert für den obersten Bereich der Steuerstäbe festzulegen (vgl. Kap. 3.3.3). Dieser neue Grenzwert wurde für die eingesetzten Steuerstabtypen vom ENSI freigegeben. Die Mehrbestrahlung der Reaktordruckbehälter-Einbauten wird in deren Alterungsüberwachung ausreichend berücksichtigt (vgl. Kap. 5.2).

3.3.2.2 Inspektionen im KKL

Angaben des KKL

Die Inspektionen der Nachladebrennelemente und Vorläuferbrennelemente stellen das Fundament der Betriebserfahrung dar und dienen der Überwachung der Auslegungskriterien bzw. des vorausgesetzten Materialverhaltens. Vor dem Einsatz eines Vorläuferbrennelements und -materials wird ein Inspektionsprogramm aufgestellt. Zur Überprüfung dieses meist vom Hersteller vorgeschlagenen Untersuchungsprogramms werden vom KKL die einschlägigen Richtlinien des Electric Power Research Instituts (EPRI) angewendet.

Im Überprüfungszeitraum fanden jedes Jahr Inspektionen durch mindestens einen der zwei Brennelementhersteller statt. Die Art der Inspektionen umfasste visuelle Inspektion, Stablängenmessungen, Oxidschichtdickenmessungen mit Magnacrox an Brennstäben, CRUD-Analysen, Spaltgasaktivität, Oxidschichtdickenmessungen an Kästen und Kastenlängenmessungen.

Die Westinghouse-Inspektionen ergaben insgesamt gute Ergebnisse. Allerdings wurden 2015 im Zusammenhang mit einem Brennstabschaden in 2014 an drei Brennelementen Auffälligkeiten beobachtet.

Die AREVA-Inspektionen ergaben gute Ergebnisse, es wurden keine Auffälligkeiten beobachtet. Die Messergebnisse lagen innerhalb der Auslegung.

Oxidschichtdicken an Brennstäben

Die Kühlung der Brennstäbe mit Wasser verursacht eine Oxidation des Hüllrohrs, wobei der daraus entstehende Wasserstoff zum Teil in das Zircalloy diffundiert und dieses versprödet. Die tiefere Wärmeleitfähigkeit der Oxidschicht verursacht zudem höhere Brennstofftemperaturen. Aus diesen Gründen wird eine maximale Oxidschichtdicke in der Auslegung definiert und mittels Inspektionen überwacht. Die regelmässigen Messungen zeigten, dass der Auslegungsgrenzwert der Oxidschicht selbst bei hohem Abbrand bei allen Brennelementen eingehalten wurde. Bei sehr hohen Abbränden – insbesondere beim Wechsel der Wasserchemie im Jahr 2008 – wurden an manchen Brennstäben CRUD- und Oxidabplatzung beobachtet. Metallographische Untersuchungen zeigten allerdings keine erhöhte lokale Oxidation.

Im Überprüfungszeitraum wurde von Westinghouse eine Wirbelstrommethode namens Magnacrox eingesetzt, die mit Heisszellenuntersuchungen verifiziert wurde. 2014 wurde dann die neuere Wirbelstrommethode F-SECT eingesetzt, die vom EPRI für den Einsatz im Nuklearbereich empfohlen wird und deren Resultate vergleichbar mit Magnacrox sind. Im Rahmen der Brennstoffinspektion 2015 wurde diese Methode auch von AREVA erstmals im KKL eingesetzt, um das Messsystem im Brennelementlagerbecken an Brennstäben mit ferrimagnetischem CRUD zu qualifizieren. Zur Klärung der Eignung des Messverfahrens wurden vorgängig Schichtdicken an einem KKL-Stab in einer Heisszelle des PSI erfolgreich bestimmt.

Wasserstoffgehalt

Die markantesten Veränderungen bezüglich Festigkeit, Dehnung und Bruchzähigkeit des Hüllrohrs ergeben sich aus der Aufnahme des durch Oxidation erzeugten Wasserstoffs und dessen Ausscheidungen (Hydride). Messresultate aus den Heisszellen zum Wasserstoffgehalt sowie zur Hydridverteilung in den Hüllrohren zeigen, dass die Auslegungsgrenzwerte eingehalten werden. Der Vergleich der KKL-Daten mit der AREVA-Datenbasis zeigt, dass die Wasserstoffaufnahme bei betrieblich relevanten Leistungsgeschichten und Einsatzzeiten gering ist und wenig radial ausgerichtete Hydride enthalten sind.

Brennstabwachstum

Aufgrund des durch die Bestrahlung induzierten Hüllrohrwachstums, des Brennstoffschwellens sowie der Wasserstoffaufnahme im Hüllrohr nimmt die Brennstablänge zu. Die Inspektionen von Westinghouse zeigten, dass ein ausreichender Freiraum in der Brennelementkonstruktion selbst bei hohen Abbränden vorhanden war. Die Messungen an AREVA-Brennelementen liegen im oberen Bereich der AREVA-Datenbasis. Das Längenwachstum der AREVA-Brennstäbe unterscheidet sich unwesentlich von dem der Westinghouse-Brennstäbe. Der Einfluss der Brennstoff-Dotierung hin zu höherem Längenwachstum ist bei allen Brennelementtypen klar ersichtlich.

CRUD- und Platin-Verteilung auf den Brennstaboberflächen

Die im Jahr 2008 realisierte Umstellung der Wasserchemie von der normalen auf die reduzierende Wasserchemie mit der Einspeisung von Wasserstoff und periodisch von Platin ergab einen klar ersichtlichen Einfluss auf die CRUD-Ablagerung auf den Brennelementen. Auch die Einspeisung von Zink macht sich im CRUD bemerkbar. In Zusammenarbeit mit dem EPRI wurde das Brennelementverhalten unter Berücksichtigung der Kühlwasserchemie untersucht.

Nach dem ersten Zyklus waren die Brennstäbe von unten nach oben mit einer ansteigenden Menge Platin belegt. Die Platin-Nanopartikel wurden auf CRUD-Partikeln nachgewiesen und damit an Stellen, welche die Wasserstoffaufnahme im Hüllrohr nicht beeinflussen. Weitere Inspektionen an Brennelementen mit mehr als vier Betriebszyklen, davon die letzten vier in der reduzierenden Wasserchemie, bestätigten den Befund der ersten Inspektion.

Abplatzungen von Oxid und CRUD wurden beobachtet, jedoch nur an Brennelementen mit hohem Abbrand, hoher CRUD-Belegung und mit hohen Zinkgehalten im CRUD. Die Brennelemente mit vier Standzeiten, die

nur in der neuen Wasserchemie betrieben worden waren, zeigten ähnliche CRUD-Belegungen wie Brennelemente, die vor der Umstellung eine ähnliche Standzeit aufwiesen. Der CRUD zeigte vier Zyklen nach der Umstellung der Wasserchemie wieder eine ähnliche Zusammensetzung wie in der Normal-Wasserchemie.

Spaltgasmessungen

Im Rahmen der Westinghouse-Inspektionen im KKL wurden Spaltgasmessungen durchgeführt. 2011 wurden Brennstäbe mit dotiertem Brennstoff und Standardbrennstoff gemessen, die für die weitere Bestrahlung zu hohem Abbrand vorgesehen waren. Eine weitere Messkampagne wurde im September 2015 durchgeführt. Die Messwerte liegen klar innerhalb der Auslegungsgrenzen und deutlich unterhalb der mit dem Auslegungsprogramm konservativ berechneten Werte.

Während die Spaltgasfreisetzung im dotierten Brennstoff im stationären Betrieb erst untersucht werden soll, wurde die Reduktion der Spaltgasfreisetzung in einer Transiente bereits in dem internationalen Untersuchungsprogramm Studsvik Cladding Integrity Project SCIP nachgewiesen.

Brennelement-Kästen

Die Brennelemente Optima2 sind standardmässig mit Kästen aus β -abgeschrecktem Zry-2 ausgestattet, die Brennelemente ATRIUM 10 tragen Kästen aus α -geglühtem Zry-2. Die KKL-eigene Messeinrichtung erlaubt das Vermessen aller entladenen Brennelemente, was den Vergleich zwischen Lieferanten erlaubt. Während die Verbiegung der Brennelemente Optima2 im relevanten Hochabbrandintervall eine mittlere Kastenverbiegung von 1,2 mm ergibt, beträgt dieser Wert bei den Brennelementen ATRIUM 10 auf peripheren Positionen das Doppelte. Um Schwergängigkeit der Steuerstäbe durch höhere Kastenverbiegungen vorzubeugen, wurde ein auf der Neutronenfluenz aufbauendes Kastenmanagement ab dem Zyklus 28 eingeführt.

An vier Optima3-Vorläuferelementen wurden Kästen aus dem neuen zinnarmen ZIRLO-Material eingesetzt. Die Kästen der Vorläuferelemente ATRIUM 11 bestehen aus Zircalloy-BWR, einer Weiterentwicklung des Zry-4 durch die AREVA. Beide neuen Kastenmaterialien wurden mit dem Ziel entwickelt, die uniforme bzw. die Schatten-Korrosion und die damit verbundene Wasserstoffaufnahme zu reduzieren, die eine höhere Kastenverbiegung vor allem bei hohen Abbränden verursachen kann. Die bisherigen Messungen an diesen Kästen sind erwartungsgemäss.

2010 wurde an der Kastenmesseinrichtung ein Softwareupdate durchgeführt, welches eine zuverlässige Längenmessung der Brennelemente und ihrer Kästen erlaubt. Das Kastenwachstum steht in direktem Zusammenhang mit der Korrosion respektive der Wasserstoffaufnahme. Während sich das Verbiegungsverhalten von α -geglühten Kästen von ATRIUM 10XM signifikant von jenem der β -abgeschreckten Kästen der Optima-Brennelemente abhebt, ist im Längenwachstum auch bei hohen äquivalenten Abbränden kein Unterschied auszumachen.

Die im KKL mittels Wirbelstrom-Methode bestimmten Werte für Oxidschichtdicken an den AREVA-Brennelementkästen liegen innerhalb der Erfahrungswerte des Herstellers.

Das von AREVA vorgeschlagene Kastenmanagement für die Elemente ATRIUM 10XM wurde erstmals bei der Auslegung des Kernes für den Zyklus 28 eingeführt. Es hat sich insofern bewährt, als dass bis Ende 2016 nur zwei weitere Massnahmen im Zusammenhang mit erhöhter Kastenverbiegung getroffen werden mussten.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A04^{A04} und ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Die auf Messungen und visuelle Inspektionen gestützte Betriebserfahrung belegt den auslegungsgemässen Zustand der Brennelemente beider Lieferanten bis zu den freigegebenen Abbränden. Die in Nachladungen eingesetzten Hüllrohre beider Lieferanten bestätigen die gute Betriebserfahrung der Vorläuferelemente und sind für den künftigen Einsatz im KKL geeignet.

Die Heisszellenuntersuchungen liefern weitere wichtige Ergebnisse zum Betriebsverhalten und zur Verifikation der gewöhnlichen Inspektionsmethoden im Nasslager. Diese zusätzlichen Untersuchungen werden vom ENSI als gute Praxis bewertet.

Die Messmethode Magnacrox für die Oxidschichtdicke wurde bereits vor dem Überprüfungszeitraum freigegeben. Für die neue Methode F-SECT forderte das ENSI im Jahr 2018 die Durchführung eines Freigabeverfahrens.

Die bei der Umstellung der Wasserchemie beobachtete Umlagerung von CRUD wurde vom ENSI verfolgt und sicherheitstechnisch als unbedenklich bewertet. Um neben den Informationen des Technologielieferanten auch weitere gesicherte Aussagen zum Einfluss der Einspeisung von Edelmetall und von Wasserstoff auf die Primärkreis Komponenten und auf den Brennstoff zu bekommen, wurde beim PSI das Projekt NORA vom ENSI initiiert. Bisherige Ergebnisse zeigen keine negativen Effekte auf die Brennelemente.

3.3.2.3 Internationale Untersuchungsprogramme

Angaben des KKL

Während Westinghouse am Gemeinschaftsprojekt Fuel Reliability Program des EPRI teilnahm, führte AREVA Bestrahlungsprogramme nach bilateralen Vereinbarungen mit dem KKL durch, um Erkenntnisse zum Brennstoffverhalten im internationalen Kontext zu erarbeiten.

Die im KKL eingesetzten Brennstäbe von AREVA und Westinghouse wurden für ausgewählte Untersuchungen im November 2008 und Mai 2012 ins PSI transportiert, wo ein Teil des Materials im November 2009 weiter nach Studsvik, Schweden und später im Rahmen des Programms ALPS 2 nach Tokai Mura in Japan in Heisszellen der japanischen Aufsichtsbehörde verschifft wurde. Zielsetzung war das Verhalten der Hüllrohre und des Brennstoffs bei hohem Abbrand zu bestimmen und die Grenzen für die verschiedenen Versagensmechanismen zu kennen.

Beurteilung des ENSI

Die aktive Teilnahme der Schweizer Betreiber an internationalen Projekten im Brennstoffbereich wurde vom ENSI bei den Abbranderhöhungen im vorherigen Überprüfungszeitraum verlangt. Das ENSI verfolgt die internationalen Untersuchungen des KKL im Rahmen der Schweizerischen Expertengruppe Sicherheit für Brennstoff, die einst zur Verfolgung des internationalen Standes von Technik im Bereich des Hochabbrandbrennstoffs gegründet wurde. Das KKL kam seinen Verpflichtungen nach.

3.3.2.4 Brennelementschäden

Angaben des KKL

Als Folge der vielen Fremdkörper-Reibschäden im letzten Überprüfungszeitraum wurde ein rigoroses Schulungsprogramm des Eigenpersonals und des Fremdpersonals eingeführt und Mittel zur Abdeckung von Risikostellen beschafft. In sieben aufeinander folgenden Zyklen dieses Überprüfungszeitraums traten keine Brennstoffschäden auf, weshalb der Gehalt des Isotops Iod-131 im Reaktorwasser stetig abnahm. Die Konzentration erhöhte sich 2012 jedoch durch die Uranauswaschung aus einem defekten Brennstab im Zyklus 29.

Schaden im Zyklus 28

Das im Juni 2012 defekt gewordene Brennelement vom Typ ATRIUM 10XM wies nach seinem vierten Zyklus einen defekten Brennstab auf, der visuell und mit Wirbelstrommessung inspiziert wurde. Beim Anheben des defekten Brennstabs wurde eine Spaltgasfreisetzung aus der oberen Schweissnaht beobachtet. Die Überprüfung der Herstellungs dokumentation ergab keine Hinweise auf einen Herstellungsfehler im oberen Endstopfen, man geht in diesem Fall von einer sekundären Degradation aus. Im Bereich des sechsten Abstandhalters wurde eine Reibmarke entdeckt, die als Ursache der primären Hüllrohrverletzung angesehen wird. Da die

Heisszellenanalysen an ATRIUM-10XM-Brennstäben mit ähnlichem Erscheinungsbild und CRUD-Abplatzungen keine erhöhte Korrosion zeigten, gilt Fremdkörperreibung als die wahrscheinlichste Schadensursache.

Schäden im Zyklus 29

In der Mitte des Zyklus 29 wurde anhand der Aktivitätsmessung ein Brennstoffschaden detektiert. Kurz danach ergaben sich Anzeichen einer Brennstoffauswaschung. Zur Minimierung weiterer Schäden wurde ein Steuerstab in der Nähe des lokalisierten Defektes eingefahren. Der Brennstab setzte bis zur Revisionsabstellung im August 2013 konstant Uran frei und trug damit zum Aufbau des Tramp-Urans bei. Die ausgewaschene Menge wird auf ca. 12 g Urandioxid geschätzt, dies entspricht ca. zwei Brennstoff-Tabletten. Nach dem Abfahren des Reaktors konnten drei Brennelemente als schadhaft identifiziert werden.

In einem Brennelement ATRIUM 10XM wurde nach seinem fünften Zyklus ein defekter Brennstab gefunden. Die Wirbelstromprüfung zeigte einzelne, nicht eindeutige Defektmarken, weshalb auch der Schadensmechanismus dieses Stabs nicht eindeutig zugeordnet werden konnte. Fremdkörperreibung erscheint als die wahrscheinlichste Ursache.

In einem Brennelement Optima2 wurde nach seinem zweiten Zyklus ein defekter Brennstab identifiziert. Sichtbar waren zwei axiale Risse und ein Riss in tangentialer Richtung. Das Bruchbild legte einen dritten axialen Riss im nicht sichtbaren Teil des Stabs nahe. Während der Inspektion brach der defekte Stab. Die Bruchstelle zeigte Oberflächen, die auf eine Versprödung und eine starke Hydrierung des Zircalloys hinwiesen. Im Innern des Stabs fehlten etwa zwei Brennstofftabletten. Das Schadensbild deutet eindeutig auf eine starke sekundäre Degradation hin, die durch einen Primärdefekt hervorgerufen wurde. Als primäre Ursache wird Fremdkörperreibung vermutet.

Die visuelle Inspektion eines weiteren Optima2-Brennelements, dies nach seinem fünften Zyklus, offenbarte starke CRUD-Abplatzungen und eine Stabverbiegung unterhalb des ersten Abstandhalters. Ein Hinweis auf einen durch Reibung entstandenen Primärschaden des Hüllrohrs wurde im Bereich des Abstandhalters 7 beobachtet. Im Verlauf der weiteren visuellen Inspektion wurde zwischen Abstandhalter 5 und 6 ein axialer Riss entdeckt, der sich vermutlich durch die Belastung während der Inspektion gebildet hatte. Der Verlauf der Rissbildung deutet auf eine sekundäre Degradation durch eine starke Wasserstoffaufnahme hin, wie sie in Testprogrammen zu diesem Phänomen beobachtet wurde.

Schaden im Zyklus 30 und Indikationen im Zyklus 31

Im Juli 2014, gegen Ende des Betriebszyklus 30, deutete die Abgas-Aktivität auf einen Brennstabdefekt hin, worauf ein Steuerstab zur Unterdrückung der lokalen Leistung eingefahren wurde.

Während der darauffolgenden Revisionsabstellung wurden an weiteren Brennelementen Indikationen gefunden, die auf ein Kühlungsdefizit hinwiesen. Ebenso zeigte im Betriebszyklus 31 das Brennelement an der identischen Stelle wie das schadhafte Brennelement aus dem Zyklus 30 eine Indikation. Damit wurden an insgesamt vier Brennelementen Indikationen oder Schäden lokalisiert.

Eine Ursachenanalyse wurde sowohl vom Hersteller als auch vom KKL im Rahmen eines Projekts durchgeführt. Aufgrund der bisherigen Untersuchungen wird als Schadenursache ein lokales Kühlungsdefizit (Dryout) mit lokaler Überhitzung des Hüllrohrs angenommen. Das KKL geht zum Zeitpunkt des Einreichens der PSÜ-Dokumentation davon aus, dass an bestimmten Kernpositionen, vor allem in Kreuzungspunkten von Stützbalcken des unteren Kerngitters, Strömungsturbulenzen auftreten können. Das KKL geht weiterhin davon aus, dass wenn in diesen Positionen Brennelemente mit höherer Leistung betrieben werden, sich lokale Strömungsinstabilitäten bilden können. Diese können zu einem Kühlungsdefizit und letztlich zu den beobachteten Befunden an den Brennstäben führen.

Für den Reaktorbetrieb im Zyklus 32 wurde vom ENSI – zusätzlich zu der vom KKL getroffenen Massnahme einer flacheren radialen Leistungsverteilung – ein gegenüber der Kernausslegung erhöhter Abstand zur kritischen Brennelementleistung in der Freigabe zur Aufnahme des Leistungsbetriebs verfügt. Die Untersuchungen sind zum Zeitpunkt des Einreichens der PSÜ-Unterlagen noch nicht abgeschlossen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI kann festhalten, dass sich das Verhalten der Brennelemente im Überprüfungszeitraum gegenüber dem vorhergehenden PSÜ-Zeitraum verbesserte, die Anzahl beschädigter Brennelemente und damit die Aktivitätsfreisetzung reduzierten sich, der Grenzwert der Iod-131-Aktivität wurde eingehalten. Wie im vorherigen Überprüfungszeitraum ereignete sich auch in diesem ein Brennstabschaden mit Uranauswaschung. Es wurden vom KKL Massnahmen getroffen, um die Schadensfolgen hinsichtlich Freisetzung zu minimieren. Damit wurden die gesetzlichen Vorgaben eingehalten.

Bei den aufgetretenen Brennelementeschäden in den Zyklen 28 und 29 schliesst sich das ENSI nach eingehender Prüfung der Vorkommnisdokumentation der Einschätzung des Betreibers an, wonach Fremdkörperreibung die primäre Ursache für die Brennstabschäden ist.

Die gleiche Ursache, nämlich Fremdkörperreibung, wurde auch zu Beginn der Ursachenforschung des Schadens im Zyklus 30 vermutet, ehe dieser im Verlauf des Zyklus 31 der Überhitzung aufgrund eines Dryouts als der wahrscheinlichsten Ursache zugeschrieben wurde. Für den Betrieb im Zyklus 32 wurden vom ENSI Massnahmen wie grösserer Abstand zum OLMCPR und grösserer Durchsatz gefordert. Nach dem Zyklus 32 wurden weitere Befunde – jedoch keine Schäden – gefunden, sodass das ENSI umfangreiche Brennelementenspektionen und Untersuchungen verlangte. Die im Rahmen der Ursachenfindung angestellten Analysen und Untersuchungen in den Heisszellen verfolgt das ENSI eng, die Untersuchungen sind weiterhin im Gang (vgl. Kap. 2.5).

3.3.2.5 Fertigung

Angaben des KKL

Im Überprüfungszeitraum wurden Brennelemente von zwei Herstellern bezogen, die nach zertifizierten Qualitätsmanagementsystemen gemäss der ISO 9001-Norm und der KTA 1401-Regel vorgehen.

Die Axpo als Käuferin der Brennelemente für das KKL führte im Überprüfungszeitraum regelmässig Systemaudits der Qualitätssicherungs- und Managementsysteme bei den Herstellern und den wichtigsten Zulieferern durch. Die dabei festgestellten Abweichungen wurden innerhalb der gesetzten Fristen korrigiert. Der Schwerpunkt der Qualitätsüberwachung bei der Brennelementherstellung lag und liegt in der engen Begleitung der Fertigung durch Inspektionen. Darin nimmt die Axpo stichprobenweise Überprüfungen der Fertigung, der Qualitätskontrollen und der Dokumentation vor. Die Überwachungstätigkeit wird in Anlehnung an den IAEA Safety Guide GS-G-3.1 und die KTA-Regel 1401 durchgeführt.

Seit 2007 erfolgt eine abschliessende visuelle Kontrolle an jedem einzelnen Brennelement nach der Freigabe durch den Hersteller. Weiter werden die Herstellungsdokumentation und allfällige Produktabweichungsberichte durch die Axpo noch vor dem Transport zum KKL beim Hersteller geprüft. Das Ergebnis dieser Prüfungen dient als Grundlage für die Transportfreigabe. Nach der Lieferung erfolgt eine Prüfung auf eventuelle Transportschäden durch das KKL-Personal.

Im Überprüfungszeitraum wurde die Fertigung von insgesamt 1220 Brennelementen überwacht. Die 23 berichteten Produktabweichungen hatten keine Auswirkung auf die Qualität bzw. die Funktion der Brennelemente. Es wurden 14 potentiell einsatzrelevante Befunde im Fertigungsprozess oder an Bauteilen identifiziert. Alle konnten durch Ersatz, Reparatur oder Nachprüfungen korrigiert und akzeptiert werden. Bei der Abnahme durch die Axpo vor dem Transport wurden insgesamt neun Brennelemente zurückgewiesen und repariert. Bei der Annahme im KKL wurden im Jahr 2006 insgesamt drei Brennelemente zurückgewiesen und zum Hersteller zurück transportiert. Diese Rückweisungen führten auch zur Anpassung der Abnahmeprozedur beim Hersteller und durch die Axpo, seitdem gab es keine Rückweisung mehr.

Im Überprüfungszeitraum traten keine herstellungsbedingten Brennstabschäden im Reaktorbetrieb auf.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-G20^{G20}

Beurteilung des ENSI

Vor der eigentlichen Herstellung überprüft das ENSI die Herstellungsdocumentation, in der die Herstellungsspezifikation gegenüber der Auslegungsspezifikation abgeglichen wird, und die Dokumentation nach der Herstellung, um eventuelle Abweichungen und deren Auswirkung auf den Brennelementeinsatz zu bewerten. Diese Überprüfung wird regelmässig mit der Freigabe einer neuer Kernbeladung durchgeführt. Das ENSI kann bestätigen, dass im Überprüfungszeitraum nur auslegungsgerechte Brennelemente in den Kern geladen wurden und die festgestellten Abweichungen bei der Fertigung keine Auswirkung auf den Reaktorbetrieb hatten. Die Anforderungen des Regelwerks wurden erfüllt. Das ENSI begleitete zudem das KKL bei der Durchführung eines Herstelleraudits und stellte dabei ein der Qualitätssicherung angemessenes Vorgehen fest.

3.3.2.6 Lagerung und Handhabung

Angaben des KKL

Das KKL verfügt über Lagereinrichtungen sowohl für frische, also unbestrahlte, wie auch für bereits eingesetzte, also bestrahlte, Brennelemente.

Trockene Lagerung von unbestrahlten Brennelementen und deren Handhabung

Unbestrahlte Brennelemente werden in der Regel nach der Anlieferung in das Trockenlager mit einer Kapazität von 200 Brennelementen gestellt. Zum Schutz der gelagerten frischen Brennelemente gegen äussere Einflüsse und zur Verhinderung des Eintrags von Wasser ist das Trockenlager mit einer Stahlabdeckung verschlossen. Als zusätzliche bauliche Massnahme sind im Boden des Trockenlagers Abflusskanäle eingebaut. Des Weiteren wurden administrative Massnahmen definiert, u. a. ein Verbot der Verwendung von wasserhaltigen Feuerlöschmitteln im Lagergebäude. Die Lagergestelle des Trockenlagers sind erdbebensicher ausgelegt.

Bei der Handhabung frischer Brennelemente wurden keine Abweichungen festgestellt. Ebenso wurden keine Auffälligkeiten oder Abweichungen an den Lagergestellen entdeckt.

Nasse Lagerung von bestrahlten Brennelementen und deren Handhabung

Bestrahlte Brennelemente werden längerfristig im Nasslager im Lagergebäude mit einer Kapazität von 2025 Lagerpositionen oder während des Brennelementwechsels im Nasslager im Containment mit 660 Lagerpositionen aufbewahrt. Die Lagergestelle sind aus rostfreiem Stahl, im Containment enthalten sie zusätzlich Bor als Neutronenabsorber. Die Lagergestelle der beiden Nasslager sind erdbebensicher ausgelegt.

Bei der Handhabung von Brennelementen traten zwischen 2009 und 2015 insgesamt sechs Ereignisse auf, bei welchen Abstandhalter von Brennelement-Teilbündeln beschädigt wurden. Betroffen waren in allen Fällen Brennelemente des Herstellers Westinghouse. Von den sechs Ereignissen wurden fünf als meldepflichtig eingestuft.

Sicherstellung der Unterkritikalität

Seitens AREVA wurden die Kritikalitätsrechnungen im Trockenlager mit dem Code SCALE-5 und im Nasslager mit SCALE-6 durchgeführt. Westinghouse nutzte MCNP5. Bei der Nasslagerung muss der Abbrandzustand maximaler Reaktivität bestimmt werden, wozu von beiden Lieferanten Berechnungen der Brennstoffzusammensetzung durchgeführt wurden. AREVA verwendete hierzu den Code SCALE-6, Westinghouse das Programm PHOENIX4. Die Unsicherheiten der Nuklidzusammensetzung wurden entweder konservativ oder mittels Monte-Carlo-Variation abgedeckt. Die von den Lieferanten eingesetzten Rechenprogramme wurden mit Daten kritischer Experimente und Nachbestrahlungsanalysen validiert.

Die Unterkritikalität bei der Lagerung unbestrahlter Brennelemente im Trockenlager und in den Nasslagern des KKL wurde unter Normal- und Störfallbedingungen auf den Sicherheitsebenen 1 bis 3 nachgewiesen.

Im Nasslager befinden sich momentan noch einige ältere Brennelemente des Herstellers General Electric. Diese sind allerdings so weit abgebrannt, dass sie hinsichtlich Kritikalität keine Relevanz mehr haben.

Aktivitätsüberwachung

Bei Hinweisen auf Brennstabdefekte im Reaktorbetrieb werden alle Brennelemente mittels Teleskop- oder Vakuum-Sippen auf Dichtheit getestet. Aus Brennelementen mit Brennstoffschaden werden defekte oder verdächtige Brennstäbe entfernt, in zwei speziell dafür vorgesehene Köcher eingefügt und dort gelagert. Das betroffene Brennelement wird nach Abschluss der Reparatur mittels Vakuum-Sipping erneut auf Dichtheit getestet. Damit sind alle im Brennelementbecken gelagerten Brennelemente dicht und nach Erreichen des Zielabbrands bereit für den Abtransport.

Transportfähigkeit der Brennelemente

Für die Trockenlagerung von Brennelementen in Transport- und Lagerbehältern muss bei jedem Brennelement die Dichtheit nachgewiesen werden. Im Brennelementlagerbeckenraum wird die Aktivität mittels Monitoren überwacht. Ausserdem wird das Beckenwasser periodisch auf Spaltprodukte analysiert. Allfällige Defekte, die im Rahmen der Lagerung im Brennstofflager auftreten, würden somit detektiert. Alle Brennelemente, die sich im KKL-Lagerbecken befinden, werden als transportfähig bewertet.

Beladen von Transportbehältern

Im Überprüfungszeitraum wurden zehn Transport- und Lagerbehälter mit insgesamt 673 Brennelementen beladen. Darunter fielen neun Transporte mit Behältern des Typs TN24BH-L mit einem Fassungsvermögen von 69 abgebrannten Brennelementen sowie ein Transport mit einem Behälter des Typs TN52L, welcher 52 abgebrannte Brennelemente aufnehmen kann. Bei der Beladung der Transport- und Lagerbehälter ergaben sich keine Abweichungen. Alle Grenzwerte wurden mit grossem Abstand unterschritten.

Um sicherzustellen, dass keine defekten Brennelemente – respektive Brennstab-Hüllrohre – in Transport- und Lagerbehälter eingelagert werden, wird beim Rücktrocknen des Behälters eine allfällige Freisetzung von Spaltgasen überwacht.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-G04^{G04} und ENSI-G20^{G20}
- Kap. 9 NUREG-0800^{NUREG-0800}
- Interim Staff Guidance DSS-ISG-2010-01^{ISG-2010-01}

Beurteilung des ENSI

Die Handhabung und trockene Lagerung von unbestrahlten Brennelementen verlief im Überprüfungszeitraum anforderungsgerecht. Die baulichen und administrativen Vorkehrungen tragen zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit bei. Die Beschädigungen an Abstandhaltern bei der Handhabung bestrahlter Brennelemente wurden ordnungsgemäss nach Richtlinie ENSI-B03 gemeldet. Es wurden vertiefende Analysen zu den Vorkommnissen durchgeführt und Massnahmen für eine zukünftige Vermeidung definiert und umgesetzt.

Die eingesetzten Nachweismethoden wurden vom ENSI freigegeben und entsprechen dem Stand der Technik. Die Nachweise für die Sicherheitsebenen 1 bis 3 wurden vom ENSI akzeptiert, die Anforderungen des Regelwerks sind eingehalten.

Der Nachweis für die Sicherheitsebene 4a, der gemäss Richtlinie ENSI-A01 für den totalen Ausfall der Brennelementbeckenkühlung zu führen ist, wurde bisher für nicht siedendes Wasser geführt. Entsprechend den Angaben im Sicherheitsbericht tritt jedoch bei totalem Ausfall der Brennelementbeckenkühlung Sieden auf.

Der Nachweis ist daher um Untersuchungen zur Unterkritikalität in den Brennelementladerbecken in diesem Zustand zu ergänzen.

Forderung 3.3-1

Der Nachweis für die Sicherheitsebene 4a, der gemäss Richtlinie ENSI-A01 für den totalen Ausfall der Brennelementbeckenkühlung zu führen ist, ist bis zum 15. Dezember 2020 um Untersuchungen zur Unterkritikalität bei siedendem Wasser zu ergänzen.

Die vom KKL getroffenen Massnahmen zur Überwachung und Sicherstellung der Integrität der Brennelemente und der damit einhergehende Nachweis der Transportfähigkeit sind ausreichend und zielgerichtet. Im Rahmen der Auslegung wird überdies der strukturmechanische Nachweis für die Langzeit-Trockenlagerung von den Brennelementherstellern erbracht.

Durch die bei der Lagerung getroffenen Massnahmen wird sichergestellt, dass ausschliesslich Brennelemente mit intakten Hüllrohren in die Transport- und Lagerbehälter verbracht werden, damit deren Anforderungen erfüllt werden. Im Überprüfungszeitraum wurden keine Abweichungen bei der Beladung der Behälter festgestellt.

3.3.3 Steuerelemente

Angaben des KKL

Im Kern des KKL befinden sich insgesamt 149 Steuerelemente. Diese sind einerseits dafür verantwortlich den Reaktorkern in einen unterkritischen Zustand zu bringen sowie zu halten, andererseits die Leistung während des Betriebs zu regulieren.

Im Überprüfungszeitraum waren Steuerelemente der folgenden Typen im Einsatz:

- Original Equipment Dura Life 100 resp. 230 (gesamter Überprüfungszeitraum);
- CR99 (gesamter Überprüfungszeitraum);
- Marathon (bis einschliesslich Zyklus 26, d. h. bis 2010);
- CR82M-1 (ab Zyklus 25, d. h. ab 2008);
- ULTRA HD (ab Zyklus 31, d. h. ab 2014).

Die Überwachung der mechanischen und nuklearen Lebensdauer eines Steuerelements wird im KKL einerseits über den Bor-10-Abbrand, berechnet mit HELIOS/PRESTO-2, gewährleistet. Andererseits wird die Integrität der Steuerelemente mittels der Borkonzentration im Reaktorwasser und damit über das KKL-spezifische Bormodell sowie über die Online-Heliummessung überwacht.

Auslegung

Neben der mechanischen Kompatibilität eines Steuerelementtyps mit den Kerneinbauten sind vor allem die mechanische, die thermohydraulische und die nukleare Auslegung eines Steuerelements sicherheitstechnisch relevant. Die Kompatibilitätsnachweise und Berechnungen im Rahmen eines Lizenzierungs- und Freigabeverfahrens von neuen Steuerstabtypen werden von den Herstellern erbracht und vom KKL geprüft und nachvollzogen. Basierend auf den entsprechenden Anträgen des KKL wurden die Steuerstabtypen Marathon und Ultra HD des Herstellers General Electric Hitachi und die Steuerstäbe der Typen CR99 sowie CR82M-1 des Herstellers Westinghouse vom ENSI zum Einsatz im KKL freigegeben.

Fertigung

Die Fertigung der während des Überprüfungszeitraums für das KKL produzierten Steuerelemente vom Typ CR99, CR82M-1 und ULTRA HD wurde von KKL-Vertretern und einem Berater in den jeweiligen Fabriken

tionsstätten stichprobenartig überprüft und dokumentiert. Dazu gehört auch die Überprüfung der Auslegungsdokumentation, der Fabrikationsdokumentation und der Verpackung für den Transport. Im KKL werden die Steuerelemente nochmals visuell überprüft, bevor sie für den Einsatz gewässert werden.

Betriebserfahrung

Bedingt durch Neutronenstrahlung kann es zum Schwellen des Absorbermaterials in den Steuerstäben kommen. Bei starkem Schwellen kann die mechanische Integrität der Steuerstabblätter in Mitleidenschaft gezogen werden. Führt dies zu Rissen, tritt in einem ersten Schritt Helium aus. Bei weiterer mechanischer Belastung kann es zu Auswaschungen des Absorbers führen.

Die im Einsatz befindlichen Steuerelemente der Typen CR82M-1 und ULTRA HD verhielten sich auslegungskonform. Es wurde keine Heliumfreisetzung oder Borauswaschung detektiert. Bei den Steuerelementen der Typen Original Equipment und CR99 wurden mitunter Borauswaschungen detektiert und im Rahmen von Inspektionen gelegentlich feine Risse in den Steuerelementblättern festgestellt.

Gegen Ende des Zyklus 25 und zu Anfang des Zyklus 26 wurde neben grossen Heliumpeaks auch vermehrt Borauswaschung beobachtet. Im Rahmen einer Inspektionskampagne während der Revisionsabstellung 2010 wurden grossflächige Rissbildungen im oberen Drittel der Marathon-Steuerelemente gefunden. Bei zwei Steuerelementen hatten sich an jeweils einem Blatt die drei äusseren mit Hafnium gefüllten Absorberrohre auf einer Länge von bis zu einem Meter vom Rest des Steuerelements getrennt. Das KKL hat die vier Steuerstäbe des Typs Marathon im Überprüfungszeitraum entladen und wird in Zukunft keine Marathon-Steuerstäbe mehr im Kern einsetzen. Als Ersatzstab wurde der Steuerstab des Typs ULTRA HD, in dessen Auslegung die Erfahrungen mit den Marathon-Steuerelementen einfließen, lizenziert.

Als Ursache für die unerwartet frühe Borauswaschung im obersten Bereich der auf Abschaltpositionen stehenden Steuerelemente identifizierte das KKL die Erhöhung der Urananreicherung im untersten Teil der Brennelemente ab Zyklus 14 als sehr wahrscheinlich.

Basierend auf den Betriebserfahrungen hat das KKL Austauschkriterien für die Steuerstäbe der Typen CR99, CR82M-1, Marathon sowie Original Equipment festgelegt. Die einzuhaltenden Grenzwerte für die Bor-10-Abbrände des oberen Viertels sind abhängig vom Steuerstabtyp. Zusätzlich wurde der lokale Abbrand der CR99- sowie der Original Equipment-Steuerelemente begrenzt. Die daraus resultierenden maximalen Bor-10-Abbrände sind konservativ gewählt und liegen deutlich unter den Bor-10-Abbränden, die der nuklearen Lebensdauer entsprechen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-G04^{G04} und ENSI-G20^{G20}
- KTA-Regel 3103^{KTA3103}
- Kap. 4.2. NUREG-0800^{NUREG-0800}

Beurteilung des ENSI

Gemäss Richtlinie ENSI-G20 sind Änderungen an Steuerstäben freigabepflichtig. Für den Einsatz neuer Steuerstabtypen reichte der Betreiber die entsprechenden Freigabeanträge beim ENSI ein. Das ENSI prüfte die Vollständigkeit, den Umfang und den Detaillierungsgrad der eingereichten Nachweise sowie stichprobenartig die ausgewiesenen Ergebnisse und kam zu dem Ergebnis, dass die neuen Steuerstabtypen für den Einsatz im KKL geeignet sind. Der Einsatz der im KKL befindlichen Steuerstäbe der Typen Marathon, Ultra HD, CR99 sowie CR82M-1 wurde vom ENSI freigegeben.

Gemäss Richtlinie ENSI-G20 hat sich der Betreiber im Rahmen seiner Verantwortung für den sicheren Betrieb seiner Kernanlage von der Wirksamkeit der Qualitätssicherungsmassnahmen des Herstellers bei der Fertigung von Steuerelementen zu vergewissern. Der Betreiber ist seiner Pflicht nachgekommen und hat die Fertigung der Steuerelemente anforderungsgerecht überprüft.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass das KKL ein angemessenes Programm zur Gewährleistung der Einsatzfähigkeit und Wirksamkeit der Steuerelemente installiert hat. Dieses umfasst rechnerische Nachweise, die Überwachung der Wasserchemie sowie die sporadische Inspektion der Steuerelemente während der Revisionsabstellungen. Der vorsorgliche Austausch von Steuerelementen im KKL bei Erreichen intern festgelegter Grenzwerte, noch vor dem Erreichen ihrer rechnerischen Lebensdauer, wird vom ENSI als sicherheitsgerichtet bewertet.

Auf das Vorkommnis „Meldepflichtige Befunde aus Steuerstabsinspektion 2010“, das Rissbildungen im oberen Drittel der Marathon-Steuerelemente betraf, wurde mit angepassten Grenzwerten geeignet reagiert. Das daraufhin eingeführte KKL-spezifische Bormodell und die Online-Heliummessung haben sich im Kernüberwachungssystem bewährt.

3.4 Strahlenschutz

3.4.1 Organisation und Prozesse des Strahlenschutzes

Durch eine geeignete Organisation soll erreicht werden, dass die Belange des Strahlenschutzes in einem Kernkraftwerk allen betroffenen Personen bekannt und an geeigneter Stelle allgemeingültige Strahlenschutz-Regeln festgelegt sind. Ferner muss dafür gesorgt werden, dass fachlich ausgewiesenes Personal in genügender Zahl für den Schutz der Mitarbeitenden vor ionisierender Strahlung zur Verfügung steht.

Angaben des KKL

Strahlenschutzorganisation und -personal

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung ist ein im Total Quality Management (TQM) beschriebener Prozess^{PSÜ/4}. Strahlenschutzaufgaben werden von einer Vielzahl von Organisationseinheiten und letztlich von jedem Mitarbeitenden wahrgenommen. Die für den Strahlenschutz verantwortliche Organisation ist im Dokument über die Aufbauorganisation des KKL dargestellt, das Bestandteil des Kraftwerksreglements ist.

Unterstützt wird die Abteilungsleitung Überwachung U durch die Organisationseinheiten Qualitätsstelle, Spezialaufgaben und Konventionelle Sicherheit. Des Weiteren besteht die Abteilung aus dem Ressort Chemie, dem Ressort Strahlenschutz und dem Ressort Technik. Das Ressort Chemie beinhaltet die Gruppen Heisses Labor, Kaltes Labor sowie Chemo-Technik. Das Ressort Strahlenschutz besteht aus den Gruppen Analysen/Ausbildung, Dienstleistungen, Messtechnik/Dosimetrie, Primäranlage und Sekundäranlage. Das Ressort Technik beinhaltet die Gruppen Entsorgung und Dekontamination sowie Reinigung.

Der vom KKL ernannte Beauftragte für Strahlenschutz ist der Leiter der Organisationseinheit Konventionelle Sicherheit.

Im Überprüfungszeitraum gab es zum 1. Januar 2014 Organisationsänderungen. So wurde die Stelle eines vollamtlichen Abteilungsleiter-Stellvertreters U geschaffen, die Gruppe Chemotechnik wechselte vom Ressort Technik zum Ressort Chemie, die Gruppe Dosimetrie wechselte vom Ressort Technik zum Ressort Strahlenschutz und die Gruppe Reinigung vom Ressort Strahlenschutz zum Ressort Technik^{KKL-2013-11-29}. Bei der Reorganisation wurden die Ressourcen und Strukturen optimiert, unter sinnvoller Nutzung des bestehenden Wissens der Fach- und Führungskräfte. Bei den organisatorischen Anpassungen wurden die Aufgaben beibehalten. Vorteile ergeben sich in Bezug auf Verantwortlichkeiten, Zusammenarbeit, Kommunikation und Schnittstellen.

Der Mindestbestand für anerkannte, fest angestellte Strahlenschutzmitarbeitende umfasst:

- zwei Strahlenschutz-Sachverständige
- zwei Strahlenschutz-Techniker/-innen
- vier Strahlenschutz-Fachkräfte

Dieser Mindestbestand ist kurzfristig (einige Tage) ausreichend, um alle zeitlich nicht verschiebbaren Strahlenschutzaufgaben während des Leistungsbetriebs, einer Betriebsstörung sowie eines sich zum Notfall entwickelnden Störfalls zu bewältigen. Unterbestände bei Strahlenschutz-Fachkräften können durch Überbestände bei Strahlenschutz-Technikern kompensiert werden. Für längerfristige Notfallsituationen darf externes Strahlenschutzpersonal eingeplant werden.

Die Abteilung U des KKL legt eine rollende Personalplanung zugrunde^{HSK12/1257}. Für Funktionen in Schlüsselpositionen wird im Rahmen des TQM eine Personalplanung gemacht, die jährlich aktualisiert wird. Zu den Schlüsselpositionen gehören auch die Strahlenschutz-Techniker/-innen. Für alle Mitarbeitende des KKL in der Abteilung U gibt es eine abteilungsinterne Personalplanung, wobei der Planungshorizont mindestens zehn Jahre beträgt. Zu erwartende Pensionierungen und erforderliche Weiterbildungsmassnahmen der Mitarbeitenden sind daraus ersichtlich. Das KKL strebt an, die Einstellung einer Nachfolge vier Jahre vor der Pensionierung einer Strahlenschutzfachkraft zu regeln, sodass ein ausreichender Zeitraum für die Ausbildung und Einarbeitung zur Verfügung steht.

Strahlenschutzaufgaben und Zuständigkeiten

Die Strahlenschutzaufgaben der Abteilung U sind in der Anweisung „Aufbauorganisation“, im Kraftwerksreglement und im Strahlenschutzreglement detailliert aufgeführt. Gegenüber dem Gesetzgeber ist die Abteilung U für die Einhaltung der Vorgaben zum Schutz von Mensch und Umwelt sowohl vor den Gefahren durch ionisierende Strahlung als auch vor solchen konventioneller Art verantwortlich. Zu diesem Zweck beurteilt sie auf übergeordneter Ebene laufend das Gefährdungspotential, legt geeignete Massnahmen fest, ordnet diese an oder führt sie selber durch, überwacht deren Umsetzung, überprüft deren Wirksamkeit und veranlasst Korrekturen.

Zur Wert- und Verfügbarkeitserhaltung von Systemen und Komponenten stellt die Abteilung U im bestimmungsgemässen Betrieb die Kraftwerkschemie sicher. Die Abteilung berät und unterstützt die Organisationseinheiten in Fragen des Strahlenschutzes, der Kraftwerkschemie, der Entsorgung radioaktiver Abfälle, der konventionellen Sicherheit sowie des Brandschutzes.

Das Abteilungssekretariat ist für die Administration der Ausbildung des gesamten strahlenexponierten KKL-Personals an der PSI-Schule für Strahlenschutz und anderen Ausbildungsstätten zuständig.

Der Strahlenschutzsachverständige ist verantwortlich für die Umsetzung der Strahlenschutzprinzipien, die Überwachung der Strahlenexposition der Mitarbeitenden, der Bevölkerung und der Umwelt sowie die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben und Grenzwerte. Er hat die Eingreifkompetenz, falls dies aus Schutzgründen erforderlich ist, und direkten Zugang zum Kraftwerksleiter.

Der Strahlenschutztechniker stellt den praxisgerechten, operationellen Strahlenschutz sowie die Einhaltung der Grundsätze der Strahlenschutzverordnung und der internen Strahlenschutzanweisungen in seinem Bereich sicher. Er legt die Massnahmen zum Schutz des Personals in der kontrollierten Zone fest. In ausserordentlichen radiologischen Situationen greift er vor Ort selbständig ein, wenn keine Zeit zur Rücksprache mit dem Strahlenschutzsachverständigen bleibt.

Die Strahlenschutzfachkraft führt festgelegte Strahlenschutzmassnahmen selbständig durch. Sie hat die Kompetenz, Arbeiten in der kontrollierten Zone zu unterbrechen, wenn der radiologische Arbeitsschutz nicht gewährleistet ist. Personen, welche die Strahlenschutzvorschriften missachten, kann sie temporär aus der kontrollierten Zone verweisen. Aus der kontrollierten Zone verwiesene Personen müssen dem Ressortleiter Strahlenschutz gemeldet werden.

Ausserdem geregelt sind die Funktionen des Quellenbeauftragten, des Freimessverantwortlichen und des Leiters der Wartungsstelle für geeichte Strahlenmessgeräte.

Strahlenschutzprozesse und -weisungen

Das KKL hat in seinen strategischen Zielen den Schutz von Mensch und Umwelt als oberstes Ziel festgelegt^{FDB28}. Der Strahlenschutz ist Teil dieses Ziels, was sich auch in der Namensgebung des Geschäftsprozesses „Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung“ manifestiert. Im Strahlenschutzreglement

sind die wichtigsten Prozesse und Weisungen zusammengestellt^{F-ws-3}. Das Reglement beinhaltet unter anderem:

- Strahlenschutzkonzept^{FDB28}
- Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle^{FDB43}
- Radiologische Schutzziele^{P04-00-wl-1}
- Optimierung der Massnahmen^{P04-01-wa-4}
- Dekontamination von Personen^{P04-02-wa-1}
- Verfahren bei Inkorporationsverdacht^{P04-02-ws-1}
- Gebäudereinigung kontrollierte Zone und Schleusen^{P04-02-wa-2}
- Zutritt zur kontrollierten Zone^{P04-02-wa-5}
- Aus- und Weiterbildung im Strahlenschutz^{P04-02-wa-7}
- Zutritt und Plakatierung zu Räumen erhöhter Dosisleistung oder Kontamination^{P04-02-wa-10}
- Sicherer Umgang mit Strahlenquellen^{P04-02-wa-11}
- Personenüberwachung^{P04-03-wa-3}
- Anlagenüberwachung^{P04-03-wa-4}
- Messtechnik zur Bestimmung von Strahlenfeldern und Kontamination an Arbeitsplätzen^{P04-03-wa-6}
- Freimessung^{P04-03-wa-7}
- Dichtheitsprüfung an Strahlenquellen^{P04-03-wa-11}
- Qualitätssicherungsverfahren für Strahlenschutzmessgeräte^{P05-09-wa-4}

Die Planung und Ausführung von Tätigkeiten in der kontrollierten Zone erfolgt grundsätzlich mit Einbezug des Strahlenschutzes^{SAR-2016}. Der Strahlenschutz wird bereits während der Planungsphase von Anlagenänderungen frühzeitig miteinbezogen. Dies erfolgt anlässlich der Einstufung einer Anlagenänderung, wo auch die Relevanz hinsichtlich Strahlenexposition und Erzeugung radioaktiver Abfälle bewertet wird. Bei Bedarf wird dem Bearbeitungsteam ein Strahlenschutzfunktionsträger zugewiesen. Dieser vertritt die Belange des Strahlenschutzes während der weiteren Bearbeitung bis zum Abschluss der Planungsphase.

Optimierungen der Strahlenexposition können oftmals mit geringfügigen Änderungen erzielt werden. Die Ausführung der Anlagenänderung erfolgt danach über den Prozess der Instandhaltungsarbeiten. Je nach Kategorisierung der Anlagenänderung finden Reviews durch die Sicherheitsüberprüfungsgruppe und den internen Sicherheitsausschuss statt. In diesen Gremien sind Strahlenschutzsachverständige eingebunden, welche die vorgesehene Änderung im Gesamtkontext der Anlage und der Prozesse beurteilen.

Auch bereits während der Planungsphase von Instandhaltungsarbeiten wird der Strahlenschutz frühzeitig eingebunden. Die Arbeitspapiere für geplante Instandhaltung und Störungsbehebung werden systematisch hinsichtlich Strahlenschutzrelevanz bewertet. Dazu gehört auch eine Prognose der erwarteten Strahlenexposition des Instandhaltungspersonals, welche auf dem aktuellen radiologischen Anlagenzustand basiert. Bei Arbeiten mit hoher Relevanz wird eine Strahlenschutzplanung erstellt, welche die Schutz- und Überwachungsmassnahmen sowie Interventionsschwellen festlegt. Dabei wird das potenzielle Auftreten von Störfällen berücksichtigt. Dieser Arbeitsablauf ist IT-basiert, daher transparent und nachvollziehbar.

Vor Arbeitsaufnahme erteilt der Strahlenschutzfunktionsträger eine Freigabe. Dadurch wird sichergestellt, dass er jederzeit über Art und Umfang der Arbeiten, die Örtlichkeiten und die involvierten Personen informiert ist. Anlässlich der Freigabe wird der radiologische Zustand des Arbeitsplatzes verifiziert und falls erforderlich, werden Anweisungen über Schutzmittel und geeignete Verhaltensweisen gegeben. Für sehr komplexe Arbeiten erfolgt dies über den formalisierten Ablauf einer Arbeitsvorbesprechung (Pre-Job-Briefing).

Während der Ausführung der Arbeiten wird eine geeignete Strahlenschutzüberwachung vorgenommen. Diese kann temporär oder dauernd erfolgen. Beim Auftreten von Abweichungen hinsichtlich des radiologischen Zustands oder der Arbeitsausführung wird die Situation bewertet und falls nötig korrigierend eingegriffen. Es gilt in jedem Falle das STAR-Prinzip (Stop–Think–Act–Review). Treten grössere Abweichungen auf, werden diese mit dem Prozess der kontinuierlichen Verbesserung (Störmeldungen, Vorkommnisberichte, Feststellungsmeldungen, Manager-in-the-Field, Vorschlagswesen etc.) erfasst, bearbeitet und falls notwendig korrigiert.

Wichtige Informationen, wie die Ergebnisse der Strahlenschutzüberwachung, werden protokolliert respektive vom Dosimetriesystem erfasst. Sie dienen dem Erfahrungsrückfluss und können als Referenzen zur Planung von zukünftigen Tätigkeiten herangezogen werden. Für grosse Arbeitspakete finden Nachbesprechungen (Debriefings) und für die Revisionsabstellung ein Revisionsrückblick statt. Die involvierten Stellen bewerten gemeinsam den Arbeitsablauf, die erzielten Ergebnisse und identifizieren mögliches Verbesserungspotential. Für Arbeiten mit einer Kollektivdosis von mehr als 50 Pers.-mSv wird eine detaillierte Strahlenschutzplanung durchgeführt^{P04-01-01-wf-1}.

Als radioaktive Strahlenquellen werden radioaktive Stoffe betrachtet, die wegen der von ihnen ausgehenden Strahlung verwendet werden^{SAR-2016}. Das KKL besitzt und geht mit radioaktiven Strahlenquellen um. Diese dienen zu Prüf- und Kalibrierzwecken in Laboratorien, zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung oder zur Qualitätskontrolle von Strahlenmessgeräten. Für die Strahlenquellen wird ein Inventar geführt, welches Angaben zu Radionuklid, Aktivität, Bezugsdatum und Identifikation enthält. Der Umgang mit radioaktiven Strahlenquellen ist in einer betriebsinternen Weisung geregelt^{P04-02-wa-11}. Es erfolgt eine periodische Zustandsprüfung. Kommen radioaktive Strahlenquellen von Fremdfirmen temporär zum Einsatz, so unterliegt der Umgang mit diesen sowohl den Bewilligungsaufgaben der jeweiligen Fremdfirma als auch den betriebsinternen Weisungen des KKL.

Der innerbetriebliche Transport von radioaktiven Teilen ist im Supportprozess „Transporte“ geregelt. Die Gefahrenbeurteilung sowie die Festlegung und Umsetzung von notwendigen Schutzmassnahmen bei Transporten von radioaktiven Teilen innerhalb der Anlage erfolgt gemäss dem Prozess „Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung (SMIS)“. Die Gefahrenermittlung, die Festlegung und Umsetzung von allfälligen Massnahmen und deren Überwachung erfolgt nach Bedarf und situativ durch den Strahlenschutz vor Ort. Für das Ein- und Ausschleusen von Materialien über die Grenzen der kontrollierten Zone ist ein Begleitschein auszufüllen.

Fazit des KKL

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung ist ein im TQM beschriebener Prozess^{PSÜ/4}. Er ist bewusst einfach gehalten und umfasst lediglich drei Teilprozesse: „Gefährdungsanalyse“, „Umsetzen von Massnahmen“ und „Erfolgskontrolle“. Alle Strahlenschutzaktivitäten spielen sich in einem dieser Teilprozesse ab. Der Prozess umfasst mehr als die Aufgaben der Organisationseinheit Strahlenschutz. Strahlenschutzaufgaben werden von einer Vielzahl von Organisationseinheiten und letztlich von jedem Mitarbeitenden wahrgenommen. Der Prozess weist daher eine Vielzahl von Schnittstellen zu anderen Prozessen wie „Instandhaltung“ oder „Betrieb“ auf. Dank seiner Einfachheit kann der Prozess den Mitarbeitenden verständlich vermittelt werden. Die Akzeptanz und die Prozesstreue sind in der Folge hoch.

Der Erfolg des Prozesses wird mittels Erfolgskenngrössen bestimmt. Es sind dies im Überblick:

- Kollektive Strahlenbelastung
- Individuelle Strahlenbelastung
- Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umgebung

Der Prozesserfolg wurde anhand der Erfolgskenngrössen während des Überprüfungszeitraums mehrheitlich GRÜN bewertet. Im Jahre 2007 wurde der Prozess ROT bewertet, da sich zu viele Pendenzen in der Prozesspflege angesammelt hatten. Im Jahr 2010 war die Bewertung GELB, da es zu einer Überschreitung der Individualdosislimits einer Person kam (Vorkommnis „Überschreitung der zulässigen Strahlenexposition einer Person bei Instandhaltungsarbeiten“). Bei dieser Dosisüberschreitung gab es beitragende Faktoren aus anderen Prozessen. Ausserdem wurde im gleichen Jahr die interne Limite für die Tritiumabgabe mit dem Abwasser nicht eingehalten. Hier lag die Ursache bei defekten Steuerstäben und damit ausserhalb des Prozesses.

Während des Überprüfungszeitraums erfolgte ein Wechsel des Prozesseigners. Die Kontinuität war durch sorgfältige Einarbeitung gewährleistet. Der Prozess wurde kontinuierlich gepflegt und auf dem aktuellen Stand gehalten. Verbesserungen erfolgten aufgrund von:

- Änderungen im Regelwerk
- Korrekturmassnahmen aus meldepflichtigen Ereignissen

- Verbesserungsmassnahmen aus der eigenen betrieblichen Erfahrung
- Verbesserungsmassnahmen aufgrund externer Erfahrung sowie dem Stand von Wissenschaft und Technik
- Behördenforderungen

Inhaltliche Verbesserungen betrafen folgende Schwerpunkte:

- Einführung von Funkdosimetern
- Überwachung von Taucherarbeiten
- Festlegung von Alarmschwellen für elektronische Dosimeter
- Konkretisierung der Gefährdungsanalyse bei Arbeiten mit bestrahltem Brennstoff und innerhalb des Kamins
- Einführung eines radiologischen Schliesskonzepts
- Sicherer Umgang mit Strahlenquellen und Röntgenanlagen
- Betrieb der Wäscherei
- Anforderungen an die Zonengrenze sowie an die Trennung von aktiven und inaktiven Systemen („Radiologisches Barrierenkonzept“)
- Vorgehen beim Auftreten eines Brennelement-Schadens

Stellen- und Funktionsbeschreibungen wurden aktuell gehalten. Neu hinzu kamen die Funktionen des Quellenbeauftragten, des Leiters einer anerkannten Wartungsstelle für geeichte Strahlenmessgeräte, des Freimessverantwortlichen und des Strahlenschutzbeauftragten. Die bestehenden Funktionsbeschreibungen für Fachkräfte und Techniker wurden ergänzt mit der Kompetenz einzugreifen, wenn die radiologische Sicherheit nicht mehr gewährleistet ist.

Die radiologischen Störfallanalysen wurden aus dem Prozess „Strahlenschutz“ in den neu geschaffenen Prozess „Sicherheitsanalysen“ überführt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

Strahlenschutzorganisation und -personal

- StSG^{StSG}
- KEG^{KEG}
- KEV^{KEV}
- StSV^{StSV}
- Strahlenschutz-Ausbildungsverordnung^{StSA}
- Richtlinien ENSI-B13^{B13}, ENSI-G07^{G07}

Strahlenschutzaufgaben und Zuständigkeit

- StSG^{StSG}
- KEV^{KEV}
- StSV^{StSV}

Strahlenschutzprozesse und Weisungen

- StSV^{StSV}
- Richtlinie ENSI-G15^{G15}

Beurteilung des ENSI

Strahlenschutzorganisation und -personal

Alle im KKL arbeitenden Personen sind korrekterweise für den Strahlenschutz verantwortlich. Die Gliederung der Abteilung U in Qualitätsstelle, Spezialaufgaben, Konventionelle Sicherheit, Ressorts und Gruppen ist in den vom KKL eingereichten Dokumenten dargestellt. Sie ist für die Bewältigung der Aufgaben im Strahlenschutz geeignet und erfüllt die rechtlich geforderten Bedingungen an eine Strahlenschutzorganisation.

Während des Überprüfungszeitraums waren genügend viele Personen mit anerkannter Strahlenschutzausbildung als Eigenpersonal vorhanden. Zudem wird während der Revisionsabstellungen und anderen grösseren Vorhaben zusätzlich Strahlenschutz-Fremdpersonal mit adäquaten Ausbildungen verpflichtet. Die vorausschauende Personalplanung wurde während des Überprüfungszeitraums gelebt. Es erfolgten angemessene Aus- und Weiterbildungen des Personals im Strahlenschutz. Aufgrund der Betriebserfahrung, über die sich das ENSI durch Inspektionen, Fachgespräche, Meldungen und Berichterstattung kontinuierlich informiert, ist diese Anzahl an Strahlenschutzpersonal mit anerkannten Ausbildungen für die Gewährleistung eines vorschriftsgemässen Strahlenschutzes während des Normalbetriebs ausreichend.

Der Unfall von Fukushima zeigte, dass die bisherigen Vorgaben zum Bestand an Strahlenschutzpersonal zur Linderung der Auswirkungen schwerer Unfälle nicht ausreichend waren^{ENSI 7669}. Der Mindestbestand an Strahlenschutzmitarbeitenden umfasste zu Beginn des Überprüfungszeitraums einen Strahlenschutzsachverständigen, einen Strahlenschutztechniker und drei Strahlenschutzfachkräfte. Der Mindestbestand für Strahlenschutzmitarbeitende wurde im Jahr 2016 für jede der genannten Funktionen bzw. Ausbildungsstufen um jeweils eine Person erhöht^{FDB40}. Das ENSI beurteilt diesen neuen Mindestbestand als ausreichend, um alle zeitlich nicht verschiebbaren Strahlenschutzaufgaben für wenige Tage erfüllen zu können. Dass für längerfristige Situationen vom KKL zusätzliches externes Strahlenschutzpersonal eingeplant wird, erachtet das ENSI für seltene Ausnahmefälle (z. B. Grippeepidemie) als adäquat.

Strahlenschutzaufgaben und Zuständigkeit

Die Nennung der Aufgaben des Bewilligungsinhabers im Bereich Strahlenschutz ist im Wesentlichen auf drei Vorschriften verteilt, die Anweisung „Aufbauorganisation“^{F-wa-3}, das Kraftwerksreglement^{F-ws-2} und das Strahlenschutzreglement^{F-ws-3}. Den zuständigen Organisationseinheiten oder Funktionsträgern im Strahlenschutz sind entsprechende Aufgaben zugeteilt. Das lizenzierte Strahlenschutzpersonal hat das notwendige Weisungsrecht zur Durchsetzung von Strahlenschutzbelangen. Das ENSI beurteilt die dargelegten Strahlenschutzaufgaben und die definierten Zuständigkeiten als anwendbar.

Strahlenschutzprozesse und -weisungen

Das KKL hat ein Qualitätsmanagementsystem mit Prozessen zur Einbindung des Strahlenschutzes bei Tätigkeiten in der kontrollierten Zone. Die Strahlenschutzplanung inklusive Optimierung wurde im Überprüfungszeitraum mit einem formalen Prozess umgesetzt. Weitere Weisungen, wie die „Dekontamination von Personen“, „Verfahren bei Inkorporationsverdacht“ etc., sind im Strahlenschutzhandbuch zusammengestellt^{F-ws-3}. Die Weisungen beinhalten auch Kapitel zur Dokumentation.

Fazit

Das ENSI stellt fest, dass die Strahlenschutzorganisation einschliesslich personeller Ressourcen, Aufgaben, Zuständigkeiten, Prozesse und Weisungen mit den rechtlichen Vorgaben übereinstimmt.

3.4.2 Zonenkonzept

Das Zonenkonzept, d. h. die Einstufung der Räume und Bereiche der kontrollierten Zone in Zonen- und Gebietstypen sowie die Festlegung der damit verbundenen Schutzmassnahmen, ist eine wichtige Vorkehrung im Strahlenschutz. Das Zonenkonzept kann grob unterteilt werden in ein Konzept zum Einschluss radioaktiver Stoffe (Barrierenkonzept) und ein Konzept zur Verhinderung oder Reduktion externer Exposition (Abschirmungs- und Schliesskonzept).

Der gestaffelte Einschluss offener radioaktiver Stoffe wird in Kernanlagen durch mehrere Barrieren und Zonengrenzen gewährleistet. Die wichtigsten Barrieren sind die Brennstoffmatrix und das Brennstabhüllrohr (vgl. Kap. 3.3.2), der Primärkühlkreislauf (vgl. Kap. 4.3), das Containment (vgl. Kap. 4.4.4) sowie die Lager- und Transportbehälter (vgl. Kap. 3.7). Für alle anderen Barrieren ist ein Konzept mit allgemeinen baulichen, technischen und administrativen Anforderungen zu erstellen, welches einerseits die Vorgaben der Richtlinie HSK-R-07 für die unterschiedlichen Zonentypen und andererseits die unterschiedlichen Barrierenarten zwischen den Systemen berücksichtigt. Ausgehend von diesem Konzept sind je nach Gefährungsgrad und Betriebs- erfahrung spezifische Massnahmen für jeden Raum der kontrollierten Zone und für jede mögliche Verbindung zwischen den Systemen innerhalb der Zone bei der Auslegung neuer Anlagen oder bei Änderungen zu planen und auszuführen. Die Integrität bzw. Funktionalität dieser Massnahmen sind während des Betriebs kontinuierlich oder periodisch zu überprüfen.

Analog zum Barrierenkonzept sind die Räume, gestaffelt nach potenziell vorliegender Dosisleistung, unterschiedlichen Gebietstypen zugeordnet. Schutzmassnahmen wie Zutrittsbeschränkungen oder Überwachungs- massnahmen (kontinuierliche Ortsdosisleistungs-Messungen mit Alarmierung) richten sich nach dem im Abschirmungs- und Schliesskonzept festgelegten Gebietstyp.

Angaben des KKL

Zonen- und Gebietseinteilungen

Die kontrollierte Zone innerhalb des überwachten Bereichs umfasst alle Gebäudeteile, in denen mit radioaktiven Stoffen umgegangen wird und/oder Personen einer Strahlenbelastung von mehr als 1 mSv pro Jahr ausgesetzt sein können^{PSÜ/4}. Dazu gehören das Reaktorgebäude, das Reaktorhilfsanlagegebäude, das Brennelementlagergebäude, das Maschinenhaus, der Notstandbunker, die Aktivwerkstatt, das Dekontaminationsgebäude, das Aufbereitungsgebäude, das Abgasfiltergebäude, das Zwischenlagergebäude, das Kaltkondensatbehältergebäude und das Schaltanlagegebäude. Je nach Betriebsart werden die Schleusen des Maschinenhauses und des Brennelementlagers temporär zu kontrollierten Zonen deklariert. Gleiches gilt für das Dach des Betriebsgebäudes (Hauptbau) und für einen Stichkanal. Die beiden letzteren sind kontaminationsfrei und daher Zone Typ 0. Das KKL hat Gebiets- und Zonenpläne für die Anlagenzustände Normalbetrieb und Revisionsabstellung.

Die kontrollierte Zone ist entsprechend dem aktuellen Gefährdungspotential in die Zonentypen I bis IV unterteilt. Die Unterteilung erfolgt gemäss der vorhandenen Luft- und Oberflächenkontamination^{PSÜ/4}. Prinzipiell werden die Bedingungen für die Zone I angestrebt. Dem dazu notwendigen Dekontaminationsaufwand wird durch das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable, so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar) eine Grenze gesetzt. Die Strahlenexposition des Dekontaminationspersonals soll in einem vernünftigen Verhältnis zum angestrebten radiologischen Zustand stehen.

An zugänglichen Orten werden je nach Ortsdosisleistung verschiedene Gebietstypen unterschieden^{PSÜ/4}. Isodosenkarten (Grundrisse) sind für die relevanten Gebäude und entsprechenden Koten erstellt und beschreiben die übliche Einteilung der Gebietstypen gemäss der Richtlinie HSK-R-07. Sie beinhalten die notwendigen Informationen zu Gebietstyp und Gebietsgrenzen und sind Bestandteil des radiologischen Barrieren- und Zonenkonzepts.

Die Gebietstypen V–Z entsprechen der Nomenklatur der Richtlinie HSK-R-07. Der Gebietstyp V wurde in der Farbcodierung bei einer Ortsdosisleistung von 0,001 mSv/h zusätzlich unterteilt, um gemäss dem ALARA-Prinzip auch zwischen tiefen und sehr tiefen Strahlenfeldern unterscheiden zu können. Der Gebietstyp Z wurde entgegen der Richtlinie HSK-R-07 auf eine Ortsdosisleistung grösser als 20 mSv/h gelegt, um Konsistenz mit dem Begriff des „geschlossenen Raumes erhöhter Dosisleistung“ nach dem KKL-Schliesskonzept zu schaffen.

Absperrungen erfolgen auf Basis der radiologischen Gefährdung für Zonen erhöhter Kontamination (Zonen II, III, IV) oder Gebieten erhöhter Dosisleistung (Ortsdosisleistung ODL > 1 mSv/h innerhalb der kontrollierten Zone, Gebietstyp Y). Absperrungen von Kontaminationszonen verhindern eine Kontaminationsverschleppung, respektive Absperrungen von Gebieten erhöhter Dosisleistung schützen vor ungeplanter Strahlenexposition.

In beiden Fällen ist das korrekte Verhalten der Mitarbeitenden entscheidend. Dieses bildet daher einen wichtigen Inhalt der Strahlenschutzbelehrung.

Absperrungen können permanent oder temporär eingerichtet werden. Permanente Absperrungen sind entweder bauliche Strukturen wie Türen oder fest installierte Blechtafeln und dergleichen. Temporäre Absperrungen erfolgen mittels „Zonenpfosten“ und Seilen. Absperrungen sind mit den erforderlichen Plakaten beschildert. Diese werden regelmässig aktualisiert. Stellen mit lokal deutlich erhöhter Ortsdosisleistung werden als „Hot-spot“ markiert und inventarisiert.

Das radiologische Schliesskonzept wurde mit einer Anlagenänderung aus dem Jahr 2007 eingeführt. Davor gab es nur punktuell aus Strahlenschutzgründen geschlossene Räume. Als Kriterium für eine Schliessung wurde das tatsächliche oder potentielle Auftreten von Ortsdosisleistungen über 20 mSv/h gewählt. Die Schliessung wurde sowohl an Türen wie auch an Abschirmblöcken angebracht. Hierfür mussten einige Türen nachgerüstet werden. Dabei wurden die Aspekte der Fluchtwege beachtet. Die Schlüssel werden restriktiv an Funktionsträger im Strahlenschutz auf der Betriebsschicht ausgegeben. Die Kriterien für einen Zutritt zu einem „geschlossenen Raum erhöhter Dosisleistung“ sind im TQM festgelegt^{P04-02-wa-10}. Die Schliessung wird gemäss dem aktuellen radiologischen Anlagenzustand nachgeführt.

Anforderungen an die kontrollierte Zone

Das radiologische Barrieren- und Zonenkonzept dient dem Einschluss radioaktiver Stoffe und zur Begrenzung von Direktstrahlung zum Schutz des Personals und der Umwelt^{SAR-2016}. Es trägt seinen Teil dazu bei, dass sämtliche an die Umwelt geplant abgegebene Aktivität aus der Anlage ausschliesslich kontrolliert und messtechnisch bilanziert freigesetzt wird. Dazu definiert es spezielle Anforderungen an das Design der kontrollierten Zone, der Zonengrenze sowie an die Trennung zwischen aktiven und inaktiven Systemen. Das radiologische Barrieren- und Zonenkonzept ist Bestandteil einer Gesamtplanung von baulichen, technischen und betrieblichen Massnahmen, welche zur Erreichung der radiologischen Schutzziele notwendig sind. Es ist sowohl für die zurzeit bestehende Anlage (alle Gebäude der kontrollierten Zone und deren Zonengrenzen) sowie auch für zukünftige Neubauten, Anlagenänderungen und Sanierungsprojekte verbindlich. Das Ziel sämtlicher Schutzmassnahmen ist die Gewährleistung der radiologischen Schutzziele der Anlage zum Schutz der Umgebung. Das radiologische Barrieren- und Zonenkonzept umfasst:

- die Trennung zwischen aktiven und inaktiven Systemen, Bereichen, Räumen und Gebäuden durch Errichtung und Beachtung von Zonengrenzen
- den Einschluss radioaktiver Stoffe und Begrenzung von Direktstrahlung zum Schutz des Personals und der Umwelt (inkl. Pläne, getrennt nach Zonen- und Gebietstypen)
- die Ausstattung der Gebäude, Räume und Systeme

Die Systemtrennung zwischen radiologisch aktiven und inaktiven Systemen muss durch mindestens zwei Barrieren sichergestellt werden (Zwei-Barrieren-Kriterium). Die Nichtverfügbarkeit einer einzelnen Barriere darf nicht zum Aktivitätsübertritt führen. Dabei gelten als Barriere^{PSÜ/4}:

- Integrität der Komponente
- Rückschlagarmatur
- zuverlässige Druckdifferenz

sowie in Ausnahmefällen:

- Aktivitätsüberwachung des radiologisch inaktiven Systems

Die Aktivitätsüberwachung eines radiologisch inaktiven Systems stellt in Bezug auf das Zwei-Barrieren-Kriterium jedoch einen retrospektiven Ansatz dar. Bei einem anstehenden Signal „Aktivität hoch“ ist das zu schützende System bereits kontaminiert.

Überprüfung der Integrität der Barrieren und Zonengrenzen

Im Rahmen des Projekts „Untersuchungen zum radiologischen Zonenkonzept“ wurden sämtliche Gebäude der kontrollierten Zonen in Bezug auf Verletzungen des Zonenkonzepts analysiert und bewertet^{PSÜ/4}. Die Untersuchungen begannen 2005 und wurden im Dezember 2012 erfolgreich abgeschlossen. Abgeleitete Massnahmen wurden sukzessive abgearbeitet wie z. B. die Einzonung des Kaltkondensatbehälters. Sie wurden zum Teil im Rahmen von grösseren Projekten realisiert und waren daher zeitlich an diese gekoppelt. Ausserdem kam der Trennung von radioaktiven und inaktiven Systemen eine besondere Bedeutung zu^{PSÜ/4}.

Abschirmung

Abschirmungen dienen der Einhaltung von radiologischen Schutzziele, das heisst der Einhaltung von Dosisgrenzwerten sowohl für das Kraftwerkpersonal als auch für die Bevölkerung. Weiterhin dienen Abschirmungen dem Schutz von Systemen, Strukturen und Komponenten. Die ursprünglichen Anforderungen an die Abschirmung im Kraftwerk wurden so definiert, dass folgende Funktionen erfüllt werden:

- Auslegungsziel für normale Betriebsbedingungen war die Begrenzung der jährlichen Individualdosis für das Kraftwerkpersonal auf einen Wert unter 50 mSv und der kumulierten Kollektivdosis für Kraftwerkpersonal und Auftragnehmer auf unter 4000 Pers.-mSv pro Jahr.
- Die Strahlenexposition der Bevölkerung ist auf das praktikable Minimum von 0,1 mSv pro Jahr durch Direktstrahlung begrenzt.
- Die Strahlenexposition des Kraftwerkpersonals ist durch Abschirmungen während eines Störfalls auf einen Wert begrenzt, der die Aufrechterhaltung eines sicheren Zustands unter Störfallbedingungen gewährleistet.
- Die Strahlenexposition bestimmter Komponenten bleibt innerhalb der Toleranzen, die die Leistung und die erwartete Lebensdauer der Komponente nicht beeinträchtigen.

Vom KKL können auch die aktuellen, strengeren Bestimmungen gemäss der Strahlenschutzverordnung eingehalten werden. Die Abschirmungen erfüllen während Normalbetrieb und Revisionsabstellung auch in der ursprünglichen Auslegung ihren Zweck.

Zur Reduktion der Ortsdosisleistung an Arbeitsplätzen werden bei Bedarf temporäre Abschirmungen aufgebaut. Dies ist vor allem während Instandhaltungsarbeiten notwendig. Temporäre Abschirmungen haben keinen seismischen Standsicherheitsnachweis. Sie werden daher vor Inbetriebsetzung der betreffenden Systeme wieder abgebaut und entfernt.

Zutrittsbedingungen: Personen und Material

Die Zutrittsbedingungen und die persönlichen Schutzmassnahmen für Personen zur kontrollierten Zone sind in einer internen Weisung festgelegt^{P04-02-wa-5}. Die Bestimmungen für den Zutritt zur kontrollierten Zone sind Bestandteil des Strahlenschutzreglements^{F-ws-3}. Der Zutritt zu Räumen mit erhöhter Dosisleistung bedarf einer Strahlenschutz-Erlaubnis. Der Zutritt zu Räumen mit sehr hohen oder stark schwankenden Strahlenfeldern darf nur in Begleitung von Strahlenschutzpersonal erfolgen. Diese Räume sind entsprechend beschildert.

Das Freigabeverfahren für Arbeiten in der kontrollierten Zone ist zweistufig. Das Strahlenschutzvisum auf dem Arbeitspapier (Störmeldung, Instandhaltungsauftrag und -services) bedeutet die grundsätzliche Freigabe gemäss Rechtfertigungsprinzip. Falls verlangt, ist durch den Arbeitsausführenden vor Ort zusätzlich die Freigabe durch eine Strahlenschutzfachkraft einzuholen. Das Betreten eines aus radiologischen Gründen gesperrten Raumes bedarf unabhängig von Arbeitspapieren in jedem Falle einer Freigabe durch das Strahlenschutzpersonal vor Ort. Nach Abschluss der Arbeit bestätigt die Strahlenschutzfachkraft die Freigabe des Arbeitsplatzes.

Der Betrieb der Anlage wird so gestaltet, dass in Bezug auf Aktivität und Volumen möglichst wenig radioaktive Abfälle entstehen^{FDB43}. Die erfolgreiche Reduktion, respektive Vermeidung von radioaktiven Stoffen und Kontamination, beginnt bei der Beschaffung von Waren und Materialien, welche in die kontrollierte Zone gelangen sollen^{SAR-2016}. Es wird darauf geachtet, dass leicht dekontaminierbare und entsorgbare Waren zum Einsatz

kommen. So ist beispielsweise Holz nicht zugelassen. Die Verwendung von PVC wird auch eingeschränkt, da dieser Kunststoff im Entsorgungspfad Probleme bereitet. Ausserdem unterliegt PVC Einschränkungen aus der KKL-internen Chemikalienverbotsliste. Verpackungsmaterial wird bei der Einfuhr von Waren in die kontrollierte Zone konsequent entfernt und als nicht radioaktiver Abfall entsorgt. Waren auf Holzpaletten werden auf leichter dekontaminierbare Kunststoff- oder Metallpaletten umgepackt.

Austrittsbedingungen: Personen- und Materialfreimessung

Die kontrollierte Zone darf im Normalfall nur über den regulären Weg über die Personalgarderobe bzw. Besuchergarderobe verlassen werden^{P04-03-wa-7}. Zur Personenüberwachung beim Austritt aus der kontrollierten Zone kommen im KKL fünf Grobmonitore und sechs Feinmonitore zum Einsatz^{PSÜ/4}. Die rund 23-jährigen Personenkontaminationsmonitore verrichteten bis zum Ende des Überprüfungszeitraumes zuverlässig ihren Dienst. Die Monitore waren sehr wartungsarm und wiesen nur wenige Störungen auf. Ein aus heutiger Sicht bestehender Mangel ist der Umstand, dass die Monitore über keine Möglichkeit verfügen, Messdaten oder Statusmeldungen abzuspeichern oder via Netzwerk auf einen Computer zu übertragen. Es ist somit nicht möglich, Statistiken über Fehler, Anzahl Messungen, Kontaminationen usw. zu führen. Kontaminationsbefunde werden darum händisch erfasst.

Der Personenfluss in der Damengarderobe erfüllt die Vorgaben der Richtlinie HSK-R-07 nicht^{PSÜ/4}. Ange dachte Verbesserungen scheiterten bisher an den erforderlichen massiven baulichen Änderungen, in die auch Aspekte der Fluchtwege, des Brandschutzes und der Sicherung einfließen müssen. Ein ordnungsgemässer Zustand kann anlässlich des Ersatzes der Personenkontaminationsmonitore erreicht werden.

Gegenstände, Werkzeuge und Materialien müssen an den dafür vorgesehenen Ausmessstellen ausnahmslos auf Kontamination und Aktivierung überprüft werden^{P04-03-wa-7}. Material, das die kontrollierte Zone verlässt, wird nach Richtlinie ENSI-B04 freigemessen. Während des Überprüfungszeitraums wurden insgesamt mehrere hundert Tonnen Material dem Freigabeverfahren zugeführt. Dabei kam es zu keiner Überschreitung von Freigabekriterien. Kleinteile wie Zutrittsausweise, Notizblöcke und dergleichen dürfen durch alle Mitarbeiter selbstständig freigemessen werden.

Nach einem Hinweis aus einem externen Audit wurde die Verwendung des Kleinteilefachs der Personenkontaminationsmonitore eingeschränkt. Seit 2011 dürfen nur noch genau definierte Gegenstände auf diesem Pfad freigemessen werden. Nach einem Hinweis der Eichstelle wurde die Benützung des Kleinteilefachs im Jahre 2015 weiter eingeschränkt. Alle anderen Objekte müssen in einem Freimessschrank kontrolliert werden.

Gewaschene Wäsche, die aus der kontrollierten Zone in die Inaktiv-Garderobe verbracht wird, wird freigemessen. Zonenwäsche, welche auf dem Leib getragen wird, wird bei der Benützung der Personenkontaminationsmonitore freigemessen. Die übrige Wäsche, insbesondere Overalls, verlässt die kontrollierte Zone nicht. Es wird keine kontaminierte Wäsche zu einer externen Wäscherei gebracht.

Unterdruckhaltung, gerichtete Luftströmungen

Die Lüftung innerhalb der kontrollierten Zone ist so ausgelegt, dass ein Unterdruck gegenüber der nicht kontrollierten Zone gewährleistet ist^{SAR-2016}. Zur Verminderung des Risikos einer Kontaminationsverschleppung durch die Luft in Räume mit niedriger Belastung sind die Unterdrücke so gestaffelt, dass eine Luftströmung in Richtung der vorhandenen oder realistisch zu erwartenden höheren Kontamination erfolgt. Die Abluftanlage fördert den Luftstrom zum Abluftkamin, wo die Bilanzierung der Aktivität in der Fortluft erfolgt.

Die Lüftungsanlagen des Primärteils mit den zugeordneten Isolationsklappen dienen der Einhaltung des Schutzziels „Einschluss der radioaktiven Stoffe“^{PSÜ/4}. Die als Barrieren auf der Sicherheitsebene 1 und 2 dienenden High Efficiency Particulate Air Filter (HEPA-Filter) in der Abluft aus der kontrollierten Zone der Primäranlage wurden sorgfältig überwacht. Die Abluffilter der Sekundäranlage wurden wegen des geringfügigen Risikos radiologisch nicht überwacht.

Überwachungsmassnahmen auf dem Betriebsareal

Den überwachten Bereich ausserhalb der kontrollierten Zone bildet das Betriebsareal innerhalb der Umzäunung^{PSÜ/4}. Es gelten die Vorgaben aus der Richtlinie HSK-R-07. Die Einhaltung der Kontaminationsrichtwerte wird durch Messungen überwacht. Besonderes Augenmerk wurde auf das Innere des Abluftkamins gerichtet. Da es hier im Fall von Störfällen zu Kontaminationen kommen kann, wurde der Zutritt administrativ eingeschränkt. Im Jahr 2014 kam es zu einer Überschreitung des Kontaminationsrichtwerts im Kontrollgang der Gebäudefuge zwischen Reaktorgebäude und Reaktorhilfsanlagengebäude. Auf dem übrigen Betriebsareal wurden keine Kontaminationen vorgefunden. Als Reaktion auf ein Vorkommnis im spanischen Kernkraftwerk Asco im Jahr 2009 wurde ein radiologisches Überwachungsprogramm auf dem Areal eingeführt.

Der Zu- und Ausgang zum Betriebsareal wird sowohl für den Personenverkehr als auch für Fahrzeuge mittels Strahlungsmessgeräten überwacht^{PSÜ/4}. Selten kommt es zu Alarmen, die durch die medizinische Behandlung von Personen mit Radioisotopen verursacht werden. In den übrigen Fällen handelte es sich um autorisierte Transporte radioaktiver Stoffe.

Fazit des KKL

Während der Revisionsabstellung 2015 wurden mutwillig leicht kontaminierte Gegenstände aus der kontrollierten Zone gebracht^{PSÜ/4}. Dennoch kam es zu keiner Kontaminationsverschleppung. Als Korrekturmassnahme wurde die „Technische Spezifikation“ der zu ersetzenden Personenkontaminationsmonitore dahingehend geändert, dass konstruktive Vorkehrungen getroffen werden, um ein Ausschleusen von Material an den Messeinrichtungen vorbei zu verhindern.

Identifizierte Massnahmen aus den durchgeführten Untersuchungen zum Zonenkonzept wurden und werden sukzessive abgearbeitet^{PSÜ/4}. Es kam lediglich zu einer geringfügigen Kontaminationsverschleppung in ein inaktives System durch mangelnde Systemtrennung. Das Konzept hat sich somit bewährt.

Im Jahr 2008 kam es zu einem erhöhten Gehalt von Co-60-Partikeln im Kamin, mutmasslich wegen des ungenügenden Abscheidegrades eines Abluftfilters^{PSÜ/4}. Dieser Abluftfilter wies zum damaligen Zeitpunkt keine Vorrichtung auf, um den Abscheidegrad zu überprüfen. Die Partikelmessanschlüsse wurden deshalb nachgerüstet.

Die als Barrieren auf der Sicherheitsebene 1 und 2 dienenden HEPA-Filter in der Abluft aus der kontrollierten Zone der Primäranlage erfüllten ihre Aufgabe.

Absperrungen sind praktisch wartungsfrei^{PSÜ/4}. Ihr Zustand ist gut. Es kam zu zwei Ereignissen wegen fehlender oder mangelhafter Absperrungen.

Seit der Einführung des Schliesskonzepts kam es zu keinen ungeplanten Strahlenexpositionen und in der Folge zu keiner Überschreitung von Dosisgrenzwerten^{PSÜ/4}. Der Umgang mit den Schlüsseln durch die autorisierten Personen erfolgt verantwortungsvoll. Es kam lediglich zu einem Vorkommnis, bei dem einer nichtberuflich strahlenexponierten Person der Zutritt zu einem geschlossenen Raum mit erhöhter Dosisleistung gewährt wurde. Hier haben die administrativen Barrieren versagt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- StSV^{StSV}
- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und HSK-R-07^{R-7}

Beurteilung des ENSI

Zonen- und Gebietseinteilung

Die in den Isodosenkarten für den Normalbetrieb sowie den Zonenplänen für den Betrieb und die Revisionsabstellung dargestellte Einteilung der kontrollierten Zonen in Gebietstypen und Zonentypen erfüllt die Anforderungen der Richtlinie HSK-R-07. Die Absperrungen und das radiologische Schliesskonzept haben sich bewährt.

Anforderungen an die kontrollierte Zone

Das im KKL angewendete Zwei-Barrieren-Prinzip bedeutet, dass durch zwei gestaffelte Barrieren das Entweichen von radioaktiven Stoffen aus der kontrollierten Zone in die nichtkontrollierte Zone und aus aktivitätsführenden Systeme in inaktive Systeme vermieden wird. Das Konzept setzt die Bedingungen der Richtlinie HSK-R-07 um und entspricht dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Überprüfung der Integrität der Barrieren und Zonengrenzen

Zur Überprüfung des Barrieren- und Zonenkonzepts hat das KKL die Grenzen der kontrollierten Zone von innen und aussen sowie von aktiven und inaktiven Systemen untersucht und beurteilt. Im Überprüfungszeitraum gab es keine signifikante Aktivitätsfreisetzung in die Umgebung der Anlage. Der Einschluss radioaktiver Stoffe war weitgehend sichergestellt. Verbesserungsmöglichkeiten wurden vom KKL entdeckt und umgesetzt, weitere Optimierungen sind geplant und werden vom ENSI innerhalb der normalen Aufsichtstätigkeit verfolgt.

Abschirmung

Zusätzlich zu fest installierten, in erster Linie baulichen Abschirmungen werden temporäre Abschirmungen bei Arbeiten in besonders strahlenintensiven Bereichen eingesetzt. Dies geschieht während den Revisionsabstellungen sowie bei erforderlichen Instandsetzungsarbeiten, wobei fallweise ein spezifisches Abschirmkonzept ausgearbeitet wird. Anstelle der mit Expositionen verbundenen Anbringung von Abschirmungen werden im KKL auch Anlagenteile abgesperrt, wenn dort keine Arbeiten durchgeführt werden. Das ENSI hat bei seinen Inspektionen im KKL den wirksamen Einsatz von Abschirmungen und das Einhalten der Zutrittsbeschränkungen zu abgesperrten Bereichen beobachtet.

Zutrittsbedingungen: Personen und Material

Die vom KKL allgemein angegebenen Bedingungen für den Zutritt der jeweiligen Personengruppe zur kontrollierten Zone und das Einschleusen von Gegenständen wurden vom ENSI akzeptiert.

Austrittsbedingungen: Personen- und Materialfreimessung

Durch die obligatorischen Freimessungen von Personen und Material wird die Verschleppung von Kontamination aus der kontrollierten Zone nach aussen unterbunden.

Die Damengarderobe hat einen Zonenübertritt ohne Feinmonitor. Damit verlassen die Damen die „heisse“ Garderobe ohne die nach der Richtlinie HSK-R-07 vorgeschriebene Messung in Zonenunterwäsche mit einem Personenkontaminationsmonitor. Eine Messung, die den Durchgang in die „kalte“ Garderobe freigibt, findet nicht statt. In der „kalten“ Garderobe ziehen die Damen ihre Privatkleidung an und gehen damit über den im Gang stehenden Feinmonitor. Eine allfällige Kontamination durch Beta-strahlende Nuklide könnte durch die Strassenkleidung abgeschirmt sein und würde nicht erkannt. Der Personenfluss in der Damengarderobe erfüllt damit nicht die Vorgaben der Richtlinie HSK-R-07. Das ENSI hat dazu eine Inspektion durchgeführt und eine Forderung zur richtlinienkonformen Umgestaltung der Damengarderobe gestellt^{ENSI 12/2516}.

Unterdruckhaltung, gerichtete Luftströmungen

Die Lüftungsanlagen entsprechen hinsichtlich einer gestaffelten Unterdruckhaltung, der gerichteten Luftströmungen und der Luftwechselraten den Vorgaben der Richtlinie HSK-R-07. Aufgrund der positiven Betriebserfahrung mit den Lüftungsanlagen und der Prüfung des radiologischen Zustands der Anlage anlässlich von

Inspektionen geht das ENSI davon aus, dass die Zuverlässigkeit dieser Systeme bezüglich des Strahlenschutzes sichergestellt ist.

Überwachungsmassnahmen auf dem Betriebsareal

Die Einhaltung der Kontaminationsrichtwerte auf dem Betriebsareal wird durch Messungen überwacht. Allfällige Abweichungen würden zum Schutz des Personals und der Bevölkerung frühzeitig erkannt. Zu begrüssen ist die Überwachung der Zu- und Ausgänge zum Betriebsareal sowohl für den Personenverkehr als auch für Fahrzeuge mittels Strahlenmessgeräten.

Fazit

Bezüglich der Integrität der Zonengrenzen, der Barrieren zwischen Systemen sowie weiteren Anforderungen an die Kontaminationszonen ist das KKL auf dem Stand von Wissenschaft und Technik. Die Anlage erfüllt in diesen Punkten die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben.

3.4.3 Massnahmen zur Reduktion der Dosis und der Kontamination

Angaben des KKL

Source Term Management

Die Massnahmen zur Verhinderung vermeidbarer Aktivierungen sowie zur Reduktion radioaktiver Quellen und Kontaminationen in der Anlage werden vom KKL unter dem Begriff „Source Term Management“ dargelegt^{PSÜ/4}.

Der Kobalt-Gehalt der Komponenten von Brennelementen ist gemäss den Spezifikationen auf ≤ 400 ppm beschränkt. Die Einhaltung dieser Einschränkung wird laufend durch Proben überprüft und in der Enddokumentation festgehalten. Dieses Kriterium entspricht auch den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G11 (mit einem Grenzwert von 500 ppm für Werkstoffe im Neutronenfeld des Reaktorkerns).

Herkömmliche Steuerstäbe vom Typ Original Equipment besitzen Führungsrollen aus der Hartlegierung Stellite^{PSÜ/4}. Dieses Material weist einen hohen Anteil an leicht aktivierbarem Co-59 auf. Eine grosse Zahl dieser Steuerstäbe wurde aus dem Kern entfernt oder auf Stellite-arme Materialien umgebaut. Ende 2015 waren lediglich noch 12 von 149 Steuerstäben des Typs Original Equipment im Kern. Diese werden ebenfalls noch ausgetauscht werden.

Während der Revisionsabstellung 2015 wurde die Führungsbüchse eines Regelventils im Umwälzsystem ausgetauscht^{PSÜ/4}. An der ausgebauten Komponente wurde ein Materialabtrag durch Erosion von ca. 500 g, davon ca. 100 g elementares Kobalt festgestellt. Es muss davon ausgegangen werden, dass dieses durch das Umwälzsystem in den Reaktor gefördert wurde. Eine nennenswerte Generierung von Co-60 mit einer spezifischen Aktivität von $4,2 \cdot 10^{13}$ Bq/g kann nicht ausgeschlossen werden. Das erodierte Bauteil wurde durch ein gleichwertiges ersetzt. Es ist jedoch vorgesehen, im Projekt YUMOD (Projekt Sanierung und Optimierung des Reaktorumwälzsystems) die Regelventile komplett zu eliminieren und damit eine signifikante Kobaltquelle aus dem Kreislauf zu entfernen.

Die Notkühlsysteme befinden sich die meiste Zeit in betriebsbereitem Zustand^{PSÜ/4}. Im stehenden, sauerstoffhaltigen Wasser kommt es auf den benetzten Systemoberflächen zu Korrosion. Diese Korrosionsprodukte können während des Betriebs in den Reaktor gefördert und im Neutronenfeld aktiviert werden. Um diesen Effekt zu minimieren, wurden ab 2014 die Not- und Nachkühlsysteme vor dem geplanten Einsatz gespült. Allfällige Korrosionsprodukte werden durch diese Fahrweise dem Reaktorkreislauf entzogen.

Um den Eintrag von Fremdmaterial in Systeme zu verhindern (Foreign Material Exclusion, FME), gibt es im KKL zwei Arbeitsgruppen und die entsprechenden TQM-Anweisungen^{PSÜ/4}:

- Arbeitsgruppe System- und Komponentensauberkeit
- Arbeitsgruppe Ordnung und Sauberkeit in der Anlage

Durch die Vorgaben der TQM-Anweisungen wird verhindert, dass bei der Instandhaltung an geöffneten Systemen und Komponenten Fremdstoffe eingetragen werden. Dabei wird vor allem präventiv mit Abdeckmassnahmen verhindert, dass Fremdmaterial in ein System gelangt. Nach der Arbeit an relevanten Komponenten wird gereinigt und je nach Sauberkeitsklassen wird vor dem Schliessen der Komponente eine Inspektion und Abnahme mit einem Abnahmeprotokoll durchgeführt. Besonders wird dabei auf die Sauberkeit nach der Bearbeitung von Stellit-haltigen Werkstoffoberflächen (z. B. Stellit-Sitze von Ventilen und Schiebern) geachtet.

Abgereichertes Zink

Für die Kontrolle der Dosisleistung an den Leitungen des Primärsystems im Drywell wird seit 1992 das „General Electric Zinc Injection Passivation System“ eingesetzt. Damit wird an Zn-64 abgereichertes Zinkoxid (Depleted Zinc Oxide, DZO) in das Speisewasser dosiert^{PSÜ/4}.

Von 2006 bis zum Beginn der Wasserstoff- und Edelmetallfahrweise (Hydrogen Water Chemistry/Online Noble Chemical Addition, HWC/OLNC) im Jahre 2008 blieb bei einer Zn-Dosierung ins Speisewasser von ca. 0,22 µg/kg die Zn-Konzentration im Reaktorwasser mit ca. 6,5 µg/kg etwa konstant^{PSÜ/4}. Die Dosisleistung an der Umwälzschleife war ebenfalls stabil bei ca. 1,5 mSv/h. Die Dosierung von Zink wurde in dieser Zeit nicht massgeblich geändert. Mit der Einführung der HWC/OLNC-Fahrweise wurde die Zn-Dosierung auf ca. 0,3 µg/kg erhöht, die Konzentration im Reaktorwasser sank jedoch auf ein Minimum von 3 µg/kg. Durch die HWC/OLNC-Fahrweise wurde das Eisenoxid der CRUD-Ablagerung umstrukturiert und es bildete sich in diesem Übergang lösliches Eisen. Beim Wiedereinbau des Eisens in neue Oxidschichten wurde vermehrt Zink eingebaut. Dies dürfte den beobachteten, erhöhten „Verbrauch“ an Zink zwischen 2009 und 2011 erklären. Nachdem die ODL im Jahr 2011 auf ca. 2,5 mSv/h angestiegen war, wurde die Zinkdosierung weiter auf ca. 0,4 µg/kg erhöht. Die Zn-Konzentration im Reaktorwasser stieg dann über die nächsten zwei Jahre auf 10 µg/kg, und die ODL sank wieder auf etwa 1,6 mSv/h. Die ODL blieb seither etwa konstant. Die CRUD-Umstrukturierung im Reaktor und somit die Verfügbarkeit von Eisen im Reaktorwasser dürfte abgeschlossen sein. Dafür spricht auch, dass sich die Bildung von Hotspots, dies sind Stellen mit einer gegenüber der generellen Raumstrahlung deutlich erhöhten ODL, stabilisiert hat.

Die ODL hat sich seit der Einführung von DZO an den Umwälzschleifen zumindest halbiert^{PSÜ/4}. Ohne DZO hätte mit doppelt so hoher ODL und damit doppelt so grosser Kollektivdosis in jenem Arbeitsbereich gerechnet werden müssen. Die durch dieses Verfahren vermiedene Strahlenbelastung kann daher auf etwa die im Drywell akkumulierten Personendosen im betrachteten Zeitraum geschätzt werden: eine vermiedene Kollektivdosis von 4813 Pers.-mSv ist ein sehr substanzieller Beitrag zum Strahlenschutz. Die Einspeisung von abgereichertem Zink hat sich zur Kontrolle der ODL an Primärsystemen bewährt und wird weitergeführt.

„Hotspot“-Prävention

Das KKL hat festgelegt, dass sogenannte „Hotspots“-Stellen mit einer gegenüber der generellen Raumstrahlung deutlich erhöhten ODL sind. Die Bewertung erfolgt dabei fallweise. Immer als Hotspot deklariert werden Stellen mit einer Kontakt-ODL von über 100 mSv/h.

Bis zur Einführung der HWC/OLNC-Fahrweise war die Hotspot-Situation stationär^{PSÜ/4}. Es gab wenige, gut bekannte Stellen in den Systemen, an denen sich aktivierte Korrosionsprodukte vorzugsweise abgelagert haben. Deren Aktivität änderte sich im Laufe der Jahre kaum. Mit der Einführung von HWC/OLNC kam es zu einer grundlegenden Umstrukturierung der Oxidschichten in den wasserführenden Systemen. Es zeigte sich, dass die aktivierten Korrosionsprodukte mobiler wurden und sich an Stellen akkumulierten, an denen bisher keine derartigen Effekte auftraten. Auch änderte sich die Situation von Jahr zu Jahr. Aktivitätsablagerungen führten lokal zu erhöhten Strahlenfeldern bis in den Sv/h-Bereich.

Wichtigste Massnahme zur Hotspot-Prävention ist, die Aktivitätsmobilisierung und den Transport in den Systemen zu unterbinden^{PSÜ/4}. Erfahrungen mit der Wasserchemie lassen erwarten, dass sich im Laufe der Zeit wieder stabile Oxidschichten einstellen werden. Auch wurde der Betrieb des Reaktors beim Abfahren durchleuchtet. Eine schonende Fahrweise, „Soft Shutdown“ genannt, wurde erstmals zur Revisionsabstellung 2014 angewandt. Die Ergebnisse waren ermutigend und zeigten weiteres Optimierungspotential auf. Eine nochmals

angepasste Fahrweise kam in der Revisionsabstellung 2015 zur Anwendung. Wie in Abbildung 3.4-1 exemplarisch gezeigt, konnte damit der fortwährende Anstieg der ODL am System zur Nachzerfallwärmeabfuhr (Residual Heat Removal, RHR) unterbrochen werden.

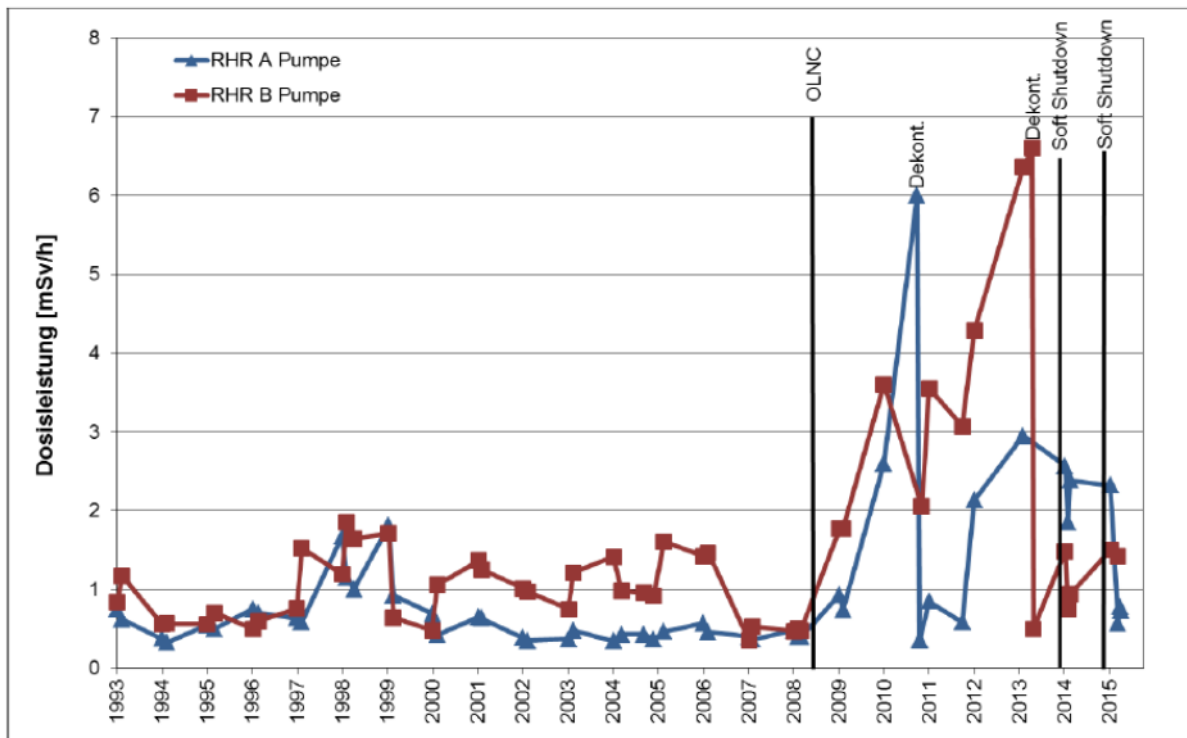


Abbildung 3.4-1: ODL-Verlauf an den RHR-Pumpen

Präventive Reinigung von benetzten Oberflächen

Die Beschaffung von grösseren Komponenten oder Teilsystemen wird als Projekt abgewickelt^{PSÜ/4}. In diesen Projekten wird die Anforderung an die Sauberkeit der Medium-benetzten Oberflächen definiert. Der „nicht sichtbaren Oberflächensauberkeit“ durch Stoffe, die die Anlage schädigen können, z. B. Chlorid, Sulfat, TOC (Total Organic Carbon, Organische Kohlenstoffverbindungen), wurde eine erhöhte Aufmerksamkeit zugeteilt, da die Sensibilität bei potentiellen Zulieferanten für die Kernenergie im Vergleich zu früher nicht mehr sichergestellt ist^{PSÜ/4}. Wenn die Anforderungen im Beschaffungsprozess klar definiert sind, und entsprechende Prüfschritte in die Bauprüfpläne eingebaut werden, kann die erforderliche Qualität sichergestellt werden.

Foreign Material Exclusion (FME)

Die Basis zur Vermeidung von Fremdkörpereintrag bildet die Vorschrift Sauberkeitsordnung in Komponenten und Systemen, die bereits 1995 erstellt wurde^{PSÜ/4}. Eine konstante Dokumentenpflege hielt die Vorschrift aktuell, sodass neue Erkenntnisse stets einfließen. Im Jahr 2008 wurde z. B. der chemische Eintrag als FME betrachtet und neu mit in die Vorschrift aufgenommen. Dieses neue Kapitel beschreibt die Klassifizierung, Anwendungsbereiche und den richtigen Einsatz dieser Stoffe. Im Jahr 2011 wurden mitgeltende Dokumente ergänzt und bestehende Vorschriften aktualisiert. Die Definition und die Kennzeichnung von FME-Zonen rund um das Reaktorbecken und um das Brennelemente-Lagerbecken, wurden 2013 unter anderem auch gemäss einer Empfehlung der WANO (World Association of Nuclear Operators, Weltverband der Kernkraftwerksbetreiber) umgesetzt. Das Dokument wurde 2015 zugunsten eines besseren Verständnisses und der leichteren Vermittelbarkeit des Inhalts generell überarbeitet und vereinfacht. Eine Massnahme war das Zusammenfassen der bislang fünf auf neu drei Sauberkeitsstufen.

Seit der Revisionsabstellung 2006 wurden alle Systeme und Komponenten, die direkt ohne Filter oder Absetzbecken zum Reaktor führen, einer visuellen Kontrolle auf FME unterzogen^{PSÜ/4}. Sie sind in der Sauberkeitsstufe 1 eingeteilt und zusätzlich mit einem Pluszeichen versehen. Das Pluszeichen löst immer eine etablierte

Inspektion auf Fremdkörperfreiheit durch eine unabhängige Stelle vor dem Öffnen und vor dem Verschliessen der Systeme und Komponenten aus. Neben diesen mit der Sauberkeitsstufe 1+ klassierten Systeme und Komponenten können die verantwortlichen System- und Komponentenbetreuer weitere sicherheits- oder verfügbarkeitsrelevante Systeme auf Fremdkörperfreiheit inspizieren lassen. Für diese umfangreichen Inspektionen wurde zur Unterstützung in der Abwicklung eine externe Firma evaluiert, die mit entsprechendem zusätzlichem Spezialequipment zum Lokalisieren und Bergen von Fremdkörpern ausgerüstet ist. Das zusätzliche Personal, mit Erfahrung in der Bergung von Fremdkörpern, war bei grösseren Instandhaltungsmassnahmen wie einer Divisionsrevision an Not- und Nachkühlsystemen sowie während der gesamten Dauer der Revisionsabstellung vor Ort verfügbar und per Direktabruf in die geforderten Inspektionen und Dokumentationen involviert.

2007 startete die jährlich wiederkehrende Sauberkeitsschulung für interne und externe Mitarbeitende zur Sensibilisierung auf die Vermeidung von Fremdkörpereintrag und die damit verbundene Problematik.

Anlagengefährdende Stoffe

Als „anlagegefährdende Stoffe“ werden Produkte bezeichnet, die bei der Instandhaltung und Montage oder während des Betriebs mit Medien oder Oberflächen kerntechnischer Anlagen in Berührung kommen können und Stoffe enthalten, die schädliche Auswirkungen auf Werkstoffe haben, die Funktionalität von Systemen oder die Qualität von Betriebsmedien negativ beeinflussen^{PSÜ/4}.

Alle verwendeten Produkte wurden und werden einer Verträglichkeitsprüfung und einer Kennzeichnung unterzogen. Damit werden bei deren Anwendung die Gefahren für die Anlage und die konventionellen Gefahren, die sich aus der Unkenntnis über die Produktzusammensetzung und deren Schadstoffgehalt ergeben, minimiert. Die Verträglichkeitsprüfung wird zur Beurteilung folgender Risiken durchgeführt:

- Halogene (Chlor, Fluor, Brom) sowie schwefelhaltige Stoffe können Spannungsrisskorrosion in sensitiven Werkstoffen verursachen.
- Kobalt, Zink, Nickel, Silber und andere Elemente können im Reaktor aktiviert werden und führen zu erhöhten Strahlenbelastungen oder Kontaminationsverschleppungen.

Je nach Anwendungsbereich und Inhaltsstoffen werden die Produkte in Gefährdungsklassen eingeteilt, die den möglichen Anwendungsbereich spezifizieren. Die Informationen über die Produkte werden in einer Datenbank gespeichert.

Gebäudereinigung in der kontrollierten Zone

Ziel der Gebäudereinigung innerhalb der kontrollierten Zone ist die Verhinderung von Kontaminationsverschleppungen (Dekontreinigung)^{PSÜ/4}. Ziel der Reinigung im Bereich der Zonengarderobe ist die Aufrechterhaltung des Zonenkonzepts, das heisst, der definierten Trennung von „aktiven“ und „inaktiven“ Bereichen sowie von hygienischen Standards. Ziel der Reinigung im Bereich der Schleusen ist die Verhinderung von Kontaminationsverschleppungen aus der kontrollierten Zone in die Schleusen und von dort auf das Areal.

Der Reinigungszustand der kontrollierten Zone wird als Indikator für die Sicherheitskultur bewertet. Der angestrebte Zustand richtet sich auch nach der damit verbundenen Strahlenexposition für das Reinigungspersonal. In Bereichen mit hoher Ortsdosisleistung wird eine Restkontamination akzeptiert. Diese äussert sich in den zu verwendenden Schutzmitteln, welche im Zonenkonzept festgelegt sind. Grundsätzlich wird der in den Zonenplänen definierte Zustand angestrebt.

Es kam zu einigen Vorfällen, bei denen durch die Dekontreinigung eine weitere Kontaminationsverschleppung verhindert werden konnte^{PSÜ/4}. Wenn immer möglich wurde die Kontamination zeitnah beseitigt.

Systemdekontamination

Unter Systemdekontamination wird die Entfernung von Aktivität aus Komponenten oder Systemen im eingebauten Zustand verstanden^{PSÜ/4}. Systemdekontaminationen kamen vor allem zur Reduktion der Dosisbelastung des Personals während Instandhaltungs- und Inspektionsarbeiten zur Anwendung. Die Dekontaminationsfaktoren lagen zwischen fünf und über 1000, sie waren bei Einzelkomponenten wie bei Pumpen höher,

als bei ganzen Systemen. Dies ist zu erwarten, da die Verfahrenstechnik zur Dekontamination bei ausgedehnten Systemen deutlich komplexer ist.

Lüftungsbetrieb

Die Abluft aus der kontrollierten Zone wird mit einer Ausnahme über Schwebstofffilter geführt und danach kontrolliert und bilanziert über den Kamin an die Umgebung abgegeben^{PSÜ/4}. Die Ausnahme betrifft die Abluft aus dem Spezial-Emergency-Heat-Removal-System (SEHR)-Gang, welche ohne Filtrierung und Bilanzierung mit den Abgasen der Notstromdiesel vermischt und abgegeben wird. Während Arbeiten an kontaminierten Komponenten, insbesondere den SEHR-Hauptpumpen, wird daher eine temporäre Lüftung eingerichtet, welche die Abluft filtrierte dem regulären Abgabepfad zuführt. Eine Anlagenänderung zur Herstellung eines zum Zonenkonzept konformen Zustands wurde evaluiert. Die technischen Schwierigkeiten zur Realisierung waren jedoch so gross, dass in Anbetracht der Seltenheit dieser Situation (zwei bis drei Wochen in einer Sieben-Jahresperiode) darauf verzichtet wurde. Es wird jeweils auf die temporäre Installation zurückgegriffen.

Eigenbewertung des KKL

Die beschriebenen, durchgeführten Anpassungen und Aktionen in den vergangenen zehn Jahren haben zur stetigen Verbesserung im Bereich FME im KKL beigetragen^{PSÜ/4}. Die Akzeptanz und die Anwendung der FME-Vorgaben konnten durch Vereinfachung des Konzepts, durch gezielte wiederkehrende Schulungen, durch die Signalisation sowie durch die gezielte Bereitstellung von Materialien vor Ort erhöht werden. Aufgrund zugesicherten und gelebten Verzichts auf Sanktionen hat sich auch die Meldekultur bei Fremdmaterialeintrag stetig verbessert. Die durchaus vorhandenen aber vor Inbetriebsetzung von Systemen geborgenen Fremdkörper sind ein weiteres positives Indiz für das vorhandene und weiterentwickelte FME-Konzept im KKL.

Es gab keine meldepflichtigen Personenkontaminationen^{PSÜ/4}. Die Zahl der Bagatellkontaminationen liegt deutlich unter 1 %. Der Sauberkeitszustand der Anlage war hoch, wie anlässlich von Inspektionen und Begehungen von externen Stellen wiederholt konstatiert wurde. Die Gebäudereinigung erreichte die gesetzten Ziele.

Die Dosisersparung durch eine Systemdekontamination kann nicht gemessen, sondern lediglich geschätzt werden^{PSÜ/4}. Diese betrug typischerweise mehrere 100 Pers.-mSv pro Systemdekontamination. Es wurde darauf geachtet, dass möglichst viele Arbeiten von den günstigen Bedingungen nach einer Systemdekontamination profitieren konnten. Nebst der eingesparten Kollektivdosis hat eine Systemdekontamination auch einen erheblichen Einfluss auf die Individualdosis. Einzelne Tätigkeiten hätten ohne vorgängige Dekontamination zu derart hohen Individualdosen bei Fachspezialisten geführt, dass es zur Überschreitung von Dosislimits gekommen wäre.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- StSG^{StSG}
- StSV^{StSV}
- Richtlinie ENSI-G15^{G15}
- IAEA Safety requirements No. GSR Part 3^{GSR-3}
- NEA-Report 6399^{NEA-6399}

Beurteilung des ENSI

Source Term Management

Das KKL hat durch den Austausch und den Umbau von Steuerstäben mit Stellite-armen Führungsrollen eine wesentliche Quelle für den Eintrag von Co-59 in das Primärsystem und damit die Bildung von Co-60 eliminiert. Eine weitere Quelle für den Eintrag von Co-59 sind die beiden Führungsbuchsen der Regelventile im Umwälzsystem. Mit dem Umbau der Umwälzschleifen (Projekt YUMOD) werden die Regelventile und damit ein massiver Kobalteintrag entfallen.

Das Spülen der Not- und Nachkühlsysteme mit sauberem Wasser vor einem geplanten Einsatz liefert einen wertvollen Beitrag zur Minimierung von aktivierbaren Korrosionsprodukten im Primärkreislauf. Die Einspeisung von DZO in das Speisewasser hat sich bewährt und soll weitergeführt werden. Durch den Einsatz von DZO lagen die Dosisleistungen an der Umwälzschleife im Überprüfungszeitraum fast immer unterhalb des angestrebten Werts von 2 mSv/h.

„Hotspot“-Prävention

Durch eine schonende Fahrweise konnte die Mobilisierung und der Transport der Aktivität in die Systeme und damit die Dosisleistungen in diesen Bereichen deutlich minimiert werden. Die negative Auswirkung der Einführung der HWC/OLNC-Fahrweise (vgl. Kap. 3.5), die Mobilisierung von Hotspots, wurde gemildert.

Foreign Material Exclusion (FME)

Die Massnahmen zur Verhinderung des Eintrags von Fremdmaterial in Systeme werden im KKL konsequent und erfolgreich umgesetzt.

Anlagengefährdende Stoffe

Durch Verträglichkeitsprüfung und Kennzeichnung aller in der Anlage verwendeten Produkte werden anlagengefährdende Stoffe erfolgreich gehandhabt und, wenn immer möglich, ausgeschlossen.

Gebäudereinigung in der kontrollierten Zone

Im KKL wird eine konsequente Reinigung durchgeführt. Bei Inspektionen des ENSI konnte mit wenigen Ausnahmen eine radiologisch sehr saubere Anlage festgestellt werden. Kontaminationen lassen sich bei Arbeiten in einem Kernkraftwerk nie vollständig vermeiden. Die Reinigung hat Kontaminationen zeitnah beseitigt und Verschleppungen verhindert.

Systemdekontaminationen

Das ENSI stellt fest, dass im KKL Systemdekontaminationen erfolgreich durchgeführt wurden. Dadurch konnten hohe Personendosen vermieden werden.

Lüftungsbetrieb

Die Abluft aus der kontrollierten Zone wird mit einer Ausnahme über Schwebstofffilter geführt. Die eine Ausnahme bildet die radiologisch unbedenkliche Abluft aus dem SEHR-Gang. Nach Auffassung des ENSI ist diese Ausnahme aufgrund der vom KKL temporär installierten Lüftungsinstallationen mit den Anforderungen an den Strahlenschutz vereinbar.

Fazit

Der betriebliche Strahlenschutz ist in Übereinstimmung mit dem ALARA-Prinzip weitgehend optimiert. Verbesserungspotentiale bei dem Einsatz Stellite-haltiger Komponenten wurden erkannt und zum Teil umgesetzt. Weitere Verbesserungen wie der Umbau des Umwälzsystems sind geplant. Der Optimierungsprozess wird aus Sicht des ENSI gelebt. Dem engen Zusammenhang zwischen Ortsdosisleistung an den Komponenten des Primärkreislaufs, Fremdstoffeintrag und Wasserchemie wird im KKL fachübergreifend Rechnung getragen.

3.4.4 Begrenzung und Optimierung der Strahlenexposition des Personals

Angaben des KKL

Individualdosis

Beim Eigenpersonal konnte die maximale Individualdosis ausnahmslos unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts von 20 mSv/a und sogar unterhalb der administrativen Limite von 10 mSv/a gehalten werden^{PSÜ/4}. In den vergangenen zehn Jahren ist keine Abnahme mehr zu verzeichnen. Der Betrieb und die Instandhaltung der Anlage erfordern das Ausschöpfen dieser Schwelle.

Beim Fremdpersonal kam es zu einer Überschreitung von Grenzwerten zur Individualdosis (Vorkommnis „Überschreitung der zulässigen Strahlenexposition einer Person bei Instandhaltungsarbeiten“). Bei Taucharbeiten im Brennelement-Transferbecken führte das Einsammeln eines unbekanntes Gegenstandes zu einer erhöhten Strahlenbelastung des Tauchers (Ganzkörperdosis: 28 mSv, Handdosis: bis zu 7,5 Sv). Es handelte sich dabei um ein Teilstück der Reaktorkerninstrumentierung „Drytube“, welches im Rahmen früherer Instandhaltungsarbeiten ausgetauscht worden war. Es ist davon auszugehen, dass bei dessen Transport unbemerkt ein Stück abgebrochen, in das Transferbecken gefallen und seitdem dort liegen geblieben war. Als wichtigste Korrekturmassnahme wurde die radiologische Überwachung des Tauchers, basierend auf der Technologie von Funkdosimetern, deutlich ausgeweitet. Der Taucher erlitt keine gesundheitlichen Schäden. Ab der Revisionsabstellung 2012 wurde der Tauchbetrieb wieder aufgenommen. Es kam zu keinen Unregelmässigkeiten mehr.

Das KKL überwacht beim Fremdpersonal die zugeteilten Dosiskontingente^{PSÜ/4}. Obwohl hier kein Ziel zur Einhaltung von 10 mSv/a gesetzt wurde, sind nur vereinzelt Personen mit mehr als diesem Wert zu verzeichnen. Dies sind meist ausgewiesene Spezialisten. Eine Substitution durch weniger ausgewiesene Kräfte würde zu einer Erhöhung der Kollektivdosis und allenfalls zu Qualitätsmängeln bei der Arbeitsausführung führen, was nicht erwünscht ist. Auch hier ist kein klarer Trend zu verzeichnen.

Das gesamte in der kontrollierten Zone tätige Personal wurde mindestens zweimal jährlich, vor und nach der Revisionsabstellung, auf dem Triageinkorporationsmonitor auf das Vorhandensein von Inkorporationen geprüft. Es gab einen Befund (Vorkommnis „Inkorporation radioaktiver Stoffe durch Instandhaltungspersonal“). In der Revisionsabstellung 2008 wurden vier Inkorporationen radioaktiver Stoffe festgestellt, nachdem es während Schleifarbeiten im Drywell zu einer unkontrollierten Aerosolausbreitung gekommen war. Das mit den Arbeiten befasste Personal trug vorschriftsgemäss Schutzmasken, weitere sich in der Nähe befindliche Personen jedoch nicht. Bei letzteren wurde in der Folge eine geringfügige Inkorporation detektiert. Alle Inkorporationsdosen blieben aber kleiner als 1 mSv und damit weit unterhalb des gesetzlichen Grenzwerts. Als Folge-massnahme wurde der Bau eines „Zeltes“ bei zukünftigen gleichgearteten Arbeiten in den Arbeitsanweisungen des Strahlenschutzes vorgeschrieben. Ausserdem wurde dieser Vorfall zum Anlass für den Ersatz der Instrumente zur Aerosolüberwachung und der Schutzmasken genommen. Die übrigen Grenzwerte für Haut, Extremitäten, Augenlinse, junge Personen, Frauen und nichtberuflich strahlenexponierte Personen wurden für Eigen- und Fremdpersonal eingehalten^{PSÜ/4}. Personenkontaminationen, die sich nicht mit einfachen Mitteln beheben lassen, wurden nicht verzeichnet.

Jobdosis

Das Öffnen und Schliessen des Reaktors ist eine wiederkehrende Arbeit, die deshalb gut über die Jahre verglichen werden kann^{PSÜ/4}. Die Jobdosis für diese Tätigkeiten hat zugenommen. Die identifizierten Korrekturmassnahmen führten zu keiner nachhaltigen Verbesserung, ab der Revisionsabstellung 2012 waren wiederholt hohe Werte zu verzeichnen. Das Schliessen des Reaktors verursachte in der Revisionsabstellung 2015 eine speziell hohe Dosis. Diese ist erklärbar mit dem Versagen des Polarkrans bei angehängtem Reaktordeckel (Vorkommnis „Ausfall des Polarkrans beim Absetzen des Druckgefässdeckels“). Dieser Zustand, bei leerer Reaktorgrube und daher erhöhter ODL, dauerte mehrere Tage an. Die Überschreitung der geplanten Jobdosis von 48 Pers.-mSv war massgeblich durch diese Situation und die Reparaturarbeiten am Kran verursacht.

Es gibt eine Korrelation der Jobdosis mit der ODL in der Reaktorgrube^{PSÜ/4}. Die Korrelation ist besonders ausgeprägt beim Öffnen, wogegen beim Schliessen grundsätzlich höhere Jobdosen anfallen. Das Letztere ist mit dem grösseren Arbeitsaufwand zu begründen. Massnahmen zur Dosisreduktion müssen daher primär an der ODL ansetzen. Unabhängig von der Ursache ist eine vermehrte Dekontamination der Reaktorgrube angezeigt.

Für Jobs, die ein Dosisplanungsziel von über 50 Pers.-mSv aufweisen, wird in der Richtlinie ENSI-G15 gefordert, eine detaillierte Strahlenschutzplanung zu erstellen. Die Dosisplanungsziele und die Ist-Werte stimmten meistens im Rahmen der Planungsgenauigkeit überein^{PSÜ/4}. Wo es zu deutlichen Überschreitungen kam, wurden die Umstände mittels eines Ereignisberichts abgeklärt und Korrekturmassnahmen eingeleitet. Eine grössere Unterschreitung (Ist-Wert 26 Pers.-mSv, Plan-Wert 241 Pers.-mSv) trat beim Projekt ZENT (Zwischenlager und Entsorgung, Bau der Aktivlagerhalle ZL6) auf. Drei Umstände haben dazu geführt:

- Die Ortsdosisleistung an den zukünftigen Arbeitsplätzen auf der Baustelle konnte wegen Unzugänglichkeit nicht gemessen werden. Es kam ein Berechnungsmodell zum Einsatz, welches deutlich zu hohe Werte ausgab. Diese flossen in die Planung ein und ergaben ein zu konservatives Resultat.
- Mehrere Terminverschiebungen im Projektplan führten dazu, dass wesentliche Arbeiten während den Revisionsabstellungen ausgeführt wurden. In dieser Zeit bestand keine Strahlenbelastung auf der Baustelle, da die Strahlenquelle (N-16-Strahlung aus dem Maschinenhaus) nicht existent war.
- Bei Baubeginn wurde entschieden, eine permanente Strahlenschutzaufsicht einzusetzen. Diese konnte auch im Kleinen auf das Verhalten der Bauarbeiter einwirken und so zu einer Optimierung der Strahlenbelastung beitragen.

Revisionsdosis

Die maximale Überschreitung der Revisionsdosis gegenüber dem Dosisplanungsziel beträgt 6 %^{PSÜ/4}. In Anbetracht des Messfehlers in der Dosimetrie von $\pm 10\%$ liegen die Ist-Werte in einem vernünftigen Verhältnis zu den Dosisplanungszielen. In der Mitte des Überprüfungszeitraums ist ein jährlicher Wechsel zwischen höheren und tieferen Dosen ersichtlich. Dies widerspiegelt die Revisionsdauer und damit den Umfang der ausgeführten Arbeiten. Um diesen Effekt auszugleichen ist auch die Kollektivdosis pro Revisionstag zu betrachten. Diese pendelt zwischen 25 und 35 Pers.-mSv/Tag. Es ist kein eindeutiger Trend ersichtlich.

Der internationale Vergleich zeigt, dass die Revisionsdosis des KKL unter der mittleren Revisionsdosis seiner Schwesteranlagen (Cofrentes, Kuosheng, Clinton, Perry, Grand Gulf, River Bend) lag^{PSÜ/4}. Mit Ausnahme der Revisionsabstellung 2012 lag sie auch unter der mittleren Revisionsdosis der in der Datenbank der ISOE (Information System on Occupational Exposure) aufgeführten BWR-Anlagen. Es ist jedoch auch zu erkennen, dass der „Vorsprung“ im Laufe der Jahre kleiner wird. Die Daten zu 2015 lagen bei Redaktionsschluss für die PSÜ 2016 noch nicht vor.

Jahresdosis

Wie bei der Revisionsdosis sind die Abweichungen zwischen Ist- und Sollwerten der Jahresdosis gering^{PSÜ/4}. Im Jahr 2008 kam es zu einer Überschreitung des Dosisplanungsziels. Dies war dadurch begründet, dass bei der Festlegung des Ziels der Arbeitsumfang der Revisionsabstellung noch nicht genau bekannt war. Dieser wurde später noch erweitert. Im Jahr 2015 wurde durch eine Havarie des Polarkrans die Revisionsabstellung um einige Tage verlängert, was zu einer geringfügigen Überschreitung des Dosisplanungsziels führte. Um Planungsschwierigkeiten wie im Jahr 2008 zu begegnen, wurde ab 2009 das Jahresziel erst nach Festsetzen des Revisionsziels, einige Wochen vor der Revisionsabstellung, bestimmt.

Die Jahresdosis des KKL nähert sich derjenigen seiner Schwesteranlagen und der gesamten BWR-Flotte an, respektive in den letzten Jahren übersteigt sie diese^{PSÜ/4}. Dies ist massgeblich dadurch zu erklären, dass die Vergleichsanlagen weitgehend 18- oder sogar 24-Monatszyklen für ihre Revisionsabstellung haben. Jedes dritte oder gar zweite Jahr fällt unter diesem Regime die Revisionsdosis weg, mit wesentlichem Einfluss auf die Jahresdosis.

Es muss jedoch auch konstatiert werden, dass das KKL ausserhalb der Revisionsabstellung mehr Dosis akkumuliert als vergleichbare Anlagen^{PSÜ/4}. Ursache dafür sind primär die Divisionsrevisionen. Das KKL ist durch seinen hohen Redundanzgrad überhaupt erst fähig, während des Leistungsbetriebs Notkühlsysteme zu warten. Andere Anlagen haben diese Möglichkeit nicht. Naturgemäss bleibt dort die Dosis ausserhalb der Revisionsabstellung kleiner.

Weitere Begründungen für einen zunehmenden Trend sind^{PSÜ/4}:

- Der Generationswechsel ist im Gange. Erfahrene Mitarbeiter verlassen die Organisation. Neue Mitarbeitende brauchen Einarbeitung und sind noch nicht so routiniert beim Verrichten von Tätigkeiten im Strahlenfeld.
- Die Anlage wird älter, die Anfälligkeit für aufwändige Reparaturen steigt. Dies hat sich exemplarisch an der Reparatur eines Speisewasser-Stutzens in der Revisionsabstellung 2012 gezeigt.
- Das Regelwerk wird dichter. Dies äussert sich beispielsweise im steigenden Aufwand für Wiederholungsprüfungen.
- Die Kontamination von einigen kritischen Systemen wie dem Not- und Nachkühlsystem hat zugenommen. Mehrdosis bei der Instandhaltung ist die Folge.
- Dosisintensive Grossprojekte: PEAK (Projekt zur Entsorgung von ausgebauten Kernkomponenten), ZENT, YUMOD.
- Der Arbeitsaufwand wurde generell höher.

Arbeitsplatzspezifische Massnahmen

Zur Reduktion der Ortsdosisleistung an Arbeitsplätzen werden bei Bedarf temporäre Abschirmungen aufgebaut^{PSÜ/4}. Dies ist vor allem während Instandhaltungsarbeiten notwendig. Standardverfahren ist, ein Gerüst zu erstellen, woran Bleimatten von 6 mm Stärke befestigt werden. Zur Erhöhung des Schwächungsfaktors können auch mehrere Lagen übereinander geschichtet werden. Limitierend ist hier die Belastung durch das Gewicht der Abschirmung. In Einzelfällen kommen auch Wasserabschirmungen zum Einsatz. Diese haben den Vorteil, dass sie erst nach der Montage befüllt werden. Die Handhabung kann also mit deutlich verringerten Gewichten erfolgen.

Das Abschirmpersonal weist die höchsten Individualdosen im KKL auf^{PSÜ/4}. Beim Aufbau einer temporären Abschirmung wird daher immer eine Dosisabwägung vorgenommen. Die mit der Montage verbundene Strahlenexposition soll in einem vernünftigen Verhältnis zur Dosisersparnis am Arbeitsplatz stehen.

Abschirmungen können den Zugang zu dahinter liegenden Komponenten behindern. Das Aufsuchen von Komponenten wird dadurch auch erschwert. Ab 2011 wurde daher begonnen, die Abschirmung mit dem Anlagenkennzeichen der dahinter liegenden Armatur zu beschriften. Für das Betriebspersonal ergab sich dadurch eine Vereinfachung beim Aufsuchen von Komponenten.

Temporäre Abschirmungen sind eine bewährte Massnahme zur Reduktion von Jobdosen.

Der technologische Fortschritt eröffnete nach der Jahrtausendwende die Möglichkeit, die Signale von elektronischen Personendosimetern fern zu übermitteln^{PSÜ/4}. Diese sogenannten Funkdosimeter wurden erstmals in der Revisionsabstellung 2011 zum Einsatz gebracht. Sie ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der Mitarbeitenden am Arbeitsplatz hinsichtlich Personendosis und Ortsdosisleistung. Für Taucherarbeiten wird ein spezifisches System verwendet. Die Kriterien zur Anwendung sind im TQM festgelegt^{P04-03-wa-12}. Nach anfänglicher Skepsis ist die Akzeptanz für diese Technologie bei den Anwendern, den Strahlenschutz-Fachkräften, hoch^{PSÜ/4}. Funkdosimeter sind mittlerweile für gewisse Arbeiten zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel geworden.

Videokameras kommen einerseits als Überwachungsinstrument des Strahlenschutzes für Arbeitsplätze zum Einsatz^{PSÜ/4}. Sie erlauben eine lückenlose Überwachung, ohne dass sich Strahlenschutzpersonal selbst im

Strahlenfeld aufhalten muss. Als besonders geeignet erwies sich die Kombination mit Funkdosimetern. Andererseits werden Kameras zur Erhöhung der Prozesssicherheit verwendet. Fernbediente Werkzeuge wie Schweißroboter oder Ultraschallköpfe können mittels Kameras sehr effizient überwacht und gesteuert werden. Die Videomonitore werden in einem Gebiet tiefer Ortsdosisleistung aufgestellt. Ein Aufenthalt vor Ort ist nur noch zum Einrichten der Gerätschaften oder zur Störungsbehebung erforderlich. Die Strahlenexposition des Bedienpersonals sank markant.

Im Maschinenhaus wurde in den Revisionsabstellungen 2006 und 2007 ein ganzes System bestehend aus 46 Kameras nachgerüstet^{PSÜ/4}. Da die Strahlenbelastung ein Problem für die Alterung der Kameraelektronik darstellt, wurde jede Kamera mit einem Abschirmgehäuse versehen. Dieses wurde vom KKL selbst ausgelegt und gefertigt. Das Kamerasystem erlaubt es, weitgehend auf Rundgänge im Strahlenbereich zu verzichten. Die Dosisersparung beträgt 30–40 Pers.-mSv/a. Das System hat sich bewährt, wird akzeptiert und benützt.

Seit geraumer Zeit bestand das Ansinnen, im Drywell eine analoge Installation vorzunehmen^{PSÜ/4}. Verschiedene Versuche scheiterten, weil die zusätzlich vorhandene Neutronenstrahlung die Kameraelektronik beeinträchtigte, respektive zerstörte. Zur Überwachung der Umwälzpumpen wurden schliesslich drei strahlenresistente Kameras installiert, die einen Zyklus lang funktionsfähig blieben. Danach erfolgt ein präventiver Tausch der empfindlichen Bauteile. Es ist vorgesehen, vier Kameras der gleichen Bauart während der Revisionsabstellung 2016 im Dampftunnel zu installieren. In beiden Fällen besteht der Gewinn darin, aus Bereichen, die wegen der sehr hohen Strahlung während des Betriebs gänzlich unzugänglich sind, ein Minimum an visueller Überwachung zu erlangen.

Im Bereich Verfestigung/Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen wurde das bestehende Kamerasystem altershalber ersetzt und erweitert^{PSÜ/4}. Die Qualität der übermittelten Bilder wurde verbessert. Damit können die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G04 bezüglich Inspektion an Abfallgebinden ohne zusätzliche Personendosen erfüllt werden.

Manipulatoren sind Geräte, welche erlauben den Abstand zur Strahlenquelle zu vergrössern. Typisches Einsatzgebiet sind die zerstörungsfreien Prüfungen an Schweißnähten mittels Ultraschall oder Wirbelstrom. Dadurch können dosisintensive Handprüfungen vermieden werden. Zu Beginn arbeiteten einige Manipulatoren noch nicht zuverlässig. Die Manipulatoren wurden technisch kontinuierlich weiteroptimiert, um eine einfache und damit schnelle Installation zu ermöglichen. Mittlerweile liegen ausgereifte Geräte vor. Durch die zunehmende Betriebserfahrung der Bedienungsmannschaft stieg die Zuverlässigkeit des Verfahrens. Damit sinkt das Risiko von Störungen, Nacharbeit und der damit verbundenen Strahlenbelastung.

Besondere Bedeutung erhielt der Manipulator, welcher die Reparaturschweissung am Speisewasserstutzen N5 vornahm^{PSÜ/4}. Er kam in einem Bereich mit hoher lokaler Strahlung direkt am RDB zum Einsatz. Bei händischer Schweissung wären über 1,3 Pers.-Sv Jobdosis angefallen. Die zur Einhaltung der Individualdosislimits benötigte Anzahl qualifizierter Schweisser wäre nicht verfügbar und die Reparatur damit in Frage gestellt gewesen.

Weitere Manipulatoren kamen bei der Inspektion von Brennelementen, Kerneinbauten, dem Projekt PEAK, der Entfernung von Hotspots, der Beckenreinigung und der Handhabung von radioaktiven Betriebsabfällen zum Einsatz^{PSÜ/4}. Sie sind unverzichtbare Werkzeuge für den Umgang mit starken Strahlenquellen.

Strahlenschutzplanung

Die Richtlinie ENSI-G15 schreibt vor, dass bei Arbeiten mit einer voraussichtlichen Kollektivdosis von mehr als 50 Pers.-mSv eine Strahlenschutzplanung erstellt und dem ENSI vorgelegt wird. In den KKL-internen Weisungen ist festgelegt, dass schon für Arbeiten über 10 Pers.-mSv eine Strahlenschutzplanung erstellt wird. Dies erfolgt üblicherweise nach einem standardisierten Verfahren, welches alle strahlenschutzrelevanten Gesichtspunkte behandelt. Das Ermitteln des Gefährdungspotentials, das Festlegen von Massnahmen und die Überwachung der Personen und Arbeitsplätze sind die wichtigsten Inhalte. Ausserdem werden Arbeitsabläufe und organisatorische Belange geregelt.

Das Verfahren zur Strahlenschutzplanung wurde kontinuierlich verbessert^{PSÜ/4}. Mittlerweile ist ein so guter Stand erreicht worden, dass das Verfahren als Schulungsbeispiel für die Ausbildung von Technikern an der PSI-Strahlenschutzschule herangezogen wird.

Eine Herausforderung ist und bleibt das Einbinden der Arbeitsverantwortlichen in die Strahlenschutzplanung^{PSÜ/4}. Nur eine enge Zusammenarbeit zwischen Instandhaltung und Strahlenschutz führt zu einer abgestimmten Planung und in der Folge zu optimalen Arbeitsergebnissen. Dies ist eine Daueraufgabe.

Einschränkung von Parallelarbeiten

Bei parallelen Tätigkeiten kann das radiologische Gefährdungspotential des einen auf den anderen Arbeitsplatz übergreifen. Für gewisse Tätigkeiten mit erhöhtem Risikopotential wurden daher Parallelarbeiten grundsätzlich eingeschränkt. Es sind dies Arbeiten mit frisch bestrahlten Brennelementen im Becken des Brennelementlagergebäudes, Revisionsarbeiten im Drywell mit maximal 50 Personen, Arbeiten innerhalb des Abluftkamins und Durchstrahlungsprüfungen. Obwohl es dadurch zu Einschränkungen in der Arbeitsplanung kommt, ist die Akzeptanz dieser Regeln hoch^{PSÜ/4}. Diese administrativen Massnahmen haben dazu beigetragen, dass ungeplante Strahlenexpositionen vermieden werden konnten.

Einhausungen von Arbeitsplätzen

Während der Revisionsabstellung 2008 fand eine luftgetragene Kontaminationsverschleppung aus einer geöffneten, heissen Armatur über den eigentlichen Arbeitsplatz hinaus statt^{PSÜ/4}. Dies führte zu einem Inkorporationsvorkommnis (Vorkommnis „Inkorporation radioaktiver Stoffe durch Instandhaltungspersonal“). Als Korrekturmassnahme wurde das Errichten einer Einhausung für Arbeitsplätze mit hohem Freisetzungsrisiko zwingend vorgeschrieben. In der Aktivwerkstatt, wo regelmässig aerosolbildende Tätigkeiten wie Schleifen an stark kontaminierten Systemen stattfinden, wurden permanente Zelte installiert. Ausserdem wurden für stark kontaminierte, heisse Systeme eine minimale Abkühlzeit von 5,5 Tagen vorgeschrieben, bevor das System gebrochen werden darf^{PSÜ/4}. Seit der Einführung dieses Regimes kam es zu keinen Kontaminationsverschleppungen aufgrund fehlender Einhausungen mehr.

Personenbezogene Massnahmen

In der kontrollierten Zone werden je nach Erfordernis unterschiedliche Schutzanzüge und gegebenenfalls Atemschutz getragen.

Die externe Strahlenexposition des in der kontrollierten Zone tätigen Eigen- und Fremdpersonals wird mindestens mittels zweier voneinander unabhängiger Systeme erfasst^{PSÜ/4}:

- Anerkanntes Dosimeter DIS (Direct Ion Storage).
- Elektronisches Personen-Dosimeter (EPD). Dieses dient neben der raschen Dosiserfassung und Jobzuteilung auch als akustisches Warngerät für das Personal bei Überschreitung der persönlichen Dosislimite von maximal 5 mSv/Eintritt und bei hohen Dosisleistungen (über 100 mSv/h). Das Personal wird im Rahmen der Strahlenschutzbelehrung über die Bedeutung dieser akustischen Signale instruiert.
- Ist an einem Arbeitsplatz ein Quotient zwischen Extremitätendosis und Personendosis von mehr als 25:1 zu erwarten, werden an der voraussichtlich höchstexponierten Körperstelle Extremitätendosimeter getragen.
- Bei Drywellrundgängen mit Reaktorleistung und bei der Handhabung von Brennelement-Transportbehältern werden zusätzlich passive Neutronendosimeter getragen.

Das in der kontrollierten Zone tätige Personal wird regelmässig mit einem Triage-Inkorporationsmonitor untersucht^{PSÜ/4}. Das Untersuchungsintervall ist auf 180 Tage, dem Überwachungsintervall für das Leitnuklid Co-60, festgelegt. Zudem wird vor und nach der Revisionsabstellung eine Messung durchgeführt, um dem in diesem Zeitraum erhöhten Inkorporationsrisiko Rechnung zu tragen und eine allfällige Inkorporation rasch zu erken-

nen. Zudem werden Personengruppen, bei denen während der Revisionsabstellung ein generell erhöhtes Inkorporationsrisiko besteht, in kürzeren Intervallen untersucht. Fremdpersonal mit Zonenzutrittsberechtigung führt während des KKL-Einsatzes mindestens eine Eintritts- und Austrittsmessung durch. Im Falle einer Überschreitung der Alarmschwelle für Co-60 (1200 Bq) bzw. I-131 (2000 Bq) wird eine Inkorporationsmessung durch eine anerkannte Inkorporationsmessstelle veranlasst. Die Inkorporationskontrolle von α -Strahlern erfolgt durch die operationelle Luftüberwachung.

Das Vorgehen bei Inkorporationsverdacht ist im Strahlenschutzreglement beschrieben^{P04-02-ws-1}. Es kam während der Revisionsabstellung 2008 zum Tragen. Bei vier Mitarbeitenden wurden geringfügige Inkorporationen mit Inkorporationsdosen unter 1 mSv ermittelt.

Nebst der Inkorporationskontrolle gibt auch die Kontrolle am Personenkontaminationsmonitor wertvolle Hinweise auf die Tauglichkeit der eingesetzten Schutzmittel und das zonengerechte Verhalten der Mitarbeitenden^{PSÜ/4}. Während der Revisionsabstellung werden die detektierten, mit einfachen Mitteln entfernbaren Kontaminationen registriert. Die Information über die Person, die betroffene Körperstelle und den Arbeitsplatz werden dem Strahlenschutzpersonal vor Ort zur Verfügung gestellt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, zeitnah korrigierend einzugreifen.

Die durchschnittliche „Kontaminationsquote“ (Anteil der aufgetretenen Kontaminationen auf alle Austritte aus der kontrollierten Zone in Prozent) blieb bisher immer unter dem selbstgewählten Ziel von 1 %. Meldepflichtige Personenkontaminationen traten nicht auf^{fPSÜ/4}.

Im KKL tätige beruflich strahlenexponierte Personen unterstehen den medizinischen Massnahmen zur Verhütung von Berufskrankheiten^{PSÜ/4}. Zuständig ist die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt Suva. Die obligatorische medizinische Vorsorge-Untersuchung „für ionisierende Strahlung“ fand jährlich statt. Die Zusatzuntersuchung für das Tragen eines Schutzanzuges wurde alle vier Jahre, für über 45-jährige Mitarbeitende alle zwei Jahre durchgeführt. Eine Sperrung für die kontrollierte Zone erfolgte, sobald die Gültigkeit des medizinischen Eignungsausweises abgelaufen war und die betroffene Person und ihre vorgesetzte Instanz informiert wurden.

Zu Ende des Überprüfungszeitraums informierte die Suva, dass zukünftig auf die medizinische Vorsorgeuntersuchung verzichtet werden wird. Das weitere Vorgehen ist noch in Abklärung.

Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduktion und Optimierung der Strahlenexposition

Die Personenkontaminationsmonitore haben das technische Lebensende erreicht^{tPSÜ/4}. Sie weisen auch Unzulänglichkeiten bei der Messung von Kleinteilen und im Tracking von Personenkontaminationen auf. Die Ersatzbeschaffung ist eingeleitet. Die Umsetzung ist für 2016 vorgesehen.

Der Personenfluss in der Damengarderobe erfüllt die Vorgaben aus der Richtlinie HSK-R-07 nicht^{PSÜ/4}. Angeordnete Verbesserungen scheiterten bisher an den erforderlichen massiven baulichen Änderungen, in die auch Aspekte der Fluchtwege, des Brandschutzes und der Sicherung einfließen müssen. Ein ordnungsgemässer Zustand kann anlässlich des Ersatzes der Personenkontaminationsmonitore erreicht werden.

Die Massnahmen zur Verhinderung von Querkontaminationen sind erst teilweise umgesetzt^{PSÜ/4}. Schläuche, die zum Befüllen und Entleeren von Systemen verwendet werden, sind noch nicht überall mit verwechslungsfreien Kupplungen ausgerüstet. Dies betrifft auch die Kupplungsstücke auf der Systemseite.

Die Untersuchungen zum radiologischen Zonenkonzept wurden hinsichtlich Durchdringungen im Jahr 2013 formell abgeschlossen^{PSÜ/4}. Bei den Untersuchungen zur Systemtrennung hingegen fehlt noch die Analyse in der Primäranlage. Diese Arbeit soll nachgeholt werden. Ebenso sind noch nicht alle Korrekturmassnahmen umgesetzt. Diese sind aber priorisiert und zur Bearbeitung zugewiesen.

Zur Vermeidung der Hotspot-Bildung in Systemen wurde die Reinigung der Lagerbecken für Brennelemente, Wasserabscheider und Dampftrockner ab 2009 ausgesetzt^{PSÜ/4}. Eine zunehmende Verschmutzung auf den Oberflächen dieser Becken war die Folge. Mittelfristig soll diese latente Strahlenquelle wieder entfernt und geordnet der Entsorgung radioaktiver Abfälle zugeführt werden.

Ein internes Audit zeigte, dass bei der Identifikation und Dokumentation von Strahlenquellen noch Abweichungen zu den betriebsinternen Vorschriften^{P04-02-wa-11} bestehen^{PSÜ/4}. Diese sind administrativer Art und beeinträchtigen den sicheren Umgang mit Strahlenquellen nicht.

Die eingeschränkte Zugänglichkeit der Notsteuerstellen nach einem schweren Störfall ist nicht befriedigend^{PSÜ/4}. Eine bauliche Ertüchtigung der Durchdringungen aus dem Containment oder die Abschirmung der vorgesehenen Aufenthaltsorte für Operateure ist schwierig. Zurzeit sind im Bedarfsfall temporäre Abschirmungen angedacht.

Das Vorgehen bei Auftreten von Brennelementschäden wurde zwar in einer KKL-internen Betriebsvorschrift dargestellt, ist aber noch nicht in einer TQM-Anweisung festgelegt^{PSÜ/8, PSÜ/4}.

Ein Audit des Nuklearversicherungspools gab die Empfehlung, ein radiologisches Grundwasserüberwachungsprogramm einzuführen^{PSÜ/4}. Dies entspricht auch den Empfehlungen, wie sie vom EPRI ausgesprochen wurden. Die Implementierung war zu Ende des Überprüfungszeitraums im Gange.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KEV^{KEV}
- StSV^{StSV}
- Dosimetrieverordnung^{DosV}
- Richtlinien HSK-R-07^{R-7}, ENSI-B04^{B04}, ENSI-G04^{G04} und ENSI-G15^{G15}

Beurteilung des ENSI

Individualdosis

Das ENSI stellt fest, dass der Dosisgrenzwert für das Personal in einem Fall überschritten, sonst aber eingehalten wurde. Der Trend für die maximalen Individualdosen im KKL während des Überprüfungszeitraums ist gleichbleibend. Diese Tendenz hat mehrere, nicht immer eindeutig quantifizierbare feststellbare Ursachen (namentlich Länge und Umfang der Revisionsabstellungen, Abschirmmassnahmen, zonenkonformes Verhalten des Personals), die alle unterschiedlich stark die akkumulierten Dosen beeinflussten.

Dem Dosisgrenzwert werden innerbetriebliche Interventionsschwellen wie z. B. Tagesdosislimits, Dosiskontingente und Dosisplanungsziele vorgelagert. Das ENSI hat sich mittels Inspektionen, Fachgesprächen und der Berichterstattung vergewissert, dass sich der Strahlenschutz im KKL im Hinblick auf die Anwendung innerbetrieblicher Schwellen und die Einhaltung von Zielen für die Individual-, Job- und Kollektivdosen und damit die Umsetzung des Optimierungsprinzips gut entwickelt hat. Individualdosen über 10 mSv pro Jahr sind beim Eigenpersonal nicht und beim Fremdpersonal nur vereinzelt vorgekommen.

Nach dem Vorkommnis „Überschreitung der zulässigen Strahlenexposition einer Person bei Instandhaltungsarbeiten“ im Jahr 2010 wurden zielgerichtet Massnahmen zur Verhinderung von weiteren Dosisgrenzwertüberschreitungen getroffen. Die Vorkommnismeldung „Inkorporation radioaktiver Stoffe durch Instandhaltungspersonal“ hat vor allem zu einer Verbesserung der Einhausung bei aerosolbildenden Arbeiten und der Aerosolüberwachung geführt.

Personenkontaminationen, die sich nicht mit einfachen Mitteln beheben lassen, wurden nicht verzeichnet.

Die übrigen Grenzwerte (Haut, Extremitäten, Augenlinse, junge Personen, Frauen und nichtberuflich strahlenexponierte Personen) wurden für Eigen- und Fremdpersonal eingehalten.

Jobdosis

Das ENSI stellte fest, dass für Jobs mit einem Dosisplanungsziel von über 50 Pers.-mSv immer eine detaillierte Strahlenschutzplanung erstellt wurde. Die Dosisplanungsziele und die Ist-Werte stimmten meistens im Rahmen der Planungsgenauigkeit überein. Wo es zu deutlichen Abweichungen kam, wurden vom KKL die Ursachen abgeklärt und dem ENSI nachvollziehbar dargelegt.

Revisionsdosis

Die maximale Überschreitung der Revisionsdosis gegenüber dem Dosisplanungsziel beträgt 6 %, was eine sehr gute Übereinstimmung ist. Im internationalen Vergleich mit den General-Electric-Schwesteranlagen und der BWR-Flotte steigt die Revisionsdosis des KKL an, während sie bei den anderen Anlagen eher abnimmt. Das ENSI und das KKL stehen im engen Austausch und verfolgen die Entwicklung. Massnahmen zur Verbesserung der radiologischen Situation wie der Austausch von Komponenten sind eingeleitet und nach Auffassung des ENSI zielführend.

Jahresdosis

Die Abweichungen zwischen den Plan- und Ist-Werten von Jahresdosen sind gering und sind konsistent zu anderen erstellten Dosisplanungen des KKL.

Bezüglich des internationalen Vergleichs der Jahreskollektivdosen ergibt sich der gleiche Trend wie bei den Revisionsdosen. Die Jahreskollektivdosen des KKL steigen an, während sie bei den Schwesteranlagen tendenziell abnehmen. Die vom KKL angeführten Gründe können vom ENSI schlüssig nachvollzogen werden.

Arbeitsplatzspezifische Massnahmen

Das ENSI erachtet die vom KKL ergriffenen, klassischen Massnahmen zur Reduktion der Ortsdosisleistung an Arbeitsplätzen, wie temporäre Abschirmungen, als zielführend im Sinne des Optimierungsprinzips. Eine Arbeitserleichterung ist die Beschriftung der Abschirmung mit dem Anlagenkennzeichen der dahinter liegenden Armatur, was auch zu einem kürzeren Aufenthalt im Strahlenfeld führt.

Innovative Techniken, wie Funkdosimeter, ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der Mitarbeitenden am Arbeitsplatz hinsichtlich Personendosis und Ortsdosisleistung, ohne dass sich das Strahlenschutzpersonal in Bereichen mit erhöhter ODL aufhalten muss. Der Einsatz von Videokameras und Manipulatoren trägt ebenfalls zur Dosisminimierung bei. Nach Auffassung des ENSI trägt damit das KKL dem Gebot Rechnung, den Stand von Wissenschaft und Technik auch im Strahlenschutz umzusetzen.

Strahlenschutzplanung

Das ENSI stellt fest, dass das KKL einen etablierten und gelebten Prozess für die Strahlenschutzplanung hat. Die enge Zusammenarbeit zwischen Instandhaltung und Strahlenschutz sind die Basis für eine belastbare Planung. Die Dosisplanung ist eine ständige Herausforderung, vor allem wenn sich die zugrunde gelegten Parameter ändern. Das ENSI bescheinigt dem KKL eine umsichtige Planung und die Erfüllung der Anforderungen aus dem Regelwerk.

Einschränkung von Parallelarbeiten

Das KKL lässt bei Arbeiten mit erhöhtem Risikopotential, z. B. an frisch bestrahlten Brennelementen, sinnvollerweise keine anderen Arbeiten in dem Bereich zu.

Einhausungen von Arbeitsplätzen

Seit der konsequenten Einhausung von Arbeitsplätzen mit einem erhöhten Freisetzungspotential von Aerosolen gab es kein Inkorporationsvorkommnis aufgrund von Kontaminationsverschleppungen.

Personenbezogene Massnahmen

Das KKL verwendet zur Erfassung und Kontrolle der Personendosen zwei einander ergänzende Dosimetriesysteme und erfüllt damit die Anforderungen der StSV und der Richtlinie ENSI-B09. Fallweise werden zusätzlich Extremitätendosimeter oder Neutronendosimeter getragen.

Die Anforderungen an die Triagemessung werden durch die Messungen mit einem Quickcounter erfüllt. Das weitere Vorgehen bei Inkorporationsverdacht ist festgelegt. Im Überprüfungszeitraum kam es nur zu einem Inkorporationsvorkommnis mit einer nur geringen, nicht meldepflichtigen Folgedosis.

Der Gerätepark des KKL zur Kontaminationsmessung von Personen ist ausreichend bestückt. Das weitere Vorgehen des Strahlenschutzpersonals bei positivem Befund am Ausgangsmonitor ist ausreichend beschrieben.

Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduktion und Optimierung der Strahlenexposition

Die Personenkontaminationsmonitore wurden durch neue Modelle ersetzt. Der Personenfluss in der Damengarderobe wird vom KKL zur Erfüllung der Vorgaben aus der Richtlinie HSK-R-07 weiter optimiert werden. Eine Feinmessung in Unterwäsche ist noch nicht möglich, die Damen betreten den Feinmonitor unzulässiger Weise mit Strassenkleidung. Das ENSI hat dazu anlässlich einer Inspektion^{ENSI 12/2516} die Forderung gestellt, dass die Damengarderobe umzugestaltet ist und die Vorgaben in Bezug auf die Messung über Personenmonitore eingehalten werden.

Die Massnahmen zur Verhinderung von Querkontaminationen, wie verwechslungsfreie Kupplungen zum Befüllen und Entleeren von Systemen, sind teilweise umgesetzt. Dies wird eine Daueraufgabe bleiben, weil es immer wieder neue Erkenntnisse geben wird. Das gleiche gilt für die Untersuchungen zur Systemtrennung und die Abarbeitung der daraus abgeleiteten Korrekturmassnahmen. Die vom KKL ergriffenen Massnahmen werden sich längerfristig positiv auf den operationellen Strahlenschutz auswirken.

Die vom KKL ab 2009 ausgesetzte Reinigung der Lagerbecken für Brennelemente, Wasserabscheider und Dampftrockner sollte aus Sicht des ENSI wieder aufgenommen werden. Das KKL arbeitet an der technischen Umsetzung.

Die Abweichungen zu den betriebsinternen Vorschriften bei der Identifikation und Dokumentation von Strahlenquellen wurden teilweise beseitigt. Das KKL entsorgt alte, nicht mehr benötigte oder ungenügend dokumentierte Quellen.

Die ODL in den Notsteuerstellen werden vom Strahlenschutz mit einem Messprogramm überwacht. Die eingeschränkte Zugänglichkeit der Notsteuerstellen nach einem schweren Störfall kann im Bedarfsfall mit temporären Abschirmungen verbessert werden.

Das Vorgehen bei Auftreten von Brennelementeschäden wurde zwar beschrieben, ist aber noch nicht in einer TQM-Anweisung festgelegt. Die Formalisierung ist im Gange und wird vom ENSI beaufsichtigt.

Ein radiologisches Grundwasserüberwachungsprogramm ist eingeführt. Es werden regelmässig Proben entnommen und auf Tritium untersucht.

Fazit

Zur Begrenzung und Optimierung der Strahlenexposition des Personals wurde vom KKL viel erreicht. Die Herausforderungen für die Zukunft sind der Generationswechsel des Personals, aufwändige Reparaturen, steigender Aufwand für Wiederholungsprüfungen, die angestiegene Kontamination von einigen kritischen Systemen, dosisintensive Grossprojekte und der generell höhere Arbeitsaufwand, der sich auch in der steigenden Anzahl der geleisteten Stunden in der kontrollierten Zone widerspiegelt.

3.4.5 Sanitätsdienst

Angaben des KKL

Die Tätigkeiten im Rahmen der Sanitätsequipe des KKL werden von Mitarbeitenden aller Abteilungen im Nebenamt ausgeübt. Ende des Überprüfungszeitraums waren 15 Personen dem Sanitätsdienst zugeteilt, die Gesamtzahl bewegte sich in den vergangenen Jahren zwischen 13 und 18 Personen. Zwar beschränkt sich das Einsatzgebiet der Sanitätsequipe auf das Kraftwerksgelände, in besonderen Fällen kann die Equipe aber auch im Rahmen der Nachbarschaftshilfe ausserhalb dieses Bereichs zum Einsatz kommen.

Während der normalen Arbeitszeit muss je eine Person des ausgebildeten Sanitätspersonals für die kontrollierte Zone (fünf ausgebildet) und für die nicht kontrollierte Zone (neun ausgebildet) per Telefon oder Lautsprecherdurchsage abrufbar sein. Ausserhalb der Normarbeitszeit übernehmen die Betriebswache und die Betriebsschicht die Funktion als Ersthelfer. Ein Mitglied der Sanität leistet zu diesen Zeiten jeweils Pikettdienst. Während der Revisionsabstellung wird die Sanitätsstation zusätzlich durch einen externen Sanitätsdienst besetzt.

Die Sanitätsequipe des KKL verfügt über ein vollständig ausgerüstetes Sanitätszimmer sowie ein Einsatzfahrzeug. Zusätzlich zu den Inventaren im Sanitätszimmer und im Fahrzeug sind auf der ganzen Anlage insgesamt 34 orangefarbige Sanitätskästen verteilt. Sechzehn befinden sich in der kontrollierten Zone, 18 ausserhalb davon. Im KKL gibt es 13 allgemein zugängliche Defibrillatoren. Das im Sanitätszimmer, im Fahrzeug und in den Sanitätskästen vorhandene Material erlaubt die rasche Behandlung durch die Sanitätsequipe. Der Zuzug von professionellen Sanitätseinheiten ist geregelt. Die Prüfung des Sanitäts- und Rettungsmaterials erfolgt monatlich, jährlich, respektive zweijährlich. Medikamente werden monatlich geprüft. Die Prüfergebnisse werden protokolliert.

Die Standorte der Sanitätsstellen innerhalb und ausserhalb der kontrollierten Zone, die Standorte der Verbandsstellen, der Sanitätskästen, sowie des übrigen Materials sind definiert und dem Sanitätspersonal bekannt. Der Zugang zum Sanitätszimmer ist geregelt.

Die Grundausbildung für den Sanitätsdienst erfolgt extern an zertifizierten Ausbildungsstätten. Als Grundausbildung werden die Stufen Betriebssanitäterausbildung 1 und 2 verlangt. Die Weiterbildung erfolgt im Betrieb anlässlich von acht bis zehn Übungen pro Jahr, von denen jeweils drei Einsatzübungen zusammen mit der Betriebsfeuerwehr stattfinden. Die Instruktoren und Instruktorinnen absolvieren zusätzlich die Stufen Betriebssanitäterausbildung 3 und 4, die Qualifikationen als CPR (Cardio Pulmonary Resuscitation, Herz-Lungen-Wiederbelebung)-Lehrer sowie die Ausbildung zum Transporthelfer. Die Ausbildung der Sanität ist im Managementsystem des KKL verbindlich geregelt.

Das Aufgebot der Sanität nach einem Personenunfall erfolgt nach Meldung über die Notfallnummer 222 an die Sicherungszentrale. Die Wache informiert umgehend den Schichtchef oder den Pikettingenieur, welche aufgrund der mündlichen Unfallmeldung entscheiden, ob ein Notfall gemäss Notfallanweisung vorliegt oder nicht. Parallel zur Ersthilfeleistung werden dann die Notfallelemente wie Sanitätsgruppe und Notfallstab aufgeboden. Die Sanität wird regelmässig bei Notfallübungen beübt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Grundlagen „Erste Hilfe“ des Schweizerischen Samariterbundes
- Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz^{ARGV3} sowie Wegleitung zu dieser Verordnung
- European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015

Beurteilung des ENSI

Die Equipe der Betriebssanität muss bei einem Personenunfall mit oder ohne Strahleneinwirkung vor Ort oder in einem dafür ausgerüsteten Sanitätsraum Erste Hilfe leisten oder lebensrettende Sofortmassnahmen durchführen können. Dazu muss eine adäquate medizinische Behandlung auf Basis des aktuellen Wissensstands möglich sein.

Das KKL besitzt eine nach dem aktuellen Stand des Wissens und nach dem aktuellen Stand der Technik ausgerüstete Sanitätsequipe. Das ihr zur Verfügung stehende Material wird regelmässig überprüft. Das Sanitätspersonal muss sich stufengerecht regelmässig aus- oder weiterbilden, die Vorgaben dazu sind im Managementsystem des KKL verankert. Die Alarmierung und die Zusammenarbeit mit anderen, auch auswärtigen Notfallequipen, sind geregelt und werden regelmässig in gemeinsamen Übungen vertieft. Das ENSI hat sich anhand von Inspektionen davon überzeugen können, dass im KKL eine gut und modern ausgerüstete Sanitätsequipe arbeitet, und dass die Betriebs sanität nach dem aktuellen Stand der Vorgaben ausgebildet ist.

3.4.6 Abgabe radioaktiver Stoffe

Die heute gültigen zulässigen Abgaben radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre und in den Rhein wurden 1984 mit Bezug auf die damals gültige Strahlenschutzverordnung in den Auflagen der Betriebsbewilligung^{BetrB} für das KKL festgelegt. Seither wurde die Strahlenschutzverordnung mehrmals kleineren und grösseren Revisionen unterzogen. Die im Rahmen dieser Revisionen geänderten Anforderungen und Einheiten wurden durch das ENSI im jeweils gültigen Abgabereglement^{ENSI 12/2405}, welches sich im Grundsatz weiterhin auf die Auflage 3.2 der Betriebsbewilligung stützt, berücksichtigt.

Angaben des KKL

Im KKL ist für die Überwachung der Abgaben über den Luft- und Wasserpfad das Ressort Chemie der Abteilung Überwachung zuständig.

Die Emission radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft wird kontinuierlich durch ein Teilsystem des Prozessstrahlungsüberwachungssystems XT überwacht. Es besteht aus der Messung des Volumenstroms im Kamin, zwei Probenentnahmerechen, zwei redundanten β -Edelgasmessstellen, einer γ -Edelgasmessstelle, zwei Aerosolmonitoren, einem Iodmonitor, einem Iodsammler und einem Aerosol-/Iodsammler.

Die Bilanzierung der Abgaben über die Fortluft erfolgt durch Auswertung von kontinuierlich sammelnden Wochenfiltern und der entnommenen Luftproben an einem Low-Level-Messplatz im Labor.

Die Abgabe von Wasser in den Rhein erfolgt grundsätzlich aus dem dafür vorgesehenen Abgabebehälter. Vor der Abgabe wird mit einer Pumpe das Wasser im Behälter umgepumpt und so vermischt. Nach einer definierten Zeit erfolgt die Probenahme von zwei 1-Liter-Proben. Eine Probe wird für die Analyse zur Freigabe der Abgabe verwendet und die zweite Probe wird als Reserveprobe rückgestellt. Diese muss bis zum Abschluss der Abgabe aufbewahrt werden, damit eventuelle Nach- oder Kontrollmessungen möglich sind.

Für die nuklidspezifische Abgabebilanzierung wird jeweils eine Monatsmischprobe aus den einzelnen Abgaben hergestellt. Es werden gleichzeitig zwei Monatsmischproben gesammelt, um bei Bedarf eine Zweitanalyse durchführen zu können.

Das KKL hat sich bezüglich der für die Abgabeüberwachung notwendigen Labormessungen regelmässig an internationalen Ringvergleichen beteiligt. Die Resultate dieser Ringversuche wurden analysiert. Sie gaben keinen Anlass, die Laboranalysen in Frage zu stellen.

Die Aerosolabgaben mit der Abluft bewegten sich während des gesamten Überprüfungszeitraums in der Grössenordnung von oder deutlich unter 0,1 % der Jahresabgabelimite. Die höchsten Abgaben waren dabei in Jahren mit Brennstoffschäden zu verzeichnen.

Die Aerosolabgaben des KKL waren im internationalen Vergleich im Überprüfungszeitraum ähnlich zu den Abgaben vergleichbarer Siedewasseranlagen.

Die Abgaben von Iod mit der Abluft lagen im Überprüfungszeitraum ebenfalls deutlich unterhalb der Jahresabgabelimite, d. h. in der Regel unter 1 % der Jahresabgabelimite. Ein Maximum war 2014 zu verzeichnen, in dem aufgrund eines Brennelementschaftens ca. 3 % der Jahresabgabelimite ausgeschöpft wurden. Im internationalen Vergleich lagen auch die Iod-Abgaben mit der Abluft in einer ähnlichen Grössenordnung wie die anderer vergleichbarer Siedewasseranlagen.

Auch bei den Edelgasabgaben sind die Jahre mit Brennelementschäden deutlich zu erkennen. Insgesamt lagen aber die Abgaben immer – teilweise deutlich – unterhalb 0,1 % der Jahresabgabelimite. Im Vergleich mit ähnlichen Siedewasseranlagen sind die Edelgasabgaben des KKL ausser in Jahren mit Brennelementschäden tief.

Für die Abgaben von Kohlenstoff-14 (C-14) und Tritium über die Abluft gibt es in der Betriebsbewilligung keine Limite. Die C-14-Produktion in einem Siedewasserreaktor ist primär von der Leistung des Reaktors und der Reaktorgeometrie abhängig. Bei einem Reaktor mit einer thermischen Leistung von 3'600 MW_{th} kann gemäss Literatur mit einer Produktion von $7 \cdot 10^{11}$ Bq pro Jahr gerechnet werden. Der gemessene Wert von $6,3 \cdot 10^{11}$ Bq im Jahr 2014 stimmt damit sehr gut überein. Da die C-14-Abgaben über die Abluft zum grössten Teil in der Form von CO₂ erfolgen, lassen sich die C-14-Abgaben mit der Abluft kaum beeinflussen.

Tritium wird in einem Siedewasserreaktor primär aus Bor-10, welches aus defekten Steuerstäben stammt, produziert. Vor allem während der Revision verdunstet Wasser aus den Becken und wird als Luftfeuchte mit dem darin enthaltenen Tritium über die Abluft an die Umwelt abgegeben. Bis Ende 2007 war die Borkonzentration im Reaktorwasser tief, da die Steuerstäbe dicht waren, und die Tritiumabgaben über die Abluft lagen in der Folge in diesen Jahren bei rund $5 \cdot 10^{11}$ Bq pro Jahr. In der Folge erhöhte sich die Borkonzentration im Reaktorwasser und damit auch die Abgabe aufgrund von defekten Steuerstäben um rund einen Faktor 5. Durch einen optimierten Einsatz der Steuerstäbe konnten die Abgaben bis zum Ende des Überprüfungszeitraums beinahe wieder auf den ursprünglichen Wert gesenkt werden. Die Tritiumabgaben des KKL liegen im internationalen Vergleich im Rahmen anderer Siedewasserreaktoren.

Die flüssigen Aktivitätsabgaben von Gammastrahlern ohne Tritium lagen im Überprüfungszeitraum bei 0,01 % der Jahresabgabelimite oder darunter und damit im internationalen Vergleich im Rahmen anderer Siedewasserreaktoren.

Bei den Tritiumabgaben mit dem Abwasser war wie bei der Abluft ein Maximum im Jahr 2010 aufgrund undichter Steuerstäbe zu beobachten. Die Abgabe lag in diesem Jahr bei ca. 20 % der Jahresabgabelimite. Bis zum Ende des Überprüfungszeitraums im Jahr 2015 reduzierte sich die Jahresabgabe wieder auf 4 % der Jahresabgabelimite. Damit lag das KKL bei den Tritiumabgaben im Vergleich mit anderen Siedewasserreaktoren in dem gesamten Überprüfungszeitraum oberhalb des Medianwerts. Da sich das Tritium in der Form von tritiiertem Wasser chemisch und physikalisch gleich verhält wie normales Wasser, ist eine Reinigung des Abwassers über Verdampfer nicht wie bei den übrigen Radionukliden möglich.

Strontium-89 und -90 konnten während des Überprüfungszeitraums im Abwasser nicht nachgewiesen werden, die Abgaben von Alpha-Strahlern mit dem Abwasser lagen zwischen 10^5 und 10^6 Bq pro Jahr und waren radiologisch gesehen unbedeutend.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 7 und 112 StSV^{StSV}
- Richtlinien ENSI-G14^{G14} und ENSI-G15^{G15}
- Abgabe- und Umgebungsüberwachungsreglement des KKL^{ENSI 12/2405}
- Art. 51 GSchV^{GSchV}
- PARCOM-Empfehlung 91/4^{P91/4}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat anhand der in der Richtlinie ENSI-G14 festgelegten Modelle und Parameter und mit der ursprünglich bei der Inbetriebnahme ermittelten Meteostatistik sowie auch mit der Meteostatistik der Jahre 2000 bis 2008 überprüft, ob mit den in der Betriebsbewilligung des KKL festgelegten Abgabelimiten der quellenbezogene Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr^{G15} sowohl für Kurzzeit- wie für Langzeitabgaben weiterhin eingehalten werden. Die dabei durchgeführten Dosisberechnungen zeigen, dass keine Veranlassung besteht, die gültigen Abgabelimiten anzupassen.

Die Emissionsmessungen des KKL werden vom ENSI stichprobenweise quartalsweise durch eigene Messungen überprüft. Im Weiteren werden die Bilanzierung und Buchführung hinsichtlich Rückverfolgbarkeit und Nachvollziehbarkeit durch jährlich stattfindende Inspektionen kontrolliert. Bei den Vergleichsmessungen wurde im Bewertungszeitraum im Rahmen der Messgenauigkeit immer eine gute Übereinstimmung festgestellt, bei den Inspektionen konnte sich das ENSI jeweils von der ordnungsgemässen Bilanzierung, Buchführung und Meldung der Emissionswerte an das ENSI überzeugen. Das ENSI beurteilt die im KKL durchgeführte Bilanzierung und Buchführung zur Überwachung der Abgabelimiten als geeignet.

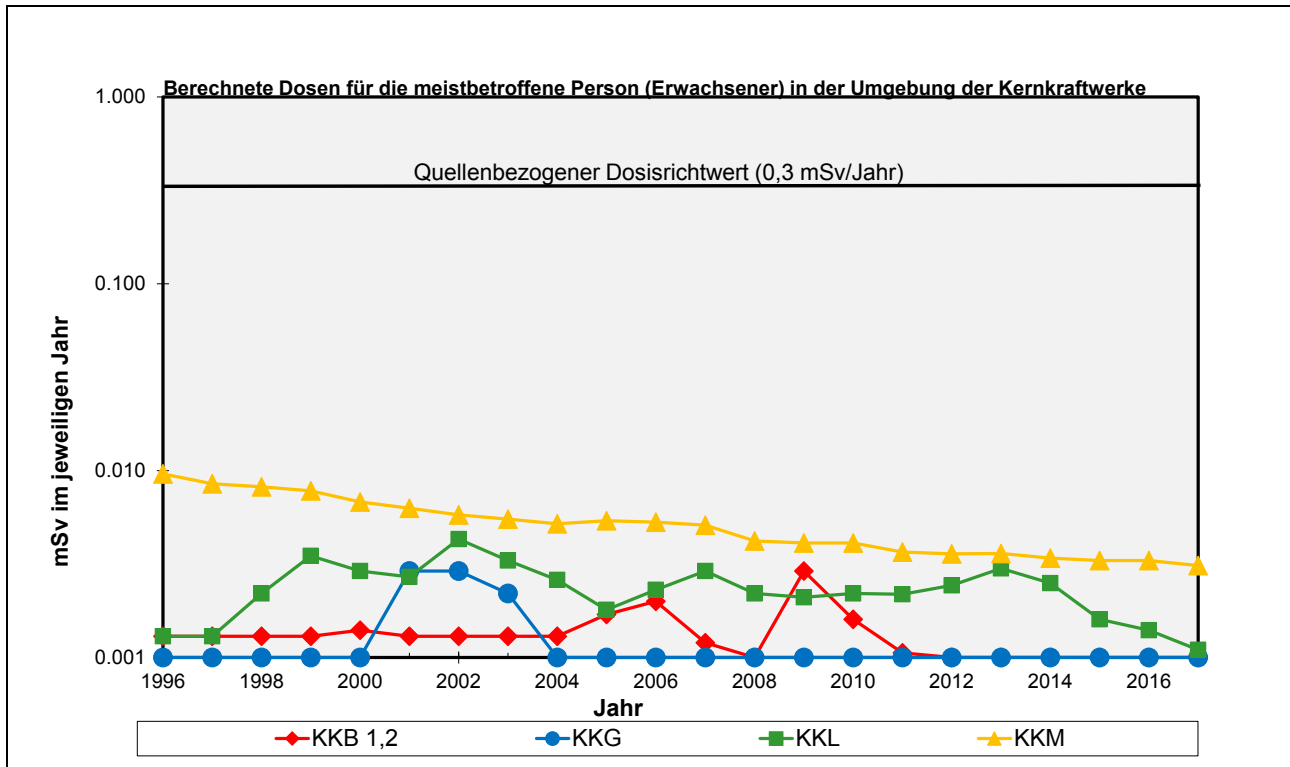


Abbildung 3.4-2: Verlauf der aus den Abgaben errechneten Dosiswerte für die meistbetroffenen Erwachsenen aus der Bevölkerung über 20 Jahre

Im gesamten Überprüfungszeitraum wurden die Limiten für die radioaktiven Abgaben mit der Abluft deutlich unterschritten. Die aus den Abgaben berechneten Dosiswerte für die meistbetroffenen Personen der Bevölkerung lagen für Kinder und Erwachsene immer unterhalb von $10 \mu\text{Sv}$ pro Jahr resp. bei weniger als 3 % des quellenbezogenen Dosisrichtwerts. Abbildung 3.4-2 zeigt zur Illustration den Dosisverlauf für Erwachsene.

Aus Abbildung 3.4-3 geht hervor, dass die flüssigen Abgaben des KKL im Überprüfungszeitraum mit konstantem Trend unter dem Medianwert der europäischen Reaktoren liegen. Da die aus diesen Abgaben berechneten Dosiswerte deutlich unter $10 \mu\text{Sv}$ pro Jahr liegen, können sie aus Sicht des ENSI als optimiert betrachtet werden. Somit sieht das ENSI aufgrund der Strahlenschutzverordnung, der Verordnung zum Gewässerschutz und der PARCOM-Empfehlung 91/4 keinen Handlungsbedarf zur weiteren Senkung der flüssigen Abgaben des KKL.

Das ENSI stellt fest, dass das KKL seine Aktivitätsabgaben mit dem aktuellen internationalen Standard vergleicht. Bei im Vergleich dazu erhöhten Abgaben werden durch das KKL die notwendigen Schlussfolgerungen gezogen und daraus die notwendigen Massnahmen und Ziele für eine Verringerung der Abgaben ergriffen. Für die Beurteilung der Massnahmen gegen Brennelementschäden sei auf Kap. 3.3.2 und im Hinblick auf Steuerstabschäden auf Kap. 3.3.3 dieser Stellungnahme verwiesen.

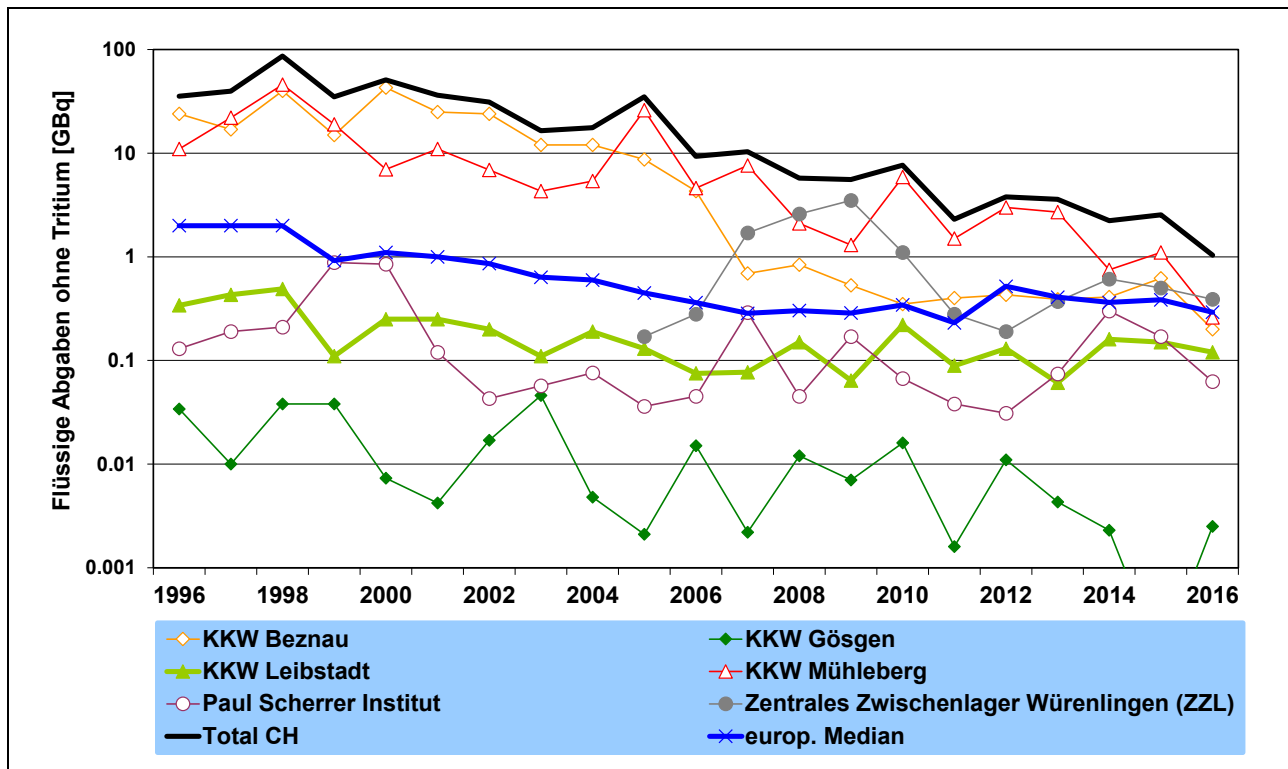


Abbildung 3.4-3: Aktivitätsabgaben des KKL mit dem Abwasser im Vergleich mit den anderen schweizerischen und dem Median der europäischen Reaktoren gemäss OSPAR^{OSP}

3.5 Wasserchemie

Qualität und Inhaltstoffe des Reaktorwassers sind für den sicheren, störungsfreien und umweltschonenden Betrieb der Anlage mitverantwortlich. Das setzt regelmässige Analysen mittels geeigneter Methoden voraus. Von Interesse sind vor allem Korrosions-, Spalt- und Aktivierungsprodukte, Bor, bestimmte Anionen sowie die Leitfähigkeit. Eine gute Wasserqualität ist eine Voraussetzung um das Auftreten von Brennstabhüllrohrschäden zu minimieren und Spannungsrisskorrosion weitestgehend zu vermeiden. Ferner kann dadurch die dosisleistungsbestimmende Kontamination an innenseitig wasserbenetzten Oberflächen von Komponenten und Rohrleitungen begrenzt werden. Um die hohen und komplexen Anforderungen zu erreichen, sind zudem umfangreiche Reinigungsanlagen erforderlich. Ergänzend sind Systeme zur Dosierung von Zusatzstoffen in das Wasser notwendig. Die regelmässige Überprüfung der Wasserqualität muss ebenfalls gewährleistet werden. Im Primärkühlmittel enthaltene, nicht kondensierbare Gase werden abgesaugt und als Abgas verzögert und gefiltert an die Aussenluft abgegeben.

Die Angaben zur Wasserchemie und zu den Aufbereitungssystemen wurden den PSÜ-Unterlagen^{PSÜ/5, PSÜ/8} des KKL entnommen sowie ergänzend aus den weiteren Angaben zur Wasserchemie^{BET/17/340}. Im Folgenden werden in erster Linie Änderungen und Besonderheiten beschrieben, die sich im Überprüfungszeitraum ergeben haben.

3.5.1 Chemische und physikalische Parameter

Angaben des KKL

Leitfähigkeit, Chlorid- und Sulfatkonzentration des Reaktorwassers

In einem Siedewasserreaktor ist primär die Reaktorwasserqualität für die Einhaltung der Qualitätsanforderungen des ganzen Wasser/Dampf-Kreislaufes von Bedeutung^{PSÜ/5}. In einer solchen Anlage ist der Reaktor eine Senke für chemische Verunreinigungen. Im Reaktor werden Substanzen wie Ionenaustauscherharze,

Schmiermittel, Lösungsmittel etc. durch Neutronenstrahlung, oxidierende Bedingungen und Temperatur zersetzt.

Im KKL wird die elektrische Leitfähigkeit im Reaktorwasser hauptsächlich durch nicht aggressive Verunreinigungen, wie Bor aus Steuerstäben und vorteilhafte chemische Zusätze (Zink, Platin) beeinflusst^{PSÜ/5}. Sie lag im Überprüfungszeitraum meist knapp über 0,1 µS/cm. Zwei hohe Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit im Bereich von 0,75–1,0 µS/cm sind auf eine Auswaschung von Lithiumhydroxid aus Steuerstäben bei einer Steuerstabanpassung im Januar 2010 zurückzuführen. Es wurde eine maximale Lithiumkonzentration im Reaktorwasser von 29 µg/kg gemessen. Seit dieser Zeit wurde die Lithiumbestimmung als Standardanalyse in die Überwachung aufgenommen. Es wurden seither keine weiteren Lithium-Transienten in diesem Ausmass gemessen.

Alle Chloridkonzentrationen liegen unterhalb des Richtwerts der Spezifikation von 5 µg/kg. 98 % der Messwerte liegen unter 1,0 µg/kg und somit im Bereich des definierten Normalbetriebswerts^{PSÜ/5}.

Die Sulfatergebnisse zeigen eine grössere Streuung des Konzentrationsbereiches^{PSÜ/5}. 97,7 % der Werte liegen unterhalb des Richtwerts der Spezifikation von 5 µg/kg. 93,2 % der Messwerte liegen unter 2,0 µg/kg und somit im Bereich des definierten Normalbetriebswerts. Das Potential für eine höhere Sulfatkonzentration ist durch das Inventar an Ionenaustauscherharzen der Kondensatreinigungsanlage (KRA) und des Reaktorwasserreinigungssystems, die Schwefel als Bestandteil der Molekularstruktur enthalten, gegeben. Beim Sulfat stammen 21 von 42 Messwerten, die grösser als der Richtwert von 5 µg/kg sind, von vier Harzdurchbrüchen bei KRA-Neuanschwemmungen. Da bei solchen Transienten die Messfrequenz erhöht wird, ist die Anzahl der Messungen bei diesen Ereignissen prozentual übergewichtet. Harzdurchbrüche nach der Anschwemmung von KRA-Filtern sind ein spontanes Ereignis. Das innerhalb von Minuten eingetragene Ionenaustauscherharz wird zersetzt und bildet Sulfat. Mit der Reinigungshalbwertszeit der Reaktorwasserreinigung von etwa 3 h wurde in den oben aufgeführten Fällen die Sulfatkonzentration jeweils innerhalb von 12 h wieder bis unter den Richtwert reduziert.

Die Sulfatkonzentration kann beim Anfahren der Anlage nach einem Stillstand (z. B. Revision) ebenfalls erhöht sein^{PSÜ/5}. Die maximalen Sulfatkonzentrationen betragen bei den zwei grössten Harzdurchbrüchen 48 und 23 µg/kg. Diese beiden Transienten konnten auf die schlechtere Qualität einer Harzcharge zurückgeführt werden. Weitere kleine Harzdurchbrüche bei KRA-Filteranschwemmungen führten dazu, dass bei zwei KRA-Filtern die Kerzen gewechselt werden mussten. Nach der Revisionsabstellung 2010 wurden keine Harzdurchbrüche mehr beobachtet.

Das Electric Power Research Institute (EPRI) erstellt jährlich einen Vergleich der chemischen Reaktorwasserparameter von 49 Siedewasserreaktoren (US-amerikanische und internationale Anlagen des Herstellers General Electric)^{PSÜ/5}. In Bezug auf Chlorid ist das KKL bei den Anlagen zu finden, die mit einem Median-Wert von 0,1 µg/kg die tiefsten Werte haben. Bei den Leitfähigkeits-, Sulfat- und Silikat-Werten liegt das KKL jeweils im besten Drittel oder gar Viertel der rapportierten Anlagen.

Iod-131 im Reaktorwasser

Für Iod-131 im Reaktorwasser sind in der „Technischen Spezifikation“ zwei Grenzwerte für die Aktivitätskonzentration definiert. Bis am 25. August 2012 durfte ab einer Konzentration von mehr als $1,1 \cdot 10^9$ Bq/m³ Iod-131 der Reaktor noch 48 h weiter betrieben werden und ab $4,5 \cdot 10^{10}$ Bq/m³ musste der Reaktor innerhalb von 24 h in den Zustand „Heiss Abgestellt“ überführt werden. Im Überprüfungszeitraum wurden die beiden Grenzwerte für die Aktivitätskonzentration von Iod-131 im Reaktorwasser um einen Faktor 10 auf $1,1 \cdot 10^8$ Bq/m³ bzw. auf $4,5 \cdot 10^9$ Bq/m³ reduziert^{TS} und durch das ENSI freigegeben.

Seit Beginn des Jahres 2005 lag der Wert für Iod-131 im Reaktorwasser^{PSÜ/8} dauerhaft unter dem neuen Grenzwert von $1,1 \cdot 10^8$ Bq/m³.

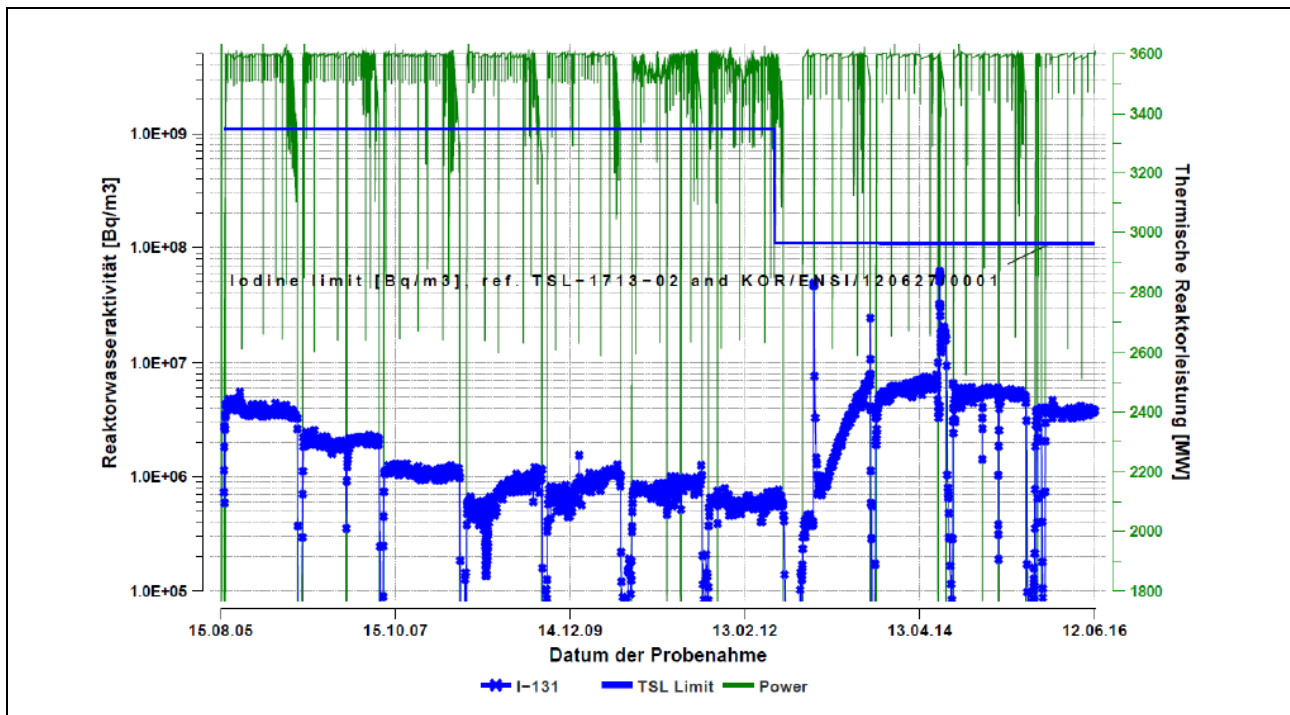


Abbildung 3.5-1: Aktivitätskonzentration von Iod-131 im Reaktorwasser während des Überprüfungszeitraums

Das im Jahr 2007 neu eingeführte Abgas-Online-Messsystem mit der Visualisierung im MinuteMan-System führt die Daten der chemischen und nuklidspezifischen Messwerte mit den Betriebsdaten des Reaktorkerns zusammen und ergibt rasche Information zur Interpretation der Kenngrößen bei Schäden von Brennstäben und Steuerelementen^{PSÜ/8}. Mit diesem System konnten die Brennelement-Schäden aus den Zyklen 28, 29 und 30 erfolgreich detektiert werden. Bei allen drei Vorkommnissen war es möglich, die Schäden mittels Fluxtilttest schnell zu lokalisieren und die Leistung in der Schadenregion durch das Einfahren von Steuerstäben zu reduzieren. Dadurch konnte speziell im Zyklus 29, in dem der Schaden früh im Zyklus auftrat, eine Begrenzung der Auswirkung des Schadens hinsichtlich einer Überschreitung der Grenzwerte der „Technischen Spezifikation“ für Iod-131 verhindert werden.

Weitere wichtige Inhaltsstoffe im Reaktorwasser

Im Überprüfungszeitraum lagen die Werte für das Uran ausserhalb der Brennstäbe (Tramp-Uran)^{PSÜ/8} meistens unter 4 g. Aus einem schadhafte Brennstab wurde im Betriebszyklus 29 Uran ausgewaschen. Dadurch stieg die Menge an Tramp-Uran bis auf 12 g an und nahm in den folgenden Zyklen dann wieder ab.

Aus defekten Steuerstäben gelangt Bor in das Reaktorwasser, freies Bor im Kühlmittel führt zu erhöhter Konzentration von radioaktivem Tritium^{PSÜ/8}. Nach dem Austausch der Mehrheit der Steuerstäbe vom Typ Original Equipment in der Revisionsabstellung 2015, wurden nun für Zyklus 31 sehr tiefe Werte für Borsäure im Reaktorwasser bestimmt. Die Anwendung des Bormodells und der Online-Helium-Messung hinsichtlich der Beurteilung, wann Steuerstäbe auszutauschen sind, hat sich bewährt.

Speisewasser und Kondensat

Die Korrosionsprodukte von Eisen, Nickel, Chrom und elementarem Kobalt werden regelmässig im Reaktor- und Speisewasser sowie im Kondensat vor und nach der KRA bestimmt^{BET/17/340}. Nach Ersatz von Grosskomponenten, nach Leistungserhöhungen sowie nach der Einführung der Hydrogen Water Chemistry / On-Line NobleChem®-Einspeisung (Wasserstoff- und Edelmetalleinspeisung, im Folgenden HWC/OLNC-Fahrweise genannt) wurden zur Verfolgung der Auswirkung erweiterte Messkampagnen zur Bilanzierung (Konzentration, Massentransport) durchgeführt.

Beim Austausch der drei Niederdruck-Turbinen und der zwei Niederdruck-Vorwärmer, inklusive Anzapfleitungen, wurde im Jahr 2010 erosionsbeständigeres Material (austenitischer statt Carbonstahl) eingesetzt^{PSÜ/5}. Die Eisenkonzentration im Kondensat sank dadurch vor der KRA von ca. 18 auf 14 µg/kg. Dies hatte nach der KRA eine Reduktion der Eisenkonzentration von 1,4 auf 0,6 µg/kg und im Speisewasser eine Reduktion von 0,5 auf 0,16 µg/kg zur Folge. Die Konzentration von Eisen im Speisewasser lag in den letzten zehn Jahren deutlich unter dem Good-Practice-Wert von 1 µg/kg der EPRI-Guidelines von 2014. Eine tiefe Eisenkonzentration ist von Vorteil, weil sie zu einem geringeren CRUD-Aufbau auf den Brennelementen führt. Der Eisen Gehalt im Reaktorwasser ist unabhängig vom Massenanteil des Eisens im Speisewasser, da das Eisen nach dem Eintritt in den Reaktor schnell auf den Hüllrohren der Brennelemente abgelagert wird und es keine Aufkonzentration im Reaktorwasser gibt.

Die Zinkdosierung war vor der Einführung der HWC/OLNC-Fahrweise so eingestellt, dass mit einer Zinkkonzentration von etwa 0,23 µg/kg im Speisewasser eine Reaktorwasserzinkkonzentration von mehr als 5 µg/kg erreicht werden konnte^{PSÜ/5}. Mit der HWC/OLNC-Fahrweise musste die Zinkdosierung auf ca. 0,48 µg/kg im Speisewasser erhöht werden.

Brennelementlagerbecken

Bei der Chloridkonzentration lagen acht Messwerte^{PSÜ/5} über dem Normalbetriebswert von 5 µg/kg, jedoch unterhalb des Richtwerts von 20 µg/kg. Bei der Sulfatkonzentration lagen zwei Messwerte knapp über dem Normalbetriebswert gleicher Grösse, jedoch ebenfalls unterhalb des Richtwerts. Das Wasser des Beckens wird kontinuierlich über Ionenaustauscheranschwemmfilter gereinigt. Die Wasserqualität kann über den Beobachtungszeitraum als sehr gut bezeichnet werden.

Druckabbaukammer

Bei der Chloridkonzentration lagen 99,4 % der Messwerte im Normalbetriebsbereich, bei der Sulfatkonzentration waren es 97,3 %^{PSÜ/5}. Es wurden keine Konzentrationen über dem Grenzwert der KKL-internen Spezifikation gemessen. Die Ursachen für die einzelnen erhöhten Messergebnisse, z. B. im Jahr 2010, konnten nicht ermittelt werden. Nach solchen Beobachtungen wurde jeweils das Reinigungssystem (Ionenaustauscheranschwemmsystem) in Betrieb genommen. Die Konzentration verringerte sich dadurch wieder auf Normalbetriebsniveau. Die durch ionale Verunreinigung verursachte Verschmutzung kann für ein offenes System mit einer derart grossen, freien Wasseroberfläche als sehr gering beurteilt werden.

Seit einigen Jahren wurde im Wasser der Druckabbaukammer während der Revisionsabstellung ein Anstieg der TOC-Konzentration (Total Organic Carbon, gesamter organischen Kohlenstoff) beobachtet. Dieser stammt von organischen Lösungsmitteln, wie Ethanol, Isopropanol und Aceton, die bei der Instandhaltung zum Zweck der Reinigung und Entfettung und durch den Strahlenschutz verwendet werden. 27 % der Messwerte liegen über dem Richtwert und 5 % über dem Grenzwert der KKL-internen Spezifikation von 1000 µg/kg. In der Revision 2010 stiegen die TOC-Werte sogar auf 2'500 µg/kg an.

Eine Gefährdungsanalyse zur Überprüfung der Auswirkungen von erhöhten TOC-Konzentrationen im Wasser/Dampf-Kreislauf wurde durchgeführt. Eine Gefährdung der Systeme durch diesen erhöhten TOC-Gehalt findet nicht statt, solange keine Halogene und Schwefel in der Strukturformel der Stoffe enthalten sind.

Biologische Parameter im Hauptkühlwasser

Ab September 2005 wurde das Hauptkühlwasser (HKW) regelmässig mittels Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und Vollmetallkatalysator entkeimt^{BET/17/340}. Im Abstand von wenigen Tagen wurde dem HKW Wasserstoffperoxid in einer Menge von meist 100 kg stossweise zugegeben. Damit liessen sich der biologische Bewuchs (hauptsächlich Algen) im System und die Konzentrationen von Keimen im Kühlwasser deutlich reduzieren.

Bei der periodischen Messung von Keimen im HKW wurden im Herbst 2010 Legionellae pneumophila (Legionellen) festgestellt, welche wiederholt um die 100'000 KBE/l (koloniebildende Einheiten pro Liter Wasser) und somit deutlich über dem vom Bundesamt für Gesundheit (BAG) festgelegten Eingreifwert für Kühlsysteme von 10'000 KBE/l lagen.

In der Folge wurden seitens des KKL und nach Freigaben durch das ENSI verschiedene Aktivitäten und Massnahmen gestartet, um die Legionellenwerte zu reduzieren. Nachfolgend sind die am KKL erprobten Verfahren zur Desinfektion des HKW aufgelistet und kurz bewertet.

- Von September 2010 bis April 2012 wurde routinemässig Wasserstoffperoxid als Desinfektionsmittel eingesetzt. In der Revisionsabstellung 2011 wurde der Katalysator für den bevorstehenden Kühlturmumbau ausgebaut und danach die jeweils dosierte Menge von 100 kg auf 700 kg H₂O₂ erhöht. Die Dosierungen wurden jeweils im Abstand von wenigen Tagen durchgeführt. Die Legionellen blieben auf erhöhtem Niveau im Bereich von 10'000 bis 100'000 KBE/l.
- Ende Juni 2011 erfolgte eine einmalige Desinfektion mit einer grösseren Menge (1,8 t) Natriumhypochlorit (NaOCl), gefolgt vom organischen Biozid Tetrakis(hydroxymethyl)phosphoniumsulfat (2,1 t). Dies führte kurzfristig zu einer Reduktion der Legionellenwerte im Kühlwasser.
- Von Mai 2012 bis Ende Januar 2014 erfolgten periodische Desinfektionen mit Natriumhypochlorit sowie Behandlungen mit Wasserstoffperoxid. Dies führte zu einer deutlichen Reduktion der Legionellenwerte, sodass der Eingreifwert des BAG von 10'000 KBE/l grösstenteils unterschritten wurde. Nach dem altersbedingten Austausch der Einbauten im Kühlturm im Sommer 2012 konnte die Legionellenbelastung noch weiter gesenkt werden und lag im Jahr 2013 meist unterhalb der Bestimmungsgrenze von 1'000 KBE/l.
- Im Jahr 2014 wurde ein Langzeitversuch mit Chlordioxid (ClO₂) durchgeführt. Das KKL erhoffte sich eine effiziente und umweltschonende Behandlungsvariante zu Natriumhypochlorit zu finden. Während des Dauerversuchs wurden täglich 80 kg ClO₂ direkt in das Hauptkühlwasser dosiert. Trotz etlichen Optimierungsmassnahmen zeigte das Desinfektionsmittel nicht in allen Bereichen des HKW-Systems eine genügende Wirkung, und die Legionellenwerte waren teilweise erhöht. Insbesondere drang das Chlordioxid kaum in die Kühlturm-Einbauten ein, weil es grösstenteils im Kühlturm mit der Luft ausstript.
- Aufgrund der nicht nachhaltigen Reduktion der Legionellen mit Chlordioxid wurden ab Januar 2015 die periodischen Desinfektionen mit Natriumhypochlorit und Wasserstoffperoxid wieder aufgenommen. Alle 14 Tage erfolgte ein Stoss Natriumhypochlorit à 130 bis 260 kg. Wasserstoffperoxid wurde in Stössen à 500 bis 1'000 kg in Abständen von wenigen Tagen zudosiert. Die Legionellenwerte sanken wieder auf ein tiefes Niveau und unterhalb des Eingreifwerts von 10'000 KBE/l.

Im Juni 2015 stellte das KKL den Antrag für den unbefristeten Einsatz von Natriumhypochlorit und Wasserstoffperoxid für die Bekämpfung von Legionellen im Hauptkühlwasser. Die regelmässigen Biozidbehandlungen sind notwendig, um das Wachstum der ständig durch Wasser oder Luft in das Kühlsystem eingetragenen Legionellen unter Kontrolle zu halten. Die Umweltbedingungen im Hauptkühlwassersystem sind naturgemäss günstig für Legionellen in Bezug auf die dort herrschenden Temperaturen, Nährstoffkonzentrationen und Fließbedingungen.

Die Einsätze richteten sich primär nach den Legionellenwerten im HKW. Zur Einsatzplanung wurden weitere mikrobiologische Untersuchungen, wie der Verlauf der Koloniezahl und weitere Betriebsparameter herangezogen. Ziel war es, während des Betriebszyklus mit den regelmässigen Behandlungen das HKW-System sauber und die Legionellenwerte dauernd tief zu halten.

In den Revisionsabstellungen wurde das HKW-System komplett entleert und gründlich mechanisch gereinigt. Die Komponenten wurden regelmässig inspiziert und gewartet. Nach der Wiederbefüllung des Systems und der Durchströmung aller Leitungen erfolgte eine Grunddesinfektion mit einem Biozid. Mit diesen Massnahmen erwartet das KKL weiterhin nebst der mikrobiologischen Kontrolle im HKW auch eine lange Einsatzdauer der Kühlturmeinbauten mit guter Effizienz.

Im September 2015 erhielt das KKL die unbefristete Freigabe für die Bekämpfung von Legionellen im HKW mit Natriumhypochlorit und Wasserstoffperoxid. Basis der ENSI-Freigabe waren die Stellungnahmen des Bundesamtes für Gesundheit, des Bundesamtes für Umwelt, des Kantons Aargau und des Landkreises Waldshut. Die Freigabe ist an mehrere Auflagen gebunden, welche primär den Gewässerschutz zum Ziel haben. Das

KKL berichtet monatlich über die Biozideinsätze, die Mikrobiologie und die Überwachung der Einleitbedingungen in den Rhein. Im Jahresbericht sowie an den weiterhin jährlich stattfindenden Fachgesprächen mit den Behörden erfolgt eine umfangreichere Berichterstattung und Bewertung.

Fazit des KKL

Grundsätzlich zeigt die chemische Überwachung des Wasser/Dampf-Kreislaufes nur eine geringe Anzahl von Ereignissen, die für die Wasserchemie relevant sind^{PSÜ/5}. Dazu zählen vor allem die Ionenaustauscherharz-durchbrüche bei Anschwemmungen der Kondensatreinigungsanlage. Diese sind spontan und zeitlich begrenzt, da das Reaktorwasser mit einer Halbwertszeit von ca. 3 h durch das Reaktorwasserreinigungssystem gereinigt wird. Chronische oder spontane Kühlwassereinbrüche sind nicht aufgetreten.

Der durch EPRI durchgeführte internationale Vergleich, hauptsächlich mit US-Anlagen von General Electric, zeigt, dass im KKL die Chemie des Wasser/Dampf-Kreislaufes einen hohen Standard hat.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KKL-Spezifikation SPA/170^{SPA170}
- Technische Spezifikationen Leibstadt^{TS}
- Richtlinie VGB-R 401 J^{VGB401J}
- IAEA Safety Standard SSG-13^{SSG-13}
- EPRI-Berichte BWRVIP-159^{EPRI-159}, BWRVIP-167NP^{EPRI-167}, BWRVIP-190^{EPRI-190}
- Legionellen und Legionellose^{BAG-L}
- Gewässerschutzverordnung^{GSchV}

Beurteilung des ENSI

Die Qualität des Reaktorwassers im KKL bezüglich Leitfähigkeit, Chlorid und Sulfat war gut und liegt im Vergleich mit anderen Siedewasser-Anlagen im besten Drittel. Im Überprüfungszeitraum wurden die in der „Technischen Spezifikation“ für Iod-131 festgelegten Aktivitätskonzentrationsgrenzwerte im Reaktorwasser immer eingehalten.

Der Wert von 4 g Tramp-Uran ist vergleichsweise niedrig. Durch das rasche Erkennen der Brennelementschäden und die anschließenden Fluxtilttests konnten die defekten Brennelemente lokalisiert werden. Zur Leistungsverringerung im Bereich der Defektstäbe wurden Steuerstäbe eingefahren und damit der Anstieg des Tramp-Urans relativ gering gehalten.

Das Abgas-Online-Messsystem hat sich bei der Erkennung von Steuerstab- und Brennelementschäden bewährt. Die Trendverfolgung und die Überprüfung der Wirksamkeit des Austauschs von Steuerstäben waren damit möglich (vgl. Kap. 3.3.1.3).

Aktivierungsprodukte, vor allem Co-60, bestimmen wesentlich die Individual- und Kollektivdosen. Dies wird in Kap. 3.4 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Die Korrosionsprodukte im Speisewasser wurden angemessen überwacht. Der Eintrag von Eisen in den Reaktor hat sich durch den Austausch von Komponenten aus erosionsbeständigerem Material verringert. Die Zinkdosierung liegt mit 0,48 µg/kg knapp unterhalb des vom EPRI empfohlenen Maximalwerts von 0,5 µg/kg.

Das Wasser des Brennelementlagerbeckens wird kontinuierlich gereinigt und weist eine gute Qualität auf. Im Wasser der Druckabbaukammer wurden Anstiege der TOC-Konzentrationen während den Revisionsabstellungen beobachtet. Das KKL hat daraufhin die Verwendung von organischen Lösungsmitteln in der kontrollierten Zone stark eingeschränkt. Seit der Umsetzung dieser Massnahme sind die TOC-Konzentrationen im Wasser der Druckabbaukammer tief geblieben.

Seit Herbst 2010 wurden im Hauptkühlwasser Legionellae pneumophila nachgewiesen, die die gefährliche Legionärskrankheit auslösen können. Das KKL hat eine für seine Anlage wirksame Kombination von Chemikalien zu deren Bekämpfung gefunden und erfolgreich angewendet. Dies wird anhand der andauernden Überwachung der biologischen Belastung des Hauptkühlwassers bestätigt. Die Konzentrationen an Legionellae pneumophila im Hauptkühlwasser liessen sich kontrollieren und in einem tiefen Bereich halten. Die Überwachung ist weiterhin notwendig, weil biologische Systeme sich ändern und anpassen können. Beim regelmässigen Einsatz der Chemikalien wurden die Grenzwerte für die Einleitung von Kühlwasser in den Rhein immer eingehalten.

3.5.2 Änderungen in der Wasserchemie

Angaben des KKL

Wasserstoff- und Edelmetalleinspeisung

In Siedewasserreaktoren wurde seit längerer Zeit Spannungsrissskorrosion an Schweissnähten von Reaktoreinbauten, Stutzen des Reaktordruckbehälters und Umwälzleitungen festgestellt^{PSÜ/5}. Als vorsorgliche Massnahme dagegen und im Rahmen des Betriebsdauermanagements hatte sich das KKL entschlossen, die bestehende Wasserchemie „Normal Water Chemistry (NWC)“ durch die „Wasserstofffahrweise mit On-Line NobleChem®-Einspeisung“ (HWC/OLNC) zu ersetzen. Als Edelmetall wird Platin eingesetzt.

Im September 2008 wurde die Wasserstoffdosierung in Betrieb genommen. Im November 2008 wurde mit der Platineinspeisung begonnen. Bereits nach einer eingespeisten Menge von wenigen Gramm Platin sank das elektrochemische Potential (ECP) an allen vier in den Kreislauf eingebauten Messstellen auf den angestrebten Wert von -500 mV. Ein Schutz gegen Spannungsrissskorrosion liegt unterhalb von -230 mV (reduzierende Bedingungen im Reaktorwasser) vor. Die geplante Platinmenge von 700 g konnte erfolgreich innerhalb der vorgesehenen Zeit von rund 15 Tagen eingespeist werden. Ab dem 8. Dezember 2008 wurde die Wasserstoffdosierung mit einer konstanten Rate von $15 \text{ Nm}^3/\text{h}$ betrieben. Dies entspricht einer Wasserstoffkonzentration im Speisewasser von $0,19 \text{ mg/kg}$. Die Dosisleistung an den Frischdampfleitungen lag nach der Applikation leicht unter dem Wert von vor der ersten Wasserstoffeinspeisung.

Die ECP-Werte in der Umwälzleitung stiegen jeweils nach einer gewissen Zeit nach der Applikation an. Zu Beginn einer Reapplikation wurde die Elektrode durch das dosierte Platin jedoch in sehr kurzer Zeit wieder funktionsfähig und zeigte Werte von ca. -490 mV. In der Folge zeigte die Messstelle jedoch immer wieder einen Anstieg der ECP-Werte. Wegen des Verhaltens der ECP-Messung in der Rezirkulationsleitung entschied das KKL nach einer Hauptapplikation, die die Minimalanforderungen der Firma GE Hitachi Nuclear Energy (GEH) erfüllte, die restliche Platinmenge in mehreren kürzeren „Miniapplikationen“ einzuspeisen.

Für die Bewertung der Schutzwirkung wird von EPRI in erster Linie die Verfügbarkeit der Wasserstoffeinspeisung herangezogen. Der Indikator „OLNC Mitigation Performance Indicator“ gilt als „exzellent“, wenn die Verfügbarkeit der Wasserstoffeinspeisung über 95 % liegt. Das KKL liegt 3 % über diesem Zielwert von 95 %.

Parallel zu den Platineinspeisungen im KKL wurde am Paul Scherrer Institut (PSI) das Projekt NORA (Noble Metal Deposition Behavior in Boiling Water Reactors) durchgeführt. Im KKL ausgelagerte Stahlproben wurden im Rahmen dieses Projekts auf Platinbelegung analysiert.

Verschiedene Organisationen, welche sich mit dem Thema der Wasserstoff- und Edelmetalleinspeisung befassen, wie PSI/NORA, EPRI, NRC, GEH, BWR Owners Group, kommen zum Schluss, dass für einen optimalen Schutz des Reaktors, dessen Einbauten und Leitungen vor Spannungsrissskorrosion die Platinpartikelgrösse, deren Anzahl und deren Verteilung wichtige Erfolgskriterien sind.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KKL-Spezifikation SPA/170^{SPA170}
- Technische Spezifikationen Leibstadt^{TS}
- Richtlinie VGB-R 401 J^{VGB401J}

- IAEA Safety Standard SSG-13^{SSG-13}
- EPRI-Berichte BWRVIP-159^{EPRI-159}, BWRVIP-167NP^{EPRI-167}, BWRVIP-190^{EPRI-190}

Beurteilung des ENSI

Durch die Umstellung auf die HWC/OLNC-Fahrweise konnte das ECP im Reaktorwasser unter die erforderlichen -230 mV abgesenkt werden. Die Verfügbarkeit der Wasserstoffeinspeisung war mit mehr als 95 % der Vollastbetriebszeit hoch. Die Begleitung der Umstellung durch das Forschungsprojekt NORA hat sich positiv ausgewirkt und zur Optimierung der Einspeiseraten, Mengen und zur Erzeugung von kleineren, wirksameren Platinpartikeln geführt. Der Umstieg von der oxidierenden auf die reduzierende Fahrweise war im KKL erfolgreich. Der Umbau der Oxidschichten in den Systemen dauerte drei bis vier Jahre.

Im Kap. 3.4 der vorliegenden Stellungnahme sind die Auswirkungen der HWC/OLNC-Fahrweise auf das Verhalten der Zinkkonzentration und die Dosisleistung an Primärleitungen dargelegt.

3.5.3 Anlagen zur Reinigung radiologisch belasteter Wässer

Angaben des KKL

Filter und Harze

Zur Reinigung der Wässer im Wasser/Dampf-Kreislauf und in der Abwasserreinigung des Aufbereitungsgebäudes (Radwaste) werden hauptsächlich Ionenaustauscheranschwemmfilter eingesetzt^{PSÜ/5}. Es handelt sich dabei um ein kombiniertes Filtrations- und Ionenaustauschverfahren, bei welchem beide Vorgänge gleichzeitig ablaufen.

Wichtigste Aggregate der Anlage sind die eigentlichen Filter. Diese sind zylindrische, stehende Druckbehälter, in welchen die Filterelemente senkrecht stehend eingebaut sind. Ein Filterelement setzt sich aus einem rostfreien, fein gelochten Stützelement und einem Trägerelement zusammen. Als Trägerelement kommen gewickelte Polypropylen-, Polyester- oder rostfreie Stahlgewebe zum Einsatz.

Es werden nur stark saure Kationenaustauscher mit der funktionellen Gruppe Sulfonsäure und stark basische Anionenaustauscher mit einer quarternären Aminogruppe des Divinylbenzol-Styrol-Typs verwendet. Das Mischungsverhältnis von Kationen- zu Anionenharz variiert je nach Aufgabenstellung von 3:1 bis 1:3. Die Harze werden vor dem Einsatz auf Funktion und Reinheit geprüft.

Im KKL werden in folgenden Systemen Anschwemmfilter eingesetzt:

- Kondensatreinigungsanlage
- Reaktorwasserreinigung
- Brennelementbecken- und Druckabbaukammerwasserreinigung
- Abwasserreinigung des Aufbereitungsgebäudes

Der jährliche Harzverbrauch des KKL nahm in den vergangenen zehn Jahren um rund 20 % von 4'100 kg auf 3330 kg ab^{PSÜ/5}.

Kondensatreinigungsanlage

Bei den zwei grössten Harzdurchbrüchen war die Ursache die schlechtere Qualität einer Harzcharge^{PSÜ/5}. Von Mitte 2007 bis zur Revisionsabstellung 2010 traten in der KRA bei der Inbetriebnahme frisch angeschwemmter Filter vereinzelt kleine Harzdurchbrüche auf. Als Ursache wurden jeweils wenige Filterkerzen gefunden, die am oberen Abschlussdeckel bei den angeschweissten Führungsstiften einen kleinen Riss aufwiesen, welcher nach ein bis zwei Jahren Einsatzdauer entstand. Mit dem Einsatz neuer, in diesem Bereich verstärkter Filterkerzen traten keine Harzdurchbrüche mehr auf.

Mit dem Umbau der Niederdruckturbine in der Revision 2010 sank der Eisengehalt im Rohkondensat von 18 µg/kg auf 14 µg/kg. Die Standzeiten der Anschwemmungen verbesserten sich entsprechend und der Harzverbrauch nahm von 3'300 kg pro Jahr auf rund 2'000 kg pro Jahr ab.

Die KRA zeigte insgesamt gute Betriebsergebnisse. Der Harzverbrauch war tief, das Eisen wurde effizient ausfiltriert und die Filterkerzen hatten gute bis sehr gute Standzeiten.

Reaktorwasserreinigung

Die Dekontaminationsfaktoren waren gut^{PSÜ/5}. Während einer Filterstandzeit (Zeit zwischen den Anschwemmungen, rund 40 Tage) verschlechterte sich der Abscheidegrad für Co-60 von anfänglich 99 % auf rund 90 %. Die Filter wurden in der Regel bei Erreichen eines Silikat-Werts von rund 200 µg/kg oder bei erhöhter Borsäure im Reaktorwasser neu angeschwemmt. Der Harzverbrauch lag in den letzten zehn Jahren bei rund 400 kg pro Jahr. Im Zeitraum von 2013 bis 2014 war er aufgrund von defekten Steuerstäben mit einhergehender Borauswaschung allerdings höher.

Die Reaktorwasserreinigungsanlage zeigt insgesamt gute Betriebsergebnisse.

Brennelementbecken- und Druckabbaukammerwasserreinigung

Der Harzverbrauch betrug normalerweise rund 350 kg pro Jahr^{PSÜ/5}. In den Jahren 2010/2011 fand im Brennelementlager die Entsorgungskampagne PEAK (Projekt zur Entsorgung von ausgebauten Kernkomponenten) statt. Bei der Unterwasserzerlegung von Steuerstäben wurde Borsäure ins Beckenwasser freigesetzt. Dadurch mussten die Filter der Brennelementbecken- und Druckabbaukammerwasserreinigung vermehrt angeschwemmt werden, was einem zusätzlichen Verbrauch von 1'100 kg Harz verursachte. In den Jahren 2014 und 2015 wurde die Druckabbaukammer mit einem Absauggerät mechanisch gereinigt, was ebenfalls zu einem höheren Harzverbrauch führte.

Die Brennelementbecken- und Druckabbaukammerwasserreinigung zeigte gute Betriebsergebnisse.

Abwasserreinigung des Aufbereitungsgebäudes

Der Harzverbrauch betrug rund 200 kg pro Jahr^{PSÜ/5}. Die nachgeschalteten Mischbettfilter wurden wenig belastet. Das Kugelharz (2'000 l pro Behälter) wurde rund alle zehn Jahre ersetzt.

Die Abwasserreinigung des Aufbereitungsgebäudes zeigte gute Betriebsergebnisse.

Massnahmen zur Minimierung der radioaktiven Abgaben an die Umwelt

- Mit der HWC/OLNC-Fahrweise stieg der Iod-131-Übertrag vom Reaktorwasser in die Sekundäranlage von ca. 2 % des Iod-131 im Reaktorwassers auf ca. 8 % an^{PSÜ/5}. Beim Betrieb mit Brennstoffdefekten wird der Abfahrvorgang zur Revisionsabstellung jeweils so optimiert, dass die Iod-131-Freisetzung möglichst minimiert wird. Durch die rechtzeitige Ausserbetriebnahme der Wasserstoffeinspeisung und den Teillastbetrieb vor der Abstellung kann das Iod-131-Inventar in der Sekundäranlage reduziert werden. Die ersten zwei Wochen der Revisionsabstellung führen jeweils zu den höchsten Wochenabgaben im Betriebsjahr. Durch die beschriebenen Massnahmen kann die Iod-131-Emission reduziert werden.
- Beim Betrieb der Verdampferanlage wird durch die Kontrolle deS pH-Werts der Verdampferblase darauf geachtet, dass keine flüchtigen Iodverbindungen entstehen, die über die Schiebeluft Iod-131-Emissionen verursachen könnten.
- Dem Kondensat nach der Kondensatreinigungsanlage, das als Zusatzwasser für den Inaktiv-Sperrdampfumformer verwendet wird, wird über einen Ionenaustauscher weitere Iod-131-Aktivität entnommen. Dadurch reduziert sich die Abgabe von Iod-131 mit der Abluft des Stopfbüchsendampfkondensators.
- Dem Anfahrvakuum-sauger ist ein Aktivkohlefilter nachgeschaltet. Mit diesem System wird vor allem nach dem Abfahren für die Revisionsabstellung saubere Umgebungsluft mit einer gerichteten Strömung in die Sekundäranlage eingezogen und über den Aktivkohlefilter in den Fortluftkamin gefördert.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KKL-Spezifikation SPA/170^{SPA170}
- Technische Spezifikationen Leibstadt^{TS}
- Richtlinie VGB-R 401 J^{VGB401J}
- IAEA Safety Standard SSG-13^{SSG-13}
- EPRI-Berichte BWRVIP-159^{EPRI-159}, BWRVIP-167NP^{EPRI-167}, BWRVIP-190^{EPRI-190}

Beurteilung des ENSI

Die Anlagen zur Reinigung von radioaktiv belasteten Wässern zeigen gute Betriebsergebnisse, was zur Dosisminimierung für das Personal beiträgt. Die Senkung des Harzverbrauchs ist zu begrüßen, da damit auch die Menge an radioaktivem Abfall reduziert wird. Die Massnahmen zur Minimierung der radioaktiven Abgaben an die Umwelt haben erfolgreich die Emissionen von Iod während des Normalbetriebs und den Revisionsabstellungen reduziert.

3.5.4 Abläufe im Labor und bei der Probenahme

Angaben des KKL

Laborräume

Das Heisse Labor in der kontrollierten Zone ist grosszügig ausgelegt und bietet Platz für alle Analysengeräte und auszuführenden Arbeiten der Gruppe Heisses Labor und der Gruppe Chemotechnik^{PSÜ/5}.

Das Kalte Labor befindet sich im Bereich der Kühlturmzusatzwasseraufbereitung. Die Qualität der Infrastruktur und das zur Verfügung stehende Angebot für Büro- und Laborplätze sind verbesserungsbedürftig. Ein Projekt zur Ertüchtigung des Labors ist in Vorbereitung.

Laborhandbuch

Die unter den Begriff „Laborhandbuch“ fallenden, für die chemische Überwachung relevanten Dokumente sind Teil des Qualitätsmanagementsystems und betreffen die Organisation, die Standards, die Qualitätssicherung sowie die Spezifikationen^{PSÜ/5}. Für Systeme, deren Medien chemisch und radiochemisch überwacht werden müssen, wurden Normalbetriebs-, Richt- und Grenzwerte definiert. Sämtliche Arbeitsanweisungen zur Durchführung der Arbeiten nach Analysenplan, inkl. Probenentnahme und Probevorbereitung sind in den jeweiligen Vorschriften beschrieben. Diese sind einerseits in elektronischer Form im KKL-Dokumentenmanagementsystem abgelegt und liegen andererseits im Labor in Papierform vor.

Labordatenverwaltung

Im Februar 2007 wurde das Laborinformationsmanagementsystem durch das Chemieinformationssystem (CIS) abgelöst^{PSÜ/5}. Die Daten des Laborinformationsmanagementsystems wurden ab 1992 in das neue CIS-System übernommen, sind damit seit 1992 elektronisch archiviert und stehen online zur Verfügung. Im Jahr 2013 wurde im CIS das Qualitäts-Sicherungsmodul eingeführt.

Messergebnisse werden in handschriftlichen Protokollen erfasst und/oder direkt in das CIS-System eingegeben. Die ermittelten Analyseergebnisse werden gegen Normalbetriebswerte, Richtwerte und Grenzwerte geprüft. Für die Trendverfolgung kann der CIS-Nutzer Grafiken definieren und hinterlegen. Der Vergleich mit historischen Daten und die Gegenüberstellung der Messergebnisse verschiedener Systeme dienen der Erkennung von Zusammenhängen.

Analysetechniken

Bis 2008 wurde im KKL die Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie eingesetzt^{PSÜ/5}. Im Rahmen der Umstellung von der NWC- auf die HWC/OLNC-Fahrweise wurde es notwendig, Platin in Konzentrationen von < 1 ng/kg nachzuweisen. Um diesen tiefen Konzentrationsbereich zu erreichen, wurde auf die ICP/MS-Technik (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma) umgestellt. Seit 2008 wird diese Technik im KKL erfolgreich für die Reaktorwasseranalyse (Platin, Zink, Eisen, Lithium, Bor, Natrium usw.) und die Korrosionsprodukte im Kondensat und Speisewasser (Eisen, Chrom, Nickel, Cobalt usw.) eingesetzt. Diese Methode ist im Vergleich zu weiteren möglichen Methoden relativ teuer und die Bedienung des Geräts erfordert viel Erfahrung. Ein EPRI-Vergleich von 2013 zeigt, dass die ICP/MS-Methode nur von vier Werken angewendet wird.

Für die Anionenanalyse von Chlorid (Cl⁻), Fluorid (F⁻), Sulfat (SO₄²⁻), Nitrat (NO₃⁻), usw. wird schon seit Jahrzehnten die Ionenchromatographie eingesetzt. Mit der eingesetzten Anreicherungsmethode liegt die Nachweisgrenze für Cl⁻ dabei bei ca. 0,1 µg/kg und für SO₄²⁻ bei ca. 0,5 µg/kg. Für weitere Parameter werden standardmässig handelsübliche Analysegeräte eingesetzt, die in einem zeitgemässen analytischen Labor zur Überwachung der Wasserchemie eines Kernkraftwerks mit einem Siedewasserreaktor und der HWC/OLNC-Fahrweise für solche Zwecke üblich sind und dem Stand der Technik entsprechen.

Die Hauptanalysetechnik für die Radiochemie ist die Gammaskpektrometrie. Mit dieser Technik können die in einem Kernkraftwerk vorkommenden Gammastrahler aktivierter Korrosionsprodukte und Spaltprodukte identifiziert und quantifiziert werden. Die grundsätzliche Technik hat sich in den letzten Jahrzehnten nicht geändert. Durch den Ersatz von Detektoren, Elektronikkomponenten und Auswertesoftware wird im KKL jeweils entsprechend dem Stand der Technik nachgerüstet.

Mit den angewendeten Techniken und den vorhandenen Analysevorschriften lassen sich die relevanten Parameter im Wasser/Dampf-Kreislauf in der geforderten Qualität nachweisen. Die KKL-Analysetechnik und der Gerätepark weisen einen guten Stand auf.

Probenahme

Für den Leistungsbetrieb der Anlage ist der Umfang der chemischen und radiochemischen Überwachung im Analysenprogramm festgelegt und alle zu beprobenden Systeme sind aufgelistet^{PSÜ/5}. Bei geplanten Transienten wird von den betroffenen Gruppenleitern zusammen mit dem Leiter des Ressorts Chemie entsprechend der Betriebsplanung ein Analysenprogramm erstellt und mit den betroffenen Mitarbeitenden abgesprochen. Bei ungeplanten Transienten wird ausserhalb der Normalarbeitszeit das Pikett der Gruppe Heisses Labor aufgeboden. Der Umfang und die Frequenz der Analysen wird dem Verlauf und den Auswirkungen der Transienten entsprechend angepasst.

Vermeidung von Querkontamination

Es sind strahlenschutztechnische Vorsichtsmassnahmen für den Umgang mit radioaktiven Proben definiert^{PSÜ/5}. Je nach Qualität der Anforderungen sind auch Vorgaben zur Verhinderung von Querkontaminationen einzuhalten: Es sind z. B. immer neue Probebehälter zu verwenden, oder das Messgefäss muss vor Messung auf Radioaktivität geprüft werden. Ein hoher Standard, also „best practice“, wird bei der Messung von Aktivitäten im Bereich der Nachweisgrenze, wie bei der Abgabe von Wasser an die Umwelt oder bei Emissionen mit der Kaminfortluft, verlangt.

Bis zum Jahr 2013 wurde ein Teil der Abgabebilanzierung mit der Kaminfortluft und dem Abwasser im Heissen Labor durchgeführt. Nach einer vermuteten Querkontamination einer Probe zur Bestimmung der Aerosole in der Kaminfortluft wurde im Kalten Labor ein eigenes, getrenntes Umweltmesslabor für die Messung von Gammaskpektrometrieproben eingerichtet. Seit Februar 2013 werden alle Proben der Kaminfortluft und des Abwassers für die Abgabebilanzierung in diesem Labor gehandhabt und gemessen.

Qualitätskontrolle

Basis für die Qualitätssicherung der Abläufe im Labor und bei den Probenahmen ist die KKL-Richtlinie „Qualitätskontrollprogramm für Chemie- und Radiochemie-Instrumentarium“^{RL/49}. In diesem Dokument sind die

grundsätzlichen Massnahmen der Qualitätssicherung festgehalten. Die detaillierten Massnahmen betreffend der Qualitätskontrolle sind in separaten Ausführungsvorschriften beschrieben^{PSÜ/5}. Durchgeführt wird die Qualitätskontrolle mit Hilfe von:

- Qualitätskontrollgrafiken pro Methode oder Gerät
- Werten von Kalibrationen
- Werten von periodischen Standards
- Kalibrierkurven
- Instrumentenstamblättern

In den Instrumentenstamblättern der Geräte werden z. B. Service und Wartungsarbeiten sowie Kalibrierungen und Abweichungen festgehalten.

Seit dem Jahr 2013 erfolgen die Erfassung der Kalibrierdaten, die Erstellung der Qualitätskontrollgrafiken und die Einträge in einem elektronischen Logbuch mit dem neuen Chemie-Informations-System-Qualitätssicherungs-Modul^{PSÜ/5}.

Im KKL sind Akzeptanzkriterien als zugelassene Abweichungen von einem Sollwert definiert. Bei einer Verletzung von Akzeptanzkriterien erfolgen folgende Massnahmen:

- Alle Messungen seit der letzten akzeptierten Kontrolle werden geprüft und falls nötig gekennzeichnet (z. B. Texteintrag im CIS), korrigiert oder verworfen.
- Die Ursache der Abweichung wird ermittelt und korrigierende Massnahmen werden eingeleitet.
- Die betroffenen Geräte werden für einen weiteren Gebrauch gesperrt mit der Kennzeichnung „out of service“ bis sie nachgewiesenermassen wieder funktionstüchtig sind.

Die Messergebnisse und Massnahmen werden dokumentiert.

Ringversuche zu chemischen Parametern

Das Heisse Labor nahm von 2010 bis 2015 jährlich an Ringversuchen zu chemischen Parametern teil^{BET/17/340}. Bestimmt wurden Bor, Chlorid, Sulfat, Silicat, Kupfer, Eisen, Natrium und Ammoniak. Das Kalte Labor beteiligte sich jährlich am NaCl-Ringversuch (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium, Chlorid, Sulfat), welcher dessen Arbeitsgebiet (Grund-, Oberflächen, Trink- und Betriebswasser) bezüglich Parametern und Konzentration besser abdeckt.

Beide Laboratorien erzielten jeweils gute Ergebnisse. Bei vereinzelt aufgetretenen grösseren Abweichungen wurde die mögliche Ursache ermittelt und entsprechende Verbesserungsmassnahmen umgesetzt.

Vergleichsmessungen zu radiochemischen Parametern

Das Kalte Labor und das Heisse Labor nahmen jährlich im Überprüfungszeitraum an radiochemischen Ringversuchen des deutschen Bundesamts für Strahlenschutz teil^{BET/17/340}. Es handelte sich dabei um die Ringversuche „Abwasser 20XX“ (nuklidspezifische Gamma-Spektrometrie, Strontium- und Tritium-Bestimmung) und die Ringversuche „Fortluft 20XX“ (nuklidspezifische Gamma-Spektrometrie). Durch den Vergleich mit den Ergebnissen anderer Laboratorien werden Hinweise auf mögliche systematische Fehler bei der Messung, Kalibrierung oder Probenaufbereitung aufgezeigt.

Die beiden Behörden BAG und ENSI überwachen mit eigenen Stichprobenmessungen (Nuklidspezifische Gamma-Spektrometrie, teilweise Tritium- und Strontium-Bestimmung), ob die Betreiber der Kernkraftwerke die Bilanzierung der radioaktiven Abgaben korrekt durchführen. Das ENSI analysiert in unregelmässigen Abständen mindestens viermal jährlich die Iodpatronen und Aerosolfilter des Abluftsystems sowie Proben von abgabebereitem Abwasser aus dem Kontrollbehälter und vergleicht die Ergebnisse mit den entsprechenden Analyseergebnissen des KKL. Das BAG führt in Absprache mit dem ENSI zweimal pro Jahr Parallelmessungen durch.

Im Überprüfungszeitraum traten zwei unzulässige Abweichungen zwischen Behörden- und KKL-Messergebnissen auf:

- Im September 2009 wurden bei der Monatsmischprobe des Abwassers bei allen drei festgestellten Nukliden (Mn-54, Co-58 und Co-60) Abweichungen zwischen –49 % bis –80 % gemessen^{BET/17/340}. Beim Co-60 (–80 %) wurde die Untersuchungsschwelle verletzt, welche bei –50 % liegt. Als Ursache der Abweichung wurde eine ungenügende Ansäuerung der Probe (Wandeffekte, Sedimentation) oder Querkontamination vermutet. Das KKL verbesserte daraufhin die Probenhandhabung. Seither wurden keine unzulässigen Abweichungen festgestellt.
- Im 2. Quartal 2012 hatten das ENSI und das BAG bei beiden Proben des Abluftsystems Co-60 gemessen. Das KKL hatte kein Co-60 ausgewiesen. Nachmessungen zeigten, dass das KKL vermutlich mit Co-60 kontaminierte Becher für die Abfüllung des Adsorbermaterials der ENSI/BAG-Proben verwendet hatte. Seither wird das Adsorbermaterial im Kalten statt im Heissen Labor umgefüllt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KKL-Spezifikation SPA/170^{SPA170}
- Technische Spezifikationen Leibstadt^{TS}
- Richtlinie VGB-R 401 J^{VGB401J}
- IAEA Safety Standard SSG-13^{SSG-13}

Beurteilung des ENSI

Die Räumlichkeiten des Heissen Labors haben sich bewährt, an der Optimierung des Kalten Labors wird gearbeitet. Im Laborhandbuch sind alle routinemässigen Vorgänge für die chemische und radiochemische Überwachung der Wasser- und Dampfkreisläufe übersichtlich sowie nachvollziehbar beschrieben. Auf Transienten, die einen Einfluss auf die Wasserchemie haben, wird situativ reagiert. Durch den Einsatz einer Datenbank sind effiziente Verwaltung, Überprüfung und Nachvollziehbarkeit der Daten möglich. Vor allem die Trendverfolgung ermöglicht das Erkennen von Zusammenhängen.

Die zur Verfügung stehenden Analysetechniken entsprechen den Erfordernissen und werden bei erforderlichen Änderungen der Aufgaben angepasst sowie rechtzeitig modernisiert. Das KKL hat aus Querkontaminationen gelernt und die zur Vermeidung notwendigen Massnahmen ergriffen. Die Qualitätskontrolle wird konsequent umgesetzt. An Ringversuchen wird regelmässig und fast immer mit Erfolg teilgenommen, bei Abweichungen erfolgt eine umfassende Ursachenanalyse und konsequente Verbesserung.

Damit hat das KKL gezeigt, dass es bestrebt ist, die Qualität der Analysen- und Messergebnisse regelmässig zu überprüfen und diese dauerhaft hoch zu halten. Allfälligen Besonderheiten wird nachgegangen, entsprechend analysiert und dokumentiert. Das ENSI sieht diese Vorgehensweise als sicherheitsgerichtet an.

3.5.5 Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik

Angaben des KKL

Optimierung der Platineinspeisung für HWC/OLNC

Für eine optimale Platineinspeisung bei der HWC/OLNC-Fahrweise sollten möglichst viele und entsprechend kleine Platinpartikel erzeugt und über lange Zeit in den Reaktor transportiert und verteilt werden^{PSÜ/5}. Zu diesem Zweck muss die Platinzugabe in die Speisewasserleitung optimiert werden. Die Einspeisung soll so gestaltet sein, dass keine Verstopfung der Einspeisestelle und keine Ablagerung an der Leitungswand entstehen. Durch eine kontinuierliche Einspeisung oder eine grosse Anzahl Miniapplikationen soll die Einspeisung über eine möglichst lange Zeit erfolgen. Dadurch wird das Risiko von „Crack Flanking“ reduziert. Als Crack Flanking bezeichnet man das fortschreitende Risswachstum im Bereich der Rissflanken in der Zeit, in der keine Platinpartikel zur Verfügung stehen, welche in die Rissflanken eindringen könnten.

Optimierung der HWC/OLNC-Fahrweise

Das KKL verfolgt die Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der HWC/OLNC-Fahrweise aufmerksam^{PSÜ/5}. Sich bewährende, neue Techniken werden bewertet. Nach erfolgreichen Erprobungen werden die Machbarkeit und der Nutzen einer möglichen Einführung im KKL intensiv geprüft. Dazu zählt zum Beispiel die Gewährleistung des Schutzes gegen Spannungsrisskorrosion während des Anfahr- und Abfahrbetriebs, wenn die Reaktortemperatur in einem Bereich ist, bei welchem das Risswachstum ein Maximum erreichen kann. Dies könnte durch das Einspeisen von Wasserstoff, Hydrazin, Methanol oder Titanoxid direkt beim Anfahren in das Reaktor-druckgefäss möglich sein.

Spannungsrisskorrosion

Korrosionsuntersuchungen haben gezeigt, dass selbst kleine Chloridkonzentrationen im Reaktorwasser das Risiko für Spannungsrisskorrosion erhöhen können^{PSÜ/5}. Durch eine optimale Wasseraufbereitung, einen dichten Kondensator (Ertüchtigungsprojekt ERKO mit neu eingerollten und verschweissten Kondensatorrohren), durch gute Sauberkeitsstandards bei Arbeiten und Ersatzteilen und durch den kontrollierten Einsatz anlagengefährdender Stoffe soll der heute erzielte Standard gehalten oder sogar verbessert werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- KKL-Spezifikation SPA/170^{SPA170}
- Technische Spezifikationen Leibstadt^{TS}
- Richtlinie VGB-R 401 J^{VGB401J}
- IAEA Safety Standard SSG-13^{SSG-13}
- EPRI-Berichte BWRVIP-159^{EPRI-159}, BWRVIP-167NP^{EPRI-167}, BWRVIP-190^{EPRI-190}

Beurteilung des ENSI

Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik werden vom KKL verfolgt und die daraus abgeleiteten Massnahmen umgesetzt.

3.6 Umgebungsüberwachung

Die Überwachung der Direktstrahlung und der Radioaktivität ausserhalb des umzäunten Betriebsareals (Immissionsüberwachung) ist neben dem Vergleich der Abgaben mit den Abgabelimiten und den aus den Abgaben rechnerisch ermittelten Dosiswerten in der Umgebung, die dritte wichtige Kontrollmassnahme zum Schutz der Bevölkerung in der Umgebung einer Kernanlage. Dabei wird überprüft, ob die Immissionsgrenzwerte gemäss Art. 24 StSV, die Begrenzung der Ortsdosis nach Art. 79 Abs. 2 StSV, der quellenbezogene Dosisrichtwert von 0,3 mSv pro Jahr und der Richtwert für die Direktstrahlung von 0,1 mSv pro Jahr sowie die Untersuchungsschwellen bei der Umweltüberwachung gemäss Art. 195 Abs. 1 StSV unterschritten sind.

Gemäss Art. 191, 193 und 194 StSV obliegen die Überwachung der Radioaktivität in der Umgebung der Kernanlagen und die Sammlung und Veröffentlichung der Resultate dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) und dem ENSI. Die dafür notwendigen Messungen in der Umgebung der Kernanlagen erfolgen gemäss dem Umgebungsüberwachungsprogramm, das jährlich vom BAG und dem ENSI überprüft und gegebenenfalls angepasst wird. Es wird bei signifikanten Anpassungen auch jährlich ins „Abgabe- und Umgebungsüberwachungsreglement“, welches vom ENSI erlassen wird, übernommen.

Im Umgebungsüberwachungsprogramm sind die zu überwachenden Umgebungsparameter, die Probenahmeorte, die Messhäufigkeit sowie die Verfahren zur Probenerhebung und Messungen festgelegt. Diese Festlegungen erfolgen unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Abgabepfad, Menge, Zusammensetzung, physikalische und chemische Form der aus dem KKL freigesetzten radioaktiven Stoffe;
- Ausbreitung und Ablagerung radioaktiver Stoffe in der Umwelt sowie Übergang in Pflanzen und Nahrung;
- Besiedlungsstruktur und Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung.

Das KKL ist gemäss Umgebungsüberwachungsprogramm verpflichtet, am Arealzaun und in der Umgebung die Ortsdosis mittels passiver Dosimeter zu ermitteln, zur Überwachung der Luftaktivität monatlich in der Umgebung positionierte Staubfangplatten auszumessen und Rheinwasserproben im Kühlwassereinlauf und -auslauf des KKL zu erheben und auszumessen. Weiterhin führen gemäss Umgebungsüberwachungsprogramm auch das BAG, die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, das Institut de Radiophysique, die Universität Bern sowie das Kantonale Amt für Verbraucherschutz des Kantons Aargau und das ENSI selbst Messungen der Radioaktivität und der Direktstrahlung in der Umgebung des KKL durch.

Angaben des KKL

Die radiologischen Quellen, die zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe unterhalb der Abgabelimiten führen können, und ihr Freisetzungspotenzial sind tabellarisch zusammengestellt. Der quellenbezogene Dosisrichtwert wird bei diesen Quellen in jedem Fall eingehalten. Quellen, die zu einer Überschreitung der Abgabelimiten führen können, werden im Rahmen der radiologischen Störfallanalysen separat betrachtet.

Anhand des Ist-Zustands Ende 2015 wird das Umgebungsüberwachungs- und Probenahmeprogramm detailliert dargelegt. Die Messstandorte, die Probenart und die Messmethoden werden grundsätzlich als geeignet zur Erkennung von Freisetzungen radioaktiver Stoffe und zur Einschätzung von deren Auswirkungen auf die Umgebung im Normalbetrieb oder bei Störfällen bewertet. Verbesserungspotenzial im Probenahme- und Umgebungsüberwachungsprogramm ergibt sich laut dem KKL vor allem bei der Grundwasserüberwachung: Hier sollte der Grundwasserstrom unter dem Werk und in der näheren Umgebung besser überwacht werden, um auch im Störfall eine Aussage über die Belastung des Grundwasserreservoirs machen zu können.

Ein Vergleich der Messergebnisse der Umgebungsüberwachung mit den Ergebnissen von Ausbreitungsrechnungen ist nur sehr bedingt oder gar nicht möglich. Der Hauptgrund dafür liegt in den sehr tiefen Abgaben im Normalbetrieb; somit können die emittierten Stoffe in der Umgebung kaum nachgewiesen werden, und es kann keine gesicherte Korrelation zwischen Emissionen und Immissionen festgestellt werden. Die gemessenen Aktivitäten in der Umgebung werden von natürlichen Radionukliden dominiert. Die fehlende Korrelation kommt beispielsweise bei einem Vergleich der Aerosol- und Iodemissionen des KKL mit den Ablagerungen auf den Staubfangplatten zum Ausdruck. Die Schwankungen der Gesamt-Beta-Messungen der Staubfangplatten zeigen zwar deutliche jahreszeitliche Schwankungen, welche aber auf verschiedene natürliche Effekte zurückgeführt werden können und keinen Einfluss durch den Betrieb des KKL erkennen lassen.

Alle zwei Jahre fanden in einem Gebiet rund um das KKL aeroradiometrische Messungen mit einem helikoptergestützten Messsystem statt. Dabei wurden ausserhalb des Areals des KKL erwartungsgemäss keine künstlichen Radionuklide gemessen – direkt über dem Werk war die Ortsdosisleistung aufgrund des für Siedewasseranlagen typischen Stickstoff-16-Zerfalls (N-16) deutlich erhöht.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Artikel 24, 79, und 191 bis 195 StSV^{StSV}
- Richtlinie ENSI-G15^{G15}
- Abgabe- und Umgebungsüberwachungsreglement des KKL^{ENSI 12/2405}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI ist mit den Aussagen des KKL zur Umgebungsüberwachung einverstanden und ergänzt diese wie folgt:

Seit dem Jahr 1993 betreibt das ENSI das Messnetz zur automatischen Erfassung der Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) in Verbindung mit dem System zur Übertragung der Anlagenparameter aus den Kernkraftwerken für Notfälle. Dieses System dient der Beweissicherung im Normalbetrieb, dem Erkennen von Betriebsstörungen, Zwischenfällen und Unfällen mit signifikanten Emissionen an die Umgebung, der Bestimmung des betroffenen Gebiets bei einem Austritt von Radioaktivität und der Beurteilung von möglichen Notfallschutzmassnahmen. Während des Überprüfungszeitraums waren an den Standorten der MADUK-Sonden keine Erhöhungen der Ortsdosisleistung messbar, die auf den Betrieb des KKL zurückzuführen waren.

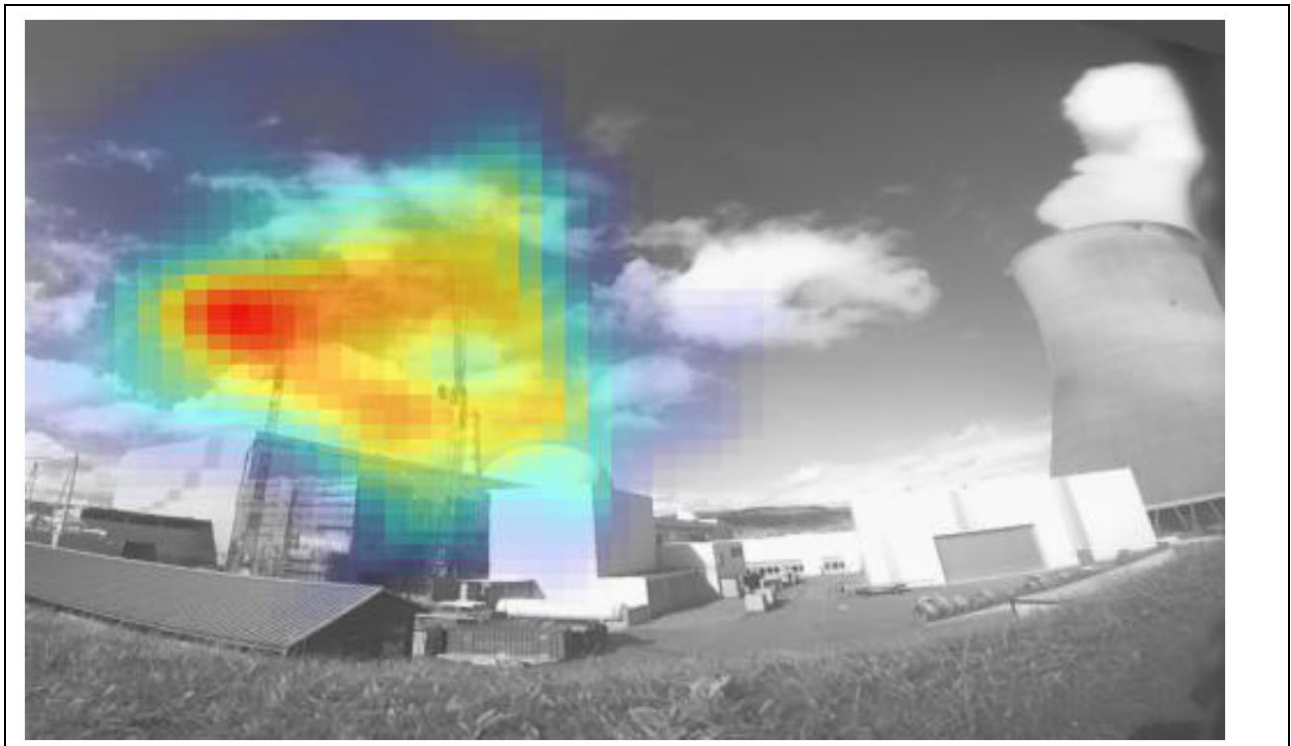


Abbildung 3.6-1: Darstellung des Skyshines aus der N-16-Strahlung über dem Maschinenhaus des KKL im Leistungsbetrieb der Anlage (Aufnahme mit einer sogenannten Gamma-Kamera durch das KKL)

Der in Abbildung 3.6-1 illustrierte Skyshine aus dem Maschinenhaus des KKL führte auch zu einer gemessenen Erhöhung der Ortsdosisleistung gegenüber der natürlichen Strahlung an einigen Punkten direkt am Arealzaun. Diese Erhöhung lag aber jederzeit unterhalb des Grenzwerts gemäss Art. 79 Abs. 2 StSV und des Dosisrichtwerts für Direktstrahlung gemäss Richtlinie ENSI-G15.

Im Rahmen des Umgebungs- und Probenahmeprogramms für das KKL wurden sonst im Bewertungszeitraum keine Erhöhungen von Ortsdosisleistungen oder Aktivitätswerten in der Umgebung festgestellt, welche mit dem Betrieb der Anlage zusammenhängen. Die im Rahmen des Programms erhobenen Messwerte werden jeweils gemäss Art. 194 StSV im jährlich erscheinenden Bericht „Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz“ des BAG zusammengefasst, kommentiert und veröffentlicht.

3.7 Entsorgung

3.7.1 Abfallbehandlung

Angaben des KKL

Anfall von Rohabfällen

Der Anfall von Rohabfällen hängt hauptsächlich von der Länge der Revisionsabstellungen sowie von der Anzahl, Art und Intensität der durchgeführten Arbeiten ab. Mit zunehmendem Alter der Anlage wird ein steigender Umfang von Instandhaltungsarbeiten beobachtet. Bei dem festen Rohabfall (Mischabfall) handelt es sich beispielsweise um verbrauchtes Schutzmaterial des Strahlenschutzes, Kleinteile oder ausgetauschte Komponententeile sowie beladene Luftfilter oder Aktivkohle. Öle, ölhaltige Flüssigkeiten und Lösungsmittel fallen in unregelmässigen Abständen bei Reparatur- und Wartungsarbeiten an. Der Grossteil davon ist inaktiv.

Um die Rohabfallmengen zu minimieren, kamen die folgenden Massnahmen zur Anwendung: statistische Erfassung der Abfallmengen, Kennzeichnung deren Herkunft, Reduktion der Selbstbedienungsstellen für Plastik, Ersatz von Materialien, Wiederverwendbarkeit von Materialien, Anwendung von Alternativmethoden und schliesslich Durchführung von regelmässigen Abfallminimierungsschulungen.

Wässrige Rohabfälle stammen aus den Reinigungskreisläufen der Abwasseraufbereitung, der Entleerung von Systemen, aus Leckagen, aus dem Betrieb der Chemielabors, der Aktivwäscherei sowie aus den Entwässerungssystemen der Gebäude und Apparate. Der Anfall von erschöpften, radioaktiv belasteten Harzen und Konzentraten konnte während des Überprüfungszeitraumes auf einem konstant tiefen Niveau gehalten werden.

Behandlung von Rohabfällen

In der Dekontwerkstatt werden die Mischabfälle nach den Vorgaben der Annahmebedingungen der Zwischenlager Würenlingen AG (im Folgenden Zwiilag) sortiert und in 200-l-Fässer verpresst. Die sortierten Mischabfälle werden kampagnenweise in die Anlagen der Zwiilag überführt, dort in der Plasma-Anlage verarbeitet und die daraus entstehenden endkonditionierten Abfallgebilde bis zur Überführung in das geologische Tiefenlager ebenfalls in den Anlagen der Zwiilag zwischengelagert. Im Überprüfungszeitraum wurden hauptsächlich Fässer mit brennbaren Abfällen neben wenigen Fässern mit schmelzbaren Metallen bereitgestellt. Ebenso wurde nicht dekontaminierbares bzw. freigabefähiges, kontaminiertes Öl direkt zur Verbrennung bei der Zwiilag transportiert.

Konditionierung von Harzen und Konzentraten

Die verbrauchten Harze und Konzentrate werden zur sicheren Endlagerung in einer Zementmatrix in 200-l-Stahlfässer eingebunden. Ende 2005 wurde die Verfestigungsbox für diese erneuert, was zu einem störungsärmeren Betrieb mit weniger Reparaturen und damit zu kleineren Dosisbelastungen für das Bedienungs- und Instandhaltungspersonal führte.

In den Jahren 2006 bis 2015 fanden 18 Verfestigungskampagnen von Harzen und Konzentraten (jeweils zwei pro Jahr) statt. Durch das Zementlabor des PSI wurden produktionsbegleitend regelmässig Proben des Abfallprodukts auf Druckfestigkeit und Auslaugfähigkeit untersucht. Der Erfahrungswert für die Auslaugrate beträgt $5 \cdot 10^{-6}$ m/d innert 150 Tagen jeweils für Cs-137 und Co-60. Die Auslaugrate für Cs-137 in Deionat lag bei sieben Proben bis zu 41 % über dem Erfahrungswert. Zudem war aufgrund von kleinen Rissen bei zwei Proben die Sulfatbeständigkeit knapp nicht erfüllt. Die geforderten Druckfestigkeiten grösser als 10 Mpa wurden aber in allen Fällen erreicht. Als Massnahme hat das KKL das PSI-Zementlabor mit der Optimierung der Harz-Konzentrat-Rezepturen beauftragt. Das Naturprodukt Trass soll durch Clinoptilolith/Micropoz ersetzt werden.

Die Daten aller produzierten Gebilde werden im Informationssystem für radioaktive Materialien verwaltet und gesichert. Bei einer Qualitätskontrolle wurde im Jahr 2015 bei zwei Abfallgebilden eine Nichtkonformität festgestellt. Bei der Verfestigung wurden kontaminierte respektive aktivierte Teile aus dem Reaktorbereich mitkonditioniert, welche den zulässigen Dosisleistungsgrenzwert von weniger als 50 mSv/h überschritten. Ein Tolerierungsverfahren wurde bei der Nagra initialisiert.

Konditionierungskampagne PEAK

Im Rahmen des Projekts PEAK (Projekt zur Entsorgung von ausgebauten Kernkomponenten) wurden in den Jahren 2010/2011 verschiedene aktivierte Teile, hauptsächlich 133 Steuerelemente, zerlegt und endlagerkonform verpackt. Die Arbeiten wurden im Brennelementlager durchgeführt. Die Gesamtmasse der entsorgten Reaktorabfälle betrug 17,2 t mit einem Co-60-Aktivitätsinventar von $1,8 \text{ E}+15 \text{ Bq}$. Dabei entstanden 86 zementierte 200-l-Gebinde, die vorerst ins KKL-eigene Zwischenlager gestellt wurden, und 12 endlagerfähige MOSAIK®-Behälter, die in die Anlagen der ZwiLag transportiert wurden.

Die Konditionierungskampagne dauerte planmässig neun Monate. Die Kollektivdosis betrug 54 Pers.-mSv bei einer maximalen Individualdosis von 3,6 mSv.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 50, KEV
- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und HSK-B05^{B05}

Beurteilung des ENSI

Der Anfall von Rohabfällen im Überprüfungszeitraum entsprach dem aufgrund der durchgeführten Arbeiten zu erwartenden Umfang. Der Anfall von Harzen und Konzentrate bewegt sich innerhalb der mehrjährigen Schwankungsbreite auf einem niedrigen Niveau.

Die radioaktiven Mischabfälle werden für die Behandlung in der Plasma-Anlage der ZwiLag laufend sortiert und dorthin transportiert. Die radioaktiven Abfälle werden nach genehmigten Abfallgebindetypen endkonditioniert. Die Harze und Konzentrate werden routinemässig in der Zementierungsanlage des KKL verfestigt. Bei der Unterwasserzerlegung und Verpackung der aktivierten Reaktorabfälle im Brennelementlager wurden keine Abweichungen festgestellt. Das ENSI wurde über die Untersuchungsergebnisse des PSI-Zementlabors informiert und ist mit der Bewertung des KKL und den vorgeschlagenen Massnahmen einverstanden. Die Behandlung und Konditionierung von radioaktiven Abfällen sowie die Ergebnisse der routinemässigen Produktkontrollen wurden jeweils anlässlich der Jahresinspektionen des ENSI thematisiert.

Die Überschreitung eines garantierten Parameters bedeutet eine Verletzung der Spezifikationskonformität. Die im Jahr 2015 festgestellte Abweichung bei zwei Abfallgebinden wurde somit als meldepflichtiges Vorkommnis gemäss Richtlinie ENSI-B03 gemeldet. Das Vorkommnis wurde der Stufe 0 (below scale) der internationalen Ereignisskala INES zugeordnet. Gemäss Beurteilung des ENSI sind durch die Abweichungen die Transport- und Zwischenlagerfähigkeit der Gebinde nicht grundsätzlich tangiert. Die Beurteilung der Endlagerfähigkeit erfolgt durch die Nagra. Sobald diese vorliegt, erfolgt die abschliessende Bewertung durch das ENSI.

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Abfallbehandlungskonzepte und -anlagen des KKL dem Stand der Technik entsprechen. Die getroffenen Massnahmen zur Reduzierung der Abfallmenge sind zweckmässig und optimiert.

3.7.2 Lagerung der radioaktiven Abfälle und Grosskomponenten

Angaben des KKL

KKL-Zwischenlager

Das Zwischenlager für feste radioaktive Rückstände dient als Lagerraum für die in 200-l-Endlagergebinde verpackten festen, schwach- und mittelaktiven Rückstände. Der Lagerraum ist in fünf einzelne Lagerkammern unterteilt, welche nach oben offen sind. Das Zwischenlager hat eine Lagerkapazität von 11'700 Gebinden à 200 l.

Während der Jahre 2007/2008 wurde insgesamt 2'228 Gebinde in die Anlage der ZwiLag ausgelagert. Ende 2015 war das KKL-Zwischenlager mit 6'461 endkonditionierten Endlagergebinden belegt, was einem Füllgrad

von 55,2 % entspricht. Die mittlere jährliche Zuwachsrate sollte zukünftig bei rund 150 Fässern pro Jahr liegen. Mit diesem Zulauf wäre die KKL-Zwischenlagerkapazität im Jahr 2049 ausgeschöpft. Lagerkapazitäten stehen dem KKL zusätzlich in den Anlagen der Zwiilag zur Verfügung. Kapazitätsprobleme sind deshalb auch langfristig nicht zu erwarten.

Der Aktivitätsinventarverlauf des KKL-Zwischenlagers zeigte per Ende 2011 nach der Einlagerung u. a. von 86 endkonditionierten Gebinden aus der PEAK-Konditionierungskampagne ein Maximum von 3,9 E+14 Bq. Seitdem ist das Inventar aufgrund des radioaktiven Zerfalls wieder abgesunken. Ende 2015 betrug das Aktivitätsinventar 2,6 E+14 Bq, was 26 % der Höchstaktivität von 1993 entspricht.

Die Einlagerung nicht konditionierter Abfälle in das KKL-Zwischenlager ist nur in besonderen Fällen zulässig. Diese sind in den Annahmebedingungen festgelegt. Per Ende 2015 befanden sich im Zwischenlager 17 Fässer mit nicht endkonditionierten Abfällen.

Inspektionen und Instandsetzungsmassnahmen des Lagerguts

Im Rahmen der Auslagerungskampagne 2007/2008 wurden alle 2'228 Gebinde inspiziert. An 168 Gebinden wurden Bläherscheinungen oder Korrosion beobachtet. Die festgestellten Blähfässer wurden mittels Ausgleichsbohrungen oder Ausgleichskanülen druckentlastet. Die Gebinde mit korrodierten Stellen wurden in der Konditionierungsanlagen der Zwiilag umkonditioniert.

Im Jahr 2011 wurden an einer Stichprobe von 23 Gebinden aus der Gesamtheit der noch im KKL gelagerten Abfallgebände keinerlei Befunde festgestellt.

Nach der PEAK-Kampagne wurde im Jahr 2012 an einigen der zementierten 200-l-Fässer überstehendes Wasser bemerkt. Die Farbe am Innendeckel war abgeblättert, am Deckel hatte sich Kondenswasser niedergeschlagen. Reaktiv wurden darauf insgesamt 88 Gebinde inspiziert, davon wiesen 14 derartige Befunde auf. Die Gebinde mit überstehendem Wasser wurden getrocknet, danach einer erneuten Kontrolle unterzogen, die beschädigten Deckel ersetzt und danach verschlossen.

Im Jahr 2015 wurde wiederum eine Stichprobe von 38 Gebinden im KKL inspiziert, alle ohne Befund.

Transportfähigkeit der endkonditionierten Abfallgebände

Die Transportfähigkeit der endkonditionierten Abfallgebände unterliegt keinen Einschränkungen. Es besteht zurzeit laut KKL kein absehbarer Bedarf an Um- oder Nachkonditionierung respektive Bedarf an Zusatzverpackungen zum Transport.

Lagerung der unkonditionierten Reaktorabfälle

Die Reaktorabfälle werden in geeigneten Behältnissen im Brennelementlagerbecken deponiert. Ende 2015 waren folgende unkonditionierte Reaktorabfälle gelagert:

- Steuerstäbe: 131 Stück
- Pins und Rollers von Steuerstäben: 4 × 105 Pins, 4 × 105 Rollers
- Brennelementkästen: 2 Stück
- Kleinteile: 1 Jetpump-Beam, 4 Brennelement-Muttern
- TriNuc-Filter: 2 Stück

Die im Brennelementlagerbecken vorhandenen unkonditionierten Reaktorabfälle entstanden seit Abschluss der PEAK-Kampagne 2011 bis zum Ende des Überprüfungszeitraumes 2015.

Das KKL bewertet den Dokumentationsstand der Reaktorabfälle als nicht ausreichend. Die Kampagne PEAK hat gezeigt, wie wichtig die genaue Kenntnis der zu konditionierenden Abfälle ist. Alle vorhandenen Informationen müssen am dafür vorgesehenen Ort, dem Dokumentenmanagementsystem, archiviert werden. Dadurch wird garantiert, dass die Daten über einen längeren Zeitraum gesichert und wieder auffindbar bleiben. Es wird empfohlen, jährlich ein zentrales Inventar über sämtliche Reaktorabfälle nachzuführen.

Die vorhandenen und zukünftigen Reaktorabfälle sollen in einer zukünftigen Entsorgungskampagne (PEAK 2) konditioniert werden. Die positiven Erfahrungen aus der vergangenen PEAK-Kampagne lassen den Schluss zu, dass wiederum die Zerlegung unter Wasser mit anschliessender Verfestigung am Standort KKL die Methode der Wahl sein wird. Der Zeitpunkt richtet sich primär nach dem Anfall der Abfälle und der Lagerkapazität im Brennelementlagerbecken, wird aber nicht in absehbarer Zukunft nötig werden. Auch die trocken gelagerten Leistungsverteilungsdetektor-Lanzen sollen anlässlich der Kampagne PEAK 2 konditioniert werden.

Lagerung von Grosskomponenten

Per Ende 2015 waren folgende radioaktiv ausgediente Grosskomponenten im KKL vorhanden:

- 4 Niederdruck-Vorwärmer
- 1 Niederdruck-Turbine (3 Turbinenläufer, 12 Schaufelträger)
- 1 Hochdruck-Turbine

Aus Erneuerungsprojekten, die bereits eingeleitet wurden (YUMOD, ERKO), werden mittelfristig weitere Grosskomponenten erwartet.

Die Lagerung der bereits vorhandenen Grosskomponenten erfolgte in der Lagerhalle Kühlturm. Die Komponenten sind entweder dicht verschlossen oder verpackt. Der radiologische Zustand wurde regelmässig überwacht. Das KKL sieht vor, die bereits vorhandenen Grosskomponenten nach dessen Inbetriebnahme in die neue Aktivlagerhalle zu verbringen und dort einzulagern. Mit zukünftigen Grosskomponenten wird gleich verfahren. Der notwendige Lagerplatz in der Aktivlagerhalle ist vorhanden und zugewiesen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und ENSI-G04^{G04}

Beurteilung des ENSI

Mit dem Zwischenlager für feste radioaktive Rückstände verfügt das KKL über genügend Kapazität, um seine radioaktiven Abfälle langfristig zu lagern. Lagerkapazitäten stehen dem KKL zusätzlich in den Anlagen der Zwiilag zur Verfügung. Der Bestand von Fässern mit nicht endkonditionierten Abfällen ist gering.

Kriterien für die Annahme des Lagergutes (Annahmebedingungen) im Zwischenlager wurden ausgearbeitet. Zum Nachweis der fortdauernden Einhaltung der Annahmebedingungen bzw. der Spezifikationskonformität der Abfallgebände werden periodische Inspektionen des Lagergutes vorgenommen. Das ENSI wurde über die festgestellten Befunde und die Instandsetzungsmassnahmen am Lagergut im Rahmen der periodische Berichterstattung bzw. der jährlichen Inspektionen informiert. Die Befunde und Instandsetzungsmassnahmen wurden in den individuellen Zusatzdokumentationen der betroffenen Einzelgebände dokumentiert.

Das Inspektionskonzept des Lagergutes wurde vom KKL im Jahr 2015 modifiziert und optimiert. Im Rahmen seiner Jahresinspektion 2015^{ENSI 12/2172} konnte sich das ENSI von der Eignung und Zweckmässigkeit des Inspektionskonzepts überzeugen.

Das ENSI ist mit der KKL-Beurteilung der Transportfähigkeit nicht einverstanden. Aus Sicht des ENSI besteht ein Bedarf an Zusatzverpackungen für den Transport von gewissen endkonditionierten Abfallgebänden im KKL. In der Regel sind die Abfallgebände aufgrund ihrer A2-Werte in einem Versandstück des Typs A transportfähig. Je nach Aktivitätsinventar müssen jedoch gewisse Abfallgebände in einem Typ-B-Versandstück transportiert werden. Das KKL ist mit den übrigen Kernkraftwerken in der Schweiz dabei, die Zulassung der Behälterbauart MOSAIK® II-15EI als Typ-B(M)-Verpackung zu erwirken, welche dann als Überverpackung für konditionierte 200-l-Fässer benutzt werden kann, die nicht den Anforderungen an Typ-A-Versandstücke genügen. Das ENSI rechnet mit einem Abschluss dieses Verfahrens in 2019, womit die Transportfähigkeit aller konditionierten Abfallgebände des KKL sichergestellt sein wird.

Das ENSI ist mit dem Entsorgungskonzept der unkonditionierten Reaktorabfälle einverstanden. Es nimmt zur Kenntnis, dass das KKL den Dokumentationsstand der Reaktorabfälle als nicht ausreichend bewertet. Die

Reaktorabfälle unterliegen seit 2010 gemäss Richtlinie ENSI-G04 der Buchführungspflicht. Das ENSI wird sich im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit davon überzeugen, dass geeignete Verbesserungen erzielt werden.

Ausgediente radioaktive Grosskomponenten, für die ein zeitlich terminiertes Konzept zur Behandlung vorliegt, dürfen gemäss Richtlinie ENSI-G04 im Sinne der Strahlenschutzoptimierung und Abfallminimierung angesammelt und für eine definierte Dauer aufbewahrt werden. Für jede einzelne ausgediente radioaktive Grosskomponente hat deren Eigentümer einen Steckbrief zu erstellen.

Die neue Aktivlagerhalle wurde im Januar 2017 eingezont und zur Lagerung von Grosskomponenten in Betrieb genommen. Ein Teil der Grosskomponenten (drei Niederdruck-Turbinen) wurde von der Lagerhalle Kühlturm in die Aktivlagerhalle gebracht und dort eingelagert. Die übrigen vier Grosskomponenten befinden sich nach wie vor in der Lagerhalle Kühlturm und sollen bis längstens ein Jahr nach Realisation der Projekte YUMOD/ERKO weiterhin dort gelagert werden. Im Rahmen der Meldung der Einlagerung in die Aktivlagerhalle und der Verlängerung der Freigabe der temporären Lagerung in der Lagerhalle Kühlturm wurden die entsprechende Steckbriefe vom KKL erstellt und vom ENSI auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft.

Die Störfallanalysen der Lager und betrieblichen Lagerbecken werden in Kap. 6.4 dieser Stellungnahme behandelt.

3.7.3 Brennelemententsorgung

Angaben des KKL

Nach dem Inkrafttreten des Moratoriums für die Wiederaufarbeitung wurde im KKL seit 2001 begonnen, abgebrannte Brennelemente in Transport- und Lagerbehältern (T/L-Behältern) zu den Anlagen der Zwiilag zu befördern und dort zwischenzulagern. Im Überprüfungszeitraum fanden dazu zehn Transporte mit Behältern der Typen TN52L und TN24BH statt.

Aus der Wiederaufarbeitung wurden im Überprüfungszeitraum hochaktive verglaste Abfälle, schwach- und mittelaktive verglaste Abfälle sowie schwach- und mittelaktive kompaktierte Abfälle in vier Transporten zurücktransportiert und in den Anlagen der Zwiilag zwischengelagert.

Vor dem Transport werden die abgebrannten Brennelemente in einem internen Brennelementlagerbecken des KKL gelagert. Die Belegung nahm im Laufe des Überprüfungszeitraums ständig zu. Das KKL selber bewertet die Situation am Ende des Überprüfungszeitraums als unbefriedigend und sieht vor, durch vermehrten Abtransport wieder mehr freie Plätze zu schaffen.

Für intakte abgebrannte Brennelemente wurden im Überprüfungszeitraum eine Reihe von Behältern der Bauart TN24BH-L hergestellt und geliefert. Das KKL berichtet über technische Problemstellungen, die im Überprüfungszeitraum bearbeitet wurden. Nicht abgeschlossen ist dabei der Nachweis der mechanischen Eigenschaften des neuen Korbmaterials für die 40-jährige Lagerperiode. Das KKL verweist zum einen auf das Untersuchungsprogramm des Herstellers, zum anderen auf ein eigenes Testprogramm für das Korbmaterial in Kanada.

Wegen der noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen resultierten bisher Einschränkungen bei der Verwendbarkeit der T/L-Behälter hinsichtlich der maximalen Wärmeleistungen des Inhalts. Es ist vorgesehen, die derzeitige Einschränkung von 24,5 kW für den TN24BH-L-Behälter noch auf 28 kW anzuheben und als weitere Massnahme einen Korb mit weniger Brennelementen und Stahlverstärkung für Wärmeleistungen bis 35 kW in den Sicherheitsbericht aufzunehmen. Mit dieser Strategie soll die Brennelemententsorgung gewährleistet sein, bis ein neuer Behältertyp (TN NOVA) zur Verfügung steht.

Defekte Brennstäbe werden nicht im Brennelement belassen, sondern aus dem Brennelement entfernt und, falls ein Wiedereinsatz des Brennelements vorgesehen ist, durch einen Stahldummystab ersetzt. Für die defekten Brennstäbe wird von Westinghouse ein spezieller Köcher für den Transport und die trockene Zwischenlagerung entwickelt, der dann auch in die Zulassung eines lizenzierten T/L-Behälters aufgenommen werden soll. Die bisher eingesetzten Köcher, die für die Lagerung der Defektstäbe im Nasslager eingesetzt werden, sind nicht für den Transport und die Lagerung in einem T/L-Behälter geeignet.

Bezüglich der Transportfähigkeit der bereits eingelagerten Behälter stellt das KKL fest, dass die Bauarten TN24BH-L und CASTOR HAW28M gültige verkehrsrechtliche Zulassungen besitzen. Für die Bauarten TN52L und TN97L, die in den Anlagen der Zwiilag eingelagert sind und keine verkehrsrechtliche Zulassung mehr besitzen, hat das KKL vom Hersteller eine Analyse erarbeiten lassen und kommt bezüglich der kritischen Punkte zu folgenden Bewertungen:

Für eine Nachrüstung vom Typ B(U)F-85 auf den Typ B(U)F-96 ist ein neuer Sekundär-Transportdeckel für diese beiden Bauarten notwendig.

Die alterungsbedingte Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Korbmaterials des TN52L-Behälters (ein Exemplar) bewertet das KKL aufgrund der vorhandenen Stahlverstärkungen als unproblematisch. Für die Bauart TN97L (sieben Exemplare) soll die Fragestellung nach dem Vorliegen der Ergebnisse für die Bauart TH24BH-L behandelt werden. Aufgrund der deutlich geringeren Wärmeleistung der beladenen Behälter erwartet das KKL jedoch nur eine geringe Alterung.

Für beide Behälterbauarten soll mithilfe des vorgesehenen Alterungsmanagementprogramms nachgewiesen werden, dass auch nach einer Lagerzeit von 40 Jahren nicht mit einem erheblichen Integritätsverlust der Brennelementhüllrohre im Inneren der Behälter zu rechnen ist.

Bezüglich des Verhaltens unter Unfallbedingungen kommt das KKL zu der Wertung, dass voraussichtlich technische Massnahmen hinsichtlich des Abstands zwischen Inhalt und Deckel erforderlich sein werden, entweder durch eine Anpassung der Stossdämpfer oder durch ein Einsetzen von Abstandhaltern zwischen Brennelementen und Deckel.

Für die Gewährleistung der Transportfähigkeit über einen Zeitraum von mehr als 40 Jahren hinaus verweist das KKL für alle Behälterbauarten auf das Alterungsmanagementprogramm, das zusammen mit den anderen Schweizer Kernkraftwerken ausgearbeitet wird.

Das KKL beschreibt das Stellplatzkonzept der Zwiilag-Lagerhalle, um Aussagen zur Lagerkapazität für das KKL treffen zu können. Die Kapazität reicht unter Voraussetzung einer unveränderten Beladung mit 69 Brennelementen pro T/L-Behälter für eine Betriebsdauer von rund 45 Jahren. Für eine Betriebsdauer von 60 Jahren muss zusätzliche Lagerkapazität geschaffen werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 30 bis 34 und Art. 106 KEG^{KEG}
- Art. 55 bis 57 und Art. 73 KEV^{KEV}
- IAEA Safety Standard SSR-6^{SSR-6}
- ADR^{ADR}
- SDR^{SDR}
- Richtlinie HSK-G05^{G05}

Beurteilung des ENSI

Die Verantwortlichkeit für die Beschaffung von T/L-Behältern ist an die Division Kernenergie der Axpo ausgelagert. Mit der Überwachung und Instandhaltung der in den Anlagen der Zwiilag eingelagerten beladenen Behälter ist die Zwiilag beauftragt. Nach Wertung des ENSI funktioniert die Kooperation zwischen diesen Stellen, auch wenn die Auslagerung der Beschaffung nicht als optimal betrachtet werden kann. Die Verantwortung für die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente liegt gemäss KEG beim Betreiber der Kernanlage. Potentielle Vorteile der Auslagerung bestehen auf der anderen Seite darin, dass Synergien mit Behälterprojekten des Kernkraftwerks Beznau genutzt werden können, die ebenfalls durch die Division Kernenergie der Axpo bearbeitet werden. Zur aufsichtlichen Kontrolle der Behälterbeschaffung als wesentliches Element der Brennelemententsorgung hat das ENSI in 2014 die regelmässige Aktualisierung eines Fortschrittsberichts über die mittel- und langfristige Strategie gefordert. Das KKL reicht diese Fortschrittsberichte regelmässig ein.

Bezüglich der trockenen Zwischenlagerung der abgebrannten Brennelemente und der hochaktiven verglasten Abfälle des KKL im Zwiilag sind dem ENSI keine Beanstandungen oder Vorkommnisse für den Überprüfungszeitraum bekannt geworden.

Die Rückführung der radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung wurde für alle Schweizer Kernkraftwerke im Jahr 2016, d. h. kurz nach Ende des Überprüfungszeitraums, erfolgreich abgeschlossen. Die entsprechenden Abfälle des KKL befinden sich vollständig in den Anlagen der Zwiilag. Für die dort eingelagerten Behälter des KKL der Bauart CASTOR HAW28M mit hochaktiven verglasten Abfällen gibt es aus Sicht des ENSI zurzeit keine spezifischen Fragestellungen bezüglich Transport- und Lagerfähigkeit.

Für die in den Anlagen der Zwiilag eingelagerten Behälter der Bauarten TN52L und TN97L, welche nicht mehr produziert werden, hat das KKL die Massnahmen identifiziert, die zur Vorbereitung eines nach heutigem Regelwerk zulässigen Transports zu ergreifen wären. Dabei handelt es sich um konstruktive und rechnerische Massnahmen. Von Forderungen im Rahmen der PSÜ hierzu wird abgesehen, da das KKL derzeit zusammen mit den anderen Schweizer Kernkraftwerken ein einheitliches Alterungsmanagementprogramm für alle T/L-Behälter entwickelt. Diese Entwicklung geht Hand in Hand mit der Etablierung des Alterungsleitfadens des ENSI. Die Bearbeitung der T/L-Behälterfragen soll zukünftig unabhängig von der Terminierung der jeweiligen PSÜ in regelmässigen Abständen für jede Behälterbauart, d. h. unabhängig von den Eigentümern der Behälterexemplare, erfolgen. In diesem Zusammenhang sind konkret auch die Untersuchungen des KKL und des Herstellers der Behälter-Bauart TN24BH zum Langzeitverhalten des Tragkorbmaterials zu sehen, von denen das KKL erwartet, dass die Zulässigkeit von thermischen Inhalten bis 28 kW für die vorgesehene 40-jährige Lagerzeit nachgewiesen werden kann.

Das KKL beruft sich bei der Beurteilung der Transportfähigkeit der eingelagerten beladenen T/L-Behälter zum Teil auf aktuell vorhandene verkehrsrechtliche Zulassungen für diese Behälterbauarten. Einzelne, unter früheren Versionen der Zulassung eingelagerte Behälter entsprechen jedoch nicht der heute gültigen Revision der Behälterbauart, wobei diese Abweichungen nicht unbedingt Gegenstand des o. g. Alterungsmanagementprogramms sind. Auch diese Abweichungen müssen vom KKL identifiziert werden. Daher erhebt das ENSI folgende Forderung:

Forderung 3.7-1

Bis zum 15. Dezember 2019 ist der Stand der Transportfähigkeit für jeden beladenen Behälter im Eigentum des KKL darzulegen. Sofern der Zustand des Einzelbehälters nicht der aktuellen Zulassung entspricht, sind die Abweichungen und die erforderlichen Massnahmen zur Herstellung der Transportfähigkeit zu benennen.

Die zum Ende des Überprüfungszeitraums vom KKL aus betrieblichen Erwägungen als unbefriedigend bezeichnete – aber gleichwohl bewilligungskonforme – hohe Belegung des Lagerbeckens für abgebrannte Brennelemente konnte durch vermehrte Abtransporte zu den Anlagen der Zwiilag nach Ende des Überprüfungszeitraums verbessert werden. Aus Sicht des ENSI war die Brennelemententsorgung im Überprüfungszeitraum für intakte abgebrannte Brennelemente gewährleistet.

Das KKL berichtet dem ENSI periodisch in einem Fortschrittsbericht über den Grad der Beckenbelegung, den Stand der Behälterbestellungen, zukünftige Beladepfanung und den Stand von Zulassungsverfahren und Projekten. Aus Sicht des ENSI erscheint mit den bestellten Behältern der Bauart TN24BH bis Seriennummer -30 die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente bis ca. 2024 gesichert. Zum Einsatz für die Zeit danach hat die Axpo neben dem erwähnten zwischenzeitlich sistierten Projekt TN NOVA vor kurzem ein Projekt HISTAR 180L gestartet. Bei beiden Projekten handelt es sich um noch nicht lizenzierte und noch nicht betriebsbewährte Behälterkonzepte, sodass mit Projektrisiken und einer entsprechend langen Projektlaufzeit gerechnet werden muss. Gleichwohl stellt das ENSI fest, dass auch nach 2024 mit der Bauart TN24BH ein ohne Einschränkungen geeigneter Behältertyp zur Verfügung steht. Auf dieser Grundlage ist festzustellen, dass die Brennelemententsorgung des KKL für die Zeit bis zur nächsten PSÜ und auch danach sichergestellt werden kann, sofern rechtzeitig entsprechende Beschaffungsaufträge erteilt werden.

Mit der Entwicklung eines Konzepts für den Transport, die Zwischen- und die Endlagerung defekter Brennstäbe und Brennstababschnitte wurde im Überprüfungszeitraum begonnen. Es wurde ein Köcher zur Aufnahme von defekten Brennstäben und Brennstabkapseln entwickelt, und erste Exemplare wurden gebaut. Dieser Köcher hat die geometrischen Aussenabmessungen eines typischen KKL-Brennelements, sodass er anstelle eines Brennelements in einen Transport- und Lagerbehälter eingesetzt werden kann. Die Zulassung eines T/L-Behälters, der auch den gefüllten Köcher als zugelassenen Inhalt enthält, ist derzeit jedoch weder beantragt, noch liegt ein diesbezügliches Gesuch um Ergänzung des zugelassenen Inhalts für eine T/L-Behälterbauart vor. Somit existiert für dieses Material kein Nachweis der Transport-, Zwischenlager- und Endlagerfähigkeit. Dieses Thema wird bereits aufsichtlich verfolgt. Daher wird auf eine PSÜ-Forderung verzichtet.

3.7.4 Transporte

Angaben des KKL

Das KKL bewertet die verschiedenen Arten der Transporte radioaktiver Stoffe, die für den Betrieb der Anlage von Bedeutung sind: Transport von unbestrahlten Brennelementen, von abgebrannten Brennelementen, von bestrahlten Brennstäben und gekapselten Brennstabsegmenten, von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung und von sonstigen radioaktiven Stoffen. Zu den letzteren zählen beim KKL Werkzeuge und Prüfeinrichtungen, Material- und Wasserproben sowie die radioaktiven Betriebsabfälle, die zur Konditionierung und anschließenden Zwischenlagerung an die Zwiilag geliefert werden. Die Transporte von Kernbrennstoffen und von sonstigen radioaktiven Stoffen werden im KKL durch unterschiedliche Prozesse im Managementsystem des KKL abgebildet.

Das KKL stellt fest, dass alle Transporte von Kernbrennstoffen unter Einhaltung der gefahrgutrechtlichen Vorschriften stattfanden. Einzelne festgestellte Abweichungen waren formaler Natur, und es wurden umgehend Verbesserungen eingeleitet. Vorkommnisse im Sinne der Richtlinie ENSI-B03 wurden nicht festgestellt. Die Handhabung von Behältern für abgebrannte Brennelemente habe sich eingespielt und sei kontinuierlich verbessert worden. Die glatte Behälteroberfläche erlaubt einen guten Schutz gegen Kontamination. Für die Transporte von Abfällen aus der Wiederaufarbeitung wurden ebenfalls keine Beanstandungen festgestellt.

Beim Transport von sonstigen radioaktiven Stoffen waren im Überprüfungszeitraum zunächst zwei formale Verstöße gegen Bewilligungspflichten zu verzeichnen. Ab 2008 bis zum Ende des Überprüfungszeitraums wurden keine Beanstandungen mehr festgestellt. Das KKL betont die Bedeutung des Erfahrungsaustauschs zwischen den Gefahrgutbeauftragten der Klasse 7 der Kernanlagen sowie die Wichtigkeit der Zusammenarbeit aller Beteiligten. Das KKL besitzt keine eigenen prüfpflichtigen Transportbehälter zur wiederkehrenden Verwendung. Es arbeitet mit zwei schweizerischen Gefahrgut-Transportunternehmen zusammen, welche geprüfte Verpackungen für Klasse-7-Versandstücke bereitstellen können. Beförderer und Versender liefern meist unaufgefordert die Datenblätter für die Verpackungen, sodass die meisten Verpackungen im KKL bekannt sind. Für den Transport von unkonditionierten Abfällen in 200-l-Fässern wird ein spezieller Typ-A-Container der Zwiilag verwendet, der ein Verladen mit einer ferngesteuerten Rollbahn ermöglicht.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 6 bis 7 und Art. 34 KEG^{KEG}
- Art. 13 bis 21, Art. 56 bis 57 und Art. 73 KEV^{KEV}
- Art. 28 bis 38 StSG^{StSG}
- Art. 9 bis 18 und Art. 101 bis 103 StSV^{StSV}
- IAEA Safety Standard SSR-6^{SSR-6}
- ADR^{ADR}
- SDR^{SDR}

Beurteilung des ENSI

Für den Transport von Kernmaterialien und radioaktiven Abfällen wurden dem KKL und den übrigen Beteiligten regelmässig Transportbewilligungen des Bundesamtes für Energie gemäss KEV ausgestellt. Aus der Aufsicht des ENSI ergaben sich in den letzten Jahren keine Beanstandungen bezüglich der Durchführung der entsprechenden Transporte. Offene Punkte bezüglich der Prüfvorschriften und der Periodizität der wiederkehrenden Prüfungen beim Sekundärdeckel des TN24BH-Behälters wurden vom KKL abgeklärt. Die KKL-Transport-, Ein- und Ausfuhrbewilligung für diejenigen radioaktiven Stoffe, die nicht der Kernenergiegesetzgebung unterliegen, wurde im Überprüfungszeitraum vom ENSI erneuert und mit der Transportbewilligung ENSI 11/2010^{ENSI 11/2010} (gültig bis zum 31. August 2020) erteilt.

Die organisatorischen Vorkehrungen für die Vorbereitung und Durchführung von Transporten mit radioaktiven Stoffen haben sich aus Sicht des ENSI bewährt und bieten keinen Anlass zu Beanstandungen. Die Transporte radioaktiver Stoffe werden im KKL zuverlässig unter Einhaltung der gefahrgutrechtlichen Vorschriften durchgeführt und abgewickelt.

Bestrahlte Brennstäbe werden von den Schweizer Kernkraftwerken regelmässig zur Untersuchung in auswärtige Labors (PSI und Ausland) geschickt. Die im Überprüfungszeitraum vom KKL durchgeführten Transporte von einzelnen bestrahlten Brennstäben und gekapselten Brennstabsegmenten konnten aufgrund der Kurzfristigkeit der Planung nicht als vollständig zulassungskonforme Transporte mit einem Behälter des Typs B(U)F organisiert werden. Sie mussten jeweils unter Anwendung einer Sondervereinbarung gemäss ADR abgewickelt werden, die vom ENSI nach Prüfung auf Einhaltung der Sicherheitsziele gemäss Gefahrgutrecht ausgestellt wurde. Diese Situation lag auch nach Ende des Überprüfungszeitraums noch vor.

3.8 Betriebserfahrung in vergleichbaren Anlagen

Angaben des KKL

Die systematische Erfassung und Auswertung der externen Betriebserfahrung erfolgt im KKL innerhalb des Supportprozesses „Feststellungen, Ereignisse und Befunde“. Im Teilprozess „Externe Ereignisse“ werden externe Erfahrungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, Bedeutung und Übertragbarkeit auf das KKL überprüft und gegebenenfalls einer vertieften Bewertung zugeführt. Die relevanten externen Ereignisse werden mit dem gleichen Auswertungstool wie die internen Ereignisse und Befunde erfasst. Die weitere Behandlung (Analyse, Information, bzw. kein weiterer Handlungsbedarf) wird durch eine Ersteinstuung in einem dreistufigen System festgelegt. Die nachfolgende ganzheitliche Ereignisanalyse beruht auf einem gestaffelten Konzept bezüglich der sicherheitstechnischen Bedeutung und der Komplexität des Ereignisses, welches sich durch das Zusammenwirken von menschlichen, technischen und organisatorischen Faktoren äussern kann. Die Koordinierung und abschliessende Beurteilung erfolgt durch das fachbereichsübergreifende Gremium „Arbeitssteam für externe Ereignisse“. Letztlich wird mit dem Prozess auch sichergestellt, dass geeignete Korrekturmassnahmen als Ergebnis der Ereignisanalyse definiert und umgesetzt werden.

Das KKL hat im Überprüfungszeitraum 30 Ereignisse der Stufe 2 und 71 der Stufe 1 der internationalen INES-Ereignisskala erfasst und bewertet. Weiterhin sind insgesamt 1'244 externe Ereignisse, die keine oder nur eine geringe sicherheitstechnische Bedeutung (INES below scale) hatten, klassifiziert, bewertet und nachvollziehbar in einer Datenbank erfasst worden. Die Mehrzahl der analysierten Vorkommnisse konnte nur eingeschränkt oder gar nicht auf das KKL übertragen werden. Mit der Verfolgung externer Ereignisse können vorbeugende Massnahmen im KKL eingeführt und so ein Beitrag zur Vermeidung von Feststellungen oder internen Ereignissen geleistet werden. Das KKL stellt zusammenfassend fest, dass die Erfassung und Bearbeitung der externen Ereignisse im KKL ein wesentlicher Bestandteil für die Aufrechterhaltung und Weiterentwicklung der Sicherheit der Anlage ist.

Bewertungsgrundlagen

- Art. 36 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B02^{B02} und ENSI-G07^{G07}
- Ausserbetriebnahme-Verordnung^{UVEK-A}

Bewertung des ENSI

Die Vorgaben der KEV und der Richtlinie ENSI-G07 zum Thema Betriebserfahrung in vergleichbaren Anlagen, welche sich insbesondere an den Prozess richten, werden vollständig und nachvollziehbar erfüllt.

Das ENSI anerkennt den vom KKL bewerteten Umfang der analysierten externen Vorkommnisse mit einer besonderen Bedeutung für das KKL und solcher mit einer Bewertung der Stufe 2 oder höher der internationalen INES-Ereignisskala als zweckmässig. Eine Überprüfung der Auslegung des KKL ist im Sinne der Ausserbetriebnahme-Verordnung^{UVEK-A} auf Basis der jeweils verfügbaren Datenquellen vorgenommen worden. Das ENSI hat die gemäss der Richtlinie ENSI-B02 im Rahmen der periodischen Berichterstattung in den jeweiligen Monatsberichten des Überprüfungszeitraums aufgeführten Sachverhalte geprüft und mit den Angaben in der PSÜ 2016 verglichen. Die aus den durchgeführten Analysen abgeleiteten Massnahmen sind grösstenteils umgesetzt und beschränken sich im Wesentlichen auf Prozessablauffolgen und -arbeitschritte.

4 Sicherheitsrelevante Anlagenteile

4.1 Übersicht

In diesem Kapitel werden entsprechend der Richtlinie ENSI-A03 sicherheitsrelevante Anlagenteile des Kernkraftwerks hinsichtlich ihrer Auslegung, ihrer Betriebserfahrung und ihres Zustands bewertet. Hierfür sind die gesammelten Betriebserfahrungen im Überprüfungszeitraum sowie der aktuelle Ist-Zustand mit den gesetzlichen, behördlichen und normativen Vorgaben sowie sonstigen Dokumenten, die den Stand von Wissenschaft und Technik darstellen, zu vergleichen. Hierzu gehören auch die Überprüfung der sicherheitstechnischen Einstufung (Klassierung) sowie die Analyse zeitabhängiger Veränderungen (Alterungseffekte), welche die Sicherheit und Verfügbarkeit der Anlagenteile beeinträchtigen können. Dieser Beurteilung kommt hinsichtlich eines zukünftig sicheren Betriebs des Kernkraftwerks eine hohe Bedeutung zu.

Die Instandhaltungs- und Alterungsüberwachungsprogramme zur Erfassung und Bewertung von Zustand und Funktionalität sind systemübergreifend in Kap. 5 beschrieben.

Die bewerteten Anlagenteile werden nachfolgend in Bauwerke, nukleares Dampferzeugungssystem, verfahrenstechnische Sicherheits- und Hilfssysteme, elektro- und leittechnische Sicherheits- und Hilfssysteme, und einige weitere wichtige Einrichtungen unterschieden.

Die zu den einzelnen Anlagenteilen erstellten Unterkapitel sind wie folgt strukturiert: Als Einführung wird zunächst die Funktion bzw. Aufgabe, der Aufbau, die Anordnung und die Betriebsweise, gegebenenfalls auch die sicherheitstechnische Klassierung kurz erläutert. Hierbei werden die Angaben aus den Sicherheitsberichten oder anderen dem ENSI vorliegenden Dokumenten des Betreibers ohne Beurteilung zusammengefasst. Des Weiteren werden die Angaben des Betreibers bezüglich:

- Erfahrung aus dem Betrieb, z. B. Verfügbarkeit, Ausfallverhalten und Vorkommnisse
- Prüfungen, d. h. Ergebnisse der wiederkehrenden Prüfungen bzw. Funktionsprüfungen
- Anlagenänderungen und Änderungen der „Technischen Spezifikation“
- Instandsetzung und Wartung
- Alterungsüberwachung
- Überprüfung der Auslegung (Ermüdung, Sprödbruchsicherheit)

aufgeführt und anschliessend eine Beurteilung aus Sicht des ENSI gegeben.

4.2 Bauwerke des KKL

Angaben des KKL

Das KKL dokumentiert die Auslegung der Gebäude im Bericht „Sicherheitsrelevante Anlagenteile, Auslegung der Gebäude“^{PSÜ/65}. Aus den Schutzziele werden die Klassierung und allgemeinen Auslegungskriterien für die Gebäude abgeleitet. Für die Bemessung und konstruktive Ausbildung der Tragwerke wurden grundsätzlich die zur Zeit der Erstellung gültigen Tragwerksnormen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) verwendet. Die Tabelle 4.2-1 zeigt die Klassierung der Bauwerke. Dabei entspricht der Bauwerksklasse BK I eine Auslegung gegen das für das KKL definierte Sicherheitserdbeben (Safe Shutdown Earthquake, SSE) und der BK II eine Auslegung gegen das Betriebserdbeben (Operating Basis Earthquake, OBE).

Tabelle 4.2-1: Klassierung der Bauwerke

Gebäude	Kennzeichen	Bauwerksklasse
Reaktorgebäude	ZA	BK I
Aufbereitungsgebäude	ZB1	
– bis +8,5 m		BK I
– über +8,5 m		BK II
Abgasfiltergebäude	ZB2	BK I
Reaktorhilfsanlagegebäude	ZC1	BK I
Notstandbunker (SEHR)	ZC2	BK I
Neuer SEHR-Brunnen A	ZC3	BK I
Brennelementlagergebäude	ZD1	BK I
Dekontaminationsgebäude	ZD2	BK II
Aktivwerkstatt	ZD3	Nicht klassiert
Betriebsgebäude	ZE1	
– Block Nord/Mitte		BK I
– Block Süd (Bürotrakt)		BK II
Betriebsgebäude-Anbau	ZE2	BK II
Maschinenhaus	ZF	
– KRA (Kondensatreinigung)		BK I
– ohne KRA		BK II
10-kV-Schaltanlage	ZH2	BK II
Notstromdieselanlagegebäude A	ZK1	BK I
Notstromdieselanlagegebäude B	ZK2	BK I
Notstromdieselanlagegebäude HPCS	ZK3	BK I
Nebenkühlwasseranlage	ZM2	
– Überlaufbauwerk		BK I
– Einlaufbauwerk, Einlaufkanäle, Pumpenhaus		BK II
Notkühlwasseranlage A	ZM4	BK I
Notkühlwasseranlage B	ZM5	BK I
Notkühlwasseranlage HPCS	ZM6	BK I
Abluftkamin	ZQ	BK I
Zwischenlager für radioaktive Rückstände	ZT	BK I
Rohrleitungs- und Kabelkanäle	ZV1	
– Ringkanal		BK I
Rohrleitungs- und Kabelkanäle	ZV2	
– Verbindungsast zu Pumpenhaus ZM2		BK II
Kalkkondensatbehälter-Gebäude	ZW1	
– bis +5,7 m		BK I
– über +5,7 m		BK II
50-kV-Innenraumschaltanlage	ZX	BK II

Im Bericht „Sicherheitsrelevante Anlagenteile, Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Bautechnik“^{PSÜ/66} bewertet das KKL die Auslegungsvorgaben für die Bauwerke. Als Korrektur gegenüber der PSÜ 2006 wurde das 50-kV-Schaltanlagegebäude ZX in die Liste der BK-II-klassierten Gebäude aufgenommen. Das Gebäude gewährleistet den Anschluss an das Wasserkraftwerk Klingnau (50-kV-Leitung). Es wurde bereits zur Bauzeit der BK II zugeordnet und dementsprechend auf OBE ausgelegt und bemessen.

Das KKL stellt fest, dass die Bauten anhand der zur Erstellungszeit gültigen Normen, Richtlinien und Festlegungen bemessen und konstruiert worden sind. Bei Anlagenänderungen wurde jeweils der aktuelle Stand des Regelwerks verwendet. Für die Sicherheitsbeurteilung im Rahmen der PSÜ sind die heute aktuellen Tragwerksnormen massgebend. Die Einflüsse der Normenänderungen des SIA auf die Bauwerke im KKL wurden eingeschätzt. Als wesentliche Änderungen des Regelwerks seit der Erstellungszeit wurden die Anforderungen an die Querkraftnachweise und an die Durchstanznachweise identifiziert. Das KKL überprüfte die Einflüsse der Normenänderungen nicht durch einen pauschalen Normenvergleich, sondern pro Bauwerk der nuklearen Bauwerksklassen BK I und BK II systematisch mit einem abgestuften Auswahlprüfverfahren. Bei allen durchgeführten Untersuchungen konnte die Tragsicherheit nach aktuellen Normen nachgewiesen werden. An den klassierten Gebäuden sind keine Massnahmen erforderlich.

Von dieser Überprüfung ausgenommen wurde die bautechnische Bewertung der Erdbebensicherheit der einzelnen Bauwerke. Diese wird im Rahmen der Nachweise für die neuen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 erfolgen, die vom ENSI im Mai 2016, das heisst nach dem Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016, verfügt wurden.

Die Beurteilung der Sicherheit der Bauwerke dokumentiert das KKL gebäudespezifisch in den Berichten zu den jeweiligen Gebäuden^{PSÜ/67, PSÜ/81–PSÜ/95, PSÜ/135}. Jeder dieser Berichte fasst für das entsprechende Gebäude die folgenden Inhalte zusammen:

- Funktionen und Bedeutung des Gebäudes
- Gebäudebeschreibung
- Inspektionen (als Bestandteil der bautechnischen Alterungsüberwachung)
- Änderungen und Instandsetzung
- Eingriffe in die Baustrukturen
- Gesamtbewertung des Gebäudes

In der Tabelle 4.2-2 sind die im Überprüfungszeitraum durchgeführten baulichen Änderungen zusammengefasst.

Tabelle 4.2-2: Bauliche Änderungen

Gebäude	Kennzeichen	Bauliche Änderung	Jahr
Reaktorgebäude	ZA	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
		– Einbau von Gittertüren als Absperrungen	2013
		– Einbau einer Absturzsicherung im Annulus +24,6 m	2012
Reaktorhilfsanlagegebäude	ZC1	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2011
		– Einbau von Leitern und Gitterpodesten in den Steigschächten der Notsteuerstellen	2011
Brennelementlagergebäude	ZD1	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2007
		– Ersatz der Schleusenvortüre	2012
Kalkkondensatbehälter-Gebäude	ZW1	– Einzonung Kalkkondensatbehälter-Gebäude in die kontrollierte Zone (Strahlenschutz-Anforderung des ENSI)	2008

Gebäude	Kennzeichen	Bauliche Änderung	Jahr
Notstromdiesel- und Notkühlwasseranlagen A, B und HPCS (C) – Gebäude	ZK1/ZM4 ZK2/ZM5 ZK3/ZM6	Keine	
Notstandbunker (SEHR) und neuer SEHR-Brunnen A	ZC2/ZC3	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
Zwischenlager für radioaktive Rückstände	ZT	Keine	
Aufbereitungsgebäude	ZB1	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
		– Nachrüstung der Brandschutzfenster	2010
Abgasfiltergebäude	ZB2	Keine	
Abluftkamin	ZQ	– Einbau eines Personalaufzugs am Abluftkamin	2011
Rohrleitungs- und Kabelkanäle	ZV1/ZV2	Keine	
Betriebsgebäude und Anbau	ZE1/ZE2	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
		– Umbau des Technischen Büros +3,50 m	2009
Maschinenhaus	ZF	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
		– Verstärkung der Fensterrahmen auf der Westseite	2005
Dekontaminationsgebäude	ZD2	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
Aktivwerkstatt	ZD3	– Ersatz der Lastanschlagpunkte für Lukendeckel	2012
		– Umbau Werkzeugmagazin und Aktivlager (im ZD3)	2007
Nebenkühlwasseranlage	ZM2	Keine	
50-kV-Innenraumschaltanlage	ZX	Keine	

In der Gesamtbewertung der Bauwerke zieht das KKL aus den bisherigen Massnahmen im Zusammenhang mit den baulichen Änderungen und Eingriffen in die Baustrukturen sowie aus der Alterungsüberwachung der Bauwerke den Schluss, dass die Gebäude die Auslegungsanforderungen, basierend auf den aktuell gültigen Tragwerksnormen, erfüllen. Die Gebäude sind in einem guten Zustand und auch von der Materialqualität her bis zur nächsten planmässigen Inspektion funktionstüchtig. Die angestrebte Lebensdauer von 60 Jahren kann bei weiterer Überwachung und Instandhaltung gut erreicht werden.

Aufgrund einer Nachforderung des ENSI aus der Grobprüfung der PSÜ 2016^{ENSI 12/2380} dokumentierte das KKL ergänzend die Herleitung der Ergebnisse seiner Beurteilung des Einflusses der im Überprüfungszeitraum erfolgten Änderungen in den Tragwerksnormen des SIA für drei repräsentative Gebäude. Zudem dokumentierte es die Änderungen der Anforderungen an den Brandwiderstand der Tragwerke und untersuchte deren Einfluss auf die Gebäude.

Das KKL fokussiert die entsprechenden baustatischen Nachweise auf die Sicherheit gegen Schubversagen (Querkraftnachweise), weil dies die wesentliche Änderung in der Tragwerksnorm SIA 262 im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 darstellt. Für das Reaktorgebäude^{KKL-2016-12-23}, das Aufbereitungsgebäude^{KKL-2016-12-19} und den Abluftkamin^{KKL-2016-12-25} wurden Stichprobenprüfungen für Tragwerksteile durchgeführt, welche massgeblich auf Querkraft beansprucht werden.

Das KKL wies den Brandwiderstand der Stahlbetontragwerke mittels Vergleich der vorhandenen mit der minimal erforderlichen Bewehrungsüberdeckung nach^{KKL-2017-10-9}. Bei einem Grossteil der Bauteile konnte auf diesem Weg die Erfüllung der Anforderungen gemäss den aktuellen Tragwerksnormen nachgewiesen werden. Für einzelne Bauteile, bei denen die normgemässe Bewehrungsüberdeckung nicht nachweisbar vorhanden ist, wurden exemplarisch rechnerische Nachweise geführt. Daraus ging hervor, dass der gemäss Brandschutzkonzept des KKL geforderte Brandwiderstand dennoch mit Reserve gewährleistet ist.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-A03^{A03}
- Aktennotiz ENSI 12/1300^{ENSI 12/1300}
- Tragwerksnormen des SIA

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die PSÜ-Unterlagen des KKL bezüglich der Bautechnik als vollständig und korrekt. Zu den in diesen Unterlagen behandelten Themen Inspektionen und bautechnische Alterungsüberwachung sei auf Kap. 5.1 verwiesen. Die Dokumentation folgt der Struktur der Richtlinie ENSI-A03 und behandelt alle klassierten Bauwerke, die im Überprüfungszeitraum in Betrieb standen. Der Bau der neuen Aktivlagerhalle ZENT (ZL6) und des Frequenzumrichtergebäudes für YUMOD (ZC4) wird in den PSÜ-Dokumenten nicht erwähnt, obwohl er grösstenteils während des Überprüfungszeitraums erfolgte. Diese Neubauten sind klassiert und wurden bzw. werden erst nach dem Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 in Betrieb genommen.

Das ENSI hat die sicherheitsrelevanten baulichen Änderungen und die Eingriffe in klassierte Baustrukturen jeweils im Rahmen des Aufsichtsverfahrens geprüft und zur Ausführung freigegeben. Die Verankerung von neuen Ausrüstungen im Stahlbeton-Tragwerk hat das KKL grundsätzlich nach den Konzepten der Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter (GSKL) für Befestigungen^{GSKL-B-2} bzw. für Eingriffe^{GSKL-B-4} bemessen und konstruiert. Da die Produkte und Anforderungen der Befestigungstechnik seit der Erarbeitung dieser Konzepte stark entwickelt wurden, müssen die neuen europäischen Richtlinien und die produktspezifischen Prüfungen bei der Nachweisführung berücksichtigt werden. Dementsprechend soll das Konzeptdokument für Befestigungen^{GSKL-B-2} aktualisiert werden. Da dies in Zusammenarbeit aller Schweizer Kernkraftwerksbetreiber und nicht allein durch das KKL geplant ist, wird die Revision des genannten GSKL-Konzepts nicht im Rahmen der vorliegenden Stellungnahme, sondern in einem separaten Geschäft behandelt.

Das ENSI bestätigt die Aussage des KKL, dass die bautechnische Bewertung der Erdbebensicherheit der einzelnen Bauwerke im Rahmen der im Mai 2016, das heisst nach dem Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016, verfügten Erdbebenfestigkeitsnachweise auf Basis der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 erfolgen wird (vgl. Kap. 2.1.4).

Das KKL hat für alle klassierten Bauwerke eine Beurteilung des Einflusses der im Überprüfungszeitraum erfolgten Änderungen in den Tragwerksnormen des SIA durchgeführt und die vom ENSI im Rahmen der Grobprüfung^{ENSI 12/2380} geforderten ergänzenden Nachweise eingereicht. Das ENSI beurteilt die für die Stichproben ausgewählten Gebäude und Bauteile für die vorliegende Nachweisführung als repräsentativ, weil die massgebenden Änderungen der Tragwerksnorm SIA 262 (Schubversagen, Durchstanzsicherheit, Brandwiderstand) für einzelne Bauteile dieser Gebäude wirksam werden. Es hat die Nachweise im Einzelnen nachvollzogen und dazu eigene baustatische Abschätzungen durchgeführt. Es kommt zum Schluss, dass die Tragwerke des KKL grundsätzlich auch die Anforderungen der aktuellen Baunormen des SIA erfüllen. Zwei Vorbehalte zum Nachweis eines Unterzugs im Aufbereitungsgebäude und zur Wahl der massgebenden Einwirkung für die Bodenplatte des Reaktorgebäudes hat das ENSI; sie werden im Aufsichtsverfahren ausserhalb der PSÜ verfolgt.

Das ENSI beurteilt die Nachweise gemäss den aktuellen Brandschutz-Normen als korrekt und zweckmässig. Allerdings stellt das ENSI fest, dass das KKL bei der Überprüfung von bestehenden Bauten bezüglich Brandwiderstand nach den aktuellen SIA-Tragwerksnormen^{KKL-2017-10-9} ausschliesslich Betonbauteile untersucht hat.

Forderung 4.2-1

Ergänzend zum Nachweis des Brandwiderstands der Tragwerke ist bis zum 15. Dezember 2020 abzuklären, ob es Stahlbauteile bzw. Stahlkonstruktionen gibt, die für die Tragsicherheit im Brandfall relevant sind. Gegebenenfalls muss auch für solche Bauteile die Erfüllung der Normanforderungen der aktuellen Normen des SIA nachgewiesen werden.

4.3 Nukleares Dampferzeugungssystem

Das nukleare Dampferzeugungssystem besteht aus dem Reaktorkühlkreislauf mit dem Reaktordruckbehälter (RDB) und seinen Einbauten, dem Umwälzsystem sowie den Frischdampf- und Speisewasserleitungen bis zu und mit ihren äusseren Isolationsarmaturen.

Die sicherheitstechnischen Aufgaben des nuklearen Dampferzeugungssystems sind einerseits die Abfuhr der Reaktorleistung bzw. der Nachwärme und andererseits der Einschluss des Reaktorkühlmittels im Reaktorkühlkreislauf während des Normalbetriebs und bei Störfällen.

4.3.1 Reaktordruckbehälter mit Einbauten

Der RDB ist der zentrale Teil des nuklearen Dampferzeugungssystems. Er beinhaltet als wichtigste Einbauten Kerngitter, Kernmantel, Kernsprühleitungen, Steuerstäbe und deren Antriebe, Hüllrohre für die Steuerstabsdurchführungen und die Kerninstrumentierungen, Strahlpumpen und dazugehörige Befestigungen, Wasserabscheider und Dampftrockner.

Angaben des KKL

Funktionstests und weitere Betriebserfahrung

Im Überprüfungszeitraum wurde die Dichtheit des RDB durch den jährlichen Dichtheits- und Leckagetest in der Revision und die alle zehn Jahre durchzuführende Druckprüfung bei 107 bar ohne Beanstandungen nachgewiesen.

Es ereigneten sich vier gemäss Richtlinie ENSI-B03 meldepflichtige Vorkommnisse, die den RDB und die Einbauten betrafen. Drei davon traten im Bereich von Schweissnähten und eines im Bereich der Steuerstabsmusteranpassung auf.

Wiederholungsprüfungen

Die Wiederholungsprüfprogramme sind in den Komponentenprüfdokumenten für den RDB und dessen Einbauten festgelegt. Als Prüfmethode kamen Ultraschall-, Wirbelstrom-, Farbeindring- und Magnetpulverprüfungen, Sichtprüfungen (für die Einbauten als Kameraprüfung) sowie System- und Komponentenbegehungen zum Einsatz. Zum Prüfprogramm gehören Wiederholungsprüfungen an Schweissnähten der RDB-Stützen, dem RDB-Deckel, der RDB-Bodenkalotte, dem RDB-Zylinder sowie den Steuerstabantrieben und Kerninstrumentierungsgehäuserohren. Weiterhin unterliegen der RDB-Flansch (Gewindesacklöcher, Bolzen) sowie auch die RDB-Einbauten (Kernabstützungen, Kernmantel, usw.) der Prüfpflicht.

In den PSÜ-Unterlagen dokumentiert das KKL, dass das Wiederholungsprüfprogramm für den RDB und dessen Einbauten gemäss den Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 und der Richtlinie ENSI-B06 für den Überprüfungszeitraum vollständig erfüllt wurde.

Im Überprüfungszeitraum wurden bei der Ultraschallprüfung der Schweissnähte des zylindrischen Teils des RDB in 2006 drei meldepflichtige Anzeigen gefunden. Die Zulässigkeit der Anzeigen wurde auf Basis einer bruchmechanischen Bewertung nachgewiesen. Diese drei Anzeigen wurden gemäss einer ENSI-Forderung im Jahr 2007 nochmals geprüft. Dabei wurde keine Veränderung der Anzeigen festgestellt. Es wurde bei der Prüfung 2007 eine weitere bewertungspflichtige, aber zulässige, Anzeige detektiert.

Im Jahr 2012 wurde bei der Prüfung der Anschlussnähte am RDB-Stützen N5/150° eine meldepflichtige, nicht zulässige Anzeige festgestellt. Das KKL führte die Anzeige auf einen Spannungskorrosionsriss im Nickelbasis-Werkstoff Alloy-182 zurück. Es wurde eine Reparatur mittels Full-Structural-Weld-Overlay-Verfahren durchgeführt. Die Qualität dieser Schweissung wurde durch eine mechanisierte Ultraschallprüfung mit einem Phased-Array-Prüfsystem überprüft. Gleichzeitig wurde mit diesem Prüfsystem auch eine Basisprüfung als Vergleichsgrundlage für die Wiederholungsprüfungen durchgeführt. Die dabei festgestellten bewertungspflichtigen Anzeigen wurden gemäss Code Case N740-2 der American Society of Mechanical Engineers (ASME) als zulässig bewertet. Das KKL hat in der Folge das Prüfintervall für die Mischnähte an den Anschlussnähten für die

RDB-Stutzen angepasst. Das Intervall wurde für ausgewählte Mischnähte auf 36 Monate verkürzt. Weitere bewertungspflichtige, aber bereits bekannte und zulässige Ultraschall-Anzeigen wurden 2013 an den Stutzenanschlussnähten der N3-Stutzen festgestellt.

Ein RDB-Bolzen wurde aufgrund einer bewertungspflichtigen Anzeige 2016 ausgetauscht. Eine 2013 am RDB-Deckel bei einer visuellen Prüfung festgestellte bewertungspflichtige Anzeige infolge einer Druckstelle, wurde ausgearbeitet. Als Ursache für die Druckstelle wurde eine eingeklemmte Halteklammer identifiziert.

Bei der Prüfung der Bodenkalotte in 2013 mit einem mechanisierten Kamerasystem wurde eine bewertungspflichtige Anzeige im Vergleich zur Prüfung im Jahr 2012 festgestellt. Die Bewertung ergab, dass keine weiteren Massnahmen erforderlich sind. An den RDB-Einbauten wurden zwei bewertungspflichtige, aber zulässige, Schweissnahtfehler festgestellt. An den Jet-Pumpen wurde ein bewertungspflichtiger, aber zulässiger, Materialabtrag gefunden und dokumentiert.

In der Gesamteinschätzung kommt das KKL zum Schluss, dass der Umfang der Wiederholungsprüfungen am RDB und dessen Einbauten als umfassend angesehen wird. Die vorgefundenen Anzeigen wurden als zulässig bewertet. Nur wenige Reparaturen wurden infolge der Ergebnisse der Wiederholungsprüfungen am RDB durchgeführt.

Instandhaltung und Änderungen

Im Überprüfungszeitraum sind insgesamt drei technische Änderungen umgesetzt worden:

- Zur Absenkung der Anfälligkeit gegen Spannungsrisskorrosion wurde vom KKL die Wasserchemiefahrweise Hydrogen-Water-Chemistry/On-Line-NobleChem®-Einspeisung (Wasserstoff- und Edelmetalleinspeisung, im Folgenden HWC/OLNC-Fahrweise genannt) eingeführt. Die Absenkung des elektrochemischen Potentials (ECP) erfolgt dabei durch Einspeisung von Wasserstoff ins Speisewasser in Verbindung mit einer Edelmetallzufuhr.
- Eine weitere Änderung betraf die Befestigung der Jet-Pump Beams. Die Verbesserung nutzt zur Sicherung gegen Verdrehen eine lösbare Vielzahnsicherung mit Innen- und Aussenverzahnung. Dadurch sind bei einer Montage keine aufwendigen Unterwasserschweissarbeiten mehr erforderlich.
- Weiterhin wurde das Source & Intermediate Range Monitoring (SRM/IRM) durch ein neues, mit fest installierten Detektoren ausgerüstetes Weitbereichsmesssystem ersetzt. Die wartungsintensiven Antriebe der SRM- und IRM-Detektoren unter dem RDB konnten entfallen. Das hat zur besseren Verfügbarkeit, Instandhaltung und Bedienbarkeit beigetragen.

Im Überprüfungszeitraum wurden auch mehrfach Steuerstabantriebe ausgetauscht. Die Reinigung der Steuerstabführungsrohre wurde aufgrund von Ablagerungen am Boden der Führungsrohre ebenfalls mehrfach durchgeführt.

Alterungsüberwachung

Für das System wurden die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 umgesetzt, die im Überprüfungszeitraum erstellte alterungstechnische Beurteilung wurde auf Grundlage der Richtlinie ENSI-B01 überarbeitet und aktualisiert. Es wurden verschiedene Massnahmen bzw. Abklärungen im Rahmen der Alterungsüberwachung durchgeführt, welche überwiegend die Wiederholungsprüfungen betreffen.

Im Rahmen der Ermüdungsüberwachung werden acht Positionen am RDB überwacht. Führend bei der Ermüdungsausnutzung Stand Ende 2016 sind die Kerninstrumentierungsgehäuse mit ca. 63 %, gefolgt von den Steuerstab-Antriebsgehäusen mit 60 %.

Durch die Bestrahlung des RDB mit schnellen Neutronen (> 1 MeV) versprödet dessen Material. Das Mass für die Bestrahlung mit schnellen Neutronen wird als Neutronenfluenz bezeichnet. Um die mit der Betriebszeit voranschreitende Bruchzähigkeitseinbussen des RDB-Materials durch Neutronenbestrahlung zu verfolgen, wurden vor der Inbetriebnahme Neutronendosimeter und eingekapselte Probensätze aus RDB-identischem

Material (Kerbschlag-, Zug- und Biegeproben, Bruchmechanikproben) im RDB an Stellen hoher Neutronenflussdichte eingesetzt. Die Proben werden entsprechend den Vorgaben der „Technischen Spezifikationen Leibstadt“ nach unterschiedlicher Betriebsdauer aus dem RDB entnommen und geprüft. Im Überprüfungszeitraum wurde 2008 der zweite Probensatz nach 24 Betriebsjahren entnommen und im Jahre 2010 geprüft. Nach Entnahme der ersten beiden Probensätze wurden weitere Bestrahlungsproben, sowohl bereits bestrahlte als auch unbestrahlte, in den RDB eingebracht. Die Prüfung erfolgte entsprechend einer vom ENSI bewerteten Prüfpezifikation.

Die durchgeführten Prüfungen umfassten die Analyse der Neutronen- und Temperaturmonitore und die mechanische Prüfung von Kerbschlag- und Miniaturzugproben. Neben der Prüfung der Kerbschlagproben aus dem zweiten Bestrahlungssatz wurden auch Kerbschlagproben an dem unbestrahlten Schweißmaterial der Längs- und Rundnaht des Reaktordruckbehälters aus originalgetreuem Material durchgeführt. Diese Prüfungen wurden durch bruchmechanische Untersuchungen nach dem Masterkurvenkonzept an dem originalgetreuen unbestrahlten Material und bestrahlten Material aus dem Bestrahlungssatz 2 ergänzt.

Für die Änderung der Referenztemperatur ART (Adjusted Reference Temperature) nach 60 Betriebsjahren (54 Vollastjahren) wurde entsprechend US-NRC RG 1.99 ein maximaler Wert von 4 K ermittelt, während für die Kerbschlagarbeit in der Hochlage ein minimaler Wert von 130 J bestimmt wurde.

Die erhaltenen Ergebnisse sind in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus der Prüfung des ersten Probensatzes und zeigen, dass die Neutronenversprödung der RDB-Materialien im KKL keine Einschränkungen hinsichtlich des Langzeitbetriebs des Kraftwerks darstellen werden. Hinsichtlich Vollständigkeit, Aktualität und Korrektheit erachtet das KKL das Bestrahlungsprogramm als auf dem aktuellen Stand und sieht keinerlei Mängel oder Defizite. Das Bestrahlungsprogramm wird entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik kontinuierlich weiterverfolgt. Die Vorgaben der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken^{UVEK-A}, im Folgenden Ausserbetriebnahme-Verordnung genannt, bezüglich einer Sprödbbruchübergangstemperatur von maximal 93 °C und einer minimalen Kerbschlagarbeit von 68 J, werden vollumfänglich eingehalten und voraussichtlich auch nach 60 Betriebsjahren nicht erreicht.

Zur Absicherung gegen Sprödbbruchgefährdung werden in der „Technischen Spezifikation“ des RDB Druck-/Temperaturgrenzkurven definiert. Nach Auswertung des zweiten Bestrahlungsprobensatzes sind die Werte aktualisiert worden. Dazu wurde die berechnete Sprödbbruch-Referenztemperatur RT_{NDT} für 60 Betriebsjahre berücksichtigt. Die Bestimmung von RT_{NDT} wurde nach der damals aktuellen Fassung des ASME Boiler & Pressure Vessel Code (BPVC) durchgeführt. Zusätzlich wurde der N13-Stutzen in die bruchmechanische Analyse einbezogen. Die neuen Kurven wurden im August 2012 durch das ENSI freigegeben.

Für den Nachweis gegen Sprödbbruch werden als Lastfälle der RDB-Drucktest und die Normalbetriebsbedingungen berücksichtigt sowie verschiedene Positionen im RDB analysiert. Die Methodik richtet sich nach ASME BPVC, Section XI, Appendix G. Hierzu wird ein Riss mit einer Tiefe von $\frac{1}{4}$ der Wanddicke postuliert und mit Hilfe der linear-elastischen Bruchmechanik analysiert. Der so berechnete Spannungsintensitätsfaktor wird mit der zulässigen Bruchzähigkeit unter Berücksichtigung von Temperatur und Sicherheitsfaktor verglichen. Aus den Einzelergebnissen wird abschliessend eine abdeckende Grenzkurve, die für 54 Vollastjahre gilt, generiert.

Fazit des KKL

Aufgrund der vorgelegten PSÜ-Unterlagen kommt das KKL zum Schluss, dass der RDB die Schutzziele 1–3 auch für die kommenden Betriebsjahre zuverlässig erfüllen kann.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 32, 35, 36 KEV^{KEV}
- Ausserbetriebnahme-Verordnung^{UVEK-A}
- Richtlinien ENSI-B07^{B07}, ENSI-B01^{B01}, ENSI-B06^{B06} und ENSI-G11^{G11}

- SVTI-Festlegung NE-14^{NE-14}
- IAEA Safety Guide NS-G-2.12^{NSG-2.12}
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III^{BPVC-III} und Section XI^{BPVC-XI}
- USNRC Regulatory Guide 1.99, Rev. 2^{RG1.99}

Beurteilung des ENSI

Funktionstests und weitere Betriebserfahrung

Mit der erfolgreichen Durchführung der Funktionstests wurde die Integrität des RDB vom KKL nachgewiesen. Der RDB und die Kerneinbauten waren zusätzlich zur Belastung durch Reaktorschnellabschaltungen und insbesondere dem meldepflichtigen Vorkommnis „Auslösung des SEHR-ADS während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen“ (vgl. Kap. 3.2) weiteren Belastungen ausgesetzt. Die Auswirkungen auf den RDB durch die aufgetretenen Transienten wurden vom ENSI als zulässig beurteilt. Die in den meldepflichtigen Vorkommnissen festgestellten Befunde an den Schweißnähten wurden entweder aufgrund detaillierterer Analysen als unbedenklich eingestuft, oder sie wurden behoben. Es wurden geeignete Massnahmen gegen eine Wiederholung des meldepflichtigen Vorkommnisses „Automatische Reaktorschnellabschaltung durch Neutronenfluss HOCH“, bei dem es im Zuge einer geplanten Steuerstabmusteranpassung zu einer Reaktorschnellabschaltung kam, umgesetzt.

Wiederholungsprüfungen

Das ENSI hat in seiner Aufsichtstätigkeit unter Einbeziehung des beauftragten Sachverständigen des Nuklearinspektorats des SVTI (Schweizerischer Verein für technische Inspektionen) die Wiederholungsprüfprogramme, die in den Komponentenprüfplänen dokumentiert sind, kontrolliert und die Durchführung der Prüfungen überwacht. Das ENSI bestätigt, dass die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 erfüllt wurden.

Der SVTI hat die Zulässigkeit von bewertungspflichtigen Anzeigen gemäss ASME BPVC, Section XI überprüft. Das ENSI hat ergänzend, wo erforderlich, die vom KKL eingereichten bruchmechanischen Analysen zu bewertungspflichtigen Anzeigen kontrolliert und akzeptiert.

Das ENSI hat das vom KKL eingereichte Wiederholungsprüfprogramm der Anschlussnähte an den Reaktordruckbehälterstützen überprüft. Die Prüferfahrung hat gezeigt, dass die Detektion und die konservative Bestimmung der Fehlertiefe hohe Anforderungen an die eingesetzten Ultraschallprüfsysteme stellen. Dies zeigte sich bei der Prüfung der Anschlussnähte am Reaktordruckbehälterstützen N5/150°, bei der im Jahr 2012 eine unzulässige Anzeige gefunden wurde. Das ENSI stützt die Annahme des KKL, dass diese Anzeige auf Spannungsrisskorrosion zurückzuführen ist.

Das ENSI begrüsst die Anpassung der Prüfprogramme für die Mischnähte an den Anschlussnähten für die Reaktordruckbehälterstützen, insbesondere für Schweißnähte mit bekannten Reparaturstellen und die deutliche Verkürzung des Prüfindervalls. Zwischenzeitlich hat das ENSI nach umfassender Auswertung der internationalen Betriebserfahrung mit Schreiben vom 7. Mai 2018 die Massnahme Overlay-Schweissung an der Mischnaht W116 am Speisewasserstützen N5 als permanente Reparatur anerkannt. Das Konzept für die Wiederholungsprüfungen an den Mischnähten wurde überarbeitet und wird vom ENSI geprüft. Als vorbeugende Massnahme zur Reduzierung der Anfälligkeit gegen Spannungsrisskorrosion werden vom KKL Abklärungen für die Anwendung des Mechanical-Stress-Improvement-Verfahrens getroffen und ein entsprechendes Konzept ausgearbeitet. Das ENSI wird die Prüfungen sowie weitere geplante Abhilfemassnahmen des KKL zur Verhinderung von Spannungsrisskorrosion an den Anschlussnähten der RDB-Stützen weiterhin überwachen.

Instandhaltung und Änderungen

Die Intervalle und der Umfang der Instandhaltungsaufträge waren für den Überprüfungszeitraum angemessen, um die relevanten Verschleiss- und Alterungsmechanismen zu adressieren und Ausfälle im Normalbetrieb zu minimieren bzw. zu verhindern. Entsprechend den vorhandenen Erkenntnissen befinden sich die sicherheitstechnisch relevanten mechanischen Komponenten des RDB und der Einbauten in einem guten Zustand. Sie werden vom KKL regelmässig geprüft und vom ENSI inspiziert.

Für die periodische Reinigung der Steuerstabführungsrohre in Zusammenhang mit dem Austausch der Antriebe wird die Absaugung der auf dem Boden der Steuerstabführungsrohre abgesetzten feinstaubigen Korrosionsprodukte durchgeführt. Das ENSI begrüsst diese Massnahme. Dadurch wird verhindert, dass feinstaubige Korrosionsprodukte in die Steuerstabantriebe gelangen und dadurch die Funktionstüchtigkeit der Antriebe beeinträchtigt.

Alterungsüberwachung

Die als ermüdungsrelevant identifizierten Positionen am RDB sind in die Ermüdungsüberwachung einbezogen und bleiben mit einem rechnerischen Maximalwert von 63 % am Ende des Bewertungszeitraums im zulässigen Bereich.

Durch die Bestrahlung des RDB mit schnellen Neutronen nimmt die Zähigkeit der RDB-Materialien ab. Die Neutronenversprödung stellt einen wesentlichen Alterungsmechanismus dar. Diese Zähigkeitsabnahme wird durch Bestrahlungsproben aus dem Grundmaterial und aus dem Schweissgut verfolgt.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Versprödung des RDB im KKL nach zwei entnommenen und getesteten Probensätzen des Bestrahlungsprobenprogramms gering ist. Sowohl die Auswertungen nach dem klassischen RT_{NDT} -Konzept als auch dem moderneren Masterkurvenkonzept zeigen, dass die Sprödbruch-Referenztemperatur nur gering ansteigt. Die Extrapolation der Ergebnisse auf 60 Betriebsjahre beinhaltet grosse Margen zu den Grenzwerten von 93 °C für die Referenztemperatur in $\frac{1}{4}$ Wandtiefe und 68 J für die Kerbschlagarbeit in der Hochlage aus der Ausserbetriebnahme-Verordnung. Es stehen noch mehrere Bestrahlungssätze mit insgesamt acht Kapseln im RDB zur Verfügung, die eine Betriebsdauer von mindestens 60 Jahren abdecken. Die Bewertung entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik.

Zur Absicherung gegen Sprödbruch sind im Rahmen der „Technischen Spezifikation“ des RDB die Druck-/Temperaturgrenzkurven auf den aktuell en Stand gebracht worden, wobei die auf 60 Betriebsjahre extrapolierte Referenztemperatur verwendet wurde. Die aktualisierten Grenzkurven wurden vom ENSI geprüft und im August 2012 freigegeben. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Grenzkurven auch unter Störfallbedingungen abdeckend sind.

Gesamtbeurteilung des Systems

Das ENSI kommt zum Schluss, dass die Integrität und die Funktion des Reaktordruckbehälters und seiner Einbauten weiterhin gewährleistet sind. Die Materialversprödung der RDB-Werkstoffe durch Neutronenbestrahlung stellt aus aktueller Sicht keinen limitierenden Faktor für den Langzeitbetrieb dar. Die Mischnähte an den Anschlussnähten der RDB-Stutzen werden weiterhin mit verkürzten Prüfintervallen überwacht. Weitere vom KKL geplante Abhilfemassnahmen zur Verhinderung von Spannungsrissskorrosion an den RDB-Stutzen werden vom ENSI eng begleitet.

4.3.2 Umwälzsystem

Das Umwälzsystem besteht aus zwei fast identischen Umwälzschleifen mit je einer Pumpe, einem Regelventil und zwei Absperrschiebern vor und hinter der Pumpe. Das Primärkühlmittel wird vom unteren Ringraum des RDB angesaugt und durch die Regelventile und die Einlassstutzen auf die Jet-Pumpen im oberen Ringraum geleitet. Durch die Jet-Pumpen wird weiteres Primärkühlmittel angesaugt und in das Plenum unter den Kern gedrückt.

Der ausserhalb des RDB liegende Teil der Umwälzschleife ist Teil der druckführenden Umschliessung des Reaktorkühlsystems. Der im RDB befindliche Teil gehört zu den Reaktoreinbauten und wird in Kap. 4.3.1 behandelt.

Angaben des KKL

Funktionstests und weitere Betriebserfahrung

Die Funktionstüchtigkeit des Systems wird mittels 13 verschiedener Funktionstests nachgewiesen. Alle Tests wurden im Überprüfungszeitraum erfolgreich bestanden. Insgesamt traten bei den erfolgreich bestandenen Tests 16 Störungen und Abweichung auf. Zwei Störungen waren Fehlhandlungen bei der Instandhaltung oder Montage von Komponenten zuzuordnen. Der Grossteil der anderen 14 Störungen war durch Ausfälle von elektrischen und leittechnischen Komponenten bedingt.

Insgesamt traten 20 Vorkommnisse auf, von denen sieben meldepflichtig waren. Die meldepflichtigen Vorkommnisse umfassen zwei Befunde an Schweissnähten, das Fehlüffnen eines Umwälz-Regelventils, die innere Leckage der Drywell-Isolationsventile des Probenahmesystems, eine Leistungstransiente durch Öffnen der Umwälzregelventile und eine ungeplante Leistungsreduktion.

Wiederholungsprüfungen

Das Wiederholungsprüfprogramm für das Reaktorwasser-Umwälzsystem wird in den Komponentenprüfdokumenten festgelegt. Dazu zählen insbesondere die entsprechenden Ultraschall-, Magnetpulver-, Farbeindring- und Sichtprüfungen sowie System und Komponentenbegehungen. Die zerstörungsfreien Prüfungen wurden mit qualifizierten Prüfsystemen durchgeführt, die entsprechend den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B07 qualifiziert wurden.

Dabei wurden die bereits seit der Revisionsabstellung 2000 festgestellten Befunde an den Schweissnähten der Umwälzschleifen bestätigt. Das Prüfprogramm wurde im Überprüfungszeitraum der PSÜ angepasst. Es wurden dabei weitere melde- und bewertungspflichtige Befunde an Schweissnähten der Umwälzschleife festgestellt. Insgesamt dokumentiert das KKL an der Umwälzschleife neun Befunde. Das KKL hat für sechs Schweissnähte mit bewertungspflichtigen Befunden das Prüfintervall verkürzt und Nachprüfungen durchgeführt. Bei allen Prüfungen an bereits bekannten Befunden wurden im Rahmen der Messgenauigkeit keine Anzeigenveränderungen festgestellt. Das KKL hat die Zulässigkeit der bewertungspflichtigen Anzeigen an der Umwälzschleife gemäss ASME BPVC, Section XI, Div. 1, Tabelle 3514-2 und, wo erforderlich, durch bruchmechanische Berechnungen nachgewiesen.

An zwei Absperrschiebern in der Druckleitung wurde bei der visuellen Inspektion der Spindelführung in der Revisionsabstellung 2006 Materialabtrag festgestellt, weiterhin wurde im Rahmen der Schieberrevision in der Revisionsabstellung 2008 eine Beschädigung des Stellsitzes an einem Schieber protokolliert. Das KKL hat auf Basis freigegebener Bau- und Schweissprüfpläne die entsprechenden Reparaturen durchgeführt. Damit können innere Leckagen an den während der Systemrevisionen geschlossenen Schiebern ausgeschlossen werden. Die Schieber sollen im Rahmen des YUMOD-Projekts ausgetauscht werden.

An den hydrostatischen Lagern der Umwälzpumpen hat das KKL seit 2004 Verschleisschäden in Folge von Strömungsphänomenen dokumentiert, die bei einer Inspektion 2006 bestätigt wurden. Das KKL hat ein Reparaturkonzept für die Pumpenlaufradwellen und Wärmetauscher erstellt und 2012 eine Reparatur an den hydrostatischen Lagern durchgeführt. Es wurde ein Schwingungsmesssystem zur Überwachung des Verschleissfortschritts installiert.

Ausserhalb der Komponentenprüfpläne wurde an den Drywell-Isolationsventilen des Probenentnahmesystems ein meldepflichtiger Befund festgestellt. Die beiden Armaturen wurden einer Totalrevision mit einem anschliessenden Dichtheitstest unterzogen.

Das KKL führt zusammenfassend aus, dass die Integrität des Umwälzsystems durch die Resultate des bestehenden und angepassten Wiederholungsprüfprogramms nachgewiesen wurde. Die Betriebssicherheit wurde

mit den bruchmechanischen Bewertungen nachgewiesen. Das KKL führt aus, dass für den auslegungsgemässen Betrieb genügend grosse Reserven, auch hinsichtlich eines möglichen Risswachstums in den Schweißnähten der Umwälzschleifen, aufgezeigt sind.

Instandhaltung und Änderungen

Folgende wesentliche Änderungen wurden im Überprüfungszeitraum durchgeführt:

- Ersatz der Gleitring-Leckagemessung und der Kühlwasserdurchflussschalter;
- Einbau einer Backup-Probenahmeverrichtung mit Messung des elektrochemischen Potentials in der Probenahmeleitung zur Überwachung der Wasserchemie und der Platinbelegung an Probestücken zur Wirksamkeitskontrolle der HWC/OLNC-Fahrweise;
- Rückbau der Backup-Probenahmeverrichtung mit Messung des elektrochemischen Potentials in der Probenahmeleitung zur Überwachung der Wasserchemie, die nur temporär installiert war.

Im Rahmen der Instandhaltung wurden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Bergen eines Fremdteils in 2008, welches zu einer sprunghaften Durchflussabweichung an der Jet-Pumpe 3 zum Umwälzkreislauf A und zu einer Nozzle-Blockade geführt hatte;
- Bergen eines Fremdteils in 2013, welches zu einer sprunghaften Durchflussabweichung an der Strahlpumpe 7 zum Umwälzkreislauf A und zu einer Nozzle-Blockade geführt hatte;
- Austausch der Keilplatten an zwei Druckschiebern aufgrund von Materialabtrag; und
- Austausch der Stoffbuchsen an zwei Regelventilen aufgrund von Leckagen.
- Untersuchungen und Reparaturen an den hydrostatischen Lagern der Umwälzpumpen: Bei einer Inspektion in der Revisionsabstellung 2010 stellte sich heraus, dass der im Jahre 2004 reparierte Innenbereich der hydrostatischen Lager wiederum betriebsbedingte Erosionsspuren aufweist. Um den Erosionsverlauf weiter zu überwachen, wurden in der Revisionsabstellung 2011 die hydrostatischen Lager und die inneren Wärmeschutzschilde der Pumpen A und B untersucht. Wegen Erosionsstellen wurde der Innenbereich der hydrostatischen Lager repariert und wegen lokaler Anzeigen das innere Wärmeschutzschild ersetzt.
- Austausch von zwei Armaturen aufgrund Rissanzeigen auf dem Ventil Sitz.

Nach Ansicht des KKL haben die im Überprüfungszeitraum durchgeführten Anlagenänderungen und Instandhaltungsmassnahmen dazu geführt, dass sich das Betriebsverhalten und die Betriebssicherheit verbessert haben. Aus Sicht des KKL ist die Barrierefunktion des Umwälzsystems uneingeschränkt wirksam und zeigt keine altersbedingten Schwächen.

Alterungsüberwachung

Gemäss der Forderung 6.3.2-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde die Umwälzschleife im Überprüfungszeitraum einer erneuten vollständigen Überprüfung hinsichtlich potentieller Alterungsmechanismen unterzogen. Für folgende Themen wurden im Rahmen der Alterungsüberwachung Abklärungen eröffnet und durchgeführt:

- Erosion an der Umwälzpumpe;
- Stellen, an denen thermische Schichtungen auftreten können;
- thermische Versprödung an Komponenten mit austenitischem Gussmaterial;
- Überprüfung von externen Ereignissen hinsichtlich Ermüdungsrissbildung durch akustische Schwingungen.

Mit dem im Projekt YUMOD geplanten Austausch der Pumpen und Absperrschieber wird die Wirkung der erkannten relevanten Alterungsmechanismen Erosion und thermische Versprödung an den mechanischen Komponenten erheblich reduziert.

Fazit des KKL

Das KKL bewertet die in der Berichtsperiode durchgeführten Systemänderungen dahingehend, dass das Betriebsverhalten und die Betriebssicherheit verbessert und die Instandhaltung vereinfacht wurde. Aus Sicht des KKL ist die Barrierefunktion des Umwälzsystems uneingeschränkt wirksam und zeigt keine altersbedingten Schwächen. Durch die kombinierte Wasserstoff-Edelmetalleinspeisung soll das Risiko von Spannungsrissskorrosion weiter reduziert werden. Das KKL sieht die bestehende Alterungsüberwachung als ausreichend an.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 32, 35, 36 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B01^{B01}, ENSI-B03^{B03}, ENSI-B06^{B06}, ENSI-B07^{B07} und ENSI-G11^{G11}
- SVTI-Festlegung NE-14^{NE-14}
- IAEA Safety Guide NS-G-2.12^{NSG-2.12}

Beurteilung des ENSI

Funktionstests und weitere Betriebserfahrung

Die Anforderung der „Technischen Spezifikationen Leibstadt“ an die Funktionstüchtigkeit des Umwälzsystems wurde durch die Funktionstests nachgewiesen.

Die im System aufgetretenen Störungen sowie die meldepflichtigen Vorkommnisse, die alle gemäss Richtlinie ENSI-B03 als Vorkommnisse der Kategorie INES 0 eingestuft wurden, hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Sicherheit der Anlage.

Aus Sicht des ENSI gibt es im Bereich des Umwälzsystems eine etwas erhöhte Anzahl von Störungen bzw. Vorkommnissen im Vergleich zu anderen Systemen. Diese sind unter anderem auf eine Reihe von Störungen im Bereich der Umwälzregelventile zurückzuführen. Diese sollen im Rahmen des Projekts YUMOD durch drehzahlgesteuerte Umwälzpumpen ersetzt werden. Das ENSI begrüsst dies und erwartet, dass nach Umsetzung des Projekts weniger Störungen in diesem Bereich auftreten werden.

Wiederholungsprüfungen

Der SVTI hat im Auftrag des ENSI die Dokumente zu den Komponentenprüfprogrammen für die Wiederholungsprüfungen sowie die System- und Komponentenbegehungen an der Umwälzschleife geprüft und akzeptiert. Der SVTI führte für das Umwälzsystem aus, dass die Anforderung gemäss der SVTI-Festlegung NE-14 sowie der Richtlinie ENSI-B06 im Überprüfungszeitraum vollständig umgesetzt und erfüllt worden sind. Damit kann das ENSI bestätigen, dass die durchgeführten Wiederholungsprüfungen den Anforderungen des Regelwerks entsprechen.

Das ENSI hat sich durch Inspektionen davon überzeugt, dass die bekannten Ultraschallanzeigen in den Schweissnähten der Umwälzschleife im Rahmen der Messunsicherheit ohne Veränderungen geblieben sind. Damit beurteilt das ENSI das angepasste Wiederholungsprüfprogramm im Überprüfungszeitraum als angemessen.

Instandhaltung und Änderungen

Die im Überprüfungszeitraum durchgeführten Änderungen und Instandhaltungsmassnahmen hatten zum Ziel, das Betriebsverhalten und die Sicherheit des Umwälzsystems zu verbessern. Das ENSI beurteilt die durchgeführten Massnahmen als zielgerichtet und wirksam.

Alterungsüberwachung

Bei der geforderten Überprüfung der Alterungsüberwachung der Umwälzschleife sollte insbesondere auf Erkenntnisse von Befunden vergleichbarer Anlagen eingegangen werden. Mit dem hierzu überarbeiteten und im Jahr 2010 eingereichten Steckbrief sah das ENSI die Forderung als erfüllt an. In dem Steckbrief wird ausführlich auf die Spannungsrisskorrosionsbefunde an Umwälzschleifen vergleichbarer Anlagen eingegangen und eine Bewertung zur Übertragbarkeit auf das KKL vorgenommen. In seiner Bewertung zur Übertragbarkeit kommt das KKL zum Ergebnis, dass auch bei dem im KKL verwendeten Werkstoff 316L Spannungsrisskorrosion als relevanter Mechanismus zu betrachten ist. Des Weiteren werden im Steckbrief die relevanten Alterungsmechanismen beschrieben.

Infolge der Inkraftsetzung der neuen Richtlinie ENSI-B01 zur Alterungsüberwachung im Jahr 2011 wurde der Steckbrief einer weiteren Überarbeitung unterzogen und dem ENSI im Jahr 2016 eingereicht. Die Überarbeitungen beziehen sich auf Anpassungen hinsichtlich Struktur und Verwendung von Begriffen an die neue Richtlinie.

Der im Projekt YUMOD geplante Austausch von Rohrleitungsabschnitten und Komponenten zur Eliminierung bekannter, relevanter Alterungsmechanismen ist aus Sicht des ENSI das Ergebnis einer vorausschauenden Alterungsüberwachung des KKL.

Gesamtbeurteilung des Systems

Das Umwälzsystem hat im Überprüfungszeitraum seine Aufgaben sicher und zuverlässig erfüllt. Die Ultraschallanzeigen an den Schweißnähten der Umwälzleitungen führen zu keiner Beeinträchtigung der Sicherheit. Die Befunde werden im verkürzten Prüfintervall auf Veränderungen hin überwacht.

4.3.3 Frischdampf- und Speisewassersystem

Das Frischdampfsystem umfasst vier Frischdampfleitungen, die sich von den vier Hauptdampfstupfen des Reaktordruckbehälters bis zu den Turbineneinlassventilen erstrecken. Die Leitungsbereiche bis zur Seismic-Interface-Restraint (SIR)-Wand im Dampftunnel sind jeweils mit drei Isolationsarmaturen und mehreren, durch Druckluft angesteuerten Sicherheitsabblaseventilen, über die Dampf in die Druckabbaukammer abgeblasen werden kann, versehen. Hinter der SIR-Wand führen Abzweigleitungen zum Frischdampfsammler, über den mehrere Verbraucher versorgt werden.

Das Speisewassersystem beginnt bei den Eintrittsstutzen des Hauptkondensats und umfasst den Speisewasserbehälter, die Speisewasserpumpen, mehrere motorbetriebene Absperrschieber und Regelventile, die Hochdruckvorwärmer und die Speisewasserleitungen bis zu den RDB-Stutzen. Die Leitungen vor der SIR-Wand sind mit je einem motorbetriebenen Isolationsventil und dahinter mit je zwei Schrägsitzrückschlagventilen versehen.

Angaben des KKL

Funktionstests und weitere Betriebserfahrungen

Das KKL führt aus, dass die in den „Technischen Spezifikationen Leibstadt“ festgelegten systemspezifischen Funktionstests regelmässig durchgeführt wurden. Mit wenigen Ausnahmen konnte die ordnungsgemässe Funktion nachgewiesen werden.

Im Frischdampfsystem traten keine meldepflichtigen und sieben nicht meldepflichtige Vorkommnisse auf. Im Speisewassersystem traten 17 Vorkommnisse auf, von denen zwei meldepflichtig waren. Die meldepflichtigen Vorkommnisse betrafen den Ausfall des Hochdruckvorwärmerstrangs Ost und die Kavitation der Speisewasserpumpen nach Turbinentrip.

Wiederholungsprüfungen

Im Überprüfungszeitraum wurden an den Komponenten des Frischdampf- und Speisewassersystems umfangreiche zerstörungsfreie Wiederholungsprüfungen durchgeführt. Dazu zählen Prüfungen mit Ultraschall- und Wirbelstromprüfsystemen sowie Farbeindring- und Magnetpulverprüfungen. Dies wurde ergänzt mit Sichtprüfungen und Dichtheitsprüfungen sowie System- und Komponentenbegehungen.

Das Wiederholungsprüfprogramm an den Schweißnähten der Frischdampfleitungen sowie den integralen Verschweißungen der Abstützung wurde erfüllt, es wurden keine bewertungspflichtigen Befunde festgestellt.

Im Rahmen der durchgeführten Revisionen an den Armaturen des Frischdampfsystems wurden Befunde insbesondere an Bolzen, Spindel und Gewindegewindesacklöchern dokumentiert. In entsprechenden Abweichungsmeldungen hat das KKL die durchgeführten Instandsetzungsarbeiten nachgewiesen, die Prüfanforderungen wurden damit erfüllt. Das KKL führt aus, dass weder die Festigkeit der drucktragenden Teile noch die Funktion der Frischdampfisolationsventile durch die Befunde betroffen waren, damit bestand kein Einfluss auf deren Sicherheit und Verfügbarkeit.

An einer Rundnaht der Speisewassersteigleitung wurden bei einer Magnetpulverprüfung zwei bewertungspflichtige Anzeigen dokumentiert, die anschliessend ausgeschliffen wurden. Die kleinste gemessene Wanddicke lag deutlich über der rechnerisch erforderlichen Wanddicke, weitere Massnahmen waren daher nicht erforderlich.

Im Überprüfungszeitraum wurde das Programm zur Wanddickenmessung der Speisewasserleitungen (Erosions-/Korrosionsüberwachungs-Programm, EROSKO) deutlich erweitert. Damit soll die Erosionskorrosion insbesondere unter den aktuellen Wasserchemiebedingungen mit Edelmetaleinspeisung überwacht werden. Das KKL führte im Rahmen des EROSKO-Programms Wanddickenmessungen an der Speisewasserleitung, dem Ringverteiler sowie den Steigleitungen durch. Dabei wurden einige bewertungspflichtige Befunde protokolliert, da das Zeichnungsmass lokal unterschritten wurde. Die gemessene Wanddicke lag überall über der rechnerischen Mindestwanddicke.

Das KKL führt aus, dass für das Frischdampf- und Speisewassersystem die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 sowie der Richtlinie ENSI-B06 im Überprüfungszeitraum erfüllt wurden. Die festgestellten bewertungspflichtigen Befunde wurden als zulässig bewertet.

Instandhaltung und Änderungen

Frischdampfleitungen bis Seismic-Interface-Restraint-Wand

Bei den in den Jahren 2006 bis 2014 durchgeführten Röntgen-Prüfungen an den Druckluftbehältern der Sicherheits-Abblaseventile wurden unzulässige Befunde wie Binde- und Wurzelfehler sowie Poren in den Gehäusen festgestellt. Daraufhin wurden alle Druckluftbehälter ersetzt. Die Befunde waren auf Herstellungsfehler zurückzuführen. Zu keiner Zeit war die Funktion der Sicherheitsventile beeinträchtigt.

Für die im Überprüfungszeitraum durchgeführte Instandhaltung sind insbesondere die Massnahmen an den Frischdampf-Isolationsventilen zu nennen:

- Ersatz eines oder mehrerer Vorhubkegel in 2006 aufgrund von Verschleiss und in 2013 aufgrund von Beschädigungen
- Ersatz einer oder mehrerer Spindeln in 2009, 2012 und 2013 aufgrund von Beschädigungen sowie in 2015 aufgrund von Schleifspuren
- Austausch von drei Bolzen in 2012 aufgrund von Beschädigungen

Frischdampfleitungen ab Seismic-Interface-Restraint-Wand

Nach Aussage des KKL hat das System im Überprüfungszeitraum zuverlässig funktioniert. Folgendes ist hervorzuheben:

- Rohrleitungsvibrationen sind weiterhin vorhanden. Auswirkungen auf Stossbremsen sind ausschliesslich im Bereich der Anschlusssaugen zu erkennen. Diese haben jedoch keinen Einfluss auf die Funktionalität der Stossbremsen.
- Mit der Spannungsanalyse des Hauptrohrleitungsstrangs konnte nachgewiesen werden, dass die Verfügbarkeit der Anlage jederzeit uneingeschränkt gegeben war. Durch Verbesserung der Gleitlagerkonstruktionen im Bereich der Frischdampfhauptleitungen wurden Schwachstellen behoben.
- Durch die Einbringung einer Kleinbohrung im Hilfsdampfumformer konnte eine Ansammlungsmöglichkeit von Wasserstoff eliminiert werden.

Speisewasserleitungen bis Seismic-Interface-Restraint-Wand

Das KKL hat ein umfassendes Programm gestartet, blockierte Stossbremsen durch Gelenkstreben zu ersetzen. Das Vorhaben befindet sich noch in der Umsetzung.

Speisewasserleitungen ab Seismic-Interface-Restraint-Wand

Wegen einer sprunghaften Durchflussabweichung wurde in der Revisionsabstellung 2013 eine Strahlpumpe im RDB inspiziert. Die Inspektion zeige eine partielle Verstopfung durch eine Zylinderschraube mit Sicherungsring. Die Zylinderschraube konnte einer Speisewasserrückschlagarmatur zugeordnet werden. Die durchgeführte Analyse zeigte, dass sich die Schraube während des Betriebs lösen und in den Primärkreislauf gelangen konnte, da im Zuge von durchgeführten Instandhaltungsarbeiten während der Revisionsabstellung 2012 eine ungenügende Schraubensicherung erfolgt war. Die erfolgten Inneninspektionen der Strahlpumpe sowie der RDB-Einbauten in der Revisionsabstellung 2013 zeigten keine Schadensauswirkungen durch die gelöste Schraube.

Alterungsüberwachung

Im Überprüfungszeitraum wurde die alterungstechnische Beurteilung für das Frischdampf- und das Speisewassersystem auf Grundlage der Richtlinie ENSI-B01 erstellt. Für folgende Themen wurden im Rahmen der Alterungsüberwachung im Überprüfungszeitraum Abklärungen eröffnet und durchgeführt:

- Überprüfung ob bzw. in welchen Systemen thermische Schichtung als potentiell relevanter Schädigungsmechanismus auftreten kann;
- Einfluss der HWC/OLNC-Fahrweise auf die Speisewasserleitung und die Saugleitung Bodenablauf des Reaktorwasserreinigungssystems;
- Prüfungen an der Einbindung des Nach- und Notkühlsystems zum Speisewassersystem;
- Instandhaltung der Feder- und Konstanthänger im Speisewassersystem;
- Analyse der Ermüdungsausnutzung an Durchführungen;
- Überprüfung der Transientenbuchhaltung für Komponenten des Frischdampfsystems.

Im Rahmen der Alterungsüberwachung wurde eine zusätzliche Analyse für nicht absperrbare Kleinleitungen mit stagnierenden Strömungsverhältnissen durchgeführt. Die Analyse ergab, dass für das Speisewassersystem keine Schädigungen zu erwarten sind.

Fazit des KKL

Das KKL kommt zum Schluss, dass sich die mechanischen Komponenten des Frischdampf- und Speisewassersystems aufgrund der durchgeführten Änderungen und der Massnahmen des Instandhaltungs- und Alterungsüberwachungsprogramms in einem guten Zustand befinden und auch weiterhin einen sicheren Betrieb gewährleisten.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 32, 35, 36 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B01^{B01}, ENSI-B03^{B03}, ENSI-B06^{B06}, ENSI-B07^{B07} und ENSI-G11^{G11}
- SVTI-Festlegung NE-14^{NE-14}
- IAEA Safety Guide NS-G-2.12^{NSG-2.12}

Beurteilung des ENSI

Funktionstests und weitere Betriebserfahrungen

Die Einhaltung der Anforderungen der „Technischen Spezifikationen Leibstadt“ an die Funktionstüchtigkeit des Frischdampf- und Speisewassersystems wurde aus Sicht des ENSI durch die Funktionstests nachgewiesen.

Die in den Systemen aufgetretenen Störungen sowie die meldepflichtigen Vorkommnisse, die alle gemäss Richtlinie ENSI-B03 als Vorkommnisse der Kategorie INES 0 eingestuft wurden, hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Sicherheit der Anlage.

Aus Sicht des ENSI gibt es im Bereich des Frischdampfsystems eine erhöhte Anzahl von Störungen. Diese sind mehrfach auf eine vermehrte innere Leckage der Frischdampf-Entwässerungsleitungsabschlussarmaturen zurückzuführen. Der Ersatz solcher Kleinarmaturen ist bereits vom KKL vorgesehen und wird vom ENSI begrüsst.

Wiederholungsprüfungen

Der SVTI hat im Auftrag des ENSI die Dokumente zu den Komponentenprüfprogrammen für die Wiederholungsprüfungen sowie die System- und Komponentenbegehungen an den Komponenten des Frischdampf- und Speisewassersystems geprüft und akzeptiert. Weiterhin hat der SVTI die Durchführung und Dokumentation der Prüfungen kontrolliert.

Das ENSI hat die durchgeführten Wiederholungsprüfungen an den Frischdampf- und Speisewasserleitungen durch Inspektionen kontrolliert. Nach der Bewertung der Wiederholungsprüfprogramme kommt das ENSI zum Schluss, dass die durchgeführten Wiederholungsprüfungen grundsätzlich den Anforderungen des Regelwerks entsprechen. Eine Ausnahme stellt der Revisionsschieber des Speisewassersystems dar, die Prüfpflicht wurde seit der Inbetriebnahme des KKL bisher nicht erfüllt. Die nach SVTI-Festlegung NE-14 erforderliche Prüfung wurde bisher nicht durchgeführt. Das KKL hat angekündigt, die ausstehende Revision des Schiebers im Rahmen der Realisierung des YUMOD-Projekts durchzuführen. Das Projekt YUMOD ist zeitlich verzögert. Um sicherzustellen, dass die Anforderungen des Regelwerks erfüllt werden, erhebt das ENSI folgende Forderung:

Forderung 4.3-1

Das KKL hat in einem Konzept bis zum 15. Dezember 2019 aufzuzeigen, wie die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 für die Revisionsschieber YB71/72S004 des Speisewassersystems umgesetzt werden können. Dabei sind die Betriebserfahrungen an vergleichbaren Armaturen sowie Aspekte der Alterungsüberwachung zu berücksichtigen.

Instandhaltung und Änderungen

Den vollständigen Austausch der Druckluftbehälter für die automatische Druckentlastung über die Sicherheits-Abblaseventile sowie die Durchführung einer inneren und äusseren visuellen Prüfung an allen Druckluftbehältern war aus Sicht des ENSI eine zielgerichtete, vorbeugende Massnahme.

Das ENSI bewertet den Zustand des Frischdampfsystems auch aufgrund der durchgeführten Instandhaltungsmassnahmen als gut.

Die Anlagenänderungen im Speisewassersystem dienen insbesondere der Verbesserung der Verfügbarkeit. Weiter wurde die Störungsanfälligkeit des Systems reduziert. Der Zustand der Komponenten des Speisewassersystems wird vom ENSI als gut beurteilt.

Alterungsüberwachung

Infolge der Inkraftsetzung der neuen Richtlinie ENSI-B01 zur Alterungsüberwachung im Jahr 2011 wurden die Steckbriefe des Frischdampf- und Speisewassersystems einer Überarbeitung unterzogen und dem ENSI im Jahr 2016 eingereicht. Die eingeleiteten Abklärungsmassnahmen für die beiden Systeme zeigen dem ENSI auf, dass die interne wie externe Betriebserfahrung permanent in die Alterungsüberwachung einfließt und umgesetzt wird.

In die Ermüdungsüberwachung sind sechs Positionen einbezogen. Der führende Wert am Ende des Berichtszeitraums beträgt rechnerisch ca. 67 % (SpW-Leitung) und liegt damit im zulässigen Bereich.

Gesamtbeurteilung des Systems

Das ENSI kommt zum Schluss, dass aufgrund des guten Zustands die Integrität, Barrierefunktion und Verfügbarkeit des Frischdampf- und Speisewassersystems gewährleistet sind.

Insgesamt kann sich das ENSI der Bewertung des KKL anschliessen, dass sich die Komponenten des Frischdampf- und Speisewassersystems unter Berücksichtigung der getroffenen Vorsorgemassnahmen in einem guten Zustand befinden.

4.4 Verfahrenstechnische Sicherheits- und Hilfssysteme

Das ENSI stützt sich bei seiner Beurteilung im Wesentlichen auf die Darlegungen und Bewertungen des Betreibers, die im Rahmen der PSÜ beim ENSI eingereicht wurden. Punktuell wurden dazu auch weitere Unterlagen, wie Vorkommnisberichte und Änderungsanträge aus dem Überprüfungszeitraum herangezogen. Die Ausrüstungen der Elektro- und Leittechnik sind nicht Gegenstand der verfahrenstechnischen Bewertung, sondern werden grundsätzlich in Kap. 4.5 behandelt. Einzelne elektrische Komponenten wie Magnetventile werden nur dann mit aufgeführt, wenn sie zur Bewertung der Verfügbarkeit von Sicherheitsfunktionen (z. B. SCRAM) eines Systems beitragen.

4.4.1 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

In den folgenden Kapiteln werden die verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme des KKL hinsichtlich ihrer Betriebserfahrung und des Zustands der Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK) sowie ihrer Auslegung entsprechend den Anforderungen des Kap. 5.3 „Sicherheitsrelevante Anlagenteile“ der Richtlinie ENSI-A03 beurteilt.

4.4.2 Überprüfung der Auslegungsvorgaben der SSK

Angaben des KKL

Die Bewertung der Auslegungsvorgaben von SSK wurde vom KKL im Bericht „Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Maschinentechnik“^{PSÜ/78} anhand der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A03 vorgenommen.

Die Komponentenlisten wurden unter Berücksichtigung der Richtlinien ENSI-G01 und ENSI-A04 überarbeitet, sind aktuell und enthalten alle SK1–4, EKI- und EKII-Komponenten, sowie unklassierte Komponenten, die das PSA-Kriterium entsprechend der Richtlinie ENSI-A06 erfüllen.

Auslegungs- und Nachweisanforderungen haben sich im Überprüfungszeitraum durch Änderungen des Regelwerks sowie aufgrund zusätzlicher Anforderungen zum Stand der Nachrüsttechnik ergeben. Die Richtlinie ENSI-A01 ersetzte die Richtlinie HSK-R-100 und fordert zusätzliche Nachweise. Ferner wurde die Richtlinie HSK-R-06 durch die Richtlinie ENSI-G01 ersetzt.

Die Ist-Auslegung erfüllt die Auslegungsvorgaben und wird auf mehreren Ebenen überprüft, u. a. durch die Analysen der relevanten Auslegungsstörfälle im Rahmen der deterministischen Störfallanalysen.

Die Klassierung und Kategorisierung von Funktionen als Teil der übergeordneten Auslegungsvorgaben wurde und wird auf der Grundlage der Richtlinie ENSI-G01 überprüft. In diesem Prozess erkannte Differenzen werden dokumentiert und im Rahmen laufender und geplanter Anlagenmodifikationen umgesetzt.

Änderungen in der Auslegung der Anlage haben sich hinsichtlich der Nachrüstung einer erdbebenfesten Brennelementlagerbecken-Temperatur- und Füllstandmessung ergeben; die Auslegung der Lagerbecken selbst blieb unverändert.

Beurteilung des ENSI

Die Überwachungs- und Prüfprozesse der einzelnen Systeme und der zugehörigen Komponenten sind jeweils in einem Bericht pro System beschrieben. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Umfang der Systeme vollständig und richtig ist.

Das KKL stellt durch qualitätsgesicherte Prozesse, Abläufe und Anweisungen sicher, dass die Auslegung und Qualifikation der SSK im Bereich Maschinentechnik kontinuierlich bei Beschaffungen, Ersatz und Änderungen aufrechterhalten bleibt.

Mit dem Vorgehen zur Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten gemäss dem eingereichten Bericht^{PSÜ/78} hat das KKL nach Beurteilung des ENSI die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A03 Kap. 5.3.1 erfüllt.

Das ENSI überprüft systematisch für alle Kernkraftwerke in der Schweiz die sicherheitstechnisch klassierten Systeme hinsichtlich korrekter Auslegung. Für die Systeme in Tabelle 4.4-1, die im Leistungsbetrieb und bei Störfällen hinsichtlich Schutzzielerfüllung relevant sind, ergibt sich aus dem Vergleich zwischen Soll- und Ist-Klassierungen der mechanischen Komponenten in den ENSI-Komponentenlisten Folgendes:

- System RM: Das Hauptkondensat wird aus dem Kondensator der Hauptdampfturbine abgepumpt, gereinigt und gespeichert. Dementsprechend richtet sich die Klassierung SK4 und UK des Hauptkondensatsystems nach den Vorgaben der Auslegung der Hauptdampfturbine/des Kondensators und entspricht den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G01. Die Ist-Klassierung der wesentlichen mechanischen Komponenten entspricht der Soll-Klassierung.
- System UB: Die Kondensatreinigungsanlage reinigt das Hauptkondensat. Die Klassierung SK4 und UK richtet sich nach den Vorgaben der Auslegung der Hauptdampfturbine/des Kondensators und des Hauptkondensatsystems. Damit sind mechanische Komponenten tiefer klassiert als die Soll-Klassierung fordert, was aber aus Sicht des ENSI mit Blick auf die Klassierung des Dampfkreislaufs nachvollziehbar ist und die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G01 erfüllt.
- System UE70: Das Steuerluftsystem liefert Druckluft für sicherheitstechnisch relevante SSK wie die Abblaseventile. Die UE70-Systemteile der Steuerluft sind korrekt, gemäss den Anforderungen der Richtlinie ENSI-G01, der Sicherheitsklasse SK3 zugeordnet. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- System TC: Die Aufgabe besteht in der kontinuierlichen Reinigung des Reaktorwassers während des Anlagenbetriebs. Die Sicherheitsklassierung SK4 des Reaktorwasserreinigungssystems richtet sich nach den Vorgaben der nuklearen Auslegung von betrieblichen Systemen gemäss Richtlinie ENSI-G01 und ist aus Sicht des ENSI korrekt. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- System TS: Das Abgassystem ist ein betriebliches System und sorgt für die Unterdruckhaltung im Kondensator der Hauptdampfturbine. Dementsprechend richtet sich die Sicherheitsklassierung SK4 nach den Vorgaben der Auslegung der Hauptdampfturbine/des Kondensators und erfüllt die Vorgaben der Richtlinie ENSI-G01. Das ENSI hat eine Anpassung der Soll-Klassierung freigegeben^{ENSI-2018-11-5}.
- System RR: Das Nebenkondensatsystem ist ein betriebliches System und versorgt verschiedene Systeme mit kondensiertem Dampf, der vom System RM nach der Reinigung bereitgestellt wird. Analog zum

Hauptkondensatsystem RM ist die Sicherheitsklassierung mit SK4 festgelegt. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.

- System TG: Die betriebliche Brennelementbeckenkühlung dient der Kühlung der Brennelemente ausserhalb des Reaktors. Das System ist SK4-klassiert. Teile des Systems, die durch das Nach- und Notkühlsystem TH benutzt werden, sind SK3-klassiert. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- Systeme UZ34–41: Die Lüftungsanlagen in den Notstromdieselgebäuden sind SK3-klassiert. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- Lüftungssysteme UV: Zu diesen Systemen gehören die gefilterte Überdruckanlage im Hauptkommando-raum (HKR) UV22, die Umluftanlagen in den Notsteuerstellen (NSS) UV40/41/42 mit den zugehörigen Kälteanlagen UV30/31/32 sowie die Lüftungen zur Kühlung der elektrischen Ausrüstungen im Betriebsgebäude. Diese Systeme sind SK3-klassiert. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- Für die betrieblichen Systeme UF, TL, VH, VG und VF sind Soll- und Ist-Klassierung identisch.
- Die Sicherheitssysteme TF, TH, TJ, TK, TM und XL sind gemäss den Anforderungen der Sicherheitsebene SE3 gebaut. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- Die sicherheitsrelevanten Systeme TW, VE, XK, XP und XX auf den Sicherheitsebenen SE3 und SE4 sind überwiegend gemäss den Anforderungen der Sicherheitsebenen SE3 bzw. SE4 gebaut. Soll- und Ist-Klassierung sind identisch.
- Soll- und Ist-Klassierung sind für das Steuerstab-Antrieb-System YV identisch.

Insgesamt liegen aus Sicht des ENSI keine sicherheitstechnisch relevanten Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Klassierung der sicherheitstechnisch klassierten Systeme im KKL vor.

4.4.3 Übergeordnete Beurteilung der Betriebserfahrung und des Zustandes der SSK

Die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit der Systeme werden auf der Grundlage von Ergebnissen der periodisch durchgeführten Funktionsprüfungen für aktive Komponenten (z. B. Pumpen, Armaturen) und Wiederholungsprüfungen für passive Komponenten (z. B. Rohrleitungen, Kühler), wie auch anhand von Abweichungen der Anlage vom Normalbetrieb durch Fehlfunktionen dieser Systeme, beurteilt. Je nach sicherheitstechnischer Bedeutung der Ergebnisse und Abweichungen resultieren hieraus meldepflichtige Vorkommnisse.

In Kap. 2.5 dieser Stellungnahme werden die 112 insgesamt im KKL im Überprüfungszeitraum aufgetretenen meldepflichtigen Vorkommnisse übergeordnet bewertet. Es traten im KKL drei Vorkommnisse auf, welche in die Kategorie INES 1 und eins, welches in die Kategorie INES 2 eingestuft wurde. Bezüglich der verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssystemen waren insbesondere die INES-1-Vorkommnisse relevant und werden nachfolgend neben anderen Vorkommnissen nochmals systemspezifisch bewertet.

Der Zustand der Systeme wird auf der Grundlage der Erkenntnisse aus der Instandhaltung und der Alterungsüberwachung systemspezifisch bewertet. Die übergeordnete, systemübergreifende Bewertung der Alterungsüberwachung erfolgt in Kap. 5 dieser Stellungnahme.

Die Auslegung der Systeme wird beurteilt, wenn im Überprüfungszeitraum Änderungen durchgeführt wurden, die einen Einfluss auf die sicherheitsrelevanten Funktionen, auf die technische Ausführung oder auf die Einsatzbedingungen haben. Darüber hinaus erfolgt eine Beurteilung, wenn sich ausführungsunabhängige Anforderungen an die Auslegung innerhalb des Überprüfungszeitraums geändert haben oder neu erhoben wurden. In Kap. 2.4 dieser Stellungnahme werden die aktuellen sowie die geplanten Anlagenertüchtigungen systemübergreifend dargestellt.

In der Tabelle 4.4-1 wird basierend auf den Darlegungen und Bewertungen des KKL für die verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme die übergeordnete Beurteilung des ENSI zusammengefasst. Aus Sicht des ENSI zeigt die Auswertung der vorliegenden Betriebserfahrung, dass die Mehrzahl der verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme eine hohe Wirksam- und Zuverlässigkeit aufweist und in einem guten Zustand ist.

Auffälligkeiten traten insbesondere an diversen Sicherheitsventilen auf. Weiter gab es eine Reihe von Korrosionsbefunden an Systemen, die mit Flusswasser in Kontakt stehen. Wie alle anderen sicherheitsrelevanten Systeme unterliegen diese Systeme einer systematischen Instandhaltung und Alterungsüberwachung, sodass durch gezielte Massnahmen eine Beeinträchtigung des sicheren Anlagenbetriebs vermieden wird.

In den nachfolgenden Kapiteln wird nur noch auf Systeme eingegangen, die nach Beurteilung des ENSI wesentliche Änderungen erfahren haben und die im Überprüfungszeitraum hinsichtlich Wirksamkeit und Zuverlässigkeit sowie des Zustands Auffälligkeiten zeigten.

Folgende Kriterien wurden für Auffälligkeiten zur Auswahl der Systeme zugrunde gelegt:

- Vorkommnisse: Als Auffälligkeit wird ein gehäuftes Auftreten meldepflichtiger Vorkommnisse bzw. Vorkommnisse eingestuft, die bedeutende Untersuchungen und umfassende Verbesserungsmaßnahmen zur Folge hatten.
- Prüfprogramm: Als Auffälligkeit wird das im Vergleich zu den Systemen, auf die nicht mehr explizit eingegangen wurde, gehäufte Auftreten von Befunden eingestuft.
- Änderungen: Als Auffälligkeit werden wesentliche Änderungen zur Anpassung der Anlage an den internationalen Stand der Nachrüsttechnik oder Massnahmen zur Verbesserung der Beherrschung potenzieller Störfälle eingestuft.
- Instandhaltung/Störungen im System: Als Auffälligkeiten werden eine relativ hohe Anzahl von ungeplanten Instandhaltungsmassnahmen und Störungen sowie Erweiterungen der Instandhaltungsprogramme eingestuft.
- Alterungsüberwachung: Als Auffälligkeiten werden eine relativ hohe Anzahl von Befunden sowie Erweiterungen der Alterungsüberwachungsprogramme eingestuft.
- Auslegung: Es erfolgt eine Beurteilung, wenn sich die Auslegung eines Systems innerhalb des Überprüfungszeitraums geändert hat oder neue Anforderungen an die Auslegung erhoben wurden.

Systeme, die keines dieser Auswahlkriterien erfüllen, zeigen aus Sicht des ENSI auf Grundlage der eingereichten Unterlagen einen guten allgemeinen Zustand und kaum Auffälligkeiten und werden daher nicht detailliert bewertet.

Tabelle 4.4-1: Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der verfahrenstechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme

System	Klassierung	Vorkommnisse	Prüfprogramm	Änderungen	Instandhalt./ Störungen	Alterungsüberwachung	Auslegung	ENSI-Bewertung
Primär-/Sekundär Containment inkl. Durchdringungen (XA, XE, XF, XG)	SK2, EKI, 1E	X	X	X		X		Kap. 4.4.4
Blow-Out-Panels, Deckel und Schleusen (XB, XC)	SK2, EKI, –							—
H2-Zündsystem (XX)	EKI, 1E							—
Wasserstoff-Rekombinatoren (XP)	SK2, EKI, 1E						X	Kap. 4.4.5
Gefilterte Containment-Druckentlastung (XK)	SK2, EKI, 1E						X	Kap. 4.4.6
Notabluftsystem (XL)	SK2, EKI, 1E							—
Reaktorschutzsystem (YZ)	EKI, 1E							Kap. 4.4.7
Neutronenfluss-Messung (YX)	EKI, 1E			X				Kap. 4.4.8
Nach- und Notkühlsystem (TH)	SK1/2, EKI, 1E	X	X		X	X		Kap. 4.4.9
Hochdruckkernsprühsystem (TJ)	SK1/2, EKI, 1E	X	X			X		Kap. 4.4.10
Niederdruckkernsprühsystem (TK)	SK1/2, EKI, 1E							—
Notstandsystem (TF)	SK1/2/3, EKI, 1E	X	X					Kap. 4.4.11
Kernisolations-Kühlsystem TM	SK1/2, EKI, 1E		X	X				Kap. 4.4.12
Steuerstab-Fahr- und Anzeigesystem (YV90)	SK3, EKI, 1E	X						Kap. 4.4.13
CRD Steuerstabantriebs-System (YV02-69)	SK2, EKI, 1E	X			X	X		Kap. 4.4.14
Vergiftungssystem (TW)	SK1/2, EKI, 1E					X		Kap. 4.4.15
Turbinenbypasssystem (SF)	SK4, EKII, 1E							—
Notkühlwassersystem (VE)	SK3, EKI, 1E							—
Nebenkühlwassersystem (VF)	SK3/UK, EKII, 0E		X	X	X	X		Kap. 4.4.16
Nukleares Zwischenkühlwassersystem (VG)	SK2/3, 1E, EKI bzw. SK3, 0E, EKII							—
Zwischenkühlwassersystem Sekundärseite (VH)	UK, EKII							—
Lüftungstechnische Anlage Primärteil (TL)	SK2, 1E, EKI			X				Kap. 4.4.17
Kälteanlagen Kontrollierte Zone (UF-UF29)	Isolation: SK2, 1E, EKI; Rest: UK				X			Kap. 4.4.18
Lüftungsanlagen HKR, NSS, Betriebsgebäude und ZE-Elektorräume (UV)	SK3, EKI, 1E			X				Kap. 4.4.19

System	Klassierung	Vorkommnisse	Prüfprogramm	Änderungen	Instandhalt./ Störungen	Alterungsüberwachung	Auslegung	ENSI-Bewertung
Lüftungsanlagen Notstromdieselräume (UZ34–41)	div.							—
Brennelementbeckenkühlung (TG)	div.	X		X				Kap. 4.4.20
Nebenkondensatsystem (RR)	SK4, EKII, 0E							—
Hauptkondensatsystem (RM)	SK4/UK, EKII/UK, UK				X			Kap. 4.4.21
Steuerluftsystem RHG (UE70)	SK3, 1E, EKI							—
Leckage-Überwachung Nuklear-Teil (XN)	SK2, EKI, 1E							—
Radwaste-Systeme (RQ90-99, TQ, TR, TT, TU51, TU60-71, TX30-51, UD80)	SK4, 0E/UK, EKII							—
Reaktorwasserreinigungssystem (TC)	div.		X			X		Kap. 4.4.22
Abgassystem (TS)	div.							—
Kondensatreinigungsanlage (UB)	SK4, 0E, EKII							—

4.4.4 Primär-/Sekundär-Containment inkl. Durchdringungen (XA, XE, XF, XG)

Das Containment des KKL besteht aus dem Primärcontainment und dem Sekundärcontainment, wobei das Primärcontainment vom Sekundärcontainment umschlossen wird. Das Primärcontainment umfasst den Drywell, die Druckabbaukammer (DAK) und das Stahlcontainment. Das Sekundärcontainment besteht aus dem Reaktorgebäude, dem Reaktorhilfsanlagegebäude ohne den Teil mit den elektrischen Ausrüstungen, dem Brennelementlagergebäude und dem mittleren Teil des Notstandgebäudes.

Das Containment hat im Zusammenwirken mit den Containmentsystemen bei allen Auslegungsstörfällen und im Normalbetrieb die Freisetzung von Radioaktivität in die Umgebung unterhalb zulässiger Grenzwerte zu halten. Diesem Zweck dient u. a. das Aufrechterhalten eines Unterdrucks im Ringraum im Normalbetrieb.

Zum Schutz vor Unterdruckversagen verfügt das Stahlcontainment über zwei Durchdringungen (Vakuumbrecher), die je über eine druckluftbetätigte Isolationsklappe ausserhalb und über eine selbsttätige Rückschlagklappe innerhalb des Primärcontainments verfügen.

Das Primär- und Sekundärcontainment dienen zusammen den Schutzzielen „Einschluss radioaktiver Stoffe“ und „Begrenzung der Strahlenexposition“. Primär- und Sekundärcontainment bilden die dritte Barriere zum Einschluss radioaktiver Stoffe.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

In dem Überprüfungszeitraum traten zwei meldepflichtige Vorkommnisse auf.

Im April 2013 wurde bei der Überprüfung der Dichtheit des Sekundärcontainments nach Instandhaltungsarbeiten die bei spezifiziertem Unterdruck vorgegebene Leckluftmenge gemäss den „Technischen Spezifikationen Leibstadt (TSL)“ überschritten (4399 m³/h statt max. 3700 m³/h, wie in den TSL gefordert). Die Leckluftmenge konnte innerhalb der TSL-Vorgabe von 24 h deutlich unter die zulässige Menge gesenkt werden.

Die Ursache der erhöhten Leckluftmenge lag in einer Summe von Kleinleckagen bei Komponenten an der Grenze des Sekundärcontainments. Die Leckagen konnten behoben werden und die Sekundärcontainment-Integrität wurde in einem erneuten Test verifiziert. Es wurden vier Massnahmen aus dem Ereignis abgeleitet.

Beim zweiten meldepflichtigen Vorkommnis wurde im Juni 2014 festgestellt, dass zwei Halterungen für Handfeuerlöscher in unüblicher Weise direkt an der Stahlcontainmentwand befestigt waren. Für die Befestigungen der Halterungen waren sechs wanddurchdringende Bohrungen mit einem Durchmesser von 5,5 mm angebracht worden. Dadurch war die Integrität des Containmentsystems betroffen. Der Einfluss auf die Dichtheit und die Festigkeit des Stahlcontainments musste überprüft werden. Als Sofortmassnahmen wurden am gleichen Tag die Halterungen entfernt, alle Bohrungen provisorisch verschlossen und auf Dichtheit überprüft. Eine Überprüfung der Innenseite der Stahlcontainmentwand bezüglich weiterer zusätzlich angebrachter Bauteile ergab keine zusätzlichen Befunde. Insgesamt wurden aus dem Vorkommnis mehr als 30 Teilmassnahmen abgeleitet, von denen ca. zwei Drittel bereits umgesetzt wurden; ca. ein Drittel der Teilmassnahmen ist noch pendent.

Prüfprogramm

An den unterschiedlichen Gruppen von Komponenten wurden verschiedene Prüfungen gemäss SVTI-Festlegung NE-14 durchgeführt. Zu den Arten von Prüfungen gehören visuelle Prüfungen, Ultraschallprüfungen und Dichtheitsprüfungen. Die Details sind in den jeweiligen Komponentenprüfplänen festgelegt.

Die Wiederholungsprüfprogramme für die Anschlussnaht an Saugkorb, Rohrleitungsflanschnähten zu den Kompensatoren, Durchdringungen Containment sowie Anschlussnähte von Isolationsarmaturen wurden gemäss der Forderung 6.4.4-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 überprüft und überarbeitet.

Der zehnjährliche Typ-A-Test (Integraler Leckratentest) wurde in 2008 erfolgreich durchgeführt.

Bei den Trendverläufen der Typ-B-Leckratenprüfungen blieben die Werte in allen Fällen unterhalb der administrativen Grenzwerte. In einzelnen Fällen lagen die Werte im Bereich von 90 % bezogen auf den administrativen Grenzwert, jedoch ist dabei zu beachten, dass die maximal zulässige Leckrate in der TSL nicht für jedes Ventil einzeln angegeben ist. Diese administrativen Grenzwerte sind konservativ, sodass bei einer geringfügigen Überschreitung einzelner Werte der TSL-Grenzwert immer noch sicher eingehalten werden kann.

Auch bei den Trendverläufen der Typ-C-Leckratenprüfungen bleiben alle gemessenen Werte unterhalb der administrativen Grenzwerte. Für die Festlegung der administrativen Grenzwerte in Bezug zur TSL gelten die obigen Darlegungen für die Typ-B-Tests ebenfalls. Mit einer Ausnahme bleiben die gemessenen Werte deutlich unterhalb der administrativen Grenzwerte, sodass auch hier die Einhaltung der TSL bei allen Tests sichergestellt war. Bei nicht erfüllten Dichtheitsprüfungen wurden Armaturenrevisionen durchgeführt, die mit einer erfüllten Dichtheitsprüfung („as left“) abgeschlossen wurden.

2007 wurde an einer Längsschweisnaht an der Reaktorseite des Containments eine lineare Anzeige von < 90 mm Länge festgestellt und als Farbeintrag bewertet. Diese Anzeige wird periodisch auf Veränderung kontrolliert.

Alterungsüberwachung

Für die Erfüllung der Forderung 6.4.1-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 reichte das KKL dem ENSI mehrere Berichte ein, in denen die Alterungsmechanismen von Beschichtungen sowie mögliche zerstörungsfreie Inspektionsmethoden untersucht werden. Es konnten geeignete Methoden für die Inspektion wasserberührter Beschichtungen aufgezeigt werden.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Aus Sicht des ENSI wurde die erhöhte Leckagerate des Sekundärcontainments nach den Instandhaltungsarbeiten zuverlässig erkannt und konnte anschliessend zeitnah behoben werden. Der Sollzustand war somit wieder hergestellt und hatte keine unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen.

Die Ursache des Vorkommnisses konnte vom KKL abschliessend geklärt werden. Die vom KKL aus dem Ereignis abgeleiteten Massnahmen sind geeignet, um zukünftig eine Schwächung der Dichtheit des Sekundärcontainments nach Instandhaltungsarbeiten zu vermeiden.

Das zweite Vorkommnis war im Wesentlichen aufgrund von Human-Factor-Aspekten sicherheitstechnisch relevant und wurde mit INES 1 bewertet. Die Integrität des Stahlcontainments war über einen Zeitraum von mehreren Jahren geschwächt, wobei die durchgeführten Analysen ergaben, dass die zulässigen Dosisgrenzwerte bei den massgeblichen Auslegungsstörfällen auch mit den Bohrungen eingehalten worden wären. Der auslegungsgemässe Zustand des Primärcontainments wurde nach Erkennen zeitnah wiederhergestellt.

Die vom KKL abgeleiteten und ENSI geforderten Massnahmen beziehen sich schwerpunktmässig auf den Bereich Human Factors (vgl. Kap. 3.2). Das ENSI verfolgt diese Punkte nach wie vor. So wurde beschlossen, auch weiterhin jährliche Fachgespräche durchzuführen, im Rahmen derer das KKL das ENSI über den Fortschritt und die Wirksamkeit der Massnahmen aus den Ursachenanalysen informiert.

Prüfprogramm

Die Wiederholungsprüfprogramme werden im Auftrag des ENSI vom Nuklearinspektorat des SVTI geprüft und wurden von diesem akzeptiert. Die durchzuführenden überwachungspflichtigen Prüfungen werden vor Ort im Beisein des SVTI durchgeführt und teilweise im Rahmen von Inspektionen durch das ENSI begleitet.

Im Ergebnis der Forderung 6.4.4-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde an den jeweiligen Anschlussnähten am Saugkorb eine visuelle Prüfung vom Typ VT-3 durchgeführt. Die Rohrleitungsflanschnähte und die Anschlussnähte an den Isolationsarmaturen wurden volumetrisch mit Ultraschall geprüft. Die Wiederholungsprüfprogramme für die Durchdringungen am Containment wurden vom SVTI-N mit „Anforderungen erfüllt“ anerkannt.

Ergänzend zu den Angaben des KKL ergibt sich aus der Dokumentation des SVTI, dass 2010 bei der visuellen Prüfung der Containment-Innenoberfläche die Auffälligkeit an der Längsschweissnaht ohne Veränderung zur vorangegangenen Prüfung 2007 bestätigt wurde.

Das ENSI kommt auf Basis der Dokumentation der Prüfungen durch den SVTI zum Schluss, dass die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 erfüllt sind.

Alterungsüberwachung

Die mit Bezug auf die Forderung 6.4.1-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 erstellten Berichte des KKL bilden die Basis für das etablierte indirekte visuelle Inspektionsprogramm der wasserberührten Beschichtungen. Seit 2010 wird systematisch in jeder JHR ein Bereich der wasserbenetzten beschichteten Oberfläche geprüft. Die Prüfvorschrift berücksichtigt die besonderen Prüfbedingungen bei den Unterwassereinsätzen durch den Taucher und enthält neben Bewertungskriterien u. a. detaillierte Reinigungsschritte.

In der JHR 2015 fand erstmalig eine Überprüfung der Containment-Wanddicke im wasserbenetzten Teil der Druckabbaukammer statt. Das ENSI hat diese Prüfung inspiziert.

Nach Wertung des ENSI dienen diese systematisch durchgeführten Inspektionen dazu, alterungsbedingte Schädigungen frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls Abhilfemassnahmen einzuleiten.

Änderungen

Aus Sicht des ENSI ist hinsichtlich des Primärcontainments und seiner Durchdringungen eine Nachrüstung im Rahmen des Aktionsplans Fukushima^{ENSI 9106} zur Verbesserung der Containment-Isolation als bedeutende Massnahme zur besseren Beherrschung potenzieller Störfälle einzustufen. Die vier aktiv gesteuerten Armaturen 11TY20S010, 21TY20S009, 21TX10S053 und 11TX10S054 werden seit 2010 von einer Schiene der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) versorgt. Dadurch können die genannten vier Armaturen bei anstehendem Isolationsbefehl auch während eines Ausfalls der externen Stromversorgung automatisch geschlossen werden. Diese Massnahme kompensiert mit der zusätzlichen USV-Versorgung aus Sicht des ENSI den Nachteil dieser aktiv gesteuerten Isolationsarmaturen gegenüber den Fail-Safe-Armaturen.

4.4.5 Wasserstoff-Rekombinatoren (XP)

Bei Auslegungsstörfällen, insbesondere bei Kühlmittelverluststörfällen (Loss of Coolant Accident, LOCA) kann der im Reaktor vorhandene, durch Radiolyse gebildete, Wasserstoff in das Containment freigesetzt werden. Für die Beherrschung der Langzeitphase nach einem LOCA steht im Brennelementlagergebäude ein Rekombinator zur Verfügung. Als Auslegungsbasis für das System gilt, dass eine Wasserstoffkonzentration von 4 % bei Inbetriebnahme spätestens 40 h nach einem LOCA nicht überschritten werden darf.

Das Wasserstoff-Rekombinationssystem dient der Erhaltung der Integrität der dritten Barriere (Containment) und unterstützt damit das Schutzziel „Einschluss radioaktiver Stoffe“.

Angaben des KKL

Auslegung

Die Überprüfung der gefilterten Druckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen aufgrund der ENSI-Verfügung vom 22. April 2013 ist abgeschlossen^{PSÜ/27}. Es ist geplant, zum Schutz gegen Wasserstoffverbrennungen das Containment mit passiven autokatalytischen Rekombinatoren, gegebenenfalls in Kombination mit Zündern, auszustatten.

Beurteilung des ENSI

Auslegung

Der Status der Verfügung zur Überprüfung der gefilterten Druckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen ist vom KKL korrekt dargestellt (vgl. Kap. 2.3.2).

Zwischenzeitlich wurde vom KKL ein Konzept für die Installation von passiven autokatalytischen Rekombinatoren und passiven autokatalytischen Zündern zum Wasserstoffabbau im Containment und Annulus vorgelegt. In seiner Stellungnahme^{ENSI-2017-11-30} kam das ENSI zum Ergebnis, dass mit dem beantragten Konzept mit passiven autokatalytischen Rekombinatoren und passiven Zündern der Schutz des Primärcontainments und der Erhalt der Integrität des Reaktorgebäudes bei schweren Unfällen im KKL nochmals verbessert werden. Das ENSI stimmte dem Konzept zu.

Im Rahmen der Beherrschung von Auslegungsstörfällen ist geplant, das bisherige System mit dem bestehenden Rekombinator beizubehalten. Das ENSI beurteilt dieses Vorgehen im Sinne einer redundanten und diversitären Beherrschung von Störfällen als sicherheitsgerichtet.

4.4.6 Gefilterte Containment-Druckentlastung (XK)

Das System dient bei auslegungsüberschreitenden Störfällen mit langsamem Druckanstieg im Containment zur Rückhaltung von Iod und von radioaktiven Aerosolen. Es besteht im Wesentlichen aus der Schmutzgasleitung mit aktiven und passiven Absperrorganen (Berstscheibe als passives Absperrorgan), den Nasswäscherfiltern und der Reingasleitung. Ein Abblasen aus dem Containment über den aktiven Strang erfolgt auslegungsgemäss bei einem Containmentdifferenzdruck von 1,55 bar, die Berstscheibe im passiven Strang spricht bei einem Differenzdruck von 2,1 bar an. Mithilfe des Systems kann eine thermische Leistung von 37,5 MW abgeführt werden.

Das System zur gefilterten Containment-Druckentlastung dient den Schutzzielen „Einschluss radioaktiver Stoffe“ (Erhalten der baulichen Integrität des Containments) und „Begrenzung der Strahlenexposition“ (Minimierung der Abgabe von radioaktiven Aerosolen und Iod an die Umwelt).

Angaben des KKL

Auslegung

Aus Sicht des KKL besteht kein Handlungsbedarf beim Thema Auslegung. Es läuft ein Projekt zur seismischen Ertüchtigung dieses Systems.

Beurteilung des ENSI

Auslegung

Das KKL führte eine seismische Ertüchtigung der Behältersockel der beiden XK-Nasswäscherfilter durch. Diese Ertüchtigungsmassnahme wurde 2018 abgeschlossen und hatte als Ziel die Erdbebenfestigkeit der Filterbehälter auf mindestens 0,65 g zu erhöhen (HCLPF-Wert bezogen auf Fundamentniveau des Reaktorgebäudes). Dieser Wert entspricht der ausgewiesenen Erdbebenfestigkeit der Containmentisolation.

Im Rahmen des Aktionsplans Fukushima^{ENSI 9106} erfolgte 2018 die Ertüchtigung der Reingasleitungshalterungen zur Verbesserung der Containment-Integrität. Damit ist nach Beurteilung des ENSI die Verfügbarkeit des Systems nach einem auslegungsüberschreitenden Erdbeben wesentlich verbessert worden.

Der in der öffentlichen Anhörung befindliche Entwurf der Richtlinie ENSI-G02, Teil 2 „Auslegungsgrundsätze für in Betrieb stehende Kernkraftwerke: Auslegungsanforderungen an bestimmte Strukturen, Systeme und Komponenten (SSK)“ enthält nicht nur Anforderungen an die vom KKL ausgewiesenen Rückhaltefaktoren für Aerosole und elementares Iod, sondern neu auch an die Rückhaltung von organischem Iod. Im Vorgriff auf die Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-G02, Teil 2 fordert das ENSI:

Forderung 4.4-1

Das KKL hat zu prüfen, ob das System XK zur gefilterten Druckentlastung des Containments einen Rückhaltefaktor von 10 für organisches Iod aufweist. Die Ergebnisse sind in einem Bericht darzulegen, der dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen ist.

4.4.7 Reaktorschutzsystem (YZ)

Das Reaktorschutzsystem überwacht wichtige Anlagen- und Prozessgrössen und leitet beim Überschreiten der vorgegebenen Grenzwerte die Schnellabschaltung des Reaktors ein, um die Anlage vor unzulässigen Transienten zu schützen, die Auswirkungen von Störfällen zu mildern und Schäden an den Brennstoffhüllrohren zu vermeiden. Das Isolationssystem verhindert durch die Anregung der Gebäudeabschlussarmaturen den Austritt radioaktiver Stoffe im Falle von Kühlmittelverluststörfällen.

Angaben des KKL

Störungen im System

Im Überprüfungszeitraum sind aufgrund der hohen Gesamtanzahl an eingesetzten Leittechnik-Baugruppen einige Störmeldungen und wenige Betriebseinschränkungen aufgetreten. Neue Erkenntnisse zu Auffälligkeiten in Bezug auf System- und Funktionsausfälle bei spezifischen Betriebszuständen sind nicht erkennbar. Durch die geringe Anzahl der Störungen kann keine Häufung von Funktionsstörungen an bestimmten Komponentengruppen oder unter bestimmten Betriebsbedingungen festgestellt werden.

Beurteilung des ENSI

Störungen im System

Das ENSI bewertet die aufgetretenen Störungen als unwesentlich für die Erfüllung der Sicherheitsfunktionen des Reaktorschutzsystems. Die Einzelfehler führten in Übereinstimmung mit dem vierkanalig redundanten Systemaufbau auslegungsgemäss nicht zur Beeinträchtigung der Sicherheitsfunktionen. Die Anzahl der Störungen liegt angesichts der Gesamtanzahl an eingesetzten Leittechnik-Baugruppen in einem tiefen Bereich. Es ist auch keine Häufung in den letzten Jahren zu erkennen.

Das KKL führt ein „Vorprojekt SILT“ zum mittelfristigen Ersatz der Sicherheitsleittechnik, einschliesslich des Reaktorschutzsystems, durch. Das ENSI bewertet dieses Vorgehen als zielführend, um mittelfristig zu erwartende Defizite aufgrund der Alterung und der Ersatzteilproblematik zu vermeiden (vgl. Kap. 4.5.8).

4.4.8 Neutronenfluss-Messung (YX)

Die Neutronenfluss-Messung liefert entsprechend den Anlagebetriebsarten kontinuierliche Information über den Neutronenfluss und die Reaktorleistung. Das Überschreiten von Grenzwerten führt zu Steuerstabsfahrsperrungen durch das Steuerstabs-Überwachungssystem oder zu automatischen Reaktorabschaltungen durch das Reaktorschutzsystem, um die Einhaltung eines sicheren Abstandes zu den Belastungsgrenzen der Brennelemente zu gewährleisten.

Angaben des KKL

Änderungen

Es wurden drei Änderungen im Überprüfungszeitraum vorgenommen.

Im Rahmen einer Anlagenänderung wurden im Jahr 2008 die Transversing-Incore-Probe (TIP)-Steuereinheiten gegen NUMAC ATIP des Hersteller General Electric ausgetauscht.

Mit einer Anlagenänderung im Jahre 2009 wurden Schnellschlussverbindungen an den TIP-Leitungen eingebaut, die eine Erleichterung der Instandhaltung und eine Reduktion der Personendosis brachte.

Im Rahmen einer Anlagenänderung in der Jahreshauptrevision (JHR) 2012 wurde die SRM/IRM-Instrumentierung durch das NUMAC Wide Range Neutron Monitoring System (WRNMS) der Firma GE-Hitachi ersetzt. Dies übertraf bis zum jetzigen Zeitpunkt die Erwartung an das System bezüglich Bedienung, Handhabung, Prüfbarkeit des Systems und Platzverhältnissen im Steuerstabantriebsraum. Das System besteht aus acht fest installierten Detektoren im Reaktorkern sowie der dazugehörigen Instrumentierung. Es deckt alle Betriebszustände wie Stillstand und Anfahren bis Vollast bereichsübergreifend ab. Somit entfällt für den Reaktoroperator, insbesondere beim Anfahren der Anlage, das Umschalten im alten System und er kann sich besser auf das Verhalten des Reaktorkerns konzentrieren. Seit der Inbetriebnahme des Systems in der Jahreshauptrevision 2012 ist es zu keiner Störung gekommen.

Beurteilung des ENSI

Änderungen

Die beiden Anlagenänderungen in den Jahren 2008 und 2009 wurden als nicht sicherheitsbezogene Änderungen in Betreiberverantwortung durchgeführt und wurden nicht vom ENSI bewertet. Das ENSI begrüsst die durch den Einsatz der Schnellschlussverbindungen reduzierte Demontagezeit und die damit verbundenen Vorteile bzgl. des radiologischen Arbeitsschutzes.

Das im KKL neu zum Einsatz gekommene WRNMS eignet sich nach Beurteilung des ENSI zur sicheren und ergonomischen Überwachung des Neutronenflusses. Dabei werden die sicherheitstechnischen Anforderungen (Redundanz, Redundanztrennung, rückwirkungsfreie Signalauskopplung, Auslöselogik) gewährleistet. Das System wurde bereits weltweit in mehreren Anlagen installiert und hat sich bewährt. Die Montagefreigabe für das WRNMS wurde erteilt^{ENSI 2012-05-25}. Mit der Anlagenänderung im Jahre 2012 hat das KKL die gewünschte Anpassung an den Stand der Technik erzielt^{ENSI 2011-04-19}.

4.4.9 Nach- und Notkühlsystem (TH)

Das Nach- und Notkühlsystem (TH) erfüllt Betriebs- und Sicherheitsfunktionen. Das System ist je nach Funktion zwei- oder dreisträngig aufgebaut und den Div. 11 und 21 der Kernnotkühlsysteme zugeordnet. Die Wärmeabfuhr aus dem System erfolgt über die nuklearen Zwischenkühlkreisläufe (VG) und das Nebenkühlwassersystem (VF) (im Normalbetrieb) oder über das Notkühlwassersystem (VE) (im Störfall). Die Notstromversorgung der einzelnen Divisionen ist durch jeweils einen Diesel gesichert.

Die betrieblichen Funktionen des Systems sind die Nachwärmeabfuhr nach Abschaltung des Reaktors und die Nachwärmeabfuhr mittels Dampfkondensation bei isoliertem Reaktor. Des Weiteren dient das System als

Redundanz zum Brennelementlagerbecken-Kühlsystem TG sowie der Kühlung und Niveauabsenkung der DAK.

Die Niederdruckkernflutung (Low Pressure Coolant Injection, LPCI) wie auch die Kühlung der Druckabbaukammer stellen Sicherheitsfunktionen bei Störfällen dar. Die Kühlung der DAK dient der Nachwärmeabfuhr und der Verhinderung eines Druckanstiegs im Containment und gewährleistet damit die Integrität des Containments bei Störfällen. Das Nach- und Notkühlsystem dient somit der Einhaltung des Schutzziels „Kühlung der Brennelemente“ im RDB und des Schutzziels „Einschluss radioaktiver Stoffe“.

Die Komponenten des Druckabbaukammer-Zusatzwassersystems gehören entsprechend der Anlagenkennzeichnung TH31/32 zum Nach- und Notkühlsystem. Das Zusatzwassersystem besteht aus Ventilen und Rohrleitungen, welche das Brennelementbecken im Containment mit der DAK verbinden. Nach einem Kühlmittelverluststörfall wird Wasser aus dem Brennelementbecken im Containment in die DAK geleitet, um eine ausreichende Überdeckung der horizontalen Durchführungen (Kondensationsrohre) vom Drywell zur DAK zu gewährleisten. Das Wasservolumen in der DAK dient neben seiner Funktion für die Dampfkondensation auch als Wasserreservoir für die Notkühl- und Nachwärmeabfuhrsysteme und als Waschvorlage während eines Störfalls für freigesetzte Aerosole.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

In dem Überprüfungszeitraum trat ein meldepflichtiges Vorkommnis auf. Während der JHR 2015 wurde am Isolationsventil 11TH11S009 zur Speisewasserleitung A an der Verdrehsicherung der Antriebsspindel ein gebrochener Hebelarm festgestellt.

Prüfprogramm

In dem Überprüfungszeitraum sind einige Wiederholungsprüfungen mit Befunden aufgetreten, die im Folgenden beschrieben werden. Einige dieser Befunde werden in der Zukunft weiter aktiv verfolgt und untersucht. Daneben traten weitere einzelne Abweichungen auf, die durch definierte Massnahmen behoben und abgeschlossen wurden.

Im Überprüfungszeitraum trat an einigen Sicherheitsventilen bei der regelmässig durchgeführten As-Found-Prüfung ein sogenanntes Verbacken auf. Das Verbacken an Ventilen äussert sich in höheren unzulässigen Ansprechdrücken. Eine Untersuchung im Rahmen der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA) zeigte, dass kein in der PSA modelliertes Sicherheitsventil eine mittlere oder hohe Risikorelevanz bzw. Importanz besitzt.

Im Bereich des Sitzaustrittes an den Armaturen 11/21TH11/12S004 traten Erosionsspuren auf. Die Wandstärke weist genügend Abstand zur rechnerischen Mindestwandstärke auf. Regelmässige Untersuchungen zeigten keine Veränderung.

Bei Ultraschall-Prüfungen an einer Mischnaht der Rohrleitung TH10Z001 im Jahre 2014 wurden bewertungspflichtige Anzeigen in axialer Richtung und Umfangsrichtung festgestellt. Aus strukturmechanischer Sicht ist auf Basis der abdeckenden Berechnung frühestens in zehn Jahren eine erneute Prüfung der Anzeige in Umfangsrichtung bzw. spätestens in sechs Jahren in Axialrichtung durchzuführen. Eine erneute Ultraschall-Prüfung ist für die JHR 2016 geplant. Gleichzeitig wurden im Nahtnebenbereich Wanddickenunterschreitungen an der Rohrleitung TH10Z001 festgestellt. Die Anzeigen der Wanddickenunterschreitungen werden in 2016 erneut überprüft. Diese Abweichungen sind gemäss Berechnung als zulässig für einen Weiterbetrieb von vier Jahren bewertet worden.

Störungen im System

Neben einzelnen Störmeldungen trat auch eine Reihe von wiederkehrenden Befunden auf, welche zu wiederholten Störmeldungen führten. Die wesentlichen wiederholten Störungen sind der ungewollte Enthalpieeintrag in die Wärmetauscher sowie Störungen bei der DAK-Niveaumessung und der DAK-Niveau-Grenzwertbildung.

Der ungewollte Enthalpieeintrag entsteht durch etwaig leckende Armaturen über die Dampfkondensationsleitung, das Isolationsventil zur Speisewasserleitung oder die Rückschlagklappe der Niederdruck-Einspeisung.

Die Messwertabweichungen bei der DAK-Niveaumessung sind bei der Kalibrierung mehrfach aufgetreten. Die Störmeldungen wurden durch Entlüften der Messleitung bzw. Justierung am Messumformer behoben. Die Störungen hatten keinen Einfluss auf die Sicherheitsfunktionen.

Bei den Störmeldungen der DAK-Niveau-Grenzwertbildung im Rahmen der Durchführung der Instrumentierungs-Funktionsprüfung ist keine Systematik erkennbar. Beide Div. 11 und 21 des DAK-Zusatzwassersystems waren jederzeit verfügbar.

Insgesamt verteilen sich aus Sicht des KKL die aufgetretenen Störungen gleichmässig über den Überprüfungszeitraum.

Alterungsüberwachung

Im Überprüfungszeitraum wurde der Steckbrief für das TH-System entsprechend der Richtlinie ENSI-B01 überarbeitet und dem ENSI eingereicht. Es wurden zwei Abklärungen zur Ermüdung durchgeführt. Für die Rohrleitung TH11Z011 führte das Abklärungsergebnis zu einer Erweiterung des Wiederholungsprüfprogramms.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Das Vorkommnis „Beschädigung der Spindelarretierung am RHR Isolationsventil 11TH11S009“ wurde vom ENSI bewertet. Im Rahmen der Instandhaltung war ein gebrochener Hebelarm aufgefunden worden. Ziel der Analyse war, die Bruchflächen des Hebelarms und der Lagerschale zu untersuchen sowie die Härte des Hebelarms zu bestimmen. Der Hebelarm und die Lagerschale brachen als Folge der Einwirkung einer hohen mechanischen Belastung, vermutlich in einem einzigen, isolierten Schadensereignis.

Der Bruchausgang der Lagerschale befand sich an der Kante. Die Morphologie der Bruchfläche im Bereich des Bruchausgangs wies Merkmale eines Spaltbruchs auf. Anzeichen deuteten darauf hin, dass sich die Lagerschale und die durchgehende Welle gegeneinander verdreht hatten, was zum Versagen der Lagerschale und des Hebelarms führte. Die Analyse des Hebelarms ergab, dass es sich nicht um einen Ermüdungsrisse, sondern um einen Gewaltbruch durch mechanische Überbelastung handelt. Die Ursache der Beschädigung ist somit geklärt, und es wurden vom Betreiber ausreichende Massnahmen gegen eine erneute Überlastung an der Lagerschale getroffen.

Prüfprogramm

Das Verbacken von Sicherheitsventilen betrifft mehrere Systeme (VG/VE/VF/TF/TH/TC/YV). Daher wird hier eine gesamthafte Beurteilung für alle betroffenen Systeme vorgenommen. Mit dem Ziel, die Problematik des Verbackens zu lösen, wurde im Überprüfungszeitraum ein umfangreiches Programm gestartet. In diesem Programm wurden systematisch verschiedene Massnahmen, wie z. B. das Anlüften von Sicherheitsventilen, der Werkstoffwechsel des Kegelsitzes auf Stellit oder die konstruktive Anpassung mittels Faltenbalg ergriffen und über einen Zeitraum verfolgt. Von diesen Massnahmen zeigte das regelmässige Anlüften der Sicherheitsventile alle zwei Monate den besten Erfolg gegen das Verbacken und wird weiter umgesetzt. Der Wechsel des Kegelwerkstoffes führte eher zu einer Verschlechterung des Prüfverhaltens. Deshalb werden alle stellitierten Kegel wieder auf die vorherige Variante mit austenitischem Kegelwerkstoff zurückgebaut. Im letzten Jahr des Überprüfungszeitraums wurden neue Sicherheitsventile, bei denen die Führung mit einem Faltenbalg geschützt werden soll, eingebaut. Erste Erfahrungen zeigten, dass zwar eine gewisse Verbesserung hinsichtlich des Verbackens erreicht wurde, jedoch Probleme mit Undichtigkeiten nach der Prüfung auftraten. Die durchgeführten Verbesserungsmassnahmen und deren Resultate werden dem ENSI jährlich im Rahmen eines Berichts^{KKL-2016-01-26} eingereicht. Das Problem des Verbackens konnte im Überprüfungszeitraum noch nicht vollständig behoben werden. Als weitere Massnahme ist der Einbau von Berstscheiben geplant.

Die Armaturen 11/21TH11/12S004 mit Erosionsspuren in den Jahren 2011 bis 2013 am Sitzaustritt wurden revidiert und vom SVTI abgenommen. Es ist noch eine ausreichende Sicherheitsmarge bis zum Erreichen der zulässigen Mindestwandstärke vorhanden. Regelmässige Untersuchungen zeigten im Überprüfungszeitraum keine Veränderung.

Die Ultraschall-Anzeigen an der Mischnaht und die Wanddickenunterschreitung an der Rohrleitung TH10Z001 sind bruchmechanisch bewertet und die Inspektionsintervalle festgelegt worden. Die axialen Anzeigen an der Mischnaht wurden in 2016 erneut überprüft. Es wurden keine Veränderungen festgestellt. Die Wanddicke in unmittelbarer Nähe der Schweissnaht unterschreitet zwar die Zeichnungswanddicke, die festgestellte Wanddicke ist jedoch grösser als die Mindestwanddicke und somit ausreichend. Das KKL hat vorgesehen, die mechanisierten Wanddickenmessungen im Zwei-Jahres-Rhythmus zu wiederholen und somit die Wanddicke auf Veränderung hin zu überwachen.

Die Durchführung und Ergebnisse der Wiederholungsprüfungen wurden durch den SVTI geprüft und bestätigt. Das ENSI kommt auf Basis der Dokumentation der durchgeführten Prüfungen durch den SVTI zum Schluss, dass diese die Anforderungen erfüllen. Die zu den festgestellten Anzeigen und Auffälligkeiten getroffenen Massnahmen werden als ausreichend eingeschätzt.

Störungen im System

Der Enthalpieeintrag in die Wärmetauscher durch Armaturenundichtigkeiten hat keine unzulässigen Auswirkungen auf die Störfallbeherrschung. Die geringe Leckagemenge stellte aufgrund der Systemauslegung auf mindestens 35 bar kein Problem dar. Der Betreiber hat bereits Massnahmen zur besseren Überwachung der Bereiche einschliesslich der Radiolysegasvorsorge ergriffen. Die thermische Wechselbeanspruchung durch den Wärmeeintrag hat zu keiner unzulässigen Ermüdung des Materials geführt.

Die jeweiligen Störungen bzgl. des DAK-Niveaus hatten geringe sicherheitstechnische Auswirkungen. Die Initialisierung des DAK-Zusatzwassersystems war verfügbar, wenn auch vorübergehend nicht einzelfehlerfest.

Aus Sicht des ENSI verteilen sich die Störungen nicht gleichmässig über den Überprüfungszeitraum, sondern traten in den letzten vier Jahren noch häufiger auf als in den Jahren davor. Das ENSI wird daher in den Monatsberichten gezielt das Betriebsverhalten des Systems verfolgen.

Alterungsüberwachung

Die Abklärung hinsichtlich Ermüdung für die Rohrleitung TH11Z011 ergab für eine Schweissnahtposition einen Erschöpfungsgrad grösser als 0,4. Daher wurde das Wiederholungsprüfprogramm um diese Schweissnahtposition erweitert und die Ultraschallprüfung im Überprüfungszeitraum durchgeführt. Es wurden keine registrierpflichtigen Anzeigen gefunden.

4.4.10 Hochdruckkernsprühsystem (TJ)

Das Hochdruckkernsprühsystem (High Pressure Core Spray, HPCS) gehört zu den Kernnotkühlssystemen. Zusammen mit den anderen Kernnotkühlssystemen (Div. 11 und 21 sowie Div. 51 und 61) dient es der Beherrschung von Kühlmittelverluststörfällen. Es ist der Div. 31 zugeordnet und besitzt eine eigene Notstrom- und Kühlwasserversorgung. Das System ist unabhängig von den anderen Kernnotkühlssystemen. Bei Ausfall des Speisewassersystems und Ausfall des RCIC-Systems erfüllt das HPCS nach einer Abschaltung der Anlage auch die Funktion der Notspeisewasserversorgung mit Niveauhaltung im Reaktordruckbehälter (RDB). Dazu wird je nach Füllstand im RDB durch Schliessen oder Öffnen eines Ventils die Einspeisung des Kühlmittels geregelt.

Das Hochdruckkernsprühsystem dient bei Störfällen dem Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

Das KKL gibt an, dass sechs Vorkommnisse seit dem Jahre 2010 zu verzeichnen waren, von denen zwei meldepflichtig waren und die auf die Problematik mit erhöhten Schwingungen im betroffenen System zurückzuführen waren. Dabei wurden sechs Positionen mit einer berechneten Ermüdungsausnutzung von mehr als 1,0 ermittelt. Es wurde eine Reihe von Massnahmen abgeleitet, um weitere Vorkommnisse in Zukunft zu vermeiden. So wurden eine Instandhaltung an Rohrunterstützungen, ein Austausch von den betroffenen Leitungsabschnitten, eine Änderung der Füllvorschrift (Entlüftung am Sicherheitsventil), eine Ultraschallprüfung an Kehlnähten (Schweissnahtwurzel-Prüfung), eine Farbeindringprüfung an Kehlnähten (aussenseitig), eine Verbesserung der Schweissnahtgeometrie sowie eine Vibrationsüberwachung in der betroffenen Leitung bzw. am Sicherheitsventil durchgeführt.

Als Folge der erhöhten Schwingungen in der Druckleitung zum Sicherheitsventil wurden zudem vermehrt Schäden an dessen Faltenbalg entdeckt. Durch Instandsetzung und die Beseitigung der unzulässigen Schwingungen wurden auch Schäden am Sicherheitsventil-Faltenbalg vorgebeugt.

Mit den durchgeführten Massnahmen wurden aus Sicht des KKL die Ursachen der Rohrleitungsschwingungen beseitigt.

Prüfprogramm

Ein auffälliger Punkt bei den Wiederholungsprüfungen war die kurze Lebensdauer des Faltenbalgs am Sicherheitsventil TJ20S006. So gab es in dem Zeitraum von 2007 bis 2014 insgesamt vier Wiederholungsprüfungen mit Befunden am Faltenbalg. Diese Schäden waren durch unzulässige Schwingungen von vor 2012 hervorgerufen worden.

Der Sicherheitsventil-Faltenbalg ist kein Teil der Druckumschliessung, sondern ist für die sekundäre Dichtheit des Sicherheitsventils zuständig. Somit ist dem Faltenbalg keine sicherheitsrelevante Funktion zuzuschreiben, er dient lediglich der internen Dichtheit zum Ventildfeder-Raum bei einem möglichen Abblasen und der Vorbeugung von Korrosion.

Alterungsüberwachung

Aufgrund von verschiedenen externen Erfahrungen zu Spannungsrisskorrosion verursacht durch halogenidhaltiges Material wurde eine generelle Abklärung zu diesem Thema initiiert. In dieser Abklärung wurden verschiedene mögliche Ursachen, wie z. B. chloridhaltige Dichtungsmaterialien oder strahlungsinduzierte Zersetzung von Polytetrafluorethylen, untersucht und bewertet. Aufgrund der möglichen Einsatzorte dieser Materialien betrifft die Abklärung mehrere Systeme (YV/TC/TW/TS/TG/VG/PX/VE/UD/TJ). Im Überprüfungszeitraum konnten die Abklärungen für die Bredtschneiderarmaturen und das Rekombinatormaterial abgeschlossen werden. Für die Teilabklärung zur chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion wurde ein umfangreiches Sonderprüfprogramm gestartet, bei dem die betroffenen Armaturen einer Farbeindringprüfung unterzogen wurden.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Das ENSI stellt aufgrund neuer aufgetretener Vorkommnisse fest, dass die Ursachen für die erhöhten Rohrleitungsschwingungen im TJ-System noch nicht ausreichend erkannt wurden. So traten in den Jahren 2017 und 2018 erneut zwei Vorkommnisse mit Befunden im Bereich eines Entleerungsventils und Schäden am Sicherheitsventil aufgrund erhöhter Rohrleitungsschwingungen auf. Mit den bislang durchgeführten Massnahmen konnten die Schwingungen im Bereich der Kleinleitungen nicht beseitigt werden.

Das KKL hat zwischenzeitlich weitere Untersuchungen durchgeführt, in deren Rahmen neue Ursachen für die Schwingungsanregungen identifiziert wurden. Diese wurden durch Systemänderungen behoben und die Funktion des TJ-Systems anhand mehrerer Tests nachgewiesen. Ungeachtet dessen stehen noch weitere Untersuchungen an, die seitens ENSI im Aufsichtsverfahren weiter eng verfolgt werden.

Prüfprogramm

Die Schäden am Faltenbalg des Sicherheitsventils wurde im Rahmen einer SVTI-Pendenz bewertet^{SVTI-2015}. Der SVTI kam in seiner Bewertung zu dem Ergebnis, dass die Ursache für die Schäden am Faltenbalg erhöhte Schwingungen der anliegenden Rohrleitung bei Mindestmengenbetrieb und damit verbundene Ermüdungsrisse waren, welche auch die Undichtheiten des Ventils verursacht haben. Aus diesem Grund wurden die Rohrunterstützungen instandgesetzt sowie eine Entlüftung am Sicherheitsventil zur Verhinderung des Ventilflatterns eingebaut. Damit konnten die Schwingungen im betroffenen Rohrleitungsbereich minimiert werden. Zusätzlich wurde das Sicherheitsventil TJ20S006 durch Beschleunigungs- und Wegaufnehmer überwacht und die Vibrationen der Leitung TJ20Z013 aufgezeichnet. Die nächste erforderliche Funktionsprüfung fand während der JHR 2015 statt und ergab keine Beanstandungen. In der JHR 2017 hat sich jedoch gezeigt, dass die Schwingungsproblematik im Bereich der Kleinleitungen des TJ-Systems nicht vollständig gelöst werden konnte. Die Thematik wird daher vom ENSI weiter verfolgt.

Nach Bewertung des Nuklearinspektorats des SVTI wurden die zerstörungsfreien Prüfungen sowie System- und Komponentenbegehungen nach dem gültigen Wiederholprüfprogramm durchgeführt. Die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 und Richtlinie ENSI-B06 wurden erfüllt.

Alterungsüberwachung

Das ENSI hat die Vorgehensweise des KKL der umfangreichen Sonderprüfung auf allfällige chloridhaltige Spannungsrisskorrosion begrüsst. Diese vorausschauende Massnahme dient dazu, alterungsbedingten Schädigungen frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls Abhilfemassnahmen einzuleiten.

4.4.11 Notstandsystem (TF)

Das Notstandsystem TF (SEHR, Special Emergency Heat Removal) gewährleistet nach einer Reaktorschnellabschaltung die anschliessende Reaktorkern- und Containment-Kühlung für mindestens zehn Stunden ohne Eingriff des Betriebspersonals unter Notstandbedingungen. Die Niederdruck-Kernflutfunktion im Zusammenwirken mit der automatischen Druckentlastung (SEHR-ADS) führen bei Anforderung die gespeicherte Wärme und die Nachzerfallsleistung aus dem Kern in die DAK ab. Aus der DAK wird die Wärme über die systemeigene DAK-Kühlung und Grundwasserversorgung (Brunnenwasser) an den Rhein abgegeben. Das Notstandsystem ist ein autonomes System mit eigenem Eigenbedarfsnetz mit Notstromdieseln und Batterien sowie eigener Instrumentierung. Alle aktiven Komponenten sind redundant vorhanden.

Das Notstandsystem im Zusammenwirken mit der SEHR-ADS dient dem Schutzziel „Kühlung der Brennelemente“ im RDB. Die Sicherheitsfunktion „Kühlung der Druckabbaukammer“ führt bei Störfällen die Nachwärme aus dem Containment ab und verhindert damit einen Druckanstieg im Containment zur Gewährleistung der Integrität des Containments (dritte Barriere).

Angaben des KKL

Vorkommnisse

Im Überprüfungszeitraum traten mehrere Vorkommnisse im SEHR-System auf^{PSÜ/22}. Das Vorkommnis „Auslösung des SEHR-ADS während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen“, die zeitversetzten Vorkommnisse des Startversagens der SEHR-Grundwasserpumpen, das Vorkommnis „Wasserabgabe aus der Druckabbaukammer (DAK) in das SEHR-Gebäude bei Absicherungsarbeiten während JHR“ und das Vorkommnis „Ausfall Etagenspeisegerät zu Steuerschrank SEHR 61HC01 Etage B“, das zum Ausfall eines Anregekanals der DAK-Temperaturmessung führte, waren meldepflichtig.

Prüfprogramm

2010 wurde an der Einspeiseleitung TF10Z004 im Rahmen einer Magnetpulverprüfung an einer Schweißnaht eine Anzeige $2 \times 5 \text{ cm}^2$ festgestellt. Durch Oberflächenbearbeitung konnte die Anzeige zunächst nicht beseitigt

werden. Bei der anschliessenden Magnetpulverprüfung wurde die bewertungspflichtige Anzeige bestätigt. Daraufhin wurde die Anzeige durch kontrolliertes Ausschleifen des Anzeigenbereichs unter Einhaltung der rechnerischen Mindestwandstärke entfernt.

Im Jahr 2012 wurde eine Schieberrevision am Einspeiseschieber TF12S011 durchgeführt. Bei der visuellen Prüfung wurde eine mechanische Beschädigung an der Spindel und im Packungsbereich festgestellt. Ein Ersatz der Spindel wurde für die nächste Revision geplant. Bei der visuellen Prüfung der Gewindebolzen wurden mechanische Beschädigungen an den Bolzen des Antriebs festgestellt. An den Gehäusebolzen wurde Korrosion festgestellt. Die Antriebs- und Gehäusebolzen wurden ersetzt.

An der Rückschlagklappe TF11S013 wurde bei der visuellen Prüfung eine lineare Anzeige an den Bolzengehenden festgestellt. Die Bolzen wurden mittels metallographischer Untersuchungen überprüft und für den Gebrauch als zulässig befunden.

An einer Schweisssnaht der Rohrleitung TF10Z001 wurde eine bewertungspflichtige Anzeige festgestellt. Nach bruchmechanischen Berechnungen ist die Anzeige als zulässig belassen worden.

Einige Befunde betrafen das sogenannte Verbacken von Sicherheitsventilen, das auch in anderen Systemen aufgetreten ist.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Die Vorkommnisse „Auslösung des SEHR-ADS während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen“ und „Unverfügbarkeiten der SEHR-Grundwasserpumpen Div. 51 und Div. 61 im Jahr 2014“ wurden als INES-1-Ereignisse kategorisiert und entsprechend detailliert in den ENSI-Stellungnahmen bewertet. Die Ursachen der Ereignisse sind geklärt und es wurden entsprechende Massnahmen gegen Wiederholung der Vorkommnisse vorgenommen. Das ENSI beurteilt diese Massnahmen als ausreichend, damit eine Wiederholung nach menschlichem Ermessen ausgeschlossen ist.

Bezüglich des Ereignisses „Wasserabgabe aus der Druckabbaukammer (DAK) in das SEHR-Gebäude bei Absicherungsarbeiten während JHR“ stellte das ENSI fest, dass die technischen Auswirkungen eine geringe sicherheitstechnische Relevanz haben. Von höherer Bedeutung sind die Hinweise auf systematische organisatorische Mängel, die bereits auch bei früheren Vorkommnissen festgestellt wurden.

Die sicherheitstechnische Bedeutung des Vorkommnisses „Ausfall Etagenspeisegerät zu Steuerschrank SEHR 61HC01 Etage B“ wurde als gering eingestuft, weil sowohl die Reaktorschnellabschaltung als auch die Notkühlung im Anforderungsfall durch die nicht beeinträchtigten Sicherheitssysteme gewährleistet waren.

Die Störungen der nicht meldepflichtigen Vorkommnisse „Anstieg der Wälzlagerschwingungen an der SEHR-Pumpe“, „Defekte Grenzwertkarte der Reaktorniveaumessung“ und der „Funktionsstörung des Leistungsschalters“ konnten behoben werden. Aufgrund von ausreichenden Redundanzen bestand keine Gefährdung der Schutzziele.

Prüfprogramm

In Ergänzung zu den Angaben des KKL wurden durch das Nuklearinspektorat des SVTI folgende Auffälligkeiten bei den Prüfungen gemäss gültigem Wiederholungsprüfprogramm angegeben:

- Bei der visuellen Prüfung der Rückschlagklappe TF11S012 in 2012 wurde auf der inneren Dichtfläche leichte Porosität festgestellt. Es wurden keine Massnahmen durchgeführt, da diese Auffälligkeit keine Beeinträchtigung der Dichtheit darstellt. Die gleichen Befunde wurden an den Rückschlagklappen TF12S012 und TF1S013 beobachtet. Auch hier waren keine Massnahmen erforderlich.
- Während der JHR 2014 wurde bei einer Magnetpulverprüfung an der Schweisssnaht PW13 eine bewertungspflichtige Anzeige von 17 mm Länge festgestellt. Der Betreiber hat die Anzeige soweit ausgeschliffen, bis die Nachprüfung keine Anzeige mehr ergab. Der SVTI wurde erst nach der Reparatur

informiert. Daraufhin hat der SVTI eine Wanddickenmessung und eine nochmalige Magnetpulverprüfung im Beisein des SVTI gefordert. Die durchgeführte Wanddickenmessung ergab keine Unterschreitung der Mindestwanddicke. Die erneute Magnetpulverprüfung ergab keine registrierpflichtigen Anzeigen.

Das Nuklearinspektorat des SVTI und das ENSI konnten feststellen, dass alle Prüfungen gemäss gültigem Wiederholungsprüfprogramm durchgeführt wurden und den Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 und der Richtlinie ENSI-B06 entsprachen.

Das Verbacken von Sicherheitsventilen betrifft mehrere Systeme und wird daher in einer gesamthaften Beurteilung in Kap. 4.4.9 behandelt.

4.4.12 Kernisolations-Kühlsystem (TM)

Das Reaktorkernisolations-Kühlsystem TM (RCIC, Reactor Core Isolation Cooling) dient bei abgeschaltetem, isoliertem Reaktor und Ausfall des Speisewassersystems als System zur Hochdrucknoteinspeisung. Es gewährleistet die Niveauhaltung im RDB beim Abkühlen der Anlage bis zum Abfahren durch die Nachkühlfunktion des TH-Systems. Betrieblich dient es der Füllstandhaltung im RDB in den Betriebsarten „Hot Standby“ und „Kaltfahren des Reaktors ohne Speisewasser“.

Das System besteht im Wesentlichen aus einer Dampfturbine, einer von ihr angetriebenen Hochdruckpumpe, einem motorbetätigten Schnellschlussventil und einem Regelventil sowie zugehörigen Leitungen. Der Dampf wird einer Frischdampfleitung entnommen und der Abdampf nach der Turbine an die DAK weitergeleitet. Die elektrische Versorgung der Ventile erfolgt mit batteriegepuffertem Gleichstrom der Notstromschienen ES11/21.

Das Reaktorkernisolations-Kühlsystem ist ein Sicherheitssystem im Dienste des Schutzziels „Kühlung der Brennelemente“.

Angaben des KKL

Änderungen

Es wurden vier Anlagenänderungen im Kernisolations-Kühlsystem vorgenommen. Das betrifft zunächst den Einbau von kreuzförmigen Leitblechen in die Saugleitungen von HPCS und RCIC zur Verhinderung von Luftwirbeln in der Saugleitung vom Kaltkondensatbehälter und zur Sicherstellung der Verfügbarkeit von HPCS und RCIC auch bei tiefem Niveau in diesem Behälter. Des Weiteren wurden die Alarmierung „Niveau hoch“ (Messung 11TM30 L002) im Kommandoraum, die Umrüstung der Abdampfschieber 11TM30 S006 vom Tippbetrieb in den Laufbetrieb sowie die Entfernung der Blockierung des Antriebs von 11TM30 S002 durch das LOCA-Initialisierungssignal der Div. 11 umgesetzt.

Prüfprogramm

Im Überprüfungszeitraum waren einige Wiederholungsprüfungen mit Befunden zu verzeichnen. Unzulässige Leckraten an diversen Armaturen konnten durch Armaturenrevisionen zeitnah behoben werden. Leichte Korrosionsschäden an der Dichtfläche der Armatur TM10S007 wurden umgehend repariert. Die Leckage am Aussenschutzrohr des ECCS-Kompensators konnte toleriert werden, da die Leckagemenge im auslegungsgemässen Toleranzbereich liegt. Zwei nicht durchgeführte Magnetpulverprüfungen konnten nachgeholt bzw. durch eine Farbeindringprüfung ersetzt werden.

Nach Feststellung von Korrosionsspuren an der Leitung TM10Z001 in der Revisionsabstellung 2012 wird die Wanddicke der Leitung TM10Z001 jährlich gemessen. Die gemessenen Wandstärken liegen bisher oberhalb der rechnerischen Mindestwandstärke.

Beurteilung des ENSI

Änderungen

Mit dem Einbau der Leitbleche werden bessere Ansaugverhältnisse in der Saugleitung vom Kaltkondensatbehälter erreicht, um erhöhten Strömungsverlusten und möglicher Kavitation entgegen zu wirken. Mit der Alarmerung „Niveau hoch“ im Abdampfentwässerungstopf (Messung 11TM30 L002), werden die Operateure bei inneren Leckagen des Systems gewarnt, um einer Störung entgegen wirken zu können. Dadurch wird nach Beurteilung des ENSI die Verfügbarkeit des Systems verbessert. Die Entfernung der Blockierung des Antriebs von 11TM30 S002 durch das LOCA-Initialisierungssignal verbessert die Verfügbarkeit des Systems.

Insgesamt wird mit den Anlagenänderungen eine weitere Verbesserung der Zuverlässigkeit und Wirksamkeit des Systems im Anforderungsfall erreicht.

Prüfprogramm

Der Sachverständige bestätigt, dass die visuellen Prüfungen, Farbeindring-, Magnetpulver-, Ultraschall-, Wirbelstrom-, Leckage- und Funktionsprüfungen sowie die Wanddickenmessungen und System- und Komponentenbegehungen nach Wiederholprüfprogramm durchgeführt wurden, und die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 Rev. 6 sowie der Richtlinie ENSI-B06 erfüllen.

Im Rahmen der Forderung 6.7.1-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 hatte das KKL das bisherige Wiederholungsprüfprogramm gemäss SVTI-Festlegung NE-14 zu überprüfen, ob eine Erweiterung notwendig ist, um das Auftreten von Schäden (z. B. durch Erosion, Ermüdung) früher zu erkennen. Bei der Überprüfung wurde festgestellt, dass die Schweissnähte FW17 und FW18 im Rohrleitungssystem TM10 Z003 hochbeansprucht und daher in das Prüfprogramm aufzunehmen sind. Da sich diese Schweissnähte im Bereich der Bodendurchführung unterhalb des Reaktorbeckens befinden, sind sie für eine Prüfung von aussen nicht zugänglich. Gemäss SVTI-Festlegung NE-14 wäre für die Schweissnähte FW17 und FW18 eine volumetrische Prüfung durchzuführen. In der Jahresrevision 2011 erfolgte eine visuelle Inneninspektion mit Hilfe eines mit einer Kamera bestückten Rohrinnelektromotors. Ziel war die Überprüfung der Machbarkeit einer volumetrischen Prüfung von innen. Zudem erfolgte die Aufnahme der Schweissnähte in das Alterungsüberwachungsprogramm. Auf Basis der Erkenntnisse der Inneninspektion beabsichtigte das KKL, bis zur JHR 2014 eine mechanisierte Ultraschallprüfung mit Innenmanipulator entsprechend Richtlinie ENSI-B07 zu qualifizieren. Dies wurde dem ENSI zusammen mit den Ergebnissen der visuellen Inneninspektion mitgeteilt, woraufhin das ENSI das Geschäft 12/10/061 schloss. Die Ultraschallprüfung an den beiden Schweissnähten wurde dann jedoch nicht durchgeführt. Stattdessen hat das KKL zwischenzeitlich eine Neubewertung der hoch beanspruchten Schweissnähte im Kernisolations-Kühlsystem durchgeführt. Auf Basis der detaillierten Berechnung kommt das KKL zum Schluss, dass die beiden betroffenen Schweissnähte nicht hochbeansprucht im Sinne der SVTI-Festlegung NE-14 und damit nicht prüfpflichtig sind. Das ENSI verfolgt diesen Punkt im Aufsichtsverfahren ausserhalb der PSÜ.

4.4.13 Steuerstab-Fahr- und Anzeigesystem (YV90)

Das Steuerstab-Fahr- und Anzeigesystem (RC&IS, Rod Control and Information System) erfüllt betriebliche und sicherheitsrelevante Funktionen. Im Rahmen seiner betrieblichen Funktion liefert das System dem Reaktoroperateur Informationen über die Stellung der Steuerstäbe, damit dieser die gewünschte Reaktorleistung erreichen und eine sichere Neutronenflussverteilung im Reaktorkern gewährleisten kann. Die sicherheitsrelevanten Funktionen dienen dazu die Steuerstab-Fahrbefehle zu begrenzen, um im Niedrig-Leistungsbereich die korrekte Anfahr-Sequenz sicherzustellen und dadurch die Auswirkungen eines Steuerstabfalls zu begrenzen. Ausserdem verhindern die Ausfahrbegrenzungen ein Dauer-Ausfahren einzelner Steuerstäbe aus der vorgegebenen Sequenz. Darüber hinaus erzeugt das System Fahrverriegelungen (beispielsweise Stabverriegelungen durch Neutronenfluss-Grenzwerte in Abhängigkeit der Reaktorleistung und Verriegelungen aufgrund von Bewegungen der Brennelementwechselmaschine), um die Einhaltung der Brennelement-Auslegungsgrenzen sicherzustellen sowie Gefahren für Personen und Einrichtungen auszuschliessen.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

Es traten im Betrachtungszeitraum vier Ereignisse auf, von denen drei als meldepflichtige Vorkommnisse gemeldet wurden.

In 2006 konnten beim Anfahren der Anlage nach der Jahresrevision die durchzuführenden „Buffertime“-Messungen nicht korrekt durchgeführt werden. Eine Simulation in der Referenzzeiterfassung, die während der Jahreshauptrevision eingesetzt worden war, war versehentlich noch aktiv und musste entfernt werden. Sicherheitsbezogene Funktionen waren nicht betroffen, dieses Ereignis war nicht meldepflichtig.

In 2007 war beim 14-tägigen Steuerbewegungstest die Betriebsart versehentlich auf „Gang Mode“ anstelle von „Drive Mode“ geschaltet, sodass es zum meldepflichtigen, unbeabsichtigten Fahren eines Steuerstabs kam.

In 2011 kam es aufgrund eines defekten Netzgerätes zum Ausfall des RC&IS. Der Ausfall war meldepflichtig und bewirkte, dass keine Steuerstabbewegungen durch das RC&IS ausgeführt werden konnten und die Informationen auf dem Steuerpult im Hauptkommandoraum nicht mehr aktualisiert wurden.

In 2015 führte ein defektes Netzgerät im Reaktorfahrpult zum meldepflichtigen Ausfall der Anzeige- und Bedieneinheit des RC&IS. Das Verfahren der Steuerstäbe über das RC&IS war nur eingeschränkt verfügbar. Die Steuerstabpositionen waren jedoch über das Rod-Positions-System bei den Steuerschränken im Relaisraum uneingeschränkt verifizierbar.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Die Ereignisse aus 2006 und 2007 wertet das ENSI als Ausfälle, die aufgrund von unzureichenden Vorbereitungen der jeweiligen Messungen bzw. Prüfungen entstanden sind. Die Ereignisse hatten geringe sicherheitstechnische Auswirkungen. Das ENSI verfolgt menschliche und organisatorische Faktoren kontinuierlich im Rahmen von meldepflichtigen Vorkommnissen und berücksichtigt diese Aspekte.

Die meldepflichtigen Ereignisse aus 2011 und 2015 führten zu einer Beeinflussung der sicherheitsrelevanten Funktionen der Steuerstäbe. Wenngleich die Reaktorschnellabschaltung nicht beeinträchtigt war, so stellen die betriebliche Anzeige der Steuerstäbe und die betriebliche Leistungsbegrenzung durch die Steuerstäbe wichtige sicherheitsrelevante Funktionen dar, die zuverlässig funktionieren sollten.

Es ist anzumerken, dass auch nach dem Überprüfungszeitraum innerhalb von zwei Jahren zwei weitere meldepflichtige Vorkommnisse in dem System auftraten. Dies waren im Juni 2016 defekte Transponderkarten und im Juni 2017 eine Störung des Stabbewegungskontrollsystems RACS (Rod Activity Control System).

Das ENSI stimmte dem Konzept des Änderungsantrags zum Ersatz der Stabsteuerung, Teilsysteme RACS und Stabpositionsinformationssystem RPIS (Rod Position Information System) zu^{ENSI-2017-09-28}. Das ENSI betrachtet die vorgesehenen Änderungen als zielführende Massnahmen, um die Zuverlässigkeit des Systems zu verbessern und zukünftig meldepflichtige Vorkommnisse und ungeplante Instandhaltungen in dem System YV90 zu reduzieren.

4.4.14 Steuerstabantriebs-System (YV02-69)

Das Steuerstab-Antriebssystem YV muss in der Lage sein, bei einer SCRAM-Initialisierung die Steuerstäbe innerhalb der vorgegebenen Zeiten in den Reaktorkern einzuschleusen und den Reaktor in jedem Betriebszustand durch Einbringen von ausreichender Abschaltreaktivität abzustellen.

Zu den betrieblichen Funktionen gehört die Kontrolle der Reaktorleistung beim An- und Abfahren sowie im Leistungsbetrieb. Mit dem System ist im Leistungsbetrieb die Einhaltung der Brennstoffgrenzwerte bei optimaler Brennstoffausnutzung durch Einstellen einer entsprechenden radialen und axialen Leistungsverteilung gewährleistet.

Das System YV dient dem Schutzziel „Kontrolle der Reaktivität“.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

Im Überprüfungszeitraum wurden 16 Vorkommnisse registriert, von denen insgesamt acht als meldepflichtige Ereignisse eingestuft wurden.

Drei meldepflichtige Vorkommnisse traten bei der Durchführung einer Systemfunktionsprüfung durch ein fehlerhaftes Einfahren bzw. Ausfahren eines Steuerstabs auf. Die defekten Fahrwasserventile wurden ausgetauscht.

Eine SCRAM-Laufzeitüberschreitung konnte auf eine Fehlfunktion des Vorsteuer-Magnetventils zurückgeführt werden. Als Folgemaßnahme wurden mehrere vorbeugende Instandhaltungsarbeiten für die SCRAM-Einlass-, Auslass- und Vorsteuer-Magnetventile vorgezogen. Als eine weitere mögliche Ursache konnte eine schräg angezogene Stopfbuchse eines SCRAM-Einlassventils identifiziert werden.

Eine weitere Laufzeitüberschreitung trat an einem SCRAM-Einlassventil aufgrund einer Kupplung zwischen Antriebsspindel und Ventilspindel auf, die nicht ordnungsgemäß montiert war. Weiter war die Stopfbuchse zu stark und asymmetrisch angezogen. Dies wird in Zukunft durch eine angepasste Instandhaltungsanweisung vermieden.

Schliesslich traten drei meldepflichtige Ereignisse durch Fehlbedienung des Operators bzw. durch nicht sachgemäß durchgeführte Instandhaltungsarbeiten auf. Als Folgemaßnahme der Vorkommnisse wurden die Vorschriften, Arbeitsabläufe und Kontrollen (z. B. mit Hilfe von Schulungsmassnahmen) verbessert.

Störungen im System

Im Überprüfungszeitraum gab es 93 Störmeldungen, bei welchen eine Gefährdung einer Systemfunktion oder eine potentielle Verletzung einer Auslegungseigenschaft vorlag. Hiervon betrafen 74 die hydraulische Steuereinheit (inkl. den SCRAM-Ein- und Auslassventilen, Magnet-Vorsteuerventilen, Fahrwasserventilen, SCRAM-Akkumulatoren und elektronischen Bauteilen). Darüber hinaus kam es mehrfach im Bereich des Fahrwassersteuerblocks zu Leckagen. Die betroffenen Fahrwasserventile konnten ersetzt werden und werden aufgrund der Anfälligkeiten nunmehr periodisch ausgetauscht. Weitere aufgetretene störungsbedingte Meldungen betrafen die Druckschalter der hydraulischen Steuereinheit. Der Austausch war aufgrund der Ersatzteilversorgung ohne weiteres möglich.

Die Ereignisse führten zu keiner Anforderung von Begrenzungs- oder Schutzsystemen. Die SCRAM-Funktion des Steuerstabantriebssystems wurde im Ganzen nicht beeinträchtigt.

Alterungsüberwachung

Gemäss Angaben des KKL wurden Abklärungen zur Spannungsrisskorrosion verursacht durch halogenidhaltige Materialien begonnen. Zudem wurden Sonderprüfungen (Farbeindringprüfungen) im Rahmen von wiederkehrenden Arbeiten an den potentiell betroffenen Komponenten durchgeführt.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Das ENSI bewertet die Anzahl der aufgetretenen Vorkommnisse in dem System als hoch, was sich jedoch vor dem Hintergrund relativiert, dass das System aus 149 Steuerstabantriebseinheiten besteht.

Die drei meldepflichtigen Vorkommnisse bei der Durchführung einer Systemfunktionsprüfung, die zu einem fehlerhaften Einfahren bzw. Ausfahren eines Steuerstabs führten, sind aus Sicht des ENSI mit dem Austausch der defekten Fahrwasserventile behoben. Seit 2010 trat diese Art von Fehler nicht mehr auf.

Die SCRAM-Laufzeitüberschreitung aufgrund einer Fehlfunktion des Vorsteuer-Magnetventils hatte keine unzulässigen sicherheitstechnischen Auswirkungen. Die vom Betreiber ergriffen Massnahmen am Vorsteuer-

Magnetventil sowie die vorgezogenen, vorbeugenden Instandhaltungsarbeiten für die SCRAM-Einlass-, Auslass- und Vorsteuer-Magnetventile bewertet das ENSI als sachgerecht.

Die Laufzeitüberschreitung an einem SCRAM-Einlassventil aufgrund einer Kupplung zwischen Antriebsspindel und Ventilspindel, die nicht ordnungsgemäss montiert war, bewertet das ENSI als Einzelfehler. Dieser wurde behoben. Die zu stark und asymmetrisch angezogene Stopfbuchse bewertet das ENSI als einen unnötigen Wiederholungsfehler aufgrund unzureichender Instandhaltung. Die angepasste Instandhaltungsanweisung AW/14/0009 zur Vermeidung von Wiederholungen des Ereignisses betrachtet das ENSI deshalb als erforderlich.

Die drei meldepflichtigen Ereignisse durch Fehlbedienung des Operators bzw. durch nicht sachgemäss durchgeführte Instandhaltungsarbeiten bewertet das ENSI als teilweise unnötige Wiederholungsfehler. Das ENSI hat sich im Rahmen der Vorkommnis-Bearbeitung davon überzeugt, dass die administrativen Massnahmen (z. B. mithilfe von Simulator-Schulungen) so verbessert wurden, dass das Auftreten von gleichartigen Fehlern zukünftig stark reduziert wird.

Störungen im System

Aus Sicht des ENSI ist die Anzahl von 93 Störmeldungen, bei welchen eine Gefährdung einer Systemfunktion oder eine potentielle Verletzung einer Auslegungseigenschaft vorlag, in dem Überprüfungszeitraum von zehn Jahren hoch.

Das ENSI bewertet es als positiv, dass alle Störungen, welche insbesondere im Bereich der hydraulischen Steuereinheit auftraten, zeitnah behoben wurden.

Den nunmehr periodisch durchgeführten Austausch der Fahrwasserventile bewertet das ENSI als zielführende Massnahme, um zukünftige ungeplante Störungen in diesem Bereich zu verringern.

Die Betriebsbereitschaft der SCRAM-Funktion des Steuerstabantriebssystems war gemäss Beurteilung des ENSI entsprechend den Anforderungen der „Technischen Spezifikation“ zu jedem Zeitpunkt gegeben. Gleichwohl wurde die Funktion einzelner Steuerstäbe beeinträchtigt und die aufgetretenen Störungen hatten teilweise systematischen Charakter. Das ENSI wird daher weiter beobachten, ob die getroffenen Änderungen an der Instandhaltung sowie der administrativen Massnahmen eine deutliche Verbesserung des Betriebsverhaltens hinsichtlich Störungen und internen Vorkommnissen erzielt hat.

Alterungsüberwachung

Aufgrund von verschiedenen externen Erfahrungen zu Spannungsrisskorrosion verursacht durch halogenidhaltiges Material wurde eine generelle Abklärung im KKL zu diesem Thema begonnen. Es wird in Kap. 4.4.10 der vorliegenden Stellungnahme bewertet.

4.4.15 Vergiftungssystem (TW)

Das Vergiftungssystem TW besteht aus einem elektrisch beheizten Vorratsbehälter, gefüllt mit einer Lösung aus mindestens 15,7 % Natrium-Pentaborat, zwei redundanten Einspeisesträngen mit je einer Kolbenpumpe, einem Explosionsventil und einem Ansaugventil. Über eine Sammelleitung, die an die Hochdruckkernsprüh-system-Einspeiseleitung angeschlossen ist, speist das System in den RDB. Elektrisch sind die Komponenten der Stränge über die Notstromversorgung der Div. 11 und 21 versorgt.

Das Vergiftungssystem ist ein Sicherheitssystem im Dienste des Schutzziels „Kontrolle der Reaktivität“.

Angaben des KKL

Alterungsüberwachung

Gemäss den Angaben des KKL wurden aufgrund von ungünstigen externen Betriebserfahrungen Abklärungen zur Spannungsrissskorrosion, die durch halogenidhaltige Materialien verursacht wird, begonnen. Zudem wurden Sonderprüfungen (Farbeindringprüfungen) im Rahmen von wiederkehrenden Arbeiten an den potenziell betroffenen Komponenten durchgeführt.

Für eine Anschlussnaht der Rohrleitung TW10Z010 an das HPCS wurde eine erhöhte Ermüdungsbeanspruchung postuliert und Spannungsrissskorrosion aufgrund der vorherrschenden Temperatur unterstellt. Es wurden daraufhin vom KKL zusätzliche volumetrische Prüfungen veranlasst.

Beurteilung des ENSI

Alterungsüberwachung

Das Thema Spannungsrissskorrosion, die durch halogenidhaltige Materialien verursacht wird, ist in Kap. 4.4.10 der vorliegenden Stellungnahme bewertet.

Die Anschlussnaht der Rohrleitung TW10Z010 wurde nach dem Überprüfungszeitraum im Jahr 2016 erstmalig geprüft. Die Prüfung wurde durch das ENSI inspiziert und mit dem Inspektionsbericht ENSI 12/2280^{ENSI 12/2280} dokumentiert.

4.4.16 Nebenkühlwassersystem (VF)

Das Nebenkühlwassersystem übernimmt die anfallende Abwärme vom nuklearen und konventionellen Zwischenkühlwassersystem sowie von betrieblichen Hilfskühlkreisläufen und gibt sie an den Rhein ab. Als Hilfsystem unterstützt das Nebenkühlwassersystem die Einhaltung des Schutzziels „Kühlung der Brennelemente“. Darüber hinaus hat das Nebenkühlwassersystem in seiner betrieblichen Funktion das verdampfende Kühlturmwasser zu ersetzen.

Angaben des KKL

Änderungen

Im Überprüfungszeitraum wurden mehrere Anlagenänderungen durchgeführt. Einige Anlagenänderungen wurden aufgrund von technologischer Alterung ausgeführt. Sie dienen der Verbesserung bzw. Vereinfachung der Instandhaltung und tragen so zum Erhalt der Systemfunktionen bei. Durch diese Änderungen wird der Weiterbetrieb des Systems sichergestellt.

Ausnahmen davon sind die Anlagenänderung zur Optimierung der Wassermengen im Loop 0 und die Blendenänderungen VF71/72, um die Wassermenge im Loop A/B auf den Auslegungswert anzuheben.

Störungen im System

Es gab im Überprüfungszeitraum keinen negativen Einfluss auf die Verfügbarkeit. In den Jahren 2010, 2012 und 2014 war die Anzahl der Störmeldungen grösser als 75 pro Jahr. In den restlichen sieben Jahren des Überprüfungszeitraums lag sie unter 70 pro Jahr, sodass von einer relativ gleichmässigen Verteilung der Störmeldungen über den Überprüfungszeitraum gesprochen werden kann. Es lässt sich eine leicht abnehmende Tendenz in den letzten Jahren feststellen, was auf die verbesserten Instandhaltungs-Massnahmen und die Vielzahl durchgeführter Anlagenänderungen zurückzuführen ist.

Prüfprogramm

Einige Befunde betrafen das sogenannte Verbacken von Sicherheitsventilen, das auch in anderen Systemen aufgetreten ist.

Alterungsüberwachung

Als relevante Alterungsmechanismen wurden vom KKL Korrosion (Flächen-, Mulden-, Spalt- oder Taupunkt-korrosion) sowie Erosion identifiziert. Mit den auf diesen Erkenntnissen erstellten Langzeitkonzepten für die Instandhaltung, die wiederkehrenden Prüfungen und die Systemfunktionstests werden gemäss dem KKL die relevanten Alterungsvorgänge der Komponenten rechtzeitig erkannt und verfolgt.

Beurteilung des ENSI

Änderungen

Die Änderungen sind aufgrund nicht mehr verfügbarer Ersatzteile oder Abnutzung erfolgt. Das ENSI bewertet den eingeleiteten Austausch der Pumpen, die häufigere Reinigung und Inspektion der Einlaufstrassen und Wärmetauscher sowie die vorgesehene grossflächige Sanierung hinsichtlich Korrosionsschutzes in Loop A und B als sinnvoll, um die Verfügbarkeit des Systems weiter zu verbessern.

Die Anlagenänderung zur Optimierung der Wassermengen im Loop 0 und die Blendenänderungen VF71/72, um die Wassermenge im Loop A/B auf den Auslegungswert anzuheben, bewertet das ENSI als eine erforderliche Massnahme, um den auslegungsgemässen Zustand wieder herzustellen.

Störungen im System

Die Anzahl der Störmeldungen ist aus Sicht des ENSI relativ hoch. Die Störungen sind vielfach durch das unreine Flusswasser begründet (Sandeintrag, Korrosion, Muschelbefall etc.). Mit den oben beschriebenen Anlagenänderungen hat das KKL entsprechende Abhilfemassnahmen ergriffen und eingeleitet.

Prüfprogramm

Das Verbacken von Sicherheitsventilen betrifft mehrere Systeme und wird daher in einer gesamthaften Beurteilung in Kap. 4.4.9 der vorliegenden Stellungnahme behandelt.

Der SVTI und das ENSI kommen zum Schluss, dass alle visuellen Prüfungen und die System- und Komponentenbegehungen am Nebenkühlwassersystem gemäss gültigem Wiederholungsprüfprogramm durchgeführt und die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 und der Richtlinie ENSI-B06 erfüllt wurden.

Alterungsüberwachung

Das ENSI hatte 2011 bei der Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-B01 das KKL aufgefordert, eine Bewertung der beschichteten Nebenkühlwasserleitungen hinsichtlich der Alterungsvorgänge vorzunehmen. Dies wurde im überarbeiteten Steckbrief, welcher nach dem Überprüfungszeitraum eingereicht wurde, umgesetzt. Bei den regelmässig durchgeführten Inspektionen der Innenbeschichtung der Nebenkühlwasserleitungen wurde deren Verschlechterung festgestellt. Daher ist eine Sanierung der Innenbeschichtung geplant, mit dem Ziel die Verfügbarkeit über die nächsten 40 Jahre sicherzustellen und die metallische Leitung vor Korrosion zu schützen. Das ENSI sieht diese Massnahmen als zielgerichtet und ausreichend an.

4.4.17 Lüftungstechnische Anlage Primärteil (TL)

Betriebliche Funktionen der Lüftungstechnischen Anlage Primärteil sind die Versorgung der Gebäude mit aufbereiteter Aussenluft, die Einhaltung von Raumtemperaturen und Gebäudeunterdrücken, das Abführen von Wärmelasten aus den Räumen im Normalbetrieb sowie das Filtrieren der Abluft und die Abfuhr von luftgetragener Radioaktivität.

Zu den sicherheitsrelevanten Funktionen gehören brandschutztechnische Aspekte wie das Schliessen der Brandschutzklappen und die Rauchfreihaltung von Fluchtwegen, die Isolation des Sekundär-Containments und das Kühlen der Räume mit sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten. Ferner gehört das Hydrogen-Mixing-System zur Vermeidung eines zündfähigen Wasserstoffgemischs zur Lüftungstechnischen Anlage Primärteil.

Angaben des KKL

Änderungen

Es wurde eine Reihe von Anlagenänderungen in der Lüftungstechnischen Anlage Primärteil durchgeführt. Unter anderem waren die Änderungen durch die technologische Alterung des Systems begründet sowie zur Erhaltung der Verfügbarkeit notwendig. Ferner wurden Anlagenänderungen zur Verbesserung der Überwachung von Komponenten und Vereinfachung der Instandhaltung vorgenommen.

Der Systemzustand der Lüftungsanlage der Aktivwerkstatt (AWE) war verbesserungswürdig. So fanden im Überprüfungszeitraum Nachrüstungen in den Bereichen Partikelzählung und Kältemaschine statt. Im Bereich der Lüftungsanlage der Aktivwerkstatt fanden eine Reihe von Verbesserungen wie das Zonenkonzept Monoblock AWE, die Nachrüstung einer Probenahme am AWE-Ablufffilter und die Modifikation der Kompressorsteuerung statt.

Momentan sind weitere Nachrüstungen in den Bereichen Unterdruckhaltung und Kontaminationsverschleppung im Demontageraum und Unterdruckhaltung der Abluffleitung durch Booster-Ventilatoren in Bearbeitung.

Die Projekte NAMOD (Modernisierung von Nebenanlagen) und ANIS+ (Erweiterung des Anlageninformationssystems) werden weiterhin aktiv fortgesetzt. Das Projekt ANIS+ umfasst Modernisierungen der betrieblichen Leittechnik des KKL im Anlageninformationssystem ANIS. Es ist in mehrere Modernisierungsschritte unterteilt.

Beurteilung des ENSI

Änderungen

Durch die durchgeführten Änderungen bzgl. technologische Alterung und der Erhöhung der Verfügbarkeit durch Austausch von Elektronikkarten und den Ersatz der Feuchtfühler Drywell wird eine hohe Zuverlässigkeit des Systems erhalten und die Instandhaltung vereinfacht.

Das ENSI beurteilt die Massnahmen und die Änderungen der Lüftungsanlage der Aktivwerkstatt als eine Anpassung an den Stand der Technik hinsichtlich einer Reduzierung möglicher Kontaminationsverschleppung sowie als eine Verbesserung bei der radiologischen Überwachung. Die Projekte NAMOD und ANIS+ dienen der Anpassung des Systems an den Stand der Technik. Hierdurch wird die Überwachung und Steuerung im Normalbetrieb und bei Transienten verbessert.

4.4.18 Kälteanlagen kontrollierte Zone (UF-UF29)

Die Kaltwasseranlage versorgt einschliesslich der Umluftkühler im Containment nur betriebliche Systeme mit Kühlwasser und gibt die Wärme an das Nebenkühlwassersystem ab. Ein Teil der Komponenten des Systems gehört zur Containmentisolation, mit der die Einhaltung des Schutzziels „Einschluss radioaktiver Stoffe“ sichergestellt wird.

Angaben des KKL

Störungen im System

Im Jahr 2010 kam es aufgrund eines Steuerungsproblems zu einem Totalschaden am Kompressor UF13 D900 und in 2014 zu einem Beinahe-Versagen des Aggregats UF12 D900 aufgrund eines Nichtabschaltens.

Insgesamt trat über den gesamten Zeitraum eine Reihe von Störungen unterschiedlicher Art im Bereich der Leittechnik auf. Es wurde daher damit begonnen, die Steuerung von Sulzer durch Simatic S7 zu ersetzen.

Instandhaltung

In der Vergangenheit waren öfter Befunde festzustellen, welche auf mangelnde vorbeugende Instandhaltung hinwiesen. Grund hierfür ist, dass es zu wenige Möglichkeiten gibt, Instandhaltungsarbeiten auszuführen, da auf das Kaltwassersystem in der Jahresrevision nicht generell verzichtet werden kann. Wenn das System

ausser Betrieb ist, ist keine Kühlung in der kontrollierten Zone vorhanden, was zu erschwerten Arbeitsbedingungen führt. Um die Situation in Zukunft zu verbessern, d. h. um das System während der Jahreshauptrevision ausser Betrieb nehmen zu können, wird aktuell an einer Querverbindung UF/UV21 gearbeitet.

Beurteilung des ENSI

Störungen im System

Den Umbau der Steuereinheit beurteilt das ENSI als Massnahme zur Verbesserung der Verfügbarkeit und Reduzierung von Anlagentransienten, um dadurch betriebliche Ausfälle zukünftig zu verringern.

Instandhaltung

Die Umsetzung der Querverbindung UV21-UF wird vom ENSI begrüsst und als notwendige Voraussetzung bewertet, um zukünftig wichtige Instandhaltungsarbeiten während der Revision an den Kälteanlagen durchführen zu können. Daher ergibt sich folgende Forderung:

Forderung 4.4-2

Das KKL hat nach der Umsetzung der Querverbindung UV21-UF bis zum 15. Dezember 2019 das überarbeitete Instandhaltungskonzept dem ENSI einzureichen.

4.4.19 Lüftungsanlagen Hauptkommandoraum, Notsteuerstellen, Betriebsgebäude und ZE-Elektorräume (UV10–UV42)

Die Lüftungs- und Klimaanlage UV10 bis UV42 haben die betriebliche Aufgabe den Hauptkommandoraum, die Notsteuerstellen und Elektroräume zu klimatisieren. Als Sicherheitsfunktionen dieser Anlagen sind die Wärmeabfuhr und Überdruckhaltung im Hauptkommandoraum sowie dessen Versorgung mit gefilterter Aussenluft bei hoher Aussenluftaktivität einzuordnen. Darüber hinaus sorgen die Lüftungs- und Klimaanlage in den Notsteuerstellen für eine ausreichende Kühlung der installierten Sicherheitsleittechnik der Div. 11, 21 sowie 31 und ermöglichen dem Betriebspersonal im Anforderungsfall durch den Umluftbetrieb den sicheren Aufenthalt in den Notsteuerstellen, um die Reaktoranlage abzufahren. Die sicherheitstechnischen Funktionen dienen damit der Gewährleistung einer auslegungsgemässen Kühlung der Räume der Sicherheitsleittechnik und der Begrenzung der Strahlenexposition des Betriebspersonals.

Angaben des KKL

Änderungen

Die Lüftungsanlagen wurden im Wesentlichen aufgrund nicht mehr lieferbarer Komponenten und nicht zulässigem Kältemittel an die geänderten Anforderungen angepasst.

Es wurden Änderungen durchgeführt, welche eine Verbesserung der Auslegung mit sich brachten, wie der Einbau einer zusätzlichen Filterwand in der Zuluft des Systems UV10 und die Installation zusätzlicher Brandmelder im Reaktorhilfsanlagengebäude. Hierfür wurde in jeder Notsteuerstelle eine neue Brandmeldegruppe mit mehreren Meldern eingerichtet, die auf bestehende Brandschutzklappen wirken. Die zusätzlichen Brandmelder im Nahbereich der Ansaugöffnungen der Aussenluftnotsysteme der drei Notsteuerstellen sind zusammen mit der Brandfallsteuerung so ausgeführt, dass bei einem Aussenbrand die Zuführung von Brandgasen in die Notsteuerstellen verhindert wird.

Besondere Wichtigkeit hat der Ersatz des Kältemittels für die Kältemaschinen der Notsteuerstellen. Die Kältemaschinen der Notsteuerstellen wurden während des Überprüfungszeitraums noch mit dem Kältemittel R22 betrieben. Das Nachfüllen dieses Kältemittels ist seit 2015 verboten. Das KKL hat für die Kältemaschinen eine Ausnahmegewilligung für das Nachfüllen des Kältemittels bis Mitte 2016 beantragt.

Beurteilung des ENSI

Änderungen

Der Einbau der zusätzlichen Filterwand in der UV10-Zuluft ist zielführend, da hiermit der Partikeleintrag in elektrotechnische Räume des Betriebsgebäudes sowie in die Notsteuerstellen reduziert werden konnte.

Mit der Installation der zusätzlichen Brandmelder im Reaktorhilfsanlagengebäude wird die behördliche Forderung nach einer Branddetektion im Nahbereich der Ansaugöffnungen der Notzuluft-Systeme für die drei Notsteuerstellen umgesetzt. Mit den zusätzlichen Brandmeldern wird nach Beurteilung des ENSI die Detektierung und Bekämpfung externer Brände verbessert und die Brandmeldeanlage dem Stand der Technik angepasst.

Die Umrüstung der Kältemaschinen in den Notsteuerstellen auf das Kältemittel R422D ist zwischenzeitlich abgeschlossen^{KKL-Rev-T-2016}. Das ENSI beurteilt sie als eine Anpassung an den Stand der Technik, um die gesetzlichen Anforderungen an den Umweltschutz zu erfüllen.

4.4.20 Brennelementbeckenkühlung (TG)

Das Lagerbeckenwasser-Kühl- und Reinigungssystem ist ein Betriebssystem und dient der Kühlung der Brennelemente in den Lagerbecken im Containment und im Brennelementlagergebäude. Zusätzlich besitzt das System zwei Filterstränge zur Reinigung des Wassers in den Lagerbecken.

Eine ausreichende Überdeckung der Brennelemente mit Wasser dient der Abschirmung von ionisierender Strahlung. Das System ist damit auch dem Schutzziel „Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung und des Betriebspersonals“ zuzuordnen. Bei einem Ausfall des Systems TG kann die Nachkühlfunktion auch vom TH-System übernommen werden.

Angaben des KKL

Vorkommnisse

Es traten sechs Vorkommnisse auf, von denen zwei meldepflichtig waren.

Die CRUD-Entfernungsarbeiten aus dem Brennelementlagerbecken führten in 2007 zu einer lokal erhöhten Dosisleistung an der Absperrarmatur TG10 S001. Es wurde eine Ortsdosisleistung von 5250 mSv/h gemessen. Zwei weitere, nicht meldepflichtige Vorkommnisse während des Überprüfungszeitraums betreffen ebenfalls erhöhte Dosisleistungen, die vermutlich auf CRUD-Ablagerungen zurückzuführen sind. Massnahmen zur Vermeidung eines entsprechenden Vorfalls in der Zukunft umfassen das Projekt PEAK (Verhindern der Bildung von radioaktiven Partikeln bei Mess-, Reparatur- oder Entsorgungsarbeiten), den Einbau eines Filters in das Scavenger-System, organisatorische Massnahmen zur Verhinderung von Verschleppung bei Beckenreinigungsarbeiten sowie konstruktive Massnahmen am Überlauftank TG20 B001 (Überlaufkragen).

In 2015 kam es aufgrund einer Materialschwächung an einer Schweissnaht zu einer Kleinstleckage an der Leitung TG20 Z040. Es wurde ein neues Rohrstück eingeschweisst.

Änderungen

Es wurden im Überprüfungszeitraum neun Anlagenänderungen in dem System vorgenommen, vier davon in dem Bereich Radwaste-Sanierung.

Die temporär installierte Abschirmung der Rohrleitung TG30 Z023 wurde aufgrund eines WANO-Peer-Reviews in 2014 durch eine dauerhafte Lösung ersetzt und die Erdbebentauglichkeit rechnerisch nachgewiesen.

In 2007 erfolgte der Ersatz der Niveaumessung 10TG30 L002 durch eine Radarsonde, um die Ersatzteilverfügbarkeit sicherzustellen. Die neue Ausführung entspricht dem Stand der Technik.

Mit der Radwaste-Sanierung wurde ab 2008 die Radwaste-Leittechnik durch eine Steuerung der Produktlinie Siemens-S7 erneuert. Es ergeben sich hiermit ebenfalls neue Möglichkeiten bezüglich Bedienbarkeit und die Ersatzteilsituation ist für die Zukunft sichergestellt.

In 2013 wurden Kommandoraum-Schreiber aufgrund der Ersatzteilverfügbarkeit ersetzt.

In 2015 wurde ein Überlaufkragen beim Ablauf des Überlauftanks TG20 B001 installiert (Folgemassnahme aus dem Vorkommnis „Lokal erhöhte Dosisleistung an Armatur TG10S001“). Dadurch werden eingebrachte Fremdkörper zurückgehalten und können bei Bedarf besser entfernt werden, ohne dass die Fremdkörper durch den Ablauf in die Verrohrung und Pumpen gelangen können.

In 2014 wurde aufgrund einer ENSI-Forderung nach den Ereignissen von Fukushima eine störfallfeste Instrumentierung des Brennelementlagerbeckens realisiert. Mit dieser können die Brennelementlagerbecken-Temperatur und der Brennelementlagerbecken-Füllstand auch nach schweren Erdbeben-Ereignissen überwacht werden.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse

Das meldepflichtige Vorkommnis „Lokal erhöhte Dosisleistung an Armatur TG10S001“ hat zu einer Verschlechterung der radiologischen Situation in dem Anlagenraum ZD04 R105 geführt. Es erfolgte im Rahmen des Vorkommnisses keine Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung. Das ENSI wertet die vom Betreiber eingeleiteten Massnahmen als sinnvoll und erforderlich, um zukünftig eine Wiederholung zu vermeiden. Dieses Vorkommnis sowie die beiden weiteren genannten, nicht meldepflichtigen Vorkommnisse zeigen exemplarisch, dass es durch die Mobilisierung von CRUD-Ablagerungen zu einer Verschlechterung der radiologischen Situation an anderen Orten kommen kann. Das KKL ist sich dieser Problematik bewusst und führt deshalb eine situativ immer wieder angepasste Hotspot-Liste, in der diese Änderungen der lokalen Ortsdosisleistung dokumentiert werden (vgl. Kap. 3.4). Die gesetzlichen Grenzwerte für die Personendosen und die Umgebung wurden eingehalten.

Das meldepflichtige Vorkommnis „Kleinstleckage an klassierter Leitung TG20 Z040 bei TG20 S112“ führte zu keiner Verletzung der gesetzlichen Grenzwerte. Die Brennelementkühlung erfolgte gemäss den Vorgaben der „Technischen Spezifikation“. Die Leckage wurde ordnungsgemäss behoben.

Änderungen

Das ENSI bewertet den Ersatz der temporär installierten Abschirmung durch eine dauerhafte Lösung als eine betriebliche Verbesserung des radiologischen Arbeitsschutzes. Die Tatsache, dass die Änderung durch ein WANO-Peer Review angestossen werden musste, zeigt hingegen ein Verbesserungspotential bei der Planung von Anlagenänderungen des KKL.

Das ENSI bewertet die Änderungen zur Sicherstellung der Ersatzteilverfügbarkeit positiv.

Die Installation eines Überlaufkragens beim Ablauf des Überlauftanks TG20 B001 verbessert die Möglichkeit eingebrachte Fremdkörper zurückzuhalten und bei Bedarf besser entfernen zu können, ohne dass diese durch den Ablauf in die Verrohrung und Pumpen gelangen können. Der radiologische Arbeitsschutz wird dadurch verbessert.

Die Installation einer störfallfesten Instrumentierung des Brennelementlagerbeckens verbessert die Überwachung der Brennelementlagerbecken-Temperatur und des Brennelementlagerbecken-Füllstands auch nach extremen Ereignissen und verbessert dadurch insbesondere die Möglichkeiten zur Störfallbeherrschung auf den Sicherheitsebenen 3 und 4.

4.4.21 Hauptkondensatsystem (RM)

Das Hauptkondensatsystem hat die Aufgabe, Kondensat aus dem Hotwell des Kondensators mittels der Hauptkondensatpumpen über die Kondensatreinigung und die Niederdruckvorwärmer in den Speisewasserbehälter zu fördern. Nach den Hauptkondensatpumpen und vor der Kondensatreinigung wird im Anforderungsfall Einspritzwasser für den Turbinenbypass abgezweigt.

Das Hauptkondensatsystem ist ein Betriebssystem und hat keine sicherheitstechnische Funktion. Mit der Bereitstellung von Einspritzwasser für den Turbinenbypass unterstützt es eine Begrenzungsfunktion.

Angaben des KKL

Instandhaltung

Aufgrund von Erosionsvorgängen waren die Niederdruck-Vorwärmer 1, die Expansionsgefäße und die Anzapfleitungen 1 stark geschädigt und wurden im Rahmen einer Änderung ersetzt. Die Niederdruck-Vorwärmer 2 werden periodisch überprüft und bei Notwendigkeit ebenfalls saniert.

In der JHR 2015 wurde die Rückschlagklappe RF22 S001 einer Totalrevision unterzogen. Dabei wurde festgestellt, dass eine falsche Gehäuse-Spiraldichtung eingebaut war. Das KKL plant daher eine generelle Überprüfung aller Spiraldichtungen in den Rückschlagklappen im Maschinenhaus und bei Notwendigkeit auch auf der Primärseite der Anlage.

Beurteilung des ENSI

Instandhaltung

Das ENSI erachtet den Austausch der Niederdruck-Vorwärmer 1 als zielführend, um die Funktion des Systems sicherzustellen und Leckagen zu vermeiden. Es ist sinnvoll, dass die Niederdruck-Vorwärmer 2 periodisch überprüft werden und bei Notwendigkeit auch hier eine Sanierung vorgenommen wird. Das ENSI sieht die vom KKL eingeleiteten Massnahmen als ausreichend an.

Der Einbau von falschen Spiraldichtungen in den Rückschlagklappen wird generell vom KKL überprüft, da bei abweichenden Dichtungen nicht mehr die volle Dichtwirkung erzielt werden kann. Falls weitere Befunde auftreten, wird vom KKL der Umfang der Überprüfung auf weitere Systeme erhöht, die Spiraldichtungen werden ersetzt. Das ENSI sieht diese Massnahme als zielführend und zurzeit als ausreichend an. Das ENSI wird die Untersuchungen weiter überwachen.

4.4.22 Reaktorwasserreinigungssystem (TC)

Das Reaktorwasserreinigungssystem erfüllt vornehmlich betriebliche Funktionen. Zum einen hat das System die vorgeschriebene Reaktorwasserqualität durch mechanisches Ausfiltern ungelöster und durch Ionenaustausch gelöster Verunreinigungen in jeder Betriebsart sicherzustellen, um Ablagerungen auf den Brennstoffhüllrohren zu minimieren und damit einen guten Wärmeübergang vom Hüllrohr zum Kühlmittel zu gewährleisten und sekundäre Strahlenquellen, wie aktivierte Korrosionsprodukte, Verunreinigungen und Spaltprodukte aus dem Primärkreislauf zu reduzieren. Zum anderen werden durch Ablassen überschüssigen Wassers ein Anstieg des Reaktorfüllstands in den Betriebsarten „Anfahren“, „Abfahren“ und „Heisse Bereitschaft“ verhindert sowie bei abgeschalteten oder auf Minimaldrehzahl laufenden Umwälzpumpen örtliche Überhitzungen und Temperaturschichtungen durch Umwälzen des heissen Kühlmittels in den Umwälzleitungen und im RDB-Bodenteil vermieden.

Angaben des KKL

Prüfprogramm

Im Überprüfungszeitraum wurden im Rahmen der Wiederholungsprüfungen einige Befunde festgestellt. Im Zeitraum von 2006 bis 2010 war vor der Instandhaltung in fünf Fällen der Ansprechdruck jeweils eines Sicherheitsventils ausserhalb der Toleranz. Die Integrität des Systems war zu keiner Zeit gefährdet. Das Prüfintervall wurde auf ein Jahr verkürzt. Bei den späteren Prüfungen (nach 2010) wurden die Anforderungen erfüllt.

In 2005 war die Armatur TC10 S016 aufgrund einer Sitzleckage undicht. Die Armatur konnte im Rahmen der Revision erfolgreich instandgesetzt werden.

Alterungsüberwachung

Im Überprüfungszeitraum wurden einige Abklärungen und Massnahmen vom KKL durchgeführt. Sie betrafen die Optimierung der Edelmetalleinspeisung, die thermische Ermüdung und die thermische Schichtungen sowie die Aufnahme der Prüfung von Gehäuse und Deckel der Pumpen in das Wiederholungsprüfprogramm.

Beurteilung des ENSI

Prüfprogramm

Einige Befunde betrafen das sogenannte Verbacken von Sicherheitsventilen, das auch in anderen Systemen aufgetreten ist. Das Problem ist im KKL gut bekannt und wird schrittweise behoben (vgl. Kap. 4.4.9). In den Jahren 2011 bis 2015 traten keine derartigen Befunde mehr auf.

Die Undichtheit an der Armatur TC10 S016 konnte behoben werden und hatte keine sicherheitstechnisch relevanten Auswirkungen. Die Wiederholungsprüfung an der Armatur, die 2013 fällig gewesen wäre, konnte aufgrund von Problemen bei der Ersatzteilbeschaffung erst in der JHR 2017 erfolgreich nachgeholt werden.

Der SVTI und das ENSI kommen zum Schluss, dass alle zerstörungsfreien Prüfungen und die System- und Komponentenbegehungen am Reaktorwasserreinigungssystem gemäss gültigem Wiederholungsprüfprogramm durchgeführt und die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 und der Richtlinie ENSI-B06 erfüllt wurden.

Alterungsüberwachung

Im Überprüfungszeitraum wurde der Steckbrief für das TC-System entsprechend der Richtlinie ENSI-B01 überarbeitet und dem ENSI eingereicht. Bei der Überarbeitung des Steckbriefs wurde festgestellt, dass Gehäuse und Deckel von zwei Pumpen aus einem für thermische Alterung anfälligen Material gefertigt und einer Temperatur > 250 °C ausgesetzt sind. Als Massnahme wurden die entsprechenden Bauteile in das Wiederholungsprüfprogramm aufgenommen. Das ENSI sieht die vom KKL eingeleitete Massnahme zurzeit als ausreichend an.

4.5 Elektro- und leittechnische Sicherheits- und Hilfssysteme

4.5.1 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

In den folgenden Kapiteln werden die elektro- und leittechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme des KKL hinsichtlich ihrer Betriebserfahrung, ihres Zustands und ihrer Auslegung entsprechend den Anforderungen des Kap. 5.3 „Sicherheitsrelevante Anlagenteile“ der Richtlinie ENSI-A03^{A03} beurteilt.

4.5.2 Überprüfung der Auslegungsvorgaben der SSK

Angaben des KKL

Die Überprüfung und Bewertung der Auslegungsvorgaben von SSK wurde vom KKL im Bericht „Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Elektrotechnik“^{PSU/72} auf Basis der Vorgaben des Kap. 5.3.1 der Richtlinie ENSI-A03 vorgenommen.

Der aktuelle Umfang der Komponentenlisten gemäss Richtlinie ENSI-G01 für die 1E-klassierten und 0E-klassierten elektrischen Ausrüstungen wurde vom KKL dargestellt. Im Rahmen der jährlichen KKL-Berichterstattung über die klassierten elektrischen Ausrüstungen und das Alterungsüberwachungsprogramm (AÜP) im Bereich Elektrotechnik wird diese Übersicht überprüft und aktualisiert, und es werden sämtliche aktuellen Komponentenlisten einschliesslich der dazugehörigen Komponententypenlisten der Systeme mit 1E-klassierten Komponenten offiziell ans ENSI abgegeben. Änderungen und Aktualisierungen der Dokumente werden u. a. durch Anlagenänderungen, alterungsbedingtem Ersatz von Komponenten oder Systemen, Änderungen im Regelwerk sowie formalen oder EDV-bedingten Korrekturen notwendig. Revisionen der Dokumente werden durch den TQM-Prozess „Dokumentation“ beschrieben und geregelt. Die darin beschriebenen Abläufe dienen

dazu, Änderungen qualitätsgesichert durchzuführen und die Richtigkeit der aktuell gültigen Dokumentation sicherzustellen.

Mit der Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-G01 im Januar 2011 ist die elektrische Klassierung „0E“ offiziell neu als Klassierungsgruppe definiert worden. Systeme, Strukturen und Komponenten bis zum Zeitpunkt der Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-G01 waren gemäss der bisherigen Richtlinie HSK-R-06 klassiert und als solche in der technischen Datenbank entsprechend erfasst. Die Richtlinie HSK-R-06 definierte die 1E-klassierten Ausrüstungen. Alle übrigen elektrischen Systeme und Komponenten, die nicht 1E-klassiert sind, galten als nicht klassiert und wurden als 0E bezeichnet. Die Festlegung der 0E-Klassierung nach Richtlinie ENSI-G01 erfordert nun systematische Bewertungen aller bisher als nicht 1E-klassierten Systeme oder Komponenten. Diese Bewertungen werden spezifisch, z. B. im Rahmen von Modernisierungsprojekten oder Anlagenänderungen, durchgeführt.

Die erforderlichen 0E-Komponentenlisten werden gemäss Anhang 4 der Richtlinie ENSI-G01 erstellt. Die Überprüfung auf Vollständigkeit und Richtigkeit der Komponentenlisten erfolgt im Nachgang zu den Bewertungsberichten der Systeme und Komponenten nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G01. Komponenten, welche eine Soll-Ist-Abweichung aufweisen, werden, sobald Ersatz erforderlich ist, im Rahmen von geplanten Anlagenänderungen oder Komponentenersatz getauscht.

Grundsätzlich entspricht die Auslegung der Systeme, Strukturen und Komponenten den Auslegungsvorgaben zum Zeitpunkt der Erteilung der Betriebsbewilligung. Die Freigabe zur Inbetriebnahme der elektro- und leittechnischen Systeme erfolgte systemweise. Vorgängig zur Inbetriebnahme wurden entsprechende Freigabeanträge an die Aufsichtsbehörde gestellt. Diese Anträge umfassten im Wesentlichen eine Auflistung aller gemäss den damals gültigen Regelwerken, Normen und Standards erforderlichen Vorgaben sowie die dazugehörigen Nachweise. Diese Vorgaben setzten sich im Wesentlichen aus Auslegungsanforderungen, Spezifikationen sowie den Prüf- und Qualifikationsanforderungen der Systeme zusammen. Die Nachweise zur Erfüllung der Auslegungsanforderungen bestanden in Form von Prüfprotokollen, Prüfberichten und weiteren gemäss den Richtlinien geforderten Unterlagen. Änderungen oder Modifikationen der Anlage basierten stets auf den Ursprungsunterlagen, um die Auslegungsbasis beizubehalten. Die Änderungen an elektro- und leittechnischen Ausrüstungen erfolgten stets in Übereinstimmung mit den jeweils gültigen Regelwerken.

Bis Dezember 2010 erfolgten Änderungen gemäss den Richtlinien HSK-R-23 (Stand Januar 2003) sowie HSK-R-31 (Stand Oktober 2003). Ab Juli 2008 bzw. Dezember 2010 erfolgten die Änderungen nach den neuen Richtlinien ENSI-A04 bzw. ENSI-B14. Das Einhalten der jeweils gültigen Regelwerke ist durch die systematische Vorgehensweise mit entsprechenden Zwischenschritten und Überprüfungspunkten gemäss den TQM-Prozessen „Anlagen Instandhaltung“ und „Änderung in der Anlage“ gewährleistet.

Zusammengefasst lassen sich für die elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen und für die Leitstellen aus der Sicht des KKL folgende Aussagen treffen:

- Die Ist-Auslegung erfüllt die anzuwendenden Auslegungsvorgaben vollumfänglich.
- Die Klassierung und Kategorisierung von Funktionen als Teil der übergeordneten Auslegungsvorgaben wird auf der Grundlage der im Überprüfungszeitraum neu erschienenen und in Kraft gesetzten Richtlinie ENSI-G01 derzeit überprüft. In diesem Prozess erkannte Differenzen zwischen Ist- und Soll-Auslegung werden dokumentiert und im Rahmen geplanter wie auch laufender Anlagenmodifikationen umgesetzt und geschlossen.

Beurteilung des ENSI

Das KKL stellt durch qualitätsgesicherte Prozesse, Abläufe und Anweisungen sicher, dass die Auslegung und Qualifikation der SSK im Bereich Elektro- und Leittechnik kontinuierlich bei Beschaffungen, Ersatz und Änderungen aufrechterhalten bleibt.

Mit dem Vorgehen zur Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten gemäss dem vorgelegten Bericht^{PSÜ/72} hat das KKL nach Beurteilung des ENSI die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A03 Kap. 5.3.1 erfüllt.

4.5.3 Übergeordnete Beurteilung der Betriebserfahrung und des Zustands der SSK

In der Tabelle 4.5-1 wird basierend auf den Darlegungen und Bewertungen des KKL für die elektro- und leittechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme die übergeordnete Beurteilung des ENSI zusammengefasst. Aus Sicht des ENSI zeigt die Auswertung der vorliegenden Betriebserfahrung, dass die Mehrzahl der elektro- und leittechnischen Sicherheits- und Hilfssysteme eine hohe Wirksamkeit und Zuverlässigkeit aufweist und in einem guten Zustand ist.

In den nachfolgenden Kapiteln wird nur noch auf Systeme eingegangen, die nach Beurteilung des ENSI wesentliche Änderungen erfahren haben oder die im Überprüfungszeitraum hinsichtlich Wirksamkeit und Zuverlässigkeit sowie des Zustands Auffälligkeiten zeigten. Die Kriterien für die Auswahl der Systeme entsprechen denen für die Auswahl der verfahrenstechnischen Systeme (vgl. Kap. 4.4.3).

Tabelle 4.5-1: Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der elektro- und leittechnischen Systeme

System	Klassierung	Vorkommnisse	Prüfprogramm	Änderungen	Instandhalt./ Störungen	Alterungsüberwachung	Auslegung	ENSI-Bewertung
Eigenbedarf und Notstromversorgung (A–D)	EKI/II, 1E/0E	X		X	X	X		Kap. 4.5.4
Notstromdieselsysteme (BN bis BZ)	EKI, 1E				X	X	X	Kap. 4.5.5
Sichere Schienen, Batterien, Verteilanlagen (EM-EY, FM-FZ)	div.					X	X	Kap. 4.5.6
Speiswasserregelung (YR)					X			Kap. 4.5.7
Sicherheitsrelevante Leittechnik und Leitstellen		X		X	X	X		Kap. 4.5.8
Seismische Instrumentierung (MS)				X				Kap. 4.5.9

4.5.4 Eigenbedarf und Notstromversorgung

Der Eigenbedarf und die Notstromversorgung (ohne die Notstromdieselsysteme, die in Kap. 4.5.5. behandelt werden) sind hier als System zusammengefasst und bestehen im Wesentlichen aus folgenden Teilsystemen oder Komponenten: Eigenbedarfstransformatoren BD, AF, BG, BH und CT, 50-kV-Schaltanlagen AD und AE, 10-kV-Schaltanlagen BE, BF und AJ, 6,6-kV-Schaltanlagen AG, BA, BB, BC, BM, BK und BL, 380-V-Hauptverteilungen CA bis CN, und 380-V-Unterverteilungen DA bis DW. Zugeordnet sind hier elektrische Komponenten wie Transformatoren, Schalter, Schütze, Schutzrelais, Sicherungen, die Schnellumschaltung und die elektrischen Messungen im Eigenbedarf. Die gesicherte Stromversorgung mit der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), den Batterien und den Gleichstromanlagen wird in Kap. 4.5.6 beschrieben.

Angaben des KKL

Vorkommnisse und Instandhaltung/Störungen im System

Im Überprüfungszeitraum wurden 15 Vorkommnisse im Bereich der 1E-/0E-klassierten Anlagen registriert, von denen vier als meldepflichtig eingestuft wurden. Im Bereich elektrisch nicht klassierter Anlagen wurden 26 Vorkommnisse registriert, von denen vier als meldepflichtig eingestuft wurden.

Das KKL kommt zum Schluss, dass die Anzahl der aufgetretenen Störungen in etwa gleichbleibend ist und somit keine Verschlechterung des Zustands der Ausrüstungen stattgefunden hat.

Im Bereich der Schaltanlagen nahm die Zahl der zufälligen Schaltfehler ab, dafür stieg die Zahl der Schaltfehler aufgrund von Mängeln bei Ersatzmaterialien, die in der Vorperiode noch keine Rolle spielten. Der altersbedingte Ersatz ist abgeschlossen, die Materialfehler sind eliminiert, sodass diesbezüglich künftig weniger Fehler zu erwarten sind.

Änderungen

Als Konsequenz aus einem Vorkommnis wurden Lastschalter vom Typ NSa durch Leistungsschalter mit einem elektronischen Schutz ersetzt, um eine Verbesserung des Abschaltverhaltens bei Kurzschlüssen zu erreichen.

Alterungsüberwachung

Im Jahr 2005 wurde eine alterungstechnische Analyse der in den 1E-klassierten Niederspannungs (NS)-Schaltanlagen eingesetzten elektrischen Betriebsmittel durchgeführt. Als Grundlage für die Analyse dienten die in den AÜP-Steckbriefen aufgeführten alterungstechnischen Einflussgrößen, wie insbesondere die Umgebungstemperatur und die Temperatur durch Eigenerwärmung infolge Strombelastung. Die relevanten AÜP-Steckbriefe für folgende Betriebsmittel wurden einbezogen: Leistungsschütze und Wärmepakete, Schmelzsicherungen, elektromechanische Relais, NS-Leistungsschalter und NS-Schaltanlagen. Basierend auf den Resultaten der durchgeführten Analyse wurden die elektrischen Betriebsmittel in den Schaltanlagen 21DE, 11DE/11DT, 61CM, 31CM/31CN/31DT und 11CM/11CN/11DQ/11DR über mehrere Etappen ersetzt. Einzelne Betriebsmittel, die im Rahmen dieses Ersatzprogramms vorgängig neu qualifiziert werden mussten, wurden nach der Freigabe durch die Behörde einem beschleunigten Alterungsversuch in einer Wärmebox unterzogen.

Gemäss der alterungstechnischen Analyse im Rahmen der Erstellung und Aktualisierung des Steckbriefs „Signalumformer ohne LOCA-Anforderung“ variiert die Lebensdauer der analogen Signalumformer zwischen 20 und 35 Jahren, teilweise kann die Lebensdauer sogar bis zu 50 Jahre betragen. Gemäss Hersteller sind die Signalumformer wartungsfrei, und ein präventiver Tausch von in den Umformern eingebauten Elektrolytkondensatoren ist aus sicherheitstechnischer Sicht nicht erforderlich. Seit der JHR 2012 werden die eingebauten Signalumformer von bisherigen Baureihen durch neue, qualifizierte Umformer der Baureihe SINEAX ersetzt.

Für 1E-klassierte Mittelspannungskabel führte das KKL eine AÜP-basierte alterungstechnische Analyse durch und leitete daraus Festlegungen zur Bestimmung des elektrischen Isolationsvermögens („Dielektrikum“) ab. Gemäss diesen getroffenen Festlegungen werden seit der JHR 2010 Diagnosemessungen gemäss Standard IEEE 400.2^{IEEE 400.2} an ausgewählten Kabelstrecken durchgeführt, um den Zustand des Dielektrikums zu ermitteln. Für die Messungen im Zeitraum von 2010 bis 2014 wurde eine zusammenfassende Auswertung und Bewertung erstellt. Die gemessenen Werte befinden sich sowohl unterhalb des Grenzwerts, welcher auf Grundlage der Erfahrungen der Messfirma festgelegt wurde, als auch unterhalb der von EPRI empfohlenen Grenzwerte. Die Kabel sind demnach weiterhin im betriebsbereiten Zustand.

Im Drywell ist für Niederspannungs-Leistungskabel mit 1E- und LOCA-Anforderungen eine Kabeldeponie eingerichtet. In der Deponie sind sowohl Kabel als auch Probekörper vom Isolationsmaterial eingelagert. Bei neu qualifizierten Kabeln werden Grundmessungen an Probekörpern als Ausgangsbasis durchgeführt und zusätzliche Probekörper für künftige Messungen eingelagert. In fest vorgegebenen Intervallen werden Kabelstücke und Probekörper entnommen und hieran Reissdehnungsprüfungen in einem akkreditierten Labor durchgeführt. Die Ergebnisse dienen dazu, die alterungsbedingten Veränderungen der verwendeten Isoliermaterialien voreilend gegenüber den in der Anlage eingebauten Kabeln zu überwachen und beurteilen zu können. Die durchgeführten Prüfungen zeigten bislang keine Anhaltspunkte für ein vorzeitiges Altern der Kabel. Ergänzend zur Kabeldeponie werden seit 2010 während der Jahreshauptrevision stichprobenartig Prüfungen an ausgewählten Kabelstrecken nach der LIRA-Methode (Line Resonance Analysis Method) durchgeführt, die durch das Institut für Energietechnologie in Halden, Norwegen entwickelt wurde. Die Bewertung der Messergebnisse wird durch die Fachleute einer externen Firma durchgeführt. Die gemessenen Kabel sind in einwandfreiem und betriebsbereitem Zustand und unterliegen keinen Einschränkungen.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse und Instandhaltung/Störungen im System

Angesichts der Vielzahl an 1E-/0E-klassierten und elektrisch nicht klassierten Anlagen des Eigenbedarfs und der Notstromversorgung ist die Anzahl der registrierten und der gemeldeten Vorkommnisse eher gering.

Brand in der Schaltanlage 10DG bei Rücksicherung des 380-V-Schalters 10DG45JM04

Am 18. August 2011 fand durch einen Kurzschluss mit Lichtbogen ein Brand in der elektrisch unklassierten Schaltanlage 10DG statt. Die nachträglichen Untersuchungen führten zu einem systematischen Einsatz von Leistungsschaltern mit dreipoligem Schutzauslöser (statt der bisherigen Lastschalter mit einphasiger Absicherung) in den Einspeisepfaden von 1E- und 0E-klassierten sowie elektrisch nicht klassierten Unterverteilungen. Das ENSI verfolgte die Abklärungen nach dem Brand in der Schaltanlage DG und erteilte die Freigabe für den Ersatz der einpoligen Lastschalter (Typ NSA) durch die Leistungsschalter (Typ Tmax) mit dreiphasiger Überwachung/Abschaltung. Dabei legte das ENSI Wert auf eine diversitäre Ausführung der programmierbaren Schutzauslösergeräte in verschiedenen Divisionen der elektrischen Versorgung, damit keine systematischen Ausfälle in allen Divisionen unterstellt werden müssen. Die Leistungsschalter werden in 1E- und 0E-klassierten sowie elektrisch nicht klassierten Anlagen eingesetzt, bei denen die Unterverteilungen örtlich weit entfernt von den Hauptverteilungen sind. Der vom KKL durchgeführte systematische Ersatz der einphasigen Absicherungen wird sicherheitstechnisch als Verbesserung gewertet, da die sicherheitstechnisch wichtigen Eigenbedarfs- und Notstrom-Unterverteilungen damit besser vor Beschädigungen geschützt sind.

Startversagen der SEHR-Grundwasserpumpe 51TF31D010 während SFT-BP51-07-03

Das meldepflichtige Vorkommnis „Unverfügbarkeit der SEHR-Grundwasserpumpen Div. 51 und Div. 61 im Jahr 2014“, eine Zusammenfassung von einzelnen nicht meldepflichtigen Schaltstörungen der zwei involvierten Niederspannungs-Leistungsschalter, führte seitens KKL zu mehreren Verbesserungsmassnahmen in Bezug auf die Instandhaltung der Niederspannungs-Leistungsschalter. Die einzelnen Schaltstörungen wurden vom ENSI detailliert untersucht, unter anderem im Rahmen einer vertiefenden und detaillierten Teaminspektion. Das ENSI bewertete die bisherige Instandhaltung dieser Schalter als ungenügend und fehlerhaft. Das vom KKL getroffene Massnahmenpaket wurde hingegen positiv als zielführend bewertet.

Änderungen

Der systematische Einsatz von Leistungsschaltern mit dreipoligem Schutzauslöser ist (siehe Beurteilung der Vorkommnisse) positiv zu bewerten.

Alterungsüberwachung

Das ENSI bewertet den durch das KKL durchgeführten systematischen Ersatz der elektrischen Betriebsmittel in 1E-klassierten NS-Schaltanlagen, der auf AÜP-basierte Analysen abstützt, als positiv und vorbildlich.

Auch die grundlegenden Abklärungen für die Signalumformer im Rahmen des AÜP mit den darauffolgenden systematischen Ersatzmassnahmen betrachtet das ENSI als vorbildlich.

Das KKL hat im Rahmen seines AÜP die Durchführung regelmässiger Massnahmen zur beständigen Überwachung der Kabelalterung der 1E-klassierten Mittelspannungskabel etabliert. Das ENSI bewertet diese Massnahmen als zielführend.

Ebenso werden die angewendeten AÜP-Methoden zur Überwachung der Kabelalterung der NS-Leistungskabel mit 1E- und LOCA-Anforderungen als zielführend beurteilt.

4.5.5 Notstromdieselsysteme A, B, HPCS, SEHR-A und SEHR-B (BN, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ)

Die KKL-Notstromsysteme werden von den drei örtlich separierten Diesel-Divisionen der Diesel A, B und HPCS versorgt. Die Notstandsysteme erhalten ihre elektrische Versorgung unabhängig davon von den zwei weiteren Diesel-Divisionen SEHR-A und SEHR-B.

Angaben des KKL

Instandhaltung/Störungen im System und Alterungsüberwachung

Im Zeitraum von 2000 bis 2016 wurden insgesamt 11 Ausfälle bei den Frequenzrelais erfasst. Seitens des Herstellers gibt es zu dieser Baugruppe keine Empfehlungen bezüglich präventiven Tauschs von Komponenten. Bei der externen Analyse der Ausfälle konnte als Ursache ein Aluminium-Elektrolytkondensator (Al-Elko) C17 identifiziert werden. Als Massnahme wurden im Jahre 2008 14 revidierte Geräte als Reserve beschafft. Bei den eingebauten Komponenten wurden im Rahmen der geplanten Instandhaltung sämtliche Al-Elkos C17 ersetzt und die Geräte anschliessend einer Prüfung unterzogen. Diese Kampagne wurde im Jahre 2016 erfolgreich abgeschlossen.

Auslegung

Das KKL betont den wichtigen Aspekt der Sicherstellung der Ersatzteilbeschaffung in längerer Zukunft, um die Verfügbarkeit der Notstromdieselsysteme langfristig gewährleisten zu können.

Beurteilung des ENSI

Das KKL hat aus Sicht des ENSI angemessene Massnahmen ergriffen, um die Schwachstelle des Kondensators bei den in der Anlage eingebauten Frequenzrelais zu eliminieren und die entsprechenden im Alterungsüberwachungsprogramm vorgesehenen Massnahmen zu verbessern.

Das ENSI bewertet die Aufmerksamkeit, die das KKL der langfristigen Verfügbarkeit der Notstromdieselsysteme widmet, als korrekt.

Die Notstrom- und Notstanddieselsysteme zeigen aus Sicht des ENSI auf Grundlage der eingereichten Unterlagen sowohl im Bereich der Maschinen- wie auch der Elektrotechnik einen guten allgemeinen Zustand und, mit Ausnahme der Frequenzrelais, keine Auffälligkeiten.

4.5.6 Sichere Schienen, Batterien, zugehörige Verteilanlagen (EM-EY, FM-FZ)

Die batteriegestützte Stromversorgung des KKL umfasst im Bereich der nuklearen Sicherheit folgende Teilsysteme:

- die 220-V-Gleichstromanlagen 10EU, 11ES, 20EU, 21ES, 31ES, 51ES, 61ES (Ladegeräte, Batterien, Verteilanlagen)
- die 24-V-Gleichstromanlagen 10FP, 10FQ, 11FM, 11FN, 11FR, 11FS, 20FP, 20FQ, 21FM, 21FN, 21FR, 21FS, 31FM, 31FR, 31FS, 51FM, 61FM (Ladegeräte, Batterien, Verteilanlagen)
- die USV-Anlagen 10EN, 10EP, 20EN, 20EP, 10EX, 20EX
- die Wechselrichter 11ET, 21ET, 31ET, 51ET, 61ET
- die 48-V-Versorgungen 11FT, 21FT, 31FT, 10FE, 20FE, 10FL, 20FL, 10FU, 20FU, 20FZ (Gleichrichter und Abgänge für Magnetventile)
- die 24-V-Gleichrichter 10FB, 20FB
- die RPS-MG-Sets 10EM, 20EM

Angaben des KKL

Alterungsüberwachung

Entsprechend der durchgeführten alterungstechnischen Analyse, gestützt auf den AÜP-Steckbrief „Batterien 1E-klassiert“, beträgt die Nutzungsdauer der Batterien mindestens zehn Jahre für das Fabrikat ELECTRONA und mindestens 15 Jahre für das Fabrikat HOPPECKE. Alterungsrelevante Phänomene sind Kapazitätsverminderung, Nachlassen/Verminderung der Zellenspannung und Veränderung der Säuredichte. Während der Nutzungszeit werden die oben erwähnten Parameter mittels Trendanalyse (Kapazitätstest und Messung der Zellenspannung/Gesamtspannung) und geplanter Instandhaltung (Kontrolle des Flüssigkeitspegels in der Batteriezelle) laufend überwacht. Beim Erreichen der für die einzelnen Messgrößen festgelegten Akzeptanzkriterien werden die Batterien getauscht. Im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 wurden in mehreren Kampagnen Batterien gegen neue, qualifizierte Batterietypen ausgetauscht.

Auslegung

Das KKL identifiziert keine neuen Anforderungen an die Auslegung der sicheren Schienen, Batterien und zugehörigen Verteilanlagen.

Beurteilung des ENSI

Alterungsüberwachung

Das ENSI bewertet die vom KKL angewendete Methodik und die jeweils durchgeführten Modernisierungsmassnahmen für Batterien als angemessen und zielführend.

Auslegung

Das ENSI bewertet die vom KKL angegebenen Autarkiezeiten der Batterien (Überbrückungszeiten) auf Grundlage der nach den Ereignissen in Fukushima in der Schweiz dokumentierten Angaben (mindestens 4 h für die Batteriegruppen mit den relevanten bei und nach Störfällen zu versorgenden elektrischen Verbraucher) als teilweise ungenügend. Daher erhebt das ENSI folgende Forderung:

Forderung 4.5-1

Die Auslegungsvorgaben für die Autarkiezeiten (Überbrückungszeiten) der Batterien der sicherheitsrelevanten und der für das Accident-Management benötigten elektrischen Verbraucher sind auf Grundlage der nach den Ereignissen in Fukushima in der Schweiz dokumentierten Angaben (mindestens 4 h) zu überprüfen. Die Ergebnisse sind in einem Bericht darzulegen und dem ENSI bis zum 15. Dezember 2019 einzureichen.

Zusammenfassende Bewertung

Die Ausrüstungen der gesicherten elektrischen Versorgung zeigen aus Sicht des ENSI auf Basis der eingereichten Unterlagen einen guten allgemeinen Zustand und, mit Ausnahme der Autarkiezeiten der Batterien, keine wesentlichen Auffälligkeiten.

4.5.7 Speisewasserregelung (YR)

In diesem Abschnitt werden die eigentlichen Regelungsfunktionen der Speisewasserregelung abgedeckt.

Angaben des KKL

Instandhaltung/Störungen im System

Seit der Leistungserhöhung kommt es vermehrt zu Störungen im Bereich der Reaktorniveau-Nahbereichsmessung. Ab einer Leistung von ca. 80 % schwingt der Messwert um bis zu ± 20 cm. Dieser Effekt kann vor allem nach Wiederinbetriebnahme der Anlage nach der Jahreshauptrevision beobachtet werden. Da die Messung nicht zur Regelung, sondern als Referenz für eine eventuelle Niveau-Umschaltung verwendet wird, ist

die Regelung nicht betroffen. Es kommt lediglich zu einem Differenz-Alarm. Die parallele Messung zeigt das gleiche Verhalten, dadurch kann ein Fehler im Bereich eines Transmitters ausgeschlossen werden. Die Impulsleitungen sowie die Ventilblöcke wurden ebenfalls überprüft, aber auch diese zeigten keine Abweichungen. Das dynamische Verhalten der Nahbereichsniveaumessung wird nach heutiger Annahme durch hydraulische Einflüsse (z. B. Verwirbelungen oder Strömungen durch den Dampfdurchfluss) innerhalb des Reaktors ausgelöst.

Das KKL vermerkt diese Schwankungen der Niveau-Instrumentierung als wichtigen offenen Punkt zum Zeitpunkt der Einreichung der PSÜ-Unterlagen.

Beurteilung des ENSI

Instandhaltung/Störungen im System

Da das KKL die Schwankungen der Niveau-Instrumentierung selbst als wichtigen offenen Punkt identifiziert hat, verzichtet das ENSI darauf, in diesem Bereich konkrete Forderungen betreffend detaillierterer Analysen und Identifizierung geeigneter Gegenmassnahmen zu formulieren.

4.5.8 Sicherheitsrelevante Leittechnik und Leitstellen

Die sicherheitsrelevante Leittechnik einschliesslich der leittechnischen Ausrüstungen der Leitstellen ist grundsätzlich aufgeteilt in die 1E-klassierte Sicherheitsleittechnik (Div. 11/21/31/51/61) für die Funktionen der Sicherheitssysteme und in diejenigen Teile der Betriebsleittechnik (Div. 10/20), die sicherheitsbezogene Funktionen ausführen und deshalb 0E-klassiert sind. Die Sicherheitsleittechnik (SILT) wird auf der Sicherheitsebene 3, primär für Sicherheitsfunktionen der leittechnischen Kategorie A (und tiefere Kategorien) eingesetzt. Die Betriebsleittechnik (BELT) wird auf den Sicherheitsebenen 1 und 2 eingesetzt.

Der Hauptkommandoraum (HKR), mit hauptsächlich 0E-klassierten und unklassierten Ausrüstungen, und die weiteren Steuerstellen sind der SILT, der BELT oder den unklassierten Leittechnikausrüstungen zugeordnet. Zu den weiteren Leitstellen gehören aus sicherheitstechnischer Sicht insbesondere die Notsteuerstellen (Remote Shut Down (RSD) Room) der Div. 11/21/31 (RSD-A, RSD-B, RSD-HPCS) und die SEHR-Steuerstellen der Div. 51/61 (SEHR-A, SEHR-B), jeweils mit hauptsächlich 1E-klassierten Ausrüstungen.

Die Störfallinstrumentierung, die man als Teil der SILT und der BELT betrachten kann, wird in Kap. 9.5.4 behandelt.

Angaben des KKL

Vorkommnisse und Instandhaltung/Störungen im System

Im Überprüfungszeitraum sind vier Vorkommnisse bezogen auf die Modicon-Steuerung, eingesetzt im Umwälzsystem YU, aufgetreten. Die erkannten Schwachstellen wurden beseitigt.

Änderungen/Modernisierungen und Alterungsüberwachung

Die Leittechnik im KKL besteht aus Fabrikaten aus dem Lieferumfang verschiedener Hersteller. Beim Bau der Anlage wurde bei der Auswahl der Komponenten nicht zwischen Betriebs- oder Sicherheitsleittechnik unterschieden. Die Qualität der BELT-Baugruppen der verschiedenen Leittechnikfamilien entspricht den Anforderungen an die SILT-Baugruppen. Dieser Ansatz reduzierte die Typenvielfalt im KKL. Das heisst, die BELT-Baugruppen sind identisch mit den in der SILT eingesetzten Baugruppen und könnten als Reserve für die SILT genutzt werden. Mit der Modernisierung der BELT sind bereits diverse ursprüngliche prozessnahe Systeme abgelöst worden. Dies betrifft z. B. das Heizungssystem, die Kondensatreinigungsanlage, die Vollentsalzung, das Kühlturmzusatzwasser sowie wesentliche Teile der Lüftung im zentralen Bereich der Anlage.

Sulzer-Combit-Baureihe, eingesetzt in Lüftungssystemen

Im Überprüfungszeitraum sind keine Vorkommnisse, verursacht durch die Combit-Leittechnik, aufgetreten. Das System ist in den Jahren 2014 und 2015 etappenweise durch das ANIS+ ersetzt worden.

Modicon-Baureihe

Die im Umwälzsystem eingesetzte Modicon-Steuerung ist robust und arbeitet weitgehend fehlerfrei. Für diese Technik hat das KKL in den vergangenen Jahren Ersatzteile aus Schwesteranlagen bezogen. Alle Ersatzteile sind geprüft und einsatzbereit. Auch wurden umfangreiche Sanierungsmassnahmen bzgl. der Elektrolytkondensatoren bzw. EPROM durchgeführt. In einer Testumgebung können alle Funktionen des Controllers geprüft werden. Die Controller sind vorprogrammiert und können jederzeit in die Anlage eingebaut werden. Solange keine Änderungen am Umwälzsystem vorgenommen werden, ist die Funktionstüchtigkeit der Modicon-Steuerung weiterhin gewährleistet. Mit der Realisierung des YUMOD-Projekts wird diese Modicon-Steuerung entfallen.

Gefahrenmeldeanlage/Pultbausteine

Die im HKR und in den RSD eingesetzte Gefahrenmeldeanlagentechnik zeigt sich robust und störungsfrei. Vorbeugend gegen Staub und Verschmutzung werden die Alarmkalotten im HKR regelmässig gereinigt. Ersatzteile sind im KKL vorhanden. Die Umrüstungen in der Vergangenheit (Goldkontakte bei Bedienbausteinen im HKR und Leuchtdioden bei Anzeigekalotten in den Notsteuerstellen) haben sich bewährt.

Der HKR und die weiteren Leitstellen befinden sich in Bezug auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle für die direkte Prozessbedienung (z. B. Steuerung von Komponenten) im Wesentlichen im gleichen Zustand wie bei der Betriebsaufnahme. Bei der Prozessbeobachtung und den Betriebsunterstützungssystemen ergaben sich im Überprüfungszeitraum Änderungen durch das Projekt ANIS+, welches kontinuierlich noch mehrere Jahre fortgesetzt wird.

Foxboro-Baureihe

Die eingesetzte Foxboro-Technik im 1E- und 0E-klassierten Bereich zeigt sich als sehr zuverlässig und robust. In der Vergangenheit wurden umfangreiche Anstrengungen unternommen, um Ausfällen aufgrund der bekannten Alterungsmechanismen vorzubeugen. Vorbeugende Massnahmen waren die Kontrolle bzw. der Ersatz der Elektrolytkondensatoren in den Spannungsversorgungs-Geräten, sowie periodische Kontrollen der Kabelverbindungen in den Schaltschränken.

Leittechnikabel mit 1E- und LOCA-Anforderungen

Die AÜP-bezogenen Methoden und Massnahmen sind die gleichen wie für die NS-Leistungskabel. Die gemessenen Kabel sind in einwandfreiem und betriebsbereitem Zustand und unterliegen keinen Einschränkungen.

Funktionserhalt/Modernisierung der Leittechnik

Die Ersatzteilkhaltung und der Betrieb der Ausrüstungen sind laut dem KKL trotz abgekündigter Systeme und Komponenten sichergestellt. Das KKL beurteilt die eingesetzten Leittechniksysteme als robust und zuverlässig, auch im Hinblick auf die nächsten zehn Jahre. Dennoch werden für die Bereiche SILT und BELT Studien und Projekte für deren Funktionserhalt/Modernisierung durchgeführt. Die Grobplanung sieht vom Grundsatz her zuerst eine Modernisierung der Betriebsleittechnik und danach die Modernisierung der Sicherheitsleittechnik vor. Die bisherigen und zukünftigen Projektarbeiten werden teilweise parallel und unabhängig voneinander abgewickelt (z. B. WRNMS, ANIS+-Teilschritte, PRNMS, RC&IS).

Das KKL ist überzeugt, dass die bisherige Strategie zur Instandhaltung und Lagerhaltung sowie die geplanten Modernisierungsschritte ausreichend sind, um rechtzeitig einen Anstieg der Ausfallanfälligkeit der Ausrüstungen der SILT und BELT bzw. der sicherheitsrelevanten Leittechnik zu erkennen und Gegenmassnahmen einzuleiten. Die Ziele des KKL in Bezug auf Sicherheit und Verfügbarkeit sind so ausgerichtet, dass schon vor

dem Anstieg der Ausfallanfälligkeit gemäss der sogenannten Badewannenkurve die richtigen Massnahmen eingeleitet sind.

Beurteilung des ENSI

Vorkommnisse und Instandhaltung/Störungen im System

Aus Sicht des ENSI belegt die relativ kleine Anzahl an Vorkommnissen, die durch Leittechnik-Fehler hervorgerufen wurden, die bisherige Zuverlässigkeit der eingesetzten Leittechnik-Baureihen. Erkannte Schwachstellen wurden vom KKL behoben.

Auch die Instandhaltungsergebnisse belegen den grundsätzlich guten Zustand der Leittechnik. Aus Sicht des ENSI hat das KKL etliche gute Schwerpunkte bei den Instandhaltungsmassnahmen (z. B. einzelne Sanierungen und Austauschkampagnen) gesetzt. Die Instandhaltungsmassnahmen zum Erhalt einer zuverlässigen SILT und BELT (z. B. bei den Modicon-Baugruppen und den Foxboro-Ausrüstungen) werden vom ENSI positiv bewertet. Das ENSI beurteilt die Instandhaltungsmassnahmen als umfassend und angemessen.

Änderungen/Modernisierungen und Alterungsüberwachung

Die beständig angewendeten AÜP-Methoden zur Überwachung der Kabelalterung der Leittechnik mit 1E- und LOCA-Anforderungen werden als zielführend beurteilt.

Das KKL führt umfassende Modernisierungsprojekte im Bereich der SILT und der BELT durch. Einzelne Projekte wie z. B. Ersatz SRM und IRM durch das WRNMS, ANIS+-Teilprojekte, Ersatz SÜA/SPDS (vgl. Kap. 9.5.5), Modernisierung von Schreibergeräten in den Steuerstellen, Teilarbeiten des Projekts Technische Erneuerung Brandschutz TEBRA für die Notsteuerstellen und die SEHR-Steuerstellen wurden im Überprüfungszeitraum abgeschlossen. Andere Projekte wie z. B. PRNMS-Ersatz, RC&IS-Ersatz, Ersatz Rosemount-Transmitter (vgl. Kap. 9.5.4), SILT-Vorprojekt und weitere ANIS+-Teilprojekte wurden im oder nach dem Überprüfungszeitraum begonnen oder fortgesetzt. Das ENSI bewertet die im Überprüfungszeitraum durchgeführten Projektarbeiten im Bereich der Leittechnik, die vom ENSI im Rahmen von Freigabeverfahren beaufsichtigt wurden, als qualitativ hochwertig und zielführend.

Das ENSI betrachtet die vom KKL gewählte bisherige Strategie eines schrittweisen Austauschs der bestehenden Leittechnikausrüstungen im Bereich der SILT und der BELT als sicherheitstechnisch vertretbar. Allerdings stellt das ENSI fest, dass ein hoher Anteil an Leittechnikausrüstungen im KKL bisher nicht ersetzt wurde.

Angesichts der Tatsache, dass wesentliche Teile der Leittechnikausrüstungen im nächsten Überprüfungszeitraum eine lange Betriebsdauer haben werden, erscheint es dem ENSI erforderlich, dass das KKL zusätzliche Untersuchungen durchführt und Prioritäten für die Leittechnik-Modernisierungen setzt. Die Untersuchungen sollen insbesondere in Bezug auf Alterungsphänomene (z. B. verstärkte Veränderung/Alterung von Kunststoffen von Verkabelungen und anderen funktionsrelevanten Komponenten bei erhöhten Temperaturen) fokussiert werden. Bereiche, in denen bekanntermassen erhöhte Betriebstemperaturen vorhanden sind, sollten ggf. bezüglich Modernisierungsmassnahmen prioritär behandelt werden. Daher erhebt das ENSI folgende Forderung:

Forderung 4.5-2

Bis zum 30. Juni 2020 sind die sicherheitsrelevanten leittechnischen Ausrüstungen bezüglich ihrer Betriebsdauer und Alterung, unter Einbezug der sicherheitstechnischen Klassierung, vertiefter zu betrachten. Aus den Erkenntnissen der Untersuchungen sind Prioritäten und Grobtermine für gezielte Modernisierungsprojekte abzuleiten.

4.5.9 Seismische Instrumentierung (MS)

Aufgabe der seismischen Instrumentierung ist es, bei einem Starkbeben die Aufzeichnung von charakteristischen Erdbebenwerten im Frequenz-, Amplituden- und Phasenwinkelbereich sowohl der Freifeldanregung als auch des daraus resultierenden Verhaltens von sicherheitstechnisch relevanten Gebäuden sicherzustellen.

Die gemäss den festgelegten Auslegungsgrenzwerten (Betriebserdbeben und Sicherheitserdbeben) generierten Alarme, und die nachfolgenden Abklärungen dienen als Entscheidungsgrundlage für das weitere Vorgehen nach dem Erdbeben.

Angaben des KKL

Änderungen

Im Jahr 2015 musste ein Freifeldaufnehmer der Erdbebeninstrumentierung aufgrund von Neubauten auf dem Kraftwerksgelände an einen anderen, nachweislich geeigneten Standort verlegt werden.

Beurteilung des ENSI

Die Anlagenänderung im Jahr 2015 wurde sachgemäss und erfolgreich durchgeführt.

Die Erdbebeninstrumentierung im KKL zeigte im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 keine Einschränkung ihrer Funktionsfähigkeit.

4.6 Weitere wichtige Einrichtungen

4.6.1 Brandschutz

Die Aufgaben des Brandschutzes sind:

- Verhinderung von Bränden;
- Erkennen und rasches Löschen entstandener Brände, um den Schaden zu begrenzen;
- Verhinderung unzulässiger Auswirkungen von Bränden, die nicht gelöscht werden konnten, um deren Auswirkungen auf die sicherheitsrelevanten Anlagenfunktionen in zulässigen Grenzen zu halten.

Diese Zielsetzungen sollen durch aufeinander abgestimmte bauliche, technische, organisatorische und abwehrende Brandschutzmassnahmen erreicht werden.

Angaben des KKL

Das KKL-Brandschutzkonzept, welches alle Ziele und Brandschutzaspekte behandelt, war eine Teilgrundlage der Betriebsbewilligung und wurde als Grundlagendokument entsprechend weitergeführt. Die brandschutztechnische Trennung redundanter Anlagenteile wurde beim Bau berücksichtigt und als solche erhalten. Bei der Materialwahl wurde und wird deren Nichtbrennbarkeit erste Priorität gegeben, wie auch der Reduktion der Anzahl Zündquellen.

Die Auslegung der Brandabschnitte erfolgte derart, dass die enthaltene Brandlast, respektive der zur Verfügung stehende Sauerstoff nicht ausreichen, den Feuerwiderstand des Brandabschnittes zu durchbrechen. Das kontrollierte und vollständige Schliessen von Öffnungen und Durchdringungen der Brandabschnitte im Brandfall sowie dessen Funktionserhalt, stellt ein wichtiges Ziel dar.

Baulicher Brandschutz

Der Feuerwiderstand bei den sicherheitsrelevanten Gebäuden des KKL ist auslegungsgemäss wie folgt:

- Tragwerke: R180;
- Brandmauern: REI180;
- Tragende raumabschliessende Bauteile: REI90;
- Nichttragende raumabschliessende Bauteile: EI90;
- Brandabschnittsbildende Bauteile, wie Türen: EI60.

Technischer Brandschutz

Das KKL verfügt über eine Vollüberwachung sämtlicher Gebäude. Eine Ausnahme bildet der rund um die Uhr besetzte Kommandoraum. Zwischen 2009 und 2017 wurde die alte Brandmeldeanlage durch eine neuere, dem Stand der Technik entsprechende, ersetzt. Das Betriebsverhalten der neuen Anlage zeigt bis dato keine Schwächen, eine langfristige Aussage ist allerdings noch nicht möglich. Die Kommunikation (Verkabelung) und die Spannungsversorgung des Brandmeldesystems sind so ausgeführt, dass bei Ausfall einer Funktion der grösstmögliche Teil des Brandmeldesystems weiter funktioniert. Die Kommunikation zwischen den Brandmeldezentralen und den Meldern erfolgt in einer Kabel-Ringanordnung. Die Brandmeldezentralen verfügen über einen eigenen Akku mit 12 h Pufferzeit. Zusätzlich wurden in sicherheitsrelevanten Räumen zur Alarmierung sogenannte Rauchgasansaugsysteme zur Früherkennung installiert. Ein redundantes und diversitäres System erfasst zusätzlich die Signale des Brandmeldesystems vor Ort in den sogenannten Local Boxes, und stellt die Informationen nach Gebäuden gruppiert auf der Not-Synoptik im Kommandoraum dar. Die Brandmeldeanlage steuert im Brandfall die einzelnen Brandschutzklappen mittels hinterlegter Brandmatrix in die Position „Zu“. Seit 2017 wird die ganze Abfolge des Schliessens der richtigen Klappen in sogenannten „Integralen Tests“ überprüft. Grundlage dazu bildet die Auslösematrix „Brandmelder-Brandschutzklappen“, die im Brandmeldesystem hinterlegt ist.

Die fünf Sprinkleranlagen wurden vorschriftsgemäss generalüberholt und 2009 von einem zugelassenen Dienstleister abgenommen. Die Ansteuerung wurde im Rahmen des Ersatzes der Brandmeldeanlage erneuert und erfolgt nicht mehr von der Brandmeldezentrale, sondern von einer eigenen Löschezentrale vor Ort. Diverse aufgetretene Mängel, wie Abnutzungserscheinungen, Dichtungsalterung etc., wurden im Rahmen des Unterhalts behoben. Sie reduzierten die Funktionsbereitschaft nicht.

Die 19 Sprühflutanlagen zeigten im Überprüfungszeitraum keine Defekte, die eine Nichtverfügbarkeit zur Folge gehabt hätten. Siebzehn davon wurden im Jahre 2010 überholt.

Die 15 stationären Gaslöschanlagen werden seit der Erneuerung der Brandmeldeanlage nicht mehr über diese ausgelöst, sondern direkt von neu installierten Löscheinheiten (eigene Steuereinheit). Die automatischen Auslösungen waren immer verfügbar.

Organisatorischer Brandschutz

Der Sicherheitsbeauftragte Brandschutz hat eine seiner Aufgabe entsprechende Ausbildung und berichtet als Fachperson dem Kraftwerksleiter. Es werden adressatengerechte Schulungen und Weiterbildungen durchgeführt, externe Mitarbeiter sind miteinbezogen. Ein Brandschutzkonzept liegt vor. Anlagenkontrollen und Begehungen mit externen Spezialisten werden durchgeführt.

Abwehrender Brandschutz

Die Aufgaben der Betriebsfeuerwehr des KKL sind nach dem kantonalen Feuerwehrgesetz (FwG) und zugehörigen Verordnung (FwV) geregelt. Darin sind insbesondere die Aufgaben, Pflichten, Organisation, Ausbildung, der Übungsdienst und das Inspektions- und Alarmierungswesen der Feuerwehren und Betriebsfeuerwehren definiert.

Diverse technische und organisatorische Anpassungen im Überprüfungszeitraum, wie die stetige Modernisierung der Einsatzmittel (Fahrzeuge, persönliche Schutzausrüstung, Löscheräte), aber auch die von der Mannschaft und dem Kader regelmässig besuchten Aus- und Weiterbildungskurse, tragen zur stetigen Verbesserung des abwehrenden Brandschutzes bei.

Brandereignisse

Im Überprüfungszeitraum kam es zu sieben brandbezogenen Ereignissen:

- Kleinbrand in Abluftschacht von Nostromdieselgebäude ZK1
- Mottbrand in Gebäudefuge zwischen Betriebsgebäude und Radwaste

- Brand in der Schaltanlage 10DG bei Rücksicherung des 380-V-Schalters 10DG45JM04 (meldepflichtig)
- Brand im 380-V-Schalter der Drywellumluftkühleinheit 20TL03D002
- Beeinträchtigung der Separationsvorgaben für die DECONTOC-Räume Div. 10 und Div. 20 während der Lüftungsrevision UV10
- Technischer Defekt einer Stromversorgung (USV) führt zu Stichflamme
- Feuerwehrrübung auf der Hauptstrasse bei der Zufahrt zum KKL (meldepflichtig)

Nach dem Mottbrand in 2011 auf dem Dach über der Lüftungszentrale wurde als Massnahme gegen Wiederholung eine Arbeitsanweisung für „Dacharbeiten“ erstellt und ins Managementsystem eingearbeitet.

Bei der Lüftungsrevision 2014 standen aus kühlungstechnischen Gründen die Türen der Decontic-Räume der Div. 10 und 20 offen. Ein Brandereignis hätte die Wirksamkeit der Halon-Löschanlage reduziert und ein Brand (Rauch) hätte sich auf beide Divisionen ausdehnen können. Aufgrund des „fast permanenten“ Aufenthalts von Personen auf dem Flur, wurde die Situation vom KKL akzeptiert.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- VKF Brandschutzvorschriften^{VKF-B}
- FwG^{FwG}
- FwV^{FwV}
- Richtlinie HSK-R-50^{R-50}

Beurteilung des ENSI

Das beim Bau des KKL umgesetzte Brandschutzkonzept spiegelt sich in dem Brandschutz zweckdienlichen baulichen Strukturen und in sinnvollen technischen Branderkennungs- und Löschanlagen wider. Das Brandschutzkonzept wird regelmässig den neuen Erkenntnissen angepasst, da es als Grundlage für jede Freigabe durch das ENSI im Bereich des Brandschutzes dient. Die Umsetzung der Forderung 6.11-3 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 führte über mehrere Stufen zu einem umfangreicheren Brandschutzkonzept, das vom ENSI als zweckdienlich und die wichtigsten Aspekte beinhaltend betrachtet wird. Das neue Brandmeldesystem mit erweiterten und verbesserten Funktionen wirkt sich auf den Brandschutz als solches insgesamt positiv aus.

Die Professionalität der betrieblichen Feuerwehr ist ein weiterer Faktor, die Brandschutzziele zu erreichen. Die kantonale Aufsichtsbehörde, die Aargauische Gebäudeversicherung, ist zuständig für den Vollzug der gesetzlichen Aufgaben im Bereich des Feuerwesens. Das Reglement der Betriebsfeuerwehr, welches durch die Aargauische Gebäudeversicherung genehmigt ist, liegt dem ENSI vor. Darin sind insbesondere Detaillierungen zu Organisation, Rekrutierung und Einteilung, Löscheinrichtungen, Ausrüstung, Ausbildung, Übungs- und Branddienst, Alarmwesen, Dienstbereitschaft, Pikettdienst, Kontrollwesen und Versicherung definiert. In diesem Bereich werden laufend technische und organisatorische Anpassungen vorgenommen, die durch die kantonale Aufsichtsbehörde überprüft werden. Damit ist gewährleistet, dass die Betriebsfeuerwehr auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik ist.

Die integralen Tests der Brandschutzklappen, gefordert in der VKF-Brandschutzerläuterung 108-15, betrachtet das ENSI als notwendig, um eine hohe Zuverlässigkeit der Funktion der Brandschutzklappen aufrecht zu erhalten. Das nicht vollständige Schliessen von Klappen, wie auch das Nichtöffnen zum Rauchabzug ist im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016 mit durchschnittlich knapp zehn Fällen pro Jahr ähnlich hoch wie in dem vorhergehenden Überprüfungszeitraum.

Die kleineren Brände während des Überprüfungszeitraums der PSÜ 2016 entsprechen der Situation des vorhergehenden Überprüfungszeitraums. Ihre Art und Anzahl bieten keinen Anlass für Sofortmassnahmen. Aus

ihnen werden Abhilfemassnahmen abgeleitet, die zu einer kontinuierlichen Verbesserung des Brandschutzes führen. Handlungsbedarf besteht aus Sicht des ENSI in folgenden Bereichen:

- Erkannte Mängel werden teilweise erheblich zeitverzögert behoben. Dies zeigt sich unter anderem bei den (auf eine Wand bezogenen) einseitig eingebauten Brattberg-Schottungen (719 Stück), die bezüglich Wärmedurchgangskriterium lediglich das Kriterium für eine Feuerwiderstandsdauer von 30 min erfüllen, was bereits im Rahmen der PSÜ 2006 festgestellt worden war. Seit 2014 wurden diese, wo erforderlich, mit einem Weichschott ergänzt (637 Stück), um den neuen Normen und Erkenntnissen gerecht zu werden.
- Für die den integralen Tests der Brandschutzklappen hinterlegte Auslösematrix ist unklar, wann und durch wen die Korrektheit der Matrix überprüft wird. Auch ist unklar, wie das KKL sicherstellt, dass eine hohe Zuverlässigkeit der Brandschutzklappen erhalten bleibt.
- Am 1. Dezember 2017 ereignete sich im KKL ein sehr ähnlicher Mottbrand wie im Jahre 2011. Es ist unklar, wieso sich ein Mottbrand bei Dacharbeiten wiederholen konnte, obwohl das KKL Massnahmen zur Verbesserung eingeleitet hat.
- Das ENSI erachtet eine lückenlose Sicherstellung des Brandschutzes bei sämtlichen Betriebsarten als notwendig, um die Brandschutzziele zu erreichen, respektive die Gefahren eines Brandes so gering wie möglich zu halten. Das oben beschriebene Offenstehen der Türen der Decontic-Räume der Div. 10 und 20 aus kühlungstechnischen Gründen schätzt das ENSI daher anders als das KKL ein: Die brandschutztechnische Trennung der Divisionen sollte jederzeit, unabhängig von Betriebszustand, gewährleistet sein.

Diese Punkte, insbesondere die Thematik der Brandschutzschottungen, werden aktuell vom ENSI im Aufsichtsverfahren verfolgt. Auf eine entsprechende PSÜ-Forderung wird daher verzichtet. Aus Sicht des ENSI erfüllen die im KKL vorhandenen Massnahmen die Vorschriften bezüglich des Brandschutzes in Kernkraftwerken unter der Voraussetzung, dass der genannte Handlungsbedarf geklärt wird, und sind daher geeignet, den Schutz der Anlage gegen ein Brandereignis langfristig sicherzustellen.

Die Aussage, „Türen die ins Freie münden, haben grundsätzlich keine Brandschutzanforderungen zu erfüllen“^{PSÜ/9}, steht im Widerspruch zu dem KKL-Brandschutzkonzept, wie auch zu der Anforderung den Kerosinbrand (Aussen) brandschutztechnisch zu beherrschen. Gemäss dem aktuellen KKL-Brandschutzkonzept werden diese mit einem Feuerwiderstand von EI90 ausgeführt, und Brandschutztüren werden einmal pro Jahr (Jahresrevision) mechanisch kontrolliert und wenn nötig instand gesetzt.

4.6.2 Blitzschutz

Ein Blitzeinschlag ist durch die örtliche Einprägung eines grossen Stromimpulses charakterisiert, wobei sowohl der Einschlagsort als auch die Grösse der Blitzstromparameter Zufallsgrössen sind. Die äusseren Blitzschutzmassnahmen haben die Aufgabe, den Blitzstrom an der Oberfläche des zu schützenden Objektes abzufangen und gefahrlos in die Erde abzuleiten.

Angaben des KKL

Auslegung

In der ENSI-Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde das KKL aufgefordert, die Blitzschutzeinrichtungen nachzurüsten und deren Wirksamkeit zu belegen.

Die Forderung wurde mit einem Ertüchtigungsprojekt umgesetzt. Das Ziel der Ertüchtigungsmassnahmen war, sämtliche Betriebs- und Sicherheitsleittechnikausrüstungen vor den Auswirkungen eines extremen Blitzeinschlags zu schützen. Die entsprechenden Unterlagen wie das Blitzschutzkonzept und ergänzende Dokumente und Berichte wurden ergänzt und entsprechen dem Stand der Anlage.

Die gesamte Anlage ist mit einer Blitzschutzanlage geschützt. Die Armierung der Gebäude wird als faraday-scher Käfig genutzt. Die Armierungen der Gebäude sind untereinander eng verbunden. Kabel- und Rohrdurchführungen durch die Gebäude sind in den Blitzschutz eingebunden. Durch die Blitzschutzmassnahmen ist die Anlage vor Blitzeinschlägen und internen Erdschlüssen geschützt.

Bei folgenden sicherheitsrelevanten Systemen sind zusätzlich Überspannungsschutzeinrichtungen vorhanden:

- Notstandsystem
- Reaktorschutzsystem
- Frischdampfisolierung
- Kaminstörfallinstrumentierungen
- Containment-Druckentlastung

Vorkommnisse

Im Überprüfungszeitraum kam es zu vier Vorkommnissen im Bereich des Blitzschutzes von denen eines als meldepflichtig eingestuft wurde:

- In 2006 traten verschiedene Störungen durch Blitzeinschläge in Kraftwerksnähe ohne Auswirkungen auf Sicherheitssysteme auf.
- In 2007 wurde während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen eine automatische Druckentlastung ausgelöst (meldepflichtiges Vorkommnis „Auslösung des SEHR-ADS während Instandhaltungsarbeiten an den Blitzschutzbeschaltungen“). Das Anlagenverhalten war auslegungsgemäss. Alle zum Ereigniszeitpunkt verfügbaren und zur Minimierung der Transiente notwendigen Systeme funktionierten störungsfrei. Dieses meldepflichtige Vorkommnis wurde als Kategorie B und INES 1 eingestuft.
- In 2012 fiel die 50-kV-Leitung Klingnau-Beznau (Div. 10) durch Blitzschlag aus.
- In 2014 löste ein Blitzschlag den Ausfall der 50-kV-Leitung Klingnau-Beznau (Div. 10) aus.

Prüfprogramm

Ab 2012 wurde mit den periodischen Prüfungen des Blitzschutzsystems begonnen. Die Prüfungen wurden nach einer vorgegebenen Spezifikation und einem jeweiligen Instandhaltungsauftrag von einer Blitzschutz-Fachkraft durchgeführt. Die Ausführung der Prüfungen entspricht den Vorgaben aus dem Blitzschutzkonzept des KKL. Die Ergebnisse der Prüfungen wurden jeweils in einem Prüfbericht dokumentiert und vorgefundene Mängel zeitnah instandgesetzt. Die wesentlichen Mängel bei den Prüfungen waren Korrosion und nicht angeschlossene oder gelockerte Schraubverbindungen.

In den Jahren 2006 und 2008 wurden in den Div. 10, 20, 11, 21, 31, und 61 Isolationsmessungen an den zentralen Erdungspunkten (ZEP) durchgeführt, um die Erdfreiheit nach KTA 2206 zu prüfen. Fehlerhafte Erdverbindungen wurden instand gesetzt.

Wegen der bereits seit längerem geplanten Umstellung der Leittechnik auf flächenhafte Erdung und der damit verbundenen Auflösung der ZEP wurde die Überprüfung der ZEP nicht weiter fortgeführt. Es sind keinerlei Probleme innerhalb der Anlage bekannt, welche auf einen nicht korrekt ausgeführten ZEP zurückzuführen sind.

Die Überspannungsschutzeinrichtungen der sicherheitsrelevanten Systeme der Leittechnik werden im Rahmen der wiederkehrenden Prüfungen im Bereich des Blitzschutzes alle vier Jahre gewechselt und beim Hersteller auf korrekte Funktion überprüft. Dabei sind keine negativen Befunde aufgetreten.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-G02^{G02}
- KTA-Regel 2206^{KTA2206}
- SNR 464022^{el-sui}
- Norm EN/IEC 62305^{EN/IEC-62305}

Beurteilung des ENSI

Auslegung

Das KKL hat alle Forderungen und Ertüchtigungen aus der Stellungnahme zur PSÜ2006^{ENSI-2018-10-23} abgeschlossen. Die Betriebserfahrungen der Folgejahre belegen die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen. Der Blitzschutz im KKL ist wirksam und angemessen.

Vorkommnisse

Die berichteten Vorkommnisse nach 2006 lassen nicht auf Mängel der Blitzschutzeinrichtungen schliessen. Seit Fertigstellung der genannten Verbesserungsmassnahmen konnten keine Ausfälle von Leittechnikkomponenten im KKL mehr festgestellt werden, welche auf einen Blitzschlag zurückzuführen waren.

Instandhaltung (wiederkehrende Prüfungen)

Die wiederkehrenden Prüfungen belegen den guten Zustand der Blitzschutz- und Überspannungsschutzeinrichtungen.

Die Einstellung der Prüfungen der ZEP ist jedoch aus Sicht des ENSI nicht ausreichend begründet, zumal die Umstellung auf flächenhafte Erdung zwar geplant, aber noch nicht durchgeführt ist.

Forderung 4.6-1

Der Wegfall der periodischen Prüfungen/Messungen der divisionszugeordneten zentralen Erdungspunkte ist vom KKL bis zum 15. März 2020 umfassend zu bewerten. Das KKL hat dazu eine Stellungnahme und ggf. eine Terminplanung für die Fortführung der Prüfungen einzureichen.

4.6.3 Flucht- und Rettungswege

Angaben des KKL

Das Thema Fluchtwege wird in verschiedenen PSÜ-Dokumenten^{PSÜ/4, PSÜ/37, PSÜ/50, PSÜ/69, PSÜ/71} und im Sicherheitsbericht^{SAR-2016} behandelt. Das Fluchtwegkonzept ist Bestandteil des Brandschutzkonzepts und beschreibt den Sollzustand. Es beinhaltet die Anzahl, die Dimensionierung, die Ausführung und die Ausstattung von Flucht- und Rettungswegen.

Das KKL definiert einen Fluchtweg als kürzesten Weg von einer beliebigen Stelle in Bauten und Anlagen ins Freie oder zu sicheren Orten. Ferner werden die Fluchtwege von Rettungskräften als Einsatzweg zu einer beliebigen Stelle in Bauten und Anlagen benützt um Personenrettungen oder andere anlagenrelevante Massnahmen durchzuführen.

Die Evakuierung von Anlagenteilen erfolgt nach dreimaliger Sprachdurchsage. Auf jedem Stockwerk befinden sich mehrere gut sichtbare Flucht- und Rettungspläne. Auf den Plänen sind der aktuelle Standort und der Fluchtweg sowie auch die Sammelplätze ausserhalb des Gebäudes übersichtlich eingezeichnet. Insgesamt hat das KKL drei klar gekennzeichnete Sammelplätze ausserhalb der Gebäude und einen an einem Ort in der kontrollierten Zone definiert. Die Sammelplätze sind rasch erreichbar. Eine Erfassung des Personals muss möglichst zentral vor Ort erfolgen. Dieses Ziel kann erfahrungsgemäss besser mit wenigen Sammelplätzen erreicht werden.

Die Sammelplätze 1 und 2 befinden sich in der Nähe des Kraftwerksausgangs mit dem Vorteil, dass das Personal das Gelände gezielt nach Erfassung verlassen kann. Im Falle einer Nichtbenutzung der Sammelplätze 1 und 2 kann der Sammelplatz 4 ausserhalb des Kraftwerksgeländes, der immer bei Ereignissen ohne radiologische Auswirkungen zur Verfügung steht, verwendet werden. Somit wird sichergestellt, dass sämtliche Personen (auch Kantinenbesucher und Personal im neuen Bürogebäude) evakuiert, erfasst und betreut werden können. Ein Zutritt zum Kraftwerksgelände ist also nicht erforderlich. Der Sammelplatz 3 befindet sich in der kontrollierten Zone auf +13,5 m im Gebäude ZB.

Während einer Inspektion des ENSI in 2008 wurde festgestellt, dass eine Anpassung der Infrastruktur an den neusten Stand der Technik notwendig war, die erforderlichen Hilfsmittel für ein strahlenschutzkonformes Verlassen der Gebäude jedoch grundsätzlich vorhanden waren. Daraufhin wurden die Schwachstellen im Fluchtwegkonzept auf Basis einer eingehenden Begutachtung identifiziert und schriftlich festgehalten. Als Folge davon wurden viele technische Massnahmen wie z. B. nachleuchtende Kennzeichnung von Feuerlöschern, Handalarmtastern, Hindernissen, Gefahrenstellen und Treppen in Fluchtwegen definiert und umgesetzt. Ferner wurden auch die normalen Verkehrswege speziell, aber nicht nachleuchtend gekennzeichnet. Somit kann deutlich und eindeutig zwischen Fluchtwegen und Normalwegen unterschieden werden. Wegen Umnutzungen oder Umgestaltungen wurden einzelne Fluchtwege den örtlichen Gegebenheiten angepasst und optimiert. Das Staatssekretariat für Wirtschaft SECO hat das Beschilderungskonzept in 2013 abgenommen. Die mit der Abnahme verbundenen zwei Auflagen wurden in 2016 erfüllt^{KKL-2018-03-20}.

Für Fluchtwege mit Notausgängen aus der kontrollierten Zone wird sichergestellt, dass diese Türen entsprechend markiert und so gestaltet bzw. mit Sicherungsmassnahmen geschützt sind, dass das unbefugte Benutzen verhindert wird. Der Abtransport von Verletzten sowie die Brandbekämpfung werden berücksichtigt.

Fluchtwege in die kontrollierte Zone wurden mit nur zwei Ausnahmen eliminiert. Dabei handelt es sich um das Verlassen der Notsteuerstellen, wo die Fluchtwege in die Aktivwerkstatt führen. Diese Fluchtwege haben grundsätzlich keine radiologische Bedeutung. Bei Um- und Neubauten wird eine Fluchtrichtung in die kontrollierte Zone vermieden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-A03^{A03} und HSK-R-07^{R-7}
- VKF-Richtlinien Flucht- und Rettungswege^{VKF-F} und Kennzeichnung von Fluchtwegen Sicherheitsbeleuchtung Sicherheitsstromversorgung^{VKF-K}

Beurteilung des ENSI

Im Überprüfungszeitraum hat das KKL das bestehende Fluchtwegkonzept ausführlich analysiert und Schwachstellen abgegrenzt. Mit diesen Ergebnissen als Ausgangspunkt hat das KKL zusammen mit einer spezialisierten Beraterfirma entsprechende Verbesserungsmassnahmen abgeleitet und umgesetzt. Das neue Fluchtwegkonzept entspricht somit dem Stand der heutigen Technik und erlaubt ein strahlenschutzkonformes Verlassen der kontrollierten Zone. Allerdings geht aus den eingereichten Unterlagen nicht explizit hervor, wie das Fluchtwegkonzept in Bezug auf den Strahlenschutz (in den kontrollierten Zonen) überprüft wurde und inwiefern VKF-Richtlinien als Grundlagen verwendet wurden. Das ENSI sieht dennoch keinen unmittelbaren Handlungsbedarf für das KKL zusätzliche Massnahmen durchzuführen. Im Rahmen zukünftiger Inspektionen wird das ENSI allfällige Änderungen und Anpassungen des Fluchtwegkonzepts aus Sicht des operationellen Strahlenschutzes prüfen.

4.6.4 Strahlenmesstechnik (inkl. Nachunfall-Probenahmesystem)

Zur Gewährleistung des Schutzes des Personals und der Umwelt sowie zur Überwachung der bestimmungsgemässen Funktion von Systemen müssen die radiologischen Verhältnisse innerhalb der Anlage und in der Umgebung sowie die Menge der Abgaben radioaktiver Stoffe nach aussen bekannt sein. Dazu sind spezielle Messeinrichtungen notwendig, die folgende Aufgaben erfüllen:

- Erfassung von Messwerten zur Charakterisierung der Radioaktivität und der Strahlenfelder in der Anlage
- Automatische Anregung von Gegenmassnahmen bei Überschreitung von Grenzwerten (z. B. Isolierung des Containments)
- Messung der an die Umwelt abgegebenen Stoffe (Emissionsmessung)
- Erfassung der Strahlendosen und allfälliger Kontaminationen des Personals

Zusätzlich müssen Einrichtungen und Messgeräte vorhanden sein, die bei und nach Störfällen folgende Aufgaben erfüllen:

- Beurteilung des Zustands der Anlage, um die erforderlichen Schutzmassnahmen für Personal und Anlage ergreifen zu können
- Aufzeichnung von Parametern, die Hinweise auf den Störfallablauf geben
- Abschätzung der Auswirkungen auf die Umgebung
- Erhebung von Daten zur Erfüllung der internationalen Meldepflicht

Angaben des KKL

Das KKL verweist bei der Beschreibung und Bewertung der Strahlenmesstechnik in den PSÜ-Berichten^{PSÜ/4, PSÜ/114–PSÜ/117, PSÜ/120} auf den Sicherheitsbericht^{SAR-2016}, die Technischen Spezifikationen^{TS}, das Abgabereglement^{HSK12/456} und auf die Richtlinien HSK-R07^{R-7} und ENSI-G13^{G13}.

Im KKL werden für den operationellen Strahlenschutz folgende Messmittel eingesetzt:

- mobile Dosisleistungsmessgeräte
- mobile Kontaminationsmessgeräte
- mobile Messsysteme zur Überwachung der radioaktiven Stoffe in der Raumluft
- Personenkontaminationsmonitore
- Wäschemonitore
- Personendosimetriesysteme und Inkorporationsmessung

Die radiologische Anlagenüberwachung für den Normalbetrieb besteht im KKL aus folgenden Messsystemen:

- Raumstrahlungsüberwachung (Ortsdosisleistungen)
- Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft des Drywells (als Teil der Leckageüberwachung)
- Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft des Containments
- Prozessstrahlungsüberwachung (Kaminfortluft, Raumluft, Kreisläufe, Abwasser)
- Freimessschränke

Die radiologische Störfallinstrumentierung besteht im KKL laut „Technischen Spezifikationen“ aus störfallfest ausgelegten Messsystemen zur Erfassung der Dosisleistung im Drywell, im Containment und im Fortluftkamin. Zusätzlich steht ein Nachunfall-Probenahmesystem zur Entnahme von Proben aus der Atmosphäre des Containments und zur Entnahme von Wasserproben aus dem Reaktorkühlsystem und dem Druckabbaubecken zur Verfügung.

Im Überprüfungszeitraum wurden gemäss dem KKL folgende Messmittel für den operationellen Strahlenschutz ersetzt bzw. neu angeschafft:

2006	Ersatz des Wäschemonitors
2006–2007	Sukzessiver Ersatz von mobilen Kontaminationsmessgeräten
2006–2015	Sukzessiver Ersatz von mobilen Messgeräten zur Überwachung der Ortsdosisleistung

2010	Ersatz von zwei Kleinteilemonitoren zur Freimessung von Kleinteilen am Personenzonenübergang
2010	Ersatz der Hand- und Fussmonitore
2010	Ersatz von mobilen Aerosolraumluftmonitoren
2010	Ersatz der elektronischen Personendosimeter durch die neueste Generation desselben Herstellers
2012	Anschaffung von zwei Unterwasser-Ortsdosisleistungsmessgeräten
2012	Neuanschaffung eines Kleinteilemonitors zur Freimessung von Kleinteilen in der Materialschleuse
2012–2013	Ersatz der mobilen Aerosolsammler für die Probenahme von Raumluft
2015	Wechsel von Thermolumineszenz- zu Direct-Ion-Storage-Personendosimetern
2016	Ersatz der Personenkontaminationsmonitore

Gemäss Aussage des KKL waren der Ersatz bzw. die Neuanschaffungen bei den Messmitteln für den operationellen Strahlenschutz nötig, um die Messsysteme bzw. Messgeräte dem aktuellen Stand der Technik anzupassen. Im Weiteren erfolgten Korrekturmassnahmen aufgrund von meldepflichtigen Ereignissen und Behördenforderungen. Auch wurden Verbesserungen aufgrund der internen wie externen Betriebserfahrung eingeleitet.

Im Überprüfungszeitraum wurden gemäss dem KKL an der radiologischen Anlagenüberwachung folgende Änderungen bzw. Neuinstallationen durchgeführt:

2008	Umstellung der Speicherung der Betriebsdaten der Raumstrahlungs- (XQ) und Containmentluftüberwachung (XR20) von Schreibern auf das Anlageninformationssystem ANIS+ Mit dieser Umstellung wurde der Zugriff auf die aufgezeichneten Daten erleichtert. Die Alarmierung erfolgt nach wie vor auf der Gefahrenmeldeanlage.
2008	Installation einer zusätzlichen Durchflussmessung für den Beta-Monitor zur Überwachung des Abgases Vor dieser Änderung benutzten der Beta- und Gamma-Monitor eine gemeinsame Durchflussmessung. Mit der zusätzlichen Durchflussmessung wurde die Verfügbarkeit der Durchflussmessung erhöht.
2009/2012	Ergänzung der Abluftüberwachung des Maschinenhauses mit einem Iod-Monitor In der Konzeptfreigabe für die Wasserstoff- und Edelmetallfahrweise verlangte das ENSI diese zusätzliche Überwachung, da durch diese Fahrweise die Möglichkeit besteht, dass der Übertrag von Iod aus dem Reaktorwasser in die Sekundäranlage erhöht wird.
2009	Ersatz des Grob- und Fein-Aerosolmonitors zur Überwachung der Fortluft durch einen neuen Aerosolmonitor mit nachgeschalteter Iodbilanzierungskapsel Durch die Anlagenänderung wurde das Messsystem auf den neuesten technischen Stand gebracht. Nach Abschluss der Installationen wurde die Übertragungsrate für Aerosole bestimmt, die nun neu bei der Messwertbildung des Aerosolmonitors berücksichtigt wird.
2011	Erweiterung der bestehenden Raumstrahlungsüberwachung (XQ) mit 18 zusätzlichen Messsonden mit Vor-Ort-Anzeigen und Alarmierungen Im Rahmen der Umsetzung des Konzepts zur Verhinderung ungeplanter Strahlenexpositionen hat das KKL 18 Ortsdosisleistungsmesssonden in geschlossenen Räumen installiert, die durch das Schichtpersonal auf regulären Rundgängen geöffnet werden und nach oben eine variable Dosisleistung aufweisen. Die Messwertanzeigen und die optische Alarmierung erfolgt

vor der Tür des überwachten Raumes. Es erfolgt eine Datenübertragung in den Kommandoraum.

- 2012 Ersatz der Probenahmepumpen der Edelgasmessung der Kaminfortluftüberwachung
Die beiden Membranpumpen wurden gegen wesentlich leisere und instandhaltungsfreundliche Kohleschieberpumpen ausgetauscht.
- 2012 Ersatz der Elektronik der Edelgasmonitore zur Überwachung der Kaminfortluft durch neue typgeprüfte Ausrüstungen mit anschließender Kalibrierung der Messeinrichtungen
Die Elektronik musste wegen mangelnder Ersatzteile ersetzt werden.
- 2012 Anschluss der Messstellen zur Überwachung der Notkühlwassersysteme 10XT46 und 20XT47 mit all ihren Verbrauchern an dieselgestützte 1E-Schienen
Aufgrund der Forderung 6.16-2 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde die elektrische Anspeisung der Messstellen zur Überwachung der Notkühlwassersysteme 10XT46 und 20XT47 im Hinblick auf ihre Verfügbarkeit bei Störfällen verbessert.
- 2012 Anschluss der 0E-klassierten Kamininstrumentierung XT70 bis XT77 mit all ihren Verbrauchern an dieselgestützte 1E-Schienen
Aufgrund der Forderung 6.16-3a) aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde die elektrische Anspeisung der Messstellen zur Überwachung der Kaminfortluft im Hinblick auf ihre Verfügbarkeit bei Störfällen verbessert.
- 2013 Zusätzliche Stromversorgung des Nachunfall-Probenahmesystems bei Störfällen mit einem mobilen Notstromaggregat oder über die Notlichtverteilung
Mit dieser Änderung wird die Verfügbarkeit des Nachunfall-Probenahmesystems bei Störfällen, insbesondere bei gleichzeitigem Auftreten eines Ausfalls der externen Stromversorgung und eines Kühlmittelverluststörfalls, erhöht.
- 2013 Ersatz und Ergänzung der Schreiber der Gammadosisleistungsmessungen im Containment und Drywell bei Störfällen (XU) in den Notsteuerstellen
Die Registrierung der Messwerte in den Notsteuerstellen wurde verbessert.
- 2013 Ertüchtigung und Erweiterung des Messsystems zur Überwachung der Raumluft im Containment mit einem Iod-Monitor
Durch die Anlagenänderung wurde das System auf den neuesten Stand der Technik gebracht. Die zusätzliche Iod-Messung ist eine Erweiterung der Funktionen für das Messsystem. Auch wurde der Messbereich der Edelgasmessung erweitert.
- 2015 Ertüchtigung des Probenentnahmesystems XT70 zur Überwachung der Kaminfortluft
Aufgrund der Forderung 6.16-1b) aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 wurde das Probenentnahmesystem ertüchtigt. Nach der Ertüchtigung wurden die Übertragungsraten für Partikel und die Dichtheit experimentell bestimmt. Die Übertragungsraten werden bei der Messwertbildung des Aerosolmonitors berücksichtigt. Das Probenentnahmesystem erfüllt nun die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G13 bezüglich der Gesamtübertragungsraten.
- 2015 Ertüchtigung der Messung des Fortluftvolumenstroms im Fortluftkamin
Die neuen Messsonden wurden an einem neuen Ort im Kamin positioniert und erlauben eine genauere Erfassung der Fortluftmenge.
- 2015 Positionierung der beiden XT90-Messsonden an einem besseren Standort zur Verbesserung der Quantifizierung der Aktivitätskonzentration im Fortluftkamin, als Grundlage für die Berechnung der Abgaberate bei Anforderung der Notfortluft und des gefilterten Containment-Druckentlastungssystems (Filtered Containment Venting System, FCVS)

Diese Verbesserung wurde aufgrund der Forderung 6.16-3c) aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 durchgeführt. Mit ihr lassen sich die Edelgasabgaberraten über die betriebliche Fortluft, die Notfortluft und über das FCVS bestimmen. Jedoch kann im Hinblick auf die Wasserstoffproblematik bei Störfällen mit FCVS-Anforderung eine Zerstörung der Messsonden durch Wasserstoffexplosionen im Kamin nicht ausgeschlossen werden. Zur Lösung des Wasserstoffproblems wird derzeit ein Konzept für eine entsprechende Änderung des FCVS ausgearbeitet.

2017 Ersatz der Messwertaufbereitung der Gammadosisleistungsmessungen im Containment und Drywell bei Störfällen (XU)

Mit dieser Erneuerung soll der sichere Betrieb des Systems bis zum Betriebsende des KKL sichergestellt werden.

Bezüglich der radiologischen Anlagenüberwachung hatte das ENSI in der PSÜ 2006 drei Forderungen gestellt. Die Forderungen wurden grundsätzlich erfüllt. Einzelne Teilaspekte dieser Forderungen, die zum Ende des Überprüfungszeitraumes noch nicht abgeschlossen waren, werden auf Anregung des ENSI im Rahmen der regulären Instandhaltung gemäss Art. 32 KEV weiter bearbeitet.

Das ENSI gab im Überprüfungszeitraum bei der radiologischen Anlagenüberwachung Änderungsanträge der „Technischen Spezifikationen“ frei. Die Anpassungen erfolgten aufgrund von Änderungen an der radiologischen Anlagenüberwachung und betrafen unter anderem Grenzwerte und Messbereiche.

Im Überprüfungszeitraum kam es bei der radiologischen Anlagenüberwachung zu drei meldepflichtigen Ereignissen. Der Fehler lag in einem Fall an einer nach der Funktionsprüfung geschlossen gebliebenen Absperrarmatur am Probenentnahmesystem des Messsystems zur Überwachung der Kaminfortluft hinsichtlich radioaktiver Aerosole. In zwei Fällen war die Messelektronik des Messsystems zur Überwachung der radioaktiven Edelgase defekt. Alle Fehler wurden in der zulässigen Reparaturzeit gemäss den „Technischen Spezifikationen“ behoben. Als Folgemaassnahmen wurden die Prüfvorschriften für die Funktionsprüfung der Aerosolmonitore verbessert und die Messelektronik der Edelgasmessung ersetzt.

Das KKL bewertet die einzelnen Messsysteme der radiologischen Anlagenüberwachung wie folgt:

- Das System Raumstrahlungsüberwachung befindet sich in Anbetracht der teilweise über 30-jährigen Betriebsdauer in einem guten Zustand. Das System muss alterungsbedingt erneuert werden. Die Stromversorgung der Geräte ist bei Schienenwechsel anfällig für Störungen und soll bei der Erneuerung verbessert werden.
- Das Messsystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft des Drywells arbeitet zuverlässig und mit hoher Verfügbarkeit. Aufgrund der aktuellen Ersatzteilsituation ist der Ersatz der Messeinrichtung jedoch unabdingbar.
- Das Messsystem zur Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft des Containments befindet sich in einem guten Zustand und arbeitet störungsfrei und zuverlässig. Die Alpha-Messung ist nicht funktionstüchtig und wird durch alternative Methoden vorgenommen. Eine Verbesserung der Signalisierung vor dem Zutritt zum Containment und im Containment ist wünschenswert.
- Das System zur Prozessstrahlungsüberwachung (Kaminfortluft, Raumluft, Kreisläufe, Abwasser) arbeitet zuverlässig. Die ausfallorientierte Instandhaltung kann solange durchgeführt werden, wie noch Ersatzteile am Lager verfügbar sind.
- Die Messsysteme zur Überwachung der Dosisleistung im Drywell, im Containment und im Fortluftkamin befinden sich in einem guten Zustand und arbeiten störungsfrei und zuverlässig.
- Das Nachunfall-Probennahmesystem befindet sich in einem guten technischen Zustand.

Zusammenfassend hält das KKL fest, dass die radiologische Anlagenüberwachung weiterhin zuverlässig arbeitet. Die ausfallorientierte Instandhaltung kann solange durchgeführt werden, wie noch Ersatzteile am Lager

verfügbar sind. Jedoch lassen sich aus der Analyse der Betriebserfahrungen altersbedingte Veränderungen und Störungen an den Messsystemen erkennen, sodass die Messsysteme auf lange Sicht im Rahmen der regulären Instandhaltung ertüchtigt werden müssen. Das KKL hat dazu das Projekt NEX (Ersatz der Strahlenschutzinstrumentierung) gestartet. Zusätzlich hat das KKL aufgrund der Forderung 6.16-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 die radiologische Anlagenüberwachung hinsichtlich des Stands der Technik überprüft. Abweichungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung wurden sofort behoben. Weitere identifizierte Verbesserungen werden im Rahmen der oben angesprochenen Ertüchtigung behoben. Die Erneuerung der radiologischen Anlagenüberwachung mit rund 90 Messstellen wird in mehreren Phasen erfolgen und wird mehrere Jahre dauern.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 9, 11, 17, 31, 34, 43 und 44 StSG^{StSG}
- Art. 4, 7, 22, 56–65, 77, 89–92, 111–113, 123, 125 und 126 StSV^{StSV}
- Art. 33–38 und 40 Dosimetrieverordnung^{DosV}
- Art. 2, Art. 7–9, Art. 13–15 Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung^{StMmV}
- Abgabereglement des KKL^{HSK12/456}
- Richtlinien ENSI-B12^{B12}, ENSI-G01^{G01} und ENSI-G13^{G13}
- KTA-Regeln 1501^{KTA1501}, 1502^{KTA1502}, 1503.1^{KTA1503.1}, 1503.2^{KTA1503.2}, 1504^{KTA1504}
- DIN ISO 2889^{ISO2889}

Beurteilung des ENSI

Im Überprüfungszeitraum wurden die Messmittel für den operationellen Strahlenschutz kontinuierlich erneuert und ergänzt, sodass sie dem Stand der Technik genügen und ihre Aufgaben im operationellen Strahlenschutz erfüllen.

Aufgrund der Forderung 6.16-1 der Stellungnahme zur PSÜ 2006 hat das KKL die radiologische Anlagenüberwachung hinsichtlich des Stands der Technik überprüft. Abweichungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung wurden behoben.

Die vom KKL geplante Umsetzung weiterer Verbesserungen im Rahmen der regulären Instandhaltung bewertet das ENSI als sinnvoll. Damit wird die radiologische Anlagenüberwachung nach dem altersbedingten Ersatz vollumfänglich dem Stand der Technik entsprechen und die Anforderungen der Richtlinie ENSI-G13 in allen Punkten erfüllen.

Aus der vom KKL dargestellten Betriebserfahrung lassen sich folgende Aussagen über den Qualitätszustand der Strahlenschutzmesssysteme ableiten:

- Die Funktionsprüfungen wurden während des Überprüfungszeitraums gemäss den „Technischen Spezifikationen“ durchgeführt. Sie ergaben keine wesentlichen Befunde.
- Da bei der Strahlenschutzinstrumentierung in der Regel keine präventive Instandhaltung durchgeführt wird, überwiegt im Überprüfungszeitraum die durch Komponentenausfall bedingte Instandhaltung.
- Die Ausfallraten pro Messgerät und Jahr zeigen eine altersbedingte Entwicklung zu höheren Ausfallraten.
- Sämtliche Störungen inkl. der meldepflichtigen Ereignisse wurden innerhalb des durch die „Technischen Spezifikationen“ vorgegebenen Zeitintervalls behoben.

Im Rahmen der Erfüllung der Forderung 6.16-1 der Stellungnahme zur PSÜ 2006 hat das KKL im Überprüfungszeitraum die Dokumentation der radiologischen Anlagenüberwachung sowie die Methoden zur Bilanzierung der Abgaben radioaktiver Stoffe verbessert.

Zusammenfassend kommt das ENSI zum Schluss, dass die Messmittel für den operationellen Strahlenschutz und die radiologische Anlagenüberwachung den Anforderungen der heutigen schweizerischen Gesetzgebung genügen. Die Messmittel und Systeme entsprechen weitestgehend dem Stand der Technik. Das KKL hat dazu in den letzten Jahren die nötigen Ertüchtigungen durchgeführt. Weitere Verbesserungen wird das KKL im Rahmen der altersbedingten Ertüchtigung der radiologischen Anlagenüberwachung vornehmen. Die Betriebserfahrungen zeigen, dass die Messeinrichtungen zuverlässig arbeiten. Jedoch ist ein zeitnahe Ersatz der radiologischen Anlagenüberwachung aufgrund ihres Alters und der Ersatzteilsituation angebracht. Das KKL hat dies erkannt und hat dazu im Jahr 2012 ein Projekt gestartet.

4.6.5 Hebezeuge

4.6.5.1 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

In den folgenden Kapiteln werden die Brennelement-Handhabungseinrichtungen, Kräne und Hebezeuge des KKL hinsichtlich ihrer Betriebserfahrung, ihres Zustands und ihrer Auslegung entsprechend den Anforderungen des Kap. 5.3 „Sicherheitsrelevante Anlagenteile“ der Richtlinie ENSI-A03 beurteilt.

4.6.5.2 Übergeordnete Beurteilung

In der Tabelle 4.6-1 wird basierend auf den Darlegungen und Bewertungen des KKL für die Brennelement-Handhabungseinrichtungen, Kräne und Hebezeuge die übergeordnete Beurteilung des ENSI zusammengefasst. Nach Wertung des ENSI wurden die im Überprüfungszeitraum der PSÜ durchgeführten Instandhaltungsmassnahmen regelwerkskonform und fachgerecht durchgeführt. Die durchgeführten Massnahmen entsprachen dem aktuellen Stand der Technik. Vorsorglich durchgeführte Arbeiten und Umrüstungen wurden vom ENSI begrüsst. Prüfverfahren, Prüfintervalle und -umfänge können als angemessen betrachtet werden. Das ENSI kann den guten Zustand der Systeme nach den jährlichen Revisionen und Prüfungen bestätigen. Die laufende Überwachung stellt sicher, dass deren sicherer Betrieb gewährleistet ist.

In den nachfolgenden Kapiteln wird nur noch auf Systeme eingegangen, die nach Beurteilung des ENSI wesentliche Änderungen erfahren haben und die im Überprüfungszeitraum hinsichtlich Wirksamkeit und Zuverlässigkeit sowie des Zustandes Auffälligkeiten zeigten. Die Kriterien für die Auswahl der Systeme entsprechen grundsätzlich denen für die Auswahl der verfahrenstechnischen Systeme (vgl. Kap. 4.4.3).

Im KKL werden für drei Kräne erhöhte Anforderungen an die Betriebssicherheit gestellt. Damit wird eine mögliche Gefährdung sicherheitsrelevanter Systeme und Komponenten minimiert bzw. verhindert, wenn es zu Funktionsstörungen bzw. Beschädigungen an den Kränen kommt. Folgende Kräne unterliegen speziellen Anforderungen:

- 115-t-/5-t-Polarkran im Containment;
- 130-t-Brennelementlagerkran im Brennelementlagergebäude;
- 10-t-Brennelementlagerkran im Brennelementlagergebäude.

Tabelle 4.6-1: Überblick über die sicherheitstechnische Beurteilung der Brennelement-Handhabungseinrichtungen, Kräne und Hebezeuge

System	Klassierung	Vorkommnisse	Prüfprogramm	Änderungen	Instandhalt./ Störungen	Auslegung	ENSI-Bewertung
115-t-/5-t-Polarkran	SK3, EKI, –	—	X	—	X	X	Kap. 4.6.6.3
130-t-Brennelementlagerkran	SK3, EKI, –	—	X	—	—	X	Kap. 4.6.6.4
10-t-Brennelementlagerkran	SK3, EKI, –	—	X	X	—	—	Kap. 4.6.6.5
Weitere Kräne und Hebezeuge	—	—	X	—	—	—	—
Brennelementwechsellagerungen	SK2, EKI, 0E	—	X	X	—	—	Kap. 4.6.6.6
Brennelement-Transportsystem	SK2/3, EKI, 1E/0E	—	—	X	—	—	Kap. 4.6.6.7

4.6.5.3 115-t-/5-t-Polarkran

Angaben des KKL

Als Fazit der Einstufung der Kräne in Anlehnung an die KTA 3902 sieht das KKL^{BET/17/421}, dass der Polarkran im Wesentlichen mindestens die Sicherheitsmerkmale nach Einstufung des Abs. 4.2 der KTA 3902 und in Bezug auf die Ausführung des Haupthubwerks teilweise auch des Abs. 4.3 (Trommelbordbremsen und auch redundanter Seiltrieb) aufweist. Die Versagenswahrscheinlichkeit des Polarkrans liegt nach Ansicht des KKL bei mindestens 10^{-5} pro Jahr, sofern die den Nachweisverfahren nach Abs. 4.2 und, wo anwendbar, nach Abs. 4.3 (Sicherheitsbremse) zugrunde gelegten Sicherheitsmargen erreicht werden. Dabei wurde vom KKL erkannt, dass die Betriebsfestigkeitsnachweise für Fahr- und Hubwerke nur mit Einschränkungen erbracht werden können. Weiterhin bestehen nur kleine Margen für den Festigkeitsnachweis bei Sicherheitserdbeben für die Tragwerke (Katz- und Krantragwerk).

Beurteilung des ENSI

Für den Polarkran besteht nach Ansicht des ENSI weiterer Verbesserungsbedarf. Es sind entsprechende Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheitsmargen erforderlich. Dies betrifft insbesondere die Margen bei den Radlasteinleitungen in die Rollenkästen der Kopfträger von Katze und Kran. Weiterhin sind auch kleine Sicherheitsmargen an lokalen Schwachstellen des Tragwerks, vor allem beim Polarkran an der Katze und an der Brücke, vorhanden.

Forderung 4.6-2

- a) Zur Ertüchtigung des Tragwerks des 115-t-/5-t-Polarkrans sind dem ENSI Konzepte für Normalbetrieb und Erdbebenbelastung (Sicherheitserdbeben) bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.

4.6.5.4 130-t-Brennelementlagerkran

Angaben des KKL

Für den 130-t-Brennelementlagerkran gelten grundsätzlich die gleichen Ausführungen wie für den Polarkran. Abweichend davon bestehen für das Katztragwerk des 130-t-Brennelementlagerkrans ausreichend hohe Margen bei den Festigkeitsnachweisen für das Sicherheitserdbeben.

Beurteilung des ENSI

Für den 130-t-Brennelementlagerkran besteht nach Ansicht des ENSI grundsätzlich der gleiche Verbesserungsbedarf wie für den Polarkran, da auch hier nur kleine Margen für den Festigkeitsnachweis bei Sicherheitserdbeben für das Krantragwerk bestehen. Ausgenommen ist das Katztragwerk dieses Krans mit ausreichend hohen Margen.

Forderung 4.6-2

b) *Zur Ertüchtigung des Tragwerks des 130-t-Brennelementlagerkrans sind dem ENSI Konzepte für Normalbetrieb und Erdbebenbelastung (Sicherheitserdbeben) bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.*

4.6.5.5 10-t-Brennelementlagerkran

Angaben des KKL

Der 10-t-Brennelementlagerkran wurde in 2008 umfassend erneuert. Als Fazit der Einstufung der Kräne in Anlehnung an die KTA 3902 sieht das KKL^{BET/17/421}, dass der 10-t-Brennelementlagerkran im Wesentlichen mindestens die Sicherheitsmerkmale nach Einstufung des Abs. 4.2 der KTA 3902 und in Bezug auf die Ausführung des Hubwerks teilweise auch des Abs. 4.3 (Trommelbordbremsen und auch redundanter Seiltrieb) aufweist. Die Versagenswahrscheinlichkeit des 10-t-Brennelementlagerkrans liegt nach Ansicht des KKL bei mindestens 10^{-5} pro Jahr, sofern die den Nachweisverfahren nach Abs. 4.2 und, wo anwendbar, nach Abs. 4.3 (Sicherheitsbremse) zugrunde gelegten Sicherheitsmargen erreicht werden.

Beurteilung des ENSI

Die umfassende Erneuerung des 10-t-Brennelementlagerkrans wurde vom ENSI begrüsst. Das ENSI kann für diesen Kran den Erdbebenfestigkeits-Nachweis bei Verwendung der Erdbebengefährdung PRP-IH bestätigen.

4.6.5.6 Brennelementwechseleinrichtungen

Angaben des KKL

Seit 2010 wird im Rahmen der Instandhaltung der Brennelementwechseleinrichtungen alle drei Jahre eine Farbeindringprüfung zur Rissprüfung am Grapplegehäuse, den Bolzen und Haken durchgeführt. Es gab einen bewertungspflichtigen Befund an den Hauptschrauben am Grapple. Die Schrauben wurden präventiv ersetzt. Die darauffolgenden Prüfungen 2013 und 2015 waren ohne Befund.

Im Überprüfungszeitraum wurden insgesamt vier Anlagenänderungen umgesetzt. Hervorzuheben ist die neu eingeführte Software zur Bilanzierung bestrahlter Brennelemente im Brennelementlager, die die Verwaltung der Brennelementlagerung verbessert. Mit dieser Anlagenänderung wurde die zuvor handschriftlich erfasste Positionsidentifizierung der Brennelemente auf eine automatische Erfassung umgestellt.

Beurteilung des ENSI

Prüfverfahren, Prüfintervalle und -umfänge können als angemessen betrachtet werden, da im Überprüfungszeitraum lediglich eine bewertungspflichtige Anzeige gefunden wurde. Vorsorglich durchgeführte Arbeiten und Umrüstungen wurden vom ENSI begrüsst und dienen der Verbesserung der Systemzuverlässigkeit.

4.6.5.7 Brennelement-Transportsystem

Angaben des KKL

Im Beurteilungszeitraum wurden insgesamt zwei Anlagenänderungen umgesetzt, nämlich der Ersatz der Steuerung des schrägliegenden Brennstofftransfersystems und der Ersatz des Hydraulikaggregats.

Aus sicherheitstechnischer Sicht bedeutsam ist, dass die Hauptpumpe im Rahmen der Anlagenänderungen mit einer Handpumpe ausgerüstet wurde. Diese erlaubt auch im Notstromfall einen beladenen Wagen in ein Brennelementbecken zu verfahren, wo die passive Brennelementkühlung länger gewährleistet ist als im Transferrohr.

Beurteilung des ENSI

Vorsorglich durchgeführte Arbeiten und Umrüstungen wurden vom ENSI begrüßt und dienten der Verbesserung der Systemzuverlässigkeit.

5 Instandhaltung und Alterungsüberwachung

Alle schweizerischen Kernkraftwerke führen eine systematische Überwachung der Alterungsvorgänge durch. Damit wird sichergestellt, dass die bekannten Alterungsmechanismen bei allen sicherheitsrelevanten Komponenten und Baustrukturen in den entsprechenden Instandhaltungs- und Qualitätssicherungsprogrammen berücksichtigt und bei festgestellten Abweichungen geeignete Massnahmen ergriffen werden. Die Alterungsüberwachung ist im Rahmen eines Alterungsüberwachungsprogramms (AÜP) durch den Betreiber der Kernanlage regelmässig zu überprüfen und gegebenenfalls hinsichtlich der getroffenen Massnahmen zu ergänzen.

Bei der Umsetzung des AÜP werden Herstellerinformationen, Erkenntnisse aus Instandhaltung, Betriebserfahrung, Schadensfällen sowie des Standes von Wissenschaft und Technik berücksichtigt. Die Dokumentation des AÜP umfasst Leitfäden und Steckbriefe für die Systeme und Komponenten. Die Steckbriefe behandeln die bauteil- und komponentenspezifische Zuordnung der relevanten Alterungsmechanismen, ergänzende Massnahmen zur Prüfung und Abmilderung der Alterungsmechanismen sowie die Wechselwirkung mit dem jeweiligen Instandhaltungsprogramm. Zur Bewertung der getroffenen Abhilfemassnahmen wird insbesondere der Erfahrungsrückfluss aus den eigenen Anlagen herangezogen, z. B. Auswertung der Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfungen, der Ermüdungsüberwachung sowie spezielle Zustands- und Schadensuntersuchungen.

5.1 Bautechnik

Angaben des KKL

Das KKL fasst die Ergebnisse der Instandhaltung und Alterungsüberwachung der Bauwerke im Bericht „Alterungsüberwachung sicherheitstechnisch klassierter Ausrüstungen und technologische Alterungsüberwachung“^{PSÜ/32} zusammen. Gebäudespezifische Massnahmen werden in den Gebäudezustandsberichten der PSÜ detailliert dargestellt.

Die Alterungsüberwachung der Gebäude erfolgt nach dem GSKL-Leitfaden für die Erstellung von Bautechnik-Steckbriefen^{GSKL-B-1}. Darin wird die systematische Überwachung auf den folgenden Elementen aufgebaut:

- Katalog der bautechnischen Alterungsmechanismen
- Verfügbare Detektionsverfahren
- Zerstörende und zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchungen
- Physikalische und chemische Laboruntersuchungen
- Kriterienliste für die Bestimmung von Zustandsstufen

In den Bautechnik-Steckbriefen werden bauteil- bzw. gebäudespezifisch die Soll-Zustandsstufen und die Inspektionsprogramme bestimmt. Gemäss Richtlinie ENSI-B01, Kap. 5 gilt das AÜP für alle nach Richtlinie ENSI-G01 klassierten Bauwerke. Alle Steckbriefe der Bauwerksklassen BK I und der BK II sind dem ENSI eingereicht worden. Für jedes Gebäude werden mindestens zwei Steckbriefe geführt, wobei je einer die Stahlbetontragwerke bzw. die Stahlkonstruktionen erfasst. Die grössten Gebäude werden in weitere Teilbauwerke unterteilt.

Das Hauptintervall der Inspektionen beträgt entsprechend Richtlinie ENSI-B01 zehn Jahre. Die Zwischeninspektionen finden, mit einem entsprechenden zeitlichen Versatz, ebenfalls in einem Intervall von zehn Jahren statt. In mehreren Fällen wurden zusätzlich Sonderinspektionen, wie z. B. an den Fugenbändern der Gebäudeabdichtungen, durchgeführt. Die Ergebnisse der durchgeführten Inspektionen der Alterungsüberwachung sind in den Inspektionsberichten vollständig dokumentiert. Zusammenfassend werden sie in den Steckbriefen der einzelnen Gebäudestrukturen erfasst.

Die auf Grundlage des Leitfadens und der Steckbriefe durchgeführten AÜP-Inspektionen zeigten auf, dass sich die Baustrukturen in einem guten bis sehr guten Zustand befinden. Es wurden keine unerwarteten Schädigungen entdeckt, die eine Anpassung der Überwachungsprogramme erfordern würden.

Zusammenfassend kommt das KKL zum Schluss, dass die bei den durchgeführten Anlagenrundgängen und den AÜP-Inspektionen gewonnenen Erkenntnisse zeigen, dass die Bausubstanz die auslegungsgemässen Anforderungen erfüllen und somit die Voraussetzungen für einen zuverlässigen Weiterbetrieb der Anlage erfüllt sind. Durch geeignete Instandhaltungs- und Instandsetzungsmassnahmen wird der gute Zustand der Gebäude erhalten.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B01^{B01}
- Norm SIA 469^{SIA 469}
- GSKL-Leitfaden für Bautechnik-Steckbriefe^{GSKL-B-1}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt das Konzept und den bisherigen Stand der Alterungsüberwachung positiv. Das Vorgehen erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 und entspricht dem genehmigten Leitfaden für Bautechnik-Steckbriefe. Die Steckbriefe der Bautechnik eignen sich als Instrument der Alterungsüberwachung und als übersichtlicher Einstieg in die umfangreiche Dokumentation.

Das ENSI hat die Entwicklung des für alle Kernkraftwerke gültigen Leitfadens für die Bautechnik-Steckbriefe laufend geprüft und beurteilt. Eine wesentliche vom ENSI geforderte Ergänzung des Leitfadens erfolgte mit der Revision 3, welche mit einem Anhang die Beurteilung unzugänglicher und schwer zugänglicher Bauteile regelt. Das ENSI hat im Jahr 2016 zu dieser Version des Leitfadens Stellung genommen^{ENSI-2016-01-21}. Es beurteilt den Leitfaden als sehr gute Grundlage für die AÜP-Bautechnik.

Mit der Stellungnahme zur PSÜ 2006 hatte das ENSI gefordert, dass die Steckbriefe des Alterungsüberwachungsprogramms Bautechnik nachzuführen und zu vervollständigen seien. Diese Forderung ist mit der eingereichten Dokumentation erfüllt. Die Steckbriefe sind jetzt vollständig. Das ENSI hat die aktuellen Steckbriefe in den Jahren 2016/2017 geprüft, unter anderem im Rahmen einer Begehung im KKL. Die entsprechende Stellungnahme des ENSI^{ENSI-2017-05-4} erfolgte ausserhalb des Überprüfungszeitraums der PSÜ 2016. Darin stellte das ENSI fest, dass die überarbeiteten Steckbriefe für die BK-I- und BK-II-Gebäude die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 erfüllen. Die unzugänglichen Bauteile und Oberflächen sind in den Steckbriefen erfasst und werden im Rahmen der zukünftigen AÜP-Inspektionen bezüglich ihres Zustands beurteilt.

5.2 Maschinentechnik

Angaben des KKL

Alterungsüberwachungsprogramm

Mit der Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-B01 im Jahr 2011 wurde dem ENSI ein Plan eingereicht, welcher die zeitlich gestaffelte Umsetzung der Überarbeitung der bereits erstellten AÜP-Steckbriefe nach den Anforderungen der neuen Richtlinie enthielt. In diesem Umsetzungsplan stellte das KKL fest, dass die auf Grundlage der Vorgänger-Richtlinie HSK-R-51 erstellten Steckbriefe in wesentlichen Teilen bereits den Anforderungen der neuen Richtlinie ENSI-B01 entsprechen. Weiterhin wurden die nach Richtlinie HSK-R-51 ausgewählten Komponenten wie Kleinleitungen und -armaturen, welche laut Geltungsbereich der Richtlinie ENSI-B01 nicht zu betrachten sind, in den Steckbriefen belassen, da diese nach Aussage des KKL funktionell wichtige Komponenten des Systems darstellen können.

Zum Betrachtungsumfang gemäss Richtlinie ENSI-B01 gehören neben den zu erstellenden Steckbriefen für Systeme und Komponenten auch das Bestrahlungsprogramm für den Reaktordruckbehälter (RDB) sowie das Ermüdungsüberwachungsprogramm.

Im Jahr 2010 wurde die Auswertung des nach 24 Betriebsjahren im Jahr 2008 entnommenen zweiten Reaktordruckbehälterbestrahlungssatzes durchgeführt. Nach Bewertung des KKL zeigen die Ergebnisse, dass die

Neutronenversprödung der Materialien des RDB keine Einschränkungen hinsichtlich des Langzeitbetriebs darstellen wird.

Als wesentlicher Alterungsmechanismus wird die Ermüdung der als relevant identifizierten Systeme und Komponenten der SK1 bis SK3 systematisch überwacht. Die Überwachung wird durch die Erfassung, dauerhafte Speicherung und Auswertung der Anzahl aufgetretener Ereignisse mittels der betrieblichen Instrumentierung und der Sonderinstrumentierung sichergestellt. Hierfür dienen die Systeme ANIS+ und das Ermüdungsüberwachungsprogramm FatiguePro, wobei die aktuellen Erschöpfungsgrade aufgrund der tatsächlich aufgetretenen Transienten bestimmt werden. Zur Auswertung werden die Cycle-Based- oder die Stress-Based-Fatigue-Methode angewandt. Die Erschöpfungsgrade werden jährlich aktualisiert, dokumentiert und dem ENSI eingereicht.

Die Ermüdungsüberwachung umfasst 21 repräsentative Stellen am RDB und den Rohrleitungssystemen mit 91 Temperaturmessstellen. Die höchsten aktuellen Erschöpfungsgrade mit Stand Ende 2016 sind ca. 67 % für eine Stelle an der Steigleitung des Speisewassersystems und an der Einspeiseleitung des Hochdruckkernsprühsystems. Teilerschöpfungsgrade von derzeit ca. 63–64 % sind des Weiteren am T-Stück der Speisewasserleitung zum Nachwärmeabfuhrsystem, am Kerninstrumentierungsgehäuse und beim Kernisolationskühlsystem ausgewiesen.

Das KKL kommt auf Basis der Ermüdungsüberwachung zum Schluss, dass bezüglich Ermüdung die relevanten Komponenten ausreichende Sicherheitsmargen aufweisen und somit die Integrität der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten an den repräsentativen Stellen hinsichtlich Ermüdung gewährleistet ist. Etwaige negative Entwicklungen können rechtzeitig erkannt und erforderliche Massnahmen eingeleitet werden.

Am Hochdruckkernsprühsystem sind an Schweißnähten wegen erhöhten Schwingungen Leckagen durch hochzyklische Ermüdung aufgetreten. Betroffene Schweißnähte wurden instandgesetzt und das Schwingungsniveau durch verschiedene Massnahmen reduziert. Darüber hinaus wurden aufgrund einer Auswertung von externen Vorkommnissen Temperaturmessstellen ertüchtigt.

Das KKL kommt zum Ergebnis, dass das Schutzziel „Integrität“ hinsichtlich Ermüdung gewährleistet ist und momentan keine zusätzlichen Massnahmen erforderlich sind.

Im Geltungsbereich der Richtlinie ENSI-B01 wird die Erfüllung der Aspekte der Werkstoffalterung gemäss IAEA Safety Guide NS-G-2.12^{NSG-2.12} gefordert. Das KKL beschreibt, wie die Attribute dieses IAEA Safety Guides, welche die Merkmale eines effektiven Alterungsmanagements festlegen, im KKL umgesetzt werden. Hierzu zählen das Bestrahlungsüberwachungsprogramm des RDB, die Ermüdungsüberwachung und das Wanddickenmessprogramm Erosion/Korrosion (EROSKO), die implementierte Wasserstofffahrweise mit Edelmetalleinspeisung, die Auswertung externer Betriebserfahrung unter Einbeziehung internationaler Datenbanken wie z. B. CODAP (Component Operational Experience, Degradation and Ageing Programme) der OECD NEA sowie die Beteiligung an internationalen Projekten wie das Boiling Water Reactor Vessel and Internals Project des Electric Power Research Institutes (EPRI).

Wiederholungsprüfprogramm

Das KKL hat ein abdeckendes Wiederholungsprüfprogramm gemäss gültigem Regelwerk (SVTI-Festlegung NE-14 bzw. Richtlinie ENSI-B06) für alle sicherheitstechnisch klassierten Komponenten etabliert. Das KKL führt aus, dass dabei im Wesentlichen die bekannten Schadensmechanismen berücksichtigt sind. In den Fällen, in denen zusätzliche Schädigungen aufgrund neuer Erkenntnisse zu erwarten sind, d. h. auch bei Vorliegen von entsprechenden Befunden an Komponenten, werden ergänzende Prüfungen in das bestehende Wiederholungsprüfprogramm aufgenommen oder gegebenenfalls Prüfintervalle angepasst. Das KKL dokumentiert und bewertet die Wiederholungsprüfungen im Detail in den systemspezifischen Kapiteln der PSÜ-Unterlagen.

Im Überprüfungszeitraum wurde im Oktober 2008 die Richtlinie ENSI-B07 über die Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen in Kraft gesetzt. Als wesentliche Neuerung wurde festgelegt, dass die Qualifizierung der eingesetzten Verfahren für zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) durch eine Qualifizierungsstelle zu erfolgen

hat. Im Rahmen der Qualifizierung ist nachzuweisen, dass das Prüfsystem die an der Komponente vorkommenden relevanten Fehler detektieren, charakterisieren und deren Grösse bestimmen kann. Als Folge davon wurde beim Schweizerischen Verein für technische Inspektionen (SVTI) die Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz (QSt) eingerichtet.

Das KKL hat im Überprüfungszeitraum eine Vielzahl von Prüfsystemen qualifiziert. Dazu konnte auf die bereits vorhandenen Qualifizierungen durch die Performance Demonstration Initiative (PDI) beim EPRI zurückgegriffen werden. Die QSt hat für diese Prüfungen den PDI-Qualifizierungsablauf und -umfang und das abgedeckte Prüfvolumen bewertet und geprüft. Mit zusätzlichen Massnahmen, wie z. B. der Durchführung integraler Funktionstests des komplett aufgebauten Prüfsystems, der Qualifizierung des Datenaufnahme- und Datenauswertepersonals sowie der Prüfvorschrift wurden die Anforderungen der Richtlinie HSK-B07 umgesetzt.

Folgende Qualifizierungen für sicherheitstechnisch wichtige Komponenten konnten im Überprüfungszeitraum abgeschlossen werden:

- mechanisierte Ultraschallprüfung der RDB-Rund- und Längsnähte;
- mechanisierte Ultraschallprüfung an den Stützen des RDB;
- mechanisierte Ultraschallprüfung der Stützenanschlussnähte des RDB;
- mechanisierte Wirbelstromprüfung der Stützenanschlussnähte des RDB;
- manuelle Prüfungen an ferritischen und austenitischen Rohrleitungsschweissnähten;
- mechanisierte indirekte visuelle Prüfung an der RDB-Bodenkalotte;
- indirekte visuelle Prüfung an Einbauten des Reaktordruckbehälters;
- manuelle Ultraschallprüfung von Behälternähten mit Behälterwanddicken < 50 mm;
- mechanisierte Wirbelstromprüfung der Gewindesacklöcher im RDB-Flansch;
- mechanisierte Ultraschall- und Wirbelstromprüfung der Schweissnähte an den Steuerstabantriebsgehäusen;
- mechanisierte Ultraschallprüfung der Rund- und Kreuznähte von RDB-Deckel und -Boden;
- mechanisierte Ultraschallprüfung von Overlay-Reparaturschweissungen (RDB-N5-Stützen);
- mechanisierte Ultraschall- und Wirbelstromprüfung der Schweissnähte an Kerninstrumentierungsgehäusen.

Instandhaltung

Das vom KKL umgesetzte Instandhaltungskonzept zur Sicherung einer hohen Anlagensicherheit und -verfügbarkeit basiert auf zustandsorientierter, störungsorientierter und vorbeugender Instandhaltung. Die zustandsorientierte Instandhaltung wird für Systeme und Ausrüstungen angewendet, welche der Überwachung unterliegen und deshalb über entsprechende Systeme verfügen. Ausrüstungen, welche nicht sicherheitsrelevant sind, aber die Verfügbarkeit der Anlage beeinflussen können, unterliegen der störungsorientierten Instandhaltung. Alle übrigen Ausrüstungen werden vorbeugend instand gehalten.

Der Zustand der Systeme, Strukturen und Komponenten wird in den jeweiligen Betriebserfahrungs- und Zustandsberichten der PSÜ-Dokumentation detailliert dargestellt und bewertet. Durch systematische Zustandsüberwachung, fachgerechte Durchführung der Instandhaltungsmassnahmen und zielgerichtete Qualitätssicherung konnte das KKL im Überprüfungszeitraum der PSÜ den sicheren Betrieb der Anlagen gewährleisten.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 22 KEG^{KEG}
- Art. 32, 35 und 36 KEV^{KEV}
- Art. 4 VBRK^{VBRK}
- IAEA Safety Guide NS-G-2.12^{NSG-2.12}
- Richtlinien ENSI-B01^{B01}, ENSI-B06^{B06} und ENSI-B07^{B07}
- SVTI-Festlegung NE-14^{NE-14}

Beurteilung ENSI

Alterungsüberwachungsprogramm

Das Alterungsüberwachungsprogramm der mechanischen Ausrüstungen im KKL umfasst alle wesentlichen sicherheitstechnisch klassierten Komponenten. Darüber hinaus sind auch Komponenten wie Kleinleitungen und -armaturen in die Alterungsüberwachung einbezogen, wenn diese als sicherheits- oder funktionsrelevant bewertet wurden.

Mit der Inkraftsetzung der neuen Richtlinie ENSI-B01 hat das ENSI eine Überarbeitung der bereits erstellten AÜP-Steckbriefe verlangt und dazu mit den Kernkraftwerken einen Umsetzungsplan ausgearbeitet. Mit den letzten überarbeiteten Steckbriefen, die Ende 2017 dem ENSI eingereicht wurden, sind alle 27 Steckbriefe entsprechend den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 vom KKL erfolgreich revidiert worden.

In der Richtlinie ENSI-B01 werden neben den allgemeinen Anforderungen an die Alterungsüberwachung und Steckbriefe auch spezielle Festlegungen zum Sprödbruchsnachweis des RDB und der Ermüdungsüberwachung getroffen. Zur Beurteilung der Sprödbruchsicherheit für den Reaktordruckbehälter wird auf das Kap. 4.3.1 der vorliegenden Stellungnahme verwiesen.

Die im KKL durchgeführte Transientenbuchhaltung und Ermüdungsüberwachung entspricht grundsätzlich den Anforderungen des Regelwerks. Das KKL betreibt mit FatiguePro ein funktionsfähiges System zur automatischen Überwachung der Ermüdungssicherheit. Es werden die vom KKL als ermüdungsrelevant erkannten Stellen am RDB und an den Komponenten der SK1 bis SK3 überwacht. Das ENSI sieht den zurzeit vom KKL überwachten Bereich als ausreichend an.

Das Ermüdungsüberwachungssystem erfasst und wertet niederfrequente Beanspruchungen aus Temperaturtransienten und vergleichbaren Phänomenen aus. Die rechnerische Ermüdungsausnutzung liegt für alle überwachten Positionen im zulässigen Bereich.

Ermüdungsschäden können jedoch, wie zum Beispiel im Hochdruckkernsprühsystem, auch durch höherfrequente Beanspruchungen (z. B. turbulente Mischströmungen, Vibrationen) hervorgerufen werden, welche durch Temperaturmessstellen nicht oder weniger gut erfassbar sind. Mögliche Abhilfemassnahmen zur Abmilderung oder Verhinderung von höherfrequenten Belastungen werden in Kap. 4.4.10 der vorliegenden Stellungnahme behandelt. Das ENSI wird die Wirksamkeit der vom KKL eingeleiteten Massnahmen weiter überwachen.

Die Richtlinie ENSI-B01 fordert unter bestimmten Voraussetzungen die Berücksichtigung des Einflusses des Umgebungsmediums auf die Ermüdung. Den für die PSÜ eingereichten Unterlagen war nicht zu entnehmen, ob ein potentieller Medieneinfluss untersucht worden ist. Mit der Einreichung des Ermüdungsberichtes 2016 wurde jedoch die Analyse des möglichen Einflusses des Umgebungsmediums nachgeholt. Das ENSI kann nunmehr davon ausgehen, dass bei der ursprünglichen Ermüdungsauslegung für die spezifizierten Lasttransienten ausreichend konservative Lastfallannahmen verwendet wurden und die aktuellen Werte des Erschöpfungsgrades für die Primärkreislaufkomponenten durchgehend im zulässigen Bereich liegen.

Insgesamt kommt das ENSI zum Ergebnis, dass die Ermüdungsüberwachung im KKL die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B01 erfüllt und dem Stand der Technik entspricht.

Die durch die systematische Auswertung der Alterungsüberwachung erkannten Lücken in der Umsetzung der Alterungsüberwachung wurden durch sogenannte AÜP-Abklärungen erfasst und bearbeitet. Im Überprüfungszeitraum wurden zahlreiche Abklärungsaufträge eröffnet, bearbeitet und abgeschlossen. Die Initiierung und Abwicklung von Abklärungsbeiträgen sieht das ENSI als eine geeignete Massnahme an, um potentielle Alterungseffekte rechtzeitig zu erkennen und präventive Aktivitäten zu ergreifen.

Weiterhin wurden auch Erkenntnisse aus den internen und externen Betriebserfahrungen sowie von Wissenschaft und Technik in das Alterungsüberwachungsprogramm und in die Steckbriefe integriert. Aus Sicht des ENSI geben die Ergebnisse dieser Auswertung den Stand der kontinuierlichen Fortführung der Alterungsüberwachung wieder und werden vom KKL auch in die jährliche Berichterstattung gemäss Richtlinie ENSI-B02 aufgenommen.

Das ENSI beurteilt das im KKL umgesetzte Alterungsüberwachungsprogramm der Maschinentechnik insgesamt als umfassend, fachgerecht und den aktuellen Anforderungen entsprechend.

Wiederholungsprüfprogramm

Das ENSI stellt, gestützt auf die Stellungnahme des Nuklearinspektorats des SVTI fest, dass im Überprüfungszeitraum die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 an die zerstörungsfreien Wiederholungsprüfungen erfüllt wurden.

Das KKL hat die Anforderungen an die Wiederholungsprüfungen bezüglich Qualifizierungen erfolgreich umgesetzt. Insbesondere mit Inkraftsetzung der Richtlinie ENSI-B07 wurden im Überprüfungszeitraum die Grundlagen für die Qualifizierung geschaffen. Das KKL hat alle wesentlichen Qualifizierungsvorhaben erfolgreich durchgeführt. Bei einigen Vorhaben konnte der formale Abschluss jedoch nicht rechtzeitig vor Beginn der Prüfung erreicht werden. Das ENSI hat im Rahmen von Inspektionen festgestellt, dass z. B. noch kurz vor Prüfbeginn Anpassungen an Prüfvorschriften durchgeführt werden mussten. Das ENSI hat daher vom KKL die Umsetzung eines Konzepts gefordert, mit dem sichergestellt wird, dass Qualifizierungen rechtzeitig vor dem geplanten Prüfeinsatz vollständig abgeschlossen werden können. Das KKL hat dazu Verbesserungsmassnahmen umgesetzt, um die benötigten personellen Ressourcen sicher zu stellen. Weiterhin wurde das Projektmanagement im KKL verbessert, um rechtzeitig Massnahmen bei möglichen Problemen oder Verzögerungen im Laufe des Qualifizierungsvorhabens einleiten zu können.

Instandhaltung

Die Aufsicht im Bereich der Instandhaltung umfasst im Wesentlichen die Prüfung der Programme, der Dokumentation sowie der Berichterstattung. Zusätzlich hat das ENSI Sachverständige einer akkreditierten Stelle zur Überwachung der Instandhaltungsarbeiten gemäss den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B06 beauftragt.

Im Rahmen des alterungsbedingten Wechsels von Komponenten, respektive der Nachführung der Anlage an den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, wurden im Überprüfungszeitraum diverse Projekte oder Anlagenänderungen initiiert. Nach Wertung durch das ENSI erfolgte die Abwicklung der zu berücksichtigenden Vorhaben gemäss der aktuellen Richtlinie ENSI-A04.

Das ENSI beurteilt das im KKL umgesetzte Instandhaltungsprogramm der Maschinentechnik insgesamt als umfassend, fachgerecht und den aktuellen Anforderungen entsprechend.

5.3 Elektro- und Leittechnik

Die Berichterstattung und Bewertung von Massnahmen des Alterungsüberwachungsprogramms im Bereich Elektrotechnik zu einzelnen Komponentengruppen erfolgt schwerpunktmässig im systemspezifischen Kap. 4.5 der vorliegenden Stellungnahme. Eine Ausnahme bilden die Komponentengruppen Magnetventile und Mittelspannungs-Motoren, die nachfolgend behandelt werden.

Angaben des KKL

Alterungsüberwachungsprogramm

Gemäss Kap. 6 der Richtlinie ENSI-B01 gilt das Alterungsüberwachungsprogramm im Bereich Elektrotechnik (AÜP-E) für alle gemäss der Richtlinie ENSI-G01 als 1E-klassierten elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen und für alle elektrischen Ausrüstungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung, die 0E-klassiert sind. Entsprechend der Richtlinie ENSI-B01 müssen für 1E-Komponenten Steckbriefe erstellt werden, für 0E-klassierte dagegen sogenannte Alterungsdossiers. Zudem sind gemäss Richtlinie ENSI-G01 Kap. 4.3, PSA-relevante Komponenten bei der sicherheitstechnischen Klassierung zu berücksichtigen.

Die Alterungsüberwachung für die 1E-klassierten Ausrüstungen, die bereits von der ausser Kraft gesetzten Richtlinie HSK-R-51 gefordert wurde, ist vollständig umgesetzt. Die systematische Alterungsüberwachung der

0E-klassierten Systeme, die nach der neuen Richtlinie ENSI-B01 gefordert ist, ist noch in der Umsetzung. Erstellt, umgesetzt und dem ENSI eingereicht wurden im Überprüfungszeitraum neun 0E-Alterungsdossiers. Die noch fehlenden 0E-Alterungsdossiers für elektro- und leittechnische Systeme mit sicherheitsbezogener Bedeutung nach Richtlinie ENSI-G01 sind in Erstellung und werden nach deren Fertigstellung dem ENSI abgegeben. PSA-relevante Komponenten sind definiert und im AÜP-E vollumfänglich integriert.

Die Vollständigkeit und Bewertung der bekannten Alterungsmechanismen, unter Berücksichtigung des Standes von Wissenschaft und Technik und der weltweiten Erfahrungen in Kernkraftwerken, wird im Rahmen der Aktivitäten des GSKL-Fachteams Alterungsüberwachung Elektrotechnik gesichtet, bewertet und dokumentiert. Erforderliche Anpassungen und Weiterentwicklungen werden permanent umgesetzt. Damit der Stand von Wissenschaft und Technik in den werksspezifischen Steckbriefen auch über die Jahre nach der Erstellung sichergestellt ist, werden die generischen Basisdokumente des AÜP laufend durch das AÜP-Team E-Technik der GSKL, spätestens jedoch alle zehn Jahre überprüft und falls nötig aktualisiert. Neue Erkenntnisse basierend auf externen Quellen wie EPRI, TÜV, Arbeitskreise des VGB, WANO, Lieferanten, EQDB etc., oder Fachtagungen und Seminaren sowie neue, anerkannte Diagnosemethoden und Modelle werden im genannten GSKL-Team besprochen, bewertet und über deren Einführung entschieden. Auf Grundlage dieser Bewertungen werden die generischen Basisdokumente des AÜP (Steckbriefe Teil 1 und 2) und die werksspezifischen Dokumente (Steckbriefe Teil 3) bedarfsgerecht angepasst. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung von LEAP (Life Expectancy Analyses Program) für die Lebensdaueranalyse im Bereich der Mittelspannungsmotoren. Das Mess- und Analyseverfahren LEAP ermöglicht die Bewertung des Zustands der Statorwicklungsisolierung eines Motors und die daraus folgende Bestimmung der Motorwicklungslebensdauer. Nebst der sicherheitstechnisch relevanten Beurteilung werden die Resultate auch dazu verwendet, die Planung des etappenweisen Ersatzes dieser Motoren optimaler zu gestalten.

Die Effektivität des Alterungsüberwachungsprogrammes zeigt sich darin, dass bislang nur sehr selten alterungsbedingte Ausfälle von Komponenten aufgetreten sind. Der aus den werksspezifischen AÜP-Steckbriefen abgeleitete Inspektionsumfang, bzw. das in der Instandhaltung vorgegebene Inspektionsvolumen bestätigen damit den festgelegten Stichprobenumfang. Der bei der Kabeldeponie im Drywell definierte Umfang bei Entnahme und Messung von Probekörpern hat sich in der Praxis gut bewährt. Die Ergebnisse der Auswertungen belegen, dass der festgelegte Umfang bzw. das jeweilige Intervall für die Entnahme von Probekörpern geeignet sind, um den Alterungsprozess zu verfolgen.

Das AÜP ist ein fester Bestandteil der geplanten Instandhaltung. Unterstützend wirkt hier auch die voreilende werkstofftechnische Alterung von neu qualifizierten Komponenten in der Wärmebox. Die Umsetzung und die Wirksamkeit des AÜP wird in den Jahresberichten Sicherheit regelmässig dargestellt und bewertet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass aktuelle Erkenntnisse aus unterschiedlichen Quellen kontinuierlich in das Alterungsüberwachungsprogramm einfließen. Lücken in der bestehenden Instandhaltung und anderen relevanten Programmen werden identifiziert und durch entsprechende Massnahmen geschlossen. Dieses Vorgehen, welches im TQM beschrieben ist, stellt sicher, dass das Alterungsüberwachungsprogramm auch über den Überprüfungszeitraum hinaus aktuell gehalten wird.

Das KKL stellt weiter fest, dass mit dem beschriebenen Vorgehen die Effektivität der Alterungsüberwachung durch das AÜP-E auch in den kommenden Betriebsjahren gewährleistet werden kann.

AÜP von Magnetventilen und rotierenden elektrischen Maschinen

Für Magnetventile des Typs, der bei den inneren und äusseren Frischdampfisolationsarmaturen eingesetzt ist, wurde im Jahre 2009 eine alterungstechnische Analyse durchgeführt. Auf der Grundlage der Messergebnisse wurden zusammen mit den Daten aus der Komponentenqualifikation die notwendigen Austauschintervalle berechnet. Das ursprünglich festgelegte Austauschintervall konnte durch die Analyse bestätigt werden. Die gewonnenen Daten sind in die geplante Instandhaltung eingeflossen.

Die Auslegungsparameter bei der Wicklungsisolierung von rotierenden elektrischen Mittelspannungsmotoren (Spannungsebenen 6 kV und 10 kV) wurden sehr konservativ festgelegt. Für ihre Auslegung wurde die Isolationsklasse F (155 °C) spezifiziert. Für die betriebliche Ausnutzung wurden die Motoren jedoch nur bis maximal

Isolationsklasse B (130 °C) zugelassen, d. h. bei der Auslegung wurden bereits Reserven eingeplant. Im 2010 wurde mit der Durchführung von Analysemessungen mit dem LEAP-Programm begonnen, um den Alterungszustand der Motoren zu erfassen. Auf Grundlage der Analyseergebnisse können Massnahmen, wie eine Neukonstruktion des Motors oder ein Lagerwechsel, rechtzeitig geplant und durchgeführt werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 35 sowie Anhang 3 und 4 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B01^{B01} und ENSI-B14^{B14}

Beurteilung des ENSI

Alterungsüberwachungsprogramm

Das KKL-Alterungsüberwachungsprogramm im Bereich Elektrotechnik ist für die 1E-klassierten elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen und die PSA-relevanten Komponenten mit elektrischer Klassierung vollständig etabliert, und die entsprechenden Prozesse haben sich vom Ablauf und vom Inhalt her (Ergebnisse/Folgemaßnahmen) bewährt.

Für die 0E-klassierten elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen wurde die Bearbeitung aufgrund des Inkrafttretens der Richtlinie ENSI-G01 begonnen und hat einen guten Zwischenstand erreicht, der noch vervollständigt wird.

Das ENSI beurteilt das AÜP-E im KKL aufgrund der eingereichten Dokumente und aufgrund der im Überprüfungszeitraum gemachten Erfahrungen und Ergebnisse als wirksam und angemessen.

AÜP von Magnetventilen und rotierenden elektrischen Maschinen

Die Durchführung von gezielten Alterungsanalysen für Magnetventile und rotierende elektrische Maschinen durch das KKL wird vom ENSI positiv bewertet. Die Resultate bestätigen den eingeschlagenen Weg.

6 Deterministische Sicherheitsanalysen

Deterministische Sicherheitsnachweise beinhalten technische und radiologische Sicherheitsanalysen. Im Allgemeinen werden bei den technischen Sicherheitsanalysen neutronenphysikalische (Kritikalität, Leistung) und thermohydraulische Grössen (Temperaturen, Drücke, Massenströme) berechnet. Radiologische Sicherheitsanalysen bewerten Quellterme, Freisetzungen, Ausbreitungen und Expositionspfade. Die technischen Sicherheitsanalysen im Sinne der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01^{A01} und der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen^{UVEK-G}, im Folgenden Gefährdungsannahmen-Verordnung genannt, werden in den Kap. 6.1 und 6.2 behandelt. Die radiologischen Sicherheitsanalysen im Sinne der Strahlenschutzverordnung sowie der Richtlinien ENSI-A08^{A08} und ENSI-G14^{G14} folgen im Kap. 6.3. Die Prüfung der Störfallanalysen für die Lager und die betrieblichen Lagerbecken findet sich in Kap. 6.4.

6.1 Grundlagen deterministischer Sicherheitsanalysen

6.1.1 Grundlegende Anforderungen

Mit deterministischen Sicherheitsanalysen wird das auslegungsgemässe Verhalten der Anlage bei auslösenden Ereignissen der Sicherheitsebene 3 gemäss Tabelle 6.1-1 überprüft. Damit wird sichergestellt, dass bei Auslegungsstörfällen keine unzulässigen Freisetzungen radioaktiver Stoffe, keine unzulässigen Bestrahlungen von Personen und keine unzulässigen Schäden an der Anlage auftreten. Auslegungsstörfälle treten definitionsgemäss im Häufigkeitsbereich von kleiner als 10^{-1} pro Jahr bis grösser als 10^{-6} pro Jahr auf und werden grundsätzlich mit Sicherheits- bzw. Notstandssystemen beherrscht. Für den Nachweis des ausreichenden Schutzes gegen durch Naturereignisse ausgelöste Störfälle sind Gefährdungen mit einer Häufigkeit grösser oder gleich 10^{-4} pro Jahr zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von der Häufigkeit werden die Auslegungsstörfälle in die Störfallkategorien 1 bis 3 unterteilt. Für jeden Störfall ist nachzuweisen, dass die folgenden Schutzziele eingehalten werden:

- Kontrolle der Reaktivität
- Kühlung der Brennelemente
- Einschluss der radioaktiven Stoffe
- Begrenzung der Strahlenexposition

Einzelne auslegungsüberschreitende Störfälle der Sicherheitsebene 4a mit einer Eintrittshäufigkeit kleiner als 10^{-6} pro Jahr werden im Hinblick auf die Minimierung des verbleibenden Risikos ebenfalls im Rahmen der deterministischen Sicherheitsanalyse betrachtet.

Tabelle 6.1-1: Kriterien zur Bewertung der Störfallbeherrschung (Überblick)

Sicherheits-ebene	Störfall-kategorie	Häufigkeit H pro Jahr	Ziel	Schutzziel Kontrolle der Reaktivität	Schutzziel Kühlung der Brennelemente	Schutzziel Einschluss radioaktiver Stoffe	Dosiskriterien für die Umgebungsbevölkerung	Grundlagen
3	1	$10^{-1} \geq H > 10^{-2}$	Einhaltung der Schutzziele: – Kontrolle der Reaktivität – Kühlung der Brennelemente – Einschluss radioaktiver Stoffe	Unterkritikalität gewährleistet	Wärmeübergang Brennstabhüllrohr → Kühlmittel ausreichend	Integrität von Brennstabhüllrohr, Reaktorkühlkreislauf und Primär-Containment	Dosiskriterium für die Auslegung ¹ : Quellenbezogener Dosisrichtwert (im Folgejahr)	Art. 123 Abs. 2 Bst b StSV Art. 7, 8 und 9 UVEK-G
	2	$10^{-2} \geq H > 10^{-4}$	Sicherheitssysteme bleiben im erforderlichen Umfang wirksam	Unterkritikalität gewährleistet	Wärmeübergang Brennstabhüllrohr → Kühlmittel ausreichend	Integrität von Brennstabhüllrohr und Primär-Containment	Dosiskriterium für die Auslegung ¹ : 1 mSv (im Folgejahr)	Art. 123 Abs. 2 Bst. c StSV Art 7, 8 und 10 UVEK-G
	3	$10^{-4} \geq H > 10^{-6}$		Unterkritikalität höchstens kurzfristig nicht gewährleistet	Wärmeübergang Brennstabhüllrohr → Kühlmittel nur lokal und kurzzeitig beeinträchtigt	Integrität mindestens einer Barriere (Brennstabhüllrohr, Reaktorkühlkreislauf oder Primär-Containment)	Dosiskriterium für die Auslegung ¹ : 100 mSv (im Folgejahr)	Art. 123 Abs. 2 Bst. d StSV Art. 7, 8 und 11 UVEK-G
4a		$H \leq 10^{-6}$	Verhinderung eines Kernschadens					

1 Dosiskriterium pro Störfall nach Art. 123 Abs. 2 StSV, berechnet für das Folgejahr nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G14

6.1.2 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 8 KEV^{KEV}
- Art. 123 StSV^{StSV}
- Gefährdungsannahmen-Verordnung^{UVEK-G}
- Richtlinien ENSI-A01^{A01} (Version 2009), ENSI-A03^{A03}, ENSI-A08^{A08}, ENSI-G14^{G14}

6.1.3 Ausgangslage

Das KKL hat dem ENSI im Rahmen der deterministischen Sicherheitsstatusanalyse und zur Erfüllung der entsprechenden Anforderungen aus der Richtlinie ENSI-A03 eine aktualisierte Störfallliste, Fact Sheets (welche das Verhalten der Anlage und die vorhandenen Sicherheitsfunktionen für das auslösende Ereignis beschreiben), Sicherheitsanalysen und den Sicherheitsbericht eingereicht. Die Störfallliste berücksichtigt alle anzunehmenden auslösenden Ereignisse (Störfallspektrum) des KKL sowie die Einteilung der Störfälle in Störfallkategorien auf Basis der ermittelten Störfallhäufigkeiten.

Auf der Grundlage der Fact Sheets wird die Erfüllung der spezifischen Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 für jeden abdeckenden Störfall aufgezeigt. Dazu wurden auch neue Sicherheitsanalysen durchgeführt. Da diese teilweise über die Auslegung der Anlage hinausgehende Anforderungen beinhalten, werden diese vom KKL als Robustheitsanalysen bezeichnet.

Der Sicherheitsbericht umfasst u. a. die bei der Auslegung berücksichtigten Anlagentransienten (Anticipated Operational Occurrences, AOO), Störfälle (Accidents), sonstige Ereignisse (Other Events) sowie Ereignisse mit radiologischer Freisetzung aus Komponenten und Systemen. Die Bewertung erfolgt systematisch und beinhaltet die Ereignisursachen, Wahl des Einzelfehlers, angenommene Systemunverfügbarkeiten, den Störfallablauf sowie die Einhaltung der technischen und radiologischen Akzeptanzkriterien und Grenzwerte. Weiterhin finden sich in Kap. 6 des Sicherheitsberichts anforderungsbestimmende Störfallanalysen, welche zur Überprüfung der Containmentintegrität und damit zur Erfüllung des Schutzziels „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ herangezogen werden.

Übergeordnet stellt das ENSI aufgrund seiner Prüfung der eingereichten Dokumente insbesondere hinsichtlich des Sicherheitsberichts fest, dass dieser in einigen Fällen nicht die aktuellen Analysen berücksichtigt. Beispielsweise werden vereinzelt noch mittlerweile veraltete Sicherheitsanalysen aus der Genehmigungszeit referenziert. Ferner ist das ENSI der Ansicht, dass alle Störfallanalysen in Kap. 15 des Sicherheitsberichts zu dokumentieren sind und nicht in verschiedenen Kapiteln.

Forderung 6.1-1

Das KKL hat den Sicherheitsbericht bis zum 15. Dezember 2022 systematisch auf Aktualität der Sicherheitsanalysen zu prüfen, diese einheitlich zu dokumentieren sowie ggf. den Sicherheitsbericht zu aktualisieren. Dabei sind der aktuelle Stand der Anlage hinsichtlich der Fahrweise und Systemauslegung und die Vorgaben der Richtlinie ENSI-G09 zu berücksichtigen. Insbesondere ist auch die Vorgabe der Richtlinie ENSI-A01 zu berücksichtigen, dass Sicherheitsanalysen bis zum Erreichen eines sicheren stabilen Anlagenzustandes zu erfolgen haben.

Im Folgenden werden das Ereignisspektrum sowie die Störfallkategorisierung bewertet. Die Bewertung der einzelnen technischen Störfallanalysen bildet den Hauptteil in Kap. 6.2 der vorliegenden Stellungnahme.

6.1.4 Ereignisspektrum

Angaben des Betreibers

Das KKL hat im Rahmen der PSÜ 2016 alle vorliegenden Sicherheitsanalysen auf ihre Aktualität und ihre Konformität mit den neuen Regelwerksanforderungen (Vorgaben der Gefährdungsannahmen-Verordnung sowie der Richtlinien ENSI-A01, ENSI-A08 und ENSI-G14) überprüft.

Für die Entwicklung der Reaktorlinie BWR/6 durch General Electric war der NSOA-Prozess (Nuclear Safety Operational Analysis) Bestandteil der Auslegung. Der NSOA-Prozess ist auch die Grundlage für GESSAR II (generischer Sicherheitsbericht von General Electric), welcher ebenfalls die Sicherheitsanalysen umfasst. Die US-amerikanische Aufsichtsbehörde (Nuclear Regulatory Commission, NRC) akzeptierte sowohl den NSOA-Prozess als auch GESSAR II als Lizenzierungsgrundlage, wodurch sich der Umfang der Sicherheitsanalysen ergab. Für das KKL kamen seit 1984 weitere Sicherheitsanalysen, insbesondere aufgrund der Leistungserhöhung sowie aufgrund von internationalen Erkenntnissen und Anlagennachrüstungen, hinzu. Zur Sicherstellung der Vollständigkeit und Aktualität der Sicherheitsanalysen hat das KKL einen systematischen Prozess angewendet, welcher grundsätzlich auf dem ursprünglichen NSOA-Prozess basiert. Die gültige KKL-Störfallliste umfasst alle abdeckenden Szenarien sowie untergeordnete auslösende Ereignisse, die im Laufe der Jahre analysiert wurden. Die in der Störfallliste geführten Ereignisse werden in drei Kategorien eingeteilt:

- Anticipated Operational Occurrences (AOO, Anlagentransienten);
- Accidents; und
- Other Events.

Im Rahmen der PSÜ 2016 erfolgten eine Aktualisierung der KKL-Störfallliste sowie dazugehörig auch eine Überprüfung der Eintrittshäufigkeiten der auslösenden Ereignisse. Das abdeckende Störfallspektrum ist in Tabelle 6.1-2 gelistet.

Weiterhin wird für diejenigen AOO, deren Eintrittshäufigkeit kleiner als 10^{-2} pro Jahr ist und die somit den Störfallkategorien 2 oder 3 zugeordnet werden, gezeigt, dass die strengeren technischen Nachweisziele (vgl. Tabelle 6.2-1) der Störfallkategorie 1 gemäss ihrer Originalauslegung eingehalten werden. Damit wird vom KKL sichergestellt, dass die in der Auslegung enthaltenen Sicherheitsmargen erhalten bleiben.

Weiterhin bilden die in den Sicherheitsanalysen kreditierten Operateurhandlungen und Auslösegrenzwerte der Anlagen-Monitoring-Parameter die Grundlage für die KKL-Störfallvorschriften. Die Änderungen an den Störfallvorschriften, die im Überprüfungszeitraum durchgeführt wurden, wurden geprüft und haben keinen Einfluss auf die technischen Sicherheitsanalysen.

Bewertung des ENSI

Die in der Störfallliste genannten auslösenden Ereignisse bewertet das ENSI mit einer Ausnahme als vollständig. Nach Wertung des ENSI wird unter dem auslösenden Ereignis „Absturz schwerer Lasten“ im Sicherheitsbericht nur der Absturz eines Transport- und Lagerbehälters für abgebrannte Brennelemente bewertet. Aufgrund der maximal möglichen Absturzhöhe können Schäden an diesem sicher ausgeschlossen werden. Weitere mögliche Abstürze aufgrund eines Versagens verschiedener Hebezeuge oder Sekundärschäden an SSK durch den Absturz schwerer Lasten in den sicherheitsrelevanten Gebäuden werden durch das KKL nicht bewertet.

Forderung 6.1-2

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Störfall „Absturz schwerer Lasten“ um weitere Szenarien, welche das Versagen verschiedener Hebezeuge in den sicherheitsrelevanten Gebäuden berücksichtigen, zu ergänzen, entsprechend der zu erwartenden Absturzhäufigkeit zu kategorisieren und die Auswirkungen zu analysieren.

In Kap. 6.2 wird das abdeckende Störfallspektrum (vgl. Tabelle 6.1-2) im Detail bewertet. Aufgrund verschiedener einzelner Feststellungen aus der Detailprüfung des abdeckenden Störfallspektrums fasst das ENSI die offenen Punkte thematisch in entsprechenden Forderungen zusammen.

Die abdeckenden Störfälle stellen hinsichtlich der einzuhaltenden Schutzziele oder Auslegungsgrenzwerte der Anlage die grössten Anforderungen an die Sicherheitssysteme. Auch ist die Anwendung der Nachweisziele der Störfallkategorie 1 für alle AOO, wie vom KKL angewendet, für die technischen Kriterien des ausreichenden Wärmeübergangs von den Brennstabhüllrohren zum Kühlmittel und für die Sicherstellung der Unterkritikalität gültig. Jedoch wurden vom KKL bei der Festlegung des abdeckenden Störfallspektrums, auch hinsichtlich der mit den Robustheitsanalysen untersuchten Störfälle (vgl. Kap. 6.2), die Anforderungen der Gefährdungsannahmen-Verordnung zum Ansprechen von Überdruckschutzeinrichtungen nicht explizit überprüft.

Forderung 6.1-3

Das KKL hat für alle auslösenden Ereignisse gemäss Störfallliste, welche der Störfallkategorie 1 zugeordnet sind, systematisch zur Einhaltung der Anforderungen der Gefährdungsannahmen-Verordnung bis zum 15. Dezember 2019 aufzuzeigen, dass keine Überdruckschutzeinrichtungen für die Störfallbeherrschung benötigt werden.

Für die in der PSÜ bewerteten Anlagentransienten wurden vom KKL die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 geprüft und die Einhaltung der entsprechenden technischen Nachweisziele (vgl. Tabelle 6.2-1) aufgezeigt. Das ENSI kommt aufgrund seiner Prüfung der einzelnen abdeckenden Anlagentransienten zum Schluss (vgl. Kap. 6.2.1), dass vereinzelt Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 wie beispielsweise die Auswirkungen der Kreditierung erst des zweiten, zeitlich verzögerten Signals zur Reaktorschnellabschaltung (SCRAM) oder der Nachweis des langfristigen sicheren Anlagenzustands nicht vollständig erfüllt wurden.

Forderung 6.1-4

- a) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 verschiedene Szenarien zur Nachwärmeabfuhr unter Berücksichtigung der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 (insbesondere auch hinsichtlich des wirksamsten Einzelfehlers) zu definieren und so zu analysieren, dass die betrachteten Szenarien für das langfristige Anlagenverhalten abdeckend sind.*
- b) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den abdeckenden Fall der Gruppe der auslösenden Ereignisse „Abnahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor“ ohne Berücksichtigung des ersten SCRAM-Signals quantitativ zu untersuchen.*
- c) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 das unerwartete Öffnen eines Sicherheits-/Entlastungsventils ohne Berücksichtigung des SCRAM-Signals „Temperatur-Hoch“ in der Druckabbaukammer und unter Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums quantitativ zu untersuchen.*

Für die Erfüllung der Forderung sind die entsprechenden Ausführungen im Kap. 6.2.1 der Stellungnahme zur KKL PSÜ 2016 zu berücksichtigen.

Generell stellt das ENSI fest, dass in den Fact Sheets eine grundsätzliche Bewertung erfolgt, in welchen Betriebsarten gemäss „Technischen Spezifikationen“ ein auslösendes Ereignis zu einem Störfall führen kann, jedoch werden der Störfallverlauf sowie die verfügbaren Sicherheitsfunktionen zur Störfallbeherrschung meist nur für den Leistungsbetrieb bewertet. Nach Wertung des ENSI können Störfälle in den einzelnen Betriebsarten aufgrund geänderter Systemkonfigurationen unterschiedlich ablaufen.

Forderung 6.1-5

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2020 systematisch für alle Betriebsarten ausser dem Leistungsbetrieb zu prüfen, ob die auslösenden Ereignisse in diesen Betriebsarten durch die vorhandenen Analysen abgedeckt sind. Andernfalls sind entsprechende Sicherheitsanalysen bis zum 15. Dezember 2022 durchzuführen.

Weiterhin stellt das ENSI aufgrund der Prüfung der abdeckenden Störfälle (vgl. Tabelle 6.1-2) fest, dass eine Speisewassertemperaturabsenkung in den Robustheitsanalysen zur Umsetzung der Richtlinie ENSI-A01 hinsichtlich ihrer Auswirkungen nicht bewertet wird. Die Absenkung der Speisewassertemperatur ist eine reaktivitätserhöhende Massnahme im Streckbetrieb und ist prinzipiell gemäss den „Technischen Spezifikationen“ des KKL erlaubt. Eine Temperaturabsenkung im Leistungsbetrieb ist bis auf 121 °C zulässig, auch wenn diese seit dem Zyklus 29 nicht mehr betrieblich gefahren wird und somit auch im zyklusspezifischen Sicherheitsnachweis für die Kernausslegung nicht mehr analysiert wird. Eine Speisewasser-Temperaturabsenkung auf 121 °C kann je nach Störfall geringere Margen zu den Sicherheitsgrenzwerten zur Folge haben.

Forderung 6.1-6

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Einfluss der zulässigen Absenkung der Speisewassertemperatur gemäss „Technischen Spezifikationen“ für das Störfallspektrum zu bewerten und die Einhaltung der entsprechenden technischen Nachweisziele aufzuzeigen.

Die Auswahl der betrachteten auslegungsüberschreitenden Störfälle ist für das ENSI nachvollziehbar und deckt die nicht untersuchten, aber gemäss Richtlinie ENSI-A01 geforderten auslegungsüberschreitenden Störfälle ab. Generell werden diese ausgewählten auslegungsüberschreitenden Störfälle immer auch probabilistisch untersucht. Eine detaillierte Bewertung erfolgt in Kap. 7 der vorliegenden Stellungnahme.

Die im Überprüfungszeitraum durchgeführten wesentlichen Änderungen in den Störfall- und Notfallvorschriften werden nachvollziehbar dargelegt. Die Bewertung der Störfallvorschriften erfolgt in Kap. 9.4.1 der vorliegenden Stellungnahme.

Tabelle 6.1-2: Abdeckendes Störfallspektrum mit den grössten Anforderungen an die Einhaltung der Schutzziele oder Auslegungsgrenzwerte des KKL

Kapitel	Ereignis	Störfallkategorie	
		ohne EF	mit EF
Anlagentransienten – Anticipated Operational Occurrences (AOO)			
6.2.1.1	Verlust der Speisewasservorwärmung	1	2
6.2.1.2	Ausfall der Abfahrkühlung	1	2
6.2.1.3	Ausfall des Frischdampfdruckreglers – Schliessen der zugeordneten Ventile	2	2
6.2.1.4	Fehlerhaftes Schliessen von Frischdampfabschlussarmaturen	2	3
6.2.1.5	Ereignisse mit Abnahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor	1	2
6.2.1.6	Ereignisse mit Zunahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor	1	2
6.2.1.7	Fehler der Speisewasser-Regelung mit maximaler Fördermenge	1	2
6.2.1.8	Unerwartetes Öffnen eines Sicherheits-/Entlastungsventils	1	2
6.2.1.9	Ausfall der externen Stromversorgung	1	2
6.2.1.10	Steuerstabweichung (bei allen Leistungsniveaus)	2	3
Störfälle			
6.2.2.1	Bruch einer Frischdampfleitung innerhalb oder ausserhalb des Containments	3 ¹	3 ¹
6.2.2.2	Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb des Containments	3 ¹	3 ¹
6.2.2.3	Bruch einer Mess- oder Impulsleitung	3	3
6.2.2.4	Kühlmittelverluststörfall	3 ¹	AÜ ¹
6.2.2.5	Brennelement-Handhabungsstörfall		
	Absturz eines Brennelements im Brennelementlagergebäude	3	3
	Brennelementabsturz im Transferrohr	3	-

Kapitel	Ereignis	Störfallkategorie	
		ohne EF	mit EF
	Kühlmittelverlust im Transferrohr während eines Brennelementtransports	AÜ	
	Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports	2	3
6.2.2.6	Überspeisung des Reaktordruckbehälters	3 ²	3 ²
6.2.2.7	Steuerstabfall	3	3
6.2.2.8	Interne Überflutung	3	3
	Interner Brand	3	3
6.2.2.9	Erdbeben	3	3
	Extreme Wetterbedingungen	3	3
	Flugzeugabsturz (Ausnahme: Der Absturz eines Leichtflugzeugs oder Hubschraubers auf das Maschinenhaus ist der Störfallkategorie 3 zuzuordnen.)	AÜ	
Radioaktive Freisetzung aus Untersystemen und Komponenten			
6.3	Versagen des Systems zur Behandlung gasförmiger radioaktiver Abfälle		
	Integritätsverlust einer Komponente im Abgassystem	2	2
	Brand Aktivkohlefilter	2	2
	Fehlerhafte Bedienung (Operateurfehler)	– ³	– ³
	Bruch der Dampfstrahlsaugleitung	2	3
6.3	Versagen des Systems zur Behandlung flüssiger radioaktiver Abfälle		
	Integritätsverlust Abwassersammelbehälter	3	AÜ
	Bruch im Verdampfer	2	3
6.3	Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem	2	2
Ausgewählte auslegungsüberschreitende Störfälle			
6.2.3.1	Notstandssituation	AÜ	
6.2.3.2	Versagen der Reaktorschnellabschaltung bei Anforderung	AÜ	
6.2.3.3	Totalausfall der Wechselstromversorgung	AÜ	
6.4.3.1	Ausfall der Brennelementlagerbeckenkühlung	AÜ	

AÜ: Auslegungsüberschreitendes Szenario

EF: Einzelfehler

1 vgl. Forderung 6.1-7 a)

2 vgl. Forderung 6.2-2 a)

3 vgl. Forderung 6.1-7 b)

6.1.5 Störfallkategorisierung

Angaben des Betreibers

Die Einteilung der auslösenden Ereignisse in Störfallkategorien bildet die Grundlage für die Bestimmung der einzuhaltenden technischen Nachweisziele gemäss Gefährdungsannahmen-Verordnung. Für die Einteilung wurden die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 berücksichtigt. Die Störfallhäufigkeit ist gemäss Richtlinie ENSI-A01 das Produkt aus der Eintrittshäufigkeit des auslösenden Ereignisses (inklusive einem Zeitfaktor für den Betriebszustand) und der bedingten Wahrscheinlichkeit eines Einzelfehlers in einem der zur Störfallbeherrschung angeforderten Sicherheitssysteme. Die Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse werden grundsätzlich aus der KKL PSA 2016 entnommen. Für die abdeckenden Auslegungsstörfälle findet sich die entsprechende Störfallkategorisierung in der Tabelle 6.2-1.

Die als „Accidents“ oder „Other Events“ benannten Störfälle können aufgrund der Unterstellung des Einzelfehlers ihre Kategorie wechseln. Für die AOO wird vom KKL das Vorgehen wie im vorherigen Kap. 6.1.4 beschrieben verwendet, wobei für die Einteilung in eine Störfallkategorie ebenfalls unterschieden wird zwischen mit

und ohne Einzelfehler. Für die in den Störfallanalysen untersuchten Ereignisse wird gezeigt, dass die in Tabelle 6.2-1 aufgeführten technischen Nachweisziele eingehalten werden.

Bewertung des ENSI

Die Einteilung der Auslegungsstörfälle in Störfallkategorien erfolgt regelwerkskonform und stützt sich auf Daten der KKL PSA 2016 und damit auf aktuelle internationale und anlagenspezifische Betriebserfahrung. Die Wahrscheinlichkeiten für den massgebenden Einzelfehler werden ebenfalls korrekt bestimmt. Falls ein Zeitanteil für einen Betriebszustand bei der Bestimmung der Störfallhäufigkeit berücksichtigt wird, erfolgt dies regelwerkskonform und konservativ.

Gesamthaft ist die Einteilung der Auslegungsstörfälle in Störfallkategorien nachvollziehbar und kann vom ENSI mit wenigen Ausnahmen bestätigt werden. Nach Wertung des ENSI entspricht die Einteilung des Kühlmittelverluststörfalls innerhalb des Containments sowie des Frischdampf- und Speisewasserleitungsbruchs nicht mehr den aktuellen Erkenntnissen und kann daher nur für die grossen Brüche (Störfallkategorie 3) bestätigt werden. Bereits in der Stellungnahme zur PSÜ 2006 war die Einteilung von Kühlmittelverluststörfällen in kleine, mittlere und grosse Lecks gefordert worden. Das KKL hatte eine entsprechende Einteilung zur Erfüllung der Forderung 6.2-1 aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 vorgenommen, welche jedoch in die aktuelle Störfallliste nicht eingeflossen ist. Basierend auf den Ausführungen des KKL zur Erfüllung der damaligen Forderung sind kleinere Lecks der Störfallkategorie 2 zuzuordnen und damit strengere technische Nachweiskriterien (vgl. Kap. 6.2.2) zu erfüllen. Für die radiologischen Störfallanalysen (vgl. Kap. 6.3.5) erfolgt ein entsprechender Nachweis der Einhaltung der Dosisgrenzwerte für die Störfallkategorie 2 (kleine Lecks) resp. Störfallkategorie 3 (mittlere und grosse Lecks). Weiterhin kommt das ENSI zum Schluss, dass eine entsprechende Einteilung in kleine, mittlere und grosse Lecks auch für den Frischdampf- und Speisewasserleitungsbruch vorzunehmen ist.

Forderung 6.1-7

- a) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Kühlmittelverluststörfall, den Frischdampf- und den Speisewasserleitungsbruch in kleinere, mittlere und grosse Lecks entsprechend deren Eintrittshäufigkeiten in Störfallkategorien einzuteilen und in die Störfallliste aufzunehmen. Die Einhaltung der entsprechenden technischen Nachweiskriterien ist anhand aktueller Störfallanalysen zu belegen. Dabei sind die entsprechenden Hinweise des ENSI aus Kap. 6.2.2.1, 6.2.2.2 und 6.2.2.4 der Stellungnahme zur KKL PSÜ 2016 zu berücksichtigen.*

Für das Versagen des Systems zur Behandlung gasförmiger radioaktiver Abfälle (Radioactive Gas Waste Failure – Operator Error) kann nach Wertung des ENSI die ausgewiesene Eintrittshäufigkeit nur bedingt nachvollzogen werden. Für die Häufigkeit des Störfalls von 10^{-5} pro Jahr wurde angenommen, dass einmal im Jahr ein Operateur mit der Gelegenheit, den Bypass fehlerhaft zu öffnen, konfrontiert ist. Laut Angaben des KKL ergeben sich jedoch mehrere Möglichkeiten pro Jahr, wie bspw. Wiederauffahren nach jedem Anlagenstillstand, Umschaltung redundanter Komponenten oder Instandhaltungstätigkeiten, den Bypass fehlerhaft zu öffnen. Zudem ist aus Sicht des ENSI die Analyse nicht vollständig, da die Möglichkeit eines Fehlalarms, der zum Einstieg in eine Vorschrift führt, bei der das Öffnen des Bypass gefordert ist, nicht berücksichtigt wurde.

Forderung 6.1-7

- b) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 auf Basis der Betriebserfahrung die Anzahl Operateurhandlungen am Abgassystem zu bestimmen und bei der Berechnung der Eintrittshäufigkeit des Störfalls „Radioactive Gas Waste Failure – Operator Error“ zu berücksichtigen. Ferner ist bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit der Fall zu berücksichtigen, dass der Einstieg in Vorschriften fehlerhaft gefordert wird, z. B. durch Fehlanzeigen oder Alarmer, die zu einem Öffnen des Bypasses führen.*

Darüber hinaus ist eine Überprüfung der für den Störfall „Überspeisung des Reaktordruckbehälters“ ausgewiesenen Eintrittshäufigkeit (vgl. Kap. 6.2.2.6, Forderung 6.2-2 a) erforderlich.

6.1.6 Rechenprogramme

Angaben des Betreibers

Für die im Rahmen der PSÜ 2016 neu erstellten Analysen kamen diejenigen Berechnungsprogramme der Firma Westinghouse zum Einsatz, welche bereits in den letzten Jahren standardmässig bei technischen Sicherheitsanalysen angewandt wurden. Grundsätzlich können die Berechnungsprogramme aufgrund ihres Einsatzgebietes in die Gruppe Berechnungen des Anlagenverhaltens (Systemcodes) und die Gruppe Berechnung des Brennstoff- bzw. Brennstabverhaltens und Kernverhaltens unterteilt werden.

Für Analysen des Anlagenverhaltens werden die Programme BISON, BISON/SLAVE verwendet. Die Parameter für die Modellierung des Kernverhaltens werden mit POLCA7 (Berechnungsprogramm für langsame Transienten mit 3D-Reaktorkernsimulator) zur Verfügung gestellt. Für Kühlmittelverluststörfälle wird der Code GOBLIN verwendet.

Die Berechnung des Brennstoff- bzw. Brennstabverhaltens erfolgt mit den vom ENSI freigegebenen Codes für stationäre und transiente Bedingungen. Für die Berechnung werden unter anderem die Codes RAMONA und STAV7 verwendet.

Das KKL kommt zum Schluss, dass alle von Westinghouse durchgeführten Sicherheitsanalysen die Anforderungen an die verwendeten Rechenprogramme gemäss Richtlinie ENSI-A01 erfüllen.

Bewertung des ENSI

Alle genannten Rechenprogramme werden heute noch von Westinghouse für Sicherheitsanalysen verwendet. Die Rechenprogramme wurden in der Vergangenheit vom ENSI sowie verschiedenen ausländischen Aufsichtsbehörden akzeptiert.

Hinsichtlich des Berechnungsprogramms BISON liegen dem ENSI jedoch keine detaillierten Informationen zur Modellierung und Verwendung der Methoden für Störfallanalysen und deren Validierung vor. Damit kann das ENSI nicht beurteilen, ob das Berechnungsprogramm BISON in dieser Hinsicht noch dem Stand der Technik entspricht. Ferner wurde von Westinghouse bei der NRC eine Freigabe zum Einsatz des neueren Rechenprogramms POLCA-T gestellt. POLCA-T wurde für die Berechnung von Ein- und Zweiphasenströmung entwickelt.

Forderung 6.1-8

Das KKL hat dem ENSI bis zum 15. Dezember 2019 detailliert und prüfbar die verwendeten Methoden von BISON für Störfallanalysen darzulegen. Ferner ist aufzuzeigen, dass die verwendeten Methoden in BISON im Vergleich mit anderen aktuell verwendeten Berechnungsprogrammen noch dem Stand der Technik entsprechen. Andernfalls ist ein Freigabeantrag für ein dem Stand der Technik entsprechendes Berechnungsprogramm für Störfallanalysen zu stellen.

6.2 Beurteilung der technischen Sicherheitsanalysen

Die Prüfung der technischen Störfallanalysen betrifft die Konformität mit dem aktuellen Regelwerk. Beurteilt werden diejenigen Störfallabläufe mit den höchsten Belastungen für die Anlage bzw. mit den grössten Anforderungen an die Strukturen, Systeme und Komponenten (zum Beispiel bezüglich Druck und Temperatur).

Tabelle 6.1-2 gibt für alle Störfälle des Spektrums die zugehörige Einteilung in die Störfallkategorien an. Diese erfolgt nach ihrer Eintrittshäufigkeit sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung eines Einzelfehlers. Der Schutz gegen Auslegungsstörfälle wird auf der Basis technischer Kriterien bewertet. Diese sind in Art. 8 bis 11 der Gefährdungsannahmen-Verordnung vorgegeben. Sie beinhalten Anforderungen an die Gewährleistung der Unterkritikalität, des ausreichenden Wärmeübergangs von den Brennstabhüllrohren zum Kühlmittel sowie der Integrität der Barrieren, das heisst von Brennstabhüllrohren, vom Reaktorkühlkreislauf und vom Primär-Containment.

Die Anforderungen sind gestaffelt nach den Störfallkategorien 1 bis 3 auf der Sicherheitsebene 3 (vgl. Tabelle 6.1-1). Der Nachweis der Einhaltung der geforderten technischen Kriterien erfolgt durch den Vergleich berechneter Ergebnisse mit definierten Grenzwerten, beispielsweise für den Druck oder den Wärmeübergang. Die konkreten technischen Kriterien für die Sicherheitsnachweise werden von der Aufsichtsbehörde freigegeben.

Tabelle 6.2-1: Nachweisziele für die technischen Kriterien

Technische Kriterien	Störfallkategorie		
	1	2	3
	Für die Bewertung herangezogene Nachweisziele		
Unterkritikalität	Einfahren der Steuerstäbe	Einfahren der Steuerstäbe	Einfahren der Steuerstäbe
Wärmeübergang vom Brennstabhüllrohr zum Kühlmittel	Kein Filmsieden (CPR) oder entsprechende Hüllrohrtemperatur	Kein Filmsieden (CPR) oder entsprechende Hüllrohrtemperatur	Filmsieden kurzzeitig erlaubt
Integrität Brennstabhüllrohr	Kein Filmsieden (CPR) oder entsprechende Hüllrohrtemperatur	Kein Filmsieden (CPR) oder entsprechende Hüllrohrtemperatur	$T_{\text{Hüll}} < 1204 \text{ °C}$ Oxidationsschicht < 17 % Wasserstoff < 1 %
Integrität Reaktorkühlkreislauf	Kein Ansprechen von Überdruckschutzeinrichtungen (Druckstaffelung der SRV)	$p < 95,8 \text{ bar}$	$p < 95,8 \text{ bar}$
Integrität Primär-Containment	$p_{\text{Con}} < 3,08 \text{ bar}$ $T_{\text{Drywell}} < 165,6 \text{ °C}$ $T_{\text{DAK}} < 85 \text{ °C}$	$p_{\text{Con}} < 3,08 \text{ bar}$ $T_{\text{Drywell}} < 165,6 \text{ °C}$ $T_{\text{DAK}} < 85 \text{ °C}$	$p_{\text{Con}} < 3,08 \text{ bar}$ $T_{\text{Drywell}} < 165,6 \text{ °C}$ $T_{\text{DAK}} < 85 \text{ °C}$

p: Druck (rel.)

p_{Con} : Druck Containment (rel.)

p_{Drywell} : Druck Drywell (rel.)

$T_{\text{Hüll}}$: Hüllrohrtemperatur

T_{Drywell} : Temperatur Drywell

T_{DAK} : Wassertemperatur Druckabbaukammer

CPR: Critical Power Ratio (kritisches Leistungsverhältnis, vgl. Kap. 3.3)

SRV: Safety Relief Valves (Sicherheits- und Entlastungsventile)

Das KKL hat für den Nachweis der Hüllrohrintegrität in den PSÜ-Unterlagen noch auf ein Hüllrohrtemperatur-Zeitkriterium abgestellt. In neueren Freigabeverfahren, wie für den Ersatz des Power Range Neutron Monitor Systems (PRNMS) wurde die Hüllrohrintegrität auf Basis der Brennstoff- und Hüllrohreigenschaften nachgewiesen. Das ENSI erachtet den Nachweis auf Basis der Brennstoff- und Hüllrohreigenschaften als regelwerkskonform und entsprechend dem Stand der Technik.

Forderung 6.2-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2019 den Nachweis für die Störfälle „Ausfall des Frischdampfdruckreglers“, „Schliessen aller Frischdampfabschlussarmaturen“, „Steuerstabfahrfehler“ und „Langsamen Öffnen der Umwälzregelventile“, welche für den Nachweis der Hüllrohrintegrität ein Hüllrohrtemperatur-Zeitkriterium verwenden, zu aktualisieren und den entsprechenden Brennstabintegritätsnachweis anhand der Brennstoff- und Hüllrohreigenschaften aufzuzeigen.

6.2.1 Anlagentransienten – Anticipated Operational Occurrences

6.2.1.1 Verlust der Speisewasservorwärmung

Angaben des KKL

Bei diesen Ereignissen kommt es zu einer fehlerhaften Reduktion der Reaktorkühlmittel-Temperatur. Ausgelöst wird der Störfall durch eine ungeplante Isolation der Dampfanzapfleitung zu einem der Speisewasservorwärmer oder durch eine Umleitung des Speisewassers, sodass einer oder mehrere der Speisewasservorwärmer nicht mehr durchströmt werden. Eine ungeplante Isolation der Dampfanzapfleitung führt zu einem langsamen Absinken der Speisewassertemperatur. Im zweiten Fall können die Speisewasservorwärmer das umgeleitete Speisewasser nicht vorwärmen. Beide Fälle führen dazu, dass kälteres Speisewasser in den Reaktordruckbehälter fließt. Das kältere Speisewasser vermischt sich mit dem auf Sättigungstemperatur befindlichen Wasser im Reaktordruckbehälter (RDB) und führt zu einem langsamen Absinken der Kühlmitteltemperatur am Kerneintritt. Wegen des negativen Dampfblasenkoeffizienten steigt die Leistung im Kern langsam an.

Zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 wurden für den „Verlust der Speisewasservorwärmung“ Robustheitsanalysen durchgeführt. Hierfür wurden konservative abdeckende Anfangs- und Randbedingungen verwendet sowie limitierende Kernleistungszustände angenommen. In den Analysen wurden sicherheitsrelevante Funktionen wie ein automatisches Einfahren von ausgewählten Steuerstäben (Select Rod Insertion, SRI) und Runback konservativ nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der Analysen zeigen für eine Reduzierung der Speisewassertemperatur um 38 °C einen maximalen Reaktordruck von 74,2 bar. Damit ist die Integrität des Primärkühlkreislaufs gewährleistet. Der maximale Leistungspeak liegt unter dem SCRAM-Grenzwert für den Neutronenfluss von 114 %. Die Anlage stabilisiert sich in einem neuen Betriebspunkt.

Zykluspezifisch wird mit dem Ereignis der zulässige Betriebsgrenzwert für den Abstand zur Siedeübergangsleistung festgelegt und gezeigt, dass die mechanischen und thermischen Überlastgrenzwerte nicht überschritten werden.

Beurteilung des ENSI

Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität der Brennstabhüllrohre sind durch den Nachweis des Abstands zum Filmsieden sichergestellt. Da sich die Anlage betrieblich auf einem neuen Leistungsniveau stabilisiert, ist ein Eingriff von Sicherheitsfunktionen nicht notwendig und alle Schutzziele werden eingehalten.

6.2.1.2 Ausfall der Abfahrkühlung

Angaben des KKL

Ursache für den Ausfall der Abfahrkühlung kann das fehlerhafte Schliessen eines zum Nachwärmeabfuhrsystem gehörigen Ventils ohne Möglichkeit des Wiederöffnens sein. Bei Ausfall der Abfahrkühlung steigt die Temperatur des Reaktorwassers langsam an, bis eine automatische oder manuelle Gegenmassnahme erfolgt. Erschwerend wurden auch Szenarien mit Ausfall der externen Stromversorgung nach Normalbetrieb und das Abfahren der Anlage unter alleiniger Berücksichtigung der Sicherheitssysteme analysiert.

Operateurmassnahmen sind erst nach 30 min und nur für die Herstellung einer langfristigen Kernkühlung erforderlich. Aufgrund der verschiedenen Nachwärmeabfuhrstränge bzw. -systeme kann die Nachwärme stets einzelfehlersicher abgeführt werden. Der begrenzende Einzelfehler ist der Verlust eines Nachwärmeabfuhrstrangs zur Kühlung der Druckabbaukammer. Dieser Einzelfehler wirkt sich am ungünstigsten auf die Erhöhung der Temperatur in der Druckabbaukammer aus.

Die zusätzlichen Ausfallannahmen der Richtlinie ENSI-A01 wurden im Rahmen einer Robustheitsbetrachtung der Anlage bewertet. Darin zeigt sich, dass der Störfallablauf und die Auswirkungen durch das Ereignis „Ausfall der externen Stromversorgung“ abgedeckt sind. Es werden alle technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 1 eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Die Bewertung des Anlagenverhaltens erfolgt durch das KKL entweder qualitativ oder basiert auf Genehmigungsrechnungen, welche nach Ansicht des ENSI nicht mehr aktuell sind. Es ist plausibel, dass die Nachwärme aufgrund der Redundanzen der Sicherheitssysteme einzelfehlersicher abgeführt werden kann. Nach Wertung des ENSI fehlen hierzu jedoch aktuelle Sicherheitsanalysen unter Berücksichtigung der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 (vgl. Forderung 6.1-4 a)). Das Szenario „Abfahren der Anlage nur mit Sicherheitssystemen“ ist hinsichtlich der langfristigen Nachwärmeabfuhr nach einem SCRAM grundsätzlich abdeckend für die AOO.

6.2.1.3 Ausfall des Frischdampfdruckreglers – Schliessen der zugeordneten Ventile

Angaben des KKL

Die Regelung des Reaktordrucks erfolgt über die Turbinenregelventile und ist dreikanalig aufgebaut. Der limitierende Fehler ist der Ausfall eines Ausgangssignals des Frischdampfdruckreglers und führt zum Schliessen aller Turbinenregelventile. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Ausfallannahmen der Richtlinie ENSI-A01 ist der Ausfall des Frischdampfdruckreglers abdeckend für den Generator-Lastabwurf und den Verlust des Kondensatorvakuums, welche auch zyklusspezifisch analysiert werden.

Das Schliessen der Turbinenregelventile in ihrem normalen Regelmodus bewirkt eine Reduktion des Frischdampfmassenstroms und damit einen Reaktordruckanstieg. Der erhöhte Reaktordruck führt wiederum zu einer Abnahme des Dampfgehalts im Kern und damit zu einem Anstieg der (Void-)Reaktivität bzw. der Reaktorleistung. Abhängig vom Kernzustand und dem angenommenen auslösenden SCRAM-Signal (erstes oder zweites zeitlich verzögertes) wird der Reaktor durch das Signal „Neutronenfluss Hoch“ oder „Reaktordruck Hoch“ durch das Einfahren von Steuerstäben (SCRAM) abgeschaltet. Die Transiente wird nach wenigen Sekunden durch die SCRAM-Auslösung beendet. Danach befindet sich der Reaktor im heiss abgestellten Zustand und die Druckhaltung erfolgt mit den SRV. Die Nachwärmeabfuhr (Residual Heat Removal, RHR) wird einzelfehlersicher durch die RHR-Systeme sichergestellt.

Zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 wurde das Schliessen aller Frischdampfabschlussarmaturen (Main Steam Line Isolation Valves, MSIV) neu untersucht. Mittels Robustheitsanalysen wurde der Einfluss des Ausfalls der externen Stromversorgung zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs (Total Loss of Offsite Power, T-LOOP) sowie die Anregung der Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal untersucht. Erfolgt T-LOOP zu einem früheren Zeitpunkt als der Ereigniseintritt, ist der Störfallablauf milder. Erfolgt T-LOOP zu einem späteren Zeitpunkt, hat dies einen vernachlässigbaren Einfluss. Weiterhin wurden konservative abdeckende Anfangs- und Randbedingungen verwendet sowie verschiedene Punkte im Betriebskennfeld und während des Zyklus untersucht. In den Analysen wurden sicherheitsrelevante Funktionen wie SRI und Runback konservativ nicht berücksichtigt.

Gemäss den Analysen ist der Betriebspunkt 25 % Reaktorleistung mit 80 % Kerndurchsatz für den Zeitpunkt, an dem der Streckbetrieb einsetzt („End of Full Power (EOFP)“), limitierend. Die maximale Hüllrohrtemperatur für diesen Fall beträgt 772 °C inklusive aller Rechenunsicherheiten. Der Zustand des Filmsiedens steht für wenige Sekunden an. Das KKL kommt zum Schluss, dass damit auch die Hüllrohrintegrität gewährleistet ist. Der maximale Reaktordruck liegt unter dem Auslegungsgrenzwert von 95,8 bar. Die Integrität des Primärkühlkreislaufs ist gewährleistet und die entsprechenden technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 2 werden eingehalten. Das Ereignis wird ebenfalls zyklusspezifisch analysiert.

Beurteilung des ENSI

Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Reaktorkühlkreislaufs sind sichergestellt. Die Methodik zu Bestimmung der Integrität der Brennstabhüllrohre mittels der berechneten Hüllrohrtemperatur ist für das ENSI nachvollziehbar, jedoch ist die Einhaltung der entsprechenden Auslegungswerte der Brennstäbe bzw. des Brennstoffs noch zu zeigen (vgl. Forderung 6.2-1). Die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden (vgl. Kap. 6.2.1.2).

6.2.1.4 Fehlerhaftes Schliessen von Frischdampfabschlussarmaturen

Angaben des KKL

Das KKL unterscheidet beim fehlerhaften Schliessen zwischen dem Schliessen eines, zweier oder aller MSIV, welche beispielsweise durch Bedienfehler des Betriebspersonals, hohen Druck im Kern oder hohen Frischdampfmassenstrom, hohe Aktivität in den Frischdampfleitungen sowie sehr niedrigen Füllstand ausgelöst werden können. Das Schliessen eines oder zweier MSIV verläuft weniger schwerwiegend als das Schliessen aller, da der resultierende Druckanstieg geringer ausfällt. Je nach Kernzustand führt das Schliessen eines MSIV nicht zu einem SCRAM. Das Schliessen aller MSIV ist abdeckend für den Turbinenschnellschluss.

Das Schliessen aller MSIV führt zu einer schnellen Reduktion des Frischdampfmassenstroms, sodass der Reaktordruck ansteigt. Der erhöhte Reaktordruck führt wiederum zu einer Abnahme des Dampfgehalts im Kern und damit zu einem Anstieg des Neutronenflusses. Abhängig vom Kernzustand und dem angenommenen auslösenden SCRAM-Signal (erstes oder zweites zeitlich verzögertes) wird der Reaktor durch das Signal „Positionsschalter der MSIV“, „Neutronenfluss Hoch“ oder „Druck Hoch“ abgeschaltet. Die Transiente wird nach wenigen Sekunden durch die SCRAM-Auslösung beendet. Danach befindet sich der Reaktor im heiss abgestellten Zustand und die Druckhaltung erfolgt mit den SRV. Die Nachwärmeabfuhr wird einzelfehlersicher durch die RHR-Systeme sichergestellt. Die gesamte freigesetzte Dampfmenge ergibt sich aus der Nachzerfallwärme bis zum Ende der Druckentlastung nach 3,1 h. Die gesamte in die Druckabbaukammer (DAK) abgeführte Dampfmenge beträgt 396,2 t.

Zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 wurde als Robustheitsanalyse das Schliessen aller MSIV neu untersucht. Mittels Robustheitsanalysen wurden auch der Einfluss eines T-LOOP sowie die Anregung der Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal untersucht. Die Annahme T-LOOP zum Zeitpunkt direkt nach der SCRAM-Auslösung durch das zweite, zeitlich verzögerte Signal wurde als limitierend identifiziert, da dies zum Ausfall aller betrieblichen Systeme führt. Weiterhin wurden konservative Anfangs- und Randbedingungen verwendet sowie verschiedene Punkte im Betriebskennfeld und während des Zyklus untersucht. Gemäss den Analysen ist der Betriebspunkt 25 % Reaktorleistung mit 80 % Kerndurchsatz für „End of Full Power (EOFP)“ limitierend. Die maximale Hüllrohrtemperatur für diesen Fall beträgt 681 °C. Das KKL kommt zum Schluss, dass damit auch die Hüllrohrintegrität gewährleistet ist. Der maximale Reaktordruck erreicht 86,1 bar und liegt unter dem Auslegungsgrenzwert von 95,8 bar. Die Integrität des Primärkühlkreislaufs ist gewährleistet und die entsprechenden technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 2 werden eingehalten. Das Ereignis wird ebenfalls zyklusspezifisch analysiert.

Beurteilung des ENSI

Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Reaktorkühlkreislaufs sind sichergestellt. Die Methodik zu Bestimmung der Integrität der Brennstabhüllrohre mittels der berechneten Hüllrohrtemperatur ist für das ENSI nachvollziehbar, jedoch ist die Einhaltung der entsprechenden Auslegungswerte der Brennstäbe bzw. des Brennstoffs noch zu zeigen (vgl. Forderung 6.2-1).

Die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden (vgl. Kap. 6.2.1.2). Bezüglich der radiologischen Analyse (vgl. Kap. 6.3) stellt das ENSI fest, dass die berechneten freigesetzten Dampfmen gen nicht vollständig nachvollziehbar sind und von der gewählten Fahrweise zur Überführung in den kalt abgestellten Anlagenzustand abhängen. Das Schliessen aller MSIV ist für die Erfüllung der Forderung 6.1-4 a) zu berücksichtigen.

6.2.1.5 Ereignisse mit Abnahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor

Angaben des KKL

Ereignisse mit Abnahme des Kerndurchsatzes werden entweder durch einen Fehler in der Umwälzmengenregelung oder durch den Ausfall einer oder beider Umwälzpumpen ausgelöst. In der Folge kommt es aufgrund des geringeren Kerndurchsatzes zu einem Anstieg des Dampfgehalts (Anschwellen des Reaktorfüllstands)

und zu einer Leistungsminderung aufgrund der Void-Rückwirkungen. Je nach Kerndurchsatzrückgang sind die leistungsbegrenzenden Massnahmen ausreichend und der Reaktor stabilisiert sich auf einem neuen Leistungsniveau, oder der Reaktor wird aufgrund des Erreichens von Niveau 8 (Füllstand hoch) durch SCRAM abgeschaltet. Bei Niveau 8 werden ebenfalls die Turbinenschnellabschaltung, das Abschalten der beiden Umwälzpumpen und das Abschalten der Speisewasserpumpen ausgelöst. Die Bespeisung des Reaktors erfolgt entweder mit dem Hochdruckkernsprühsystem (High Pressure Core Spray System, HPCS) oder dem Kernisolation-Kühlsystem (Reactor Core Isolation Cooling System, RCIC). Die Nachwärme wird einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt. Die Akzeptanzgrenzwerte der Störfallkategorie 1 werden eingehalten.

Kommt es zum Ausfall beider Umwälzpumpen, erfolgt vorgelagert ein automatisches Einfahren von ausgewählten Steuerstäben (SRI). Durch den SRI kommt es zu einem Kollabieren der Dampfblasen im Kern, sodass der erwartete Füllstandsanstieg ausbleibt und sich die Reaktorleistung auf einem neuen niedrigeren Niveau stabilisiert.

Zur Erfüllung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 wurde der Einfluss der zusätzlichen Ausfallannahmen, speziell T-LOOP zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs und Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal bewertet. Ein zweites diversitäres SCRAM-Signal für die Transienten mit Abnahme des Kerndurchsatzes existiert nicht und muss daher nicht untersucht werden. Der zusätzliche Ausfall der externen Stromversorgung ist durch den Störfall „Ausfall der externen Stromversorgung“ abgedeckt, da dieser ebenfalls zum Ausfall der Umwälzpumpen führt.

Der Störfall „Fehler in der Umwälzmengenregelung mit Abnahme des Kerndurchsatzes“ wird als potentiell begrenzendes AOO-Ereignis für den Single-Loop-Betrieb zykluspezifisch analysiert. In diesen Berechnungen wird der zulässige Betriebsgrenzwert für den Abstand zur Siedeübergangsleistung festgelegt und gezeigt, dass die mechanischen und thermischen Überlastgrenzwerte nicht überschritten werden.

Beurteilung des ENSI

Der grundsätzliche Störfallablauf ist für das ENSI nachvollziehbar und wurde mit der Leistungserhöhung detailliert bewertet oder wird wie für den Single-Loop-Betrieb zykluspezifisch analysiert. Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen für den Leistungsbetrieb allerdings nur noch teilweise den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01. Nach Wertung des ENSI existiert mindestens ein weiteres zeitlich verzögertes SCRAM-Signal wie beispielweise der Simulated-Thermal-Power-SCRAM. Die Einhaltung der entsprechenden technischen Kriterien in Verbindung mit den zusätzlichen Ausfallannahmen der Richtlinie ENSI-A01 (hier Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal) kann nicht ohne quantitative Analysen aufgezeigt werden (vgl. Forderung 6.1-4 b)).

6.2.1.6 Ereignisse mit Zunahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor

Angaben des KKL

Eine Zunahme des Kühlmitteldurchsatzes kann durch einen Fehler in der Neutronenflussregelung oder durch ein fehlerhaftes Öffnen eines oder beider Durchflussregelventile der Umwälzschleifen hervorgerufen werden. Es wird zwischen einer langsamen und einer schnellen Änderung der Umwälzmenge unterschieden. Aufgrund des erhöhten Kerndurchsatzes steigt die Leistung im Kern, welche normalerweise durch den Neutronenfluss-Hoch-SCRAM beendet wird. Der begrenzende Einzelfehler ist ein Blockieren des wirksamsten Steuerelements (Stuck-Rod) und hat keinen signifikanten Einfluss auf den Ereignisverlauf. Füllstand und Reaktordruck werden mit dem Speisewasserregler bzw. Druckregler konstant gehalten. Die Nachwärmeabfuhr wird einzelfehlersicher durch die RHR-Systeme (abdeckender Störfall: „Ausfall der Abfahrkühlung“) sichergestellt.

Zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 wurde als Robustheitsanalyse der limitierende Fall eines langsamen Öffnens der Umwälzregelventile neu analysiert. Mittels Robustheitsanalysen wurde der Einfluss eines T-LOOP zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs sowie die Anregung der Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal untersucht.

Für die Analysen wurden konservative Anfangs- und Randbedingungen verwendet sowie verschiedene Punkte im Betriebskennfeld und während des Zyklus untersucht. Limitierend ist der Betriebspunkt 100 % Reaktorleistung mit 78 % Kerndurchsatz und die Annahme von T-LOOP 0,4 s bevor das zweite SCRAM-Signal „Druck Hoch“ anspricht. Die maximale Hüllrohrtemperatur für diesen Fall beträgt 562 °C und das KKL kommt zum Schluss, dass damit auch die Hüllrohrintegrität gewährleistet ist. Der maximale Reaktordruck erreicht 81,7 bar und liegt unter dem Auslegungsgrenzwert von 95,8 bar. Die Integrität des Primärkühlkreislaufs ist gewährleistet und die technischen Nachweisziele der entsprechenden Störfallkategorie werden eingehalten.

Zyklusspezifisch wird ein langsamer Anstieg der Umwälzmenge aus Teillast analysiert, welcher gerade noch nicht zur SCRAM-Auslösung führt. Damit wird der Betriebsgrenzwert für den minimalen Abstand zur Siedeübergangsleistung bestimmt.

Beurteilung des ENSI

Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Reaktorkühlkreislaufs sind sichergestellt. Die Methodik zur Bestimmung der Integrität der Brennstabhüllrohre mittels der berechneten Hüllrohrtemperatur ist für das ENSI nachvollziehbar, jedoch ist die Einhaltung der entsprechenden Auslegungswerte der Brennstäbe bzw. Brennstoffs noch zu zeigen (vgl. Forderung 6.2-1).

Die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden (vgl. Kap. 6.2.1.2).

6.2.1.7 Fehler der Speisewasser-Regelung mit maximaler Fördermenge

Angaben des KKL

Das Ereignis „Fehler der Speisewasser-Regelung mit maximaler Fördermenge“ wird durch einen postulierten Fehler in einer Steuereinrichtung im Speisewassersystem verursacht, der bewirkt, dass der Speisewasserregler den höchsten Sollwert mit maximaler Fördermenge ansteuert. Die Speisewasserzufuhr steigt bei diesem Fehler schnell auf ihren Maximalwert an. Aufgrund des charakteristischen Verhaltens des Reaktors bei einer Erhöhung der Speisewasserzufuhr repräsentiert dieser Störfall eine Kombination aus Temperatursenkung und damit Leistungsanstieg und schneller Druckerhöhung. Die Transiente wird entweder beim Erreichen des Ansprechwerts für die simulierte thermische Leistung (Simulated Thermal Power) oder beim Erreichen des Reaktorniveaus 8 durch SCRAM beendet. Mit Niveau 8 werden ebenfalls die Turbinenschnellabschaltung, das Abschalten der beiden Umwälzpumpen und das Abschalten der Speisewasserpumpen ausgelöst. Die Bespeisung des Reaktors erfolgt mit dem RCIC, wobei der Ausfall des HPCS den begrenzenden Einzelfehler darstellt. Der RCIC-Betrieb führt zu einem langsamen Temperaturanstieg in der Druckabbaukammer, welche einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen gekühlt werden kann. Die Akzeptanzgrenzwerte der Störfallkategorie 2 werden eingehalten.

Zur Erfüllung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 wurde der Einfluss der zusätzlichen Ausfallannahmen T-LOOP zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs und Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal bewertet. Ein zweites diversitäres Anregesignal zum Abschalten der Speisewasserpumpen, für die Turbinenschnellabschaltung und die Abschaltung der Umwälzpumpen existiert nicht und muss daher nicht untersucht werden. Der zusätzliche Ausfall der externen Stromversorgung ist durch den Störfall „Ausfall der externen Stromversorgung“ abgedeckt und führt zum Schliessen aller MSIV.

Beurteilung des ENSI

Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Die Wahl des limitierenden Einzelfehlers ist nachvollziehbar und die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden (vgl. Kap. 6.2.1.2). Die qualitativen Robustheitsbetrachtungen sind für das ENSI nachvollziehbar und decken die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 ab. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Reaktorkühlkreislaufs sind damit sichergestellt. Es werden alle technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 1 eingehalten.

6.2.1.8 Unerwartetes Öffnen eines Sicherheits-/Entlastungsventils

Angaben des KKL

Ein offenes SRV (Sicherheits-/Entlastungsventil) verursacht einen erhöhten Dampfaustrag aus dem Reaktor und somit eine leichte Abnahme des Reaktordrucks. Die normalen Betriebs- und Regelsysteme reagieren auf die Abnahme des Reaktordrucks und des Füllstands, sodass sich ein neuer stabiler Betriebszustand einstellt. Mit dem Öffnen eines SRV erfolgt ein Dampfbeitrag in die DAK und führt dort zu einem Temperaturanstieg.

Der Leistungsbetrieb wird automatisch beim Erreichen einer erhöhten DAK-Temperatur durch einen SCRAM beendet. Alternativ kann der Operateur gemäss Störfallvorschriften nach Erreichen der entsprechenden Eintrittsbedingung für Notfallmassnahmen das RHR-System im DAK-Kühlmodus in Betrieb nehmen. Bei einem weiteren Anstieg der DAK-Temperatur kann der Grenzwert erreicht werden, sodass eine manuelle Druckentlastung des Reaktordruckbehälters erforderlich wird. Spätestens bei Erreichen der Notstand (Special Emergency Heat Removal, SEHR)-Kriterien wird automatisch die Druckentlastung und Kühlung der Druckabkammer eingeleitet.

Die Kernkühlung wird, falls kein Notstromfall vorliegt, durch das verfügbare Speisewasser sichergestellt. In diesem Fall muss der Operateur bei „Füllstand Hoch“ in der DAK das Speisewasser abschalten. Nach Abschaltung der Speisewasserpumpen oder bei Notstrom-Bedingungen übernehmen HPCS, Niederdruckkernsprühsystem (Low Pressure Core Spray System, LPCS), Kernflutsystem (Low Pressure Core Injection, LPCI) oder SEHR die Kernkühlung. Beim Erreichen des Ansprechwerts für hohe Radioaktivität in der Containment-Abluft wird das Containment isoliert. Eine Reaktorisolation ist bei diesem Ereignis nicht zu erwarten. Der begrenzende Einzelfehler ist der Verlust eines RHR-Strangs zur Kühlung der DAK.

Der Störfall wurde im Rahmen der Leistungserhöhung mit konservativen Annahmen analysiert und dient zur Überprüfung der Auslegungsgrenzwerte des Containments. Die maximale Temperatur im Druckabbaubecken erreicht 82,4 °C und liegt unterhalb des maximal zulässigen Auslegungswerts von 85 °C. Der maximale Druck im Containment erreicht 1,49 bar und liegt ebenfalls unter der Auslegungsgrenze von 2,03 bar. Somit werden die Akzeptanzgrenzwerte für die Brennelement- und Kernauslegung sowie für den Reaktordruck und für den Druck und die Temperatur in der DAK jederzeit eingehalten.

Zur Erfüllung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 wurde der Einfluss der zusätzlichen Ausfallannahmen, speziell der T-LOOP zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs und der Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal bewertet. Ein zweites diversitäres Anregesignal existiert nicht und muss daher nicht untersucht werden. Der zusätzliche Ausfall der externen Stromversorgung ist durch den entsprechenden Störfall oder den Ausfall der Abfahrkühlung abgedeckt.

Beurteilung des ENSI

Die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden. Die langfristige Kühlung der DAK wurde bereits im Rahmen der Leistungserhöhung von der HSK bewertet^{HSK12/420}. Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen entsprechen nach Wertung des ENSI allerdings nur noch teilweise den heutigen Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01. Nach Ansicht des ENSI können weitere diversitäre SCRAM-Signale, wie beispielsweise Niveau-Tief erreicht oder auch Hand-SCRAM nach 30 min nach dem Störfalleintritt durch die Operateure ausgelöst werden. Ohne eine quantitative Analyse ist unklar, welches Anlagenverhalten sich ergibt (vgl. Forderung 6.1-4 c)).

6.2.1.9 Ausfall der externen Stromversorgung

Angaben des KKL

Der Ausfall der externen Stromversorgung wird im KKL in die zwei auslösenden Ereignisse „Ausfall der Hilfstransformatoren“ und „Verlust des externen Stromnetzes“ unterteilt. Bei Ausfall der HILfstransformatoren steht noch die 50-kV-Einspeisung zur Verfügung, welche die meisten Sicherheitssysteme versorgt. Dieser Fall wird als Loss of Offsite Power (LOOP) bezeichnet. Der Verlust des EXternen StRÖmnetzes (Ausfall der 400-kV- und 50-kV-Netzverbindungen) mit Versagen des Generatorlastabwurfs auf Eigenbedarf führt zum Notstromfall

(Total Loss of Offsite Power, T-LOOP). Das Ereignis „Ausfall der externen Stromversorgung“ ist unter Berücksichtigung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 durch das „Schliessen aller Frischdampfisolationsventile“ abgedeckt. Erfolgt die Reaktorschnellabschaltung bereits durch das erste SCRAM-Signal, verläuft das Ereignis (je nach Verfügbarkeit der Hilfstransformatoren oder des externen Stromnetzes) weniger schwerwiegend und ist entweder durch den „Verlust des Kondensatorvakuums“ oder „Generator-Lastabwurf mit Turbinen-Bypass“ abgedeckt. Die langfristige Nachwärmeabfuhr wie auch alle Betriebszustände – ausser dem Leistungsbetrieb – sind durch das Ereignis „Ausfall der Abfahrkühlung“ abgedeckt. Der begrenzende Einzelfehler ist der Ausfall des HPCS. Die Akzeptanzgrenzwerte für die Brennelement- und Kernausslegung sowie für den Reaktordruck und für die Temperatur in der DAK werden jederzeit eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Das Verhalten der Anlage beim Ausfall der externen Stromversorgung ist für das ENSI nachvollziehbar. Es ist für das ENSI plausibel, dass das Anlagenverhalten je nach Ausfallannahmen und anzunehmenden Randbedingungen durch den Verlust des Kondensatorvakuums, den Generator-Lastabwurf mit Turbinen-Bypass oder das Schliessen aller MSIV abgedeckt ist, wobei das Schliessen aller MSIV die grössten Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung der technischen Kriterien stellt (vgl. Kap. 6.2.1.4). Die Nachwärme kann einzelfehler-sicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden, jedoch sind hierfür nach Ansicht des ENSI nur teilweise aktuelle Analysen auch bezüglich des wirksamsten Einzelfehlers vorhanden (vgl. Forderung 6.1-4 a)).

6.2.1.10 Steuerstabfahrfehler (bei allen Leistungsniveaus)

Angaben des KKL

Das Fehlausfahren von Steuerstäben (Control Rod Withdrawal Error, CRWE) ist die Folge des Nichtbeachtens von Betriebsvorschriften durch den Operateur oder eines technischen Fehlers. Im Leistungsbereich wird durch die Stabfahrbegrenzung die maximale Stabbewegung zum Schutz der Brennelementintegrität begrenzt. Das Stabausfahren ist im Bereich von 20 bis 70 % der Nennleistung um 61 cm und im Bereich von 70 bis 100 % um 30,5 cm erlaubt. Je nach Anfangsleistung erreicht der Kern nach dem Beenden des Stabziehens durch die Stabfahrbegrenzung eine höhere stabile Leistung. Der Leistungsanstieg ist zu gering, um die Reaktorschnellabschaltung auszulösen. Der limitierende Einzelfehler ist der Ausfall des Steuerstabkontroll- und Informationssystems.

Der CRWE ist hinsichtlich thermischer Grenzwerte der Brennelemente bestimmend. Da die Auswirkungen dieses Störfalls von der jeweiligen Kernbeladung und dem Steuerstabmuster abhängig sind, wird er zyklus-spezifisch als langsame Transiente quasistationär mit dem Kernsimulator POLCA7 analysiert. Ausgehend vom auslegungsgemässen Störfallablauf gemäss dem Sicherheitsbericht wurde im Überprüfungszeitraum die Einhaltung der Sicherheitskriterien der Brennelemente bei diesem Störfall nachgewiesen.

In der Robustheitsanalyse dieses Störfalls wurden Szenarien mit zusätzlichen Annahmen, die über die ursprüngliche Anlagenauslegung hinausgehen, untersucht. Dabei wurde der CRWE bei unterschiedlichen Leistungsniveaus des Gleichgewichtskerns mit Optima3-Brennelementen mit dem Ausfall der externen Stromversorgung überlagert und das zweite verfügbare SCRAM-Signal berücksichtigt. Bei diesem Störfallszenario musste neben dem Kernsimulator auch der Systemcode BISON eingesetzt werden, um das Anlagenverhalten einzubeziehen. In vier der fünf analysierten Fälle wird der Sicherheitsgrenzwert der Siedeübergangsleistung verletzt, was zu der Annahme eines kurzzeitigen Dryouts führt. Die berechnete maximale Brennstabhüllrohrtemperatur von 529 °C bleibt dabei unterhalb der zulässigen Temperatur, die Brennstabintegrität bleibt daher erhalten.

Beurteilung des ENSI

Der Störfall CRWE war vom Zyklus 18 bis 27 der CPR-limitierende Störfall bei Volllast, bis er vom Störfall „Ausfall des Frischdampfdruckreglers“ abgelöst wurde. CRWE gehört weiterhin zu den potentiell limitierenden Transienten hinsichtlich Brennstabintegrität und wird deshalb vom ENSI im Rahmen der Freigabe neuer Kernbeladungen geprüft. Der angenommene Einzelfehler ist für das ENSI plausibel. Die Einhaltung der technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 2 wurde zyklusspezifisch im Überprüfungszeitraum nachgewiesen.

Für die zusätzlichen Ausfallannahmen der Richtlinie ENSI-A01 wurde ein repräsentativer Kern mit den freigegebenen Nachladebrennelementen Optima3 zugrunde gelegt, die gewählten Analyseprogramme sind für den Zweck validiert und einsetzbar. Die angenommenen Anfangs- und Randbedingungen sind konservativ. Die Methodik zur Bestimmung der Integrität der Brennstabhüllrohre mittels der berechneten Hüllrohrtemperatur ist für das ENSI nachvollziehbar, jedoch ist die Einhaltung der entsprechenden Auslegungswerte der Brennstäbe bzw. des Brennstoffs noch zu zeigen (vgl. Forderung 6.2-1).

6.2.2 Störfälle (Accidents & Other Events)

6.2.2.1 Bruch einer Frischdampfleitung innerhalb und ausserhalb des Containments

Angaben des KKL

Frischdampfleitungsbrüche innerhalb und ausserhalb des Containments sind Teil der ursprünglichen Auslegung. Die Auslegungsgrundlage basiert auf der Annahme eines Einzelfehlers mit gleichzeitiger präventiver Instandhaltung.

Frischdampfleitungsbruch innerhalb des Containments

Der doppelendige Bruch einer Frischdampfleitung innerhalb des Containments gehört zu den Kühlmittelverluststörfällen und wird analysiert, um die Einhaltung der Notkühlkriterien wie auch die Auslegungswerte des Containments aufzuzeigen. Dieser Störfall führt in kurzer Zeit zu den höchsten Druck- und Temperaturbelastungen im Drywell sowie zu einem hohen Differenzdruck zwischen dem Luftbereich der Druckabbaukammer und dem Containment.

Der begrenzende Einzelfehler ist ein Ausfall des HPCS-Notstromdiesels. Die mit konservativen Anfangs- und Randbedingungen durchgeführten Analysen zeigen, dass die Hüllrohrtemperatur auf Sättigungstemperatur verbleibt und damit die Brennstäbe intakt bleiben. Hinsichtlich Kernkühlbarkeit sind die Anforderungen an die Notkühlsysteme bei einem doppelendigen Bruch der Umwälzleitung höher.

Im Rahmen der Leistungserhöhung wurden ebenfalls verschiedene Leckgrössen und -orte untersucht. Die maximale Drywelltemperatur erreicht 163 °C und bleibt unter dem Auslegungsgrenzwert von 165,6 °C. Der maximale Containmentdruck erreicht 2,59 bar und liegt unterhalb des Auslegungsgrenzwerts von 3,08 bar.

Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments

Der Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments führt zu einem Austritt von Frischdampf und Reaktorwasser in das Reaktorhilfsanlagegebäude oder in das Maschinenhaus. Das KKL hat verschiedene Bruchgrössen untersucht und in vier Kategorien (sehr klein, klein, mittel und gross) unterteilt. Beim doppelendigen Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments erfolgt wenige Sekunden nach dem Störfalleintritt eine Isolation der Bruchstelle durch das Schliessen der MSIV. Die Kernkühlung und Nachwärmeabfuhr erfolgen mit den Notkühlsystemen einzelfehlersicher.

Sehr kleine Brüche im Frischdampfleitungssystem werden rein betrieblich mit dem Speisewassersystem und den Lüftungssystemen beherrscht. Kleine und mittlere Brüche werden abhängig von Bruchgrösse und Bruchlage entweder automatisch oder manuell gemäss Störfallvorschriften isoliert. Sie führen zu einem registrierbarem Druckanstieg im Maschinenhaus. Bei Leckagen grösser als 6 % des nominalen Dampfstroms wird das Leck durch das Schliessen der MSIV automatisch isoliert.

In den Analysen wird bei den für die Störfallbeherrschung erforderlichen Systemen abdeckend von der minimalen Wirkung gemäss Auslegung ausgegangen. Die Ansprechverzögerung bei den Schutzaktionen wird berücksichtigt. Die Einwirkung des auslösenden Ereignisses auf Bauwerke und Systeme, ein Versagen des wirksamsten Steuerstabs bei der Abschaltung und der Ausfall der externen Stromversorgung zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs werden in den Analysen berücksichtigt. Die Anforderung der Berücksichtigung erst des zweiten, zeitlich verzögerten Kriteriums einer Schutzaktion hat keinen signifikanten Einfluss auf die Schutzsequenzen. Die Analysen berücksichtigen zusätzlich zum Einzelfehler auch das Instandhaltungskriterium.

Die Analysen für unterschiedliche Leckgrössen ausserhalb des Containments zeigen, dass der Störfall nicht zu Hüllrohrschäden führt, da die berechnete maximale Hüllrohrtemperatur immer auf Sättigungstemperatur bleibt. Der Reaktordruck wird durch die SRV begrenzt und unter der durch den ASME-Code geforderten Akzeptanzgrenze gehalten.

Für die Leckgrösse, welche gerade nicht zu einer automatischen Isolation führt, geht das KKL davon aus, dass die Operateure das Leck innerhalb der ersten 10 min erkennen und eine manuelle Isolation ausführen. Bis zu diesem Zeitpunkt werden insgesamt 64 t Frischdampf in das Maschinenhaus freigesetzt und gelangen über die geborstenen Scheiben direkt in die Umgebung. Kommt es zu einer automatischen Isolation der Frischdampfleitungen, werden maximal 55 t Kühlmittel (Dampf und Reaktorwasser) freigesetzt.

Beurteilung des ENSI

Frischdampfleitungsbruch innerhalb des Containments

Der doppelendige Frischdampfleitungsbruch innerhalb des Containments stellt mit dem doppelendigen Bruch der Umwälzschleife die grössten Anforderungen an die Integrität des Primärcontainments. Die zulässigen Drücke und Temperaturen des Containments werden unter Berücksichtigung des wirksamsten Einzelfehlers sowie konservativer Anfangs- und Randbedingungen eingehalten. Damit ist das Schutzziel „Einschluss radioaktiver Stoffe“ für den Frischdampfleitungsbruch sichergestellt. Ebenfalls ist die Hüllrohrintegrität nach Ansicht des ENSI gegeben, da der Nachweis, dass die Hüllrohrtemperaturen auf Sättigungstemperatur verbleiben, hierfür ausreichend ist. Das ENSI stellt jedoch fest, dass die Störfallkategorisierung (vgl. Forderung 6.1-7 a)) nicht mehr den aktuellsten Regelwerksanforderungen entspricht. Zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) sind die anstehenden Schutzsequenzen (u. a. SCRAM-Signale) auch für kleinere Lecks zu überprüfen. Ferner ist das 30-Minuten-Kriterium für Operateurhandlungen zu berücksichtigen.

Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments

Der Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments hat technisch grundsätzlich einen milderen Verlauf als der Bruch innerhalb des Containments, da die Leckage isoliert werden kann. Gemäss der ursprünglichen Auslegung wird nach der Isolation die Verfügbarkeit des HPCS angenommen. In den Fact Sheets und in der KKL-Störfallliste wurde ein Ausfall des HPCS als limitierender Einzelfehler betrachtet. Weiterhin legt das KKL in den Fact Sheets dar, dass mit dem Ausfall des HPCS keine Kernfreilegung bzw. Kernaufheizung zu erwarten ist. Dem ENSI liegen hierzu keine Störfallanalysen vor, und es kann daher die Aussage des KKL in den Fact Sheets nicht überprüfen. Zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) hat das KKL den Frischdampfleitungsbruch ausserhalb des Containments mit Ausfall des HPCS zu untersuchen. Die ausgewiesenen freigesetzten Kühlmittelmengen für den absperrbaren doppelendigen Frischdampfleitungsbruch sind nicht nachvollziehbar dokumentiert, jedoch sind die freigesetzten Mengen nach eigenen ENSI-Abschätzungen plausibel.

Ferner stellt das ENSI fest, dass für den Frischdampfleitungsbruch, bei welchem gerade keine automatische Isolation ausgelöst wird, das 30-Minuten-Kriterium in den Analysen nicht berücksichtigt wurde. Weiterhin erfolgt keine Bewertung des Anlagenverhaltens unter Berücksichtigung des zweiten, zeitlich verzögerten SCRAM-Signals. Zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) hat das KKL die freigesetzten Mengen unter Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums und, falls vorhanden, des zweiten zeitlich verzögerten SCRAM-Signals neu zu bestimmen.

Die ENSI-Beurteilung der radiologischen Auswirkungen des Frischdampfleitungsbruchs findet sich in Kap. 6.3.

6.2.2.2 Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb des Containments

Angaben des KKL

Bei diesem Störfall wird der Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb des Containments zwischen dem Seismic Interface Restraint (SIR) und den Speisewasserhochdruckvorwärmern postuliert. Ein Bruch der Speisewasserleitung innerhalb des Containments ist durch den doppelendigen Umwälzleitungsbruch abgedeckt.

Die Speisewasserleitung ist die grösste wasserführende Leitung; deren Bruch gilt als abdeckend für alle anderen wasserführenden Leitungen ausserhalb des Containments. Das Ereignis hat primär radiologischen Charakter. Dabei ist der doppelendige Bruch für das gesamte Bruchspektrum abdeckend. Bei einem ausreichend grossen Bruch kommt es zu einem Niveau-SCRAM, Schliessen der MSIV (Reaktorisolation) oder SCRAM aufgrund von „Druck Hoch“ im Maschinenhaus. Die Rückschlagventile in der Speisewasserleitung isolieren den Reaktorkühlkreislauf und unterbinden die Rückströmung aus dem Reaktor zur Bruchstelle im Maschinenhaus. Die Sicherheits- und Entlastungsventile regeln den Reaktordruck. Der wirksamste Einzelfehler ist der Ausfall des HPCS. Nach dem Erreichen des Niveaus L1 wird die automatische Druckentlastung (als ADS bezeichnet) initiiert. Nach ADS stellen die Notkühlsysteme sowie das SEHR-Notstandssystem die Kernkühlung sicher. Bei kleineren Brüchen wird der Operateur die MSIV und andere Absperrventile im Einklang mit den Störfallvorschriften schliessen.

Zur Erfüllung der Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 wurde der Einfluss der zusätzlichen Ausfallannahmen T-LOOP zum ungünstigsten Zeitpunkt des Störfallablaufs und Reaktorschnellabschaltung durch das zweite, zeitlich verzögerte Anregesignal bewertet. Die Bewertung zeigt, dass ein Notstromfall am Störfallbeginn die grössten Anforderungen an die Notkühlsysteme aufgrund der anfangs noch hohen Nachzerfallswärmeleistung stellt. Unter Notstrombedingungen ist der Niveau-SCRAM das zweite, zeitlich verzögerte Signal.

Gemäss Analyse treten bei einem Speisewasserleitungsbruch ausserhalb des Containments (im Maschinenhaus) in der ersten Phase des Störfalls insgesamt 1070 t Speisewasser/Hauptkondensat aus den Leitungen, dem Speisewasserbehälter, dem Kondensatreinigungssystem, dem Kondensator, dem Kaltkondensator und dem Reaktor aus. Diese freigesetzten Mengen sind massgebend für die Berechnung der Folgedosis. Das Störfallverhalten nach der Isolation des Reaktors ist durch das Ereignis „Schliessen aller MSIV“ abgedeckt.

Beurteilung des ENSI

Das Verhalten der Anlage bei einem Speisewasserleitungsbruch ist für das ENSI grundsätzlich nachvollziehbar dargelegt. Die Wahl des limitierenden Einzelfehlers ist nachvollziehbar und die Nachwärme kann einzelfehlersicher mit den RHR-Systemen abgeführt werden (vgl. Kap. 6.2.1.2). Die qualitativen Robustheitsbetrachtungen sind für das ENSI ebenfalls nachvollziehbar und decken die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 ab. Die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität des Reaktorkühlkreislaufs sind nach der Isolation des Reaktorkühlkreislaufs sichergestellt.

Nach Wertung des ENSI ist jedoch der Analysezeitraum zur Bestimmung des freigesetzten Kühlmittels zu kurz, da nicht bis zum kalt abgestellten Anlagenzustand analysiert wurde. Nach Ansicht des ENSI fehlen in der Berechnung die zulässigen Leckagen der Rückschlagventile, welche zu einer nicht vernachlässigbaren Freisetzung führen können, während die Anlage in den kalt abgestellten Zustand überführt wird. Die Analyse des doppelendigen Speisewasserleitungsbruchs ist daher zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) bis zum Erreichen des kalt abgestellten Zustands durchzuführen und die entsprechenden Leckagen der Rückschlagventile sind zu berücksichtigen.

Weiterhin fehlt nach Wertung des ENSI eine Bewertung zur Einhaltung des 30-Minuten-Kriteriums für Operateurhandlungen zur manuellen Isolation im Falle von kleinen Speisewasserlecks ausserhalb des Containments. Zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) sind für kleine Speisewasserleitungslecks ausserhalb des Containments die freigesetzten Kühlmittelmengen unter Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums für Operateurhandlungen zu bestimmen.

6.2.2.3 Bruch einer Mess- oder Impulsleitung

Angaben des KKL

Es werden Messleitungsbrüche innerhalb des Drywells und im Containment (Bereiche ausserhalb des Drywells) untersucht, wobei diejenigen innerhalb des Drywells durch die kleinen Lecks (vgl. Kühlmittelverluststörfälle) abgedeckt sind.

Der Bruch einer Mess- oder Impulsleitung im Containment hat zur Folge, dass Reaktorkühlmittel austritt. Für die Störfallbeherrschung sind Operateurmassnahmen erforderlich, die eine betriebliche Druckentlastung des Reaktors vorsehen. Die resultierende Freisetzung wird durch eine in der Leitung befindliche Blende begrenzt. Die Leckage aus einer Leitung mit einer Nennweite von 25 mm beträgt ungefähr 1,5 kg/s. Die Freisetzung endet nach der manuell erfolgten Druckentlastung mit einer Abkühlrate von 55 °C/h im kalt abgestellten Zustand. Die betrieblichen Systeme sind während des Störfallverlaufs verfügbar und stellen die Kernkühlung und Nachwärmeabfuhr sicher. Die Beherrschung mit betrieblichen Systemen ist abdeckend, da mit Eingriff von Sicherheitssystemen (automatische Druckentlastung) der Austritt von Primärkühlmittel schneller beendet wird. Der Reaktor kann auch einzelfehlersicher mit den Not- und Nachkühlsystemen abgefahren werden, falls ein Notstromfall oder weitere Auslösungen von Sicherheitssystemen erfolgen. Dies ist durch die Betrachtungen eines kleinen Kühlmittelverluststörfalls abgedeckt. Das Containment wird automatisch aufgrund einer erhöhten Strahlung isoliert und die Notabluft gestartet. Der begrenzende Einzelfehler besteht für diesen Störfall im Ausfall eines Strangs der Notabluft.

In den ersten 30 min nach Störfallbeginn treten ca. 2,7 t Reaktorwasser in das Primärcontainment aus. Davon verdampfen ca. 0,81 t. Nach der manuellen Isolation des Reaktors werden bis zum Ende der Druckentlastung nach ungefähr 5 h weitere 13,5 t Kühlmittel in das Primärcontainment freigesetzt. Eine Freisetzung in dieser Menge führt zu einem Containmentdruck, der deutlich unter dem maximalen Auslegungsdruck liegt.

Beurteilung des ENSI

Der Bruch einer Messleitung kann sicher mit dem Speisewasser überspeist werden und hat daher hauptsächlich radiologische Auswirkungen in der Anlage. Das Verhalten der Anlage bei einem Bruch einer Messleitung ist für das ENSI nachvollziehbar analysiert. Die gewählten Anfangs- und Randbedingungen für die Bewertung entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 und sind konservativ. Weiterhin werden konform zum Regelwerk zur Störfallbeherrschung vorgesehene Operateurhandlungen erst nach 30 min berücksichtigt. Die freigesetzten Kühlmittelmengen werden konservativ bestimmt. Die Kernkühlung ist sowohl mit betrieblichen Systemen als auch einzelfehlersicher mit den Not- und Nachkühlsystemen gewährleistet. Die technischen Kriterien der Störfallkategorie 2 werden eingehalten. Die ENSI-Beurteilung der radiologischen Auswirkungen des Bruchs einer Messleitung findet sich in Kap. 6.3.

6.2.2.4 Kühlmittelverluststörfall

Angaben des KKL

Das untersuchte Bruchspektrum umfasst innerhalb des Containments kleine, mittlere und grosse Brüche von Wasser- und Dampfleitungen, Brüche von Abflussleitungen der Notkühlsysteme sowie Brüche von Speisewasserleitungen.

In der ersten Phase verringert sich das Kühlmittelinventar und der Reaktorfüllstand sinkt. Die Hüllrohrtemperatur steigt, und abhängig von der Bruchgrösse und der Verfügbarkeit des Speisewassers kann der Reaktorkern freigelegt werden. In der Wiederauffüllphase speisen die Notkühlsysteme Kühlmittel in den Reaktor ein und stellen den notwendigen Reaktorfüllstand und den ausreichenden Wärmeübergang vom Brennstoff zum Kühlmittel wieder her. Die relative Zeitdauer einer Phase hängt von der Bruchgrösse und -lage sowie von den verfügbaren Notkühlsystemen ab.

Bei kleinen Brüchen liefert das HPCS genügend Kühlmittel, sodass der Reaktorkern nicht freigelegt wird. Wenn das HPCS nicht zur Verfügung steht, wird der Druck im Reaktordruckbehälter über die automatische Druckentlastung abgebaut, sodass ausreichend Kühlmittel zur Wiederherstellung des Reaktorfüllstands und

des ausreichenden Wärmeübergangs vom Brennstoff zum Kühlmittel mit den Niederdruck-Notkühlsystemen (LPCS und LPCI) sowie dem SEHR-Notstandssystem eingespeist werden kann.

Bei mittleren Brüchen erfüllt das HPCS eine doppelte Funktion, indem es neben der Einspeisung der erforderlichen Kühlmittelmenge auch zur Druckentlastung (aufgrund der Einspeisung von kaltem Wasser) beiträgt. Bei diesen Bruchgrößen reicht die Kombination von HPCS und Bruch aus, um den Druck im Reaktordruckbehälter abzubauen, sodass die Niederdruck-Notkühlsysteme LPCS und LPCI sowie das Notstandssystem SEHR jeweils genügend Kühlmittel einspeisen können. Ist das HPCS nicht verfügbar, wird der Druck im Reaktordruckbehälter über die automatische Druckentlastung abgebaut, sodass die Einspeisung des erforderlichen Kühlmittels mit den Notkühlsystemen (LPCS oder LPCI) sowie dem Notstandssystem SEHR erfolgt.

Bei grossen Brüchen wird der Druck im Reaktordruckbehälter über den Bruch selbst abgebaut. Bei diesen Bruchgrößen können die Notkühlsysteme HPCS, LPCS und LPCI sowie das Notstandssystem SEHR jeweils genügend Kühlmittel einspeisen.

Der doppelendige Bruch einer Umwälzschleife wurde für die Auslegung der Notkühlsysteme sowie für die Bewertung des Kurz- und Langzeitverhalten des Containments herangezogen. In den Analysen wird zusätzlich zum Einzelfehler (Ausfall HPCS) ein Notstromfall unterstellt. Das in der Analyse betrachtete SCRAM-Signal Niveau L3 stellt nach dem SCRAM-Signal „Drywell Druck Hoch“ das zweite, zeitlich verzögerte Signal dar. Ferner wird der Ausfall der Wechselstromversorgung ebenfalls einen SCRAM durch das Schliessen aller MSIV auslösen.

Die im Rahmen der Leistungserhöhung untersuchten Leckgrößen sowie die bei der Genehmigung neuer Brennelementtypen durchgeführten Analysen haben gezeigt, dass die maximalen Temperaturen an der Hüllrohroberfläche unterhalb der Temperaturen liegen, bei denen Hüllrohrschäden auftreten. Die maximal berechnete Hüllrohrtemperatur beträgt für Optima3-Brennelemente inklusive der berücksichtigten Unsicherheiten 734 °C. Dennoch wird in den radiologischen Analysen konservativ von 1 % Hüllrohrschäden ausgegangen.

Der Frischdampfleitungsbruch innerhalb des Containments ist im Hinblick auf die Drywelltemperatur der begrenzende Kühlmittelverluststörfall. Die maximale Drywelltemperatur erreicht für den doppelendigen Bruch einer Umwälzschleife knapp 123 °C und bleibt unter dem Akzeptanzgrenzwert von 165,6 °C. Der maximale Containmentdruck erreicht 2,68 bar und liegt unterhalb des Auslegungsgrenzwerts von 3,08 bar. Das KKL kommt zum Schluss, dass die technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 3 eingehalten werden.

Beurteilung des ENSI

Die zulässigen Drücke und Temperaturen des Containments werden unter Berücksichtigung eines Einzelfehlers sowie konservativer Anfangs- und Randbedingungen eingehalten. Damit ist das Schutzziel „Einschluss radioaktiver Stoffe“ sichergestellt. Ferner wurde mit den im Beurteilungszeitraum durchgeführten Analysen des Bruchs einer Umwälzleitung gezeigt, dass die sogenannten „LOCA-Kriterien“ der NRC^{10CFR50.46} eingehalten werden.

Das bis anhin untersuchte abdeckende Szenario des doppelendigen Bruchs einer Umwälzleitung stellt nach Ansicht des ENSI aufgrund neuerer in der Fachwelt veröffentlichter Berichte nicht mehr den abdeckenden Fall dar. In Bezug auf die Bruchgrösse hat die Firma General Electric Hitachi (GEH) in einer Studie^{GEH} gezeigt, dass die limitierende Bruchgrösse nicht länger und generell der doppelendige Bruch sein muss. Vielmehr zeigt die Untersuchung von GEH, dass diese im Bereich einer mittleren bis grossen Leckgrösse der Umwälzleitung liegt. Die Untersuchung von GEH wurde mit neueren Best-Estimate-Berechnungsprogrammen durchgeführt, bestätigt aber auch die konservativen Genehmigungsrechnungen nach 10 CFR 50.46 Appendix K^{10CFR50.46} für den doppelendigen Umwälzleitungsbruch. Die Erkenntnisse hinsichtlich des Leckspektrums wurden für den Bruch einer Umwälzleitung bei der Freigabe der Optima3-Brennelemente bereits berücksichtigt und das KKL kam zum Schluss, dass nicht mehr der doppelendige Bruch zu den höchsten Hüllrohrtemperaturen führt. Zusätzlich zeigt die Erfahrung des ENSI, dass je nach Ausführung der Einspeisesysteme Brüche anderer an den RDB anschliessenden Leitungen schwerwiegender verlaufen können.

Die neueren Erkenntnisse zum Leckspektrum wurden jedoch bis jetzt nicht ausreichend und durchgängig durch das KKL dokumentiert und entsprechend der Störfallkategorisierung (vgl. Forderung 6.1-7 a)) in die Störfallliste aufgenommen. Das ENSI kommt daher zum Schluss, dass das KKL nur noch teilweise eine dem Stand der Technik entsprechende umfassende Betrachtung des LOCA-Spektrums besitzt. Zur Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) hat das KKL das Leckspektrum unter Berücksichtigung aller an den RDB anschliessenden Leitungen umfassend zu bewerten und aufzuzeigen, dass die vorhandenen Analysen die Anforderungen des aktuellen schweizerischen Regelwerks erfüllen. Die Wahl des Einzelfehlers ist zu begründen.

6.2.2.5 Brennelement-Handhabungsstörfall

Angaben des KKL

Es werden die folgenden limitierenden Brennelementhandhabungsszenarien, welche zu einem Störfall führen können, untersucht:

- a) Absturz eines Brennelements im Brennelementlagergebäude
- b) Brennelementabsturz im Transferrohr
- c) Kühlmittelverlust im Transferrohr während eines Brennelementtransports
- d) Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports

Beim Absturz eines Brennelements im Brennelementlagergebäude (Szenario a)) wird konservativ angenommen, dass ein frisch entladenes Brennelement auf die Lagergestelle mit den Brennelementen abstürzt. Dabei können sowohl das abstürzende Brennelement als auch ein Brennelement im Lagergestell beschädigt werden. Es wird konservativ angenommen, dass 200 Brennstäbe beschädigt und Spaltprodukte über das Becken direkt in die Atmosphäre des Brennelementlagergebäudes freigesetzt werden. Dieses Szenario deckt die Konsequenzen der entsprechenden Brennelementhandhabung im Containment ab.

Für den Brennelementabsturz im Transferrohr (Szenario b)) wird konservativ die Beschädigung beider Brennelemente auf dem Transportschlitten angenommen. Wie bei Szenario a) wird konservativ angenommen, dass 200 Brennstäbe beschädigt werden. Bei einem Absturz aus der Zwischenposition über dem unteren Absperrschieber kann eine mechanische Beschädigung der Hüllrohre ausgeschlossen werden.

Der Kühlmittelverlust im Transferrohr während der Brennelementhandhabung (Szenario c)) wird ebenfalls betrachtet, auch wenn es sich hier um keinen klassischen Brennelement-Handhabungsfehler handelt. Eine Entleerung des Transferrohrs ist möglich, wenn es zu Mehrfachfehlern kommt, welche bspw. zu einem Öffnen des Entleerungsventils im Transferrohr führen oder wenn Leckagen direkt am Transferrohr auftreten. Zur Sicherstellung der Kühlung kann der Transportwagen mit den beiden Brennelementen in den unteren Bereich des Transferrohrs gefahren werden, sodass er unterhalb der freien Wasseroberfläche des Brennelementlagerbeckens liegt. Zusätzlich können alternative Kühlmassnahmen (wie auch in Szenario d) dargelegt) durchgeführt werden. Beim Fehlöffnen der Entlastungsventile kommt es frühestens nach 14 h zu einer Entleerung des Transferbeckens, sodass genügend Zeit für Gegenmassnahmen zur Verfügung stehen. Aufgrund der Auslegung der Systeme, Strukturen und Komponenten (SSK) und des Transferrohrs, sowie des sehr geringen Zeitanteils im Jahr, in welchem sich Brennelemente im Transportrohr befinden, ist ein Kühlmittelverluststörfall an diesem auslegungsüberschreitend.

Ein Verklemmen des Transportschlittens mit den zwei Brennelementen im verschlossenen Transferrohr (Szenario d)) ist durch Fehler in der elektrischen Steuerung oder im Antrieb, Ausfall von Hydraulikeinheiten oder mechanische Beeinträchtigungen möglich. Zum Ersatz des langsam verdampfenden Kühlmittels verbleibt nach dem Verklemmen 12,8 h Interventionszeit, bis es zur Abdeckung der Brennelemente kommt. Hierfür gibt es mehrere unabhängige Massnahmen zur Nachspeisung von Kühlmittel in das Transportrohr, welche in den Störfallvorschriften beschrieben sind. Mit diesen Massnahmen ist die einzelfehlersichere Beherrschung sichergestellt. Es kommt zu keinen störfallbedingten Freisetzungen aus den Brennelementen.

Beurteilung des ENSI

Nach Wertung des ENSI sind die untersuchten Szenarien abdeckend für sämtliche Brennelement-Handhabungen. Die postulierten Schadensbilder sind konservativ bestimmt und die technischen Kriterien werden eingehalten. Die radiologischen Auswirkungen des Brennelement-Handhabungsstörfalls werden in Kap. 6.3 bewertet.

6.2.2.6 Überspeisung des Reaktordruckbehälters

Angaben des KKL

Als auslösendes Ereignis wird postuliert, dass es zu einer Überspeisung aufgrund eines Blitzschlags in die 380-kV-Leitung mit daraus resultierender Störung im Speisewassersystem kommen kann. Die Störung führt dazu, dass die Speisewasserpumpen mit einer Förderrate von ca. 2000 kg/s den Reaktor überspeisen. Der Reaktor wird bei Erreichen des Reaktorniveaus L8 auslegungsgemäss abgeschaltet.

Konservativ wird angenommen, dass es zu einer Überspeisung des Reaktors kommt und durch den Wasserschlag alle vier Frischdampfleitungen im Maschinenhaus brechen. Dies führt dazu, dass das gesamte ausfließende Reaktorwasser und der Frischdampf ins Maschinenhaus gelangen. Aufgrund des hohen Drucks und der hohen Temperatur verdampfen 30 % des gesamten ausfließenden Reaktorwassers. Infolge des Druckanstiegs im Maschinenhaus geht die Gebäudeintegrität verloren und die Maschinenhauslüftung fällt aus.

Die Speisewasserpumpen laufen, bis der Speisewasserbehälter vollständig entleert ist. In Bezug auf einen abdeckenden Quellterm wird angenommen, dass die MSIV während 30 min nach dem SCRAM offen bleiben und erst durch Operateurhandlungen geschlossen werden. Eine automatische Isolation aufgrund eines hohen Durchflusses in der Frischdampfleitung oder eines tiefen Frischdampfdrucks wird nicht angenommen. Der weitere Störfallverlauf entspricht danach dem Störfall „Schliessen aller MSIV“. Bei dem Ereignis werden 123 t Frischdampf und 487 t Reaktorkühlmittel (davon verdampfen etwa 30 %) im Maschinenhaus freigesetzt.

Beurteilung des ENSI

Das angenommene Schadensbild aufgrund der Überspeisung durch die Speisewasserpumpen wie auch die freigesetzten Kühlmittelmengen werden vom ENSI als konservativ bewertet, jedoch fehlt eine Bewertung des KKL zur Einhaltung der technischen Kriterien der Störfallkategorie 3. Es wird vom KKL ausgeführt, dass der Störfall nach der Isolation der Frischdampfleitung durch das Ereignis „Schliessen aller MSIV“ abgedeckt ist. Nach Wertung des ENSI fehlen die entsprechenden Nachweise, dass die MSIV auch unter den Bedingungen eines Wasserschlages sicher schliessen können. Es ist zu erwarten, dass die Operateure eine Frischdampfisolation nach Störfallerkennung manuell durchführen, sollte diese nicht automatisch erfolgen. Nach der Frischdampfisolation wird die Nachwärme über die SRV in die Druckabbaukammer abgeführt. Auch hier fehlen vom KKL Aussagen zur Funktionalität der SRV unter Beaufschlagung mit Wasser.

Grundsätzlich kommt das ENSI zum Schluss, dass das KKL nicht alle Szenarien, welche eine Überspeisung des Reaktordruckbehälters auslösen können, bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit berücksichtigt hat. Beispielsweise fehlt die Untersuchung zur Überspeisung des Reaktordruckbehälters bei der Anforderung des Hochdruckkernsprühsystems mit fehlerhaftem Offenbleiben des Durchflussregelventils bei Erreichen von Niveau L8. Grundsätzlich sind nach Ansicht des ENSI weitere Angaben nötig, um die Einhaltung der technischen Kriterien nachzuweisen.

Forderung 6.2-2

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2020 für den Störfall „Überspeisung des Reaktordruckbehälters“ folgende Aspekte zu untersuchen:

- a) *Die Eintrittshäufigkeit des auslösenden Ereignisses ist zu überprüfen. Dabei sind mindestens die Szenarien „Überspeisung mit dem Hochdruckkernsprühsystem bei Anforderung und Fehler am Regelventil“ sowie „Störungen des Speisewassersystems durch Blitzschlag“ zu ergänzen. Weiterhin ist*

unter Berücksichtigung der Bst. b) und c) die Einhaltung der entsprechenden technischen Kriterien aufzuzeigen.

- b) Das Schliessverhalten der MSIV bei Beaufschlagung mit Wasser ist zu untersuchen und sicherheitstechnisch zu bewerten.*
- c) Die Integrität und Funktionalität der SRV bei Beaufschlagung mit Wasser ist zu untersuchen und sicherheitstechnisch zu bewerten.*
- d) Es sind verfahrenstechnische Verbesserungen des Beherrschungskonzepts für den Störfall „Über-speisung des Reaktordruckbehälters“ unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Bst. b) und c) darzulegen. Der Sicherheitsgewinn der identifizierten verfahrenstechnischen Verbesserungen ist zu bewerten.*

Die Beurteilung des ENSI zu den radiologischen Auswirkungen findet sich in Kap. 6.3.

6.2.2.7 Steuerstabfall

Angaben des KKL

Beim Steuerstabfall (Control Rod Drop Accident, CRDA) wird angenommen, dass sich der wirksamste Steuerstab in der voll eingefahrenen Stellung befindet, von seinem Antrieb fehlerhaft entkoppelt ist und in seiner Stellung mechanisch blockiert wird. Nach dem Ausfahren des Steuerstabantriebs löst sich der Steuerstab aus der Blockierung und fällt plötzlich aus der aktiven Reaktorzone. Die dabei freigesetzte Reaktivität führt zu einem Leistungs- und Temperaturanstieg im Brennstoff. Die mit steigender Brennstofftemperatur inhärent abnehmende Reaktivität begrenzt den Energieeintrag in den Brennstoff (Brennstoffenthalpie). Der Störfall wird durch die Reaktorschnellabschaltung beendet und es sind keine Operateurhandlungen nötig. Der Energieeintrag in den Brennstoff ist bei niedrigen Ausgangsleistungen resp. im unterkritischen Zustand am grössten.

Bei niedrigen Leistungen begrenzt das Stabmusterüberwachungssystem im KKL den Fallweg und damit den Reaktivitätswert eines Steuerstabs durch entsprechende Stabmusterwahl. Im Anfahrbereich werden das begrenzende Steuerstabmuster und der Steuerstab mit der grössten Reaktivitätswirksamkeit ermittelt. Der wirksamste Steuerstab fällt unter diesen Bedingungen aus der Position „voll eingefahren“ um ca. 61 cm nach unten. Im Leistungsbetrieb kann der Steuerstab bis zur Kernunterkante fallen.

Vor dem Einsatz neuer Brennelementtypen wurden für die Gleichgewichtskerne spezifische Analysen des CRDA bei Nulllast und Volllast durchgeführt, die die Einhaltung der gültigen Sicherheitskriterien für Reaktivitätsstörfälle bezüglich maximaler Brennstoffenthalpie und CPR nachgewiesen haben. Diese Analysen definierten vorgelagerte Sicherheitskriterien für die zyklusspezifischen Nachweise des CRDA und erfüllen die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01.

Beurteilung des ENSI

Für Reaktivitätsstörfälle wie den CRDA wurden 2004 aktuelle Sicherheitskriterien festgelegt. Das primäre Sicherheitskriterium ist das Verhindern einer Freisetzung von heissem Brennstoff in das Kühlmittel und gewährleistet die Kühlbarkeit des Reaktorkerns. Es wird unabhängig vom Leistungszustand durch eine abbrandabhängige Grenzkurve für die zulässige Brennstoffenthalpie definiert. Ein vorgelagertes Sicherheitskriterium ist das Verhindern von Brennstabhüllrohr-Defekten. Bei Nulllast wird die Einhaltung der abbrandabhängigen Brennstoffenthalpie-Grenzkurven gefordert und für Volllast die Einhaltung des CPR-Sicherheitsgrenzwerts.

Die zyklusübergreifenden, brennelementspezifischen CRDA-Analysen wurden mit dem freigegebenen Rechenprogramm RAMONA für repräsentative Reaktorkerne und unter konservativen Randbedingungen durchgeführt und im Rahmen der Freigaben neuer Brennelementtypen positiv vom ENSI beurteilt. Zyklusspezifisch überprüft dann das ENSI die Einhaltung der abgeleiteten Kriterien. Im Bewertungszeitraum wurden die Brennstabintegritätskriterien eingehalten. Die technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 3 werden für den Steuerstabfall sicher eingehalten.

6.2.2.8 *Einwirkungen von innen*

Angaben des KKL

Interne Überflutung

Eine interne Überflutung kann beim Bruch einer grossen hoch- oder niederenergetischen Wasserleitung entstehen. Das KKL ist so ausgelegt und wird so betrieben und instand gehalten, dass das Entstehen von grossen hoch- oder niederenergetischen Leitungsbrüchen sehr unwahrscheinlich ist. Des Weiteren wird durch räumliche Trennung mit abgeschotteten Bereichen sichergestellt, dass die zum Erreichen und zum Beibehalten eines sicher abgeschalteten Reaktors erforderlichen Komponenten und Systeme im unwahrscheinlichen Fall eines Leitungsbruchs verfügbar sind. Ausserdem wird durch die Trennung des Notstandsystems SEHR von den übrigen Notkühlsystemen eine substantielle, zusätzliche Kapazität zur Beherrschung interner Überflutungen erzielt. Vor der Inbetriebnahme der Anlage wurde die interne Überflutung eingehend bewertet und es wurde gezeigt, dass die Anlage die Fähigkeit besitzt, die Konsequenzen von postulierten Leitungsbrüchen mit signifikantem Überflutungspotential zu beherrschen.

Die Eintrittshäufigkeit des schlimmsten Ereignisses mit interner Überflutung entspricht der Störfallkategorie 3. Der Störfall wird durch den LOCA und den Bruch einer Frischdampfleitung abgedeckt.

Interner Brand

Das KKL ist konservativ ausgelegt und wird so betrieben und instand gehalten, dass ein umfangreicher Brandschutz erzielt wird. Dies schliesst Massnahmen ein, um dem Entstehen von Bränden vorzubeugen, Brände zu lokalisieren und deren Ausbreitungsgeschwindigkeit zu begrenzen, sodass der Reaktor im Fall eines Brandes sicher abgeschaltet und die Nachwärme abgeführt werden kann. Zu den Massnahmen gehören aktive und passive Brandschutzsysteme und Barrieren sowie Einsätze des Betriebspersonals und der Anlagenfeuerwehr.

Aufgrund der Zuordnung der Sicherheitssysteme zu unterschiedlichen Redundanzen, die funktionsmässig und räumlich weitgehend voneinander getrennt sind und die Anforderungen an die Separation auslegungsgemäss erfüllen, sind die zum Erreichen und Beibehalten des kalt abgeschalteten Zustands benötigten Systeme bei einem internen Brand verfügbar. Die Eintrittshäufigkeit des schlimmsten internen Brandereignisses entspricht der Störfallkategorie 3. Der Störfall wird durch den LOCA und den Bruch einer Frischdampfleitung abgedeckt.

Beurteilung des ENSI

Interne Überflutung

Die Ausführungen des KKL sind im Allgemeinen für das ENSI aufgrund der Auslegung und räumlichen Trennung der Anlage zwar plausibel, jedoch erfüllen die Darlegungen des KKL nicht mehr die Anforderungen des in 2009 in Kraft getretenen schweizerischen Regelwerks. Es bedarf daher weitergehender Betrachtungen der anlageninternen Überflutungen. Gemäss Richtlinie ENSI-A01 sind unter anderem verschiedene interne auslösende Ereignisse wie auch die anlageninterne Überflutung zu untersuchen. Für diese internen auslösenden Ereignisse ist aufzuzeigen, dass die Auswirkungen so begrenzt bleiben, dass diese über die anderen Störfallanalysen abgedeckt sind. Nur dann ist keine technische Störfallanalyse für das entsprechende Ereignis zu führen. Nach Wertung des ENSI sind insbesondere für anlageninterne Überflutungen die entsprechenden auslösenden Ereignisse nicht vollständig deterministisch zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 gruppiert. Ferner sind die Auswirkungen eines möglichen Einzelfehlers aus den Angaben des KKL nicht komplett nachvollziehbar. Weiterhin fehlen Angaben zu den maximal möglich auftretenden Leckagen, zum erwarteten Zeitverlauf des Wasserstandes in dem unmittelbar betroffenen Anlagenraum und in den möglicherweise betroffenen angrenzenden Räumen sowie zu möglichen Sprüheffekten hinsichtlich Kurzschlüssen. Die Beurteilung anlageninterner Überflutungen erfolgt risikotechnisch im Rahmen der PSA (vgl. Kap. 7).

Forderung 6.2-3

- a) *Das KKL hat ein deterministisches Störfallspektrum anlageninterner Überflutungen bis zu einer Eintrittshäufigkeit von 10^{-6} pro Jahr kompatibel zu den in der PSA ausgewiesenen Eintrittshäufigkeiten interner Überflutungen bis zum 15. Dezember 2021 zu bestimmen. Zusätzlich zu den PSA-Komponenten sind dabei auch solche Komponenten zu betrachten, die radioaktive Stoffe in einer nicht vernachlässigbaren Menge enthalten oder enthalten können und potentiell durch die interne Überflutung beschädigt werden können. Falls keine detaillierten Berechnungen zur internen Überflutung durchgeführt werden, sind die in den betroffenen Anlagenräumen vorhandenen Komponenten in der Analyse als ausgefallen anzunehmen. Die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 sind zu erfüllen.*

Interner Brand

Die Ausführungen des KKL sind im Allgemeinen für das ENSI aufgrund der Auslegung und räumlichen Trennung der Anlage zwar plausibel, jedoch erfüllen die Darlegungen des KKL nicht mehr die Anforderungen des aktuellen schweizerischen Regelwerks. Wie für die anlageninternen Überflutungen sind nach Wertung des ENSI auch für anlageninterne Brände die entsprechenden auslösenden Ereignisse nicht vollständig deterministisch zur Erfüllung der Richtlinie ENSI-A01 untersucht. Ferner sind die Auswirkungen eines möglichen Einzelfehlers aus den Angaben des KKL nicht komplett nachvollziehbar. Die Beurteilung anlageninterner Brände erfolgt risikotechnisch im Rahmen der PSA (vgl. Kap. 7).

Forderung 6.2-3

- b) *Das KKL hat ein deterministisches Störfallspektrum anlageninterner Brände bis zu einer Eintrittshäufigkeit von 10^{-6} pro Jahr kompatibel zu den in der PSA ausgewiesenen Eintrittshäufigkeiten interner Brände bis zum 15. Dezember 2021 zu bestimmen. Zusätzlich zu den PSA-Komponenten sind dabei auch solche Komponenten zu betrachten, die radioaktive Stoffe in einer nicht vernachlässigbaren Menge enthalten oder enthalten können und potentiell durch den anlageninternen Brand beschädigt werden können. Weiterhin sind die möglichen Brandlasten und Zündquellen sowie der mögliche Brandverlauf auszuweisen. Falls keine detaillierte Brandausbreitungsrechnung geführt wird, sind die im Brandabschnitt vorhandenen Komponenten und Kabel in der Analyse als ausgefallen anzunehmen. Die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 sind zu berücksichtigen.*

6.2.2.9 Einwirkungen von aussen**Angaben des KKL****Erdbeben**

Alle Strukturen der Anlage, die Komponenten und Systeme enthalten, die wichtig für das sichere Abschalten des Reaktors, die Kühlung des Reaktorkerns und der Druckabbaukammer sowie den Gebäudeabschluss des Containments sind, sind so ausgelegt, dass ihre Integrität während eines $10'000$ -jährlichen Erdbebens erhalten bleibt. Das KKL hat die entsprechende Erdbebenauslegung der SSK nach Fukushima und im Rahmen des Projekts ERSIM (Erhöhung der Sicherheitsmargen) überprüft und kommt zum Schluss, dass alle SSK über ausreichende Margen verfügen und die Schutzzieleinhaltung für ein $10'000$ -jährliches Erdbeben sichergestellt ist. Ferner hat das KKL gemäss der Verfügung des ENSI vom 26. Mai 2016 sein Konzept zur Nachweisführung zu den neuen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 eingereicht. Darin ist vorgesehen, zunächst die Aktualisierung des Fukushima-Nachweises (Zwischennachweis) im Jahre 2018 zu erbringen. Daran schliesst sich die Aktualisierung der PSA bis Mitte 2019 und der deterministischen Störfallanalyse gemäss den Vorgaben der Verfügung bis Ende 2020 an.

Extreme Wetterbedingungen

Das KKL hat extreme Wetterszenarien mit einer Häufigkeit von 10^{-4} pro Jahr unter konservativen Randbedingungen analysiert, um die Auswirkungen auf die Anlage zu bewerten. Für jedes untersuchte Szenario wurde

gezeigt, dass der Reaktor in den kalt abgestellten Zustand überführt werden kann und die Sicherheit der Anlage nicht gefährdet wird. Um die postulierten extremen Wetterbedingungen sicher zu beherrschen, wird gezeigt, dass mindestens ein Strang von Sicherheitssystemen verfügbar bleibt, um die Anlage sicher abzuschalten und die Nachwärme abzuführen. Die Sicherheitsanalysen unterstellen dabei den wirksamsten Einzelfehler und den gleichzeitigen totalen Ausfall der externen Stromversorgung. Die Nachweisführung konzentriert sich auf den Funktionserhalt der Sicherheitssysteme und der SEHR-Systeme (Notstand). Es wurden grosse Sicherheitsmargen für alle Extremwettergefährdungen mit konservativen deterministischen Anfangs- und Randbedingungen ausgewiesen. Ausserdem erfüllen die Berechnungen alle Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01. Das KKL führt die grossen Sicherheitsmargen der Anlage hauptsächlich auf das robuste Design sowie den hohen Diversitäts- und Redundanzgrad zurück. Aus Sicht des KKL decken die bestehenden Nachweise und die ausgewiesenen Sicherheitsmargen die Gefährdungswerte ab.

Flugzeugabsturz

Ein unfallbedingter Absturz auf die sicherheitsrelevanten Gebäude (wie bspw. Reaktorgebäude, Reaktorhilfsanlagegebäude, Notstandbunker, Brennelementlager oder Maschinenhaus) ist für die Kategorie der Verkehrsflugzeuge und strahlgetriebenen Kampfflugzeuge auslegungsüberschreitend. Hingegen ist die unfallbedingte Absturzhäufigkeit für die Kategorie der Leichtflugzeuge und Hubschrauber grösser als 10^{-6} pro Jahr.

Das KKL legt dar, dass durch die ursprüngliche Auslegung der sicherheitsrelevanten Gebäude, die räumliche Trennung von Sicherheitssystemen, den Brandschutz und die Robustheit der SSK gegen Erschütterungen ausreichend Vorsorge gegen den unfallbedingten Absturz eines Verkehrsflugzeugs getroffen wurde. Darüber hinaus zeigen die Auslegungsanalysen, dass der Reaktor sicher abgeschaltet und die Nachwärme einzelfehlersicher abgeführt werden kann.

Zusätzlich bieten die nicht gegen einen Flugzeugabsturz ausgelegten Gebäude einen guten Schutz gegen den unfallbedingte Absturz eines Flugzeugs aus der Kategorie der Leichtflugzeuge und Helikopter. Diese Kategorie ist durch den Nachweis der Beherrschung des Notstromfalls abgedeckt.

Beurteilung des ENSI

Erdbeben

Das ENSI hat zu den im Rahmen der Verfügungen nach Fukushima eingereichten Analysen des KKL zu Erdbeben detailliert Stellung genommen^{ENSI 12/1714}. Weiterhin kam das ENSI im Rahmen seiner Stellungnahme zur Sicherheitsmargenanalyse^{ENSI 9264} zum Schluss, dass das KKL über hohe Sicherheitsmargen gegen seismische Einwirkungen verfügt. Die Anlage kann bei einem 10'000-jährlichen Erdbeben (Erdbebengefährdungsannahmen PRP Intermediate Hazard, vgl. Kap. 2.1.4) sicher abgeschaltet und auch die Nachwärme mit den vorhandenen Sicherheitssystemen langfristig sicher abführt werden. Ferner stellt das vom KKL fristgerecht eingereichte Konzept eine ausreichende Grundlage zur Umsetzung der Verfügung des ENSI^{ENSI-2016-05-26} vom 26. Mai 2016 zu den aktuellen Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 dar.

Extreme Wetterbedingungen

Die vom KKL eingereichten Nachweise wurden im Rahmen des Aktionsplans Fukushima auf Basis der teilweise vom ENSI provisorisch festgelegten, verschärften Gefährdungsannahmen geprüft^{Gef-A}. Dabei kam das ENSI zum Schluss, dass das KKL mit dem SEHR-System (Notstandssystem) hohe Sicherheitsmargen zur Beherrschung extremer Wetterbedingungen besitzt. Die restlichen Sicherheitssysteme besitzen ebenfalls Sicherheitsmargen gegen extreme Wetterbedingungen, jedoch identifizierte das ENSI einige Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheitsmargen und forderte detaillierte Analysen zu deren Bestimmung. Alle Massnahmen zur Verbesserung der Betriebsdokumentation wurden vom KKL zeitnah umgesetzt. Bezüglich detaillierter Quantifizierung der Sicherheitsmargen konnten noch nicht alle Forderungen abgeschlossen werden. Diese werden vom ENSI im Tagesgeschäft weiterhin verfolgt. Grundsätzlich erachtet das ENSI die im Zuge der Extremwetternachweise ermittelten Sicherheitsmargen auch für die aktualisierten und teilweise leicht erhöhten Gefährdungen (vgl. Kap. 2.1.2) als ausreichend.

Flugzeugabsturz

Die Bestimmung der Absturzhäufigkeiten auf die einzelnen Gebäude ist für das ENSI nachvollziehbar und plausibel. Der Absturz eines Verkehrsflugzeugs ist für alle Gebäude ein auslegungsüberschreitender Störfall. Ungeachtet dessen ergibt sich aufgrund der Auslegung des KKL ein guter Schutz gegen einen solchen Absturz. Weiterhin ist es für das ENSI nachvollziehbar, dass die Auswirkungen eines unfallbedingten Absturzes eines Leichtflugzeugs oder Helikopters begrenzt sind und durch die Analysen der übrigen Auslegungsstörfälle abdeckend behandelt sind.

6.2.3 Ausgewählte auslegungsüberschreitende Störfälle

6.2.3.1 Notstandsituation

Angaben des KKL

Für die Notstandsituation wurden im Rahmen der Leistungserhöhung zwei Störfälle mit Schwerpunkt der Kernkühlung untersucht. Einerseits wurde ein SCRAM mit Isolation nach einem kleinen Dampfleitungsbruch außerhalb des Containments und andererseits ein Öffnen aller acht ADS-Ventile bei Vollast untersucht. Zum Nachweis des Langzeit-Containmentverhaltens wurde ein Szenario mit unbeabsichtigtem Öffnen eines Entlastungsventils untersucht. In allen Fällen wurde davon ausgegangen, dass nur das SEHR und kein anderes Not- und Nachkühlsystem verfügbar ist. Weiterhin wird das Einzelfehlerkriterium auf das SEHR angewendet und ein Notstromfall angenommen. Die Analysen dienen zum Nachweis der Einhaltung der Auslegungsvorgaben des SEHR und weisen die autarke Kühlung des Reaktors und Containments ohne Operateurhandlungen während 10 h nach. Die Analysen zeigen, dass die maximal zulässigen Temperaturen für die Druckabkammer wie auch die Kernkühlung sichergestellt sind.

Beurteilung des ENSI

Allgemein ist es für das ENSI nachvollziehbar, dass das KKL die Notstandsituation keiner Störfallkategorie zugeordnet hat, da das Notstandssystem grundsätzlich nicht zur Beherrschung von Auslegungsstörfällen benötigt wird. Die gewählten drei Szenarien sind nach Ansicht des ENSI geeignet zum Nachweis der Auslegungsvorgaben des SEHR. Mit der Leistungserhöhung wurde vom KKL gezeigt, dass die technischen Nachweisziele der Störfallkategorie 3 eingehalten werden und somit sowohl die Kernkühlung als auch die Containmentintegrität auch alleine mit dem Notstandssystem sichergestellt werden kann.

6.2.3.2 ATWS

Angaben des KKL

Der ATWS-Störfall (Anticipated Transient Without Scram) ist ein postuliertes Versagen der Reaktorschnellabschaltung während einer Transiente und ist auslegungsüberschreitend. Die KKL-Auslegung mit den in der Vergangenheit durchgeführten Nachrüstungen erfüllt die Anforderungen der NRC für ATWS^{10CFR50.62}. Ein Fehler (Einzelfehler in einem Sicherheitssystem) zusätzlich zum Ausfall der Schnellabschaltung muss nicht unterstellt werden. Die für die Leistungserhöhung durchgeführten Analysen berücksichtigen neun potentielle auslösende Ereignisse:

- 1) Turbinenschnellschluss oder Generatorlastabwurf mit Bypass
- 2) Schliessen aller MSIV
- 3) Fehler der Umwälzregelung mit Zunahme des Kerndurchsatzes
- 4) Fehler in der Frischdampfregelung
- 5) Fehler der Speisewasser-Regelung mit maximaler Fördermenge
- 6) Ausfall der Speisewasserzufuhr
- 7) Ausfall der Wechselstromversorgung
- 8) Unbeabsichtigtes Öffnen eines SRV
- 9) Ausfall von Reaktorumwälzpumpen

Die Analysen haben gezeigt, dass ein ATWS bei einem fehlerhaften Schliessen aller MSIV die grössten Anforderungen an die Einhaltung der Betriebsgrenzwerte und an die Wärmeabfuhr aus dem Kern stellt. In den Analysen wird zusätzlich das Versagen des alternativen Einfahrens von Steuerstäben nach Erreichen des Reaktorniveaus L2 angenommen. Daher ist die Inbetriebnahme des Vergiftungssystems durch den Operateur erforderlich. Die Kernkühlung erfolgt entweder mit dem Speisewassersystem oder, falls ein tiefer Füllstand erreicht wird, mit RCIC und HPCS.

Die Druckregelung und die Wärmeabfuhr in die DAK erfolgen mit den Sicherheits- und Entlastungsventilen. Dies hat einen Anstieg der DAK-Temperatur zur Folge. Nach dem Erreichen der entsprechenden Eingangsbedingung für die Störfallvorschriften wird durch den Operateur das RHR- oder SEHR-System im DAK-Kühlbetriebsmodus in Betrieb genommen. Bei Initiierung des Vergiftungssystems wird das Reaktorwasserreinigungssystem automatisch isoliert, sodass das eingespeiste Bor nicht wieder durch die Reinigung aus dem Reaktorwasser entfernt wird.

In der rechnerischen Analyse für das Schliessen aller MSIV wird ein maximaler Reaktordruck von 92,8 bar 8 s nach dem Störfalleintritt erreicht. In den Rechnungen wird eine maximale Hüllrohrtemperatur von 798 °C nach 25 s erreicht. Der Wert liegt unter dem für den LOCA geltenden Akzeptanzgrenzwert von 1204 °C. Die langfristigen Analysen zum Containment-Verhalten zeigen, dass durch die nachgerüstete automatische Massnahme der schnellen Durchsatzreduktion in den Umwälzschleifen bei ATWS dem Operateur eine Reaktionszeit von bis zu 10 min für die Auslösung des Vergiftungssystems zur Verfügung steht.

Mit der Analyse ATWS bei einem fehlerhaften Schliessen von MSIV wird gesamthaft gezeigt, dass die spezifizierten Akzeptanzgrenzwerte für die Brennelement- und Kernausslegung eingehalten werden und somit keine Hüllrohrschäden zu erwarten sind. Auch die Grenzwerte (ASME Code Limits) für den Reaktorkühlkreislauf (druckführende Umschliessung) werden eingehalten. Die Grenzwerte bzgl. der Integrität des Primärcontainments werden ebenfalls eingehalten. Aus Sicht des KKL erfüllt die vorliegende ATWS-Analyse die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01.

Beurteilung des ENSI

Die getroffenen Anfangs- und Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 für auslegungüberschreitende Störfälle. Das Schliessen aller MSIV und die Nichtberücksichtigung des alternativen Steuerstabsfahrsystems zur Abschaltung des Reaktors stellen das abdeckende ATWS-Szenario dar. Nach Wertung des ENSI zeigen die neu durchgeführten anlagenspezifischen Analysen für das KKL, dass die Kernkühlbarkeit sowie die Integrität der Brennstabhüllrohre sichergestellt sind, wenn der Operateur innerhalb der ersten 10 min die Notborierung einleitet. Damit bleibt der Druckanstieg begrenzt und das Akzeptanzkriterium der Störfallkategorie 3 für die Integrität des Primärkreises wird ebenfalls eingehalten.

6.2.3.3 Totalausfall der Wechselstromversorgung

Angaben des KKL

Der Totalausfall der Wechselstromversorgung (Total Station Blackout, TSBO) entspricht dem Verlust des externen Netzes, dem Ausfall der Eigenbedarfsversorgung sowie der Not- und Notstanddiesel. Einzig die mittels Batterie versorgten Verbraucher stehen zur Störfall-Beherrschung zur Verfügung. Die Nachwärmeabfuhr muss daher mittels Accident-Management-Massnahmen langfristig sichergestellt werden.

Beim TSBO kommt es zum Ausfall aller betrieblichen Systeme. Weiterhin kommt es zu einem automatischen SCRAM sowie zur Reaktor- und Containment-Isolation. Der Ausfall der Speisewasserpumpen führt zum Absinken des Reaktorfüllstands, worauf das dampfgetriebene RCIC bei Reaktorfüllstand L2 gestartet wird. Das RCIC benötigt nur eine batteriegestützte Gleichstromversorgung für die Regelung und steht aufgrund der Batteriekapazität mindestens fünf Stunden zur Verfügung. Der Reaktordruck wird durch die SRV kontrolliert und zwischen 63,8 bar und 71,5 bar gehalten. Bei einem TSBO kann eines dieser Ventile pneumatisch geöffnet und offen gehalten werden, sodass der Reaktordruck schnell absinken kann. Parallel zum Betrieb mit dem RCIC werden alternative Einspeisepfade vorbereitet, die in den Störfallvorschriften beschrieben sind und bei

genügend niedrigem Reaktordruck einspeisen sowie den Reaktorfüllstand aufrechterhalten können, sodass die Kernkühlung sichergestellt ist.

Die Nachzerfallswärme wird in die DAK überführt, sodass die Temperatur dort bis zur Sättigung ansteigt. Durch die Erwärmung der DAK erhöht sich der Containmentdruck langsam. Ohne Gegenmassnahmen wird bei einem Containmentdruck von 3,1 bar die Berstscheibe in der Gasleitung des gefilterten Containment-Druckentlastungssystems automatisch öffnen und den Containmentdruck über die Filterbehälter reduzieren. Mit „Feed & Bleed“ erfolgt die Wärmeabfuhr vom Reaktordruckbehälter an die Atmosphäre passiv und zeitlich unbeschränkt. Das Feed-&-Bleed-Szenario wurde bereits im Rahmen des EU-Stresstests^{BET/11/89} bewertet.

Beurteilung des ENSI

Nach Wertung des ENSI konnte gezeigt werden, dass der Störfall ohne Kernschaden beherrscht wird und die Kernkühlung mittels Accident-Management-Massnahmen („Feed & Bleed“) langfristig sichergestellt werden kann. Da es keine neueren Erkenntnisse bzgl. TSBO gibt, bleibt die Beurteilung des ENSI aus dem EU-Stresstest^{ENSI 7798} weiterhin gültig. Es sind keine radiologischen Kriterien einzuhalten.

6.3 Radiologische Auswirkungen von Auslegungsstörfällen

6.3.1 Nachweisführung

Mit Hilfe radiologischer Analysen wird nachgewiesen, dass für alle während der Lebensdauer einer Anlage zu erwartenden und für alle nach menschlichem Ermessen nicht auszuschliessenden Störfälle die Anlage so ausgelegt ist, dass dabei keine für Mensch und Umwelt unzulässigen radiologischen Auswirkungen auftreten. Die diesbezügliche Nachweisführung ist Pflicht des Betreibers (Art. 8 Abs. 4 KEV). Generell umfasst die Bestimmung der radiologischen Auswirkungen folgende Analysen:

- den Aufbau des Aktivitätsinventars im Brennstab und im Reaktorkühlmittel
- den Transport radioaktiver Stoffe innerhalb der Anlage bis zur Freisetzung in die Umgebung (Bestimmung des Quellterms)
- die Ausbreitung der freigesetzten radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre und Ablagerung auf dem Boden
- die Strahlenbelastung der Bevölkerung (für eine fiktive, konservativ festgelegte Personengruppe)

Es entspricht der internationalen Praxis, für den Nachweis der Einhaltung von Dosiswerten konservative Vorgehensweisen zu verlangen. Damit wird sichergestellt, dass die errechneten Dosiswerte einen oberen Wert der zu erwartenden radiologischen Auswirkungen darstellen. Die Richtlinien ENSI-A01 und ENSI-A08 enthalten u. a. detaillierte Festlegungen für die Analyse des Störfalls und für die Bestimmung des aus der Anlage freigesetzten, luftgetragenen Quellterms. Die Richtlinie ENSI-G14 regelt die Berechnungsannahmen für die Ausbreitung des Quellterms in der Umgebung bis zur Ermittlung der Dosen für eine fiktive, konservativ festgelegte kritische Personengruppe der Bevölkerung. Die in den jeweiligen Störfallkategorien geltenden Nachweisziele wurden in 2009 mit der Gefährdungsannahmen-Verordnung^{UVEK-G} definiert.

Das KKL hat im Rahmen der Nachweise der ausreichenden Vorsorge gegen Störfälle radiologische Störfallanalysen durchgeführt, welche auf den technischen Störfallanalysen sowie auf den Richtlinien ENSI-A08 und ENSI-G14 basieren, und die Auswirkungen von repräsentativen Auslegungsstörfällen im Rahmen der periodischen Sicherheitsüberprüfung neu beurteilt.

Vom KKL wurden die nachfolgenden Auslegungsstörfälle hinsichtlich ihrer radiologischen Konsequenzen für die Umgebung untersucht:

- 1) Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile (MSIV)
- 2) Steuerstabfall

- 3) Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment
- 4) Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment
- 5) Kühlmittelverluststörfall (Auslegungsstörfall, grosses Leck)
- 6) Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude
- 7) Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb Containment
- 8) Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)
- 9) Versagen des Abgassystems (Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung)
- 10) Versagen des Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle
- 11) Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle
- 12) Erdbeben
- 13) Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)
- 14) Kühlmittelverluststörfall (mittleres Leck)
- 15) Versagen des Abgassystems (Brand im Aktivkohlefilter des Abgassystems)
- 16) Versagen des Abgassystems (fehlerhafte Operateurhandlung)
- 17) Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager (in Kap. 6.4, Störfallanalysen der Lager und betrieblichen Lagerbecken, behandelt)
- 18) Brennelement-Handhabungsstörfall im Transferrohr
- 19) Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem
- 20) Blitzschlag
- 21) Überspeisen des Reaktordruckbehälters

Das vom KKL dargelegte Spektrum radiologisch untersuchter Störfälle wurde aktualisiert und wird vom ENSI akzeptiert. Das ENSI hat die zur Quelltermittlung vom KKL verwendeten Rechenmodelle sowie deren Annahmen und Eingabeparameter überprüft. Die radiologischen Auswirkungen in der Umgebung wurden vom ENSI gemäss der Richtlinie ENSI-G14 berechnet und mit den entsprechenden Ergebnissen des KKL verglichen.

Gemäss Richtlinie ENSI-A01 Abs. 4.1.1 ist der Nachweis der Störfallbeherrschung auch ohne Einzelfehler zu erbringen, falls ein Störfall aufgrund der Unterstellung eines Einzelfehlers einer höheren Störfallkategorie zugeordnet wird und damit andere Nachweiskriterien gelten. Das KKL gibt an, dass für die Festlegung der Nachweiskriterien für die radiologischen Analysen Einzelfehler nicht berücksichtigt wurden. Das ENSI ist mit dieser Vorgehensweise, vorbehaltlich der dazu im Kap. 6.1.4 gestellten Forderung 6.1-4 a) zu den unterstellten wirksamsten Einzelfehlern, einverstanden.

6.3.2 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- StSV^{SISV}
- Gefährdungsannahmen-Verordnung^{UVEK-G}
- Richtlinien ENSI-A01^{A01}, ENSI-A08^{A08}, ENSI-G14^{G14} und ENSI-G15^{G15}
- US NRC Regulatory Guide 1.183^{RG1.183}

6.3.3 Aktivitätsinventare und Transport radioaktiver Stoffe

Angaben des KKL

Die Aktivitätsinventare der Brennelemente bilden die Grundlage für die Bestimmung der Dosisbelastung bei Auslegungsstörfällen. Von Bedeutung sind insbesondere gasförmige Isotope und Isotope, die durch das Kühlwasser aus dem Brennstoff gelöst werden. Das KKL bestimmte die Nuklidinventare für eine Basis-Kernbeladung mit einem mittleren Entladeabbrand von 52 MWd/kgUran und für eine abdeckende Kernbeladung mit einem mittleren Endladeabbrand von 65 MWd/kgUran. Beide sind Gleichgewichtskerne mit dem Brennelementtyp SVEA-96 und sechs Kernregionen. Die Reaktorleistung, Leistungsfaktoren der Kernregionen, Zykluslänge und Revisionsdauer sowie die mittlere Brennstoffanreicherung entsprechen den oberen Auslegungswerten im KKL. Die Berechnungen wurden mit dem Programm ORIGEN-2.1 und der validierten Nuklearbibliothek für hochabgebrannte Siedewasserreaktor-Brennelemente unter Berücksichtigung der KKL-spezifischen Zyklus- und Brennelement-Parameter durchgeführt. Die Aktivitätsinventare relevanter Nuklide sind zum Zyklusende sowie 24 h, 50 h und 500 h nach Abschaltung tabellarisch aufgeführt. Die mittleren Inventare der Brennelemente und Brennstäbe lassen sich aus dem Inventar für den gesamten Kern ableiten. Die für den Handhabungsstörfall notwendigen Aktivitätsinventare eines maximal belasteten Brennelements werden durch einen konservativen Leistungsfaktor von 1,6 bestimmt.

Im Inputparameterbericht werden die Aktivitätsinventare für den Reaktorkern, das Reaktorwasser, den Frischdampf, das Speisewasser und die Aktivkohletanks des Abgassystems sowie die Edelgasproduktionsraten aufgeführt. Es wurde gezeigt, dass diese Inventare, welche das KKL den Quelltermberechnungen zugrunde legt, gegenüber dem Quellterm der Spezifikation ANS-18.1-1999 deutlich konservativ sind. Bei der Herleitung der Inventare wurden alle Nuklide, für welche anlagenspezifische Daten zum Inventar vorliegen, für die radiologischen Analysen berücksichtigt, dabei wurden jeweils Obergrenzen für die Aktivitäten verwendet. Mit Ausnahme der Nuklide Br-85 und N-13 wurden Edelgase und Halogene mit Halbwertszeiten kleiner als 3 min und Spaltprodukte sowie aktivierte Korrosionsprodukte mit Halbwertszeiten kleiner als 10 min in den Analysen nicht berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Die angenommene Basis-Kernbeladung spiegelt die Zyklen im Überprüfungszeitraum wider, der mittlere Entladeabbrand der Brennelemente in den Zyklen 22 bis 31 lag zwischen 50 und 55 MWd/kg Uran. Die abdeckende Kernbeladung mit dem Entladeabbrand von 65 MWd/kg Uran ist somit konservativ und deckt allfällige Unsicherheiten der Berechnung ab. Es wurde das verifizierte und im Hochabbrand validierte Programm ORIGEN-2.1 verwendet, das sich für die Bestimmung der Nuklidinventare im Brennstoff bewährt hat. Die Aktivitätsinventare im Kern wurden vom ENSI durch Nachrechnung verifiziert. Die Bestimmung des Aktivitätsinventars des maximal belasteten Brennelements ist abdeckend, da der Leistungsfaktor im Überprüfungszeitraum höchstens 1,5 betrug.

Für die Edelgasproduktionsrate, welche den Analysen der Störfälle des Abgassystems zugrunde gelegt wird, stützt sich das KKL auf einen Herstellerbericht^{GE-1985}. Dem Bericht ist zu entnehmen, dass die Edelgasproduktionsrate auf der ursprünglichen Auslegung für die thermische Leistung basiert. Gemäss US NRC Regulatory Guide 1.98^{RG1.98} ist die thermische Leistung bei der Ermittlung der Edelgasproduktionsrate zu berücksichtigen. Die Edelgasproduktionsrate ist aufgrund der zwischenzeitlich erfolgten Leistungserhöhungen im KKL entsprechend anzupassen.

Zudem stellt das ENSI bei der Überprüfung der Inventare des Abwassersammelbehälters und des Verdampfers im Aufbereitungsgebäude Dokumentationslücken fest (vgl. Kap. 6.3.5.10 und 6.3.5.11).

Forderung 6.3-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2021:

- a) *die im Inputdatenbericht verwendete Edelgasproduktionsrate nach US NRC Regulatory Guide 1.98 hinsichtlich der zwischenzeitlich erfolgten Leistungserhöhungen für die Verwendung in künftigen radiologischen Analysen) zu skalieren;*
- b) *die radiologische Analyse für den Störfall „Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)“ entsprechend den Befunden in Kap. 6.3.5.8 der vorliegenden Stellungnahme zu überarbeiten und genauer zu dokumentieren sowie das Inventar radioaktiver Stoffe im Abgassystem, insbesondere des ersten Aktivkohlefilters, auf nachvollziehbare Berechnungen und Referenzen abzustützen;*
- c) *die Dokumentation der radiologischen Analyse für den Störfall „Versagen des Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle“ zu ergänzen, indem die Angaben zum Aktivitätsinventar im Abwassersammelbehälter und zur veranschlagten Abgabedauer nach Richtlinie ENSI-A08, Kap. 4.2 und 4.2.3 derart vervollständigt werden, dass die Nachvollziehbarkeit gewährleistet ist;*
- d) *das Aktivitätsinventar im Verdampfer (Aufkonzentrierfaktor 20 h und 24 h Zerfallszeit) und dessen abdeckenden Charakter für den Störfall „Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle“ genauer zu begründen.*

Die gemäss Inputdatenbericht aufgrund kurzer Halbwertszeiten nicht berücksichtigten Radionuklide der Edelgase werden in der Richtlinie ENSI-A08 nicht verlangt. Die mit gleicher Begründung nicht berücksichtigten Spaltprodukte Rh-106, Ag-110, Ba-137m und Pr-144m hingegen sind in der Richtlinie aufgeführt. Während die Argumentation für die Nichtberücksichtigung von Ag-110 plausibel ist, kann sie für die anderen Nuklide nicht nachvollzogen werden. Beispielsweise kann beim Nuklid Rh-106, welches aus dem Betazerfall des Ru-106 entsteht, ein massgeblicher Dosisbeitrag aufgrund des hochenergetischen Beta-Zerfalls der kurzlebigen Tochter Rh-106 resultieren. Ähnlich verhält es sich mit dem kurzlebigen Ba-137m, welches beim Zerfall des Cs-137 entsteht. Angesichts der Zerfallsart und der auftretenden Zerfallsenergien kann eine Nichtberücksichtigung des Nuklids Pr-144m für die vorliegenden Analysen als nicht relevant bewertet werden. Ein Ausschlusskriterium allein basierend auf der Halbwertszeit, wie es das KKL im Inputdatenbericht skizziert, greift bei Töchtern in Zerfallsketten nach Auffassung des ENSI zu kurz. Sofern jedoch bei den Dosisberechnungen der jeweilig zugehörige Dosisfaktor der Tochter im Dosisfaktor der Mutter bereits mitberücksichtigt wird, ergeben sich keine Gründe für eine Ablehnung dieser Vorgehensweise, letztere sollte dann aber auch transparent dokumentiert sein. Den Angaben des KKL ist jedoch nicht zu entnehmen, welche Dosisfaktoren für die betroffenen Mutternuklide verwendet wurden.

Weiter ist nicht nachvollziehbar, dass mehrere in der Richtlinie ENSI-A08 verlangte Nuklide in den Inventaren für Reaktorwasser, Frischdampf und Speisewasser nicht berücksichtigt werden und dennoch nicht in den zugehörigen Aufzählungen weggelassener Nuklide genannt sind. Das ENSI ist der Auffassung, dass die in der Richtlinie ENSI-A08 verlangten Nuklide in den radiologischen Analysen grundsätzlich zu berücksichtigen sind, Abweichungen davon sind zu begründen. Das ENSI hat sich anhand von Stichproben davon überzeugen können, dass die Weglassungen für die vorliegenden Analysen keinen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisse haben.

6.3.4 Methodik und Ergebnisse der Ausbreitungs- und Dosisberechnung**Angaben des KKL**

Die Berechnung der Folgedosis nach einer Freisetzung erfolgt konform zur Richtlinie ENSI-G14 unter Verwendung des Rechenprogramms EXPOG14. Als Expositionspfade werden die Immersion, die Bodenstrahlung, die Inhalation, die Ingestion und die Resuspension berücksichtigt. Aufgrund des dominierenden Effektes des Kühlturms gegenüber den Effekten anderer Gebäude, wird nur der Einfluss des Kühlturms in den Berechnungen berücksichtigt.

Die Emissionshöhe ist abhängig vom jeweiligen Störfall: Bei Freisetzungen aus Gebäuden wird von einer Emissionshöhe von 16 m ausgegangen, bei Kaminabgaben von 99 m. Eine thermische Überhöhung aufgrund eines Wärmestroms wird in konservativer Weise – ausser beim Störfall „Flugzeugabsturz“ (Kerosinbrand) – nicht kreditiert. Abhängig vom Auslegungsstörfall wird eine Austrittsgeschwindigkeit berücksichtigt. Wenn alle Lüftungssysteme in Betrieb sind, wird bei Kaminabgaben von einer Austrittsgeschwindigkeit von 14 m/s ausgegangen.

Die Gesamtdosis setzt sich zusammen aus der Wolkendosis (Immersion, Inhalation) und der Bodendosis (Bodenstrahlung, Ingestion, Resuspension) und entspricht dem maximalen Wert in der Umgebung des Kraftwerks bei einer minimalen Abwinddistanz von 100 m (Erdbeben) bzw. 200 m.

Beurteilung des ENSI

Gemäss Richtlinie ENSI-G14 werden bei der Bestimmung des Ortes mit dem grössten Gesamtdosisbeitrag in der Umgebung Distanzen kleiner als 200 m zum Abgabeort nicht berücksichtigt. Die Verwendung einer minimalen Abwinddistanz von 100 m bei der Dosisberechnung zum Störfall „Erdbeben“ entspricht einer konservativen Vorgehensweise.

Das KKL berücksichtigt bei seinen Dosisberechnungen eine sog. Impulsüberhöhung aufgrund von Austrittsgeschwindigkeiten bei den jeweiligen Abgaben. Basierend auf dieser Impulsüberhöhung und den unterstellten Abgabehöhen ermittelt das KKL für jeden Störfall eine spezifische Emissionshöhe. In den Unterlagen des KKL findet sich jedoch keine nachvollziehbare Herleitung der verwendeten Austrittsgeschwindigkeiten und Impulsüberhöhungen.

Im Sinne konservativer Ergebnisse berücksichtigt das ENSI bei seinen Berechnungen keine solchen Impulsüberhöhungen. Um die topographisch bedingte Verringerung der jeweiligen Abgabehöhe ausreichend zu berücksichtigen, geht das ENSI zudem von folgenden topographiekorrigierten, effektiven Freisetzungshöhen aus: bei Kaminabgabe von 75 m, bei Abgaben aus Gebäuden von 17,5 m, beim Störfall „Flugzeugabsturz“ auf das Zwischenlager von 70 m.

Das ENSI hat die vom Betreiber unterbreiteten Analysen hinsichtlich Ausbreitungs- und Dosisberechnungen mittels eigenen Berechnungen im Detail überprüft und trotz unterschiedlicher Emissionshöhen grösstenteils vergleichbare Werte erhalten. Bei den Störfällen „Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile“, „Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)“ und „Versagen des Abgassystems (Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung)“ hat das ENSI allerdings nennenswerte Abweichungen festgestellt. Anhand zusätzlicher Berechnungen mit den vom KKL verwendeten Emissionshöhen konnte sich das ENSI aber davon überzeugen, dass diese Abweichungen auf die Berücksichtigung einer Impulsüberhöhung zurückzuführen sind.

Das Vorgehen des KKL bei der Ausbreitungs- und Dosisberechnung ist aufgrund der Berücksichtigung einer Impulsüberhöhung nicht ohne weiteres konservativ. Das ENSI beurteilt die Berücksichtigung einer Impulsüberhöhung als nicht ausreichend begründet (vgl. Forderung 6.3-2). Die Untersuchungen des ENSI zu den einzelnen radiologischen Analysen (vgl. Kap. 6.3.5) zeigen aber, dass die maximal zulässigen Dosiswerte für alle vom KKL untersuchten Störfälle (in vielen Fällen sogar mit grosser Marge) eingehalten werden.

Tabelle 6.3-1: Maximal zu erwartende Dosis für Einzelpersonen in der Umgebung auf Grundlage der Richtlinie ENSI-G14 und der KKL-Analysen

Maximale Dosis im ersten Jahr [mSv]	KKL-Analyse			ENSI-Analyse		
	KK	KI	ER	KK	KI	ER
Störfallkategorie 1 (QDRW**)						
Blitzschlag	3,0·10 ⁻⁰³	2,0·10 ⁻⁰³	2,0·10 ⁻⁰³	2,0·10 ⁻⁰³	1,3·10 ⁻⁰³	1,0·10 ⁻⁰³
Störfallkategorie 2 (1 mSv)						
Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile	2,4·10 ⁻⁰³	2,3·10 ⁻⁰³	2,3·10 ⁻⁰³	1,0·10 ⁻⁰²	1,0·10 ⁻⁰²	9,9·10 ⁻⁰³
Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)	5,0·10 ⁻⁰²	3,0·10 ⁻⁰²	2,4·10 ⁻⁰²	1,0·10 ⁻⁰¹	8,9·10 ⁻⁰²	8,5·10 ⁻⁰²
Versagen des Abgassystems (Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung)	1,8·10 ⁻⁰²	7,3·10 ⁻⁰³	4,0·10 ⁻⁰³	2,8·10 ⁻⁰²	2,2·10 ⁻⁰²	2,0·10 ⁻⁰²
Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle	4,4·10 ⁻⁰²	1,6·10 ⁻⁰²	7,6·10 ⁻⁰³	2,6·10 ⁻⁰²	1,1·10 ⁻⁰²	5,1·10 ⁻⁰³
Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)*	9,0·10 ⁻⁰²	3,7·10 ⁻⁰²	1,9·10 ⁻⁰²	2,8·10 ⁻⁰²	1,4·10 ⁻⁰²	7,6·10 ⁻⁰³
Versagen des Abgassystems (Brand im Aktivkohlefilter des Abgassystems)	2,7·10 ⁻⁰¹	2,6·10 ⁻⁰¹	2,7·10 ⁻⁰¹	3,1·10 ⁻⁰¹	2,7·10 ⁻⁰¹	2,7·10 ⁻⁰¹
Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem	1,2·10 ⁻⁰¹	5,0·10 ⁻⁰²	2,6·10 ⁻⁰²	1,1·10 ⁻⁰¹	5,4·10 ⁻⁰²	3,2·10 ⁻⁰²
Störfallkategorie 3 (100 mSv)						
Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment	1,8·10 ⁻⁰¹	7,3·10 ⁻⁰²	3,8·10 ⁻⁰²	1,6·10 ⁻⁰¹	7,9·10 ⁻⁰²	4,7·10 ⁻⁰²
Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment	5,7·10 ⁻⁰³	2,3·10 ⁻⁰³	1,2·10 ⁻⁰³	2,9·10 ⁻⁰³	1,3·10 ⁻⁰³	7,2·10 ⁻⁰⁴
Kühlmittelverluststörfall (Auslegungsstörfall, grosses Leck)	19	10	8,0	10	5,7	4,4
Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude	3,7	1,4	7,0·10 ⁻⁰¹	2,3	1,1	6,0·10 ⁻⁰¹
Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb Containment	3,0	1,1	5,4·10 ⁻⁰¹	2,4	1,0	5,0·10 ⁻⁰¹
Versagen des Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle	1,7·10 ⁻⁰¹	6,3·10 ⁻⁰²	2,9·10 ⁻⁰²	1,0·10 ⁻⁰¹	4,3·10 ⁻⁰²	2,0·10 ⁻⁰²
Kühlmittelverluststörfall (mittleres Leck)*	9,0·10 ⁻⁰¹	4,5·10 ⁻⁰¹	3,6·10 ⁻⁰¹	4,5·10 ⁻⁰¹	2,6·10 ⁻⁰¹	2,0·10 ⁻⁰¹
Versagen des Abgassystems (fehlerhafte Operatorhandlung)*	4,7	1,8	1,0	6,8	5,3	4,9
Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager (vgl. Kap. 6.4.3)	4,7	4,9	4,6	5,2	5,2	5,0
Brennelement-Handhabungsstörfall im Transferrohr	3,7	1,4	7,0·10 ⁻⁰¹	2,3	1,1	6,0·10 ⁻⁰¹
Überspeisung des Reaktordruckbehälters	56	21	11	46	20	10

* Einteilung in Störfallkategorie gemäss KKL

** Quellenbezogener Dosisrichtwert

KK einjährige Kinder

KI zehnjährige Kinder

ER Erwachsene

6.3.5 Ergebnisse der Transport-, Ausbreitungs- und Dosisberechnungen

6.3.5.1 Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile

Angaben des KKL

Der Störfall wurde der Kategorie 2 zugeordnet, sodass der maximal zulässige Dosiswert 1 mSv beträgt.

Die vier Frischdampf-Isolationsventile schliessen fehlerhaft im Vollastbetrieb. Dies führt zu einer Reaktorschnellabschaltung und einem schnellen Frischdampfdruckanstieg, der über das Öffnen der Sicherheits-Abblaseventile abgebaut wird. Die zur Druckabbaukammer (DAK) umgeleitete Dampfmenge wird in Abhängigkeit der Nachzerfallswärme berechnet. Der Störfallablauf führt zu keinen störfallbedingten Brennstabschäden.

Es wird konservativ und abdeckend unterstellt, dass die gesamte Frischdampfmenge, die nach der Schnellabschaltung noch entsteht, in die DAK geleitet wird. Das Containment wird aufgrund erhöhter Strahlenwerte automatisch isoliert. Die durch das Notabluftsystem (Standby Gas Treatment System, SGTS) gefilterte Freisetzung beginnt 8 h nach Schnellabschaltung.

Es wird eine für den Normalbetrieb maximal erlaubte Kühlmittelaktivität unterstellt. Das störfallbedingt erhöht freigesetzte Iod (Spiking Effekt) gelangt mit dem Frischdampf über die Sicherheits-Abblaseventile in die DAK und von dort in den Freiraum des Primärcontainments. Es werden 396,2 t Dampf bzw. das Äquivalent an radioaktivem Inventar in die DAK abgeblasen.

Das KKL unterstellt eine vollständige Rückhaltung von aerosolförmigen Stoffen im Wasser der DAK, keine Rückhaltung von Edelgasen und organischem Iod. Für elementares Iod wird ein Partitionsgleichgewicht angenommen.

Die Dosisberechnungen des KKL für die analysierte Anlagentransiente ergeben für Einzelpersonen in der Umgebung eine maximale Dosis von $2,4 \cdot 10^{-3}$ mSv. Das KKL kommt zum Schluss, dass der für Ereignisse der Störfallkategorie 2 maximal zulässige Dosiswert eingehalten wird.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung in die Störfallkategorie 2 beurteilt das ENSI als zutreffend (vgl. Kap. 6.1.5). Da der Störfall „Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile“ als aus radiologischer Sicht abdeckendes Ereignis teilweise auch für Ereignisse der Störfallkategorie 1 betrachtet wird, sind die radiologischen Auswirkungen mit den Randbedingungen der Störfallkategorie 1 zu bewerten (vgl. Kap. 6.2.1.4).

Das ENSI hat die vom KKL vorgelegte radiologische Analyse nachgerechnet und anhand eigener Quellterm- und Ausbreitungsrechnungen überprüft.

Gemäss Kap. 6.2.1.4 ist die angesetzte kumulative Dampfmenge, die in die DAK abgeführt wird, allerdings nicht vollständig nachvollziehbar und von der gewählten Fahrweise zur Überführung in den kalt abgestellten Anlagenzustand abhängig. Daher ist nach Abschätzung des ENSI ein etwas grösserer Quellterm anzunehmen, der aufgrund der Forderung 6.1-4 a) neu zu bestimmen ist. Zudem berücksichtigt das KKL in den Berechnungen für den Quellterm nur elementares und organisches Iod, und damit nur 5 % des Iodinventars im Dampf. Die 95 % als Cäsiumiodid in das DAK-Wasser eingetragene Iodfraktion, die im Wasser als vollständig dissoziiert anzunehmen ist und damit als Iodid vorliegt, wird vom Betreiber wie die Aerosole behandelt, sodass eine vollständige Rückhaltung im DAK-Wasser angenommen wird. Im Inputparameterbericht gibt der Betreiber für partikuläres Iod jedoch einen Rückhaltefaktor von 10 im Zusammenhang mit der Iodchemie bei einem Suppression Pool an. Nach Auffassung des ENSI nimmt das Iodid am Partitionsgleichgewicht teil und ist dementsprechend mit zu berücksichtigen.

Eine nicht konservative Vereinfachung stellt die vom Betreiber angestellte Berechnung des Aktivitätsinventars zum Zeitpunkt der Freisetzung (8 h nach Reaktorabschaltung) dar. Demnach liegt die gesamte über das Abblasen in die DAK eingetragene Aktivität im Containment bereits zu Beginn darin vor, statt die Zufuhr über den Abblasezeitraum zu berücksichtigen. Kurzlebige Radionuklide werden somit unterschätzt. Ihr Beitrag an der Gesamtdosis ist jedoch gering. Hingegen ist das unterstellte Spiking der Halogene und der Edelgase mit einem Faktor von 30 bzw. 3 gleich zu Beginn des Störfalls konservativ angesetzt worden.

Das ENSI hat in seinen Rechnungen abweichend vom KKL-Modell die Edelgase für die Zeit während der Druckentlastungsphase mit einer konstanten Produktionsrate und entsprechendem Erscheinen in der Containmentatmosphäre modelliert. Ähnlich wurde für die Aerosole und Halogene eine zeitabhängige Aktivitätszufuhr in das Containment anhand der Dampfproduktionsrate^{BET/12/96} für den Abblasezeitraum modelliert und das nicht-organische Iod mittels Partitionsmodell berücksichtigt und auch für Aerosole ein kleiner Beitrag via Poolbypass unterstellt. Bei der Dosisberechnung des ENSI wurde (aufgrund benachbarter baulicher Strukturen) keine Impulsüberhöhung für die Abgaben über Kamin angesetzt. Mit den anzunehmenden Korrekturen der Dampfmenge und der Edelgasproduktionsrate (vgl. Kap. 6.3.3) und Berücksichtigung der Randbedingungen nach Richtlinie ENSI-G14 für Störfälle der Störfallkategorie 1 resultieren damit Dosiswerte, die ca. eine Größenordnung höher als die vom KKL angegebenen Werte liegen. Der Dosiswert für Störfälle der Störfallkategorie 1 wird dennoch deutlich eingehalten.

Forderung 6.3-2

Die radiologische Analyse für den Störfall „Closure of all MSIVs“ ist aufbauend auf der neuen technischen Analyse gemäss Forderung 6.1-4 a) der vorliegenden Stellungnahme bis zum 15. Dezember 2022 neu zu erstellen. Dabei sind die genannten nicht konservativen Vereinfachungen zu korrigieren. Bei Berücksichtigung einer Impulsüberhöhung ist diese nachvollziehbar zu begründen und zu rechtfertigen.

6.3.5.2 Steuerstabfall

Angaben des KKL

Es kommt zu keinen Brennstabschäden bei diesem Störfall, eine radiologische Analyse ist daher nicht notwendig.

Beurteilung des ENSI

Gemäss Kap. 6.2.2.7 sind Hüllrohrschäden nicht anzunehmen. Freisetzungen von Radioaktivität in die Umgebung treten somit nicht auf. Eine radiologische Analyse erübrigt sich.

6.3.5.3 Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment

Angaben des KKL

Der Störfall wird ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit in die Störfallkategorie 3 eingestuft, entsprechend gilt ein maximal zulässiger Dosiswert von 100 mSv.

Bei einem Frischdampfleitungsbruch im Maschinenhaus werden 10,5 t Frischdampf und 44,5 t Reaktorkühlmittel freigesetzt, letzteres verdampft augenblicklich (Flashing) zu 30 %. Das Reaktorwasser enthält keine Edelgase, die im Frischdampf enthaltenen Edelgase werden zu 100 % freigesetzt. Das freiwerdende Iod entstammt dem Frischdampf und dem Reaktorwasser und setzt sich wie folgt zusammen: organisches Iod 0,15 %, elementares Iod 4,85 % und Cäsiumiodid 95 %. Organisches und elementares Iod werden aus dem Reaktorwasser zu 100 % freigesetzt, das Cäsiumiodid entweicht aus dem Reaktorwasser entsprechend dem Flashing-Anteil von 30 %. Die restlichen Nuklide entstammen dem Frischdampf und dem verdampften Reaktorwasser. Die gesamte im Frischdampf und im verdampften Reaktorwasser enthaltene Aktivität wird unmittelbar und bodennah in die Umgebung freigesetzt.

Im weiteren Störfallverlauf kommt es zum Abschluss aller MSIV, der entstehende Dampf wird in die DAK abgeblasen. Acht Stunden nach Störfallbeginn wird das Containment mittels SGTS gespült, dabei kommt es wiederum zur Freisetzung von Aktivität in die Umgebung. Die Dosis des Störfalls „Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile“ muss deshalb zur resultierenden Dosis aus obiger Freisetzung hinzuaddiert werden.

Insgesamt ergibt sich eine maximale Gesamtdosis für die Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder von 0,18 mSv, der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv wird eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Die Einstufung des Störfalls „*Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment*“ in die Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI vorbehaltlich der Anmerkungen aus Kap. 6.1.5 und 6.2.2.1 und der Forderung 6.1-7 a) als zutreffend. Der maximal zulässige Dosiswert für die Umgebung beträgt 100 mSv.

Das ENSI hat die Analyse des KKL mittels eigenen Quellterm- und Dosisberechnungen überprüft, wobei es von einem etwas höheren Flashing-Anteil ausgegangen ist als das KKL. Die Berechnungen des ENSI zeigen, dass das KKL bei der Quelltermberechnung für die Aerosole (ohne Halogene) – entgegen seinen Angaben – bei der Freisetzung aus dem Reaktorwasser einen Freisetzungsanteil von 100 % und nicht von 30 % (entsprechend dem Flashing-Anteil) verwendet hat. Diese Modellierung führt dazu, dass für alle Nuklide, ausser für Cäsiumiodid, die gesamte im austretenden Frischdampf und Reaktorwasser enthaltene Aktivität direkt in die Umgebung freigesetzt wird. Das ENSI wertet diese Modellierung als konservativ.

Das ENSI konnte sich mittels eigenen Quellterm- und Dosisberechnungen davon überzeugen, dass der maximal zulässige Dosiswert mit grosser Marge eingehalten wird.

6.3.5.4 *Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment*

Angaben des KKL

Es wird ein nicht absperrender Messleitungsbruch unterstellt. Der Messleitungsbruch im Drywell wird aus radiologischer Sicht durch den Störfall „Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)“ abgedeckt. Daher wird nur der nicht absperrende Messleitungsbruch ausserhalb des Drywells im Primärcontainment untersucht. Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3, der maximal zulässige Dosiswert beträgt 100 mSv.

In den ersten 30 min nach Störfallbeginn fliesst Reaktorkühlmittel ins Primärcontainment und verdampft spontan zu 30 %. Die gesamte in diesem Dampfanteil enthaltene Aktivität wird dabei ungefiltert über den Kamin abgegeben. Für elementares und organisches Iod wird zudem auch der Anteil im nicht verdampften Reaktorwasser zu 100 % freigesetzt. Nach 30 min wird das Containment isoliert, ab dann fliesst bis zum Zeitpunkt 5,5 h nach Störfallbeginn weiteres Reaktorwasser aus. Die Leckrate vom Primär- zum Sekundärcontainment beträgt 1 vol % pro Tag. Die Freisetzung erfolgt während 7,5 h aus dem Sekundärcontainment via SGTS gefiltert über den Kamin. Für Iod, Cäsium und Brom wird ein Spiking-Faktor von 30 verwendet. Im Zeitraum von 8 h bis 24 h nach Störfallbeginn wird die Containment-Atmosphäre mittels SGTS gespült, danach ist praktisch die gesamte luftgetragene Aktivität in der Containment-Atmosphäre gefiltert an die Umgebung abgegeben worden.

Die maximale Dosis ergibt sich für die Gruppe der Kleinkinder mit $5,7 \cdot 10^{-3}$ mSv und liegt damit deutlich unterhalb des maximal zulässigen Dosiswerts von 100 mSv.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI schliesst sich der Aussage des KKL an, wonach der Messleitungsbruch im Drywell durch den Störfall „Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)“ abgedeckt ist (vgl. Kap. 6.2.2.3). Die Einstufung des Störfalls „Messleitungsbruch ausserhalb des Drywells“ in Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) als zutreffend. Der maximal zulässige Dosiswert für die Umgebung beträgt 100 mSv.

Das KKL verwendet für die Anteile der Iodspezies die Angaben aus der Richtlinie ENSI-A08. Eine vollständige Freisetzung des mit dem Reaktorwasser austretenden Inventars an elementarem und organischem Iod beurteilt das ENSI als konservative Modellierung. Die vom KKL verwendete Modellierung für den Transport des Cäsiumiodids entspricht den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A08. Die Behandlung aller weiteren Nuklide geschieht analog zum Cäsiumiodid und wird ebenfalls als akzeptabel bewertet. Die vom KKL unterstellte Leckrate vom Primär- zum Sekundärcontainment von 1 vol % pro Tag entspricht dem maximal zulässigen Wert aus den „Technischen Spezifikationen“.

Das KKL gibt an, dass nach dem Spülen des Containments mittels SGTS praktisch die gesamte Aktivität gefiltert an die Umgebung abgegeben wurde. Berechnungen des ENSI bestätigen, dass die noch im Containment verbleibende Aktivität im Verhältnis zum Gesamtquellterm vernachlässigbar klein ist.

Das ENSI hat die Quelltermberechnung des KKL mittels eigener Nachrechnung überprüft und insgesamt gute Übereinstimmung festgestellt. Insgesamt konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv mit grosser Marge eingehalten wird.

6.3.5.5 Kühlmittelverluststörfall (grosses Leck)

Angaben des KKL

Der Störfall wird ohne Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit der Kategorie 3 zugeordnet, so dass der maximal zulässige Dosiswert 100 mSv beträgt.

Es werden ein nicht isolierbarer doppelendiger Bruch der Umwälzschleife im Containment (Drywell) und der Verlust der externen Stromversorgung während den ersten 8 h nach Störfallbeginn unterstellt. Aufgrund des Druckanstiegs im Drywell erfolgen automatisch eine Reaktorschnellabschaltung und die Isolation des Primärcontainments. Die über die Bruchstelle in das Drywell freigesetzten radioaktiven Stoffe gelangen durch die Überströmöffnungen in die DAK, in der ein Grossteil der nicht gasförmigen radioaktiven Stoffe zurückgehalten wird. Der Rest gelangt in die Atmosphäre des Primärcontainments. Die aufgrund der Leckagen des Primärcontainments in das Sekundärcontainment gelangenden radioaktiven Stoffe werden mit Hilfe des SGTS gefiltert über den Kamin in die Umgebung abgegeben (SGTS-Pfad).

Aufgrund nicht dicht schliessender Isolationsarmaturen können radioaktive Stoffe auch über die Speisewasser- und Frischdampfleitungen unter Umgehung des Sekundärcontainments in den Kondensator entweichen (SCBL-Pfad). Aufgrund von Kondensatorleckagen gelangen die radioaktiven Stoffe in die Maschinenhausatmosphäre und von dort aus in die Umgebung.

Als Folge des doppelendigen Bruchs der Umwälzschleife wird vom KKL unterstellt, dass 1 % der Hüllrohre beschädigt werden. Daraus resultiert eine entsprechende Freisetzung von Edelgasen, Halogenen und anderen Spaltprodukten in das Reaktorkühlmittel. Im Gegensatz zu den Edelgasen, die ohne Rückhaltung durch die DAK in die Atmosphäre des Primärcontainments gelangen, werden andere Radionuklide in Abhängigkeit ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften in der DAK zurückgehalten.

Das KKL geht davon aus, dass in den ersten 8 h nach Störfallbeginn die Freisetzung aus dem Kondensator im Maschinenhaus direkt an die Umgebung und in Bodennähe erfolgt. Nachdem die externe Stromversorgung und damit die Maschinenhauslüftung wieder verfügbar sind, erfolgt die Freisetzung aus dem Maschinenhaus über den Abluftkamin. Neben Beiträgen an den Quellterm über den SCBL- und den SGTS-Pfad wurden auch solche aus Leckagen des Notkühlsystems berücksichtigt.

Die Dosisberechnungen ergeben für einen grossen Kühlmittelverluststörfall im Drywell für Einzelpersonen in der Umgebung eine maximale Dosis von 19 mSv (Kleinkinder). Das KKL kommt zu dem Ergebnis, dass die für Ereignisse der Störfallkategorie 3 zulässige Dosislimite eingehalten wird.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung in die Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) als zutreffend. Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 100 mSv.

Das KKL unterstellt, dass als Folge des Störfalls 1 % defekte Hüllrohre auftreten. Diese Annahme wird als ausreichend konservativ beurteilt (s. Kap. 6.2.2.4). Bei dieser unterstellten, niedrigen Anzahl defekter Hüllrohre berücksichtigt das KKL den Beitrag der Primärkühlmittelaktivität zur Gesamtdosis und auch Spiking-Effekte, wie in der Richtlinie ENSI-A08 gefordert.

Das ENSI hat die vom KKL vorgelegte Analyse für den SGTS- und den SCBL-Pfad nachgerechnet und anhand eigener Quellterm- und Ausbreitungsrechnungen überprüft. Die Beiträge aus Leckagen des Notkühlsystems sind gegenüber denjenigen der anderen Pfade um Grössenordnungen kleiner und damit nicht relevant. Die

vom KKL durchgeführte radiologische Analyse ist insgesamt als konservativ zu bewerten, da sie die wesentlichen Freisetzungspfade berücksichtigt. Auch die unterstellten Anlagen- und Systemparameter wie Leckageraten, Filtereffizienzen, Ventilationsraten und Volumen sind nach Ansicht des ENSI weitgehend korrekt angesetzt worden.

Die angegebenen Modelle für den Aktivitätstransport in der Anlage erachtet das ENSI als akzeptabel und als weitgehend korrekt beschrieben. Die mathematische Beschreibung für das 2-Kompartiment-Modell enthält aber eine nicht dokumentierte Vereinfachung für die Aktivitätskonzentration im 2. Kompartiment (Integrationskonstante). Bei der Berechnung des Quellterms über den SCBL-Pfad wurde bei Anwendung der Formel dieser Umstand übersehen und führt bei Korrektur zu einem signifikant höheren Quellterm für die Freisetzungen über diesen Pfad. Die Analyse ist deshalb diesbezüglich zu korrigieren. Andererseits wurden die Pfade unabhängig voneinander berechnet, was als konservativer Ansatz zu werten ist, weil damit die einmal in das Containment freigesetzten radioaktiven Stoffe zweimal, nämlich einmal über den SGTS- und über den SCBL-Pfad freigesetzt werden können.

Die modellierte direkte Freisetzung radioaktiver Stoffe an die Umgebung über SGTS-Filter ist mit der Berücksichtigung eines ungefilterten Beitrags zu Beginn der Freisetzung als konservativ zu bewerten. Die Freisetzungsprozesse für nicht-organisches Iod hat das KKL nicht mit einem Partitions-gleichgewicht modelliert, sondern stattdessen mit einem Faktor für die Rückhaltung unter Zugrundelegung eines Partitionskoeffizienten gearbeitet. Das ENSI hat mit eigenen Modellrechnungen die Angaben des Betreibers zum Quellterm verglichen und festgestellt, dass sie insgesamt als konservativ zu bewerten sind. Insgesamt ist festzuhalten, dass der Grenzwert von 100 mSv für diesen Störfall mit Marge eingehalten wird.

Forderung 6.3-3

Die Analyse der radiologischen Auswirkungen des Kühlmittelverluststörfalls (Auslegungsstörfall, grosses Leck) innerhalb des Drywells ist vom KKL bis zum 15. Dezember 2022 in folgendem Punkt zu überarbeiten:

Die Anfangsbedingungen für die sogenannte Phase 2 nach 8 h sind für den SCBL-Pfad derart zu setzen, dass der Aktivitätseintrag aus den ersten 8 h in den Kondensator berücksichtigt wird.

6.3.5.6 Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 100 mSv.

Es wird unterstellt, dass ein frisch ausgeladenes Brennelement bei der Handhabung abstürzt und auf ein sich im Wasser des Brennelementbeckens befindendes Brennelement trifft, dabei kommt es zur Beschädigung von 200 Brennstäben. Dies ist der limitierende Fall für das KKL, da so bei einem Brennelement bestehend aus 10 mal 10 Brennstäben die Beschädigung von zwei kompletten Brennelementen unterstellt wird.

Die flüchtigen Nuklide aus den Brennstäben gelangen in die Atmosphäre des Brennelementlagergebäudes (Fuel Handling Building, FHB) und von dort zunächst via Kamin ungefiltert in die Umgebung. Die Monitore für die Dosisüberwachung im FHB detektieren erhöhte Aktivität und lösen einen Alarm im Hauptkontrollraum sowie die automatische Isolation des FHB aus. Die Zeitspanne zwischen der Detektion der erhöhten Aktivität und dem Gebäudeabschluss beträgt 15 s. Daraufhin wird das SGTS manuell gestartet, es kommt zur gefilterten Freisetzung von Aktivität in die Umgebung.

Für die Modellierung mit einem Dekontaminationsmodell wird eine inhomogene Durchmischung berücksichtigt. Zudem wird der Effekt eines Partitions-gleichgewichtes gegenüber dem Dekontaminationsmodell untersucht und die Störfallanalyse entsprechend erweitert.

Bei der Berechnung auf Basis des Dekontaminationsmodells resultiert eine Dosis von 3,7 mSv, der maximal zulässige Dosiswert wird eingehalten, auch bei Berücksichtigung von Partitionsvorgängen.

Beurteilung des ENSI

Die Einstufung in Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) als zutreffend. Der maximal zulässige Dosiswert in der Umgebung beträgt 100 mSv.

Das vom KKL unterstellte Schadensbild wertet das ENSI als abdeckend (vgl. Kap. 6.2.2.5 und 6.3.6). Die Zeitverzögerung vom Anstieg der Aktivität im Luftraum des FHB bis zur Auslösung des Signals „Dosisleistung FHB-Abluft zu hoch“ (sog. Detektionszeit) wurde vom KKL für verschiedene Ortsdosisleistungen experimentell ermittelt. Die Ergebnisse zeigen, dass die vom KKL unterstellte Detektionszeit einem sehr konservativen Wert entspricht, angesichts der bei 200 beschädigten Brennstäben zu erwartenden Ortsdosisleistungen. Bezüglich der Zeitspanne für die Isolation des FHB unterstellt das KKL, im Einklang mit den Vorgaben aus der Richtlinie ENSI-A08, den gemäss „Technischer Spezifikation“ maximal zulässigen Wert von 15 s.

Bei der Modellierung der Freisetzung der Nuklide aus den defekten Brennstäben ins Beckenwasser verfährt das KKL nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A08. Für den Anteil an Cäsiumiodid, welcher im Beckenwasser dissoziiert und in der Folge als elementares Iod auftritt, setzt das KKL 5 % an. Diese Modellierung entspricht weder den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A08 noch den Angaben im US NRC Regulatory Guide 1.183, wonach das Cäsiumiodid im Beckenwasser komplett dissoziiert. Damit kommt es in der Modellierung des KKL zu einer möglichen Unterschätzung der freigesetzten Aktivitätsmenge für elementares Iod.

Zudem unterstellt das KKL bei der Analyse eines Brennelementabsturzes hinsichtlich der Auswirkungen auf das Personal in der Anlage (vgl. Kap. 6.3.6) eine direkte Absaugung am Beckenrand von 50 % der aus dem Beckenwasser austretenden Aktivität. Das ENSI ist der Meinung, dass der Einfluss einer solchen Absaugung auch für den hier betrachteten Störfall zu berücksichtigen ist.

Das vom KKL unterstellte Mischverhältnis berücksichtigt eine mögliche nicht ideale Durchmischung der in den Luftraum oberhalb des Beckens gelangenden Aktivität und ist für das ENSI akzeptabel. Der für elementares Iod verwendete Dekontaminationsfaktor von 285 entspricht dem Wert aus dem US NRC Regulatory Guide 1.183 und ist für das ENSI ebenfalls akzeptabel. Das ENSI hat unter Verwendung der Annahmen des KKL die Quellterm- und Dosisberechnungen des KKL nachgerechnet und insgesamt gute Übereinstimmung festgestellt. Zusätzlich hat das ENSI aufgrund der möglichen Unterschätzung des elementaren Iods und unter Berücksichtigung einer direkten Absaugung am Beckenrand eine eigene Quelltermberechnung durchgeführt, bei der auch Partitionsvorgänge betrachtet wurden. Die Dosisberechnungen mit diesem Quellterm zeigen, dass der maximal zulässige Dosiswert eingehalten wird. Die Nachweispflicht liegt jedoch beim Betreiber.

Forderung 6.3-4

Die radiologische Analyse für den Störfall „Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude“ ist unter Berücksichtigung einer vollständigen Umwandlung des Cäsiumiodids im Beckenwasser und der betrieblichen Ablufführung am Brennelementlagerbecken bis zum 15. Dezember 2020 neu zu erstellen.

6.3.5.7 Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb Containment

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Die maximal zulässige Dosis beträgt 100 mSv.

Es wird ein Speisewasserleitungsbruch im Maschinenhaus zwischen dem Seismic Interface Restraint (SIR) und den Speisewasserhochdruckvorwärmern unterstellt. Aufgrund von Druck und Temperatur verdampft ein Teil des Speisewassers augenblicklich. Aufgrund des damit verbundenen Druckanstiegs ist die Gebäudeintegrität nicht sichergestellt. Einfachheitshalber wird angenommen, dass die gesamte im Speisewasser/Hauptkondensat enthaltene Aktivität unmittelbar und bodennah in die Umgebung freigesetzt wird. Zudem wird abdeckend mit der Aktivitätskonzentration des Frischdampfes gerechnet und das Iod zu 100 % als elementares Iod angenommen.

Die maximale resultierende Gesamtdosis beträgt 3,0 mSv für die Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder. Die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Störfallanalyse zeigen, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 100 mSv liegt.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung des Störfalls ohne Einzelfehler in die Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI vorbehaltlich der Anmerkungen aus Kap. 6.1.5 und 6.2.2.2 und der Forderung 6.1-7 a) als zutreffend.

Den aus Gründen der Einfachheit gewählte Modellierungsansatz, das gesamte Inventar als unmittelbar in die Umgebung freigesetzt zu betrachten, wertet das ENSI als konservativ. Der für die radiologische Analyse angesetzte Wert von 1070 t ausgetretenen Speisewassers wurde vom KKL nicht referenziert oder weiter begründet. Die ausgetretene Kühlmittelmenge ist nach Auffassung des ENSI nicht abdeckend bestimmt worden (vgl. Kap. 6.2.2.2). Die Konservativität der radiologischen Analyse ist gegenwärtig nicht als sichergestellt zu werten und die Analyse ist zu überarbeiten (vgl. hierzu auch Kap. 6.2.2.2 und Forderung 6.1-7 a)).

Die Dosisberechnungen des ENSI mit dem Quellterm des KKL ergaben ähnliche, leicht tiefere Werte. Aufgrund des kleinen Dosiswerts und eigener Abschätzungen des ENSI ist von einer Überschreitung des zulässigen Werts von 100 mSv nicht auszugehen. Die Nachweisführung obliegt jedoch dem Betreiber.

Forderung 6.3-5

Die radiologische Analyse zum Störfall „Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb Containment“ ist aufbauend auf der neuen technischen Analyse gemäss Forderung 6.1-7 a der vorliegenden Stellungnahme bis zum 15. Dezember 2022 zu überarbeiten.

6.3.5.8 Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Die maximal zulässige Dosis beträgt 1 mSv.

Es werden technische Ausfälle und Versagen von Systemabgrenzungen des Abgassystems unterstellt, die zu einer Freisetzung radioaktiver Stoffe führen können.

Die Edelgase aus dem ersten Aktivkohlefilter, der nahezu die gesamte Aktivität enthält, werden zu 100 % in die Raumluft freigesetzt, alle anderen Nuklide zu 1 %. Aufgrund des Bruchs im Abgasstrang werden die Abgase aus dem Kondensator und der Treibdampf des Dampfstrahlsaugers nicht mehr behandelt. Sie strömen beim Bruch in den Raum. Die Freisetzungen enden nach 30 min mit dem Abfahren der Anlage.

Die luftgetragene Aktivität für die Freisetzung in die Umgebung setzt sich aus drei Beiträgen (Aktivkohlefilter, Absaugung aus Hauptkondensator und Treibdampf) zusammen. Die freigesetzte Aktivität gelangt über einen Zeitraum von 2 h über die betriebliche Lüftung in die Umgebung.

Die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Störfallanalyse zeigen, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 1 mSv liegt. Die maximale Gesamtdosis beträgt für die kritische Bevölkerungsgruppe (Kleinkinder) $5,2 \cdot 10^{-2}$ mSv.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung in die Störfallkategorie 2 beurteilt das ENSI als zutreffend (vgl. Kap. 6.1.5). Die maximal zulässige Dosis beträgt somit 1 mSv.

Die Annahme von 30 min bis zur Beendigung der Abgabe im Gebäudeteil ist zulässig, da zu diesem Zeitpunkt der Reaktor abgeschaltet und der Hauptkondensator isoliert wird. Das ENSI hat die vom KKL vorgelegte radiologische Analyse nachgerechnet und anhand eigener Quellterm- und Dosisberechnungen die Ausbreitungsrechnungen überprüft. Wie schon in Kap. 6.3.3 erläutert, ist das Edelgasinventar aufgrund der etwas höher

anzunehmenden Edelgasproduktionsrate entsprechend höher anzusetzen. Weiter fiel auf, dass die Werte für Co-58, Co-60, F-18 und Fe-59 im Gesamtquellterm zwar falsch addiert wurden, dies aber nicht relevant für die Dosis in der Umgebung ist. Die Berücksichtigung nur des Inventars aus dem ersten Aktivkohlefilter führt nach den angegebenen Werten des Betreibers zu einer Unterschätzung der langlebigen Edelgasnuklide Kr-85, Xe-131m und Xe-133. Der Dosisbeitrag dieser Nuklide an der Gesamtdosis ist jedoch auch bei entsprechender Korrektur sehr klein. Das ENSI hat das Edelgasinventar im ersten Aktivkohlefilter aufgrund fehlender detaillierterer Angaben des KKL zu dessen Berechnung auch selbst abgeschätzt: Aufgrund der im Sicherheitsbericht angegebenen Aufenthaltsdauer für Krypton und Xenon schliesst das ENSI, dass etwa mittlere Adsorptionskoeffizienten verwendet wurden, nicht aber solche, wie sie z. B. in US NRC Regulatory Guide 1.98 verlangt sind. Letztere führen bei Anwendung zu längeren Aufenthaltsdauern und damit zu einem grösseren Inventar an langlebigeren Edelgasnukliden. Zudem fiel auf, dass die angegebene Edelgasproduktionsrate ins Primärkühlmittel für Xe-133m im Vergleich zum Herstellerbericht^{GE-1985} um den Faktor 10 zu klein bewertet scheint. Dennoch stimmt dessen Aktivitätsinventar für den ersten Aktivkohlefilter mit dem Wert für die Edelgasproduktionsrate aus dem Herstellerbericht überein. Weiter gibt es betreffend Verzögerungsleitung und deren Verzögerungseigenschaften unterschiedliche Angaben im Sicherheitsbericht. Die vom Betreiber ange-setzte zeitliche Beschränkung auf 2 h für die Abgabe in die Umwelt sowie die Referenzen zur Lüftungsrate sind nicht nachvollziehbar (vgl. Forderung 6.3-1 b)), jedoch wird nahezu die Gesamtheit der ins Gebäude freigesetzten Aktivität damit erfasst und für die Dosisberechnung berücksichtigt. Die Quellterm- und Dosisberechnungen des ENSI zeigen, dass der Dosiswert von 1 mSv deutlich eingehalten wird.

6.3.5.9 Versagen des Abgassystems (Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Die maximal zulässige Dosis beträgt 1 mSv.

Es wird ein Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung im Maschinenhaus als Folge eines systemtechnisch bedingten Bruchs unterstellt. Als Folge davon gelangen radioaktive Stoffe direkt ins Maschinenhaus, die normalerweise in der Abgasanlage behandelt werden. Die Freisetzungen über den Kamin in die Umgebung setzen sich aus den Beiträgen von nicht kondensierbaren Gasen (Kondensatorabgas) einerseits und andererseits aus dem Treibdampf des Dampfstrahlsaugers zusammen.

Ein Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung führt zu einer Serie verschiedener Alarme und Signale (Kondensatorvakuum, Abgasrate, Strahlung) und nach 15 min zum manuellen Abfahren der Anlage sowie zur Isolation der Frischdampfleitungen.

Für die Analyse wird angenommen, dass das Äquivalent an Edelgasen und Iod von 15 min Dampfdurchfluss bei Nennleistung in das Maschinenhaus freigesetzt wird und via Kamin ungefiltert in die Umgebung gelangt. Für Iod wird ein Carry-Over-Faktor von 1,5 % vom Kondensator unterstellt.

Die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Störfallanalyse zeigen, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 1 mSv liegt (kritische Bevölkerungsgruppe ist die der Kleinkinder mit $2,0 \cdot 10^{-2}$ mSv).

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung in die Störfallkategorie 2 (ohne Einzelfehler) beurteilt das ENSI als zutreffend (vgl. Kap. 6.1.5). Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 1 mSv.

Das ENSI hat die vom KKL vorgelegte Analyse anhand von eigenen Quellterm- und Dosisberechnungen überprüft und vergleichbare Werte erhalten. Die vom KKL angesetzten Annahmen und Randbedingungen beurteilt das ENSI als nachvollziehbar und ausreichend konservativ. Der verwendete Carry-Over-Faktor von 1,5 % für Iod aus dem Kondensator ist akzeptabel. Die Annahme einer Reaktionszeit der Operateure von 15 min zur Erkennung des Störfalls entspricht jedoch nicht den Vorgaben des Regelwerks (30-Minuten-Kriterium). Selbst

bei Annahme einer Reaktionszeit von 30 min würde der maximal zulässige Dosiswert für Störfälle der Kategorie 2 nicht überschritten werden.

6.3.5.10 Versagen des Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Die maximal zulässige Dosis beträgt 100 mSv.

Es wird das vollständige Auslaufen eines Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle unterstellt. Der Tankinhalt fliesst in den Raum und in den Gebäudesumpf. Konservativ wird das Aktivitätsinventar des Abwassers durch die Qualität des Reaktorwassers charakterisiert. Eine Abklingzeit von einem Tag wird unterstellt. Es wird konservativ angenommen, dass das anfangs vorhandene Iodid sich vollständig in elementares Iod umgewandelt hat. Das radioaktive elementare Iod in der Wasserlache wird entsprechend einem Partitionsfaktor in die Raumatmosfera freigesetzt. Aktivierungs- und Spaltprodukte verbleiben in der Wasserphase. Da kein Druckanstieg zu unterstellen ist, wird die kontaminierte Raumluft während 2 h mit der betrieblichen Lüftung via Kamin in die Umgebung freigesetzt. Massnahmen zur Begrenzung der Freisetzungen werden nicht berücksichtigt.

Die Dosisberechnungen ergeben für Einzelpersonen in der Umgebung eine maximale Dosis von 0,17 mSv. Der zulässige Dosiswert für Ereignisse der Störfallkategorie 3 wird eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI akzeptiert die Störfalleinteilung des KKL in die Störfallkategorie 3 (vgl. Kap. 6.1.5). Der maximal zulässige Dosiswert für die Störfallkategorie 3 beträgt 100 mSv. Die diesbezüglichen Angaben im Inputdatenbericht^{BET/05/182} sind fehlerhaft, da dort eine falsche Störfallkategorie genannt wird.

Da die Flüssigkeiten kalt sind, ist kein Verdampfungsanteil beim Austritt aus dem Abwasserbehälter zu unterstellen. Die Annahmen zur Berechnung des Aktivitätsinventars im Abwassersammelbehälter (Reaktorwasserkonzentration gemäss „Technischen Spezifikationen“ und 24 h Zerfallszeit) erscheinen plausibel, wurden aber nicht referenziert oder mit Messdaten unterstützt (vgl. Forderung 6.3-1 c)). Zudem wurde die veranschlagte Freisetzungsdauer von 2 h nicht begründet. Berechnungen des ENSI mit den Annahmen des KKL ergaben jedoch gute Übereinstimmung für das Aktivitätsinventar im Abwassersammelbehälter. Das ENSI hat unter Berücksichtigung eines reduzierten freien Luftraumvolumens aufgrund der austretenden Wassermengen und einer längeren Abgabedauer die radiologischen Folgen untersucht. Die Ergebnisse der vom ENSI und vom KKL durchgeführten radiologischen Analysen für das Versagen eines Behälters im Aufbereitungsgebäude zeigen, dass der zulässige Dosiswert der Störfallkategorie 3 deutlich eingehalten wird.

6.3.5.11 Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Die maximal zulässige Dosis beträgt 1 mSv.

Der Verdampfer im Aufbereitungsgebäude versagt und heisses Wasser fliesst in den Aufstellungsraum. Da die Temperatur des ausströmenden Wassers über dem Siedepunkt liegt, verdampft ein Teil des Wassers (1 %) spontan. Die kontaminierte Luft wird mit der betrieblichen Abluft über den Kamin in die Umgebung freigesetzt.

Konservativ wird unterstellt, dass die Konzentration der radioaktiven Nuklide im Tank um einen Faktor 20 höher liegt als die im Reaktorkühlmittel. Eine Abklingzeit von einem Tag wird unterstellt. Es wird eine Bildung von zusätzlich 5 % elementarem Iod aus Iodid berücksichtigt. In die Atmosphäre des Aufstellungsraums entweichen 100 % des organischen und elementaren Iods, sowie 1 % des als Iodid vorhandenen Iods. Zudem wird die vollständige Freisetzung aller luftgetragenen Radionuklide in die Umgebung unterstellt.

Die Dosisberechnungen für Einzelpersonen in der Umgebung ergeben eine maximale Dosis von $4,4 \cdot 10^{-2}$ mSv. Der maximal zulässige Dosiswert von 1 mSv wird deutlich eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung des Störfalls „Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle“ in die Störfallkategorie 2 wird vom ENSI als zutreffend bewertet (vgl. Kap. 6.1.5). Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 1 mSv.

Die Annahme eines spontan verdampfenden Anteils von 1 % des Wasserinventars ist als ausreichend konservativ zu beurteilen. Die Analyseannahmen vom KKL betreffend die Freisetzung von Iod entsprechen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A08, Kap. 4.3.9.3. Die Annahmen zur Berechnung des Aktivitätsinventars im Verdampfer erscheinen plausibel, wurden aber nicht referenziert oder mit Messdaten unterstützt (vgl. Forderung 6.3-1 d)). Die Überprüfung der Quelltermanalyse hat weiterhin ergeben, dass die Halogene Brom und Fluor nicht berücksichtigt wurden, obwohl auch diese als im Reaktorwasser vorhanden aufgeführt sind. Ihr Beitrag ist verglichen mit dem von Iod jedoch vernachlässigbar klein. Realistisch kann ebenfalls von einer Abschaltung der betrieblichen Lüftung nach einer halben Stunde durch eine Operateurmassnahme ausgegangen werden, dies wird in der Analyse konservativ nicht kreditiert.

Das ENSI hat zudem Quellterm- und Dosisberechnungen explorativ mit einem eigenen Quellterm und ohne Anerkennung einer Abklingzeit für die Radionuklide vorgenommen und festgestellt, dass auch damit die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 1 mSv liegt.

6.3.5.12 Erdbeben

Angaben des KKL

Das ENSI hat im Mai 2016 die neuen standortspezifischen Erdbebengefährdungsannahmen festgelegt, auf deren Basis die deterministischen Erdbebennachweise neu zu führen sein werden. Im Hinblick auf diese deterministischen Nachweise der Erdbebensicherheit hat das ENSI als notwendig erachtet, eine einheitliche Vorgehensweise für die Nachweisführung und Vorgaben an die Methodik festzulegen. Die Nachweisführung wird demnächst erfolgen, Einreichungstermine sind Dezember 2018, Juni 2019 und September 2020.

In den PSÜ-Unterlagen wird daher auf die bereits eingereichten Dokumente verwiesen.

Beurteilung des ENSI

Die im Rahmen der Verfügungen nach Fukushima eingereichten radiologischen Analysen des KKL hat das ENSI bereits beurteilt^{ENSI 12/1714} und festgestellt, dass bei den Erdbebengefährdungsannahmen PRP Intermediate Hazard (vgl. Kap. 2.1.4) der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv eingehalten wird.

6.3.5.13 Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 1 mSv.

Es wird ein Bruch einer kühlmittelführenden Leitung mit kleinem Durchmesser im Drywell unterstellt. Nach 30 min erfolgt die Isolation der Containmentlüftung und der Reaktor wird druckentlastet. Es wird weiterhin konservativ auf die Kreditierung der DAK als Rückhaltemedium verzichtet und die Folgedosis für den „Kühlmittelverluststörfall (kleines Leck)“ basierend auf der Folgedosis des Störfalls „Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment“ durch Skalierung über die Querschnittsflächen der jeweiligen Rohrleitungen ermittelt. Mit dieser Skalierung der Dosis ergibt sich eine Folgedosis von $9 \cdot 10^{-2}$ mSv für die Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder, der zulässige Dosisgrenzwert von 1 mSv wird eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Für die Beurteilung der radiologischen Konsequenzen geht das ENSI vorbehaltlich der Anmerkungen aus Kap. 6.1.5 und der Forderung 6.1-7 a) von der Störfallkategorie 2 und damit von einem maximal zulässigen Dosiswert von 1 mSv aus.

Das KKL zieht für seine Modellierung den Störfall „Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment“ heran und skaliert dessen resultierende Dosis anhand der Querschnittsflächen der betrachteten Rohrleitungen auf den vorliegenden Störfall. Dieses Vorgehen ist für das ENSI akzeptabel. Eine Nichtberücksichtigung der Rückhaltefunktion der Wasservorlage in der DAK wertet das ENSI als konservativ. Des Weiteren gelten die Anmerkungen des ENSI zum Störfall „Bruch einer Mess- oder Impulsleitung innerhalb Containment“ (vgl. Kap. 6.3.5.4).

Das ENSI konnte sich davon überzeugen, dass der maximal zulässige Dosiswert von 1 mSv eingehalten wird.

6.3.5.14 Kühlmittelverluststörfall (mittleres Leck)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Die maximal zulässige Dosis beträgt 100 mSv.

Es wird ein Bruch einer kühlmittelführenden Leitung mit mittlerem Durchmesser im Drywell unterstellt. Es kann für den Störfall „Kühlmittelverluststörfall (mittleres Leck)“ ein analoger Quellterm wie für den Störfall „Kühlmittelverluststörfall (Auslegungsstörfall, grosses Leck)“ angenommen werden. Aufgrund der Leitungsdurchmesser ist die Leckagerate für den mittleren Kühlmittelverluststörfall um einen entsprechenden Faktor aus dem Verhältnis der jeweiligen Querschnittsflächen kleiner als für den grossen Kühlmittelverluststörfall. Für die aktuelle Betrachtung sind die radiologischen Folgen in guter Näherung proportional zur Leckrate.

Mit der Ermittlung einer Folgedosis von 0,9 mSv wurde gezeigt, dass der zulässige Dosisgrenzwert von 100 mSv eingehalten wird.

Beurteilung des ENSI

Für die Beurteilung der radiologischen Konsequenzen geht das ENSI vorbehaltlich der Anmerkungen aus Kap. 6.1.5 und der Forderung 6.1-7 a) von der Störfallkategorie 3 und damit von einem maximal zulässigen Dosiswert von 100 mSv aus.

Das KKL zieht für seine Modellierung den Störfall „Kühlmittelverluststörfall (Auslegungsstörfall, grosses Leck)“ heran und skaliert dessen resultierende Dosis anhand der Querschnittsflächen der betrachteten Rohrleitungen auf den vorliegenden Störfall. Dieses Vorgehen ist vorbehaltlich der Erkenntnisse aus der Erfüllung der Forderung 6.1-7 a) für das ENSI akzeptabel. Des Weiteren gelten die Anmerkungen des ENSI zum Störfall „Kühlmittelverluststörfall (Auslegungsstörfall, grosses Leck)“ (vgl. Kap. 6.3.5.5).

Das ENSI konnte sich davon überzeugen, dass der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv eingehalten wird.

6.3.5.15 Versagen des Abgassystems (Brand im Aktivkohlefilter des Abgassystems)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Die maximal zulässige Dosis beträgt 1 mSv.

Es wird unterstellt, dass die Komponente des Abgassystems mit dem grössten Aktivitätsinventar brennt, das ist der erste Aktivkohlefilterbehälter. Aufgrund des Brandes wird ein Teil der Aktivität im Filterbehälter via Abgasleitung in die Umgebung freigesetzt. Ein Komponentenversagen der Filter oder des Gebäudes muss nicht angenommen werden. Alle Lüftungssysteme bleiben in Betrieb, sodass die radioaktiven Nuklide ungefiltert über den Kamin freigesetzt werden.

Es wird angenommen, dass das gesamte Inventar an Edelgasen des Aktivkohlefilters direkt in die Umgebung gelangt. Für die restlichen Nuklide wird ein Freisetzunganteil von 50 % angenommen. Der Reaktor wird 30 min nach Störfallbeginn abgefahren und isoliert, der brennende Filterbehälter wird aufgrund der Temperaturalarmierung identifiziert und isoliert. Konservativ wird keine weitere Rückhaltung durch Filter oder durch Ablagerungen angenommen. Langfristig wird das Containment mithilfe des SGTS-Systems gespült (vgl. „Fehlerhaftes Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile“).

Die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Störfallanalyse zeigen, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 1 mSv liegt. Für die am meisten betroffene Bevölkerungsgruppe (Erwachsene) beträgt sie 0,27 mSv.

Beurteilung des ENSI

Die Einteilung des Störfalls „Versagen des Abgassystems (Brand im Aktivkohlefilter des Abgassystems)“ ohne Einzelfehler in die Störfallkategorie 2 beurteilt das ENSI als zutreffend (vgl. Kap. 6.1.5).

Die vom Betreiber gewählte Modellierung der Freisetzungen radioaktiver Stoffe bei einem Aktivkohlefilterbrand des Abgassystems mit einer 100 %-igen Freisetzung der darin enthaltenen Edelgase und einer 50 %-igen Freisetzung der Aerosole ohne Rückhaltung wird als akzeptabel bewertet. Das ENSI setzt jedoch im Gegensatz zum KKL für Halogene ebenfalls eine 100 %-ige Freisetzung an, weil Halogene bei Brand eine hohe Flüchtigkeit aufweisen^{GRS}. Jedoch sind die Halogene in diesem Fall nicht dosisbestimmend, sondern die Aerosole. Zudem rechnet das ENSI mit einer etwas höheren Gesamtrate für die Edelgasfreisetzung ins Kühlmittel (vgl. Kap. 6.3.3). Ansonsten gelten die Bemerkungen zum Inventar des ersten Aktivkohlefilters (vgl. Kap. 6.3.5.8).

Das ENSI hat die Quelltermberechnung unter den Annahmen des KKL nachgerechnet und vergleichbare Ergebnisse erhalten. Die eigenen Rechenergebnisse des ENSI weisen aufgrund der genannten Korrekturen bei den Edelgasen und den Halogenen insgesamt leicht höhere Werte auf als jene des KKL. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Analysen aber, dass der zulässige Dosiswert für die Störfallkategorie 2 eingehalten wird.

6.3.5.16 Versagen des Abgassystems (fehlerhafte Operateurhandlung)

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Die maximal zulässige Dosis beträgt 100 mSv.

Der Standard Review Plan NUREG-0800 der NRC^{NUREG-0800} postuliert einen Unfall im Abgassystem als Konsequenz eines Operateurfehlers. Der Unfall führt zu einem Bypass beim Aktivkohlefilter im Abgassystem und damit zu einer direkten Freisetzung von Abgasen in die Umgebung. Es wird davon ausgegangen, dass es spätestens 2 h nach Freisetzungsbeginn zu einer Isolation des Abgabepfades oder zum Abschalten des Reaktors kommt.

Der Störfall als Folge des Operateurfehlers ist ähnlich zum Störfall „Versagen des Abgassystems (Bruch der Dampfstrahlsaugerleitung)“. Die resultierende Dosis wird deshalb mittels Skalierung aus der Dosis dieses Störfalls ermittelt. Für die Skalierung wird ein Faktor für die jeweils unterstellte Zeit der Freisetzung sowie ein Spiking-Faktor für alle Nuklide verwendet. Damit ergibt sich eine abdeckende Folgedosis von 4,8 mSv. Der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv wird eingehalten.

Beurteilung des ENSI

Gemäss Kap. 6.1.5 kann die für diesen Störfall ausgewiesene Eintrittshäufigkeit nur bedingt nachvollzogen werden, weshalb (vgl. Forderung 6.1-7 b)) eine Neubestimmung der Eintrittshäufigkeit erforderlich ist.

Das Vorgehen des KKL zur Ableitung der radiologischen Konsequenzen ist für das ENSI nicht nachvollziehbar. Auch wenn insbesondere die Skalierung sehr konservativ erscheint, liegen weder eine Analyse der technischen Abläufe noch ein darauf aufbauendes Schadensbild vor. Das ENSI ist deshalb der Ansicht, dass bei der Vorgehensweise des KKL der Anlagenbezug nicht ausreichend gegeben ist, und dass die radiologische Analyse unter Berücksichtigung des Anlagenverhaltens neu zu erstellen ist.

Forderung 6.3-6

Die radiologische Analyse für den Störfall „Versagen des Abgassystems (fehlerhafte Operateurhandlung)“ ist unter Berücksichtigung des Anlagenverhaltens bis zum 15. Dezember 2022 neu zu erstellen.

6.3.5.17 Brennelement-Handhabungsstörfall im Transferrohr

Angaben des KKL

Folgende Brennelementhandhabungsstörfälle sind im Transferrohr (Inclined Fuel Transfer System, IFTS) denkbar: ein Brennelementabsturz im Transferrohr, ein Kühlmittelverlust im Transferrohr während eines Brennelementtransports und eine Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports. Für den Störfall „Brennelementabsturz im Transferrohr“ ergibt sich die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit zu Störfallkategorie 3. Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 100 mSv. Der Störfall „Kühlmittelverlust im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ ist auslegungsüberschreitend. Es existiert daher kein maximal zulässiger Dosiswert. Für den Störfall „Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ ergibt sich die Einstufung in eine Störfallkategorie mit Einzelfehler zu Störfallkategorie 3 und ohne Einzelfehler zu Störfallkategorie 2. Somit ist der Nachweis der Einhaltung des anzuwendenden Dosisgrenzwerts von 1 mSv mittels radiologischer Störfallanalyse zu führen.

Beim Störfall „Brennelementabsturz im Transferrohr“ wird ein Auseinanderbrechen der Trommel oder ein gleichzeitiges Versagen beider Tragseile des Transportwagens unterstellt. In der Folge kommt es zu einem unkontrollierten Heruntergleiten des Transportwagens im Transferrohr und zum Aufprall auf dem unteren Abschlusschieber. Beim Absturz aus der unteren Position kommt es nicht zum Integritätsverlust der Hüllrohre. Der Quellterm ist dann Null. Beim Absturz aus der oberen Position wird abdeckend unterstellt, dass analog zum „Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude“ 200 Hüllrohre ihre Integrität verlieren. Die Beschädigung an den Brennelementen beim Schlittenabsturz im Transferrohr ist jedoch aus physikalischen Gründen kleiner als beim „Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude“ (Heruntergleiten auf einer geneigten Ebene Vs. freier Fall, beide im Wasser). Aufgrund des grösseren Luftraumvolumens von Primär- und Sekundärcontainment im Vergleich zum FHB erfolgt eine grössere Verdünnung. Die Quelltermberechnung für den Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude deckt daher dieses Ereignis mit ab.

Beim Störfall „Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ ergibt sich ein ausreichend grosses Zeitfenster für Interventionsmassnahmen. Störfallbedingte Freisetzungen müssen keine unterstellt werden.

Beurteilung des ENSI

Die Einstufung des Störfalls „Brennelementabsturz im Transferrohr“ in die Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) als zutreffend, der maximal zulässige Dosiswert beträgt 100 mSv. Die Einstufung des Störfalls „Kühlmittelverlust im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ als auslegungsüberschreitenden Störfall beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.4 und 6.1.5) als korrekt, es existiert damit kein maximal zulässiger Dosiswert. Die Einstufung des Störfalls „Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ ohne Einzelfehler in die Störfallkategorie 2 bzw. mit Einzelfehler in Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) ebenfalls als zutreffend, die maximal zulässigen Dosiswerte betragen 1 mSv bzw. 100 mSv.

Das ENSI stützt die Ansicht des KKL, dass es beim Absturz des Transportwagens aus der unteren Position nicht zum Integritätsverlust von Hüllrohren und damit nicht zu Freisetzungen kommt (vgl. Kap. 6.2.2.5). Das für den Absturz des Transportwagens aus der oberen Position unterstellte Schadensbild mit 200 defekten Hüllrohren wertet das ENSI als abdeckend (vgl. Kap. 6.3.5.6). Das KKL macht keine Angaben zum Ablauf und zur Dauer des Isolationsvorgangs des Sekundärcontainments. Gemäss „Technischer Spezifikation“ betragen die maximal zulässigen Schliesszeiten der Isolationsklappen des Sekundärcontainments – wie beim FHB – 15 s. Da auch die Auslösung der automatischen Isolation des Sekundärcontainments analog ist zu jener im FHB, kann die beim Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude unterstellte Zeitspanne für die Isolation auch hier als umhüllend erachtet werden. Das im Vergleich zum FHB grössere Luft-raumvolumen führt aufgrund der vergleichbaren Luftwechselraten von FHB und Primär- und Sekundärcontainment effektiv zu einer niedrigeren Freisetzungsrate. Insgesamt beurteilt das ENSI die Aussage des KKL, wonach die Quelltermberechnung des Störfalls „Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude“ abdeckend ist für das vorliegende Ereignis, als grundsätzlich plausibel. Die Quellterm- und Dosisberechnungen des ENSI für diesen Störfall zeigen, dass der maximal zulässige Dosiswert eingehalten wird (vgl. Kap. 6.3.5.6).

Bezüglich dem Störfall „Blockierung des Transportschlittens im Transferrohr während eines Brennelementtransports“ ist das ENSI mit der Aussage des KKL einverstanden (vgl. Kap. 6.2.2.5), dass ein Integritätsverlust der Hüllrohre mit Freisetzungen nicht anzunehmen ist.

6.3.5.18 Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 2. Die maximal zulässige Dosis beträgt 1 mSv.

Ein Leck oder Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem (Reactor Water Cleanup System, RWCU) kann im Drywell, im Containment oder im Reaktorhilfsanlagengebäude auftreten. Diese Gebäudebereiche unterscheiden sich grundsätzlich bezüglich Lüftung und Gebäudeisolation. Es zeigt sich jedoch, dass eine standortunabhängige Betrachtung möglich und sinnvoll ist.

Unterstellt wird eine grosse Leckage bzw. ein Bruch im RWCU, bei welchem 30 t Reaktorwasser austreten. Der unkontrollierte Wasserverlust führt mit einer Verzögerung von 45 s zu einer Systemisolation. Gemäss „Technischer Spezifikation“ beträgt die Schliesszeit der Isolationsventile 18 s. Konservativ wird unterstellt, dass 90 s bis zur Isolierung des Systems vergehen.

Für die Berechnung kann der Quellterm aus der Analyse des Störfalls „Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment“ herangezogen werden, wobei dieser den Randbedingungen angepasst und skaliert wird. Der resultierende Skalierungsfaktor beträgt 0,68 (30 t/44,5 t). Mit diesem Skalierungsfaktor und der Folgedosis von 0,18 mSv aus dem Störfall „Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment“ ergibt sich eine abdeckende Folgedosis von 0,12 mSv, der zulässige Dosisgrenzwert wird eingehalten.

Die vorliegende Analyse deckt auch die radiologischen Auswirkungen von Brüchen von kleinen RWCU-Leitungen bzw. kleinen Leckagen ab.

Beurteilung des ENSI

Die Einstufung in Störfallkategorie 2 beurteilt das ENSI (vgl. Kap. 6.1.5) als zutreffend, auch für kleine Brüche. Der maximal zulässige Dosiswert beträgt 1 mSv.

Das ENSI wertet die Verwendung der Analyseergebnisse des Störfalls „Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment“ (vgl. Kap. 6.3.5.3) für die Bestimmung der radiologischen Konsequenzen auf Basis der jeweils austretenden Reaktorwassermengen als akzeptabel. Durch das gewählte Vorgehen berechnet das KKL für alle im austretenden Reaktorwasser enthaltenen Nuklide, ausser für Cäsiumiodid (vgl. Kap. 6.3.5.3), eine vollständige und direkte Freisetzung in die Umgebung. Diese Modellierung führt unabhängig vom Ort des

tatsächlichen Bruchs bzw. der tatsächlichen Leckage zu abdeckenden Dosiswerten. Die unterstellte Zeitspanne bis zur Systemisolation ist nach Auffassung des ENSI umhüllend.

Bei der Berechnung des Skalierungsfaktors vernachlässigt das KKL den Beitrag zur Folgedosis beim Störfall „Bruch einer Frischdampfleitung ausserhalb Containment“, welcher aufgrund der freiwerdenden Aktivität aus dem Frischdampf resultiert. Da beim Störfall „Bruch im Reaktorwasser-Reinigungssystem an beliebiger Stelle“ nur Reaktorwasser und kein Frischdampf austritt, führt das Vorgehen mittels Skalierung über die Mengen an austretendem Reaktorwasser zu konservativen Ergebnissen. Der maximal zulässige Dosiswert von 1 mSv wird eingehalten.

Das ENSI ist mit der Aussage des KKL einverstanden, wonach mit der vorliegenden Analyse auch kleinere Leckagen im RWCU-System abgedeckt sind.

6.3.5.19 Blitzschlag

Angaben des KKL

Infolge eines Blitzschlags kommt es zum Schliessen der MSIV und nachfolgend zum Abblasen von Frischdampf in die DAK. Edelgase und organisches Iod werden nicht im DAK-Wasser zurückgehalten. Für elementares Iod wird ein Verteilungsgleichgewicht (Wasser/Gasphase) modelliert. Das SGTS steht für die ersten 24 h nicht zur Verfügung. Die bodennahe Freisetzung erfolgt über eine Containmentleckage mit einer Leckrate, die der Hälfte der Leckrate des Primärcontainments unter Kühlmittelverlust-Bedingungen entspricht. Nach 24 h erfolgt das Spülen des Containments mittels SGTS für 72 h.

Im Sinne einer abdeckenden Betrachtung wird als Akzeptanzgrenzwert der quellenbezogene Dosisrichtwert angesetzt.

Die Dosisberechnungen des KKL ergeben für Einzelpersonen in der Umgebung eine maximale Dosis von $3 \cdot 10^{-3} \text{ mSv}_{\text{BET}12/96}$. Die Ergebnisse der durchgeführten radiologischen Störfallanalyse zeigen, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert liegt.

Beurteilung des ENSI

Das KKL hat auf eine Kategorisierung des Störfalls verzichtet und als radiologisches Kriterium den quellenbezogenen Dosisrichtwert angesetzt. Aus radiologischer Perspektive kommt damit das strengste Kriterium für die Bewertung der Auswirkungen des Störfalls in der Umgebung zur Anwendung.

Die vom KKL angenommene Grösse der Leckrate und ihre Berücksichtigung über die gesamte Dauer von 24 h stellen nach Auffassung des ENSI ausreichend konservativ Ansätze dar. Die nach 24 h einsetzende Phase der Containment-Spülung via SGTS setzt allerdings voraus, dass dieses System innerhalb dieser Frist tatsächlich wieder in Betrieb genommen werden kann. In der radiologischen Analyse werden dazu keine konkreteren Angaben oder Referenzen angeboten.

Das ENSI hat den vom KKL angegebenen Quellterm unter Verwendung eines eigenen Modells überprüft und damit Ausbreitungs- und Dosisberechnungen angestellt, auch hier gelten die Befunde aus Kap. 6.3.5.1. Der Dosiswert für Störfälle der Störfallkategorie 1 wird eingehalten.

6.3.5.20 Überspeisung des Reaktordruckbehälters

Angaben des KKL

Die Einstufung in eine Störfallkategorie ohne die Berücksichtigung der Einzelfehlerwahrscheinlichkeit ergibt sich zu Störfallkategorie 3. Die maximal zulässige Dosis beträgt 100 mSv.

Als auslösendes Ereignis wird postuliert, dass es zu einer Überspeisung aufgrund eines Blitzschlags in die 380-kV-Leitung mit daraus resultierender Störung im Speisewassersystem kommen kann. Demnach kommt es zu einer Überspeisung des Reaktors und zum Fluten der Frischdampfleitungen. Da sich die Speisewasser-

pumpen störungsbedingt nicht abschalten lassen, kommt es zur vollständigen Entleerung des Speisewasserbehälters und zum Kavитieren der Speisewasserpumpen. Konservativ wird angenommen, dass durch Wasserschlag alle vier Frischdampfleitungen im Maschinenhaus brechen und es zum Austritt von Frischdampf und Reaktorkühlmittel kommt; letzteres verdampft augenblicklich zu 30 %. Die gesamte im Frischdampf und im verdampften Reaktorwasser enthaltene Aktivität wird unmittelbar, bodennah und ungefiltert in die Umgebung freigesetzt.

Da im Sinne einer abdeckenden Betrachtung ein Schliessen der MSIV innerhalb der ersten 30 min nicht angenommen wird, fällt der Reaktordruck, sodass Spiking berücksichtigt werden muss. Der weitere Störfallverlauf entspricht dem fehlerhaften Schliessen aller Frischdampf-Isolationsventile. Die freigesetzten Aktivitäten der flüchtigen Iodspezies (organisches und elementares Iod) werden besonders konservativ modelliert: Organisches und elementares Iod werden in die Umgebung freigesetzt, das verbleibende Reaktorwasser („Pfütze“) ist frei von organischem und elementarem Iod.

Die Dosisberechnungen ergeben für die am stärksten belastete Bevölkerungsgruppe der Kleinkinder eine Dosis von 56 mSv, der Dosisgrenzwert wird eingehalten. Das Vorgehen und die Randbedingungen sind sehr konservativ.

Beurteilung des ENSI

Gemäss Kap. 6.2.2.6 ist eine Überprüfung der für diesen Störfall ausgewiesenen Eintrittshäufigkeit (vgl. Forderung 6.2-2 a)) erforderlich. Die Einstufung des Störfalls in die Störfallkategorie 3 beurteilt das ENSI daher nur vorbehaltlich der Anmerkungen aus Kap. 6.2.2.6 und der Forderung 6.2-2 a) als zutreffend.

Die Anteile für die verschiedenen chemischen Formen des Iods entsprechen den Vorgaben aus der Richtlinie ENSI-A08. Das KKL unterstellt in korrekter Weise eine vollständige Freisetzung der im austretenden Frischdampf enthaltenen Aktivität. Eine vollständige Freisetzung des mit dem Reaktorwasser austretenden elementaren und organischen Iods erachtet das ENSI als konservative Modellierung. Eine Freisetzung des Cäsiumiodid entsprechend dem instantan verdampfenden Anteil an Reaktorwasser (Flashing-Anteil 30 %) entspricht den Anforderungen der Richtlinie ENSI-A08.

Das ENSI hat die Analyse des KKL mittels eigener Quellterm- und Dosisberechnungen überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass das KKL für Cäsium – entgegen eigener Angaben – kein Spiking berücksichtigt hat. Weil die resultierende Gesamtdosis jedoch zum grössten Teil durch Iod verursacht wird, fällt dieser Aspekt nicht ins Gewicht. Insgesamt stimmen die Ergebnisse des ENSI gut mit den Werten des KKL überein.

Das ENSI konnte sich davon überzeugen, dass der maximal zulässige Dosiswert von 100 mSv eingehalten wird.

6.3.6 Radiologische Auswirkungen für das Betriebspersonal in der Anlage

Die radiologischen Auswirkungen der in den vorhergehenden Kapiteln untersuchten Störfälle sind für das Betriebspersonal von untergeordneter Bedeutung, da es sich in der Regel nicht im unmittelbaren Einflussbereich einer störfallbedingten Freisetzung befindet. Eine Ausnahme bildet der Absturz eines Brennelements, dessen Auswirkungen für das betroffene Personal am folgenschwersten sind. Darüber hinaus kommt der Bewertung der radiologischen Auswirkung von Störfällen innerhalb der Anlage dann eine wesentliche Bedeutung zu, wenn das Personal Vor-Ort-Massnahmen zur Störfallbeherrschung ergreifen muss. Dies setzt allerdings voraus, dass die auslegungsgemäss vorgesehenen automatischen Schutzmassnahmen versagt haben. In diesem Fall handelt es sich um sehr seltene, auslegungsüberschreitende Störfallszenarien.

Angaben des Betreibers

Es wird der Absturz eines bestrahlten Brennelements auf ein zweites bestrahltes Brennelement angenommen, dabei kommt es zur Beschädigung von 200 Brennstäben. Die freigesetzten Spaltprodukte gelangen über das Beckenwasser entsprechend ihren physikochemischen Eigenschaften in die Raumatmosfera (Edelgase, Iod) bzw. werden im Wasser zurückgehalten (Aerosole). Der Alarm der Raumstrahlungsüberwachung erfolgt

ca. 3 s nach Austritt der Aktivität aus dem Beckenwasser. Der Zeitbedarf vom Ertönen des Räumungsalarms bis zur erfolgten Räumung wurde aufgrund der kurzen Wege mit 2 min angesetzt.

Die aus den defekten Brennstäben austretenden Edelgase werden ohne Rückhaltung in die Raumluft freigesetzt. Das austretende Iod besteht zu 95 % aus Cäsiumiodid, zu 4,85 % aus elementarem Iod und zu 0,15 % aus organischem Iod. Das organische Iod wird ohne Rückhaltung in die Raumluft freigesetzt. Für das elementare Iod wird ein Dekontaminationsfaktor von 285 angesetzt. Aufgrund eines pH-Werts im Beckenwasser von < 7 wird unterstellt, dass weitere 5 % des austretenden Iodinventars (Cäsiumiodid) in Form von elementarem Iod vorliegen und ebenfalls entsprechend einem Dekontaminationsfaktor von 285 aus dem Beckenwasser entweichen. Um eine möglicherweise nicht ideale Durchmischung der austretenden Aktivität in der Raumluft ausreichend zu berücksichtigen, wird ein Mischungsverhältnis der Aktivität in der Raumluft von 50 % unterstellt. Für die Analyse wird zudem unterstellt, dass 50 % der austretenden Nuklide direkt beckenah abgesaugt werden.

Die Analyse mit dem Dekontaminationsmodell ergibt eine konservative Dosis von 135 mSv für einen Brennelement-Handhabungsstörfall mit 200 defekten Brennstäben. Für den Fall von zehn beschädigten Hüllrohren beträgt die Folgedosis 7 mSv.

Die Ergebnisse zeigen, dass die getroffenen dosisreduzierenden Massnahmen zum Schutz des Personals gerechtfertigt sind. Es kommen administrative Massnahmen zur Anwendung, die eine Ausserbetriebnahme der Abluftkanäle entlang der Becken zu einem unangemessenen Zeitpunkt und auch Parallelarbeiten im Gebäude während der Handhabung von Brennstoff, der noch Iodisotope enthält, ausschliessen.

Beurteilung des ENSI

Als Dosiskriterium für die Beurteilung unmittelbarer störfallbedingter radiologischer Folgen für das Betriebspersonal orientiert sich das ENSI in seinen Erwägungen am Dosiswert von 50 mSv aus Art. 125 Abs. 5 StSV.

Die vom KKL unterstellte Expositionssituation samt der unterstellten Fluchtzeit für den Operateur erachtet das ENSI aufgrund der kurzen Wegstrecken als konservativ. Allerdings entsprechen die Annahmen des gewählten Szenarios (Absturz mit Beschädigung von zwei Brennelementen) nach Auffassung des ENSI nicht dem Stand der Technik. Das ENSI erachtet es als erforderlich, dass das KKL die Analyse aktualisiert und dabei die Bestimmungen der Richtlinie ENSI-A01 zu konservativen Berechnungsprogrammen resp. Anlagenmodellen und konservativen Randbedingungen berücksichtigt. Darüber hinaus stellt nach Auffassung des ENSI die unter den getroffenen Randbedingungen errechnete, potentielle Exposition für das Betriebspersonal, das sich beim Störfall vor Ort befindet, eine Belastung dar, die im Vergleich zum Dosiskriterium in Art. 125 Abs. 5 StSV als nicht optimiert zu betrachten ist. Eine Betrachtung zu weiteren Schutzmassnahmen für das vor Ort befindliche Personal bei der Handhabung von bestrahlten Brennelementen ist erforderlich. Diese beiden Punkte verfolgt das ENSI bereits im Aufsichtsverfahren ausserhalb der PSÜ.

6.4 Störfallanalysen der Lager und betrieblichen Lagerbecken

Am Standort Leibstadt existieren ein Zwischenlager für die sonstigen radioaktiven Abfälle aus dem Betrieb, ein Aufbereitungsgebäude, ein separates betriebliches Brennelementlagergebäude und ein Brennelementlagerbecken im Containment für den Brennelementwechsel, welches während des Betriebs keine Brennelemente enthält.

6.4.1 Störfallspektrum der Lager und betrieblichen Lagerbecken

Angaben des KKL

Hinsichtlich des Ereignisspektrums für das Zwischenlager wird einzig der Flugzeugabsturz auf dieses gemäss Richtlinie ENSI-G04 betrachtet. Das Brennelementlagergebäude wurde bereits gegen einen Flugzeugabsturz ausgelegt, sodass für dieses nur Handhabungsstörfälle bei der Brennelement-Handhabung, der Ausfall der

Brennelementbeckenkühlung und Leckagen von an das Brennelementlagerbecken anschliessenden Leitungen untersucht werden.

Beurteilung des ENSI

Grundsätzlich hat das ENSI bereits in seiner Grobprüfung^{ENSI 12/2380} zu den eingereichten PSÜ-Unterlagen festgestellt, dass das untersuchte Ereignisspektrum für die auf dem Anlagenareal vorhandenen Lager und das Aufbereitungsgebäude nicht mehr vollumfänglich den Anforderungen des aktuellen Regelwerks an das zu untersuchende Störfallspektrum entspricht und um weitere Betrachtungen wie z. B. Abstürze bei der Handhabung im Zwischenlager oder interne Brände zu ergänzen ist. Das KKL hat bereits entsprechende Detailuntersuchungen begonnen^{KKL-2017-10-30}.

Forderung 6.4-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2021 die in der Gefährdungsannahmen-Verordnung und der Richtlinie ENSI-A01 genannten auslösenden Ereignisse für die auf dem Anlagenareal vorhandenen Lager und das Aufbereitungsgebäude, soweit die Ereignisse auf diese übertragbar sind, zu untersuchen. Für die auslösenden Ereignisse sind die Eintrittshäufigkeiten zu bestimmen und die Einhaltung der entsprechenden Nachweisziele aufzuzeigen.

6.4.2 Ausfall der Brennelementlagerbeckenkühlung und Leckagen von an das Brennelementlagerbecken anschliessenden Leitungen

Angaben des KKL

Die anfallende Nachzerfallwärme wird aus dem Brennelementlagerbecken mit dem Brennelementbecken-Kühl- und -Reinigungssystem und aus dem Brennelementlagerbecken im Containment mit dem Containment-Brennelementbecken-Kühlsystem abgeführt. Zur Erfüllung der Anforderungen für ausgewählte auslegungsüberschreitende Ereignisse der Richtlinie ENSI-A01 wird der Ausfall der Beckenkühlsysteme unterstellt. Kommt es zu einem Ausfall eines der Beckenkühlsysteme nach einem auslösenden Ereignis (bspw. Erdbeben), kann die Nachwärme mit dem notstromversorgten RHR-System sicher abgeführt werden.

Steht auch das RHR nicht zur Verfügung (z. B. aufgrund eines Total Station Blackout), wird es zu einer Aufheizung im Lagerbecken und anschliessender Verdampfung kommen und der Füllstand im Lagerbecken langsam abnehmen. Für Accident-Management-Massnahmen zur Wiederherstellung des Beckenfüllstands stehen mehr als sieben Tage Zeit zur Verfügung, bis der Füllstand auf die Oberkante der Brennelemente abgesunken ist. Zur Wiederherstellung des Beckenfüllstands stehen ausreichende Mengen Kühlmittel bereit.

Bei einem Kühlmittelverlust aus dem Lagerbecken durch den Bruch einer Anschlussleitung kann der Füllstand maximal um 1 m absinken. Damit bleibt eine ausreichende Wasserüberdeckung der Brennelemente gewährleistet. Die Brennelement-Kühlung ist jederzeit sichergestellt.

Beurteilung des ENSI

Die Störfallanalysen für die betrieblichen Lagerbecken wurden im Rahmen der Verfügung nach Fukushima aktualisiert. Das ENSI kam aufgrund seiner Überprüfung der Auslegung gegen ein 10'000-jährliches Erdbeben- oder Überflutungsereignis zum Schluss, dass die vorhandenen Brennelementlagerbecken und Brennelementlagergebäude ausreichend gegen diese Einwirkungen geschützt sind. In diesem Rahmen wurden auch die zur Verfügung stehenden Zeitfenster im Falle eines TSBO überprüft. Hier kam das ENSI ebenfalls zum Schluss, dass die benötigten Massnahmen vorbereitet sind und ausreichend Zeit für deren Durchführung zur Verfügung steht. Ferner kann eine kritische Füllstandabsenkung im Brennelementlagerbecken aufgrund von Saug-Hebewirkungen durch mögliche Brüche von anschliessenden Leitungen ausgeschlossen werden. Die Kühlung der dort gelagerten Brennelemente ist somit sichergestellt. Es besteht jedoch noch Untersuchungsbedarf bezüglich der Kritikalitätssicherheit für die Sicherheitsebene 4a (vgl. Kap. 3.3.2.6, Forderung 3.3-1).

6.4.3 Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager

Angaben des KKL

Die Auslegungsanforderungen an das KKL-Zwischenlager für radioaktive Abfälle sind in der Richtlinie ENSI-G04 dargelegt. Es ist nachzuweisen, dass als radiologische Konsequenz eines Flugzeugabsturzes auf das Zwischenlager mit anschliessendem Folgebrand eine effektive Individualdosis von 100 mSv für nichtberuflich strahlenexponierte Personen nicht überschritten wird.

Es wird unterstellt, dass ein vollgetanktes Militärflugzeug auf das Zwischenlager stürzt. Es kommt zu einem Durchstanzen des Dachs und zu einem Treibstoffbrand. Aufgrund der mechanischen und thermischen Belastung der Abfallbinde kommt es zu einer teilweisen Freisetzung der darin gelagerten radioaktiven Stoffe.

Für die Berechnung des Quellterms wird in der Analyse ein gegenüber der ISRAM-Datenbank reduzierter Nuklidvektor verwendet. Um sicherzustellen, dass bei der Nuklidwahl alle dosisrelevanten Nuklide berücksichtigt worden sind, wurden die gewichteten Radiotoxizitäten aller im Inventar vorhandenen Nuklide ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass der verwendete Nuklidvektor zu einer Dosisabdeckung von über 99 % führt.

Berücksichtigt wird das Lagerinventar Stand 2015 und ein voraussichtliches Inventar bei vollem Zwischenlager für das Jahr 2025.

Die Dosisberechnung ergibt maximale Werte von 4,9 mSv (Inventar 2015) bzw. 6,3 mSv (Inventar 2025) und zeigt, dass die Gesamtdosis für alle Bevölkerungsgruppen deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 100 mSv liegt.

Beurteilung des ENSI

Bei Lagern im Sinne der Richtlinie ENSI-G04 gilt der Nachweis eines ausreichenden Schutzes gegen Flugzeugabsturz als erbracht, wenn die aus einem einzelnen derartigen Störfall resultierende Dosis für nichtberuflich strahlenexponierte Personen höchstens 100 mSv beträgt.

Bezüglich der in der Analyse nicht berücksichtigten Nuklide aus dem Inventar hat das ENSI bereits 2012 Stellung genommen^{ENSI 2012-03-28} und angemerkt, dass die vom Betreiber verwendete Methodik zur Verkleinerung des Nuklidvektors unter bestimmten Randbedingungen herangezogen werden darf. Da das KKL entsprechend dieser Vorgabe verfährt, erachtet das ENSI den verwendeten Nuklidvektor als akzeptabel.

Das Vorgehen des KKL zur Ermittlung der Freisetzungsanteile durch Extrapolation der Ergebnisse aus der Transportstudie Konrad ist nach Auffassung des ENSI grundsätzlich akzeptabel. Für eine derartige Extrapolation sollten nach heutigem Kenntnisstand jedoch die massenspezifischen Energieeinträge herangezogen werden. Berechnungen des ENSI zeigen allerdings, dass die unterschiedlichen Extrapolationsmethoden im vorliegenden Fall zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Des Weiteren extrapoliert das KKL nicht nur die Freisetzungsanteile für grosse Partikel sondern zusätzlich auch die für kleine Partikelgrössen. Da die Summe der resultierenden Freisetzungen im vorliegenden Fall durch die kleinen Partikel dominiert wird, führt das Vorgehen des KKL insgesamt sogar zu einer Überschätzung der Freisetzungen aus den am stärksten belasteten Gebinden.

Aufgrund der kleineren Massen und Volumina weisen die Abfallbinde im Zwischenlager eine schwächere Schutzwirkung gegenüber mechanischer Einwirkungen auf, als die in der Transportstudie Konrad untersuchten Gebinde. Diesem Aspekt muss bei der Ermittlung der Freisetzungsanteile Rechnung getragen werden, indem die Freisetzungsanteile auf die Massen und Volumina der vorliegenden Gebinde skaliert werden. Eine solche Skalierung wurde vom KKL nicht vorgenommen. Dies hat stellenweise kleinere Freisetzungsanteile zur Folge. Berechnungen des ENSI zeigen jedoch, dass diese in der Summe durch die oben genannte Überschätzung der Freisetzungsanteile für die am stärksten belastete Gebinde kompensiert werden. Insgesamt führt das Vorgehen des KKL bei der Bestimmung der Freisetzungsanteile zu abdeckenden Ergebnissen.

Nach Meinung des ENSI ist der Nachweis für die Einhaltung des Schutzziels von 100 mSv mit der vorliegenden Analyse grundsätzlich erbracht. Gleichwohl ist das ENSI der Ansicht, dass die Analyse dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen ist. Angesichts der relativ niedrigen Dosiswerte sieht das

ENSI aber keinen akuten Handlungsbedarf und erachtet eine Überarbeitung der Analyse bis zur nächsten PSÜ für angebracht.

Forderung 6.4-2

Die Analyse für den Störfall „Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager“ ist unter Berücksichtigung nachfolgender Punkte bis zum 15. Dezember 2022 zu überarbeiten:

- a) *Für die Extrapolation der mechanisch bedingten Freisetzungsteile müssen die massenspezifischen Energieeinträge herangezogen werden.*
- b) *Die mechanisch bedingten Freisetzungsteile aus der Transportstudie Konrad müssen mittels Skalierung auf die Massen und Volumina der zu untersuchenden Gebinde umgerechnet werden.*

7 Probabilistische Sicherheitsanalysen

Für die der Auslegung zugrunde liegenden Störfälle wird nachgewiesen, dass die Abgabe radioaktiver Stoffe an die Umgebung gering ist und keine Gefährdung für die Umgebung und für die Bevölkerung darstellt. Dieses Sicherheitskonzept deckt alle nach der Erfahrung zu erwartenden Störfälle ab.

Auslegungsüberschreitende Störfälle sind Störfälle, welche in Bezug auf das auslösende Ereignis oder die Art und Anzahl zusätzlicher Fehler den Rahmen der Auslegung durchbrechen. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang freigesetzt werden. Es ist die Aufgabe der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), das Risiko auslegungsüberschreitender Störfälle abzuschätzen. Die PSA-Methodik erlaubt eine quantitative Risikobewertung unter Berücksichtigung verschiedenartigster Unfallursachen wie beispielsweise Systemausfälle, menschliches Versagen oder Naturkatastrophen. Darüber hinaus lassen sich mittels der PSA Rückschlüsse auf mögliche Schwachstellen der Anlage beziehungsweise auf sinnvolle Anlagenverbesserungen ziehen, die das Risiko weiter reduzieren können. Die Quantifizierung von Risiken, die sich aus Sabotage, Terroranschlägen oder Kriegshandlungen ergeben, ist üblicherweise nicht Gegenstand einer PSA und wird dementsprechend auch in den schweizerischen PSA nicht durchgeführt.

Die Bestimmung des Kernschadens- und Freisetzungsriskos erfolgt in zwei Schritten, welche als PSA der Stufen 1 und 2 bezeichnet werden. Die PSA der Stufe 1 umfasst die Bestimmung derjenigen Unfallabläufe, die zu einer Beschädigung des Reaktorkerns (bei Leistungsbetrieb) bzw. des Brennstoffes (bei Nichtleistungsbetrieb) führen. Als Ergebnis wird die Kernschadenshäufigkeit (Core Damage Frequency, CDF) bzw. Brennstoffschadenshäufigkeit (Fuel Damage Frequency, FDF) pro Jahr ausgewiesen. Die CDF und die FDF sind zudem ein wichtiges Zwischenresultat bei der Berechnung des Risikos für die Umgebung, da nur Unfälle mit Kern- oder Brennstoffbeschädigung auch zu einer Freisetzung grösserer Mengen radioaktiver Stoffe führen können. Die PSA der Stufe 2 baut auf den Ergebnissen der Stufe 1 auf. Sie analysiert den Unfallablauf nach Kern- bzw. Brennstoffschaden und das damit verbundene Freisetzungsrisiko. Dabei wird ein Zeitraum von mindestens 48 h nach Eintritt des auslösenden Ereignisses für die Containmentfunktion berücksichtigt. Als Hauptergebnis wird die Freisetzungshäufigkeit pro Jahr ausgewiesen.

7.1 Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 34 Abs. 2 Bst. d und Art. 34 Abs. 3 KEV
- Richtlinien ENSI-A05 und ENSI-A06

7.2 Vorgehen bei der Beurteilung

Für die PSÜ 2016 hat das KKL seine PSA überarbeitet. Die neue PSA wird im Weiteren als KKL PSA 2016 bezeichnet. Das ENSI hat diese Studie überprüft. Die Ergebnisse der Überprüfung sind in der vorliegenden Stellungnahme festgehalten. Wo notwendig, wird auch auf frühere Versionen der KKL-PSA Bezug genommen, wie die LPSA2006, die im Rahmen der PSÜ 2006 eingereicht wurde. Aus der Überprüfung abgeleitete Verbesserungspunkte sind detailliert in einer Aktionsliste aufgeführt. Die bedeutendsten Punkte sind in den einzelnen Abschnitten dieser Stellungnahme zusammenfassend dargestellt. Die Umsetzung der in der Aktionsliste festgehaltenen Verbesserungen ist Gegenstand der Forderung 7-1.

7.3 Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb

Die erste PSA-Studie der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb wurde im Jahr 1995 der Aufsichtsbehörde eingereicht. Die 1998 eingereichte Studie (LPSA1997) umfasste Verbesserungen bei der Analyse interner systemübergreifender und externer Ereignisse. In den folgenden Jahren konzentrierte sich das KKL darauf, die unabhängigen Modelle für interne und externe Ereignisse sowie für die verschiedenen Betriebszustände zu einem einzigen PSA-Modell zusammenzufassen.

Für die PSÜ 2006 entwickelte das KKL die LPSA2006, die alle internen, internen systemübergreifenden und externen auslösenden Ereignisse sowie alle Anlagenzustände (Leistungsbetrieb, Schwachlastbetrieb und Stillstand) berücksichtigte. Die LPSA2006 bestand aus mehreren Teil-Modellen, bei denen bei der Modellierung eines Systems auf verschiedene Fehlerbäume zurückgegriffen wird. Notwendige Änderungen an einer Systemmodellierung mussten dann jeweils bei all diesen Modellen durchgeführt werden, was zu einem erheblichen Arbeitsaufwand und zur Fehleranfälligkeit bei der Modellpflege führte.

Nach der PSÜ 2006 wurde die KKL-PSA weiterentwickelt und insbesondere zu einem Gesamtmodell integriert. Mit der im Rahmen der PSÜ 2016 vorgelegten KKL PSA 2016 besitzt das KKL nun eine integrierte PSA der Stufen 1 und 2 für alle Anlagenzustände und für alle auslösenden Ereigniskategorien.

7.3.1 Zuverlässigkeit von Komponenten

Angaben des KKL

Die Komponentenzuverlässigkeitskenngrößen in der KKL PSA 2016 umfassen Komponentenausfallraten, Unverfügbarkeiten aufgrund von Instandhaltungsarbeiten (d. h. Wartung oder Instandsetzung) sowie Parameter für die Quantifizierung von Ausfällen aufgrund einer gemeinsamen Ursache (Common Cause Failure, CCF). Zur Bestimmung der Komponentenzuverlässigkeitskenngrößen macht das KKL u. a. folgende Angaben:

- Anlagenspezifische Rohdaten

Als Basis für die Erfassung der anlagenspezifischen Rohdaten zur Bestimmung der Komponentenausfallraten legt das KKL ein Zuverlässigkeitsmodell fest, welches der Ausfallart und der Betriebsweise der PSA-Komponente entspricht. Komponentenabgrenzungen werden für alle modellierten Komponententypen definiert. Für jeden betrachteten Komponentenfelermodus werden aus der KKL-eigenen Betriebserfahrung die Anzahl Ausfälle sowie die Anzahl Anforderungen oder Betriebsstunden bestimmt, welche für die Ermittlung der Zuverlässigkeitskenngrößen verwendet werden. Die Auswertung umfasst die Betriebserfahrung bis Ende 2015.

- Generische Zuverlässigkeitsdaten

Als generische Information werden internationale Quellen identifiziert, die Ausfalldaten zu ähnlichen Komponenten enthalten. Dabei wird die vorgegebene Komponentenabgrenzung in der KKL PSA 2016 beachtet.

- Entwicklung anlagenspezifischer Zuverlässigkeitskenngrößen

Die generischen Komponentenausfallraten werden mit Hilfe eines Bayes-Verfahrens mit den anlagenspezifischen Rohdaten verrechnet, um die aktuellen anlagenspezifischen Zuverlässigkeitskenngrößen und die zugehörigen Unsicherheiten zu erhalten.

- Entwicklung anlagenspezifischer CCF-Parameter

Zur Modellierung der CCF-Parameter wird die Alpha-Faktor-Methode gewählt. Als generische Daten werden die Werte aus NUREG/CR-5497^{NUREG/CR-5497} verwendet. Zur Bestimmung des Umfangs der Komponenten, für die CCF in der KKL PSA 2016 berücksichtigt werden, wird die internationale Erfahrung untersucht (verschiedene Berichte der US-amerikanischen sowie der PSA-Leitfaden der deutschen Aufsichtsbehörde und Ergebnisse des International Common-Cause Failure Data Exchange Project). Für passive Komponenten wie Wärmetauscher werden keine CCF berücksichtigt, da Ausfälle primär infolge externer oder interner systemübergreifender Ereignisse auftreten. Ferner werden auch für gewisse Komponententypen wie Messwertgeber keine CCF berücksichtigt, mit der Begründung, dass diese Komponententypen ständig in Betrieb sind, unter Überwachung stehen und allfällige Fehler durch die Überprüfung des Outputs entdeckt werden.

- Bestimmung der Instandhaltungsunverfügbarkeitsdaten

Drei Arten von Basisereignissen für die Instandhaltung werden in der KKL PSA 2016 modelliert: ungeplante Instandsetzung, ungeplante vorbeugende Instandhaltung und geplante vorbeugende Instandhaltung. Die Daten zu Instandhaltungsunverfügbarkeiten basieren ausschliesslich auf anlagenspezifischen Daten (d. h., ohne Berücksichtigung von generischen Informationen).

Beurteilung des ENSI

Die Bestimmung der Komponentenzuverlässigkeitskenngrössen in der KKL PSA 2016 entspricht im Allgemeinen dem Stand der Technik. Die Betriebserfahrung wurde umfassend berücksichtigt. Die in der KKL PSA 2016 verwendeten Komponentenausfallraten sind grundsätzlich plausibel und umfassend. Das ENSI hat jedoch auch Verbesserungsbedarf festgestellt, der im Folgenden zusammengefasst ist:

- Bei der Bestimmung der CCF-Parameter wurde die anlagenspezifische Erfahrung nicht berücksichtigt.
- Der Umfang der Komponententypen, für die CCF berücksichtigt werden, entspricht im Allgemeinen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Allerdings fehlen bei der Betrachtung gewisse passive Komponenten wie z. B. Wärmetauscher und Messwertgeber.
- Pumpen und Lüfter wurden für die Ermittlung der anlagenspezifischen Ausfallraten in Teilkomponenten unterteilt. Aus der Dokumentation lässt sich die Zuteilung der anlagenspezifischen Ausfälle auf die entsprechenden Teilkomponenten nicht immer nachvollziehen.
- Die anlagenspezifischen Komponentenzuverlässigkeitsdaten zeigen im Allgemeinen keine Auffälligkeiten. Für ein paar wenige Komponenten (wie zum Beispiel der elektrische Motor der Kondensatpumpe und die Niederdruckeinspeisepumpe) besteht hierzu noch Klärungsbedarf.

Insgesamt kommt das ENSI zum Schluss, dass der oben aufgelistete Verbesserungsbedarf keinen relevanten Einfluss auf die CDF hat.

7.3.2 Zuverlässigkeit von Operateurhandlungen

Die Analyse von Operateurhandlungen im Rahmen einer PSA wird als Human Reliability Analysis (HRA) bezeichnet. Die HRA in der KKL PSA 2016 für den Leistungsbetrieb betrachtet Operateurhandlungen der gemäss Richtlinie ENSI-A05 definierten Kategorien A (latente Fehler im Zusammenhang mit Instandhaltungstätigkeiten), B (Beiträge zur Entstehung auslösender Ereignisse) und C (direkte Beeinflussung von Störfallabläufen). Die in der KKL PSA 2016 hierzu durchgeführten Analysen sind nachfolgend zusammengefasst.

Angaben des KKL

Kategorie A – Latente Fehler im Zusammenhang mit Instandhaltungstätigkeiten

Diese Kategorie umfasst Handlungen, die bei Routinetests und Instandhaltungen an Systemen erforderlich sind. Diese Fehlhandlungen haben keinen unmittelbaren Einfluss auf den Anlagenbetrieb, können jedoch zu latenten Fehlern führen, welche die Funktion von Systemen im Anforderungsfall beeinträchtigen. Ein latenter Fehler ist ein Fehler, der unentdeckt bleibt, bis die betroffene Komponente angefordert oder mit einer Funktionsprüfung getestet wird. Massgeblich für die Zuweisung des Betriebszustands (Vollast oder Stillstand) zu einer Fehlhandlung der Kategorie A ist der Zeitpunkt des störfallbedingten Anforderungsfalls des betroffenen Systems. So wird z. B. eine während des Stillstands herbeigeführte Armatur-Fehlstellung dem Leistungsbetrieb zugewiesen, wenn das betroffene System bei Störfällen während des Leistungsbetriebs angefordert wird.

Die Identifizierung von Fehlern der Kategorie A ist Bestandteil der Analysen der im PSA-Modell berücksichtigten Systeme. Insbesondere betrachtet werden die zugehörigen Instandhaltungsvorschriften. Wenn beispielsweise eine Prüfvorschrift das vorübergehende Schliessen des im Anforderungsfall benötigten Einspeisewegs verlangt, wird das Nichtwiederherstellen des Einspeisewegs als Fehler in Betracht gezogen. Ein solcher Fehler

wird in der Regel vernachlässigt, wenn stark wirksame Entdeckungs- oder Korrekturmechanismen vorliegen, beispielsweise wenn sich der Fehler durch einen offensichtlichen Alarm bemerkbar macht oder wenn der Einspeiseweg im Anforderungsfall automatisch durchgeschaltet wird. Fehler bei Instandsetzungsarbeiten werden vernachlässigt, wenn zum Abschluss solcher Arbeiten ein Funktionstest vorgesehen ist und die betroffene Komponente bzw. das betroffene System erst dann wieder als betriebsbereit erklärt wird, wenn dieser Test bestanden ist.

Die Fehlerwahrscheinlichkeiten (Human Error Probabilities, HEP) der so identifizierten Kategorie-A-Fehler (z. B. Einbau einer falschen Berstscheibe im Containment-Druckentlastungssystem) werden mit der Methode Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)^{NUREG/CR-1278} bestimmt. Für einen Fehler, welcher die Containment-Integrität beeinträchtigt, wird die Wahrscheinlichkeit mittels Bayes-Verfahren bestimmt, wobei die weltweite Erfahrung von 5500 Reaktor-Betriebsjahren als generische Information verwendet wird.

Sämtliche Kategorie-A-Fehler werden als unabhängig voneinander modelliert.

Kategorie B – Beiträge zur Entstehung auslösender Ereignisse

Zu dieser Kategorie gehören Handlungen, welche die Auslösung eines Störfalls beeinflussen oder direkt ein auslösendes Ereignis zur Folge haben. Derartige Handlungen werden üblicherweise nicht explizit modelliert. Stattdessen wird angenommen, dass ihr Beitrag implizit in den Häufigkeiten auslösender Ereignisse enthalten ist. Dieses Vorgehen ist auch in der KKL PSA 2016 für die Mehrzahl der auslösenden Ereignisse gewählt worden.

Die explizit modellierten Kategorie-B-Handlungen werden analytisch mit der Methode THERP oder statistisch mit dem Bayes-Verfahren quantifiziert. Hierzu gehört beispielsweise die fälschliche Auslösung des Reaktor-druckentlastungssystems (Automatic Depressurization System, ADS).

Kategorie C – Direkte Beeinflussung von Störfallabläufen

Diese Kategorie betrifft Störfallabläufe nach auslösenden Ereignissen, in denen gemäss Störfall- oder Accident-Management (AM)-Vorschriften vorzugehen ist. Solche Fehlhandlungen haben einen direkten Einfluss auf den Störfallablauf. In der KKL PSA 2016 berücksichtigt werden Fehlhandlungen vom Typ Error of Omission, d. h. die nicht erfolgreiche Durchführung einer zur Verbesserung der Störfallsituation angeforderten Handlung. Solche Handlungen werden in der KKL PSA 2016 im Rahmen der Ereignis- und Unfallablaufanalyse identifiziert. Die Modellierung entspricht den seit der PSÜ 2006 vom KKL vorgenommenen Erweiterungen der Störfall- und AM-Vorschriften wie z. B. Ergänzung einer Vorschrift für die Handlungen im Fall eines Ausfalls der externen Stromversorgung (Station Blackout, SBO).

Die Bestimmung der HEP erfolgt mittels der Methode Success Likelihood Index Methodology^{NUREG/CR-3518}. Dabei wird auf der Grundlage von Befragungen von Operateuren hinsichtlich leistungsbeeinflussender Faktoren (wie z. B. verfügbare Zeit und Anleitung durch Vorschriften) für jede Handlung ein Failure Likelihood Index (FLI) berechnet. Zur FLI-Kalibrierung auf einer HEP-Skala werden die Handlungen zunächst basierend auf den Kriterien Schwierigkeitsgrad, Verhaltensebene (regelbasiert oder wissensbasiert) und Handlungsort in vier Gruppen unterteilt. In jeder Gruppe werden dann für die Handlungen mit den jeweils höchsten und niedrigsten FLI die HEP mit der Methode THERP bestimmt. Für einige Handlungen (z. B. die manuelle Reaktor-druckentlastung), die als nicht passend zu einer Gruppe eingestuft werden, erfolgt eine direkte Bestimmung der HEP mit der Methode THERP.

Zusätzliche Anpassungen der HEP in Form einer Erhöhung erfolgen für durch spezielle Ereignisse ausgelöste Störfälle. Hierzu gehören Kühlmittelverluste mit kleinem Zeitfenster für Handlungen, interne Überflutung, Brand, Starkwinde, Flugzeugabsturz und Erdbeben. Dabei wird 0,5 als Maximalwert der HEP angenommen.

Abhängigkeiten zwischen dem Versagen mehrerer Handlungen werden im Modell wie folgt abgebildet:

- vollständige Abhängigkeit zwischen gleichartigen Handlungen im Hauptkommandoraum und in der Notsteuerstelle;
- vollständige Abhängigkeit zwischen wiederholt angeforderten Aufgaben;

- keine Abhängigkeit in allen übrigen Fällen;
- Begrenzung der gemeinsamen Fehlerwahrscheinlichkeit mehrerer Handlungen in einer Unfallsequenz auf einen Mindestwert von 10^{-5} .

Zu den Handlungen, welche aus Sicht der PSA eine besondere Bedeutung haben, gehören die Herstellung einer alternativen Reaktorbespeisung in durch Starkwind und die Kontrolle des Reaktorkernisoliations-Kühlsystems (Reactor Core Isolation Cooling, RCIC) in durch Erdbeben ausgelösten Störfällen.

Die aus der HRA identifizierten Optimierungspotentiale betreffen die Verfügbarkeit von Schlüsseln für den Zugang zu Anlagenteilen, die RCIC-Kontrolle sowie die ADS-Auslösung.

Beurteilung des ENSI

Die in der KKL PSA 2016 verwendeten Methoden zur Analyse menschlicher Zuverlässigkeit sowie der Umfang der berücksichtigten Handlungen entsprechen im Allgemeinen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A05. Die ermittelten HEP sind mehrheitlich plausibel und grösstenteils nachvollziehbar. Als positiv zu werten sind der umfassend dargestellte Bezug zu den Störfall- und AM-Vorschriften, die seit der PSÜ 2006 vorgenommene Ergänzung wichtiger Vorschriften (insbesondere für die Handlungen im SBO) und die im Rahmen der HRA identifizierten Optimierungspotentiale. Das ENSI befürwortet die vom KKL beabsichtigte Untersuchung dieser Optimierungspotentiale.

Die vom ENSI durchgeführte Überprüfung der HRA identifizierte Punkte mit Verbesserungsbedarf. Die Wichtigsten sind nachfolgend aufgelistet:

- Die Resultate der Identifizierung von Kategorie-A-Fehlern sind wenig plausibel, weil tatsächlich im KKL aufgetretene Fehler dieser Kategorie nicht im PSA-Modell abgebildet sind.
- In einigen der mit dem Bayes-Verfahren durchgeführten Quantifizierungen (Kategorie B) wird eine Prior-Verteilung (z. B. mit einem Erwartungswert von 10^{-3} pro Jahr für die Fehlauflösung des ADS) angenommen, die auf Expertenschätzungen beruht und angesichts der werksspezifischen Betriebs Erfahrung (z. B. ADS-Fehlauflösungshäufigkeit von $4 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr) wenig plausibel ist.
- In SBO-Szenarien, in denen nach Ablauf der ersten 24 h die Kernschadensverhinderung nur von der noch begrenzt vorhandenen Restkapazität der Batterien abhängt, wird der Kernschaden als garantiert vermieden angenommen, ohne dass gezeigt wird, dass noch genügend Erfolg versprechende Massnahmen zur langfristigen Stabilisierung der Anlage zur Verfügung stehen.
- Für nahezu jede vom Unfallablaufanalyse-Modell generierte Sequenz, die das Versagen mehrerer Kategorie-C-Handlungen umfasst, wird in der KKL PSA 2016 angenommen, dass das Versagen unabhängig voneinander erfolgt. Diese Annahme ist wenig plausibel. Zu den zum gemeinsamen Versagen beitragenden Faktoren gehören die erhöhte Arbeitsbelastung aufgrund der erforderlichen Koordination der gemäss Vorschrift parallel zu verfolgenden Strategien, und das mögliche Festhalten an einer im jeweiligen Szenario nicht zum Erfolg führenden Strategie.
- Die Annahme, dass in Szenarien mit erschwerten Bedingungen wie z. B. Erdbeben die HEP nicht grösser als 0,5 sein kann, entspricht nicht dem Stand von Wissenschaft und Technik.
- In einigen Notstromfällen liegen schwierige Handlungsbedingungen (sehr kurze Zeitfenster für Verhinderung einer RCIC-Abschaltung; zeitweise blockierte ADS-Auslöseautomatik) vor, die bei der Bestimmung der HEP unzureichend berücksichtigt wurden.
- Für die SBO-Vorschrift besteht Optimierungsbedarf dahingehend, dass nützliche Querverweise auf anderen Vorschriften ergänzt werden könnten.

Das ENSI erwartet, dass die Umsetzung des Verbesserungsbedarfs hinsichtlich HEP-Bestimmung eine merkliche CDF-Erhöhung zur Folge hat.

7.3.3 Thermohydraulische Analysen zur Bestimmung der Erfolgskriterien

Angaben des KKL

Die PSA-Erfolgskriterien reflektieren die minimal für die Vermeidung eines Kernschadens erforderlichen Systemfunktionen. Ein Erfolg im Sinne der PSA ist dann gegeben, wenn innerhalb eines Zeitraums von 24 h ein sicherer und stabiler Anlagenzustand erreicht wird. Kernschadensszenarien sind charakterisiert durch Überschreitung einer Hüllrohrtemperatur von ca. 1500 K und/oder einer Hüllrohroxidation von grösser als 17 %.

Die Erfolgskriterien wurden im Wesentlichen auf Basis folgender Quellen festgelegt:

- Best-Estimate-Analysen mit Hilfe des KKL-spezifischen Unfallsimulators, welcher auf dem Programm MELCOR basiert;
- Technische Störfallanalysen.

Seit der PSÜ 2006 wurden die Erfolgskriterien weiter verfeinert und systematisch dokumentiert. Dazu wurden weitere thermohydraulische Analysen mit dem KKL-spezifischen Unfallsimulator durchgeführt. Ein Beispiel dieser Verfeinerung ist die Ermittlung der genauen Anzahl von SRV (drei), die geöffnet werden müssen, um bei einer Transiente mit Ausfall aller aktiven Einspeisesysteme, aber verfügbarer passiver Einspeisung aus dem Speisewasserbehälter, eine rechtzeitige Einspeisung aus dem Hinterbergreservoir zu ermöglichen.

Die anlagenspezifischen Unfallanalysen wurden auch für die Berechnung der verfügbaren Zeitfenster für Operateurhandlungen verwendet.

Beurteilung des ENSI

Die vom KKL herangezogenen Berechnungen sind grundsätzlich geeignet die verwendeten Erfolgskriterien zu belegen, da sie werksspezifisch sind und dem Stand der Technik entsprechen. Bei einzelnen Aspekten hat das ENSI Verbesserungsbedarf identifiziert:

- Im Fall eines Versagens der Reaktorschnellabschaltung mit erfolgreicher Boreinspeisung bei Verfügbarkeit lediglich eines Hochdruckeinspeisesystems, ist die Annahme der Beherrschung nicht nachvollziehbar begründet.
- Die Fähigkeit des RCIC-Systems, alleine und ohne Kühlung der Druckabbaukammer einen Kernschaden für 24 h zu vermeiden, wird nicht belegt.

7.3.4 Interne Ereignisse

7.3.4.1 Auslösende Ereignisse

Angaben des KKL

Interne auslösende Ereignisse in der KKL PSA 2016 umfassen Transienten und Kühlmittelverluststörfälle (Loss of Coolant Accidents, LOCA).

Als Ausgangspunkt für die Identifizierung der für das KKL relevanten Transienten dienen die Ereignisse aus der deterministischen KKL-Sicherheitsanalyse (KKL-Störfallliste). In einem zweiten Schritt erfolgt eine systematische Identifizierung von Transienten innerhalb der wichtigsten Anlagensysteme mittels einer Ausfalleffektanalyse, wobei mögliche Ausfallkombinationen, die zu einem auslösenden Ereignis führen können, untersucht werden. Ferner wird die KKL-Betriebserfahrung ausgewertet, um weitere potentielle Transienten zu identifizieren. In einem letzten Schritt werden generische Listen von auslösenden Ereignissen aus internationalen Referenzen nach weiteren für das KKL anwendbaren Transienten untersucht. Aus diesem Vorgehen ergibt sich eine umfassende Liste von Transienten, die anschliessend nach gemeinsamen Erfolgskriterien gruppiert werden. Für den Leistungsbetrieb sind 38 Transienten in der KKL PSA 2016 modelliert.

Die LOCA unterscheiden sich in Leckgrösse (klein, mittel, gross), in freigesetztem Medium (Flüssigkeit, Dampf) und im Ort der Leckage (im Drywell, im Containment ausserhalb des Drywells, ausserhalb des Containments). Insgesamt sind 62 LOCA in der KKL PSA 2016 für den Leistungsbetrieb modelliert.

Die Häufigkeiten von Transienten werden aufgrund generischer Daten US-amerikanischer Kernkraftwerke, die mit Hilfe des Bayes-Verfahrens mit der Betriebserfahrung des KKL verrechnet werden, bestimmt. Für gewisse auslösende Ereignisse, die insbesondere den Ausfall von Hilfssystemen betreffen, wird die Häufigkeit aufgrund einer Fehlerbaumanalyse ermittelt. Falls verfügbar, werden die Häufigkeiten mit generischen Werten verglichen. Für die in der KKL PSA 2016 definierten Kühlmittelverluststörfälle werden die Häufigkeiten aus den generischen Daten abgeleitet.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt den Umfang der in der KKL PSA 2016 berücksichtigten internen auslösenden Ereignisse als umfassend. Die für die PSA relevanten internen auslösenden Ereignisse wurden mit einem systematischen Verfahren identifiziert. Die Gruppierung der auslösenden Ereignisse nach gemeinsamen Erfolgskriterien wurde aus Sicht des ENSI korrekt durchgeführt.

Die werksspezifische Betriebserfahrung ist korrekt erfasst und den entsprechenden auslösenden Ereignissen nachvollziehbar zugeordnet. Die zur Bestimmung der Ereignishäufigkeiten verwendete Methodik entspricht dem Stand der Technik. Die ermittelten Häufigkeiten weisen plausible Werte auf und liegen im Rahmen der internationalen Betriebserfahrung.

7.3.4.2 System- und Unfallablaufanalyse

Angaben des KKL

Die Modellierung der Unfallabläufe in der KKL PSA 2016 basiert auf der sogenannten „Linked Fault Tree Method“. Dabei erfolgt die Modellierung der Unfallsequenzen mit Ereignisbäumen und den damit verbundenen Fehlerbäumen. Im Ereignisbaum, der mit einem auslösenden Ereignis beginnt, werden die Verfügbarkeiten der für die Störfallbeherrschung notwendigen Systeme abgefragt. Ferner wird festgelegt, welche Systemausfallkombinationen zum Kernschaden führen. Die Zuverlässigkeit dieser Systeme (inklusive Hilfssystemen und Operateurhandlungen) wird detailliert in entsprechenden Fehlerbäumen abgebildet. Diese Fehlerbäume enthalten alle wesentlichen Basisereignisse – dies sind Ereignisse, die nicht weiter unterteilt werden, wie z. B. das Öffnungsversagen einer Rückschlagklappe bei Anforderung –, die zum Versagen des betrachteten Systems beitragen. Bei der Quantifizierung der verschiedenen Unfallsequenzen eines Ereignisbaums werden die minimalen Kombinationen von Basisereignissen (Ausfallkombinationen) bestimmt, die zu einem Kernschaden führen. Die Häufigkeiten der minimalen Ausfallkombinationen werden mit dem Minimal-Cutset-Upper-Bound-Algorithmus kombiniert, um die Kernschadenshäufigkeit für das im Ereignisbaum betrachtete auslösende Ereignis zu ermitteln. Für die Ermittlung der gesamten Kernschadenshäufigkeit werden die Kernschadenshäufigkeiten aller auslösender Ereignisse aufsummiert.

Für die Erstellung der Fehlerbäume zur Bestimmung der Systemzuverlässigkeit wird die Ausfalleffektanalyse eingesetzt.

Das LPSA2006-Modell wurde für die Erstellung des KKL-PSA-2016-Modells komplett überarbeitet mit dem Ziel, die ENSI-Anforderungen zu erfüllen und um das PSA-Modell bei Fragen zum Betrieb und zu Anlagenänderungen in die Entscheidungsfindung besser einfließen zu lassen. Der Detaillierungsgrad bei der Modellierung wurde insbesondere bei der Abbildung der Instrumentierung und der Systeme zur Stromversorgung erhöht.

Beurteilung des ENSI

Die System- und Unfallablaufanalyse entspricht aus Sicht des ENSI dem Stand der Technik. Die Modellierung der zur Störfallbeherrschung notwendigen Systeme mittels Fehlerbäumen ist detailliert und die Abhängigkeiten zwischen den Sicherheitssystemen und den Hilfssystemen sind richtig wiedergegeben.

Das ENSI hat jedoch festgestellt, dass die angenommene Laufzeit des RCIC-Systems eine erfolgreiche Durchführung einer Operateurhandlung (Abschaltung unnötiger Gleichstromverbraucher) voraussetzt. Diese Operateurhandlung ist nicht modelliert.

Trotz des gefundenen Verbesserungsbedarfs schätzt das ENSI die Modellierung des Anlagenverhaltens als realistisch ein.

7.3.4.3 Ergebnisse

Angaben des KKL

Die CDF für interne auslösende Ereignisse beträgt $2,58 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Die Tabelle 7.3-1 zeigt die zugehörigen Risikobeiträge. LOCA liefern in der KKL PSA 2016 einen ähnlich hohen Beitrag wie Transienten (ca. 54 % der CDF für interne Ereignisse im Vergleich zu ca. 46 %). Bei den LOCA entsteht der grösste Beitrag (rund 35 % der gesamten CDF für interne Ereignisse) aufgrund des RDB-Versagens. Das Versagen der Umwälzmengenregelung liefert den bedeutendsten CDF-Beitrag unter den Transienten (rund 23 % der gesamten CDF für interne Ereignisse).

Tabelle 7.3-1: CDF-Beiträge interner Ereignisse (Vollast)

Ereigniskategorie	Auslösende Ereignisse	Mittlere CDF [1/a]	Anteil (gerundet) [%]
Transienten	Versagen der Umwälzmengenregelung (steigender Kerndurchsatz)	$6,04 \cdot 10^{-8}$	23,2
	Ausfall der Speisewasserversorgung	$9,92 \cdot 10^{-9}$	3,8
	Verlust des Kondensatorvakuums	$9,50 \cdot 10^{-9}$	3,7
	Versagen der Speisewasserregelung	$8,37 \cdot 10^{-9}$	3,2
	Sonstige Transienten	$3,15 \cdot 10^{-8}$	12,1
	Total		$1,19 \cdot 10^{-7}$
LOCA	RDB-Versagen	$9,15 \cdot 10^{-8}$	35,5
	Interfacing System LOCA	$2,96 \cdot 10^{-8}$	11,5
	Mittelgrosser LOCA	$3,73 \cdot 10^{-9}$	1,4
	Sonstige LOCA	$1,42 \cdot 10^{-8}$	5,5
	Total		$1,39 \cdot 10^{-7}$
Alle internen Ereignisse	Gesamttotal	$2,58 \cdot 10^{-7}$	

Beurteilung des ENSI

Gegenüber der LPSA2006 ist der CDF-Beitrag der internen Ereignisse gesunken. Der Beitrag durch LOCA hat sich leicht erhöht, während derjenige bedingt durch Transienten deutlich gesunken ist. Die Erhöhung des LOCA-Beitrags ist auf eine Modellverfeinerung bezüglich LOCA an der Schnittstelle zwischen Hoch- und Niederdrucksystemen zurückzuführen. Im neuen Modell werden nun nicht mehr nur Schnittstellen mit zwei oder weniger Absperrarmaturen für die Ereignishäufigkeit betrachtet, sondern auch solche mit drei Armaturen. Die Senkung des Transienten-Beitrags resultiert aus Modelländerungen, wie z. B. Berücksichtigung einer längeren Laufzeit der Batterien, welche das RCIC versorgen, Verfeinerung der Systemmodellierung und Berücksichtigung von neuen Notfallmassnahmen. Es wurden auch Nachrüstungen wie die Einführung eines sogenannten SAMG-Diesels, mit dem diverse Batterien nachgeladen und der Betrieb des RCIC-Systems, des Wasserstoffzündsystems und die ADS-Funktionen aufrechterhalten werden können, im Modell berücksichtigt.

Das ENSI erachtet die in der KKL PSA 2016 für interne Ereignisse ausgewiesene CDF und das zugehörige Risikoprofil insgesamt als plausibel. Die in Kap. 7.3.2 dargelegten Verbesserungspunkte betreffen vorwiegend Operateurhandlungen, die im Modell für interne Ereignisse eine geringe Importanz haben.

7.3.5 Interne systemübergreifende Ereignisse

7.3.5.1 Auswahl relevanter systemübergreifender Ereignisse

Angaben des KKL

Auf Basis der Richtlinie ENSI-A05 und des Sicherheitsstandards IAEA-SSG-3^{SSG-3} betrachtet das KKL folgende Gefährdungen:

- Interner Brand
- Explosion
- Interne Überflutung
- Geschosse
- Absturz von schweren Lasten
- Verätzungen

Die Gefährdungen werden auf Basis qualitativer Argumente entweder für eine detaillierte Analyse ausgewählt oder nicht weiter betrachtet. Als Ergebnis dieses Prozesses werden interner Brand, interne Überflutung und Turbinengeschosse detailliert analysiert und im PSA-Modell abgebildet.

Beurteilung des ENSI

Die in der KKL PSA 2016 für die detaillierte Analyse und Modellierung im PSA-Modell getroffene Auswahl der internen systemübergreifenden Ereignisse entspricht grundsätzlich den Auswahlkriterien der Richtlinie ENSI-A05. Zusätzlich zu den in dieser Richtlinie zu betrachtenden Gefährdungen untersucht das KKL die Gefährdung „Verätzungen“. Die Gefährdung „Freisetzung giftiger Gase“, die gemäss Richtlinie ENSI-A05, Kap. 4.5.1 Bst. b zu analysieren ist, wird jedoch nicht betrachtet. Das ENSI geht davon aus, dass diese Gefährdung für das KKL nicht relevant ist. Es fehlt jedoch eine systematische Untersuchung in der Dokumentation.

Die detaillierte Analyse der Gefährdung „Turbinenzerknall“ entspricht im Allgemeinen dem Stand der Technik. Die postulierte Anzahl Geschosse bei einem Turbinenzerknall wird jedoch nicht begründet. Auch unter umfassenderen Annahmen bezüglich der Anzahl der Geschosse ist der CDF-Beitrag des Ereignisses „Turbinenzerknall“ aus Sicht des ENSI gering.

Mit der Modellierung von internen Bränden, internen Überflutungen und Turbinenzerknall werden die relevanten internen systemübergreifenden Gefährdungen im PSA-Modell abgebildet.

7.3.5.2 Interner Brand

Angaben des KKL

Die Brand-PSA des KKL basiert auf der LPSA2006, mit verschiedenen Fortentwicklungen für die KKL PSA 2012 und die KKL PSA 2016. Die Analyse besteht aus folgenden Schritten:

- Zusammenstellung von Anlageninformationen

Das KKL verfügt über umfangreiche Datenbanken zu Brandschutzmassnahmen, Brandlasten, Kabelverlauf und ähnlichem. Diese wurden zum Gebrauch in der PSA aufbereitet. In manchen Fällen konnten die zur Erstellung der PSA notwendigen Informationen nicht direkt aus bereits vorhandener Dokumentation entnommen werden. Ein Beispiel hierfür ist die typische Verteilung mobiler Brandlasten. Eine Erhebung solcher Informationen erfolgte in diversen Anlagenbegehungen durch Experten.

– Qualitativer Auswahlprozess der zu analysierenden Anlagenbereiche

Die Kraftwerksanlage des KKL umfasst mehrere tausend Räume. Ein grosser Teil dieser Räume, wie Lager und Werkstätten, ist von Ausrüstungen mit Sicherheitsrelevanz weit entfernt, andere Räume benötigen keine brandschutztechnische Trennung zu Nachbarräumen, da bei Brand keine verschiedenen Redundanzen gefährdet sind. Somit müssen insgesamt weniger als 1000 verschiedene Örtlichkeiten für die Entstehung eines Brandes betrachtet werden. Damit ein Brand dort einen Beitrag zur CDF haben kann, muss er zu einem auslösenden Ereignis führen. Dies ist typischerweise eine automatische Reaktorschnellabschaltung oder ein Turbinenschnellschluss durch ein in Folge des Brandes erzeugtes Schutzsignal. Das auslösende Ereignis kann aber auch ein langsames Abfahren darstellen. Gemäss internationaler Erfahrung kann ein solches notwendig sein, um eine Verletzung der „Technischen Spezifikationen“ wegen durch den Brand unverfügbar gewordener Sicherheitsausrüstungen zu vermeiden. Beim qualitativen Auswahlprozess werden zunächst Örtlichkeiten, in denen Brände zu keinem dieser Effekte führen können, beispielsweise Abstellräume und Heizungsanlagen, von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Es verbleiben nach Zusammenfassung einzelner Bereiche im Ringraum einige hundert relevante Örtlichkeiten. An einigen Örtlichkeiten auf der Sekundärseite haben Brände lediglich eine bereits als internes Ereignis modellierte Folge, meist einen Turbinenschnellschluss. Da sich diese lediglich als leichte Erhöhung der Häufigkeit eines solchen Ereignisses mit durchweg relativ geringer bedingter Kernschadenswahrscheinlichkeit bemerkbar machen würden, werden sie vernachlässigt.

– Berechnung der Brandhäufigkeiten

Brände können einerseits in Komponenten durch Versagen beim Betrieb entstehen, andererseits durch Wartungsarbeiten, weshalb die Brandhäufigkeiten den Räumen proportional zum Aufkommen dieser beiden Zündquellentypen zugewiesen werden. Da Brände in Kernkraftwerken generell nicht häufig sind, ist es nicht ungewöhnlich, dass ein individuelles Kernkraftwerk keinen Brand einer gewissen Art innerhalb seiner Betriebsdauer erfahren hat, auch wenn die Möglichkeit eines solchen Brandes besteht. Um trotz dieser begrenzten Erfahrung die Häufigkeit von Bränden der einzelnen Arten im KKL abschätzen zu können, werden die generischen Häufigkeiten gemäss einer Datenbank mit einer Vielzahl von Bränden in ausländischen Kernkraftwerken mit den bisherigen Brandereignissen beim KKL durch das Bayes-Verfahren angepasst. Für die Brandhäufigkeiten bei Leistungsbetrieb werden dabei jeweils ausschliesslich Ereignisse, die sich bei Leistungsbetrieb ereigneten oder sich dabei hätten ereignen können, genutzt. Konsistent mit NUREG/CR-6850^{NUREG/CR-6850} werden 27 Kategorien von Komponenten sowie zehn Kategorien von Wartungsarbeiten je nach Gebäude und Brandlast unterschieden. Im für die Betriebserfahrung betrachteten Zeitraum von 1985 bis 2004 ereigneten sich nur wenige Brände im KKL, sodass die Ermittlung anlagenspezifischer Brandhäufigkeiten nach dem Bayes-Verfahren in allen Kategorien – ausser Lüftern und Gleichrichtern – auf geringere Häufigkeiten als in den generischen Daten aus NUREG/CR-6850 führt. Da der Grossteil der generischen Daten von Kernkraftwerken ohne Notstandgebäude stammt, werden die so ermittelten Brandhäufigkeiten über das KKL ohne Notstandssysteme (Special Emergency and Heat Removal System, SEHR-System) verteilt, und für die SEHR-Räume wird eine separate Zuweisung entsprechend dem Ausrüstungsinventar vorgenommen.

– Quantitativer Auswahlprozess

Die wahrscheinlichste Beeinträchtigung der nuklearen Sicherheit durch Brand ist die dauerhafte Unverfügbarkeit von Ausrüstungen durch Wärme- oder Raucheinwirkung. Ein selteneres Phänomen ist die unerwünschte Auslösung von Funktionen durch Kurzschlüsse in Steuerungskabeln, beispielsweise der Positionswechsel einer Armatur. Die maximale bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit eines Brandszenarios für eine einzelne Örtlichkeit ergibt sich unter der Annahme, dass alle dort vorhandenen Ausrüstungen unverfügbar werden und die schlimmsten möglichen Fehlauflösungen geschehen. Auch wenn die Häufigkeit eines solchen Ausganges aufgrund von Hindernissen im Brandausbreitungspfad und des Eingreifens der Feuerwehr weit geringer ist als die gesamte Brandhäufigkeit in der betreffenden Örtlichkeit, wird dies beim quantitativen Auswahlprozess angenommen. Ist

der CDF-Beitrag eines Szenarios kleiner als $5 \cdot 10^{-10}$ pro Jahr, so wird die Örtlichkeit vernachlässigt. Nach diesem Schritt verbleiben von den 349 Örtlichkeiten noch 44. Der aus Bränden in den hier vernachlässigten Anlagebereichen resultierende CDF-Beitrag ist geringer als $9,9 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr.

– Verfeinerung der Analyse

Viele der Örtlichkeiten, welche beim quantitativen Auswahlprozess nicht vernachlässigt werden konnten, sind Räume mit elektrischen Steuerungen oder Versorgungen. Um zu berücksichtigen, dass ein Übergreifen des Brands auf den gesamten Brandabschnitt in solchen Räumen selten ist, wird ein Brandereignisbaum genutzt. Dieser ordnet den Sequenzen von Hauptereignissen, welche verschiedene Schnelligkeiten von Branderkennung und -bekämpfung darstellen, zu, ob nur der Ursprungsschrank, eine Gruppe benachbarter Schränke oder die gesamte Örtlichkeit beschädigt werden. Für Brände in Kabelpritschen wird dagegen weiterhin angenommen, dass alle Kabel in der Örtlichkeit beschädigt werden. Die Zuverlässigkeitskenngrößen von Branderkennung und -bekämpfung werden auf generischer Basis ermittelt.

Örtlichkeiten, für die kein Brandereignisbaum aufgestellt wird, werden einer vereinfachten Verfeinerung unterzogen, indem der dort erhaltene CDF-Beitrag je nach vorhandenen Möglichkeiten zur Brandlöschung um einen Faktor 10 oder 100 reduziert wird. Auf verfeinerte Szenarien wird jeweils die CDF-Schwelle von $5 \cdot 10^{-10}$ pro Jahr des quantitativen Auswahlprozesses angewandt, um nicht risikorelevante Szenarien aus der Analyse zu entfernen.

– Berücksichtigung von Ausbreitung über die Örtlichkeiten hinaus

Es besteht im Brandfall eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass heisse Gase durch offene Räume ohne Brandlasten, Türen oder Lüftungswege zu benachbarten Örtlichkeiten gelangen und dort weitere Brandschäden verursachen. Numerische Strömungsdynamik- und Zonenmodelle werden genutzt, um die Brandausbreitung über die definierten Örtlichkeiten hinaus zu bewerten. Hiermit werden insbesondere die Einteilung des Reaktor Gebäudes in getrennte Örtlichkeiten durch den Abstand zwischen den möglichen Brandherden und die Vernachlässigung verschiedener raumübergreifender Szenarien gerechtfertigt.

Die durch Brand bedingte CDF ergibt sich zu $4,86 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr. Davon stammt etwas weniger als die Hälfte aus Brandszenarien im Betriebsgebäude, mehr als ein Viertel aus solchen im Reaktor Gebäude.

Beurteilung des ENSI

Die Brand-PSA des KKL entspricht dem Stand der Technik. Sie ist in nachvollziehbarer Weise dokumentiert. Es werden beim qualitativen Auswahlprozess alle relevanten Örtlichkeiten der Anlage berücksichtigt. Raumübergreifende Szenarien sind in geeigneter Weise behandelt. Die berücksichtigte Betriebserfahrung zur Ermittlung der Brandhäufigkeiten entspricht der zum Zeitpunkt der Erstellung der Basis der aktuellen Brand-PSA verfügbaren Beobachtung. Es wird also ein gewisser Anteil der verfügbaren Betriebserfahrung vernachlässigt.

Das quantitative Auswahlkriterium eines CDF-Beitrags je Szenario von $5 \cdot 10^{-10}$ pro Jahr stellt die Erfüllung des Kriteriums gemäss Richtlinie ENSI-A05, Kap. 4.5.2.1 Bst. f, wonach die Summe der CDF-Beiträge aus vernachlässigten Szenarien höchstens 10^{-8} pro Jahr betragen darf, nicht sicher. Zudem erfolgte der Auswahlprozess auf Basis des Modells von 2006. Wird der quantitative Auswahlprozess mit dem aktuellen Modell wiederholt, kann er zu einer anderen Wahl von Szenarien führen.

Bei der vereinfachten Verfeinerung der Brandszenarien werden Reduktionsfaktoren, welche die Möglichkeiten zur Brandbekämpfung widerspiegeln, direkt auf die CDF-Beiträge angewandt, ohne die Auswirkungen der dabei involvierten Massnahmen zu betrachten. Während es bei Halonlöschanlagen in den Betriebs- und Hilfsanlagengebäuden plausibel ist, dass der Brand ohne zusätzliche Schäden beendet werden kann, wäre für die im Maschinenhaus typischen Sprinkler dagegen für die Komponenten in der Örtlichkeit individuell zu begründen, weshalb bei erfolgreicher Brandlöschung kein Schaden durch Löschwasser, welcher insbesondere elektrische Komponenten betreffen kann, anzunehmen ist.

Die Brand-CDF insgesamt wird durch die Nutzung des vom ENSI identifizierten Verbesserungspotentials nicht stark beeinflusst, sodass sie als plausibel beurteilt werden kann. Gegenüber der LPSA2006 ergibt sich eine Verringerung um mehr als eine Grössenordnung, was auf die Änderungen des internen Modells, die Überarbeitung der angenommenen Brandauswirkungen an ausgewählten Örtlichkeiten sowie die Einführung von Wahrscheinlichkeiten für brandbedingte Fehlauflösungen zurückzuführen ist.

7.3.5.3 Interne Überflutung

Angaben des KKL

Die im Rahmen der KKL PSA 2016 durchgeführte Überflutungsanalyse basiert auf derjenigen für die LPSA2006 und diese wiederum auf einer Anfang der Achtzigerjahre durchgeführten Analyse, in der das anlagenspezifische Überflutungskonzept und die daraus folgenden Schutzmassnahmen gegen interne Überflutungen bewertet wurden. Als mögliche Ursachen interner Überflutungen wurde das Versagen von Ausrüstungen identifiziert, die flüssiges Medium führen. Als Folgeeffekte wurden die Überflutung von Ausrüstungen durch Wasseransammlung auf dem Boden, Sprüheffekte durch Leckagen oder unbeabsichtigtes Aktivieren von Feuerlöschsystemen sowie eine Beschädigung von Ausrüstungen durch Dampf oder ein Wasser-Dampf-Gemisch betrachtet. Darauf aufbauend umfasst die Überflutungsanalyse die nachfolgend dargestellten aus der LPSA2006 übernommenen Analyseschritte:

- Aufnahme anlagenspezifischer Information
Anhand einer Anlagenbegehung, der in einer Anlagendatenbank abgelegten Systeminformationen und der Gebäudeanordnungen und -verbindungen wurden potenzielle Flutquellen und Überflutungsbereiche identifiziert.
- Bestimmung der Überflutungshäufigkeiten
Die Überflutungshäufigkeiten von Gebäuden wurden aus einer Auswertung der Betriebserfahrung amerikanischer Anlagen und der anlagenspezifischen Erfahrungen bis 2004 (ein Bruch einer Entleerungsleitung im Maschinenhaus) abgeleitet. Die gebäudespezifischen Häufigkeiten wurden entsprechend Anzahl und Art der identifizierten Flutquellen auf die einzelnen Gebäudebereiche verteilt.
- Auswahl der Flutszenarien
Ausgehend von den jeweiligen Flutquellen wurden mögliche Überflutungspfade unter Berücksichtigung der Widerstandsfähigkeit von Türen, der Flächen potenzieller Überflutungsbereiche und deren Drainagen sowie von Überlauföffnungen identifiziert. Hieraus resultierten 44 Flutszenarien.
- Analyse der Auswirkungen von Flutszenarien
Anhand der identifizierten Überflutungspfade wurde untersucht, welche Komponenten aufgrund der Überflutungsauswirkungen beschädigt werden können.
- Qualitativer und quantitativer Auswahlprozess
Aufgrund qualitativer Argumente – keine Beschädigung von relevanten Komponenten – oder, weil auf Basis der bedingten Kernschadenswahrscheinlichkeit von vergleichbaren Brandszenarien nur ein nicht signifikanter CDF-Beitrag zu erwarten ist, wurden 15 Flutszenarien von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Für weitere 15 Szenarien wies die LPSA2006 einen CDF-Beitrag von weniger als $5 \cdot 10^{-10}$ pro Jahr aus. Sie wurden deshalb ebenfalls von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Für die 14 Flutszenarien, die in der LPSA2006 nach dem Auswahlprozess übrig geblieben waren, wurde im Rahmen der KKL PSA 2016 eine erneute, detailliertere Analyse der Auswirkungen durchgeführt. Diese Flutszenarien wurden unter Berücksichtigung der Eintrittshäufigkeiten und der szenariospezifischen Überflutungs- auswirkungen in das PSA-Modell integriert und ihr CDF-Beitrag bestimmt. Detektions- und Abspermmöglichkeiten wurden nicht kreditiert.

Die durch anlageninterne Überflutung bedingte CDF wird mit $2,97 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr ausgewiesen. Mehr als die Hälfte hiervon sind auf ein potenzielles Leerlaufen der Druckabbaukammer zurückzuführen, etwas weniger als ein Drittel davon auf potenzielle Überflutungen im Maschinenhaus. Das Leerlaufen der Druckkammer erfolgt nur, wenn zusätzlich zum Bruch einer Leitung eine Tür fehlerhaft offen steht. Dieses Szenario wird nicht vertieft untersucht, sondern konservativ als direkt zu Kernschaden führend modelliert.

Beurteilung des ENSI

Die im Rahmen der KKL PSA 2016 vom KKL durchgeführte Überflutungsanalyse umfasst die wesentlichen in der Richtlinie ENSI-A05 geforderten Analyseschritte. Die Überarbeitung nur der Auswirkungen der in der LPSA2006 als relevant erkannten Flutszenarien greift jedoch aus folgenden Gründen zu kurz:

- Es fehlt eine Überprüfung, ob die den Untersuchungen in der LPSA2006 zu internen Überflutungen zugrunde liegende Analyse von Anfang der Achtzigerjahre dem heutigen Wissensstand bezüglich der relevanten zu betrachtenden Überflutungsquellen entspricht.
- Es gibt inzwischen umfassendere Betriebserfahrungen und damit aktuellere Datensammlungen zu Eintrittshäufigkeiten von internen Überflutungen^{TR-1013141} als die in der LPSA2006 und damit auch in der KKL PSA 2016 verwendete Datenbasis.
- Wie bei der Brand-PSA (vgl. Kap. 7.3.5.2) basiert das quantitative Auswahlverfahren, also der Ausschluss von Szenarien von der weitergehenden Analyse aufgrund einer Abschätzung des CDF-Beitrags, auf dem Modell von 2006, und die Kriterien des quantitativen Auswahlverfahrens erfüllen nicht die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A05.

In der KKL PSA 2016 weisen einige Überflutungsszenarien einen sehr viel geringeren CDF-Beitrag auf als in der LPSA2006. Insbesondere Überflutungen im Containment und im Notstandsgebäude, die 2006 die grössten Beiträge lieferten, haben stark an Bedeutung verloren. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass für die LPSA2006 nicht überprüft worden war, ob Komponenten im Einflussbereich der internen Überflutung gegebenenfalls gegen Sprüheinwirkung ausgelegt sind. Stattdessen wurde ihr Ausfall konservativ unterstellt. Die geringeren CDF-Beiträge aufgrund einer genaueren Analyse der Überflutungsauswirkungen sind grundsätzlich plausibel. Allerdings sind die CDF-Beiträge im Detail nicht nachvollziehbar, da die Dokumentation der genannten genaueren Analyse in der KKL PSA 2016 fehlt.

Aufgrund der weitgehenden Unterteilung der sicherheitsrelevanten Gebäude in mehrere überflutungssichere Bereiche erwartet das ENSI auch unter Berücksichtigung des oben erwähnten Verbesserungspotenzials keinen dominanten Beitrag von internen Überflutungen zur Gesamt-CDF.

7.3.6 Externe Ereignisse

7.3.6.1 Auswahl relevanter externer Ereignisse

Angaben des KKL

Für die KKL PSA 2016 wird auf Basis der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A05 und den Vorgaben der IAEA zur PSA^{SSG-3} sowie zu meteorologischen und hydrologischen Gefährdungen^{SSG-18} eine Liste möglicher externer auslösender Ereignisse erstellt, die auf die Anlage einwirken können.

Tabellarisch hält das KKL fest, welche Gefährdungen weiter untersucht oder aus welchem Grund nicht weiter betrachtet werden. Als Ergebnis der Analyse werden folgende externe Ereignisse im Modell abgebildet: Erdbeben, extreme Winde und Tornados, externe Überflutungen, unfallbedingter Flugzeugabsturz, Ausfall der Wasserfassung, Blitze und Sonnenstürme.

Beurteilung des ENSI

Das KKL hat die gemäss Richtlinie ENSI-A05, Ausgabe 2009, zu betrachtenden externen Gefährdungen analysiert. Darüber hinaus hat das KKL auch weitere Gefährdungen untersucht. Insgesamt resultiert daraus eine

ausführliche Liste möglicher Gefährdungen. Mit den für die Abbildung im PSA-Modell ausgewählten Gefährdungen ist das ENSI grundsätzlich einverstanden. Die revidierte Richtlinie ENSI-A05 (Ausgabe 2018) fordert zusätzlich eine umfassendere Bewertung möglicher Kombinationen von Gefährdungen. Das ENSI erwartet aus dieser Untersuchung keine relevanten Risikobeiträge.

7.3.6.2 Erdbeben

Angaben des KKL

Die Erdbebenanalyse des KKL lässt sich in folgende Teile gliedern:

- Gefährdungsannahmen

In der KKL PSA 2016 ist zwischen Erdbeben aus dem Fernfeld und Erdbeben aus dem halbkugelförmigen Nahfeld mit Radius 25 km um den Kraftwerkstandort unterschieden. Während Nahbeben vorwiegend höherfrequente Schwingungen am Standort des Kraftwerks anregen, sind Schwingungen aus Fernbeben eher niederfrequent. Die Häufigkeit der Beben ist aus der als PRP-IH (PEGASOS Refinement Project Intermediate Hazard) bezeichneten Zwischenaktualisierung der Gefährdungsannahmen abgeleitet.

- Auswahl und Begehung der Systeme, Strukturen und Komponenten

Mehrere Dutzend Systeme des KKL haben eine Bedeutung für das PSA-Modell. Damit ergibt sich, dass mehrere tausend Komponenten und Strukturen im Hinblick auf ihre seismische Widerstandsfähigkeit zu untersuchen sind. Es wurden einige Anlagebegehungen durchgeführt, um z. B. potentielle Interaktionen mit anderen Ausrüstungen oder ungeeignete Verankerungen zu identifizieren. Dabei ergaben sich einzelne Unklarheiten bezüglich der Widerstandsfähigkeit einzelner Ausrüstungen. Diese wurden mittels zusätzlicher Festigkeitsanalysen, Detailabklärungen zur Auslegung oder Modifikation von Ausrüstungen oder Strukturen geklärt.

- Fragilityanalyse

Die Bauwerke werden einerseits betrachtet, um die seismischen Versagenswahrscheinlichkeiten (Fragilities) ihrer Strukturen bewerten zu können, andererseits, um die Etagenantwortspektren zu erhalten, welche die Einwirkung auf im Gebäude installierte Komponenten beim Referenzerdbeben zeigen. Die Gebäude-Boden-Wechselwirkung und die Gebäudeantwort werden mittels dreidimensionaler numerischer Modelle der Gebäude berechnet. Auch für Systeme und Komponenten werden auf diverse Arten Fragilities bestimmt.

- Modellierung

Der Beschleunigungsbereich von 0,025 g bis 1,3 g PGA (Peak Ground Acceleration, Starrkörperbeschleunigung) bezogen auf die Geländeoberfläche wird für Nah- und Fernfeldgefährdung in jeweils 13 auslösende Ereignisse unterteilt und im Modell abgebildet. Für jede der Fragilities werden bei Fern- und Nahfeld jeweils die Wahrscheinlichkeiten der Basisereignisse entsprechend den auslösenden Ereignissen ermittelt und diese Basisereignisse in die Fehlerbäume des logischen PSA-Modells für interne Ereignisse eingefügt. Dabei werden Komponenten mit Nahfeld-Mediankapazität über 3 g PGA nicht modelliert, ebenso Sekundärsysteme, deren Versagen durch dasjenige der externen Stromversorgung dominiert ist.

Es ergibt sich eine durch Erdbeben bedingte CDF von $9,75 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Auslösende Ereignisse für Erdbeben im Fernfeld erreichen zwar stets deutlich höhere bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeiten, aber durch ihre grössere Häufigkeit tragen dennoch Erdbeben im Nahfeld den grösseren Teil zur seismisch bedingten CDF bei.

Beurteilung des ENSI

Die Erdbebenanalyse der KKL PSA 2016 ist im Vergleich zur LPSA2006 grundlegend überarbeitet und entspricht generell dem Stand der Technik. Die Dokumentation ist weitgehend nachvollziehbar. Im Einzelnen zeichnet sich die Analyse durch folgende spezifische Punkte aus:

- Die zugrunde liegenden Erdbebengefährdungsannahmen, PRP-IH, entsprechen einer vom ENSI auch in Bezug auf die Erstellung der KKL PSA 2016 akzeptierten Zwischenlösung. Mit der Verfügung vom 26. Mai 2016^{ENSI-2016-05-26} wurden die Erdbebengefährdungsannahmen neu festgelegt sowie die Randbedingungen und der Termin hinsichtlich der damit betreffend Erdbeben erneut zu aktualisierenden PSA bestimmt (vgl. Kap. 2.1.4).
- Es wurde bei verschiedenen Teilaspekten der Fragilityanalysen Verbesserungsbedarf identifiziert. Dieser hat jedoch keinen systematischen Charakter und ist detailliert in der Aktionsliste aufgeführt.
- Es sind keine dominanten Szenarien erkennbar, die auf ein unausgewogenes Design der Anlage schliessen liessen. Bei einzelnen auslösenden Ereignissen zu Erdbeben mittlerer Stärke erscheinen markante CDF-Beiträge durch das seismisch bedingte Versagen der Druckentlastungsarmaturen, welche bei Fernfeldbeben um 0,7 g PGA ein Drittel der CDF-Beiträge der jeweiligen auslösenden Ereignisse überschreiten.
- Im Modell fehlt ein auslösendes Ereignis für Erdbeben mit mehr als 1,3 g PGA, wie es nach Richtlinie ENSI-A05, Kap. 4.6.2.1.3 Bst. b.2 vorgeschrieben ist. Da deren Häufigkeit bei etwa 50 % des ausgewiesenen CDF-Beitrags von Erdbeben liegt und die bedingte Kernschadenswahrscheinlichkeit für solche Bodenbeschleunigungen nahe bei 1 ist, ist davon auszugehen, dass hier ein bedeutender Anteil der CDF vernachlässigt wird. Eine durch Erdbeben bedingte CDF von deutlich unter 10^{-5} pro Jahr erachtet das ENSI auch bei Berücksichtigung des in den Analysen identifizierten Verbesserungsbedarfs jedoch als plausibel.

7.3.6.3 Extreme Winde und Tornados

Angaben des KKL

Extreme Winde

Zur Bestimmung der ortsspezifischen Gefährdung durch extreme Winde werden in der KKL PSA 2016 die jährlichen maximalen Windböengeschwindigkeiten der Wetterstation Leibstadt (Jahre 1984 bis 2009) auf 10 m Höhe herangezogen. Diese Messwerte werden mit Daten aus einem MeteoSchweiz-Bericht^{MetS-227} zur Bestimmung von Langzeitmesswerten vervollständigt. Auf Basis der damit erhaltenen Datenreihe wird mittels einer Gumbel-Verteilung eine jährliche Überschreitungshäufigkeitskurve für den Standort des KKL abgeleitet.

Die Windgefährdung wird im PSA-Modell mit drei auslösenden Ereignissen, welche einen Geschwindigkeitsbereich von 135 bis 194 km/h umfassen, abgebildet. Für jedes auslösende Ereignis wird eine Unsicherheitsverteilung berücksichtigt und ein Mittelwert bestimmt.

Zur Modellierung der Konsequenzen der extremen Winde werden Fragilities verwendet. Zusätzlich wird für jedes auslösende Ereignis ein totaler Ausfall der externen Stromversorgung angenommen. Aus Sicht des KKL sind die Windgeschwindigkeiten am KKL-Standort nicht hoch genug, um Objekte mitzureissen, die zu bedeutenden Schäden führen können. Jedoch wird angenommen, dass Gebäude mit Fenstern bei einer Windgeschwindigkeit grösser als 180 km/h ausfallen.

Die durch extreme Winde bedingte Kernschadenshäufigkeit beträgt $1,61 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr.

Tornados

Die Bestimmung der Tornadogefährdung für den KKL-Standort beruht auf den Annahmen der Richtlinie ENSI-A05 (Ausgabe Januar 2009) bezüglich Verteilung der Tornados in der Schweiz sowie Eintrittshäufigkeit und Schadenszugsabmessungen. Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass ein Tornado das Kernkraftwerkareal des KKL trifft, wird ein geometrischer Ansatz verwendet, der die Abmessungen des Tornadoschadenszugs und die Fläche des Areal berücksichtigt.

Die Tornadogefährdung wird mit drei auslösenden Ereignissen modelliert, welche die Tornadoklassen der Fujita-Skala F0/F1, F2 sowie F3 und grösser darstellen. Für jedes auslösende Ereignis wird eine Unsicherheitsverteilung berücksichtigt und ein Mittelwert bestimmt.

Die Auswirkungen von Tornados werden mit Hilfe von Fragilities abgebildet. Gebäude mit Fenstern werden als unverfügbar angenommen. Ferner wird ein totaler Ausfall der externen Stromversorgung unterstellt.

Als Ergebnis einer Anlagenbegehung wird ein mögliches Optimierungspotential des Schutzes gegen Tornado bei grossen Lufteinlass- und -auslassöffnungen im Notstanddieselgebäude und in den Notkühltürmen identifiziert.

Die durch Tornados bedingte Kernschadenshäufigkeit beträgt $6,38 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr.

Beurteilung des ENSI

Extreme Winde

Die Analyse zu extremen Winden in der KKL PSA 2016 entspricht im Allgemeinen dem Stand der Technik. Bei der Ermittlung der Windgefährdung fehlt die Berücksichtigung der Messwerte eines weiteren Standorts mit Langzeitmesswerten bzw. ist nicht nachvollziehbar, wie die Daten aus dem MeteoSchweiz-Bericht^{MetS-227} zur Vervollständigung der KKL-Messwerte verwendet wurden.

Die in der KKL PSA 2016 ermittelte Windgefährdung ergibt für starke Stürme wie Lothar (Dezember 1999) plausible Wiederkehrperioden. Die Annahmen zur Bestimmung der Fragilities sind nachvollziehbar beschrieben. Die Fragilities wurden dem Stand der Technik entsprechend ermittelt.

Der Beitrag von extremen Winden zur Kernschadenshäufigkeit ist in seiner Grössenordnung plausibel.

Tornados

Die Bestimmung der Tornado-Gefährdung entspricht im Allgemeinen dem Stand der Technik. In der Studie des KKL werden noch nicht die neuen Daten zu Tornados gemäss der Richtlinie ENSI-A05, Ausgabe Januar 2018 berücksichtigt.

Die Annahmen zur Bestimmung der Fragilities sind nachvollziehbar beschrieben. Insbesondere werden die für Tornados von extremen Winden unterschiedlichen Bedingungen berücksichtigt. Die Fragilities wurden dem Stand der Technik entsprechend ermittelt.

Das mögliche Optimierungspotential bezüglich des Schutzes gegen Tornado und die adäquate Abbildung der Tornadogefährdung im PSA-Modell wird im Rahmen der Aktionsliste verfolgt. Durch die Behandlung der Verbesserungspunkte erwartet das ENSI einen leicht höheren CDF-Beitrag durch Tornados.

7.3.6.4 Externe Überflutung

Angaben des KKL

Die KKL PSA 2016 enthält folgende überflutungsbezogene Untersuchungen:

- hohe Pegelstände des Rheins aufgrund von Schneeschmelze und/oder Perioden starker Regenfälle;
- Wehr- und Dammbüche an Aare und Rhein;
- Starkregen;
- Verlust der Stauhaltung des Wehrs Albruck-Dogern bei Niedrigwasser.

Bei hohen Pegelständen kann nicht ausgeschlossen werden, dass aufgrund hohen Treibgutaufkommens die Rhein-Wasserfassung ausfällt.

Wegen der im Vergleich zu den zu erwartenden Wasserständen erhöhten Lage des KKL, wegen der vom KKL vorgesehenen Schutzmassnahmen gegen das Ausfallen der Wasserfassung und wegen des Notkühlwassersystems wird geschlossen, dass auch unter extremen Bedingungen für das KKL keine Gefahr durch hohe Pegelstände des Rheins oder Wehr- und Dammbüche an Aare und Rhein besteht. Daher wird kein entsprechendes auslösendes Ereignis im PSA-Modell abgebildet.

Das einem 10'000-jährlichen Niederschlag entsprechende auslösende Ereignis „Starkregen“ wird mit einer Eintrittshäufigkeit von 10^{-4} pro Jahr im PSA-Modell abgebildet. Unter der Annahme, dass dieses Ereignis wegen hohen Treibgutaufkommens zum Ausfall der Rhein-Wasserfassung führt, ergibt sich ein CDF-Beitrag von $1,03 \cdot 10^{-11}$ pro Jahr.

Das auslösende Ereignis „Verlust der Stauhaltung des Wehrs Albrück-Dogern bei Niedrigwasser“ wird ebenfalls im PSA-Modell abgebildet. Unter der Annahme, dass dieses Ereignis mit einer Häufigkeit von $2 \cdot 10^{-5}$ pro Jahr auftritt und zum Ausfall der Rhein-Wasserfassung führt, ergibt sich ein CDF-Beitrag von $1,68 \cdot 10^{-12}$ pro Jahr.

Beurteilung des ENSI

In der KKL PSA 2016 werden die relevanten Kategorien von Überflutungsereignissen betrachtet.

Im Hinblick auf hohe Pegelstände aufgrund von Schneeschmelze und/oder Perioden starker Regenfälle sowie auf Wehr- und Dammbüche an Aare und Rhein bezieht sich das KKL auf Untersuchungen im Rahmen der ENSI-Verfügungen vom 18. März 2011^{ENSI 2011-03-18} und vom 1. April 2011^{ENSI 2011-04-1}. In 2011 bzw. 2012 hatte das ENSI die vom KKL hergeleiteten Pegelstände für das 10'000-jährliche Hochwasser als plausibel^{ENSI 12/1623} und für Wehr- und Dammbüche als konservativ abdeckend^{ENSI 12/1714} beurteilt. Diese Beurteilungen gelten weiterhin.

Die angenommenen Konsequenzen eines Starkregens sind auch unter Berücksichtigung von potenziellem Wassereintritt in Gebäude sowie von schweren Dachlasten durch sich akkumulierendes Wasser im Rahmen der Nachweise des ausreichenden Schutzes des KKL gegen extreme Wetterbedingungen^{ENSI 12/2258} überprüft worden, sie sind abdeckend gewählt. Die Grössenordnung des CDF-Beitrags ist plausibel. Auch die angenommenen Konsequenzen eines Verlusts der Stauhaltung sind abdeckend gewählt, die Grössenordnung des CDF-Beitrags ist ebenfalls plausibel.

Es erscheint inkonsistent, für Starkregen den Ausfall der Wasserfassung wegen Treibgut zu unterstellen und infolgedessen ein auslösendes Ereignis abzubilden, für hohe Pegelstände und Wehr- oder Dammbüche jedoch nicht. Im Endeffekt führen all diese Ereignisse schlimmstenfalls wegen hohen Treibgutaufkommens zum Ausfall der Wasserfassung. Der hohe Schutzgrad des KKL gegen einen solchen Ausfall spiegelt sich in der entsprechenden bedingten Kernschadenswahrscheinlichkeit (hier: CDF-Beitrag von Starkregen geteilt durch Eintrittshäufigkeit des Starkregens) von rund 10^{-7} wider. Dementsprechend würden sich für hohe Pegelstände und Wehr- oder Dammbüche auch bei Unterstellung eines Ausfalls der Wasserfassung ähnlich geringe CDF-Beiträge ergeben wie für Starkregen. Eine Abbildung dieser Ereignisse im PSA-Modell hätte keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamt-CDF, auf Importanzen oder auf das Risikoprofil des KKL. Die vom KKL gewählte Vorgehensweise ist daher akzeptabel.

7.3.6.5 Unfallbedingter Flugzeugabsturz

Angaben des KKL

In der PSA abgebildet sind unfallbedingte Abstürze:

- von kommerziellen Grossflugzeugen mit einem Gewicht oberhalb 5,7 t;
- von Kleinflugzeugen (inklusive Helikoptern); und
- von strahlgetriebenen Kampfflugzeugen.

Die Anzahl N der jährlichen Flugbewegungen wird aus Statistiken für die in der Nähe des KKL befindlichen Flughäfen, -plätze und -felder sowie Transitrouten bestimmt. Die jeweilige Absturzrate C pro Flugbewegung bzw. pro Flugkilometer wird – sofern vorhanden – der Richtlinie ENSI-A05 (kommerzielle Grossflugzeuge) entnommen oder aus Schweizer Statistiken hergeleitet. Die Bestimmung der für das KKL relevanten Absturzdichte ρ (pro Quadratkilometer im Start- und Landeverkehr bzw. pro Flugkilometer im Transitverkehr), unter der Bedingung eines Absturzes, erfolgt unter Verwendung geometrischer Modelle. Aus dem Produkt dieser drei Grössen (N , C , ρ) wird Flugzeugkategorie-spezifisch die absolute jährliche Absturzdichte, ausgedrückt als Häufigkeit pro Jahr und Quadratkilometer, berechnet. Diese Häufigkeit wird wiederum mit der virtuellen Tref-ferfläche (Schattenrissfläche) sicherheitsrelevanter Gebäude multipliziert, um die jährliche Aufprallhäufigkeit Flugzeug-spezifisch und Gebäude-spezifisch zu bestimmen. Die Ermittlung der Absturzkonsequenzen bei einem Anprall erfolgt für spezifische, als repräsentativ identifizierte Flugzeugtypen aus den drei betrachteten Gruppen.

Bei Gebäudeversagen wird der Ausfall aller darin befindlicher Komponenten angenommen. Unabhängig davon wird für jeden Aufprall der Ausfall der externen Stromversorgung angenommen. Ferner werden indirekte Aufprallwirkungen (wie z. B. Trümmerflug und Brände) untersucht und teilweise (sofern als relevant identifiziert) im Modell abgebildet. Beispielsweise wird die im Freien gelagerte Ausrüstung als unverfügbar angenommen. Der so ermittelte Beitrag von Flugzeugabstürzen zur CDF ist $4,23 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr.

Beurteilung des ENSI

Die Analyse von Flugzeugabstürzen entspricht den methodischen Vorgaben der Richtlinie ENSI-A05. Sie ist weitgehend nachvollziehbar dokumentiert und führt zu plausiblen bzw. teilweise konservativen Resultaten. Als positiv hervorzuheben ist die im Vergleich zu den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A05 verfeinerte Analyse für kommerzielle Grossflugzeuge, die erheblich schwerer als 5,7 t sind. Der ermittelte Beitrag von Flugzeugabstürzen zur CDF ist gesamthaft plausibel. Hinsichtlich Nachvollziehbarkeit liegen kleinere Unstimmigkeiten vor, die keinen relevanten Einfluss auf das Ergebnis haben.

7.3.6.6 Weitere externe Ereignisse

Angaben des KKL

Zu den Gefährdungen Ausfall der Wasserfassungen, Blitze und Sonnenstürme macht das KKL zusammengefasst folgende Angaben:

- Die Häufigkeit eines Ausfalls der Wasserfassungen wird bestimmt, indem die Betriebserfahrung der französischen Kernkraftwerke statistisch ausgewertet wird. Die so ermittelte Häufigkeit von $4,6 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr ist konservativ, da viele französische Kernkraftwerke am Meer liegen und damit eine Verstopfung der Wasserfassungen durch Algen und Muscheln wahrscheinlicher ist. Aus dem Ausfall der Wasserfassungen resultiert ein CDF-Beitrag von $9,81 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr.
- Das KKL ist gegen Blitzschlag ausgelegt. Seit 2008 wurde die Anlage verschiedentlich nachgerüstet, um die Konsequenzen eines Blitzschlags auf die Anlage zu reduzieren. Die Auswirkung eines Blitzschlags wird in der PSA als Ausfall der Normalnetzeinspeisung modelliert. Die Häufigkeit eines solchen Ereignisses wird basierend auf Statistiken von MeteoSchweiz auf $3,64 \cdot 10^{-2}$ pro Jahr abgeschätzt. Der durch Blitzschlag resultierende Beitrag zur CDF beträgt $8,32 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr.
- Sonnenstürme können zu einer Änderung des Erdmagnetfelds führen. Dadurch können beispielsweise Ströme in Leitungen induziert werden. Die Auswirkung eines Sonnensturms wird in der PSA als separate Transiente modelliert (Totalausfall der externen Stromversorgung und Ausfall der Eigenbedarfsversorgung). Die Eintrittshäufigkeit eines solchen Ereignisses wird auf $1 \cdot 10^{-3}$ pro Jahr geschätzt. Der durch Sonnenstürme resultierende Beitrag zur CDF beträgt $9,02 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr.

Beurteilung des ENSI

Die probabilistische Bewertung der drei Gefährdungen beurteilt das ENSI wie folgt:

- Die Abschätzung des KKL zum Ausfall der Wasserfassungen ist aus Sicht des ENSI konservativ, insbesondere da das KKL über eine Warmwasserrückführung verfügt, womit ein Vereisen der Wasserfassung vermieden werden kann. Damit ist ein relevanter Versagensmodus ausgeschlossen.
- Die Modellierung eines Blitzschlags als Auslöser einer Transiente mit Verlust der Netzeinspeisung ist aus Sicht des ENSI angemessen. Details zum Blitzschutz sind in Kap. 4.6.2 dargelegt.
- Die bei einem Sonnensturm emittierten Teilchen können auf das Erdmagnetfeld treffen. Da sie dabei den Magnetfeldlinien folgen, treten sie in der Umgebung der magnetischen Pole in die Erdatmosphäre ein. Mit steigender Intensität des Sonnensturms vergrößert sich sein Auswirkungsbe- reich. Deshalb nimmt die Intensität der Auswirkungen eines Sonnensturms auf der Nordhalbkugel von Norden nach Süden ab. Das ENSI hat elektromagnetische Auswirkungen aufgrund solarer Erup- tionen bereits betrachtet^{ENSI 7911}. Insgesamt sind die vom KKL abgeschätzte Auswirkung und die ent- sprechenden Risikobeiträge plausibel.

7.3.7 Ergebnisse der Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb

Angaben des KKL

Die in der KKL PSA 2016 für auslösende Ereignisse während des Leistungsbetriebs ermittelte CDF beträgt $1,55 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr. Die Tabelle 7.3-2 zeigt die zugehörigen Risikobeiträge.

Tabelle 7.3-2: CDF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Vollast)

	Ereigniskategorie	Mittlere CDF [1/a]	Anteil* [%]
Interne Ereignisse	Transienten	$1,19 \cdot 10^{-7}$	7,7
	LOCA	$1,39 \cdot 10^{-7}$	9,0
	Total	$2,58 \cdot 10^{-7}$	16,7
Interne systemüber- greifende Ereignisse	Interne Brände	$4,86 \cdot 10^{-8}$	3,1
	Interne Überflutungen	$2,97 \cdot 10^{-8}$	1,9
	Total	$7,85 \cdot 10^{-8}$	5,1
Externe Ereignisse	Erdbeben	$9,75 \cdot 10^{-7}$	62,9
	Extreme Winde	$1,61 \cdot 10^{-7}$	10,4
	Tornados	$6,38 \cdot 10^{-9}$	0,4
	Flugzeugabsturz	$4,23 \cdot 10^{-8}$	2,7
	Blitz	$8,32 \cdot 10^{-9}$	0,5
	Starke Niederschläge	$1,03 \cdot 10^{-11}$	0,0
	Sonnenstürme	$9,02 \cdot 10^{-9}$	0,6
	Ausfall der Wasserfassungen	$9,81 \cdot 10^{-9}$	0,6
	Externe Überflutung	$1,68 \cdot 10^{-12}$	0,0
	Total	$1,21 \cdot 10^{-6}$	78,1
Alle Ereignisse	Gesamttotal	$1,55 \cdot 10^{-6}$	

* Aufgrund von Rundungseffekten ist die Summe der Anteile (Gesamttotal) nicht genau gleich 100 %

Die CDF des KKL ist von externen Ereignissen – insbesondere Erdbeben – dominiert, mit weitem Abstand gefolgt von internen Ereignissen. Die übrigen Beiträge sind vergleichsweise gering.

Die mit der KKL PSA 2016 ausgewiesenen CDF-Werte basieren auf einer vollumfänglichen Überarbeitung des innerhalb der PSÜ 2006 vorgelegten PSA-Modells LPSA2006. Die Dokumentation enthält eine Beschreibung und Begründung wichtiger Modelländerungen sowie eine Bewertung ihrer Auswirkungen auf die ausgewiesene CDF. Hervorgehoben wird, dass die Nachrüstung der SAMG-Diesel (drei Dieselgeneratoren, von denen nur der stärkste im PSA-Modell abgebildet ist) eine Verminderung der CDF um etwa 15 % bewirkt hat. Andere Anlagenänderungen hatten ebenfalls einen CDF-senkenden Einfluss, wenn auch weniger deutlich ausgeprägt.

Das KKL hat mehrere Importanzanalysen, unter anderem für Komponenten und Operateurhandlungen, durchgeführt. Eine hohe Bedeutung gemäss Fussel-Vesely-Importanz (FV) ergibt sich für Komponenten des RCIC sowie Komponenten der elektrischen Eigenbedarfsversorgung. Für die CDF am bedeutendsten gemäss Risk Achievement Worth (RAW) sind Komponenten der Reaktorschnellabschaltung sowie Rückschlagklappen in Einspeiseleitungen.

Die höchste Importanz von Operateurhandlungen bezüglich FV weisen Handlungen zur Verhinderung oder Rücksetzung des Abschaltens des RCIC aufgrund eines zu hohen Füllstands im Reaktordruckbehälter und Handlungen im Zusammenhang mit der Druckentlastung des Reaktors auf. Die manuelle Druckentlastung des Reaktors ist auch im Hinblick auf den RAW als „von sicherheitstechnischer Bedeutung“ einzustufen. Das KKL kündigt an, dass im Hinblick auf mögliche Optimierungen untersucht werden soll, wie die Bedeutung der Handlung zur Verhinderung des Abschaltens des RCIC aufgrund eines zu hohen Füllstands im Reaktordruckbehälter verringert werden kann, ohne die Systemversagenswahrscheinlichkeit zu erhöhen.

Beurteilung des ENSI

Das KKL hat eine umfassende Stufe-1-PSA entwickelt. Die Integration zu einem Gesamtmodell erfolgte systematisch, die Dokumentation ist detailliert und grundsätzlich gut nachvollziehbar. Besonders positiv hervorzuheben ist, dass das KKL seine PSA (sowohl der Stufe 1 als auch der Stufe 2) einem Peer Review durch ein Expertenteam der IAEA unterzogen hat. Dies zeigt, dass das KKL einer gut fundierten, dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden PSA einen hohen Stellenwert beimisst und seine PSA dementsprechend überprüft und weiterentwickelt. Das Stufe-1-PSA-Modell ist, auch wenn Verbesserungspotential besteht, eine gute Grundlage für risikotechnische Anwendungen.

Der FV ist ein Mass dafür, wie stark die CDF sinken würde, wenn die betrachteten Komponenten nie ausfielen bzw. Operateurhandlungen garantiert erfolgreich wären. Die vom KKL ausgewiesene hohe Bedeutung bezüglich FV von Komponenten des RCIC spiegelt wider, dass viele Unfallsequenzen durch den Ausfall der anderen Einspeisesysteme aufgrund des auslösenden Ereignisses in Kombination mit einem CCF charakterisiert sind. In solchen Fällen bleibt für die Störfallbeherrschung entweder das dampfgetriebene RCIC oder, bei erfolgreicher manueller Druckabsenkung, eine gravitationsgetriebene Einspeisung aus dem Hinterberg-Reservoir. Dementsprechend weisen auch Komponenten der elektrischen Eigenbedarfsversorgung (wegen des im Importanzmass berücksichtigten redundanzübergreifenden CCF) sowie Handlungen zur Verhinderung oder Rücksetzung des Abschaltens des RCIC aufgrund eines zu hohen Füllstands im Reaktordruckbehälter und Handlungen im Zusammenhang mit der Druckentlastung des Reaktors hohe FV-Werte auf.

Der RAW gibt an, um welchen Faktor die CDF steigen würde, wenn die betrachteten Komponenten garantiert ausfielen bzw. Operateurhandlungen nie erfolgreich wären. Hohe RAW-Werte für CCF sind generell zu erwarten, da sie zwar redundanzübergreifende Auswirkungen haben, aber gleichzeitig auch eine geringe Wahrscheinlichkeit aufweisen. So führt ein CCF, der eine grössere Anzahl Steuerstäbe betrifft, – diese gelangen dann nicht in den Reaktorkern – dazu, dass der Reaktor nur noch mit Hilfe einer Boreinspeisung abgeschaltet werden kann. Ein CCF von Rückschlagklappen in Einspeiseleitungen macht gleichzeitig mehrere Einspeisesysteme unverfügbar. Das Misslingen der manuellen Druckentlastung wirkt ähnlich wie ein redundanzübergreifender CCF, da ohne Druckabsenkung keines der Niederdruckeinspeisesysteme Wasser in den Reaktor fördern kann und da für die entsprechende Handlung eine relativ geringe HEP ausgewiesen ist. Daher ist es

plausibel, dass die manuelle Druckabsenkung auch im Hinblick auf den RAW eine sicherheitstechnische Bedeutung aufweist.

Das KKL hat die Auswertung von Minimalschnitten und Importanzwerten im Hinblick auf Ansatzpunkte für Optimierungen nicht nur unter Berücksichtigung der Kernschadenshäufigkeit, sondern auch der Brennstoffschadenshäufigkeit (vgl. Kap. 7.6.8) und der grossen, frühen Freisetzung (vgl. Kap. 7.4.5) durchgeführt. Diese systematische Herangehensweise ist zu begrüßen. Dadurch hat das KKL auch die hohe Bedeutung der Handlungen im Zusammenhang mit der Einspeisung aus dem Hinterberg-Reservoir erkannt und auf entsprechendes Optimierungspotenzial untersucht. Das ENSI wird Ansatzpunkte für Optimierungen im Rahmen der Aktionsliste verfolgen.

Die Erkenntnisse aus der KKL PSA 2016 zeigen, dass das KKL bei Leistungsbetrieb ein sehr hohes Sicherheitsniveau aufweist. Ein grosser Teil der CDF ist auf extreme Erdbeben zurückzuführen. Interne Ereignisse weisen aufgrund von Redundanz und Diversität im KKL einen relativ geringen CDF-Beitrag auf. Auch interne systemübergreifende Ereignisse sind wegen der guten Redundanztrennung des KKL risikotechnisch weniger bedeutsam.

7.4 Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb

Die Stufe-2-PSA analysiert das Anlagenverhalten bei schweren Unfällen (auslegungsüberschreitende Störfälle, bei denen es zu einer Kernschmelze kommt und grosse Freisetzung möglich sind). Insbesondere die Belastung und das Verhalten des Containments sowie der Umfang und die Häufigkeit der zu erwartenden Aktivitätsfreisetzung (Quellterme) stehen dabei im Vordergrund der Analyse.

Die mit der KKL PSA 2016 eingereichte Stufe-2-PSA ist eine Weiterentwicklung der Studie von 2006. Sie basiert auf der aktuellen Stufe-1-PSA und berücksichtigt somit sämtliche relevanten internen, internen systemübergreifenden und externen Ereignisse.

7.4.1 Kernschadenzustände der Anlage

Angaben des KKL

Mit der Stufe-1-PSA wird eine Vielzahl von Unfallsequenzen berechnet. Diese Sequenzen werden zu sogenannten Kernschadenzuständen (Plant Damage States, PDS) gruppiert. Zusammengefasst werden dabei jeweils Unfallsequenzen, die zu einem ähnlichen Schwerunfallablauf führen. Dazu werden die Unfallsequenzen nach einheitlichen Merkmalen gruppiert (Druck im RDB, Reaktorschnellabschaltung erfolgreich oder nicht, Wasser im Drywell vorhanden oder nicht, Status der Druckabbaukammer, Betriebszustand) und die Containmentsysteme sowie alle notwendigen Operateurhandlungen inkl. allfälliger schadensmindernder Notfallenschutzmassnahmen (Containmentisolation, gefilterte Druckentlastung, Wasserstoffzündsystem) abgefragt. Insgesamt resultieren daraus mehr als 2000 verschiedene Kernschadenzustände, welche in einer PDS-Matrix dargestellt werden.

Damit die Analyse handhabbar bleibt, ist eine weitere Gruppierung in eine geringere Anzahl von Hauptkernschadenzuständen (Key Plant Damage States, KPDS) notwendig. Für diese Gruppierung werden den einzelnen Parametern der PDS-Matrix je nach Schweregrad unterschiedliche Faktoren zugeordnet und diejenigen PDS mit geringeren Konsequenzen und niedrigeren Eintrittshäufigkeiten konservativ in KPDS mit höheren Eintrittshäufigkeiten und schwerwiegenderen Konsequenzen zusammengefasst. Daraus resultieren 22 KPDS für den Leistungsbetrieb. Die Häufigkeiten der KPDS werden auf eine einfachere Art quantifiziert als die CDF. Die daraus resultierenden Unterschiede werden mit einem Skalierungsfaktor ausgeglichen.

Aus den KPDS geht hervor, dass im Leistungsbetrieb bei Einsetzen des Kernschadens das Containment zu 45 % intakt und isoliert ist, zu 36 % das Containment beschädigt oder nicht isoliert ist, zu 16 % der Druckentlastungspfad bereits vor Kernschaden geöffnet ist und zu 3 % ein Containmentbypass existiert.

Beurteilung des ENSI

Das Vorgehen zur Gruppierung der Unfallsequenzen in KPDS entspricht im Allgemeinen dem Stand der Technik. Eine Überprüfung der Gruppierung in KPDS zeigt, dass diese Gruppierung in konservativer Weise durchgeführt wurde. Für das ENSI ist es jedoch unklar, ob das vereinfachte Verfahren für die KPDS-Quantifizierung einen Einfluss auf die Endresultate der Stufe-2-PSA hat.

7.4.2 Containmenttragfähigkeit

Das Containment (bestehend aus Drywell und Druckabbaukammer) ist die letzte Rückhaltebarriere für Spaltprodukte. Im Verlauf des schweren Unfalls sind starke – von unterschiedlichen Phänomenen herrührende – Belastungen des Containments zu erwarten. Daher kommt der Containmenttragfähigkeit eine wichtige Rolle bei der Analyse des Freisetzungsriskos zu.

Angaben des KKL

Um das Verhalten des Containments unter Unfallbedingungen zu bestimmen, wurden Strukturanalysen für das Containment und den Drywell durchgeführt. Für dominierende Versagensorte wurden anschliessend detailliertere Analysen mit Finite-Elemente-Methoden durchgeführt. Ausserdem wurden die Ergebnisse der alle zehn Jahre durchgeführten integralen Leckratenprüfungen herangezogen.

Beurteilung des ENSI

Die Analysen des KKL zur Bestimmung der Containmenttragfähigkeit entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik und erfüllen die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A05. Die relevanten Versagensarten und -orte wurden identifiziert und untersucht.

7.4.3 Containmentbeanspruchungen und Unfallablaufanalyse

Angaben des KKL

Die Beanspruchungen des Containments für die verschiedenen KPDS wurden im Wesentlichen mit einem auf der MELCOR-Version 1.8.6 basierenden anlagespezifischen Unfallsimulator bestimmt. Dieser Simulator wurde in den letzten Jahren weiterentwickelt und kann jetzt auch dynamische Vorgänge bei der Wasserstoffverbrennung berücksichtigen. Es ist geplant für den Unfallsimulator künftig die aktuellere MELCOR-Version 2.1 zu verwenden.

In der Stufe-2-PSA werden schwerpunktmässig die Beanspruchungen durch die Phänomene Druckentlastung des RDB (Offenbleiben eines SRV oder Kriechversagen bei hohem Druck), Wasserstoff- und Kohlenmonoxidverbrennungen, Dampfexplosionen, hochenergetisches Herausschleudern von Kernschmelze mit resultierendem schnellem Aufheizen der Containmentatmosphäre (High-Pressure Melt Ejection/Direct Containment Heating), langfristigen Druckaufbau (Dampf und nicht kondensierbare Gase) und die Schmelze-Beton-Wechselwirkung betrachtet. Da das Containment über ein passives Vakuumbrechsystem verfügt um ein Unterdruckversagen zu verhindern, wird angenommen, dass dieses seine Funktion in jedem Fall erfüllt. Das Vakuumbrechsystem wird deshalb nicht modelliert.

Das verwendete MELCOR-Modell unterscheidet zwischen einem globalen Versagen der RDB-Bodenkalotte und einem lokalen Versagen bei einer Durchdringung. Bei allen Szenarien im Leistungsbetrieb kommt es zum Versagen bei einer Durchdringung vor einem globalen Versagen. Steht ein Niederdruckeinspeisesystem zur Verfügung, wird eine Rückhaltung der Kernschmelze im RDB als praktisch sicher unterstellt.

Der Unfallablaufbaum besteht aus 11 Abfragen und bildet die Merkmale und Beanspruchungen eines schweren Unfalls logisch ab, welche die radioaktive Freisetzung in die Umgebung beeinflussen. Die aus dem Unfallablaufbaum resultierenden Endzustände werden Freisetzungskategorien zugeordnet. Die Freisetzungskategorien sind durch den Zustand des Containments, den Zeitpunkt der Freisetzung und verschiedene Aspekte

der Spaltproduktückhaltung charakterisiert. Zusammenfassend kann aus den Freisetzungskategorien für Leistungsbetrieb abgeleitet werden, dass:

- das Containment mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 11 % bei einem schweren Unfall intakt bleibt;
- es mit rund 46 % zu einer frühen oder späten Druckentlastung kommt, wobei diese mehrheitlich gefiltert ist;
- der Containmentabschluss mit knapp 2 % versagt;
- das Containment mit rund 39 % versagt; und
- das Containment mit rund 2 % umgangen wird (Containmentbypass).

Beurteilung des ENSI

In der Stufe-2-PSA werden alle gemäss Richtlinie ENSI-A05 für das Containment relevanten Phänomene und die damit verbundenen Beanspruchungen bewertet. Die dazu verwendeten Methoden und Rechencodes entsprechen im Allgemeinen dem Stand von Wissenschaft und Technik. Der Unfallablaufbaum enthält die relevanten Unfallphänomene und -belastungen und bildet den Verlauf der Unfallsequenzen sinnvoll ab. Die Definition der Freisetzungskategorien entspricht den Anforderungen der Richtlinie ENSI-A05. Die Analysen mit dem Unfallsimulator sind detailliert und gut dokumentiert.

Die ausgewiesenen Häufigkeiten der Freisetzungskategorien sind bis auf jene für den Containmentbypass, wo es eine kleine numerische Inkonsistenz gibt, plausibel.

Mehrheitlich bleibt das Containment nach einem schweren Unfall intakt oder wird durch eine (gefilterte) Druckentlastung geschützt. Die bedingte Wahrscheinlichkeit für ein Containmentversagen bei einem schweren Unfall stammt im Wesentlichen aus einem Unfallablauf mit Abschlussversagen von Entwässerungsleitungen. Die daraus resultierende Leckage ist nicht ausreichend, um eine Ansammlung von Wasserstoff im Containment zu vermeiden. Im weiteren Unfallablauf kommt es zu Wasserstoffexplosionen, die zum Containmentversagen führen. Im Rahmen des Fukushima-Aktionsplans hat das ENSI hierzu bereits Nachrüstungen gefordert^{ENSI 2013-04-22}, die sich in der Umsetzungsphase befinden. Im Weiteren ist zu bemerken, dass aufgrund einer Forderung aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 die Armaturen zum Abschluss der Entwässerungsleitungen an das batteriegestützte Wechselstromsystem angeschlossen wurden, wodurch sich die Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung deutlich reduzierte. Die Leckage an den Entwässerungsleitungen wird nun hauptsächlich durch erdbebeninduziertes Versagen von Leittechnikschranken und elektrischer Schaltanlagen verursacht, vgl. hierzu auch Kap. 7.4.5.

Das ENSI hat Verbesserungsbedarf bei der Modellierung identifiziert, der im Wesentlichen nachfolgend dargestellt wird:

- Das Vakuumbrechsystem wird über den Differenzdruck gesteuert und benötigt elektrische Energie und Steuerluft. Das System ist deshalb nicht passiv, wie vom KKL unterstellt wird.
- Die postulierte, praktisch sichere Rückhaltung einer Kernschmelze im RDB nach Durchdringungsversagen bei Verfügbarkeit eines Niederdruckeinspeisesystems, basiert auf entsprechenden MELCOR-Rechnungen. Aus Sicht des ENSI ist dieses Verhalten nicht gesichert, da unklar ist, ob die Kernschmelze nach einem Durchdringungsversagen durch Flutung von oben kühlbar ist. Die MELCOR-Referenzdokumentation^{MELCOR} hält fest, dass die mit dem Versagen der RDB-Bodenkalotte in Verbindung stehenden Modelle eine hohe Unsicherheit aufweisen. Die Bedeutung dieser Annahme für die PSA-Resultate ist unklar.
- Das ENSI teilt die Auffassung, dass es von Vorteil ist, zukünftig eine aktuellere MELCOR-Version für die Stufe-2-PSA zu verwenden.
- Bei einzelnen Phänomenen (z. B. Dampfexplosion) ist es für das ENSI nicht ganz klar, wie sich die gewählten Modellierungsannahmen auf die Häufigkeit von grossen frühen Freisetzungen auswirken.

7.4.4 Quelltermanalyse

Angaben des KKL

Für jede Freisetzungskategorie wird mit dem anlagenspezifischen Unfallsimulator ein Quellterm berechnet. Ein Quellterm charakterisiert den zeitlichen Verlauf und die nuklidspezifische Menge der in die Umgebung freigesetzten radioaktiven Stoffe.

Das totale Freisetzungsrisiko ist definiert als Summe der Häufigkeit der einzelnen Freisetzungskategorien multipliziert mit den jeweiligen Quelltermen und beträgt im Leistungsbetrieb $9,68 \cdot 10^{12}$ Bq pro Jahr. Das Freisetzungsrisiko durch Aerosole beträgt $9,72 \cdot 10^{11}$ Bq pro Jahr. Die Freisetzungskategorie mit frühem Containmentversagen liefert jeweils den höchsten Beitrag.

Beurteilung des ENSI

Der Methode zur Bestimmung der Freisetzungen entspricht dem Stand der Technik und folgt den Anforderungen der Richtlinie ENSI-A05. So basieren die ermittelten Freisetzungen auf anlagenspezifischen Berechnungen und werden detailliert dargestellt.

Das Nuklid Cäsium kann sich entsprechend der Modellierung mit Iod zu Cäsiumiodid oder zu Cäsiumhydroxid verbinden. Dies entspricht nicht mehr dem aktuellen Stand der Wissenschaft, wonach die Verbindung zu Cäsiumhydroxid in Konkurrenz zur Verbindung zu Cäsiummolybdat steht. Die gewählte Modellierung (Verbindung zu Cäsiumhydroxid) führt allerdings zu grösseren Freisetzungen in die Umgebung und ist deshalb eine abdeckende Modellannahme.

Bei der Überprüfung hat das ENSI jedoch auch Verbesserungsbedarf identifiziert. Ein Punkt betrifft die Berücksichtigung des Notabluftsystems und der damit einhergehenden Filterung, ohne dass die Verfügbarkeit dieses Systems im PSA-Modell abgefragt wird. Auch sind keine Untersuchungen dokumentiert, die zeigen, dass es durch die Nachzerfallswärme der in den Aktivkohlefiltern zurückgehaltenen Spaltprodukte nicht zu einem Versagen der Filter kommt.

7.4.5 Ergebnisse der Stufe-2-PSA

Angaben des KKL

Basierend auf den Quelltermen wird ermittelt, ob eine Freisetzungskategorie die Kriterien für eine grosse frühe Freisetzung (Large Early Release Frequency, LERF) erfüllt. Unfälle, welche innerhalb der ersten 10 h nach Kernschaden mehr als $2 \cdot 10^{15}$ Bq Iod-131 in die Umgebung freisetzen, werden gemäss dem KKL zur LERF gezählt.

Für den Leistungsbetrieb beträgt die LERF gemäss dem KKL $6,98 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr und wird, wie Tabelle 7.4-1 zeigt, zu gut 76 % von Erdbeben dominiert. Weitere Beiträge liefern extreme Winde und Tornados (11 %), Kühlmittelverluststörfälle (7 %) und Flugzeugabsturz (5 %). Insgesamt beträgt der Anteil der LERF an der CDF rund 45 %.

Tabelle 7.4-1: LERF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Volllast)

	Ereigniskategorie	Mittlere LERF [1/a]	Anteil [%]
Interne Ereignisse	Transienten	$1,68 \cdot 10^{-9}$	0,2
	LOCA	$4,93 \cdot 10^{-8}$	7,1
	Total	$5,10 \cdot 10^{-8}$	7,3
Interne systemübergreifende Ereignisse	Interne Brände	$2,06 \cdot 10^{-9}$	0,3
	Interne Überflutungen	$1,34 \cdot 10^{-9}$	0,2
	Andere interne Gefährdungen	$2,02 \cdot 10^{-12}$	0,0
	Total	$3,40 \cdot 10^{-9}$	0,5
Externe Ereignisse	Erdbeben	$5,33 \cdot 10^{-7}$	76,4
	Extreme Winde und Tornados	$7,46 \cdot 10^{-8}$	10,7
	Externe Überflutung	—	—
	Flugzeugabsturz	$3,49 \cdot 10^{-8}$	5,0
	Andere externe Gefährdungen	$1,04 \cdot 10^{-9}$	0,1
	Total	$6,44 \cdot 10^{-7}$	92,2
Alle Ereignisse	Gesamttotal	$6,98 \cdot 10^{-7}$	

Bei extremen Erdbeben, die zu Kernschaden führen, versagen meist auch Containmentsysteme wie das Wasserstoffzündsystem oder der Containmentabschluss. Dies führt zum hohen LERF-Anteil von Erdbeben. Der hohe LERF-Beitrag von extremen Winden und Tornados stammt unter anderem aus einer konservativen Modellierung der Filterbehälter des Systems zur gefilterten Containment-Druckentlastung. So wird angenommen, dass diese Behälter bei allen modellierten extremen Winden und Tornados versagen. Detailliertere Analysen der Windkapazität dieser Behälter würden realistischere Ergebnisse liefern.

Basierend auf den FV-Importanzen bezogen auf die LERF hat im Leistungsbetrieb eine unbeabsichtigte Blockierung der automatischen RDB-Druckentlastung die höchste Bedeutung. Der Ersatz des Systems zur Messung des Neutronenflusses im Reaktor (vgl. Kap. 2.4) ist für das Jahr 2018 geplant, womit diese unbeabsichtigte Blockierung in Zukunft vermieden wird. Eine hohe Bedeutung bezüglich FV-Importanz haben auch die Erdbebenfestigkeiten verschiedener Leittechnikschränke und elektrischer Schalter, das Betriebsversagen der RCIC-Pumpe, die Operateurhandlungen zur Verhinderung oder Rücksetzung des Abschaltens des RCIC aufgrund eines zu hohen Füllstands im Reaktordruckbehälter, die Operateurhandlungen zur Druckentlastung des RDB sowie die Operateurhandlungen zur Kühlmittleinspeisung in den RDB. Aus der hohen Bedeutung der Erdbebenfestigkeiten verschiedener Leittechnikschränke und elektrischer Schalter wird abgeleitet, dass die entsprechenden Annahmen genauer analysiert werden sollen. Das erdbebenbedingte Versagen solcher Installationen führt auch zu der hohen bedingten Wahrscheinlichkeit des Containmentabschlussversagens bei auslegungsüberschreitenden Erdbeben.

Der Einfluss früherer Nachrüstungen auf die LERF wurde mithilfe des aktuellen PSA-Modells untersucht und separat quantifiziert, indem das entsprechende System im aktuellen Modell als unverfügbar gesetzt wird. Unter der Annahme, dass die Auswirkungen der einzelnen Nachrüstungen voneinander unabhängig sind, können diese wie in Abbildung 7.4-1 gezeigt zusammengefasst werden.

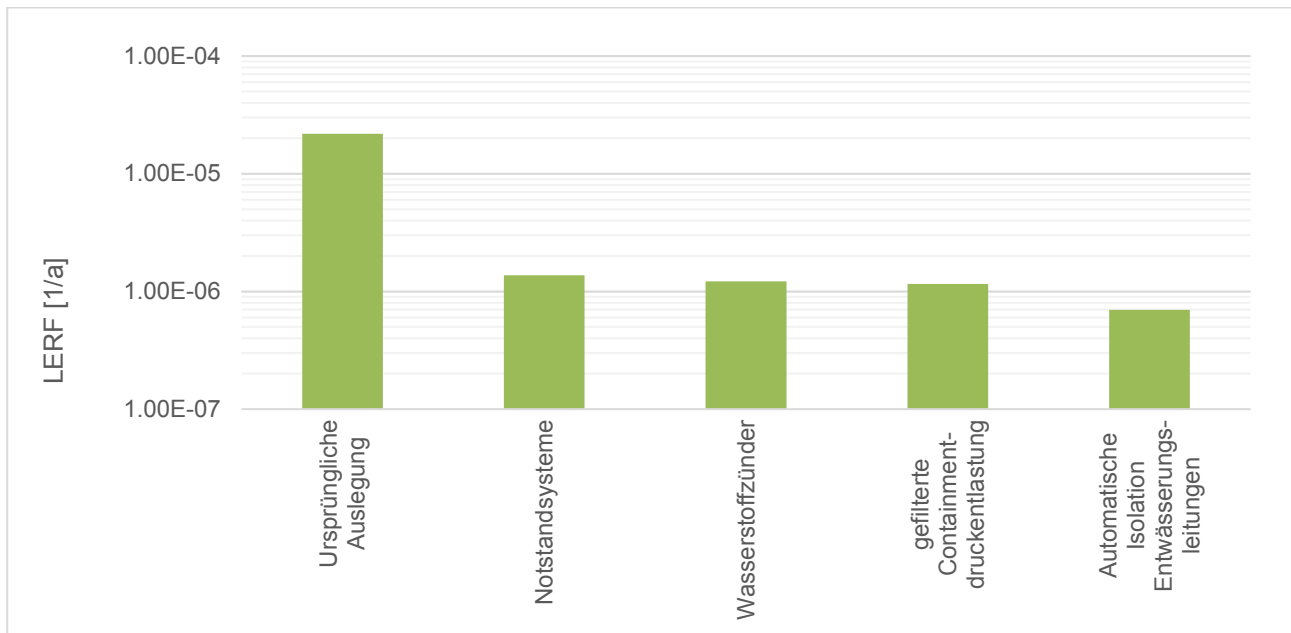


Abbildung 7.4-1: Einfluss früherer Nachrüstungen auf die LERF

Ergänzend kann festgehalten werden, dass die Nachrüstung der SAMG-Diesel (drei Dieselgeneratoren, von denen nur der stärkste im PSA-Modell abgebildet ist) zu einer Reduktion der LERF von etwa 6 % führte.

Die Risikoreduktion durch die nachgerüstete gefilterte Containment-Druckentlastung wird möglicherweise durch zu konservativ ermittelte Erdbebenfestigkeiten von Leittechnikschränken und elektrischen Schaltern maskiert, deren Versagen zum Containmentabschlussversagen (offene Entwässerungsleitungen) und damit zu einer direkten Freisetzung in die Umgebung führt.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Stufe-2-PSA überprüft. Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Das KKL hat eine umfassende Stufe-2-PSA entwickelt. Der Unfallablaufbaum ist übersichtlich, gut dokumentiert, enthält die relevanten Abfragen und basiert auf zahlreichen MELCOR-Simulationen. Dies ermöglicht eine gute Differenzierung zwischen einzelnen Sequenzen.
- Die Kriterien für die Zuordnung der Freisetzungshäufigkeiten zur Kategorie „grosse frühe Freisetzung“ (LERF) sind korrekt. Die relevanten Sequenzen, welche zu einer grossen frühen Freisetzung führen, werden in der Studie erfasst.
- Die Abbildung 7.4-1 zeigt unter anderem auch die Risikoreduktion durch die im Rahmen der Stellungnahme zur PSÜ 2006 geforderte Nachrüstung einer automatischen Isolation der Entwässerungsleitungen. Bei dieser Darstellung ist zu beachten, dass sich diese auf die Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung bezieht. Der grosse Nutzen der gefilterten Druckentlastung, die massive Reduktion der späten Aerosolfreisetzung bei schweren Störfällen mit anfänglich intaktem und geschlossenem Containment, ist aus der Betrachtung der LERF bzw. aus dieser Abbildung nicht ersichtlich.
- Wie bereits in der Stufe-1-PSA dargestellt, werden Erdbeben mit einer PGA höher als 1,3 g im PSA-Modell nicht berücksichtigt. Es kann abgeschätzt werden, dass deren Häufigkeit zu praktisch 100 % zur oben dargestellten LERF zu addieren ist. Aufgrund dieses Sachverhalts und den Vorbehalten bei der KPDS-Quantifizierung kann nicht ausgeschlossen werden, dass die LERF oberhalb von 10^{-6} pro Jahr liegt. Im Rahmen der Verfügung vom 26. Mai 2016^{ENSI-2016-05-26} wurden die Erdbebengefährdungsannahmen neu festgelegt und eine entsprechende Aktualisierung der PSA gefordert. Das ENSI wird in diesem Zusammenhang prüfen, ob die LERF grösser als 10^{-6} pro Jahr ist.

- Erdbeben mit einer PGA bis 0,6 g tragen knapp 6 % zur LERF bei. Erdbeben mit einer PGA von mehr als 0,6 g tragen $4.9 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr zur LERF bei und machen damit rund 70 % der gesamten LERF aus. Unter Berücksichtigung der im PSA-Modell vernachlässigten Erdbeben mit $PGA > 1,3$ g wird dieser Anteil noch höher. Die LERF des KKL wird also sehr stark von extremen Erdbeben mit deutlich höherer PGA als bei einem 10'000-jährlichen Ereignis bestimmt. Interne systemübergreifende Ereignisse (Brand, interne Überflutung) tragen wegen der systematischen Redundanztrennung nur sehr wenig zur LERF bei. Der LERF-Beitrag durch Kühlmittelverluststörfälle stammt grösstenteils aus Containmentbypass-Szenarien, für die im PSA-Modell garantierter Kernschaden angenommen wird.
- Erdbebeninduziertes Versagen von Leittechnikschranken und elektrischen Schaltanlagen führt zum Versagen des Containmentabschlusses und trägt signifikant zur LERF bei. Die Schlussfolgerung des KKL, dass die entsprechenden Annahmen detaillierter untersucht werden sollten, wird vom ENSI unterstützt und weiterverfolgt.
- Die Absicht, den Unfallsimulator auf Basis einer aktuelleren MELCOR-Version weiterzuentwickeln, ist aus Sicht des ENSI zielführend. Das KKL kommt damit der Forderung der Richtlinie ENSI-A05 Kap. 5.5 Bst. c nach.
- Die Inkonsistenz betreffend Containmentbypass-Szenarien, dass der LERF-Beitrag höher ist als der CDF-Beitrag, steht in Zusammenhang mit der kritisierten numerischen Inkonsistenz für die Freisetzungskategorie „Containmentbypass“.
- Für die im Unfallablaufbaum abgefragten Ereignisse der Stufe-2-PSA werden keine Importanzen berechnet. Dadurch kann keine quantitative Aussage über die Bedeutung der einzelnen Ereignisse gemacht werden. Basierend auf den eingereichten Unterlagen kann aber geschlossen werden, dass es bei mehreren KPDS aufgrund von Wasserstoffverbrennungen mit einer relativ hohen Wahrscheinlichkeit zu einem Containmentversagen kommt. Durch die sich bereits in der Umsetzung befindende Nachrüstung von passiven Einrichtungen zum Wasserstoffabbau erwartet das ENSI eine Verminderung der Wahrscheinlichkeit für ein Containmentversagen und eine leichte Reduktion der LERF.

7.5 Risiko des Brennelementlagerbeckens bei Leistungsbetrieb

Angaben des KKL

Das KKL betrachtet das Risiko des Brennelementlagerbeckens bei Leistungsbetrieb in einer eigenen Studie. In dieser Studie werden ein Ausfall aller Wechselstromversorgungen (externes Netz und Dieselgeneratoren) sowie ein Leck im Lagerbecken bei einem Erdbeben mit einer Beschleunigung von 0,31 g untersucht. Aufgrund folgender Erkenntnisse wird kein PSA-Modell des Brennelementlagerbeckens für die risikotechnische Bewertung des Leistungsbetriebs entwickelt:

- Eine Brennstoffabdeckung erfolgt erst nach 574,5 h.
- 30 Tage nach dem Wechselstromausfall und Eintritt des Lecks wird 60 % der Brennstofflänge abgedeckt und die maximale Brennstofftemperatur erreicht 462 °C (kein Brennstoffschaden). Ein Brennstoffschaden erfolgt erst nach 33 Tagen.
- Für die ersten 67,5 h ist das Brennelementlagergebäude noch begehbar, da die Lufttemperatur unter 60 °C bleibt.

Beurteilung des ENSI

Die Berechnung der angegebenen Zeitfenster basiert auf Annahmen, die für ein Erdbeben mit einer Beschleunigung von 0,31 g realistisch sind. Das ENSI hat die Studie geprüft und die Ergebnisse als plausibel bewertet^{ENSI 12/1792}. Mit dieser Studie ist jedoch nicht das ganze Unfallspektrum abgedeckt. Es liegt zum Beispiel

keine Aussage zur Grösse des Lecks für Erdbeben, deren Beschleunigung die HCLPF-Kapazität (High Confidence of Low Probability of Failure; der HCLPF-Wert repräsentiert eine Beschleunigung, bei der für die betrachtete Struktur oder Komponente eine ca. 1-prozentige Versagenswahrscheinlichkeit besteht) der Becken überschreitet, vor. Ferner wird die Annahme, dass bei stärkeren Erdbeben keine Leckage aus dem Gebäude stattfindet, nicht belegt.

Gemäss Richtlinie ENSI-A05 Kap. 4.1 Bst. b kann auf eine detaillierte PSA der Brennelementlagerbecken verzichtet werden, wenn die erwartete jährliche Gesamtfreisetzung radioaktiver Stoffe bei einem Brennstoffschaden im Brennelementbecken geringer ist als 1 % derjenigen des Reaktors. Das KKL legt nicht dar, dass dieses Kriterium erfüllt ist.

7.6 Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb

Im Jahre 2001 wurde erstmalig eine PSA-Studie der Stufe 1 für die Betriebszustände Schwachlast und Stillstand eingereicht. Diese Studie wurde als „Leibstadt Shutdown PSA“ (SPSA2001) bezeichnet. Auf Basis dieser Studie wurde für die PSÜ 2006 die LPSA2006 entwickelt, die alle Betriebszustände (Plant Operating State, POS) in einem einzigen Stufe-1-PSA-Modell integriert.

Die KKL PSA 2016, die im Rahmen der PSÜ 2016 dem ENSI eingereicht wurde, baut auf der LPSA2006 auf und ist ebenfalls ein integriertes PSA-Modell.

7.6.1 Definition und Dauer von Betriebszuständen

Angaben des KKL

Das KKL definiert aufgrund der Planungsvorgaben für einen Revisionsstillstand 20 verschiedene betriebliche POS. Ein betrieblicher POS ist durch die für den POS charakteristischen physikalischen Randbedingungen definiert, wie z. B. Kühlmitteldruck, Kühlmitteltemperatur und Kühlmittelniveau im Reaktor oder in der Reaktorgrube. Die POS werden für die PSA auf Basis der auslösenden Ereignisse, geplanten Systemunverfügbarkeiten, thermohydraulischen Erfolgskriterien und Anlagekonfigurationen (z. B. RDB offen/zu, Wassermenge im RDB, etc.) in 12 PSA-POS zusammengefasst. POS-0 beschreibt den Leistungsbetrieb und wird risikotechnisch mit der CDF bewertet. Alle anderen POS gehen in die Bestimmung der FDF ein. Der POS, der dem Brennelementaustausch entspricht (POS-10) ist in vier Unter-PSA-POS unterteilt, um die verschiedenen Systemunverfügbarkeiten innerhalb dieses Betriebszustands zu reflektieren. In der Tabelle 7.6-1 sind die verschiedenen PSA-POS und Unter-PSA-POS mit ihren Eigenschaften dargestellt. Im Vergleich zur LPSA2006 wurden die Namen der POS geändert, um diese besser mit den POS-Namen in den aktuellen Betriebsvorschriften in Einklang zu bringen.

Die zeitliche Dauer der verschiedenen PSA-POS wird auf Basis der KKL-Betriebserfahrung bestimmt. Dazu werden die Daten für den Zeitraum von 2000 bis 2015 erfasst. Für jeden Revisionsstillstand seit 2000 wurde die Dauer jedes betrieblichen POS registriert und daraus der Mittelwert bestimmt. Wenn ein PSA-POS mehrere betriebliche POS enthält, entspricht die Dauer des PSA-POS der Summe der mittleren Dauer der zugeordneten betrieblichen POS. Wenn ein PSA-POS mit einem betrieblichen POS identisch ist, wird die mittlere Dauer des betrieblichen POS für den PSA-POS übernommen. Um die Dauer der vier Unter-PSA-POS zu bestimmen, wird die mittlere Systemunverfügbarkeitsdauer während den Revisionen seit 2008 verwendet.

Der ungeplante Stillstand im Jahr 2005, hervorgerufen durch den Generatorausfall, ist in der Statistik nicht berücksichtigt.

Tabelle 7.6-1: Schwachlast- und Stillstandphasen in der KKL PSA 2016

Betriebszustand	Beschreibung	Dauer [h]	Druck [bar]	Temperatur [°C]	Zustand RDB
POS-1	Reaktor in Betrieb, Leistung < 25 %	34,1	68–67	284	geschlossen
POS-2_3	Reaktor Druckabsenkung	15,7	67–6,9	284–165	geschlossen
POS-4_5	Heiss abgestellt	4,8	6,9–1	165–93	geschlossen
POS-6	Restwärmebetrieb	7,1	1	93–60	geschlossen
POS-7_9	Restwärmebetrieb, RDB-Deckel wird entfernt	52,9	1	60–30	geöffnet
POS-10A	Wechsel der Brennelemente (400 kV, Div. 11, 31 und 51/61 unverfügbar)	221,9	1	60–30	geöffnet
POS-10B	Wechsel der Brennelemente (Div. 11, 31 und 51/61 unverfügbar)	84,8	1	60–30	geöffnet
POS-10C	Wechsel der Brennelemente (Div. 21, 31 und 51/61 unverfügbar)	106,0	1	60–30	geöffnet
POS-10D	Wechsel der Brennelemente (Div. 21 unverfügbar)	84,8	1	60–30	geöffnet
POS-11_12	Kalt abgestellt	43,1	1	60–30	geöffnet
POS-13	Dichtheitsprüfung	50,9	> 1-71-1	30–93	geschlossen
POS-14_16	Aufheizung	68,0	1	60–93	geschlossen
POS-17_18	Kritikalität erreicht, Drucksteigerung	8,0	1–10,3	93–180	geschlossen
POS-19_20	Leistung > 25 %, Drucksteigerung	37,3	10,3–67	180–284	geschlossen

Beurteilung des ENSI

Der Umfang der in der KKL PSA 2016 berücksichtigten PSA-POS und der zugehörigen Konfigurationen der Anlage entspricht dem Stand der Technik. Die Auswertung der Betriebserfahrung für die Zeit ab 2000 bzw. ab 2008 ist akzeptabel, da frühere Erfahrungen der heutigen Praxis nicht mehr entsprechen. Im Jahr 2005 wurde das KKL mehrere Monate lang abgestellt, um den Generator zu ersetzen. Die Nichtberücksichtigung des längeren Stillstands im Jahr 2005 ist für die Bestimmung der Dauer von geplanten POS zweckmässig. Jedoch sind diese ungeplanten Stillstände nicht im Modell als separate Anlagenzustände behandelt oder in der Auswertung der Betriebserfahrung berücksichtigt.

Nach drei ungeplanten verlängerten Stillständen seit 2005 können ungeplante Stillstände nicht als atypisch bezeichnet werden. Gemäss Richtlinie ENSI-A05 Kap. 4.1 Bst. c ist zwischen geplanten und ungeplanten Stillständen zu unterscheiden.

7.6.2 Zuverlässigkeit von Komponenten

Angaben des KKL

Die für die Bewertung des Nichtleistungsbetriebs verwendeten Komponentenzuverlässigkeitsdaten (Komponentenausfallraten und CCF-Parameter) basieren auf den Daten der PSA für die Bewertung des Leistungsbetriebs. Für den Nichtleistungsbetrieb werden keine zusätzlichen Komponentenausfallraten bestimmt. Daten zu Instandsetzung sowie zu ungeplanter vorbeugender Instandhaltung wurden nicht speziell für den Nichtleis-

tungsbetrieb erhoben. Für den Nichtleistungsbetrieb wurden aufgrund der anlagenspezifischen Betriebserfahrung während der geplanten Stillstände des Zeitraums von 2008 bis 2015 POS-spezifische Daten zu geplanter vorbeugender Instandhaltung gesammelt und ausgewertet.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI stimmt dem von KKL gewählten Vorgehen zur Bestimmung der Komponentenzuverlässigkeitskenngrößen für den Nichtleistungsbetrieb zu. Die Verwendung der gleichen Komponentenausfallraten für die risikotechnische Bewertung des Nichtleistungs- wie für den Leistungsbetrieb wird auf Basis der Richtlinie ENSI-A05 als zulässig erachtet. Zur Bestimmung der Komponentenunverfügbarkeiten durch geplante Instandhaltung in den verschiedenen POS werden alle für den Nichtleistungsbetrieb relevanten Systeme untersucht. Die Verwendung der gleichen anlagenspezifischen Unverfügbarkeitswahrscheinlichkeiten von Komponenten durch Instandsetzung wie für das PSA-Modell für die Bewertung des Leistungsbetriebs ist akzeptabel. Dieses Vorgehen entspricht der gängigen Praxis in der Schweiz.

Das identifizierte Verbesserungspotential betrifft Punkte, welche bereits für die Stufe-1-PSA für den Leistungsbetrieb dargelegt wurden.

7.6.3 Zuverlässigkeit von Operateurhandlungen

Angaben des KKL

Sofern auf den jeweiligen Betriebszustand anwendbar, entsprechen die im Modell für den Nichtleistungsbetrieb abgebildeten Operateurhandlungen, wie beispielsweise das Erstellen einer alternativen Wassereinspeisung in den Reaktor oder Kühlung des Nuklearen Zwischenkühlsystems, denjenigen des Modells für den Leistungsbetrieb. Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Operateurhandlungen, die ausschliesslich für den Nichtleistungsbetrieb modelliert sind. Hierzu gehören die Inbetriebnahme eines redundanten Strangs des Nach- und Notkühlsystems und die Isolation eines Kühlmittelverlusts. Die HEP-Bestimmung und Modellierung von Abhängigkeiten erfolgen mit der gleichen Methode wie für Volllast.

Beurteilung des ENSI

Sofern anwendbar gilt die Beurteilung zur Zuverlässigkeit von Operateurhandlungen für den Volllastbetrieb.

Die vom ENSI durchgeführte Überprüfung der HRA identifizierte Punkte mit Verbesserungsbedarf speziell für den Nichtleistungsbetrieb. Die wichtigsten sind nachfolgend aufgelistet:

- Für bei einem grösseren Kühlmittelverlust berücksichtigte Kat.-C-Handlungen (dessen Isolierung, Erstellen einer alternativen Kühlung des Nuklearen Zwischenkühlsystems, Erstellen einer alternativen Wassereinspeisung, etc.) ist nicht ersichtlich, ob sie innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit durchführbar sind.
- Mit der Isolation eines Kühlmittelverlusts wird eine Handlung kreditiert, welche nicht durch Vorschriften angeleitet wird, ohne dass dies begründet wird.
- Für einige interne Überflutungen wird die manuelle Isolation mit einer HEP angenommen, ohne dass hierfür eine HRA dokumentiert wird.
- In SBO-Szenarien mit geschlossenem RDB-Deckel wird nicht berücksichtigt, dass eine alternative Stromversorgung erforderlich ist, um im RDB die zur alternativen Einspeisung erforderliche Niederdruckbedingung aufrechtzuerhalten.

Es ist nicht auszuschliessen, dass die Umsetzung dieses Verbesserungsbedarfs eine merkliche FDF-Erhöhung zur Folge hätte.

7.6.4 Thermohydraulische Analysen zur Bestimmung der Erfolgskriterien

Angaben des KKL

Wie für den Leistungsbetrieb wird auch bei Nichtleistungsbetrieb die minimal notwendige Menge der Systemfunktionen bestimmt, um innerhalb von 24 h einen stabilen Zustand zu erreichen. Hierbei wird sowohl eine Beschädigung von Brennstoff im Reaktordruckbehälter als auch in den Becken berücksichtigt.

Das KKL verwendet die gleichen Vorgehensweisen und Kriterien wie beim Leistungsbetrieb.

Für den POS, der dem Brennelementaustausch entspricht (POS-10), wurden nur Kühlmittelverluststörfälle berücksichtigt, da das Wasserinventar ausreicht, um einen Brennstoffschaden für mindestens drei Tage zu vermeiden.

Beurteilung des ENSI

Die vom KKL herangezogenen Berechnungen sind grundsätzlich geeignet, die verwendeten Erfolgskriterien zu belegen, da sie werksspezifisch sind und dem Stand der Technik entsprechen.

Gemäss Richtlinie ENSI-A05 Kap. 4.4.2.2 Bst. d kann von einer Beherrschung des Unfalls ausgegangen werden, wenn nach 24 h zwar noch kein sicherer und stabiler Anlagenzustand erreicht worden ist, aber genügend Erfolg versprechende Massnahmen zur langfristigen Stabilisierung der Anlage zur Verfügung stehen. Diese Anforderung ist für Transienten während des POS-10 erfüllt, da genügend Ausrüstungen (drei Notstrom-Diesels, zwei SEHR-Diesels, drei SAMG-Diesels und mehrere passive oder aktive Einspeisungsmöglichkeiten) zur Wiederherstellung der Kühlung dienen können und die Karenzzeit für entsprechende Massnahmen ausreichend lang ist. Selbst wenn alle vor Ort vorhandenen Ausrüstungen aufgrund des auslösenden Ereignisses oder aus anderen Gründen nicht verfügbar wären, würden drei Tage reichen um Ausrüstungen aus dem externen Lager Reitnau nach Leibstadt zu transportieren.

7.6.5 Interne Ereignisse

7.6.5.1 Auslösende Ereignisse

Angaben des KKL

- Das Verfahren zur Identifizierung der für das KKL relevanten internen auslösenden Ereignisse wird unabhängig vom Betriebszustand durchgeführt und gilt deswegen sowohl für den Leistungsbetrieb als auch für den Nichtleistungsbetrieb. Die Anwendbarkeit jedes identifizierten auslösenden Ereignisses in den verschiedenen Anlagenbetriebszuständen wird überprüft und bei der PSA-Modellierung berücksichtigt. Die Anwendbarkeit einzelner Transienten und Kühlmittelverluststörfälle in den verschiedenen Anlagenbetriebszuständen ist in einer Anwendbarkeitsmatrix zusammengefasst. Für den Nichtleistungsbetrieb sind insgesamt 44 Transienten in der KKL PSA 2016 definiert. Von denen gelten acht ausschliesslich für den Nichtleistungsbetrieb. Ferner sind für den Nichtleistungsbetrieb 67 Kühlmittelverluststörfälle definiert.

Das für den Leistungsbetrieb verwendete Verfahren zur Bestimmung der Häufigkeiten der auslösenden Ereignisse gilt auch für den Nichtleistungsbetrieb. Bei der Bestimmung der Häufigkeit der auslösenden Ereignisse für den Nichtleistungsbetrieb wird die Dauer der entsprechenden Betriebszustände berücksichtigt.

Beurteilung des ENSI

Die ENSI-Beurteilung in Kap. 7.3.4.1 zur Identifizierung der internen auslösenden Ereignisse gilt auch für den Nichtleistungsbetrieb. Die relevanten auslösenden Ereignisse für die verschiedenen Anlagenbetriebszustände wurden ermittelt.

Die zur Bestimmung der Ereignishäufigkeiten verwendete Methodik entspricht grundsätzlich dem Stand der Technik. Die ermittelten Häufigkeiten weisen plausible Werte auf und liegen im Rahmen der internationalen Betriebserfahrung.

7.6.5.2 System- und Unfallablaufanalyse

Angaben des KKL

Das Vorgehen zur Modellierung des Unfallablaufs im Nichtleistungsbetrieb ist grundsätzlich identisch zu demjenigen für den Leistungsbetrieb. Für jedes auslösende Ereignis des Leistungsbetriebs wird untersucht, in welchen Betriebszuständen des Nichtleistungsbetriebs es:

- prinzipiell möglich ist;
- innerhalb von 24 h zu einem Brennstoffschaden führen kann;
- einen ähnlichen Ereignisablauf im Hinblick auf die angeforderten Systeme verursacht.

Die Ereignis- und Fehlerbäume, die für den Leistungsbetrieb verwendet werden, wurden für die speziellen Bedingungen von Schwachlast und Stillstand angepasst, sodass die entsprechenden Erfolgskriterien Anwendung finden. Für im Nichtleistungsbetrieb spezifische auslösende Ereignisse wurden neue Ereignisbäume entwickelt. Für die dabei zusätzlich zu berücksichtigenden Betriebsmodi von Systemen wurden neue Fehlerbäume entwickelt.

Beurteilung des ENSI

Die System- und Unfallablaufanalyse des Nichtleistungsbetriebs entspricht aus Sicht des ENSI dem Stand der Technik. Die Modellierung der zur Störfallbeherrschung im Nichtleistungsbetrieb notwendigen Systeme mittels Fehlerbäumen ist sehr detailliert, und die Abhängigkeiten zwischen den Sicherheitssystemen und den Hilfsystemen sind richtig wiedergegeben. Ferner sind die in den Betriebszuständen teilweise reduzierten Systemverfügbarkeiten in der Stufe-1-PSA angemessen berücksichtigt worden.

7.6.5.3 Ergebnisse

Die FDF für interne auslösende Ereignisse beträgt $1,68 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Die Tabelle 7.6-2 zeigt die zugehörigen Risikobeiträge. LOCA liefern in der KKL PSA 2016 einen höheren Beitrag als Transienten (ca. 92 % der FDF für interne Ereignisse im Vergleich zu ca. 8 % für Transienten). Bei den LOCA entsteht der grösste Beitrag (rund 46 % der gesamten FDF für interne Ereignisse) aufgrund grosser isolierbarer LOCA ausserhalb des Containments. Der vollständige Verlust der externen Stromversorgung liefert den bedeutendsten FDF-Beitrag unter den Transienten (rund 2 % der gesamten FDF für interne Ereignisse).

Tabelle 7.6-2: FDF-Beiträge interner Ereignisse (Nichtleistungsbetrieb)

Ereigniskategorie	Auslösende Ereignisse	Mittlere FDF [1/a]	Anteil* [%]
Transienten	Vollständiger Verlust der externen Stromversorgung	$4,46 \cdot 10^{-9}$	2,7
	Ausfall einer Redundanz der Nebenkühlwasserversorgung	$5,33 \cdot 10^{-9}$	3,2
	Ausfall der Schiene 21BM	$1,54 \cdot 10^{-9}$	0,9
	Sonstige Transienten	$2,24 \cdot 10^{-9}$	1,3
	Total	$1,36 \cdot 10^{-8}$	8,1
LOCA	Grosser isolierbarer LOCA ausserhalb Containment	$7,83 \cdot 10^{-8}$	46,6
	Inventar-Verlust durch Fehlfunktion des Nach- und Notkühlsystems	$4,32 \cdot 10^{-8}$	25,7
	Mittelgrosser isolierbarer LOCA ausserhalb Containment	$1,64 \cdot 10^{-8}$	9,8
	Sonstige LOCA	$1,60 \cdot 10^{-8}$	9,5
	Total	$1,54 \cdot 10^{-7}$	91,6
Alle internen Ereignisse (Nichtleistungsbetrieb)	Gesamttotal	$1,68 \cdot 10^{-7}$	

* Aufgrund von Rundungseffekten ist die Summe der Anteile (Gesamttotal) nicht genau gleich 100 %

Beurteilung des ENSI

Gegenüber der LPSA2006 hat sich der FDF-Beitrag der internen Ereignisse deutlich erhöht. Die Ergebnisse für den Nichtleistungsbetrieb der LPSA2006 waren aufgrund diversen Verbesserungsbedarfs in der Modellierung als vorläufig zu betrachten. Nach den deutlichen Verbesserungen im Überprüfungszeitraum sind das Modell für den Nichtleistungsbetrieb und seine Ergebnisse belastbarer geworden. Das ENSI erachtet die in der KKL PSA 2016 für interne Ereignisse ausgewiesene FDF und das zugehörige Risikoprofil insgesamt als plausibel.

7.6.6 Interne systemübergreifende Ereignisse

7.6.6.1 Interner Brand

Angaben des KKL

Zur Ermittlung der Brandhäufigkeiten werden die Brandereignisse der generischen Datenbank, die sich während des Stillstands ereigneten, herangezogen, um Erhöhungsfaktoren für die einzelnen Zündquellentypen zu ermitteln, an welchen sich die Anpassung der Brandhäufigkeiten orientiert. Dabei werden die Unsicherheiten dieser Häufigkeiten erhöht, da die Verteilung auf die einzelnen Stillstandphasen zusätzliche Abschätzungen zum Zeitpunkt der verschiedenen Wartungsschritte und zu ihrer Brandanfälligkeit nötig macht. Es werden bei Auswahlprozess und Modellierung der Brandszenarien die auslösenden Ereignisse des Stillstands, also Ausfälle der Nachwärmeabfuhr, gegebenenfalls durch Stromausfall, und Kühlmittelverluste durch Fehlauflösungen, betrachtet und quantifiziert. Das übrige Vorgehen erfolgt im Allgemeinen analog zum Leistungsbetrieb.

Die durch Brand bedingte FDF beträgt $3,79 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr, nahezu vollständig bedingt durch Brände im Betriebsgebäude während der Phasen mit demontiertem Reaktordruckbehälterdeckel. Hierbei ist die Ausserbetriebnahme des SEHR-Systems für Wartungsarbeiten eine bedeutende Ursache der Unverfügbarkeiten sicherheitsrelevanter Ausrüstungen.

Beurteilung des ENSI

Die Brandmodellierung für den Stillstand teilt grundsätzlich die Stärken und Schwächen derjenigen für den Leistungsbetrieb. Insbesondere fehlt auch hier ein Nachweis, ob der quantitative Auswahlprozess die Anforderungen des ENSI gemäss Richtlinie ENSI-A05 Kap. 4.5.2.1 Bst. f erfüllt.

7.6.6.2 Interne Überflutung

Angaben des KKL

Die 14 im Volllastmodell abgebildeten Flutszenarien werden für Schwachlast und Nulllast übernommen, wobei deren Häufigkeiten entsprechend der Dauer der einzelnen Betriebszustände angepasst wird. Für den Stillstand werden die für den Volllastbetrieb ermittelten Überflutungshäufigkeiten auf Basis der anlagenspezifischen Betriebserfahrung bis 2004 (zwei Überflutungsereignisse ausgelöst durch Wartungsarbeiten) bestimmt. Generell ist davon auszugehen, dass während des Stillstands aufgrund vermehrter Arbeiten die Häufigkeit von Überflutungen zunimmt. Generische Daten deuten darauf hin, dass für einige Bereiche die Häufigkeit doppelt so hoch wie während des Leistungsbetriebs sein könnte. Die KKL-spezifische Erfahrung zeigt zwar keinen solchen signifikanten Anstieg, insbesondere traten die meisten Flutereignisse im Maschinenhaus während des Leistungsbetriebs auf. Dennoch werden mit Ausnahme des Maschinenhauses für alle als relevant identifizierten Gebäude die Überflutungshäufigkeiten erhöht. Anschliessend werden die Häufigkeiten entsprechend der Dauer der einzelnen Betriebszustände angepasst. Alle Szenarien, die einer Transiente entsprechen, werden im Betriebszustand Wiederbeladen von der weiteren Analyse ausgeschlossen, da Transienten in diesem Zustand als risikolos eingestuft werden.

In der LPSA2006 wurden zusätzlich zu den in der Überflutungsanalyse für den Volllastbetrieb identifizierten Flutszenarien weitere Flutszenarien im Brennelementlagergebäude berücksichtigt. Nach dem qualitativen und dem quantitativen Auswahlprozess waren 23 Flutszenarien für den Stillstand übrig geblieben. Für diese wird

im Rahmen der KKL PSA 2016 analog zum Vorgehen für Volllast eine erneute, detailliertere Analyse der Auswirkungen durchgeführt. Diese Flutszenarien werden unter Berücksichtigung der Eintrittshäufigkeiten und der szenariospezifischen Überflutungsauswirkungen in das PSA-Modell integriert und ihr FDF-Beitrag bestimmt. Detektions- und Absperrmöglichkeiten werden wie bereits in der LPSA2006 kreditiert.

Die durch anlageninterne Überflutung bedingte FDF wird mit $7,56 \cdot 10^{-9}$ pro Jahr ausgewiesen. Hiervon sind 83 % auf eine potenzielle Überflutung des Ringkanals und des Nebenkühlwassergebäudes während der Betriebszustände, in denen der Deckel des Reaktordruckgefäßes und die Reaktoreinbauten entfernt bzw. wieder gesetzt werden und die Dampfleitung verschlossen bzw. wieder geöffnet wird, zurückzuführen.

Beurteilung des ENSI

Die Bewertung der im Rahmen der KKL PSA 2016 durchgeführten Überflutungsanalyse für die Betriebszustände Schwachlast und Stillstand konzentriert sich vornehmlich auf die gegenüber der Überflutungsanalyse für den Betriebszustand Volllast dargelegten Änderungen und Ergänzungen. Da die Methodik der Analysen für den Leistungsbetrieb und den Nichtleistungsbetrieb mit Ausnahme der Kreditierung von Detektions- und Absperrmassnahmen identisch ist, gilt der bei der Beurteilung der Analyse interner Überflutungen für den Leistungsbetrieb genannte Verbesserungsbedarf grundsätzlich auch hier.

In der KKL PSA 2016 weisen einige Überflutungsszenarien einen sehr viel geringeren FDF-Beitrag auf als in der LPSA2006. Insbesondere die Überflutungen im Reaktorhilfsanlagegebäude, die 2006 die grössten Beiträge lieferten, haben stark an Bedeutung verloren. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass in der LPSA2006 die Auswirkungen einer Überflutung wie z. B. ihre weitere Ausbreitung oder hervorgerufene Komponentenausfälle sehr konservativ angenommen worden waren. Die geringeren FDF-Beiträge aufgrund einer genaueren Analyse der Überflutungsauswirkungen sind grundsätzlich plausibel, auch wenn wegen der bereits bei der Volllast-PSA erwähnten Dokumentationslücken die FDF-Beiträge im Detail nicht nachvollziehbar sind.

Aufgrund der weitgehenden Unterteilung der sicherheitsrelevanten Gebäude in mehrere überflutungssichere Bereiche erwartet das ENSI auch unter Berücksichtigung des analog zur Volllaststudie bestehenden Verbesserungspotenzials keinen dominanten Beitrag von internen Überflutungen zur Gesamt-FDF.

7.6.7 Externe Ereignisse

Angaben des KKL

Die in Kap. 7.3.6 beschriebene Identifizierung und Ermittlung der Häufigkeit der für das KKL relevanten externen Ereignisse sind unabhängig von den Betriebszuständen. Dementsprechend sind die Gefährdungskurven sowie die Ableitung der auslösenden Ereignisse der PSA für den Leistungsbetrieb entnommen. Ebenfalls übernommen sind die Fragilities. Mit einer ergänzenden Fragility berücksichtigt ist z. B., dass nach Entfernung des Reaktordruckbehälterdeckels die Brennelemente und Kerneinbauten durch das seismisch bedingte Versagen des Polarkrans im Containment beschädigt werden können.

Die seismisch bedingte FDF liegt bei $1,40 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr und stammt zum grössten Teil wiederum aus den Erdbeben im Nahfeld. Mit einer FV-Importanz bezüglich der Erdbeben-FDF von 0,375 trägt hier die Ausserbetriebnahme des SEHR-Systems für Wartungsarbeiten während der Demontage des Reaktordruckbehälterdeckels führend bei.

Die FDF-Beiträge der anderen externen Ereignisse werden durch „Extreme Winde“ und „Unfallbedingter Flugzeugabsturz“ mit Werten von $7,49 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr bzw. $1,71 \cdot 10^{-8}$ pro Jahr angeführt und reichen hinunter bis zu $2,11 \cdot 10^{-14}$ pro Jahr für den „Verlust der Stauhaltung des Wehrs Albruck-Dogern bei Niedrigwasser“.

Beurteilung des ENSI

Da sich die Vorgehensweisen und die getroffenen Annahmen in den Analysen der externen Ereignisse für den Leistungs- und den Nichtleistungsbetrieb weitgehend entsprechen, gelten die Beurteilungen in Kap. 7.3.6 im Allgemeinen auch für den Nichtleistungsbetrieb.

Die ausgewiesenen FDF-Beiträge sind plausibel. Die Vernachlässigung der Erdbeben mit mehr als 1,3 g PGA, obschon weniger ausgeprägt, führt auch bei der Bewertung des Nichtleistungsbetriebs zu optimistischen Ergebnissen.

Hinsichtlich der Frage, ob im Nichtleistungsbetrieb bedeutende Bedingungen in der Anlage existieren, die sich von jenen im Leistungsbetrieb unterscheiden, fehlt eine entsprechende Bewertung in den Untersuchungen zu den extremen Winden und Tornados.

7.6.8 Ergebnisse der Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb

Angaben des KKL

Die in der KKL PSA 2016 für auslösende Ereignisse während des Nichtleistungsbetriebs ermittelte FDF beträgt $4,52 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Die Tabelle 7.6-3 zeigt die zugehörigen Risikobeiträge.

Tabelle 7.6-3: FDF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Nichtleistungsbetrieb)

	Ereigniskategorie	Mittlere FDF [1/a]	Anteil* [%]
Interne Ereignisse	Transienten	$1,36 \cdot 10^{-8}$	3,0
	LOCA	$1,54 \cdot 10^{-7}$	34,1
	Total	$1,68 \cdot 10^{-7}$	37,2
Interne systemübergreifende Ereignisse	Interne Brände	$3,79 \cdot 10^{-8}$	8,4
	Interne Überflutungen	$7,56 \cdot 10^{-9}$	1,7
	Total	$4,55 \cdot 10^{-8}$	10,1
Externe Ereignisse	Erdbeben	$1,40 \cdot 10^{-7}$	31,0
	Extreme Winde	$7,49 \cdot 10^{-8}$	16,6
	Tornados	$1,34 \cdot 10^{-9}$	0,3
	Flugzeugabsturz	$1,71 \cdot 10^{-8}$	3,8
	Blitz	$6,64 \cdot 10^{-11}$	0,0
	Starke Niederschläge	$1,78 \cdot 10^{-13}$	0,0
	Sonnenstürme	$3,95 \cdot 10^{-9}$	0,9
	Ausfall der Wasserfassungen	$6,57 \cdot 10^{-10}$	0,2
	Externe Überflutung	$2,11 \cdot 10^{-14}$	0,0
Total	$2,39 \cdot 10^{-7}$	52,9	
Alle Ereignisse	Gesamttotal	$4,52 \cdot 10^{-7}$	

* Aufgrund von Rundungseffekten ist die Summe der Anteile (Gesamttotal) nicht genau gleich 100 %

Die beiden FDF-Hauptbeiträge des KKL stammen von Kühlmittelverluststörfällen und Erdbeben. Die höchsten FV-Werte erreicht der POS, in dem der RDB-Deckel entfernt wird, und die geplante Wartung des SEHR-Systems während dieses POS. Die höchsten RAW-Werte werden beim CCF der Sicherheitsventile und beim CCF der Rückschlagklappen in Einspeiseleitungen gefunden. Die höchsten FV- und RAW-Importanzen für Operateurhandlungen haben Handlungen, welche der Erstellung einer alternativen passiven Einspeisung aus dem Hinterberg-Reservoir dienen.

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI ist die Stufe-1-PSA für den Nichtleistungsbetrieb umfassend modelliert. Die Variabilität der Anlagenkonfiguration, die gleichzeitige Unverfügbarkeit unterschiedlicher Systeme während verschiedener Stillstandsphasen, die Überbrückung der automatischen Aktivierung von Sicherheitssystemen und die Operateurhandlungen zur Wiederherstellung ausgefallener Systemfunktionen werden detailliert modelliert.

Das KKL weist mit $4,52 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr eine sehr niedrige FDF aus. Insbesondere durch die Vernachlässigung von Erdbeben mit mehr als 1,3 g PGA wird der FDF-Beitrag aus Erdbeben unterschätzt. Auch unter Berücksichtigung des identifizierten Verbesserungsbedarfs betrachtet das ENSI es als plausibel, dass die FDF deutlich kleiner ist als 10^{-5} pro Jahr.

Die Ergebnisse der Importanzanalyse sind ähnlich denjenigen für den Leistungsbetrieb, da die wichtigsten Komponenten und Operateurhandlungen im Nichtleistungsbetrieb auch für den Leistungsbetrieb wichtig sind. Eine Betrachtung der Basisereignisse zeigt, dass eine Reduktion der Dauer des POS, in dem der RDB-Deckel entfernt wird, oder eine Verlegung des Starts der geplanten Wartung des SEHR-Systems in den POS, der dem Brennelementaustausch entspricht, eine weitere Verminderung des Risikos bewirken könnte. Die mit dieser Wartung des Notstandsystems einhergehende Unverfügbarkeit dient aber gleichzeitig dem Schutz des in der Reaktorgrube arbeitenden Personals. Das ENSI erachtet es als sinnvoll, die Umsetzbarkeit und die Angemessenheit einer solchen Massnahme im Sinne des KEG Art. 4 Abs. 3 Bst. b zu untersuchen.

7.7 Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb

Die Kernenergieverordnung verlangt eine Stufe-2-PSA für den Anlagenstillstand. International gesehen werden nur wenige umfassende Stufe-2-PSA für den Anlagenstillstand durchgeführt. Im Rahmen der PSÜ 2016 hat das KKL eine vollständige Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb eingereicht. Diese baut auf der Stufe-1-PSA auf. Das Vorgehen bei der Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb ist dasselbe wie bei der Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb. Nachfolgend werden deshalb nur Unterschiede und Ergänzungen zur Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb zusammenfassend beschrieben und beurteilt.

7.7.1 Analysen

Angaben des KKL

Die verschiedenen PDS des Nichtleistungsbetriebs werden in 11 KPDS zusammengefasst. Für diese Gruppierung werden den einzelnen Parametern der PDS-Matrix je nach Schweregrad unterschiedliche Faktoren zugeordnet und diejenigen PDS mit geringeren Konsequenzen und niedrigeren Eintrittshäufigkeiten konservativ in KPDS mit höheren Eintrittshäufigkeiten, schwerwiegenderen Konsequenzen und höherer Nachzerfallwärme zusammengefasst. Aus den Analysen der KPDS für den Nichtleistungsbetrieb geht hervor, dass bei Einsetzen des Brennstoffschadens das Containment zu 24 % intakt und isoliert ist, zu 31 % das Containment beschädigt oder nicht isoliert ist, zu 38 % der Druckentlastungspfad bereits vor Brennstoffschaden geöffnet ist und zu 6 % ein Containmentbypass existiert. Die durch einen schweren Unfall resultierenden Belastungen werden im Unfallablaufbaum abgebildet. Aus den daraus resultierenden Freisetzungskategorien für den Nichtleistungsbetrieb kann abgeleitet werden, dass:

- das Containment mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 4 % bei einem schweren Unfall intakt bleibt;
- es mit rund 49 % zu einer frühen oder späten Druckentlastung kommt, wobei diese mehrheitlich gefiltert ist;
- der Containmentabschluss mit rund 25 % versagt;
- das Containment mit rund 16 % versagt; und
- das Containment mit rund 6 % umgangen wird.

Das aus den Freisetzungshäufigkeiten und Quelltermen resultierende totale Freisetzungsrisiko beträgt im Nichtleistungsbetrieb $4,02 \cdot 10^{12}$ Bq pro Jahr, das Freisetzungsrisiko durch Aerosole alleine beträgt

$1,17 \cdot 10^{12}$ Bq pro Jahr. Den grössten Beitrag liefern hier die Freisetzungskategorien mit vorzeitiger Druckentlastung bei Versagen der zugeordneten Filter und mit frühem Versagen des Containmentabschlusses. Der Grund für das verglichen mit dem Leistungsbetrieb höhere Freisetzungsrisko durch Aerosole im Nichtleistungsbetrieb liegt darin, dass wegen dem offenen Reaktordruckbehälter keine Aerosole in der Druckabbaukammer zurückgehalten werden.

Eine Möglichkeit zur Optimierung der mitigativen Notfallmassnahmen wäre das Schaffen einer manuell ausgelösten, direkten Einspeisung in den Drywell. Dadurch könnte das aus dem RDB austretende Kernmaterial mit Wasser überdeckt, der Schmelzangriff auf den Boden vermindert und ein Teil der radioaktiven Stoffe vor der Freisetzung ausgewaschen werden. Diese Optimierung wird nach Abgabe der PSÜ 2016 näher behandelt.

Beurteilung des ENSI

Aus Sicht des ENSI kommt im Nichtleistungsbetrieb dem zuverlässigen Schliessen geöffneter Containment-Schleusen und -Tore eine hohe Bedeutung zu. Das KKL hat in den letzten Jahren hierzu im Rahmen des Accident Managements einige Verbesserungen nachgerüstet, beispielsweise zur Stromversorgung der dafür erforderlichen Installationen.

Bei der Überprüfung der Gruppierung in KPDS zeigte sich, dass diese Gruppierung numerisch nicht ganz nachvollziehbar ist. Aus diesem Grund kann das ENSI auch die ausgewiesenen Häufigkeiten der Freisetzungskategorien für den Nichtleistungsbetrieb nicht vollständig nachvollziehen.

Die beschriebene Optimierungsmöglichkeit, mittels einer direkten Einspeisung in den Drywell radioaktive Stoffe vor einer Freisetzung auszuwaschen, scheint aus Sicht des ENSI zweckmässig.

7.7.2 Ergebnisse der Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb

Angaben des KKL

Für den Nichtleistungsbetrieb beträgt die Häufigkeit einer grossen frühen Freisetzung (Stillstands-LERF, SLERF) $2,77 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr. Die grössten Beiträge liefern Transienten, Erdbeben, extreme Winde und Tornados sowie Brände. Insgesamt beträgt der Anteil der SLERF an der FDF rund 61 %.

Tabelle 7.7-1: SLERF-Beiträge der verschiedenen Ereigniskategorien (Stillstand)

	Ereigniskategorie	Mittlere LERF [1/a]	Anteil [%]
Interne Ereignisse	Transienten	$8,80 \cdot 10^{-8}$	31,7
	LOCA	$2,40 \cdot 10^{-8}$	8,7
	Total	$1,12 \cdot 10^{-7}$	40,4
Interne systemübergreifende Ereignisse	Interne Brände	$3,22 \cdot 10^{-8}$	11,6
	Interne Überflutungen	$3,15 \cdot 10^{-9}$	1,1
	Andere interne Gefährdungen	0,00	0,0
	Total	$3,53 \cdot 10^{-8}$	12,7
Externe Ereignisse	Erdbeben	$6,89 \cdot 10^{-8}$	24,9
	Extreme Winde und Tornados	$5,05 \cdot 10^{-8}$	18,2
	Externe Überflutung	0,00	0,0
	Flugzeugabsturz	$8,83 \cdot 10^{-9}$	3,2
	Andere externe Gefährdungen	$1,59 \cdot 10^{-9}$	0,6
	Total	$1,30 \cdot 10^{-7}$	46,9
Alle Ereignisse	Gesamttotal	$2,77 \cdot 10^{-7}$	100,0

Im Nichtleistungsbetrieb haben neben der Wartung des Notstandsystems verschiedene Operateurhandlungen eine sehr hohe Bedeutung. Da der Risikoanteil von Erdbeben deutlich geringer ist, haben auch die Erdbebenfestigkeiten eine geringere Bedeutung bezüglich FV-Importanz als im Leistungsbetrieb. Eine Verfügbarkeit der Notstandsysteme im Betriebszustand zur Vorbereitung des Brennelementwechsels mit geöffnetem RDB und abgesenktem RDB-Füllstand würde nicht nur die FDF, sondern auch die SLERF deutlich reduzieren. Die mit der Wartung des Notstandsystems einhergehende Unverfügbarkeit dient aber gleichzeitig dem Schutz des in der Reaktorgrube arbeitenden Personals.

Beurteilung des ENSI

Das ENSI hat die Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb überprüft. Wesentliche Erkenntnisse sind:

- Wie bereits in der Stufe-2-PSA für den Leistungsbetrieb dargestellt, werden Erdbeben mit höheren Beschleunigungen als 1,3 g im PSA-Modell nicht berücksichtigt. Es kann abgeschätzt werden, dass deren Häufigkeit zu praktisch 100 % zur oben dargestellten SLERF zu addieren ist. Trotz der Vorbehalte zur Stufe-1-PSA und Stufe-2-PSA für den Nichtleistungsbetrieb ist zu erwarten, dass die SLERF kleiner als 10^{-6} pro Jahr ist.
- Betreffend Transienten gibt es eine Inkonsistenz, da der SLERF-Beitrag grösser ist als der FDF-Beitrag. Diese Inkonsistenz steht im Zusammenhang mit der kritisierten KPDS-Gruppierung.

7.8 Anwendungen der PSA

Angaben des KKL

Sicherheitsniveau der Anlage

Das KKL stuft die von ihm ausgewiesenen mittleren Werte der Risikokenngrössen CDF und FDF als klar kleiner als 10^{-5} pro Jahr und den mittleren Wert der LERF als kleiner als 10^{-6} pro Jahr ein. Daraus folgert das KKL, dass gemäss den in der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.1 Bst. a festgelegten Kriterien keine risikomindernden Massnahmen notwendig sind.

Aus einem Vergleich mit Daten der IAEA zu ausländischen Kernkraftwerken kommt das KKL zum Schluss, dass das Sicherheitsniveau des KKL aus risikotechnischer Sicht zu den besten der Anlagen der Generation 2 gehört.

Ausgewogenheit der Risikobeiträge

In den Analysen zur Ausgewogenheit der Risikobeiträge gelangt das KKL zu folgenden Einschätzungen:

- Erdbeben stellen mit 62 % den grössten Beitrag zur CDF dar. Zur FDF tragen Kühlmittelverluststörfälle mit 34 % am meisten bei, Erdbeben hingegen nur mit 31 %.
- Das Verhältnis der mittleren CDF zur Baseline-CDF beträgt 1,1 und ist damit kleiner als der in der Richtlinie ENSI-A06 festgelegte Wert von 1,2. Massnahmen zur Reduktion des Risikobeitrages durch Instandhaltung sind somit nicht erforderlich.
- Die LERF wird zu mehr als 90 % von externen Ereignissen, hauptsächlich Erdbeben, bestimmt. Bezüglich der Bedeutung einzelner Komponenten oder Operateurhandlungen lassen sich keine dominanten Beiträge erkennen.
- Bei der SLERF sind die Beiträge von internen und externen Ereignissen relativ ausgeglichen. Die höchste Bedeutung hat die Unverfügbarkeit des Notstandsystems in einzelnen Betriebszuständen.

Identifikation von Komponenten, die aus Sicht der PSA eine sicherheitstechnische Bedeutung haben

Das KKL listet die Komponenten auf, welche gemäss den Kriterien der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.5 aus Sicht der PSA von sicherheitstechnischer Bedeutung sind. Das Verfahren berücksichtigt CCF und betrachtet die Risikokenngrössen CDF, FDF, LERF und SLERF. Die Liste der Komponenten, welche die Kriterien der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.5 erfüllen, jedoch nicht den Sicherheitsklassen SK1 bis SK3 oder der elektrischen Klasse 1E zugewiesen sind, wurde aktualisiert.

Ausgewogenheit und Vollständigkeit der „Technischen Spezifikationen“

Bezüglich der Vollständigkeit der Technischen Spezifikationen (TS) prüft das KKL, ob alle Komponenten, die aus Sicht der PSA eine sicherheitstechnische Bedeutung haben, in den TS berücksichtigt sind. Hierbei identifiziert das KKL einen mobilen Dieselgenerator, der bisher nicht in den TS verzeichnet ist.

In Bezug auf die Ausgewogenheit der TS prüft das KKL, ob die gemäss TS zulässige Instandsetzungszeit einer Komponente der risikotechnischen Bedeutung der Komponente entspricht. Dazu leitet das KKL in einem eigens entwickelten Verfahren eine aus Sicht der PSA zulässige Instandsetzungszeit her. In dem Verfahren werden hinsichtlich CDF und LERF Schwellenwerte für das Risiko definiert, welches die Unverfügbarkeit einer Komponente bei Ausschöpfung der zulässigen Instandsetzungszeit höchstens verursachen darf. Ferner wird geprüft, ob eine Abschaltung des Reaktors mit unverfügbarer Komponente zu einem niedrigeren Risiko führt als bei Ausschöpfung der aus Sicht der PSA zulässigen Instandsetzungszeit.

Aus der Untersuchung zieht das KKL den Schluss, dass für die überwiegende Mehrheit der Komponenten die gemäss TS zulässigen Instandsetzungszeiten angemessen oder konservativ sind. Für einzelne Komponenten hingegen könnten sich Verkürzungen der zulässigen Instandsetzungszeiten risikomindernd auswirken. Solche Fälle sind im Bereich der Hochdrucksicherheitseinspeisung und derjenigen Systeme zu finden, die zur Beherrschung externer Ereignisse besonders wirksam sind.

Probabilistische Bewertung der Betriebserfahrung

Die Betriebserfahrung des KKL für die Jahre 2006 bis 2015 wird für den Leistungsbetrieb anhand des Risikoprofils, des Trends von probabilistischen Sicherheitsindikatoren, der probabilistischen Bewertung von Vorkommnissen und des Einflusses verschiedener Risikokategorien bewertet. Die risikotechnischen Anforderungen an die Wartung von Komponenten gemäss Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.3.2 wurden jedes Jahr erfüllt. Ein Vorkommnis führte auch aus Sicht der PSA zu einer INES-1-Bewertung. Es handelt sich um das Startversagen beider Grundwasserpumpen im Jahr 2014. Dieses Vorkommnis führt bei den Werten der probabilistischen Sicherheitsindikatoren zu einem leicht steigenden Trend.

Beurteilung des ENSI

Das KKL hat alle Anwendungen der PSA gemäss Richtlinie ENSI-A03 Kap. 5.5.2 mit Berücksichtigung der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6 durchgeführt. Die KKL PSA 2016 wurde somit für die PSÜ 2016 umfassend und systematisch angewendet. Die einzelnen Anwendungen werden wie folgt beurteilt:

- Die risikotechnische Bewertung des Sicherheitsniveaus erachtet das ENSI grundsätzlich als plausibel. Da nach Wertung des ENSI davon auszugehen ist, dass die Werte für die CDF und die FDF auch bei Berücksichtigung des identifizierten Verbesserungspotenzials der KKL PSA 2016 kleiner als 10^{-5} pro Jahr sind, ergibt sich auf dieser Basis keine Notwendigkeit für weitere risikomindernde Massnahmen. Aufgrund der Nichtberücksichtigung von Erdbeben mit höheren Beschleunigungen als 1,3 g PGA und den Vorbehalten bei der KPDS-Quantifizierung kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die LERF oberhalb von 10^{-6} pro Jahr liegt. Im Rahmen der Verfügung vom 26. Mai 2016^{ENSI-2016-05-26} wurden die Erdbebengefährdungsannahmen neu festgelegt und eine entsprechende Aktualisierung der PSA bis Mitte 2019 gefordert. Das ENSI wird in diesem Zusammenhang prüfen, ob die LERF grösser als 10^{-6} pro Jahr ist.
- Die Ausgewogenheit der Risikobeiträge wurde entsprechend den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.2 beurteilt. Insbesondere wurde der dominante Anteil von Erdbeben zur mittleren CDF diskutiert.

Das ENSI hat sich basierend auf eigenen Abschätzungen jedoch davon überzeugt, dass selbst bei Berücksichtigung von Erdbeben mit höheren Beschleunigungen als 1,3 g PGA der Erdbeben-Anteil an der CDF geringer als $6 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr ist. Daher sind auf Basis von Kap. 6.2 a.2. der Richtlinie ENSI-A06 keine weiteren Massnahmen erforderlich.

- Die risikotechnische Beurteilung von Komponenten entspricht im Allgemeinen den Vorgaben der Richtlinie ENSI-A06 Kap. 6.5. Die erwarteten Komponentenlisten wurden erstellt. Jedoch ist die Aussagekraft dieser Listen etwas eingeschränkt, da es Anzeichen für Unstimmigkeiten bei der Berechnung der Importanzen von Basisereignissen gibt.
- Die Überprüfung der Vollständigkeit und der Ausgewogenheit der TS wurde vom KKL erstmalig umfassend durchgeführt. Die verwendete Methode ist grundsätzlich der Problemstellung angemessen. Die Risikobetrachtung des Übergangs zur abgestellten Anlage wird in einer sinnvollen Weise eingesetzt. Die Angaben sind im Allgemeinen nachvollziehbar. Aus der Überprüfung ergeben sich noch gewisse Fragen, die insbesondere den Umfang der Betrachtungen und die Umsetzung der Kürzung von zulässigen Instandsetzungszeiten betreffen.
- Die risikotechnische Bewertung der Betriebserfahrung für die Jahre 2006 bis 2015 wurde systematisch und umfassend durchgeführt. Sie zeigt, dass die entsprechenden Anforderungen an die Wartung von Komponenten während des Leistungsbetriebs eingehalten wurden. Aus dem Vorkommnis, welches aus Sicht der PSA mit INES 1 zu bewerten ist und zu einem leicht steigenden Trend der probabilistischen Sicherheitsindikatoren geführt hat, wurden Massnahmen zur Verkürzung der möglichen latenten Fehlerzeiten der betroffenen Komponenten abgeleitet. Ferner forderte das ENSI eine systematische Untersuchung der Komponentenzuverlässigkeit, aus der weitere Verbesserungen im Bereich der geplanten Instandhaltung abgeleitet wurden.

7.9 Zusammenfassende Bewertung

Basierend auf der vom KKL eingereichten PSA und den Resultaten der Überprüfung durch das ENSI können zusammenfassend folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Modelle der KKL PSA 2016 für den Leistungsbetrieb und den Nichtleistungsbetrieb berücksichtigen alle wesentlichen Störfälle. Die Modelle wurden aktualisiert, um die seit der PSÜ 2006 vorgenommenen Anlagenänderungen, die gewonnene Betriebserfahrung, die neu vorliegenden Erkenntnisse sowie die Kommentare des ENSI aus der Stellungnahme zur PSÜ 2006 zu berücksichtigen.
- Die Störfallabläufe sind detailliert modelliert und die verwendeten Rechenprogramme entsprechen dem Stand von Wissenschaft und Technik.
- Das KKL weist für den Leistungsbetrieb im Vergleich zu dem von der Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen^{UVEK-G} verlangten Wert einer Kernschadenshäufigkeit von unter 10^{-4} pro Jahr eine sehr niedrige CDF von $1,55 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr aus. Auch unter Berücksichtigung des in der Analyse identifizierten Verbesserungsbedarfs ist es nach Wertung des ENSI plausibel, dass die CDF deutlich kleiner ist als 10^{-5} pro Jahr.
- Bei Berücksichtigung des Verbesserungsbedarfs sind rund zwei Drittel der CDF auf extreme Erdbeben mit Beschleunigungen von mehr als 0,6 g PGA zurückzuführen und damit auf extreme Erdbeben, die deutlich seltener als einmal in 10'000 Jahren zu erwarten sind. Demgegenüber tragen Transienten und Kühlmittelverluststörfälle wegen der im KKL im hohen Mass angewandten Prinzipien von Redundanz und Diversität sowie interne Brände und interne Überflutungen wegen der systematischen Redundanztrennung im KKL nur einen relativ geringen Anteil an der CDF bei. Auch weniger extreme Erdbeben und andere externe Ereignisse leisten entweder wegen der robusten Auslegung des KKL und wegen der im KKL etablierten Accident-Management-Massnahmen oder wegen ihrer extrem geringen Eintrittshäufigkeit nur einen relativ geringen Beitrag zur CDF.

- Das KKL weist eine Brennstoffschadenshäufigkeit von $4,52 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr aus. Insbesondere durch die Vernachlässigung von Erdbeben mit mehr als 1,3 g PGA wurde der FDF-Beitrag aus Erdbeben unterschätzt. Das ENSI erachtet es jedoch auch unter Berücksichtigung des identifizierten Verbesserungsbedarfs als plausibel, dass die FDF des KKL deutlich kleiner ist als 10^{-5} pro Jahr. Kühlmittelverluststörfälle und Erdbeben liefern die grössten Anteile zur FDF. Kühlmittelverluststörfälle tragen den grössten Anteil zur Gesamt-Brennstoffschadenshäufigkeit bei, da aufgrund der erheblichen Wasserreserve und der tiefen Nachzerfallwärme während des Brennelementwechsels die Möglichkeit eines Brennstoffschadens bei einem Grossteil der Transienten (inklusive Erdbeben induzierte Transienten) innerhalb der ersten drei Tage ausgeschlossen ist und auf Basis der Richtlinie ENSI-A05 von einer Beherrschung des Unfalls ausgegangen werden kann.
- Die Modelle der PSA der Stufe 2 bauen auf jenen der Stufe 1 auf und basieren damit ebenfalls auf dem umfassenden Spektrum auslösender Ereignisse. Ferner berücksichtigen sie nach Wertung des ENSI die für den Unfallablauf relevanten Phänomene.
- Für das Risiko früher grosser Freisetzungen während des Leistungsbetriebs wird ein Wert von $6,98 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr ausgewiesen. Unter Berücksichtigung des identifizierten Verbesserungsbedarfs der Analyse kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die LERF oberhalb von 10^{-6} pro Jahr liegt. Das ENSI wird den Sachverhalt bei der Prüfung der gemäss der Verfügung vom 26. Mai 2016^{ENSI-2016-05-26} zu aktualisierenden PSA weiter verfolgen.
- Erdbeben bis 0,6 g PGA tragen knapp 6 % zur LERF bei. Erdbeben mit mehr als 0,6 g PGA machen rund 70 % der gesamten LERF aus. Unter Berücksichtigung der im PSA-Modell vernachlässigten Erdbeben mit mehr als 1,3 g PGA wird dieser Anteil noch höher. Die LERF des KKL wird stark von extremen Erdbeben bestimmt, die deutlich seltener als einmal in 10'000 Jahren zu erwarten sind. Die internen systemübergreifenden Ereigniskategorien „Brand und Überflutung“ tragen begünstigt durch die systematische Redundanztrennung nur sehr wenig zur LERF bei. Der LERF-Beitrag durch Kühlmittelverluststörfälle stammt grösstenteils aus Containmentbypass-Szenarien, für die im PSA-Modell garantierter Kernschaden angenommen wird. Betreffend die SLERF erachtet das ENSI einen Wert unter 10^{-6} pro Jahr auch bei Berücksichtigung des in den Analysen identifizierten Verbesserungsbedarfs als plausibel.
- Auch unter Berücksichtigung des in der KKL PSA 2016 identifizierten Verbesserungsbedarfs erachtet das ENSI es als plausibel, dass die von der IAEA für bestehende Anlagen empfohlenen Sicherheitsziele deutlich eingehalten werden.
- Besonders positiv hervorzuheben ist, dass das KKL seine PSA einem Peer Review durch ein Expertenteam der IAEA unterzogen hat. Dies zeigt, dass das KKL einer gut fundierten, dem internationalen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden PSA einen hohen Stellenwert beimisst und seine PSA dementsprechend überprüft und weiterentwickelt. Das PSA-Modell ist, auch wenn Verbesserungspotential besteht, grundsätzlich eine gute Grundlage für risikotechnische Anwendungen.
- Das KKL identifiziert mithilfe der KKL PSA 2016 keine Anlagendefizite, jedoch einige Optimierungsmöglichkeiten. Aus Sicht des ENSI deutet die PSA auf ein Verbesserungspotential hin, das für den Notstromfall von Bedeutung ist. Zum einen wird die Zuverlässigkeit des Hochdruckeinspeisesystems RCIC durch die Notwendigkeit einer manuellen Durchflussregelung in teilweise zeitkritischen Szenarien (deutlich weniger als 30 min verfügbar) reduziert. Zum anderen hätte das Laufversagen eines (bestimmten) Notstromdiesels nicht nur zur Folge, dass das andere Hochdruckeinspeisesystem (HPCS) ausfällt, sondern auch, dass – aufgrund der Möglichkeit von Fehlsignalen – der Ausfall des automatischen Reaktor-Druckentlastungssystems ADS mit erhöhter Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist. Das ENSI befürwortet daher die diesbezüglich vom KKL dargestellten Optimierungspotentiale und wird diese im Aufsichtsverfahren weiterverfolgen. Ferner werden Abklärungen getroffen, ob angemessene, betriebliche Optimierungen des Nichtleistungsbetriebs (Anpassung der Wartungsplanung oder Betriebszustandsdauer) zur Senkung des Risikos möglich sind, und ob in der SBO-Vorschrift nützliche Querverweise auf anderen Vorschriften ergänzt werden könnten.

Nach Wertung des ENSI weist das KKL bezüglich auslegungsüberschreitender Störfälle einen sehr hohen Sicherheitsstatus auf.

Die vom ENSI identifizierten Verbesserungspunkte sind in einer Aktionsliste zusammengefasst. Einige dieser Verbesserungspunkte sind aus Sicht des ENSI für die (gemäss Verfügung vom 26. Mai 2016 bis zum 28. Juni 2019) durchzuführende Aktualisierung der Erdbeben-PSA auf Grundlage der Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 bedeutend. Diese sind in der Aktionsliste entsprechend gekennzeichnet. Ihre Umsetzung zusammen mit der Aktualisierung der Erdbeben-PSA ist Inhalt eines laufenden Geschäfts.

Forderung 7.9-1

Bis zum 16. Dezember 2022 sind sämtliche in der Aktionsliste zur KKL PSA 2016 aufgeführten Verbesserungspunkte umzusetzen und das PSA-Modell inklusive zugehöriger Dokumentation dem ENSI einzureichen. Ferner ist zu jedem in der Aktionsliste festgehaltenen Verbesserungspunkt darzulegen, wie dieser im neuen Modell beziehungsweise in der neuen Dokumentation umgesetzt wurde.

8 Organisation und Personal

8.1 Organisation des Bewilligungsinhabers

8.1.1 Eigentumsverhältnisse und Organisationsstruktur

Angaben des KKL

Die Bewilligungsinhaberin des Kernkraftwerks Leibstadt ist eine Aktiengesellschaft mit dem Namen Kernkraftwerk Leibstadt AG (im Folgenden KKL AG). Eigentümer sind sieben Unternehmen der Schweizer Strombranche. Die Beteiligungsverhältnisse sind im Überprüfungszeitraum unverändert geblieben. Teilweise änderten sich hingegen die Firmennamen der Aktionäre, und Aktienpakete wurden aufgrund von Fusionen und Umbenennungen auf neue oder andere Geschäftseinheiten übertragen.

Die organisatorische Struktur der KKL AG setzt sich aus dem Verwaltungsrat, der Geschäftsleitung sowie der Betriebsorganisation (im Folgenden KKL) zusammen. Die Betriebsorganisation ist dem Kraftwerksleiter unterstellt. Die übergeordnete Verantwortung für den sicheren Betrieb des Kernkraftwerks liegt beim Verwaltungsrat und der Geschäftsleitung. Letztere überträgt dem Kraftwerksleiter die direkte Verantwortung für den sicheren Betrieb.

Der Verwaltungsrat erlässt das Organisationsreglement und ernennt die Geschäftsleitung, den Kraftwerksleiter sowie die Mitglieder der Kommissionen des Verwaltungsrats (Technische Kommission, Finanzkommission sowie Administrativ/Juristische Kommission). Die letzte Aktualisierung des Organisationsreglements datiert von 2015.

Die Axpo Power AG (vormals NOK, im Folgenden Axpo) nimmt die Geschäftsleitung der KKL AG wahr. Der Leiter der Division Kernenergie der Axpo ist Vorsitzender der Geschäftsleitung und die direkt vorgesetzte Stelle des Kraftwerksleiters. Die Nähe zur Axpo, welche auch das Kernkraftwerk Beznau betreibt, erleichtert u. a. den Austausch von Informationen, Erfahrungen, technischer Unterstützung und personellen Ressourcen. Die Organisationseinheiten Bautechnik und Kernbrennstoff der Division Kernenergie werden im Sinne von Kompetenzzentren geführt, die beiden Kernkraftwerken ihre Dienstleistungen zur Verfügung stellen. Damit können entsprechende Synergien genutzt werden und die gegenseitige Unterstützung hilft die Qualität der Arbeit zu steigern und dient der Sicherheit beider Anlagen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 22 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Die Organisation der Unternehmung Kernkraftwerk Leibstadt AG erfüllt die massgebenden Vorgaben des KEG sowie der KEV.

Durch die nicht direkt der Kraftwerksleitung unterstellten Organisationseinheiten in der Division Kernenergie der Axpo könnten sich Konflikte bei sicherheitsrelevanten Entscheidungen ergeben. Dies wird unter Kap. 8.1.3 adressiert.

8.1.2 Sicherheitsverantwortung

Angaben des KKL

In den Führungsdokumenten, erstellt durch den Verwaltungsrat sowie die Geschäfts- und Kraftwerksleitung, sind alle bedeutenden Sicherheitsgrundsätze verankert. Diese richten sich am Primat der Sicherheit aus und definieren die Wahrnehmung der Sicherheitsverantwortung der Unternehmung KKL AG. In Tabelle 8.1-1 sind diese Dokumente aufgelistet.

Tabelle 8.1-1: Dokumente mit Regelungen zur Sicherheitsverantwortung des KKL

Dokument	Erlass-Ebene	Inhalt
Unternehmensleitbild	Verwaltungsrat der KKL AG	Definition von Vision, Mission und Werten des Unternehmens
Unternehmensziel und -strategie	Verwaltungsrat der KKL AG	Übergeordnete, langfristige Zielsetzungen und die dazu notwendige Strategie
Nukleare Sicherheits-Charta	Verwaltungsrat der KKL AG	Verbindliche Selbstverpflichtung des Verwaltungsrates zum Primat der Sicherheit
Leitbild Sicherheitskultur	Kraftwerksleitung	Verhalten zur Umsetzung der Sicherheits-Charta, das von allen Mitarbeitenden des KKL und von Fremdfirmen erwartet wird
KKL-Standards für die nukleare Sicherheit	Kraftwerksleitung	In Leitbildern definierte Werte sind in einfache und verständliche Verhaltensvorgaben und -prinzipien für die tägliche Anwendung übertragen

Im Unternehmensleitbild mit der Vision, Mission und den Werten ist die Sicherheitsverantwortung des Unternehmens KKL AG übergeordnet anhand von Handlungsprinzipien definiert. Diese sind:

- Das KKL ist Vorbild für Kultur, Organisation und Technik existierender und künftiger Kraftwerke – in der Schweiz, in Europa, weltweit.
- Das KKL produziert sicher, zuverlässig und wirtschaftlich Strom im Auftrag und nach Vorgabe der Eigentümer, mindestens bis zum Jahr 2045.
- Die fünf KKL-Werte „Sicherheit“, „Professionalität“, „Identifikation“, „Offenheit & Respekt“ sowie „Zusammenarbeit“ bilden die Grundlage der Unternehmenskultur. Sie definieren die Prinzipien und Verhaltensweisen und helfen, die angestrebten Ziele des KKL in gemeinsamer Übereinstimmung erfolgreich und planmässig zu erreichen.

Gestützt auf diese Handlungsprinzipien sind für alle Hierarchiestufen spezifische, das Handeln leitende Richtlinien für die Geschäftstätigkeit der KKL AG formuliert. Diese Richtlinien sind: „Unternehmensziele und -strategie“, „Nukleare Sicherheits-Charta“, „Leitbild Sicherheitskultur“ und „KKL-Standards“. Die Wahrnehmung der Sicherheitsverantwortung stützt sich auf diese Handlungsprinzipien.

Im Führungsdokument „Unternehmensziele und Strategie“ ist die Strategie zum Schutz von Mensch und Umwelt auf der Grundlage des Prinzips „Sicherheit vor Wirtschaftlichkeit“ festgelegt. Dieses ist in der „Nuklearen Sicherheits-Charta“ als verbindliche Selbstverpflichtung, der Sicherheit stets den gebotenen Vorrang einzuräumen, konkretisiert. Letztere beschreibt ebenfalls, anhand welcher Sicherheitsprinzipien diese Selbstverpflichtung täglich zu beachten und zu fördern ist. Das Leitbild „Sicherheitskultur“ sowie die „KKL-Standards“ enthalten Verhaltensregeln bzw. einfache, verständliche Verhaltensvorgaben für die tägliche Arbeit; es ist darin die explizite Erwartung formuliert, dass alle Mitarbeitenden des KKL und von Fremdfirmen ihr Handeln an diesen Regeln und Vorgaben orientieren müssen.

Das Sicherheitscontrolling ist als eine vom operativen Kraftwerksgeschäft und der Linienorganisation unabhängige Ombudsstelle zur Überwachung der Sicherheitsverantwortung eingerichtet. Ihre Aufgabe ist, die Sicherheitsbelange periodisch zu bewerten und hierdurch die kontinuierliche Verbesserung der Sicherheit im

KKL zu gewährleisten. Im KKL existiert das Sicherheitscontrolling seit 2005. Die personelle Besetzung dieser Stelle änderte sich seither mehrmals (ca. alle drei Jahre), um eine Befähigung der Stelleninhaber gegenüber dem KKL auszuschließen.

Die kontinuierliche Verbesserung der Sicherheit wird im KKL als eine wichtige Aufgabe betrachtet. Sie ist aus den oben beschriebenen Dokumenten zur Regelung der Sicherheitsverantwortung ersichtlich. Ebenso ist im Managementsystem dazu der Prozess kontinuierliche Verbesserung beschrieben.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 5 und 22 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}

Beurteilung des ENSI

Die Verantwortung für die Sicherheit richtet sich am Primat der Sicherheit aus. In verschiedenen Dokumenten, angepasst an die entsprechende Hierarchiestufe der Unternehmung, ist die Strategie zur Umsetzung dieser Verantwortung dargelegt. Daraus ist ersichtlich, dass die Organisation KKL AG Anstrengungen zur Förderung eines ausgeprägten Sicherheitsbewusstseins unternimmt und über Vorgaben zum selbstverpflichtenden Handeln gegenüber der Sicherheit verfügt. Unter selbstverpflichtendem Handeln versteht das ENSI eine über die Einhaltung der Gesetze hinausgehende Verpflichtung gegenüber der Sicherheit. Ebenso sind Massnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung der Sicherheit festgelegt.

Die Regelungen zur Wahrnehmung der Verantwortung für die Sicherheit durch die KKL AG erfüllen damit die massgebenden Vorgaben des KEG und der KEV.

8.1.3 Aufgaben, Kompetenzen und Entscheidungsfindung von Unternehmens- und Kraftwerksleitung

Angaben des KKL

Aufgaben und Kompetenzen

Der Verwaltungsrat der KKL AG stellt dem Kraftwerksleiter die notwendigen Kompetenzen und Mittel zur Verfügung. Die Zuständigkeiten von Unternehmens- und Kraftwerksleitung bei Entscheidungen zu Sicherheitsfragen sind in verschiedenen Führungsdokumenten, namentlich im Organisationsreglement, im Geschäftsführungsvertrag und im Kraftwerksreglement definiert. Im Organisationsreglement sind die Grundsätze der Führung der Kraftwerksanlage durch den Kraftwerksleiter festgelegt. Sie lauten:

- Der Kraftwerksleiter ist für die Sicherheit und Sicherung verantwortlich.
- Der Kraftwerksleiter führt die Kernanlage im Rahmen seiner Aufgaben und Kompetenzen sowie der Weisungen und Richtlinien des Vorsitzenden der Geschäftsleitung.

Die an den Kraftwerksleiter übertragenen Aufgaben und Befugnisse können durch den Vorsitzenden der Geschäftsleitung erweitert oder eingeschränkt werden. Wesentliche Erweiterungen oder Einschränkungen müssen dabei im Einvernehmen mit dem Verwaltungsrat erfolgen. Im Geschäftsführungsvertrag ist die Übertragung der Kompetenz zur Geschäftsführung an die Axpo geregelt. Er legt fest, dass Teile dieser Befähigung, insbesondere die unmittelbare Führung und Überwachung des Werks, an die Kraftwerksleitung übertragen sind.

Im Kraftwerksreglement sind die Organisation der Kernanlage und deren Bestimmungen mit Bezug zur Sicherheit beschrieben. Unter dem Kraftwerksreglement wird im KKL eine definierte Sammlung von Grundlegendendokumenten verstanden. Änderungen an dieser Dokumentation unterliegen teilweise der Freigabepflicht durch das ENSI. In den freigabepflichtigen Dokumenten sind beschrieben:

- Grundsaterklärung
In der Grundsaterklärung sind die grundlegenden Handlungsprinzipien zur Erfüllung des Auftrags des KKL festgelegt. Diese sind: Primat der Sicherheit, (Eigen-)Verantwortung für die Sicherheit sowie stetige Überprüfung und Weiterentwicklung der Sicherheit in allen Bereichen.
- Aufbauorganisation KKL (Organigramme und Aufgaben der Organisation)
Die Aufbauorganisation beschreibt die Funktionen und Aufgaben der organisatorischen Einheiten, welche eine Bedeutung für die Sicherheit haben, und legt dar, welche Funktionen bei Wechsel der Stelleninhaber der Meldepflicht unterstehen.
- Interne Gremien
Die Dokumente „Interner Sicherheitsausschuss ISA“ und „Betriebserfahrungsgruppe BEG“ beschreiben die Aufgaben der im Regelwerk verlangten Kommissionen und Gremien.
- Organisatorische Abschaltkriterien
Die organisatorischen Abschaltkriterien legen die Mindestbestände für im Regelwerk definierte Personengruppen fest und definieren die Karenzzeit für die Abschaltung der Anlage bei deren Unterschreitung.
- Personelle Präsenz von Schicht und Pikettingenieur
In diesem Dokument sind die minimale Schichtbesetzung und Präsenz im Kommandoraum entsprechend der jeweiligen Betriebsart sowie der Aufenthaltsort des diensthabenden Pikettingenieurs und die ihm zur Verfügung stehende Zeit zur Erreichung seines Einsatzortes festgelegt.
- Verbindlichkeitserklärung
Mit der Verbindlichkeitserklärung verpflichtet sich die Geschäfts- und Kraftwerksleitung zur Einhaltung des Total Quality Management (TQM; Managementsystem des KKL) wie auch zur Sicherstellung, dass diese Verpflichtung von allen Mitarbeitenden umgesetzt wird.

Neben den oben aufgezählten Führungsdokumenten existieren weitere Dokumente, die Regelungen mit Bezug zur Betriebsführung des KKL enthalten:

- Betriebsreglement
Dieses Dokument enthält die Regelungen des Verwaltungsrats mit Bezug zur Betriebsweise, Energieabgabe bzw. -bezüge der Kernanlage sowie zum Informationsfluss zwischen der Kernanlage und ihren Partnern. Bei der Umsetzung dieser Regelungen nimmt die Technische Kommission des Verwaltungsrates eine bedeutende Stellung ein. Ihre Aufgabe ist, im Auftrag des Verwaltungsrates die vom Kraftwerksleiter beantragten betrieblichen und technischen Kompetenzen und Mittel zu beurteilen. Das KKL ist an den Kommissionssitzungen mit beratener Stimme vertreten.
- Finanzkompetenzen
Das Führungsdokument „Finanzkompetenzen“ legt fest, welche finanziellen Verpflichtungen durch welche Funktionen oder Stufen der Organisation eingegangen werden dürfen. Die Geschäftsleitung kann weitere, nicht geregelte Verpflichtungen, die beispielsweise aufgrund von strategischen Überlegungen oder aufgrund von Änderungen des Betriebsverhaltens oder von Umwelteinflüssen von Bedeutung sind, dem Verwaltungsrat zur Genehmigung vorlegen.
- Facts & Figures
Im Dokument „Facts & Figures“ sind bedeutende Daten und Leistungsgrößen des Unternehmens KKL AG kompakt und übersichtlich dargestellt.

Entscheidungsfindung

Die Technische Kommission ist vom Verwaltungsrat zur Entscheidungsfindung bei Sicherheitsfragen auf der Ebene der Unternehmensleitung eingesetzt worden. In dieser Funktion beschäftigt sie sich mit den betrieblichen Belangen für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der Anlage wie auch mit Fragen zu Investitionsvorhaben und zum Energieverkehr. Die Entscheidungsfindung und die Kommunikationswege zwischen den Organen der KKL AG und der Kraftwerksleitung sind in den oben erörterten Dokumenten, dem Organisationsreglement, Geschäftsführungsvertrag, Kraftwerksreglement und Betriebsreglement definiert. Ebenfalls wird die Entscheidungsfindung und Kommunikation durch das Führungsverhalten aller Beteiligten geprägt. Auf Stufe Kraftwerksleitung sind die Erwartungen dazu im Managementsystem beschrieben.

Auf Stufe Kraftwerksleitung führt die Arbeitsgruppe Sicherheitsprüfung für Projekte, Änderungen und Versuche unabhängige Sicherheitsüberprüfungen mit der Zielsetzung durch, Auswirkungen dieser Vorhaben auf die Sicherheit der Anlage zu prüfen. Die Resultate dieser Überprüfungen werden durch die Leitung der Arbeitsgruppe dem internen Sicherheitsausschuss vorgetragen.

In den im TQM beschriebenen Prozessen sind alle wesentlichen Entscheidungen beschrieben, die Verantwortlichkeiten festgelegt und unterstützende Hilfestellungen oder weiterführende Informationen (Kriterien, Checklisten etc.) integriert. Komplexere Entscheidungen werden mit der Methode ODM (Entscheidungsfindung nach den „Principles for Effective Operational Decision Making“) durchgeführt. Die Methode ODM gehört zu den KKL-Standards. Die damit erzielten Ergebnisse müssen nachvollziehbar dokumentiert werden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 22 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Die Aufgaben und Kompetenzen der Unternehmens- und Kraftwerksleitung sind stufengerecht und detailliert beschrieben. Das Vorgehen der Entscheidungsfindung zwischen Unternehmens- und Kraftwerksleitung ist ebenfalls festgelegt. Diese Angaben erfüllen die massgebenden Anforderungen aus KEG und KEV.

Nicht festgelegt ist hingegen, wie die Entscheidungsfindung bei abweichender Meinung oder bei Konflikten zwischen Unternehmens- und Kraftwerksleiter zu Fragen der Sicherheit geregelt ist. Beiden Akteuren ist eine gesetzlich festgelegte Verantwortung für die Sicherheit zugeschrieben. Sie stehen in einem Abhängigkeitsverhältnis zueinander. Gemäss Richtlinie ENSI-G07 ist darauf zu achten, dass dieses Abhängigkeitsverhältnis keine ungünstigen Einflüsse auf die Sicherheit hat. Bei Konflikten zu Sicherheitsfragen ist dieser Anforderung insbesondere Beachtung zu schenken. Daher erhebt das ENSI folgende Forderung:

Forderung 8.1-1

Das KKL hat dem ENSI bis zum 30. Juni 2020 in einem Bericht die Vorgehensweise bei sicherheitsrelevanten Entscheidungen im Falle abweichender Meinungen bzw. bei Konflikten zwischen Unternehmens- und Kraftwerksleiter darzulegen. Dabei ist insbesondere auszuführen, wie sichergestellt wird, dass das Abhängigkeitsverhältnis von Unternehmens- und Kraftwerksleitung keinen ungünstigen Einfluss auf die Sicherheit hat (vgl. Richtlinie ENSI-G07). Im Bericht ist der Prozess der Entscheidungsfindung (Informationssammlung, -bewertung etc.) detailliert darzulegen und – soweit möglich – anhand von Beispielen zu illustrieren. Ebenso muss aus dem Bericht ersichtlich sein, wie bei der Entscheidungsfindung gewährleistet wird, dass die Selbstverpflichtung des KKL (vgl. Nukleare Sicherheits-Charta) umgesetzt wird.

8.2 Organisation des Kernkraftwerks

8.2.1 Organisationsstruktur, Verantwortlichkeiten, Kompetenzen, Funktionen und Aufgaben

Angaben des KKL

Die Struktur der Kraftwerksorganisation (Aufbauorganisation), die Aufgaben aller Organisationseinheiten, die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Mitglieder der Kraftwerksleitung sowie die Regelung deren Stellvertretung sind in Führungsdokumenten, welche zum Kraftwerksreglement zusammengefasst sind, beschrieben. Die Qualifikationen, Aufgaben und Kompetenzen der einzelnen Mitarbeitenden sind in Stellen- und Funktionsbeschreibungen definiert. Die Verantwortung für die Sicherheit ist in diesen Dokumenten stufengerecht formuliert, sodass der für die Sicherheit erforderliche Handlungsspielraum jedem Mitarbeitenden bekannt ist.

Die Aufbauorganisation ist in Linien- und Stabsfunktionen unterteilt. Sie setzt sich zusammen aus dem Kraftwerksleiter, den Stabstellen und sechs Abteilungen. Letztere sind: Administration & Materialwirtschaft, Betrieb, Elektrotechnik, Maschinenteknik, Überwachung sowie Support Sicherheit & Technik. Je nach Grösse der Abteilungen sind diese in Ressorts und Gruppen unterteilt. Die Aufgaben Personal & Personalentwicklung, Information, Controlling und TQM, Sicherheits-Controlling sind als Stabsstellen organisiert und direkt dem Kraftwerksleiter unterstellt. Die externen Organisationseinheiten Bautechnik und Kernbrennstoff der Division Kernenergie der Axpo werden als Teil der internen Organisation des KKL dargestellt. Zusätzlich sind Beauftragte für besondere sicherheitsrelevante Aufgaben eingesetzt, welche einen direkten Zugang zum Kraftwerksleiter haben. Die Kraftwerksleitung setzt sich aus dem Kraftwerksleiter, den Abteilungsleitern sowie der Leiterin der Stabsstelle Personal & Personalentwicklung zusammen.

Die Linienorganisation wird für die Bearbeitung abteilungsübergreifender Fragestellungen durch interne Gremien (Arbeitsteams, Arbeitsgruppen, Ausschüsse und Kommissionen) ergänzt und überlagert. Diese Gremien sind aus Mitarbeitenden unterschiedlicher Organisationseinheiten, entsprechend dem Auftrag bzw. der Zielsetzung des jeweiligen Gremiums, zusammengesetzt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 22 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-G07^{G07} und ENSI-G09^{G09}

Beurteilung des ENSI

Die Verantwortung für die für die Sicherheit erforderlichen Tätigkeits- und Sachbereiche wird durch die Organisation des KKL wahrgenommen. Das Personal ist in überblickbare Organisationseinheiten eingeteilt. Die interne Organisation des KKL, die Festlegungen der Verantwortung und Kompetenzen sowie die Stellvertreterregelung erfüllen die massgebenden Vorgaben des KEG, des KEV und der Richtlinien ENSI-G07 und ENSI-G09.

Durch die externen Organisationseinheiten Bautechnik und Kernbrennstoff der Division Kernenergie der Axpo könnten sich Konflikte bei sicherheitsrelevanten Entscheidungen ergeben. Dies wird unter Kap. 8.1.3 adressiert.

8.2.2 Personalressourcen und -entwicklung

Angaben des KKL

Personelle und materielle Ressourcen sind für die Erfüllung von Unternehmensziel und -strategie erforderlich. Deren Verfügbarkeit am richtigen Ort, zur richtigen Zeit und in der richtigen Qualität wird vom KKL geplant, koordiniert und umgesetzt. Ressourcen umfassen Personal (Eigen- und Fremdpersonal), Infrastruktur, Arbeitsmittel und Wissen.

2006 zählte das KKL 435 Mitarbeitende. Ende 2015 beschäftigte es 533 Mitarbeitende (519,5 Vollzeitstellen) und 15 Lernende. 60 Mitarbeitende hatten eine Zulassung als Pikettingenieure, Schichtchefs oder Reaktoroperateure. Im Überprüfungszeitraum erfolgte somit ein kontinuierlicher Stellenaufbau. Dieser kann wie folgt begründet werden:

- Bildung der Abteilung Support Sicherheit & Technik
- Personalaufbau in den Ressorts Betriebsführung und Betriebswache
- Ausbau der Aufgabe Projektmanagement im Zuge von Anlagenänderungs- und Modernisierungsprojekten
- Doppelbesetzung von Stellen zur Sicherstellung des Wissenstransfers im Rahmen des Generationenwechsels
- Erfüllung der gestiegenen behördlichen Anforderungen
- Insourcing von Personal zur Erweiterung von Kernkompetenzen

Die Personalfuktuation bewegte sich im Überprüfungszeitraum zwischen 1,8 und 3,4 %. Bei diesen Werten sind Pensionierungen und Todesfälle nicht mit eingerechnet. Die relativ niedrigen Werte widerspiegeln die hohe Identifikation der Mitarbeitenden mit dem Unternehmen. Mit austretenden Mitarbeitenden wurde jeweils ein Austrittsgespräch durchgeführt. Die Analysen der in diesen Gesprächen genannten Austrittsgründe zeigen keine besonderen Trends.

Die Mindestbestände für das zulassungspflichtige Personal sowie für das anerkannte Strahlenschutzpersonal müssen gemäss Richtlinie ENSI-G09 im Kraftwerksreglement festgelegt sein. Zur Sicherstellung dieser Bestände ist ein angemessener und langfristiger geplanter Personalbestand vorhanden.

Die Personalentwicklung leitet sich vom Unternehmensleitbild und dem übergeordneten Unternehmungsziel ab und wird als Instrument der Umsetzung der Unternehmensstrategie verstanden. Die Personalentwicklung umfasst:

- die behördlich vorgegebene Aus- und Weiterbildung;
- die individuelle Aus- und Weiterbildung; sowie
- die Führungs- und Fachkaderentwicklung.

Alle Aktivitäten zu deren Umsetzung sind im Führungsdokument „Personalentwicklungskonzept“ beschrieben. Dieses regelt die Planung, Koordination und Steuerung sowie die Verantwortlichkeiten der Aus- und Weiterbildung bzw. Führungs- und Fachkaderentwicklung. Für die Ausführung dieser Aufgaben sind verschiedene Stellen innerhalb der Kraftwerksorganisation zuständig, namentlich: Kraftwerksleiter, Abteilungsleiter, Stabsstelle Personal & Personalentwicklung sowie Personalentwicklungskommission. Letztere analysiert den aktuellen Ausbildungsstand der gesamten Belegschaft und plant und koordiniert die internen und externen Ausbildungen, insbesondere auch die Wiederholungs- bzw. Requalifikationsschulungen. Dazu erstellt sie jährlich ein Ausbildungsprogramm. Die Personalentwicklungskommission setzt sich aus Vertretern der verschiedenen Abteilungen zusammen.

Die Vorgehensweise der Personalentwicklung ist im Managementsystem im Prozess „Personalentwicklung/Ausbildung“ festgelegt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 5 und Art. 22 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B10^{B10} und ENSI-G07^{G07}
- VAPK^{VAPK}

Beurteilung des ENSI

Das KKL verfügt über einen angemessenen Personalbestand für die Gewährleistung der Durchführung von sicherheitsrelevanten Tätigkeiten. Dieser Bestand wird langfristig geplant und periodisch überprüft. Die kontinuierliche Erhöhung des Personalbestands im Laufe des Überprüfungszeitraums aufgrund von Anlagenänderungen, Erneuerungsprojekten, Erfahrung aus dem Betrieb von in- und ausländischen Kernkraftwerken (z. B. Ereignisse in Fukushima, siehe unten) oder zur Sicherstellung des Wissenserhalts im Rahmen des Generationenwechsels ist ein Beleg für die anforderungsgerechte Planung des Personalbestands. Mindestbestände für das zulassungspflichtige Personal sowie für das anerkannte Strahlenschutzpersonal wurden nachvollziehbar ermittelt. Letzteres wurde 2016 erhöht, da der Unfall von Fukushima zeigte, dass die bisherigen Vorgaben zum Bestand an Strahlenschutzpersonal zur Beherrschung schwerer Unfälle nicht ausreichend sind^{ENSI 7669}. Die Planung, Kontrolle und Steuerung der Aus- und Weiterbildung sowie Führungs- und Fachkaderentwicklung sind festgelegt und werden als Instrument zur Umsetzung der Sicherheitsverantwortung der KKL AG verstanden.

Die Personalressourcen und -entwicklung erfüllen damit die massgebenden Vorgaben von KEG, KEV, VAPK sowie den Richtlinien ENSI-G07 und ENSI-B10.

8.2.3 Aus- und Weiterbildung des Eigen- und Fremdpersonals

Angaben des KKL

Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals

Die Verantwortung für die Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals liegt bei der Abteilung Betrieb. Die Aus- und Weiterbildung besteht aus internen und externen Ausbildungsgängen, Training am Simulator sowie dem Erlernen von Tätigkeiten am Arbeitsplatz (Training on the Job). Bereits ab 2003 wurde ein erhöhter Bedarf an Instruktoren für die interne Ausbildung und das Training am Simulator erkannt, und es wurde damit begonnen Pickettingenieure vollamtlich für Ausbildungsaufgaben vorzubereiten und einzusetzen. Mittlerweile verfügt das KKL über drei erfahrene Pickettingenieur-Instruktoren.

Die durchschnittliche jährliche Aus- und Weiterbildungszeit (inkl. Repetition) für das zugelassene Schichtpersonal betrug im Überprüfungszeitraum ca. 20 Tage. Diese Zahl entspricht dem Ausbildungsbedarf, der für die Wiederholungsschulung und aufgrund von Generationenwechsel, laufenden Anlagenänderungsprojekten und Ansprüchen an das sicherheitsgerichtete Verhalten vor Ort und im Kommandoraum erforderlich ist. Letzteres wird seit 2015 mit dem Begriff Anwendung von Fehlervermeidungstechniken als Schwerpunkt in der Ausbildung definiert. Die dazu definierten Standards wurden im Überprüfungszeitraum überarbeitet und ihre ergonomische Gestaltung geändert.

Für die Schichtausbildung ist der KKL-Systemkurs die wichtigste Schulungsunterlage. Er besteht aus 13 Bänden, in welchen eine detaillierte Beschreibung aller KKL-Systeme mit Aufbau und Wirkungsweise enthalten ist. Diese Unterlage wird laufend und zeitnah den aktuellen Gegebenheiten angepasst. Zu den weiteren Schulungsunterlagen gehören die Beschreibungen und Abläufe von Betriebsstörungen und Störfällen.

Seit 1995 verfügt das KKL über einen kraftwerksspezifischen Simulator. Dieser wurde im Überprüfungszeitraum kontinuierlich angepasst und aktualisiert (z. B. aufgrund von Anlagenänderungen, Projekten etc.). Ferner wurden dabei, wenn erforderlich, neue Ausbildungserfordernisse berücksichtigt. Mit der Simulatorenausbildung wird das Ziel verfolgt, Erfahrung zu sammeln, Vertrauen in die eigenen Kenntnisse über das Verhalten der Anlage zu gewinnen und die Zusammenarbeit innerhalb der Schichtgruppe zu fördern. Die Simulator-Instruktoren – ein Team von drei Pickettingenieuren und einem Schichtchef – haben sich im Überprüfungszeitraum fachlich und didaktisch weitergebildet, um die Leistungen des zulassungspflichtigen Schichtpersonals entsprechend dem oben erwähnten Ziel bewerten zu können.

Aus- und Weiterbildung des Personals der Sicherung

Die Aus- und Weiterbildung des Personals der Sicherung, der Betriebswache, wird konzeptionell in der Anweisung „Ausbildungskonzept Sicherung“ beschrieben. Dafür ist ein Ausbildungsverantwortlicher im Bereich der Sicherung ernannt. Diese Anweisung bildet die Basis für die Erstellung des jährlich dem ENSI einzureichenden Ausbildungsprogramms „Aus- und Weiterbildung Jobfamilie Sicherung“. Im genannten Konzept ist die Ausbildung in folgende Bereiche unterteilt: Grundausbildung Betriebswächter, Weiterbildung/Wiederholungsschulung, Instruktoren-Ausbildung, Führungsausbildung, Ausbildung für nicht sicherungsbezogenes Personal.

Die Grundausbildung der Betriebswächter besteht aus KKL-internen Grundkursen und Praktika sowie einem Grundkurs an der Interkantonalen Polizeischule in Hitzkirch. Die Grundausbildung dauert ca. sechs Monate, und der Ausbildungsverantwortliche wird bei wachspezifischen Themen von nebenamtlichen Instruktoren unterstützt. Die Grundausbildung beinhaltet ferner Themen wie Aufbau der Betriebsorganisation, Aufbau der Anlage, Reglemente und Vorschriften sowie die relevanten rechtlichen Grundlagen.

Die Weiterbildung bzw. die Wiederholungsschulungen werden im KKL in vier Stufen eingeteilt. Die erste Stufe beinhaltet periodische Auffrischungen von Themen und Aufgaben, welche im täglichen Dienst nicht oder nur in speziellen Situationen angewandt werden müssen. Die zweite Stufe beinhaltet Spezialkurse, welche bei Bedarf und in Absprache mit der Ressortleitung durch interne oder externe Referenten durchgeführt werden. Darunter fallen Themen wie z. B. Bedienung der Sicherungszentrale, Brandschutz/Sanität, sprengtechnische Grundlagen und Strahlenschutz. Weiter gibt es die Möglichkeit, bei entsprechender Eignung eine Ausbildung zum Fachmann für Sicherheit und Bewachung zu absolvieren. Bei der dritten Stufe handelt es sich um Wiederholungen im sicherheitspolizeilichen Bereich. Dies beinhaltet Themen wie Personen- und Fahrzeugkontrollen, Ordnungsdiensttätigkeiten, persönliche Sicherheit sowie Schiesstrainings für Erlangung und Erhaltung der Waffentragprüfung. Sollten sich aufgrund von Übungen und Ausbildungslektionen oder aus dem täglichen Dienst Schwachstellen oder Wissenslücken ergeben, so wird im Rahmen der vierten Stufe der Wiederholungsschulungen in Form von Einzelausbildung versucht, diese Lücken zu schliessen.

Die Ausbildung zum Instruktor und die Führungsausbildung sind für Mitarbeiter mit entsprechender Eignung vorgesehen und können bei Bedarf in Absprache mit der Ressortleitung und dem Ausbildungsverantwortlichen der Sicherung absolviert werden.

Für neue KKL-Mitarbeitende sowie für Fremdpersonal wird Grundwissen zu sicherungsspezifischen Themen vermittelt. KKL-Mitarbeitende, welche erweiterte Kenntnisse im Bereich der Sicherung benötigen, werden im Rahmen spezifischer Schulungsveranstaltungen instruiert.

Aus- und Weiterbildung im Strahlenschutz

Alle Personen, welche im KKL mit ionisierenden Strahlen umgehen (beruflich strahlenexponierte Personen), müssen entsprechend ihrer Tätigkeit und Verantwortung im Strahlenschutz aus- und weitergebildet werden.

Die Grundausbildung umfasst eine Strahlenschutzbelehrung, welche alle beruflich strahlenexponierten Personen sowie alle internen KKL-Mitarbeitenden bei Stellenantritt oder vor Beginn der ersten Arbeit in der kontrollierten Zone absolvieren müssen. Die Belehrung muss in bestimmten Intervallen wiederholt werden. Bei Verletzung von Strahlenschutzvorschriften können betroffene Personen durch den Strahlenschutz bereits früher zur Wiederholung aufgeboten werden. Das Modul Strahlenschutz der Basisausbildung ist für alle neuen KKL-Mitarbeitenden bei Stellenantritt obligatorisch.

Bei der erweiterten Ausbildung werden den verschiedenen Zielgruppen die zur Bewältigung ihrer Aufgaben benötigten Zusatzkenntnisse vermittelt. Diese müssen wieder aufgefrischt werden. Die entsprechende Ausbildung wird gestaffelt durchgeführt, sodass jeweils ca. ein Viertel des Personals jeder einzelnen Zielgruppe pro Jahr aus- und weitergebildet wird. Die Ausbildung erfolgt in der Regel in Zusammenarbeit mit der PSI-Schule für Strahlenschutz. Ebenso wird das Personal intern durch die eigenen Strahlenschutzspezialisten (Sachverständige, Techniker und Fachkräfte) ausgebildet. Letzteres trifft vor allem für die Angehörigen der Betriebschicht zu.

Für die Organisation und Koordination der Ausbildung an der PSI-Schule für Strahlenschutz, für das Aufgebot der Teilnehmer und für die Kontrolle der Strahlenschutz Ausbildung ist die Abteilung Überwachung zuständig. Die Ausbildungskontrolle wird mit Hilfe des Moduls „Kurs“ im Integrierten Betriebs- und Informations-System (IBIS) geführt. Absolvierte Ausbildungen werden in den Monats- und Jahresberichten dokumentiert. Ausbildungsverantwortlicher für die Strahlenschutz Ausbildung des gesamten Personals ist der Leiter der Abteilung Überwachung. Die Abteilungen sind verpflichtet, die betroffenen Mitarbeiter im festgelegten Rhythmus zur Ausbildung zu schicken. Sie führen zudem eine eigene Ausbildungskontrolle durch.

Externes Personal, welches für Strahlenschutz Aufgaben eingesetzt wird, erhält vor der entsprechenden Revisionsabstellung das erforderliche Spezialwissen vermittelt.

Aus- und Weiterbildung Fremdpersonal

Externe Mitarbeiter durchlaufen bei Arbeitsbeginn die KKL-Einführungsschulung und erhalten dort Verhaltensregeln und Erwartungen des KKL in standardisierter Form vermittelt. Diese Schulung kann jederzeit besucht werden und ist für ein Kalenderjahr gültig, d. h. sie muss vom Fremdpersonal jährlich wiederholt werden. Auch wird jedem externen Mitarbeitenden eine Broschüre abgegeben, in welcher in komprimierter Form die Informationen der Einführungsschulung wiedergegeben sind.

Externe Mitarbeitende werden durch zugewiesene Betreuer in der Anlage begleitet. Die Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten dieser Betreuer sind in der Funktionsbeschreibung „Betreuer externer Mitarbeiter“ geregelt. Im Managementsystem wurde die Einführungspraxis für externe Mitarbeitende in 2010 komplett neu geregelt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 23 KEG^{KEG}
- Art. 30 KEV^{KEV}
- VAPK^{VAPK}
- VBWK^{VBWK}
- Richtlinien ENSI-B10^{B10} und ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Im Überprüfungszeitraum wurde mittels Inspektionen die Einhaltung der Ausbildungsvorgaben u. a. anhand der jährlich erstellten Jahresprogramme der Aus- und Weiterbildung überprüft. Ebenso zeigte sich aufgrund der Betriebserfahrung, über die sich das ENSI durch Inspektionen, Fachgespräche, Meldungen und Berichterstattung kontinuierlich informiert, dass das Betriebs-, Sicherheits- und Strahlenschutzpersonal sowie das Fremdpersonal ausreichend qualifiziert ist.

Die Aus- und Weiterbildung des Eigen- und Fremdpersonals bzw. die Sicherstellung der fachlichen Qualifikation auf den sicherheitsrelevanten Gebieten Betrieb, Sicherung und Strahlenschutz erfüllen die Vorgaben aus KEG, KEV, VAPK, VBWK sowie Richtlinien ENSI-G07 und ENSI-B10.

8.2.4 Beauftragung von Fremdpersonal und Fremdleistungen

Angaben des KKL

Die Beauftragung von Fremdpersonal und Fremdleistungen ist im Managementsystem geregelt und wird darin seit 2013 in Form eines Lieferantenmanagementsystems umfassend beschrieben. Mit diesem System werden die Auswahl geeigneter Lieferanten, die benötigten Qualifikationsnachweise der Lieferanten sowie die Bewertung der erbrachten, externen Leistungen und daraus abgeleitete Massnahmen unterstützt. Jedem externen Mitarbeitenden wird ein KKL-Mitarbeiter als Betreuer zugewiesen. Das in 2014 eingeführte Zeitwirtschaftssystem hilft dem Betreuer, die Arbeitszeitüberwachung für das ihm zugeordnete externe Personal durchzuführen.

Seit 2015 gibt es im KKL für die Betreuung von Mitarbeitenden vor Ort zusätzlich die Funktion Aufsichtsführender vor Ort.

Die Wiederkehrerrate von Fremdpersonal ist im KKL eine wichtige Steuergrösse bei der Beschaffung von Fremdpersonal. Eine hohe Wiederkehrerrate ist wichtig, um einerseits die notwendige Arbeitsqualität zu sichern und andererseits die Arbeitssicherheit auf einem hohen Niveau zu halten. Hohe Wiederkehrerraten werden im KKL daher auch über Verträge gesichert.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B10^{B10} und ENSI-G07^{G07}
- VAPK^{VAPK}

Beurteilung des ENSI

Das KKL verfügt über Prozesse und Instrumente für die Beauftragung von Fremdpersonal und Fremdleistungen. Diese entsprechen den Vorgaben aus KEV, VAPK und den Richtlinien ENSI-G07 bzw. ENSI-B10.

8.2.5 Infrastruktur, Arbeitsmittel und Arbeitsbedingungen

Angaben des KKL

Die Infrastruktur, Arbeitsmittel und Arbeitsprozesse werden im KKL kontinuierlich weiterentwickelt, um die Arbeitsbedingungen für das Eigen- und Fremdpersonal auf verschiedenen Ebenen stetig zu verbessern und die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben zu gewährleisten.

Im Überprüfungszeitraum wurden die Bedeutung und Anwendung der Fehlervermeidungstechniken für den Betrieb vertieft. Die KKL-Standards definieren die erwartete Arbeitsweise des KKL-Personals bezüglich Überwachung, Bedienung, Kommunikation, Führung und Zusammenarbeit sowie Vorschriften und Protokollierung. Sie wurden im Jahre 2001 für das Betriebspersonal eingeführt, in 2011 angepasst und sind seither für alle Mitarbeitenden des KKL verbindlich zu befolgen.

2004 wurden im KKL Elemente des Anlageninformationssystems ANIS+ eingeführt. Im Überprüfungszeitraum ab 2006 wurden im Rahmen von Teilprojekten sukzessive weitere Systeme leittechnisch mit ANIS+ realisiert. Dieser fortlaufende Prozess der Erneuerung der Leittechnik mit ANIS+ findet auch bei der Aus- und Weiterbildung des Betriebspersonals und dem Umbau des Simulators besondere Berücksichtigung.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 10 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Art. 10 KEV Abs. 1 Bst. j formuliert als einen Grundsatz für die Auslegung von Kernkraftwerken, dass Arbeitsplätze und Arbeitsabläufe für Bedienung und Instandhaltung der Anlage unter Berücksichtigung ergonomischer Gesichtspunkte zu gestalten sind. Das KKL hat am Beispiel von freigabepflichtigen Anlagenänderungsprojekten, u. a. anhand der Erneuerung der Leittechnik mit ANIS+ aufgezeigt, wie diese Berücksichtigung erfolgt. Beim Anlageninformationssystem ANIS+ handelt es sich um ein zentrales, computergestütztes Arbeitsmittel, welches dem Operateur erlaubt, den Anlagenzustand und den Zustandsverlauf rasch zu erfassen, und welches ihm als Unterstützung bei der Diagnose von Störungen dient. Das KKL integriert für bestimmte Systeme schrittweise auch Steuerungs- und Regelungsfunktionen in das ANIS+. Das ENSI hat sich in mehreren

Fachgesprächen davon überzeugt, dass die oben genannten Vorgaben der KEV im Anlagenänderungsverfahren zu ANIS+ umgesetzt wurden.

Das KKL hat ebenfalls ein formales Verfahren entwickelt, mit welchem sichergestellt wird, dass bei der Änderung von Arbeitsplätzen und Arbeitsabläufen für Bedienung und Unterhalt menschliche Fähigkeiten und deren Grenzen berücksichtigt werden. Dieses Verfahren wurde dem ENSI vorgestellt und als Prozess ins TQM integriert. Der Prozess ist eingeführt und wurde entsprechend geschult.

Das KKL hat mit kontinuierlichen Verbesserungsmaßnahmen im Bereich Infrastruktur, Arbeitsmittel und Arbeitsprozesse (inkl. Standards) aufgezeigt, dass es den Vorgaben des Art. 10 KEV und der Richtlinie ENSI-G07 nachkommt.

8.2.6 Organisatorische Änderungen

Angaben des KKL

Im Überprüfungszeitraum wurden im KKL verschiedene organisatorische Änderungen vorgenommen. Diese Änderungen erfolgten aufgrund der Optimierung von Schnittstellen und dem Aufbau von Know-how wegen neuartiger Aufgaben oder sind infolge der Durchführung von technischen Modernisierungsprojekten notwendig geworden. Die Änderungen waren meldepflichtig und hatten inhaltliche Änderungen am Kraftwerksreglement zur Folge, welche vom ENSI jeweils freigegeben wurden. Die wesentlichen organisatorischen Änderungen sind aus der Tabelle 8.2-1 ersichtlich.

Tabelle 8.2-1: Wesentliche organisatorische Änderungen 2006–2015

Zweck	Jahr / Organisationseinheit	Beschreibung
Optimierung von Schnittstellen	2008 Abteilung S (Support Sicherheit & Technik)	Die Abteilung S wurde mit dem Zweck gegründet, die Aufgaben betreffend Analyse und Auslegung zu zentralisieren.
	2008 Abteilung M (Maschinentechnik)	Die Abteilung M wurde mit dem Ressort Qualitätstechnik erweitert, um die Qualitätstechnik-Aufgaben in der Abteilung M zu zentralisieren.
	2012 Abteilung S (Support Sicherheit & Technik)	Die Aufgaben der internen und externen Ereignisanalyse wurden zusammengeführt und in die Abteilung S integriert.
	2014 Abteilung B (Betrieb)	Die Aufgaben im Bereich Brennstoffhandhabung wurden in der Abteilung B in einem Ressort zusammengeführt.
Aufbau von Know-how bei neuartigen Aufgaben	2008 Abteilung A (Administration)	Die Abteilung A wurde mit der Fachstelle Informatiksicherheit ergänzt, um so den Aufbau von Know-how im Bereich Informatiksicherheit sicherzustellen.
	2012 Abteilung A (Administration)	Die Fachstelle Informatiksicherheit wurde zu einem Ressort ausgebaut.
Durchführung von technischen Modernisierungsprojekten	2009 Abteilung M (Maschinentechnik)	Die Ressorts wurden neu gegliedert, die zentrale Arbeitsvorbereitung sowie das Projektmanagement eingeführt.
	2013 Abteilung E (Elektrotechnik)	Die Ressorts wurden neu gegliedert, die zentrale Arbeitsvorbereitung sowie das Projektmanagement eingeführt.
	2014 Abteilung U (Überwachung)	Die Ressorts wurden neu gegliedert und das Projektmanagement eingeführt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 30 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die vorgenommenen organisatorischen Änderungen und das dabei angewandte Verfahren als begründet im Sinne ihres Einflusses auf die nukleare Sicherheit. Die Vorgaben aus KEV und der Richtlinie ENSI-G07 werden erfüllt.

8.2.7 Managementsystem

Angaben des KKL

Das TQM ist das integrierte Managementsystem des KKL. Darin sind alle sicherheitsrelevanten Zustände und Abläufe der Anlage und des Betriebs klar, kohärent, angemessen detailliert und verbindlich geregelt, um die Sicherheit der Kernanlage jederzeit zu gewährleisten. Die Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme prüft und bewertet mithilfe von Audits und Assessments die Vollständigkeit und Zweckmässigkeit des TQM im Rahmen der ISO-9001- und OHSAS-18001-Zertifizierung. Die Überwachungsaudits (jährlich) und Re-Zertifizierungen (alle drei Jahre) wurden im Überprüfungszeitraum ohne Abweichungen durchgeführt. Die regelmässigen Selbstbewertungen auf Grundlage der Methodik der European Foundation for Quality Management zeigen auf, dass das KKL eine kontinuierliche Verbesserung im Sinne des Business-Excellence-Ansatzes verfolgt.

Im Überprüfungszeitraum wurden zwei Befragungen zur Anwendung des TQM durchgeführt. Insgesamt resultierten daraus zufriedenstellende Ergebnisse, die eine positive Entwicklung zeigen. Im KKL werden zudem häufig Änderungen an Dokumenten vorgenommen. Das KKL deutet diese hohe Frequenz von Änderungen an Dokumenten als eine gute Nutzung des TQM.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 31 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Im Überprüfungszeitraum sind regelmässig Überwachungsaudits und Rezertifizierungen des TQM durch externe Stellen sowie Selbstbewertungen durchgeführt worden. Diese bescheinigten die Vollständigkeit und Zweckmässigkeit des TQM im Sinne von ISO-9001.

Das ENSI kommt aufgrund der obigen Angaben und seiner verschiedenen Inspektionen zum TQM des KKL zum Schluss, dass das KKL die Vorgaben des Art. 31 KEV und der Richtlinie ENSI-G07 an ein Managementsystem erfüllt.

8.2.8 Führung

Angaben des KKL

Die Prinzipien für die Führung des KKL sind im Dokument „Unser Führungsverständnis“ beschrieben. Sie orientieren sich an den im Unternehmensleitbild definierten Werten. Sie richten sich an alle Vorgesetzten des KKL und konkretisieren die Erwartungen des Kraftwerksleiters betreffend Wahrnehmung der Führungsverantwortung und Vorbildfunktion im KKL. Die Umsetzung dieses Führungsverständnisses wird in der Führungsausbildung thematisiert und geübt. Im Rahmen von periodisch durchgeführten Mitarbeiterbefragungen wird

die Effektivität des Führungsverhaltens überprüft, und es werden anschliessend, bei Bedarf, Massnahmen eingeleitet.

Die Führungs- und Fachkaderentwicklung ist ein Teilbereich der Personalentwicklung des KKL. Das Ausbildungsangebot besteht aus Start- und Grundmodulen sowie aus einer Anzahl freiwillig wählbarer Entwicklungsmodule für erfahrene Führungs- und Fachkräfte. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit, den Führungslehrgang der Axpo zu besuchen. Zusätzlich steht allen Führungskräften die Möglichkeit von Einzel-Coachings zur Verfügung.

Periodisch finden Kaderinformationen statt. Ebenfalls periodisch bietet der Kraftwerksleiter für Kadermitarbeiter eine Gesprächsplattform ausserhalb des Kraftwerks, die sogenannten Kaminfeuergespräche, an. Mit diesen Gesprächen soll eine offene und vertrauensbildende Auseinandersetzung begünstigt werden, um über den Inhalt und die Umsetzung der Werte des KKL zu diskutieren. Diese Gelegenheit, Führungsthemen mit dem Kraftwerksleiter in einer ungezwungenen Atmosphäre zu besprechen, wird von den Kadermitgliedern rege und mit hoher Beteiligung genutzt. Die Kaminfeuergespräche werden seit 2011 durchgeführt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-B10^{B10} und ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Das Verständnis von Führung und die Führungsausbildung erfüllten die massgebenden Anforderungen der Richtlinien ENSI-B10 und ENSI-G07. Zur besseren Umsetzung des eigenen Führungsverständnisses hat das KKL in 2015 das Schwerpunktthema „Verantwortung der Führung stärken“ formuliert. Das ENSI beurteilt dies als zielführend.

8.2.9 Sicherheitskultur

Angaben des KKL

Das KKL verpflichtet sich mit seinem Leitbild „Sicherheitskultur“ die Sicherheit in allen Bereichen kontinuierlich zu verbessern. Diese Verpflichtung widerspiegelt die Sicherheitsverantwortung, die ihrerseits in den Dokumenten „Unternehmensleitbild KKL“, „Unternehmensziele und Strategie“ sowie „Nukleare Sicherheits-Charta“ formuliert ist. In Letzterer sind dazu vier Grundsätze formuliert:

- **Fehler können passieren:** Die Sicherheit muss jederzeit gewährleistet sein, auch dann, wenn Menschen Fehler machen oder die Technik versagt.
- **Aus Fehlern muss man lernen:** Mit Massnahmen wird sichergestellt, dass sich Fehler nicht wiederholen. Damit wird die Sicherheit kontinuierlich verbessert.
- **Sicherheit entwickelt sich:** Es wird nicht nur in modernste Technologie investiert, sondern ebenfalls in die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeitenden. Die Sicherheitskultur wird aktiv gefördert.
- **Sicherheit braucht Transparenz:** Das KKL informiert offen und ehrlich. Dies gilt innerhalb der Anlage und gegenüber der Öffentlichkeit.

In den Prozessen des TQM sowie in den KKL-Standards ist festgelegt, wie diese Grundsätze im Arbeitsalltag umzusetzen sind. Sie bilden die organisatorischen Grundlagen für ein sicherheitsgerichtetes, verantwortungsbewusstes Verhalten auf allen Managementebenen des KKL. Die Organisation muss sich ständig mit diesen Grundsätzen auseinandersetzen, sodass ein gemeinsames Sicherheits-Verständnis aller Mitarbeitenden entstehen kann.

Die linienunabhängige Funktion des Sicherheitscontrollings ist für die periodische Berichterstattung der Wahrnehmung der Sicherheitsverantwortung im KKL zuhanden der Geschäftsleitung, der Kraftwerksleitung sowie

des Internen Sicherheitsausschusses zuständig. Im KKL finden in der Regel alle drei Jahre Mitarbeiterbefragungen statt. Für die Befragung von 2015 erarbeitete das Sicherheitscontrolling erstmals Fragen zum Themenbereich Sicherheitskultur.

Massnahmen zur Förderung der Sicherheitskultur bzw. des Sicherheitsbewusstseins werden durch die Arbeitsgruppe Sicherheitskultur erarbeitet. Diese Arbeitsgruppe ist aus Vertretern aller Abteilungen zusammengesetzt und wird vom jeweiligen Sicherheitscontroller geleitet. Im Überprüfungszeitraum wurden Fördermassnahmen für Führungspersonen (u. a. zu den Themen Vor-Ort-Begehung und sicherheitsgerichtete Entscheidungsfindung) und für die gesamte Belegschaft (u. a. Auseinandersetzung mit dem Leitbild „Sicherheitskultur“, Schulung von Werkzeugen für das professionelle Handeln) von dieser Arbeitsgruppe initiiert und umgesetzt. Der seit 2012 jährlich stattfindende „Sicherheitskultur-Tag“ wird ebenfalls von dieser Arbeitsgruppe organisiert.

Seit 2004 bewertet das KKL mit Hilfe des Kerngrössen-Indikatoren-Managementsystems Indikatoren zur Sicherheit. Im Jahr 2006 wurden Kenngrössen zum Sicherheitsbewusstsein in dieses System integriert. Sie stützen sich auf die Indikatoren zur Messung des Sicherheitsbewusstseins, die im Dokument „Operational Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants“ im Jahre 2000 von der IAEA publiziert wurden.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 5 KEG^{KEG}
- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

In verschiedenen Führungsdokumenten und im Leitbild „Sicherheitskultur“ verpflichtet sich das KKL das Primat der Sicherheit umzusetzen. Die Anweisungen des Managementsystems sowie die KKL-Standards unterstützen die Mitarbeitenden im Alltag bei der Umsetzung dieser Verpflichtung und fördern deren Sicherheitsbewusstsein. Darüber hinaus initiierte die Arbeitsgruppe Sicherheitskultur im Überprüfungszeitraum spezifische Aktivitäten zur Förderung des Sicherheitsbewusstseins.

Mit diese Anweisungen und Aktivitäten erfüllt das KKL die massgebenden Anforderungen von KEG und Richtlinie ENSI-G07.

8.2.10 Meldewesen

Angaben des KKL

Mit Hilfe des Meldewesens werden Abweichungen, Störungen, Ereignisse, Arbeitsbeobachtungen oder Vorschläge mit Sicherheitsrelevanz gesammelt und analysiert. Das Eigen- und Fremdpersonal gilt es daher zu motivieren, Feststellungen mit einer möglichen Bedeutung für die Sicherheit eigeninitiativ an die dafür eingerichteten Stellen zu melden. Dies wird im KKL durch klare und verbindliche Vorgaben (z. B. KKL-Standards zum Meldewesen) sowie Führungsverhalten gefördert, welches auf die Schaffung eines Arbeitsklimas achtet, das zu Vertrauen, Zusammenarbeit und offener Kommunikation ermutigt und die Mitteilung von Fehlern oder Problemen wertschätzt.

Im Vergleich zum letzten PSÜ-Überprüfungszeitraum ist die Anzahl der gemeldeten Verbesserungsvorschläge und Arbeitsbeobachtungen gestiegen. Dies ist ein Indiz dafür, dass durch organisatorische Massnahmen und Führungsverhalten Bedingungen geschaffen wurden, die die Mitarbeitenden zum Melden motivierten. Damit wurde auch die Sicherheit der Anlage bzw. das Sicherheitsbewusstsein der Mitarbeitenden laufend verbessert. Das Meldewesen und die daraus resultierenden Verbesserungen werden über den Prozess „Kontinuierliche Verbesserung“ bearbeitet.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-G07^{G07}

Beurteilung des ENSI

Die Bereitstellung der verschiedensten, bedarfsgerechten Meldekanäle beabsichtigt die Schwelle für die Erfassung von Meldungen möglichst niedrig zu halten, denn jede erfasste Meldung bietet eine Chance zur Verbesserung. Tendenziell zeigt die Entwicklung der Anzahl von Stör- und Feststellungsmeldungen, Verbesserungsvorschlägen und Arbeitsbeobachtungen einen positiven Trend, was dafür spricht, dass die Meldekanäle genutzt werden.

Die Meldung von Abweichungen und Verbesserungen ist über TQM-Prozesse umfassend geregelt. Das Meldewesen erfüllt damit die Anforderungen aus der Richtlinie ENSI-G07.

8.2.11 Freigabeprozess und Qualität von Vorschriften

Angaben des KKL

Im TQM ist die Dokumentation und das Nachführen von Betriebsvorschriften mit Prozessen beschrieben. Diese regeln die Erstellung, Prüfung und Freigabe von sicherheitsrelevanten Dokumenten (insbesondere Betriebsvorschriften, Instandhaltungsvorschriften und „Technische Spezifikationen“) und gewährleisten die Vollständigkeit, Zweckmässigkeit, Widerspruchsfreiheit, Klarheit und gute Lesbarkeit von Vorschriften. Die gesamte Dokumentation des KKL wird durch das zentrale Dokumentenmanagementsystem IBIS (Integriertes Betriebs- und Informations-System) gelenkt. Mit diesem System ist der Dokumentenfluss von der anfänglichen Erfassung der Metadaten bis zur Archivierung klar definiert und wird durch einen elektronischen Workflow unterstützt. Der Prüfer des Dokumentes wird bei der Metadatenvergabe ebenfalls bestimmt. Der Prüfer muss eine vom Ersteller der Dokumente unabhängige Person sein. Er trägt die Verantwortung für die Überprüfung der Vorgabenerfüllung und des fachlichen Inhalts. Darüber hinaus wird über das Mitprüfungsverfahren sichergestellt, dass ein erweiterter Kreis von Fachleuten die Vollständigkeit und Verständlichkeit von Dokumenten prüft. Die Qualität neu erstellter oder geänderter Vorschriften wird daher massgeblich durch die Qualifikation und Sorgfalt der Prüfer und Genehmiger beeinflusst.

Im Überprüfungszeitraum wurde bei der Ursachenanalyse von fünf Vorkommnissen ein direkter Bezug zu Qualitätsmängeln von Vorschriften hergestellt. In diesen Fällen wurden relevante Vorschriften ergänzt, angepasst oder verbessert.

Organisatorische Dokumente mit Freigabepflicht (z. B. Kraftwerks- oder Strahlenschutzreglement) werden gemäss den geltenden regulatorischen Anforderungen erstellt, geprüft und genehmigt. Danach werden sie zur Freigabeprüfung dem ENSI eingereicht. Die Publikation im TQM erfolgt erst nach der Freigabe durch das ENSI.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 41 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-G07^{G07} und ENSI-G09^{G09}

Beurteilung des ENSI

Das KKL verfügt über eine umfangreiche Betriebsdokumentation. Die Erstellung, Prüfung und Freigabe dieser Dokumente ist im Managementsystem geregelt und wird über das Dokumentenmanagementsystem IBIS verwaltet. Das ENSI hat diesen Prozess in Inspektionen geprüft. Aufgrund von Vorkommnissen im Überprüfungszeitraum, die auf Mängel in der Qualität von Vorschriften hinwiesen, wurden vom KKL Verbesserungen u. a. betreffend Vollständigkeit, Zweckmässigkeit und guter Lesbarkeit von Vorschriften eingeleitet.

Die Verwaltung der Betriebsdokumentation (Erstellung, Prüfung, Freigabe, Verbesserung) erfüllt die massgebenden Anforderungen aus KEV und den Richtlinien ENSI-G07 und ENSI-G09.

9 Notfallschutz

Ziel des Notfallschutzes ist der Schutz des Personals und der Bevölkerung vor den Auswirkungen erhöhter Radioaktivität bei Stör- und Unfällen. Zum Schutz der Bevölkerung werden Behörden und Bevölkerung in der Umgebung von Kernanlagen (innerhalb der Notfallschutzzonen 1 und 2) über die möglichen Gefahren der Radioaktivität und über Schutzmassnahmen im Voraus informiert. Zudem wird sichergestellt, dass im Ereignisfall die Behörden rechtzeitig gewarnt werden. Die Bevölkerung wird mit Sirenen alarmiert und über Radio angewiesen, entsprechende Schutzmassnahmen zu befolgen, bevor radioaktive Stoffe in gefährdendem Umfang aus der Anlage austreten.

Verantwortlichkeiten und Aufgaben des Betreibers sind in Verordnungen und Konzepten des Bundes festgelegt und im Notfallreglement der Kernanlage festgeschrieben. Sie werden regelmässig im Rahmen von Übungen und Inspektionen überprüft.

Im Rahmen der vorliegenden Stellungnahme wird nur der anlageninterne Notfallschutz bewertet, da der anlagenexterne Notfallschutz anderen dafür zuständigen Stellen des Bundes und der Kantone obliegt.

9.1 Notfallvorsorge und Notfallbereitschaft

Der Betreiber ist verantwortlich für das rechtzeitige Erkennen eines Störfalls, das Ergreifen von Gegenmassnahmen in der Anlage und für die zeitgerechte Meldung an die Behörden. Mit einer Notfallorganisation, unterstützt durch Infrastruktureinrichtungen und Handlungsanweisungen in Form einer Notfalldokumentation, werden die Aufgaben des Notfallschutzes wahrgenommen.

Angaben des KKL

Das Notfallreglement beschreibt die Ziele und Grundsätze des Notfallmanagements, die KKL-Notfallorganisation, die Aufgaben und Pflichten der Notfallelemente, die Definition der Notfälle sowie die Notfalleinrichtungen. Das Notfallreglement stellt sicher, dass sich die Notfallorganisation sowie die Notfalleinrichtungen und -ausrüstungen jederzeit im Bereitschaftszustand befinden. Zu treffende Massnahmen sind in Form von Handlungsabläufen im Prozess „Notfallreglement“ des Total-Quality-Management (TQM)-Systems bzw. in den jeweiligen Notfalleinrichtungen beschrieben.

Die Notfalleinrichtungen, die Notfalleinrichtungen sowie die Zweckmässigkeit der Notfallorganisation werden regelmässig überprüft. Die Resultate der Überprüfungen werden dazu verwendet, die Notfallvorsorge und die Notfallbereitschaft kontinuierlich weiterzuentwickeln und zu verbessern. Die Überprüfung der Zweckmässigkeit der Notfallorganisation wird mindestens einmal im Jahr von der Arbeitsgruppe Notfallorganisation mit dem Ziel, dass die Notfallorganisation alle Anforderungen an die Beherrschung denkbarer Notfallsituationen abdeckt, durchgeführt. Interne und externe Erfahrungen zur Optimierung werden berücksichtigt, seit 2009 ist das KKL zudem Vollmitglied bei der Boiling Water Reactor Owners Group (BWROG) und im Bereich Emergency Procedure Committee aktiv tätig.

Die Richtlinie ENSI-B12 verlangt, dass die KKL-Notfallorganisation innerhalb der von der Richtlinie ENSI-B11 geforderten Zeiten einsatzbereit ist. Die diesbezügliche Bereitschaft wird anhand von Notfallübungen regelmässig nachgewiesen. Systemfunktionstests der Notfalleinrichtungen ergaben im Überprüfungszeitraum, dass die Notfallbereitschaft jederzeit gegeben war. Die monatlich durchgeführten und jährlich statistisch festgehaltenen Testalarmierungen belegen das Funktionieren der Alarmierung der KKL-Notfallorganisation. Die Auswertung der im Überprüfungszeitraum durchgeführten Alarmierungsnotfallübungen zeigt zudem, dass die Vorgaben in allen Fällen eingehalten wurden. Innerhalb einer Stunde kann somit mehr als ein Drittel des Notfallstabs kontaktiert werden. Davon kann erfahrungsgemäss der überwiegende Teil innerhalb einer Stunde Zeit im Kraftwerk sein.

Die Notfallbereitschaft im KKL erfüllt die Anforderungen der Richtlinien ENSI-B11 und ENSI-B12.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 123 bis 127 StSV^{StSV}
- Art. 33 und Anhang 3 KEV^{KEV}
- Richtlinien ENSI-B10^{B10}, ENSI-B11^{B11}, ENSI-B12^{B12} und ENSI-G07^{G07}
- Notfallschutzkonzept bei einem KKW-Unfall in der Schweiz^{NFK}

Beurteilung des ENSI

Das KKL legt den Prozess der Notfallvorsorge und der Notfallbereitschaft anhand des Notfallreglements dar. Mit der Aufteilung des Notfallreglements in drei Teilbereiche werden einerseits sämtliche Vorkehrungen zusammengefasst, welche der Entwicklung und Erhaltung der Fähigkeit für die Beherrschung bzw. Schadensbegrenzung im Notfall dienen, andererseits alle Massnahmen, welche im Notfall zur Begrenzung der Auswirkungen zur Anwendung kommen. Der TQM-Prozess „Notfallreglement“ stellt die Notfallvorsorge und die Notfallbekämpfung sicher und umfasst u. a. die Teilprozesse der Notfallausbildung, der Überprüfung der Notfallbereitschaft, der Notfallausrüstung, der Notfalleinrichtungen, des Einsatzes der Notfallorganisation und der Zweckmässigkeit der Notfallorganisation. Mit dem Prozess werden die strukturierte Notfallbekämpfung, die ständige Bereitschaft der Notfallorganisation, deren Ausrüstung und Einrichtungen, die effiziente Zusammenarbeit und Kommunikation mit internen und externen Stellen, eine klare Zuweisung von Aufgaben, Pflichten und Kompetenzen und nicht zuletzt der Einsatz von qualifizierten Mitarbeitern sichergestellt. Rückmeldungen und Erkenntnisse aus Übungen werden im Rahmen des Teilprozesses „Zweckmässigkeit der NFO“ aufgegriffen um die Notfallbereitschaft weiter zu verbessern. In Notfallübungen wurde die Bereitschaft der KKL-Notfallorganisation bestätigt, mit Systemfunktionstests die der Notfallausrüstung. Gleichfalls bestätigen die Notfallübungen, dass die Notfallorganisation des KKL die an sie gestellten Anforderungen erfüllt, wonach der Betreiber einen Störfall erkennen und beurteilen, entsprechende Massnahmen zu dessen Beherrschung treffen sowie für die Alarmierung und die rasche Orientierung der zuständigen Behörden sorgen muss.

9.2 Notfallorganisation, Notfallausbildung und Notfallübungen

9.2.1 Notfallorganisation

Angaben des KKL

Die Notfallorganisation (NFO), die Notfallausbildung und Notfallübungen^{PSÜ/68} sind Teilbereiche der Notfallvorsorge des Kernkraftwerks. Diese sind in dem 2015 grundlegend überarbeiteten KKL-Notfallreglement beschrieben. Im Überprüfungszeitraum wurden eine Reihe von Anpassungen vorgenommen, welche im Wesentlichen auf die Einführung der Vorschriften für schwere Unfälle (Severe Accident Management Guidance, SAMG) und die Erkenntnissen aus Notfallübungen und den Ereignissen in Fukushima zurückzuführen sind.

Die NFO setzt sich aus der Notfalleitung, dem Notfallstab, den Notfallgruppen und im Bedarfsfall zugezogenen Spezialisten zusammen. Sie wird aktiv, wenn eine Situation basierend auf den erfüllten Eintrittskriterien einer Notfalleitung oder dem Entscheid des Pickettingenieurs zum Notfall erklärt wird. Der Pickettingenieur übernimmt die Notfalleitung, bis der Notfallstab operativ ist und er vom Kraftwerksleiter (bzw. dessen Vertreter) abgelöst wird. Die NFO umfasst die ganze KKL-Belegschaft. Jeder Mitarbeiter kann einer Notfallgruppe zugeteilt werden. Neben den KKL-eigenen Einsatzkräften können zusätzlich externe Organisationen aufgeboden und in die NFO integriert werden.

Im Überprüfungszeitraum hat die Notfallorganisation die folgenden Änderungen erfahren:

Jahr	Änderung in der Notfallorganisation
2009	Ergänzung um Notfallgruppe „Personal“, ab 2015 Notfallgruppe „KKL Care Team“
2010	Ergänzung um Notfallgruppe „Technical Support Center TSC“ (anstelle der Notfallstabsunterstützungsgruppe)
2011	Ergänzung um Notfallgruppe „Evakuierungshelfer“
2012	Ergänzung um zwei neue Notfallgruppen „Technischer Support Elektrotechnik“ und „Technischer Support Maschinenteknik“
2013	Zusätzliche Aufgaben der Betriebswache bei der Notfallbekämpfung
2014	Neuregelung der Aufgaben des Pikettingenieurs nach Übergabe der Notfalleitung
2014	Einbindung externer Support Organisationen
2014	Einrücken der Notfallorganisation bei Verlust der Alarmierungsmittel z. B. durch Naturereignisse

Zu den wesentlichen organisatorischen Massnahmen gehören die Einführung des Technischen Support Centers und der Supportgruppen Elektrotechnik und Maschinenteknik und die Integration des Externen Lagers Reitnau in die Abläufe der NFO. Verbesserungspotentiale mit Bezug auf die Notfallvorsorge und Notfallbekämpfung werden durch die Arbeitsgruppe Notfallorganisation (ANO) bewertet und in Form von korrigierenden Massnahmen umgesetzt. Die Zusammensetzung und die Aufgaben der ANO wurden im Überprüfungszeitraum geändert. Neben dem Leiter der Notfallvorsorge, dem Kraftwerksleiter und den Stabschefs sind alle Sektionschefs und damit alle Abteilungsleiter in die Arbeitsgruppe integriert.

Die internationalen Vorgaben und Erwartungen haben das KKL veranlasst im Überprüfungszeitraum das Notfallreglement und den TQM-Notfallprozess grundlegend zu überarbeiten. Neu wird der Notfallprozess entsprechend den internationalen Gepflogenheiten in die Bereiche Notfallvorsorge (Emergency Preparedness) und Notfallbekämpfung (Emergency Management) unterteilt. Der laufende Rückfluss externer Ereignisse und Erkenntnisse wird sichergestellt durch Mitarbeit in nationalen und internationalen Einrichtungen und Gremien. Über die Umsetzung der Erkenntnisse entscheidet die ANO an der jährlichen Schwerpunktsitzung „Verfolgung von nationalen und internationalen Anforderungen, Erfahrungen und Erkenntnissen“.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinien ENSI-B11^{B11} und ENSI-B12^{B12}

Beurteilung des ENSI

Die Notfallorganisation wird im KKL-Notfallreglement beschrieben und entspricht in ihrer organisatorischen Zusammensetzung den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B12. Gleichfalls entsprechen die organisatorischen Regelungen zur Aktivierung der Notfallorganisation und die Übernahme der Notfalleitung durch den Kraftwerksleiter und den Notfallstab den behördlichen Anforderungen. Durch die Stabsarbeit während und zwischen den Notfallstabsrapporten erarbeiten die Mitglieder des Notfallstabs in ihrem Fachgebiet die notwendigen Entscheidungsgrundlagen für den Notfalleiter und unterstützen ihn in seinen Führungstätigkeiten. Ein strukturierter Übergang beendet den Einsatz der Notfallorganisation. Erkenntnisse aus Übungen und Ereignissen wurden zur Optimierung der Notfallorganisation umgesetzt und deren Wirksamkeit erfolgreich überprüft. Die Auswertung der durchgeführten Alarmierungsnotfallübungen belegt zudem die Einsatzbereitschaft der Notfallorganisation entsprechend den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B11.

9.2.2 Notfallausbildung

Angaben des KKL

Die Notfallausbildung ist im Notfallreglement und dem TQM-Teilprozess „Notfallausbildung“ geregelt. Der Prozess stellt sicher, dass die gesetzlichen Vorgaben gemäss Art. 35 VAPK und der Richtlinie ENSI-B10 erfüllt werden. Die Ausbildungsplanung wird jährlich durch die ANO überprüft und bei Bedarf ergänzt. Die Ereignisse

in Fukushima und die daraus resultierenden Anforderungen bedingten, dass vorübergehend zusätzliche Themen in das Ausbildungsprogramm integriert wurden, was 2013 zu einem starken Anstieg des Ausbildungsaufwands für einzelne Elemente der NFO führte. Das Hauptaugenmerk lag dabei vorübergehend auf dem Störfallbereich der Sicherheitsebene 4, der mit den Notfallübungen in den Jahren 2012 und 2013 überprüft wurde. Die Langzeitplanung der Notfallausbildung wie die der durchzuführenden Notfallübungen stellen sicher, dass Störungen und Notfälle innerhalb der Sicherheitsebenen 1 bis 3 nicht vernachlässigt werden. Ein wichtiger Baustein im Rahmen der Ausbildung des Notfalleiters und des Notfallstabs ist die im regelmässigen Turnus durchgeführte Stabstechnikschulung. Diese umfasst je nach Kursziel neben den theoretischen Grundlagen das Durchspielen von Fallbeispielen und Rollenspiele. Die Schlüsselpersonen der Notfallorganisation durchlaufen jährlich ein umfassendes Ausbildungsprogramm. Die Ernennung der Notfalleiter erfolgt auf der Basis von Erfahrungen und Ausbildungsstand und nach dem Einsatz in mindestens einer Notfallübung.

Das KKL erachtet den Ausbildungsstand der NFO aufgrund der Resultate der Notfallübungen als angemessen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B10^{B10}

Beurteilung des ENSI

Das KKL verfügt über eine Langzeitplanung für die Ausbildung der Notfallorganisation, welche sichergestellt, dass alle relevanten Ausbildungsthemen wiederkehrend durch die einzelnen Notfallelemente geschult werden. Zusätzliche Themen werden nach Bedarf in das Ausbildungsprogramm integriert. Ausbildungsanforderungen für Schlüsselpositionen werden gleichfalls berücksichtigt. Die Arbeitsgruppe Notfallorganisation ANO überprüft jährlich die Ausbildungsplanung und ergänzt diese bei Bedarf. Die Ausbildungssteuerung erfolgt mit Prozessen des Managementsystems. Damit erfüllt das KKL die behördlichen Anforderungen an die Notfallausbildung des Personals gemäss Richtlinie ENSI-B10.

9.2.3 Notfallübungen

Angaben des KKL

Notfallübungen dienen der Optimierung der Organisation, der Führung und des Mitteleinsatzes in Notlagen. Die verschiedenen Notfallsituationen und Elemente der NFO werden regelmässig wiederkehrend in die Übungsszenarien eingebunden. Pro Jahr werden jeweils eine anlageninterne Notfallübung und eine vom ENSI inspizierte Notfallübung unter Einbezug externer Stellen durchgeführt. Eine Ausnahme stellte das Jahr 2011 dar; aufgrund des grossen Arbeitsanfalls als Folge der Ereignisse in Fukushima wurde in Absprache mit dem ENSI auf eine interne Notfallübung verzichtet.

Die Planung, der Ablauf und die Auswertung der Notfallübungen sind im TQM-Prozess „Notfallübungen“ dokumentiert und richten sich für die vom ENSI inspizierten Übungen nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-B11. Die aus der Auswertung gewonnenen Erkenntnisse werden von der ANO besprochen und die korrigierenden Massnahmen festgelegt. Neben den jährlichen Notfallübungen werden Räumungs- und sogenannte Drillübungen (Dauer ca. 1 h) durchgeführt. Die jährlich durchgeführten Notfallübungen dienen sowohl der praktischen Ausbildung wie dem Ausbildungsnachweis der NFO. Im Zusammenhang mit der Übungsvorbereitung werden für die beteiligten Notfallelemente die Übungsziele gemäss Richtlinie ENSI-B11 und den internen Vorgaben festgelegt. Als Grundlage für die Beurteilung der Zielerfüllung dienen den Beobachtern Checklisten, anhand derer für die beteiligten Einsatzelemente die Erwartungskriterien vorgegeben sind. Die Beobachterkommentare werden in der Detailauswertung der Übung zusammengefasst. Der Übungsleiter präsentiert die Verbesserungsvorschläge der ANO. Diese entscheidet über zu treffende Korrekturmassnahmen, definiert die verantwortliche Stelle und überwacht deren Umsetzung. Neben der kraftwerksinternen Bewertung nimmt das ENSI eine eigene unabhängige Bewertung der durch die Behörde begleiteten Notfallübungen gemäss Richtlinie ENSI-B11 vor. Der identifizierte Verbesserungsbedarf wird in Form von Auflagen an das Werk weitergeleitet.

Gemäss Langzeitplanung sind Notfallübungen innerhalb der Sicherheitsebenen 4 und 5 alle vier Jahre vorgesehen. Nach 2011 wurde vorübergehend mit den Übungen PEGASOS (2012), PEGASOS II (2013) und ODYSSEUS (2013) von den Planungsvorgaben abgewichen mit dem Ziel, neue Vorschriften zu validieren und Handlungsabläufe, wie die Anforderung von alternativen Einsatzmitteln aus dem Externen Lager Reitnau, zu üben. Es konnte aufgezeigt werden, dass die neuen bzw. überarbeiteten Stör- und Notfalleinweisungen anwendbar sind und zum Erfolg führen. Handlungsabläufe, wie die Anforderung von externen Einsatzmitteln, wurden aufgrund der gewonnenen Erfahrung optimiert.

Die klare Zuständigkeit und die definierten Kompetenzen des Technischen Support Centers bei der Abarbeitung der SAMG-Vorschriften haben sich bewährt.

Mit den Notfallübungen PEGASOS, ODYSSEUS und FLAB II konnte gezeigt werden, dass die NFO auch über einen längeren Zeitraum und mehrere Schichten hinweg in der Lage ist die Notfallbekämpfung aufrechtzuerhalten. Dies wird unterstützt durch eine geeignete Infrastruktur. Basierend auf den Erfahrungen aus den Notfallübungen, speziell der 2013 durchgeführten Gesamtnotfallübung ODYSSEUS sowie einem internen Ereignis, welches zu einem Aufgebot der NFO führte, kann aufgezeigt werden, dass die Anforderungen an eine effiziente, straff organisierte Organisation erfüllt sind.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B11^{B11}

Beurteilung des ENSI

Gemäss Richtlinie ENSI-B11 hat das KKL jährlich eine vom ENSI inspizierte Notfallübung durchzuführen. In einer tabellarischen Übersicht zeigt das KKL auf, dass innerhalb von vier Jahren alle Elemente der NFO entsprechend ihrer Aufgaben im Verband geübt wurden. Im Überprüfungszeitraum wurden auch drei Übungen mit längerer Dauer und Schichtwechseln durchgeführt (2012, 2013, 2015). Mit der Werksnotfallübung OVERSPEED (2011) erfolgte auch der Einbezug der Kantonspolizei in eine Übung. Mit vom ENSI im Überprüfungszeitraum ausgelösten jährlichen Alarmierungsnotfallübungen konnte die Erreichbarkeit des KKL-Notfallstabs erfolgreich nachgewiesen werden. Die in den Übungen sowohl vom ENSI wie auch vom KKL identifizierten Verbesserungsmassnahmen wurden umgesetzt und deren Wirksamkeit überprüft. Damit erfüllt das KKL mit den im Überprüfungszeitraum durchgeführten Notfallübungen die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B11.

9.3 Notfallabläufe

Angaben des KKL

Im KKL werden die Notfälle in 12 unterschiedlichen Notfalleinweisungen behandelt. Die bestehenden Notfalleinweisungen wurden laufend nachgeführt. Im Jahre 2015 wurden alle Notfalleinweisungen komplett überarbeitet mit dem Ziel, den Einstieg in die unterschiedlichen Notfalleinweisungen und deren Abarbeitung zu vereinfachen. Es wurden keine inhaltlichen Änderungen vorgenommen. Neu wurde ein sogenanntes Leitschema entwickelt, welches es dem Notfalleiter erlaubt, rasch auf die entsprechenden Notfalleinweisungen zuzugreifen. Im Leitschema sind zudem alle Eintrittskriterien der unterschiedlichen Notfalleinweisungen dargestellt. Die Notfalleinweisungen legen für Wache, Schicht, Pikettingenieur, Technical Support Center, Notfallstab und den Notfalleiter die in einem Notfall durchzuführenden übergeordneten Massnahmen zur Notfallbeherrschung fest. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Alarmierungen, Informationen, Evakuierungen. Die Schaltheftungen für die Gesamtanlage sind – auch für Notfälle und Accident-Management-Massnahmen – in den Störfallvorschriften festgelegt.

Die höchste Priorität der Notfallbekämpfung hat der Schutz der Bevölkerung und der Umwelt. Mit dem Alarmsystem RABE (Rasche Alarmierung der Bevölkerung) werden eine rasche Warnung und Alarmierung der zuständigen Behörden und deren Organe sowie eine rasche Alarmierung der Bevölkerung in der Zone 1 garantiert, in der Zone 2 soll ein gezielter Einsatz der Behörden und deren Organe gewährleistet sein. Die

sogenannten RABE-Kriterien sind derart gestaffelt, dass eine ausreichende Vorwarnzeit im Ereignisfall gewährleistet ist. Die RABE-Kriterien sind untereinander abgeglichen und einfach durch das Betriebspersonal erkenn- und verfolgbar, sodass im Ereignisfall eine Prognose abgegeben werden kann, wann die nächste Stufe erreicht werden könnte. Die vorhandenen Notfallarten decken mögliche interne und externe Risiken ab.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B12^{B12}

Beurteilung des ENSI

Das KKL legt dar, wie die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12 Kap. 4.3 umgesetzt werden. Die Eintrittskriterien sind in den Notfallvorschriften klar definiert, ebenfalls sind die einzelnen Zuständigkeitsbereiche und zu treffenden Massnahmen klar erkennbar. Die Kommunikation mit externen Stellen ist in den Notfallvorschriften geregelt, externe Organisationen für die Notfallunterstützung sind im Diagramm der Gesamtnotfallorganisation integriert. Das jeweilige Aufgebot und die Zuständigkeit sind in den Notfallvorschriften, die medizinische Unterstützung ist im Notfallreglement geregelt. Die Massnahmen zur Quelltermbestimmung, die technischen Kriterien für die Warnung der Behörden und die Alarmierung der Bevölkerung sowie das Vorgehen bei anstehenden RABE-Kriterien sind in Notfallanweisungen festgelegt. Mit den jährlichen Notfallübungen wird der Nachweis erbracht, dass das benötigte Einsatzpersonal zeitgerecht zur Verfügung steht und die vorgesehenen Melde- und Entscheidungswege eingehalten werden. Das KKL erfüllt damit die Anforderungen an die Notfallabläufe nach Richtlinie ENSI-B12.

9.4 Notfalldokumentation

9.4.1 Störfallvorschriften

Der Anwendungsbereich der Störfallvorschriften beginnt mit Störfalleintritt und endet mit dem Einstieg in die schriftlichen Entscheidungshilfen für schwere Störfälle (Severe Accident Management Guidance, SAMG; vgl. Kap. 9.4.2).

Angaben des KKL

Die Störfallvorschriften werden bei Überschreitung der Grenzwerte von definierten Anlagenparametern (hauptsächlich nach einer Reaktorschnellabschaltung) bzw. dem Anstehen bestimmter Alarme benutzt. Dabei beruhen sie auf klar definierten Entscheidungsabläufen und einzuleitenden Massnahmen.

Die Störfallvorschriften beinhalten je nach Ereignis symptom- oder ereignisorientierte Anweisungen. Jede Störfallvorschrift ist in Form eines logischen Ablaufschemas und eines doppelseitigen Textteils bestehend aus den Handlungsanweisungen und Zusatzinformationen wie Abfragen, Entscheidungshilfen und durchzuführenden Massnahmen aufgebaut. Speziell die Ablaufschemata wurden im Überprüfungszeitraum ergonomisch (durch Verwendung von Farben, Icons, etc.) weiter verfeinert und optimiert. Diese Aufbauform hat sich im KKL gut bewährt. Unter Verwendung des Schulungssimulators und des ständig weiterentwickelten Analysesimulators für auslegungsüberschreitende Störfälle kann aufgezeigt werden, dass die gemäss Störfallvorschriften vorgesehenen Interaktionen rechtzeitig durchgeführt werden und zum Erfolg führen. Die Betriebsmannschaft ist mit dem Aufbau von Störfallvorschriften vertraut und wird regelmässig anhand von Störfallvorschriften geübt.

Alle Störfallvorschriften werden periodisch auf ihre Gültigkeit und Aktualität hinsichtlich Anlagenänderungen überprüft. Die Störfallvorschriften entsprechen nach Ansicht des KKL dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-G09^{G09}

Bewertung des ENSI

Störfallvorschriften sind nicht freigabepflichtig. Die Störfallvorschriften des KKL entsprechen grundsätzlich dem aktuellen Anlagenstand und werden periodisch auf Aktualität überprüft. Alle Änderungen in jeder einzelnen Störfallvorschrift sind dokumentiert.

Die Störfallvorschriften decken alle Betriebsarten im KKL ab. Der Aufbau der Störfallvorschriften ist nach Wertung des ENSI nachvollziehbar und die Entscheidungsabläufe sowie die zu ergreifenden Massnahmen sind grundsätzlich eindeutig. Die Verwendung der Farbkodierung sowie Symbole in den Ablaufschemata erhöht die Lesbarkeit und reduziert potentielle Fehler bei der Durchführung von Massnahmen. Die Anwendbarkeit wird durch regelmässige Simulatorübungen sowie bei im KKL aufgetretenen Ereignissen mit einem Anforderungsfall überprüft. Die Bewertungen sind nachvollziehbar dokumentiert und die Ergebnisse plausibel.

Nach Wertung des ENSI stellen die Störfallvorschriften im KKL ein geeignetes Vorschriftenwerk zur Beherrschung von Störfällen dar und sind aktuell.

9.4.2 Severe Accident Management Guidance

Für das systematische Notfallmanagement eines auslegungsüberschreitenden Störfalls mit stark beschädigtem Brennstoff – im Folgenden als „schwerer Unfall“ bezeichnet – ist der Einsatz schriftlicher Entscheidungshilfen (Severe Accident Management Guidance, SAMG) notwendig, um die Unfallauswirkungen zu mildern. Die SAMG haben das Ziel, den Brennstoffschmelzvorgang zu beenden oder zumindest die Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umgebung so gering wie möglich zu halten. Dementsprechend ist der SAMG-Einsatzbeginn definiert durch den Übergang von der präventiven (d. h. auf die Vermeidung eines schweren Unfalls ausgerichteten) auf die mitigative (d. h. auf die Linderung der Folgen eines schweren Unfalls ausgerichteten) Störfallbehandlung. Es entspricht dem Stand der Technik, dass Erkenntnisse aus Notfallübungen und der Forschung zu schweren Unfällen zur stetigen Verbesserung der SAMG herangezogen werden^{NSG-2.15}. Das ENSI verlangte anfangs 1998 die systematische Einführung von SAMG in allen Schweizer Kernkraftwerken und präziserte Ende 2000 diese Forderung inhaltlich^{HSK-3674}.

Angaben des KKL

Die SAMG sind Eigenentwicklungen des KKL, wobei die Basis des darin beschriebenen Vorgehens in den ursprünglichen Vorschriften der BWROG liegt. Wesentliche Erweiterungen bzw. Änderungen der SAMG-Erstfassungen (2004) betreffen den Nichtleistungsbetrieb (2010), die Einspeisung ins Brennelementbecken, die Berücksichtigung von Vorgaben und Prinzipien der BWROG und den Übergang zur mitigativen Störfallbehandlung. Zurzeit wird von der BWROG eine Neubearbeitung der Vorgaben und Prinzipien für die Behandlung schwerer Unfälle durchgeführt; dabei werden auch Erkenntnisse aus den Ereignissen in Fukushima eingearbeitet. Wichtige Neuerungen und Erkenntnisse werden vom KKL laufend in die Störfallvorschriften und Accident-Management-Vorschriften eingearbeitet.

Die SAMG sind im KKL Bestandteile der Störfallanweisungen (je eine für den Leistungsbetrieb und eine für den Stillstand) für das Fluten von Reaktor und Containment.

Für Störfälle, die während des Leistungsbetriebs ausgelöst werden, wird der Einstieg in die entsprechende Störfallanweisung für das Fluten von Reaktor und Containment angewiesen, wenn:

- das Reaktorniveau zu tief ist und sich nicht anheben lässt;
- bei Anforderung des Reaktorflutens trotz Auslösung der Reaktordruckentlastung weniger als vier Abblaseventile offen sind;

- bei Anforderung des Reaktorflutens trotz mindestens vier geöffneter Abblaseventile und eingeleiteter bzw. versuchter Massnahmen zur Reaktoreinspeisung der Reaktordruck in Relation zum Containmentdruck zu tief ist; oder
- bei Anforderung des Reaktorflutens im Störfall mit Versagen der Reaktorschnellabschaltung die Temperatur in der Druckabbaukammer zu hoch ist oder kein Niederdruck-Notkühlsystem verfügbar ist.

Gemäss dieser Vorschrift für den Leistungsbetrieb ist zunächst die Reaktordruckkontrolle, die Einspeisung von Wasser in den Reaktor unter Anwendung aller möglichen Mittel und die Kontrolle der Containmentintegrität durchzuführen. Für den Fall, dass sich dennoch das Reaktorniveau nicht anheben lässt, wird der Übergang zur mitigativen Störfallbehandlung gemäss SAMG-Teil der Vorschrift angewiesen. Eine Reihe von symptomorientierten Vorschriften zur präventiven Störfallbehandlung verliert dann ihr Gültigkeit, und die Verantwortung für die Störfallbehandlung gemäss SAMG geht an das Technical Support Center über. Gemäss SAMG-Teil der Vorschrift sind zwei Hauptpfade parallel zu verfolgen:

- Die Parameter des Containments (z. B. Druck) sind zu überwachen und allfällige Massnahmen, wie z. B. das Venting (gefilterte Containment-Druckentlastung), zu dessen Schutz zu ergreifen.
- In Abhängigkeit von diversen Parametern zum Zustand von Reaktor und Containment ist die geeignete Strategie für das Fluten von Reaktor und Containment zu ergreifen.

Für Störfälle, die während des Stillstands auslöst werden, wird der Einstieg in die entsprechende Störfallanweisung für das Fluten von Reaktor und Containment angewiesen, wenn:

- kein Abfahrkühlsystem zur Verfügung steht und das Reaktorniveau nicht angehoben werden kann; oder
- bei Verlust von Kühlmittel eine zu geringe Kernabdeckung vorliegt.

Strukturell lehnt sich diese Vorschrift stark an diejenige für den Leistungsbetrieb an. Die wesentlichen Besonderheiten der Störfallbehandlung gemäss Vorschrift für den Stillstand sind:

- Es wird zwischen Zuständen mit oder ohne verschraubtem Deckel des Reaktordruckbehälters unterschieden.
- Unmittelbar nach Einstieg in die Vorschrift – und noch bevor klar ist, ob der SAMG-Teil dieser Vorschrift zur Anwendung kommt – wird das Schliessen des Containment-Materialtors und der Containment-Personenschleuse angewiesen.
- Im SAMG-Teil wird bei der Festlegung der Strategie für das Containmentfluten unterschieden, ob das Containment-Materialtor geschlossen ist oder nicht.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Art. 7 und 41 sowie Anhang 3 KEV^{KEV}
- Richtlinie ENSI-B12^{B12}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI betrachtet die KKL-SAMG als weitgehend konform mit den Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12. Positiv hervorzuheben sind insbesondere:

- die substantielle technische Basis, insbesondere der im internationalen Vergleich umfassende Umfang der SAMG (alle Betriebszustände) und der Stufe-2-PSA (alle Betriebszustände, interne, interne systemübergreifende und externe Ereignisse);
- regelmässig wiederkehrende Übungen von Notfällen mit Kernschaden;

- die Sofortmassnahmen zum Schliessen des Containment-Materialtors und die Durchführbarkeit dieser Massnahme bei Totalausfall der Wechselstromversorgung mittels alternativer Stromversorgung; und
- die Visualisierungen von Einleitungskriterien und Voraussetzungen wichtiger SAMG-Massnahmen.

Nach Prüfung von Detailspekten leitet das ENSI Punkte mit Verbesserungspotenzial ab, welche in der Aktionsliste zur KKL PSA 2016 (vgl. Kap. 7 der vorliegenden Stellungnahme) detailliert aufgeführt sind. Nachfolgend sind die wichtigsten Punkte zusammenfassend dargelegt:

- In den SAMG fehlen explizite Anweisungen zur Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung der für die Instrumentierung und einige Accident-Management-Mittel benötigten Stromversorgung. Diese Stromversorgung ist aus Sicht des ENSI von hoher Bedeutung für die zuverlässige Handhabung der Anleitungen zur Diagnose und Entscheidungsfindung.
- Hinsichtlich der logischen Darstellung der Abläufe in den Vorschriften zur Reaktor- und Containment-bespeisung bestehen einige Unstimmigkeiten. Die im Flussdiagramm dargestellten Abfragen zum Übergang in die SAMG stimmen beispielsweise nicht immer mit denen im Textteil der Vorschrift überein.
- Die Vermeidung bzw. Beendigung einer Freisetzung radioaktiver Stoffe ins Maschinenhaus nach einsetzender Kernschädigung wird nur unzureichend unterstützt.

Forderung 9.4-1

Bis zum 15. Dezember 2019 sind sämtliche in der Aktionsliste zur KKL PSA 2016 festgehaltenen Verbesserungspunkte bezüglich SAMG umzusetzen und ihre Umsetzung zu dokumentieren.

9.5 Technische Ausrüstungen

9.5.1 Räumlichkeiten des Notfallschutzes

Angaben des KKL

Das KKL verfügt über folgende Einrichtungen:

- Hauptkommandoraum und Notfall-Arbeitsraum
- Notfallführungsraum
- Notsteuerstellen A, B und C
- Steuerstellen des Notstandsystems SEHR A und B
- Ersatznotfallraum
- Externer Notfallraum beim KKB
- Lagerhalle für mobile Einsatzmittel

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B12^{B12}

Bewertung des ENSI

Das KKL verfügt über die gemäss Richtlinie ENSI-B12 geforderten Räumlichkeiten und zusätzlich einen Ausweichstandort im KKB. Zusätzliches Material für Accident-Management-Massnahmen ist auf dem Gelände in der neuen Lagerhalle für Feuerwehr- und Notstromausrüstung untergebracht. Die Räumlichkeiten der Notfallorganisation wurden im Zusammenhang mit Betrachtungen zu möglichen langandauernden Freisetzungen bei einem Unfall vom ENSI im Überprüfungszeitraum inspiziert, Verbesserungsmaßnahmen wurden vom KKL identifiziert und umgesetzt.

9.5.2 Technische Einrichtungen für das Notfallmanagement

Angaben des KKL

Das Unfallmanagement ist darauf ausgerichtet, dass für eine ausreichende Kühlung der Brennelemente im Reaktorkern und für die Kühlung und Integrität des Containments gesorgt wird. Um diese Ziele zu erreichen, werden entsprechend den Vorschriften zuerst die dafür vorgesehenen Systeme wie Reaktorschutzsystem, Kernnotkühlsysteme, Containment-Isolationssystem und Containment-Kühlsysteme eingesetzt. Versagen eins oder mehrere dieser Systeme, muss auf weitere technische Ausrüstungen zurückgegriffen werden, um die Schutzziele zu erreichen.

Zu diesen Ausrüstungen gehören im KKL alternative Mittel für die Reaktor- und Containmenteinspeisung (Tanklöschfahrzeug; Sprinter-Fahrzeug mit Feuerwehrpumpe; Motorpumpe auf Hubretter; zwei Motorspritzen), den Reaktordruckabbau (Baukompressor; Hebe- und Blockiervorrichtungen für Abblaseventile), die Stromversorgung (drei lokal gelagerte Diesellgeneratoren), die Containmentisolation, die Boreinspeisung, die Nachspeisung der Brennelementlagerbecken im Brennelementlagergebäude sowie zusätzlich Ausrüstungen zur Brandbekämpfung. Für jeden dieser Bereiche macht das KKL Angaben zu den vorhandenen Ausrüstungen, dem Lagerstandort, den Hauptauslegungsmerkmalen sowie zur periodischen Prüfung. Zu den Lagerstandorten gehören eine speziell eingerichtete Lagerhalle und das Feuerwehrmagazin.

Für 12 in den Accident-Management-Vorschriften beschriebene Massnahmen werden die effektiv erzielbaren Reaktor- und Containmenteinspeiseraten mittels strömungsmechanischer Analysen bestimmt. Für 11 dieser Massnahmen wird gefolgert, die jeweilige Reaktoreinspeiserate sei ausreichend, um ein Kernschmelzen zu verhindern. Die ermittelten Einspeiseraten sollen in die Vorschriften eingearbeitet werden. Für die Massnahme mit unzureichender Einspeiserate wird die Zurückziehung der diesbezüglichen Vorschrift vorgeschlagen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-A03^{A03}

Beurteilung des ENSI

Das ENSI beurteilt die im KKL vorhandenen Notfallausrüstungen als zweckmässig und ausreichend für die Vorsorge gegen auslegungsüberschreitende Störfälle. Die Lagerorte der Ausrüstungen bewertet das ENSI als sinnvoll und ausreichend gegen Einwirkungen von aussen geschützt. Die Funktionsfähigkeit der Ausrüstungen wird wiederkehrend überprüft.

Mit der Bereitstellung von drei lokal gelagerten Diesellgeneratoren (für den Einsatz gemäss Accident-Management-Vorschriften) an unterschiedlichen Aufstellorten auf dem KKL-Areal sind Verfügbarkeitsreserven in der alternativen Stromversorgung vorhanden. Das ENSI begrüsst dies. Ferner ergeben sich zusätzliche Reserven durch Mittel aus dem externen Lager Reitnau, welches im Vorschriftenwerk des KKL eingebunden ist.

Eine stichprobenartige Prüfung bestätigte die Plausibilität der mit Notfallausrüstungen effektiv erzielbaren Reaktor- und Containmenteinspeiseraten, welche das KKL mittels strömungsmechanischer Analysen für eine Reihe von in Accident-Management-Vorschriften beschriebenen Massnahmen bestimmt hat. Fast jede einzelne Massnahme ist bei auf 3,5 bar druckentlastetem Reaktor ausreichend für die Reaktorniveauhaltung vor einsetzender Kernabdeckung. Für die Kernkühlung nach einsetzender Kernabdeckung und Zirkonium-Sauerstoff-Reaktion ist der Einsatz mehrerer Massnahmen erforderlich. Die technischen Einrichtungen hierfür sind vorhanden. Mit den in den Vorschriften enthaltenen Angaben zu den erzielbaren Einspeiseraten liegt eine zweckmässige Unterstützung der diesbezüglichen Entscheidungsfindung vor. Die Anpassung der Vorschriften ist Gegenstand einer Forderung, die im Zusammenhang mit der Prüfung der PSA erhoben wurde.

9.5.3 Kommunikationsmittel für die Notfallorganisation

Die im KKL vorhandenen Kommunikationsmittel sind grundsätzlich aufgeteilt in interne Kommunikationssysteme und externe Kommunikationseinrichtungen, die die Verbindungen nach aussen sicherstellen. Die internen Kommunikationsausrüstungen werden teilweise im Rahmen der Notfallorganisation und mehrheitlich auch für den laufenden Betrieb eingesetzt. Die externen Kommunikationsmittel werden primär bei Notfällen eingesetzt. Die Festnetztelefonanlage, kombiniert mit der Schnurlos-Telefonanlage, gilt von der Einteilung her als internes Kommunikationsmittel.

Angaben des KKL

Für die interne und externe Kommunikation verwendet das KKL u. a. folgende Systeme:

- Festnetztelefonanlage mit zwei Primäranschlüssen nach aussen, mit Anschluss der Schnurlos-Telefonanlage und der Faxgeräte: Sie dient zur Vermittlung von Sprechverbindungen und Daten.
- Schnurlos-Telefonanlage mit zwei weiteren Primäranschlüssen nach aussen und Anschluss an die Festnetztelefonanlage: Die Schnurlos-Telefonanlage ermöglicht Sprechverbindungen und gezielte Personalaralarmierungen.
- Gegensprechanlage mit einer Zentrale und zahlreichen fest verbundenen Aussenstellen sowie einer Vielzahl an entsprechenden Steckdosenanschlüssen zum mehrpoligen Anschluss mobiler Geräte inkl. Kopfhörer.
- Wechselsprechanlage: Zwischen den Notsteuerstellen kann mittels dieser „Notgegensprechanlage“ mit batteriegespeisten Wechselsprechgeräten kommuniziert werden.
- Ringmaster-Gegensprechanlage: Das Ringmaster-Gegensprechanlagensystem basiert auf einem separaten Netzwerk mit insgesamt fünf Kleinzentralen. Zwei Netzwerke stellen die Verbindung zwischen Hauptkommandoraum und Notsteuerstellen bzw. SEHR her. Ein Netzwerk dient der Verbindung zwischen Hauptkommandoraum, Hilfsalarmzentrale HAZ, Sicherungszentrale und Ersatznotfallraum. Die übrigen beiden Netzwerke werden betrieblich genutzt.
- Betriebsfunk Innen (BFI): Der BFI wird für die schichtinterne Kommunikation und zur Verbesserung der Kommunikation in Not- und Störfällen eingesetzt. Hierzu können Verbindungen in den Gebäuden ZA, ZB, ZC, ZD, ZE und ZF zwischen Handfunkgeräten und Bedienstellen erstellt werden.
- Kurbeltelefone: Zwischen den Notsteuerstellen, dem SEHR, Containment +28 m und den Notstromdieseln der Redundanzen 11, 21 und 31 kann über spezielle Telefone kommuniziert werden. Weitere Kurbeltelefone sind für die Kommunikation zwischen dem Ersatznotfallraum und den Stellen Notfallarbeitsraum, den drei Notsteuerstellen und der Sicherungszentrale vorgesehen.
- Lautsprecheranlage: Für die Kommunikation mit allen Mitarbeitern (Alarmierung, Personensuchanfragen) wird im KKL eine Lautsprecheranlage eingesetzt. An Orten, an denen Durchsagen aufgrund von Lärm nicht wahrgenommen werden können und für Hörbehinderte Mitarbeiter sind Blitzleuchten installiert.
- Spezielle Faxgeräte: Der Kommandoraum, der Notfallführungsraum, der Ersatznotfallraum, die zentralen Räume der Sicherung und die Telefonzentrale sind mit speziellen Faxgeräten mit separaten Verbindungen (Kommunikationsnetzen) ausgestattet.
- Nottelefon: Bei Ausfall der KKL-Telefonzentrale stehen vier externe Amtslinien (Direktverbindungen) zur Verfügung. Eine Amtsleitung ist für die RABE-Alarmierung programmiert.
- KKW-Netz Inland: Das KKW-Netz ist ein eigenes Kommunikationsnetz zwischen den schweizerischen Kernkraftwerken und Bundesstellen.
- POLYCOM: Bei einem Ausfall der Amtsleitungen erfolgt die Kommunikation mit ausgewählten Notfallpartnern über das POLYCOM-Funk-Netz.
- Satellit: Ein Satelliten-Telefon steht im Ersatznotfallraum zur Verfügung.

Alle Einrichtungen sind überflutungssicher und mindestens gegen ein Betriebserdbeben geschützt. Die zur Verfügung stehenden internen und externen Kommunikationsmittel sind sowohl redundant wie diversitär ausgelegt.

Die Vollständigkeit der Kommunikationsmittel wird zweimonatlich anhand des Systemfunktionstests „Systemfunktionstest Checkliste Ausrüstung Notfallräume“ überprüft.

Die meisten Kommunikationssysteme, respektive die pro System relevanten Komponenten, sind an unterschiedlichen unterbrechungsfreien Stromversorgungen angeschlossen. Damit ist sichergestellt, dass die Kommunikation auch bei einem Stromunterbruch funktioniert. Die Batteriestützzeit beträgt jeweils mehrere Stunden, wobei laut dem KKL diese Zeiten im Rahmen der Planung von Modernisierungsprojekten überprüft werden.

Die Stromversorgung der Kommunikationsanlagen erfolgt innerhalb der Sicherheitsebenen 1 bis 3 ab den Notstromschienen. Im auslegungsüberschreitenden Bereich der Sicherheitsebene 4 kann bei Ausfall der Wechselstromversorgung die Stromversorgung mittels einem mobilen SAMG-Notstromdiesel noch vor einer Erschöpfung der Batterien sichergestellt werden.

Für die internen Kommunikationsmittel werden Modernisierungsprojekte durchgeführt. Die systematische Planung hierfür ist in Bearbeitung.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-A03^{A03}
- Aktennotiz ENSI-AN-7219^{ENSI 7219}

Beurteilung des ENSI

Das KKL verfügt über eine bewährte Kombination an einsatzbereiten und funktionstüchtigen internen Kommunikationsmitteln zur Sicherstellung der Kommunikation im Normalbetrieb und bei Stör- und Notfällen.

Das KKL verfügt über einsatzbereite und funktionstüchtige externe Kommunikationsmittel zu den externen Stellen im Notfallschutz wie das ENSI, die Nationale Alarmierungszentrale und der Standortkanton. Jährlich vom ENSI durchgeführte Inspektionen bestätigen die Einsatzbereitschaft dieser Kommunikationsmittel. Bei Ausfall der Festnetz- und Mobiltelefonie steht seit 2013 auch das Sicherheitsfunknetz POLYCOM für die Kommunikation zur Verfügung. Auf Bundesebene erfolgen zurzeit weitere Abklärungen bzgl. hochverfügbarer Kommunikationsmittel.

Die Verfügbarkeit der Kommunikationseinrichtungen wird durch den ständigen Gebrauch im normalen Kraftwerksbetrieb sowie durch ergänzende Kontrollen und Tests sichergestellt.

Die bisherigen Konzepte der Stromversorgung der Kommunikationsmittel wurden vom ENSI nach den Ereignissen in Fukushima überprüft. Die im Nachgang hierzu von den Schweizer Betreibern geforderten Ergänzungsmaßnahmen im Bereich der Stromversorgung in auslegungsüberschreitenden Szenarien führten im KKL zur schrittweisen Nachrüstung von intern und extern verfügbaren SAMG-Notstromdieselaggregaten. Diese sind auch für relevante Kommunikationssysteme wirksam. Die Forderung nach Überprüfung der Auslegungsvorgaben für die Autarkiezeiten der Batterien für sicherheitsrelevante und für das Accident Management benötigte elektrische Verbraucher (vgl. Kap. 4.5.6, Forderung 4.5-1) gilt auch für die Kommunikationsmittel und wird deshalb hier nicht wiederholt.

Die wesentlichen Anlagenänderungen im Bereich der elektrisch klassierten internen Kommunikationseinrichtungen sind gemäss Richtlinie ENSI-A04 freigabepflichtig. Dementsprechend ist das ENSI in die relevanten Anlagenänderungen in diesem Bereich involviert und beaufsichtigt die Umsetzung von Vorgaben für diesen Bereich.

Aufgrund der Lebensdauer ist bei den internen Kommunikationsmitteln ein Modernisierungsbedarf offensichtlich. Das ENSI forderte nach einer Inspektion im Jahr 2014 die systematische Ermittlung des Erneuerungsbedarfs im Bereich der internen Kommunikationsmittel. Da die Umsetzung dieser ENSI-Forderung noch in der

laufenden Bearbeitung ist, verzichtet das ENSI an dieser Stelle auf eine Forderung im Rahmen der vorliegenden Stellungnahme.

9.5.4 Störfallinstrumentierung

Mit der KKL-Störfallinstrumentierung werden insgesamt 38 unterschiedliche Parameter überwacht^{LI-13-53}, die für die verschiedenen Störfallszenarien von den automatisierten Sicherheitssystemen unabhängige und qualifizierte Messungen und Anzeigen gewährleisten.

Angaben des KKL

Im Überprüfungszeitraum wurden im Bereich der Erfassung und Verarbeitung der Störfallinstrumentierung zwei Anlagenänderungen durchgeführt:

- Ersatz der Messungen des Neutronenflusses im Anfahrbereich und im Zwischenbereich durch das WRNMS (Wide Range Neutron Monitoring System, Weitbereichsneutronenflussmesssystem).
- Nachrüstung der störfallfesten Brennelementbeckeninstrumentierung

Zwischen den Jahren 2010 und 2014 traten bei Rosemount-Transmittern – solche sind sowohl für Teile der Störfallinstrumentierung als auch für automatisierte Teile der Sicherheitsleittechnik und der betrieblichen Leittechnik eingesetzt – insgesamt fünf Störungen im Bereich der Kontaktleiste der Verstärkerplatine und auf der Elektronikarte auf. Durch die Firma Rosemount werden hierfür keine Reparaturen durchgeführt. Daher hat das KKL beschlossen, die Transmitter durch Nachfolgetypen zu ersetzen. Entsprechende Freigaben seitens ENSI liegen vor. Die Transmitter werden schrittweise ersetzt.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B12^{B12}

Beurteilung des ENSI

Der Ersatz der Messungen des Neutronenflusses im Anfahrbereich und im Zwischenbereich durch das WRNMS war ein Modernisierungsschritt, der verschiedene Verbesserungen beinhaltete, unter anderem bessere Automatisierung (weniger manuelle Bedienvorgänge beim Anfahren der Anlage), bessere räumliche Trennung der Ausrüstungen zwischen 1E-Bereich (Notsteuerstellen) und 0E-Bereich (Hauptkommandoraum) und verbesserte Anzeigen im Hauptkommandoraum.

Die Nachrüstung der störfallfesten Brennelementbeckeninstrumentierung war eine Forderung des ENSI nach den Ereignissen in Fukushima. Diese zusätzlichen redundanten und 1E-klassierten Instrumentierungen für Niveau und Temperatur des Brennelementbeckens brachten eine weitere Verbesserung der KKL-Störfallinstrumentierung.

Die teils durch Alterungsphänomene hervorgerufenen Schwachstellen bei Rosemount-Transmitter-Typen wurden im und nach dem PSÜ-Überprüfungszeitraum durch etappenweise durchgeführte Austauschmassnahmen mit Ersatztypen erfolgreich behoben.

Die Störfallinstrumentierung im KKL deckt die behördlichen Vorgaben ab und wird vom ENSI als geeignet beurteilt, um die ihnen zugeordneten Instrumentierungsaufgaben bei Störfällen zu erfüllen.

9.5.5 Safety Parameter Display System

Angaben des KKL

Im Überprüfungszeitraum wurde das Safety Parameter Display System (SPDS) des KKL, das im KKL auch Schutzzielübersichtsanzeige (SÜA) genannt wird, im Rahmen eines umfassenden Modernisierungsschrittes ersetzt. Diese Modernisierung wurde im Jahre 2006 durch die hardware- und softwaremässige Einbindung in

das neu erstellte Prozessrechnersystem ANIS+ (Anlageninformationssystem plus) realisiert. Die frühere SÜA stellte die einzige elektronisch verfügbare Informationsquelle für das Schichtpersonal dar. Mit Einführung des ANIS+ als Gesamtsystem wurden die für die Schicht verfügbaren Informationen demgegenüber vervielfacht. Die wichtigsten Informationen der neuen SÜA wurden nach Schutzziele geordnet und sind systematisch in Übersichtsbildern und zugehörigen Trendanzeigen verfügbar. Damit wurden im ANIS+ die früheren Funktionen der SÜA übernommen und erweitert.

Bei Ansprechen einer Limite aus einem SÜA-Bild oder einem überwachten Kriterium einer Störfallanweisung erfolgt eine optische und akustische Alarmierung auf der Funktionsleiste im ANIS+, welche auf jeder Ansicht immer eingeblendet ist. Dadurch wird gewährleistet, dass jeder Operateur immer auf wichtige Zustände bezüglich Eintrittskriterien in eine Störfallanweisung oder Überschreiten eines Schutzziels hingewiesen wird, unabhängig davon, welche Ansicht im ANIS+ am entsprechenden Bildschirm angewählt ist.

Die Einhaltung der Schutzziele wird kontinuierlich überwacht, angezeigt und bei Verletzung sowohl innerhalb des Systems als auch innerhalb der Gefahrenmeldeanlage alarmiert. Die Signale für die Beurteilung der Schutzzieleinhaltung werden aus den Signalen der Störfallinstrumentierung gebildet.

Durch die Überführung der früheren SÜA in die heutige SÜA-Funktion als Teil der ANIS+-Leitanlage konnte die Verfügbarkeit und Benutzerfreundlichkeit erheblich verbessert werden. Zudem wurde durch den vorgenommenen Technologiewechsel die Basis für einen langfristig zuverlässigen Betrieb des Systems geschaffen.

Durch den täglichen Einsatz von ANIS+ für den Anlagenbetrieb und die Anlagenüberwachung durch die Betriebsschicht sind Informationen auch im Störfall schnell und sicher durch die Schicht abrufbar. Diese Informationen werden gemäss den gültigen Störfallvorschriften immer mit den Pultanzeigen verglichen, sodass Fehlhandlungen bei Messwertausfällen vermieden werden können.

Die vom KKL durchgeführten Funktionstests sind ausreichend, um die Funktionsfähigkeit und Verfügbarkeit des ANIS+ und der SÜA sicherzustellen.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B12^{B12}
- IEC 60960^{IEC-60960}
- NUREG-0696^{NUREG-0696}, NUREG-0737^{NUREG-0737} (einschliesslich Supplement 1)

Beurteilung des ENSI

Die Modernisierung des SPDS (der SÜA) wurde durch das KKL kompetent durchgeführt. Das neue SPDS erfüllt die Vorgaben der Richtlinie ENSI-B12 und die anwendbaren Anforderungen der relevanten internationalen Normen im Bereich des SPDS. Die Alarmierung von Schutzzielverletzungen erfolgt durch das SPDS umfassend.

Der Einsatz des SPDS, einschliesslich der Anwendung des Prüfprogramms, durch das KKL wird vom ENSI als angemessen und korrekt beurteilt.

9.5.6 Anlageparameter-System

Angaben des KKL

Das Anlageparameter (ANPA)-System überträgt die Anlagendaten im Zwei-Minutentakt und die Emissionswerte im Zehn-Minutentakt an das ENSI. Die Stromversorgung der ANPA-Geräte erfolgt über eine batteriegestützte Wechselstromschiene. Die Autarkiezeit der Batterien beträgt etwa 8 h. Die Verfügbarkeit der ANPA-Übertragung lag in den letzten Jahren deutlich über 99 % und ist damit sehr gut. Das ANPA-System erfüllt die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12.

Beurteilungsgrundlagen des ENSI

- Richtlinie ENSI-B12^{B12}
- ANPA-Betriebsreglement ENSI-AN-7057^{ENSI 7057}

Beurteilung ENSI

Das ANPA-System des KKL erfüllt grundsätzlich die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12. Die Übertragung der Daten erfolgte mit ausreichender Verfügbarkeit. Geplante Unterbrüche mit Dauer grösser 3 h wurden entsprechend der Richtlinie ENSI-B12 vorgängig gemeldet.

Gemäss Richtlinie ENSI-B12 Anhang 3 ist der Weitbereich der Füllstandmessung in der Kondensationskammer des Containments zu spezifizieren gemäss Auslegung. Dieser Parameter ist an die Aufsichtsbehörde zu übertragen. Der Messbereich dieser Messung beträgt beim KKL –4 m bis +1 m. Gemäss den KKL-SAMG sind jedoch unter bestimmten Umständen Massnahmen zu ergreifen, mit denen das Kondensationskammer-Niveau zwischen +1 m und +15,1 m gehalten werden soll. Aus Sicht des ENSI ist unklar, inwieweit mit dem definierten Messbereich die Anforderungen der Richtlinie ENSI-B12 erfüllt werden.

Forderung 9.5-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2019 darzulegen, inwiefern mit dem Messbereich der übertragenen Füllstandmessung in der Kondensationskammer alle relevanten Füllstände dargestellt werden können. Gegebenenfalls ist dem ENSI spätestens ab dem 15. März 2021 eine umfassendere Weitbereichsmessung des Füllstands in der Kondensationskammer des Containments zu übertragen.

10 Gesamtbewertung

10.1 Sicherheitsebenenorientierte Bewertung

Angaben des KKL

Der Bericht „Übergeordnetes Auslegungskonzept“^{PSÜ/30} dokumentiert detailliert, welche technischen und organisatorischen Massnahmen vom KKL welchen Sicherheitsebenen zugeordnet werden.

Die Ergebnisse der PSÜ zeigen aus Sicht des KKL keine ernsten Mängel oder Defizite bei der nuklearen Sicherheit und dem Strahlenschutz. Durch die PSÜ selbst konnten fast keine Mängel festgestellt werden, die nicht ohnehin durch die Arbeitsprozesse des KKL schon erkannt worden waren. Drei sogenannte PSÜ-Findings wurden vom KKL identifiziert. Diese betreffen die Aktualität von Grundlegendokumenten des Brandschutzes, die Übersichtlichkeit und Aktualität von TQM-Dokumenten und die Aussagekraft von Sicherheitsindikatoren. Entsprechende Verbesserungen sind geplant.

Das KKL beurteilt das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge auf allen Sicherheitsebenen als vollständig erfüllt.

Beurteilung des ENSI

Die übergeordnete Beurteilung der Umsetzung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsvorsorge im KKL findet sich in Kap. 2.2.4 der vorliegenden Stellungnahme. Bereits mit dem Basisdesign wurde die gestaffelte Sicherheitsvorsorge im KKL weitestgehend umgesetzt. Aufgrund dieser Feststellung und auf Basis der Darlegungen des KKL beurteilt das ENSI die Vorsorgemassnahmen auf den verschiedenen Sicherheitsebenen grundsätzlich als ausreichend, wenn auch Verbesserungsbedarf besteht. Dieser wird im Folgenden den einzelnen Sicherheitsebenen zugeordnet.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 1

Die Aufzeichnung und Auswertung der Betriebserfahrung (vgl. Kap. 3.1, 3.2 und 3.8) sowie Instandhaltung, Wartung und Prüfungen (vgl. Kap. 4) bewertet das ENSI als der Sicherheitsebene 1 zugehörig.

Verbesserungsbedarf hat das ENSI bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen, die aus der Analyse eines Vorkommnisses abgeleitet worden waren (vgl. Forderung 3.2-1), bei der Prüfung des Revisionschiebers des Speisewassersystems (vgl. Forderung 4.3-1), bezüglich des Instandhaltungskonzepts für die Kälteanlagen der kontrollierten Zone (vgl. Forderung 4.4.2), hinsichtlich der Betriebsdauer und Alterung von sicherheitstechnisch relevanten leittechnischen Ausrüstungen (vgl. Forderung 4.5-2) sowie in Bezug auf die Prüfung der zentralen Erdungspunkte (vgl. Forderung 4.6-1) festgestellt.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 2

Diverse Funktionen von Systemen und Komponenten des KKL sind der Sicherheitsebene 2 zuzuordnen. Hier ergab sich kein Verbesserungsbedarf.

Das KKL erfüllt die Anforderungen an die Sicherheitsebene 2.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 3

Der Sicherheitsebene 3 ordnet das ENSI insbesondere die Zuverlässigkeit der Sicherheitssysteme einschliesslich deren Hilfs- und Versorgungssystemen sowie die Eignung der Instandhaltungs- und Alterungsüberwachungsprogramme (vgl. Kap. 4 und 5), den anlageninternen Notfallschutz (vgl. Kap. 9), die Analyse standortspezifischer Gefährdungen (vgl. Kap. 2.1) sowie technische und radiologische Störfallanalysen (vgl. Kap. 6) zu.

Verbesserungsbedarf hat das ENSI bezüglich der Darstellung der geologischen Verhältnisse (vgl. Forderung 2.1-1) sowie bezüglich der technischen und radiologischen Störfallanalysen (Forderungen 6.1-1 bis 6.4-

1) identifiziert. An Krane werden neben Anforderungen der Sicherheitsebenen 1 und 2 auch solche der Sicherheitsebene 3 gestellt, nämlich dass Krane bei Auslegungsstörfällen keine sicherheitsrelevanten SSK beschädigen sollen. Zu diesem Aspekt ergab sich Verbesserungsbedarf (vgl. Forderung 4.6-2).

Vorsorge auf Sicherheitsebene 4

Die Probabilistischen Sicherheitsanalysen (vgl. Kap. 7) und der Notfallschutz (vgl. Kap. 9) werden vom ENSI insbesondere der Sicherheitsebene 4 zugeordnet. Bei der PSA (vgl. Forderung 7.9-1), bei den SAMG (Forderung 9.4-1) sowie bei der Übertragung von Anlageparametern an das ENSI (vgl. Forderung 9.5-1) besteht Verbesserungsbedarf.

An den Stand der Nachrüsttechnik (vgl. Kap. 2.2.6) werden auf verschiedenen Sicherheitsebenen Anforderungen gestellt, der hier identifizierte Verbesserungsbedarf betrifft nur auslegungsüberschreitende Ereignisse (vgl. Forderungen 2.2-1 und 2.2-2). Gleiches gilt für Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente (vgl. Kap. 3.3), der dort identifizierte Verbesserungsbedarf betrifft die Sicherheitsebene 4a (vgl. Forderung 3.3-1). Auch an die verschiedenen Strukturen, Systeme und Komponenten (vgl. Kap. 4) werden je nach ihrer Funktion Anforderungen auf verschiedenen Sicherheitsebenen gestellt. Der bei der gefilterten Druckentlastung (vgl. Forderung 4.4-1) festgestellte Verbesserungsbedarf betrifft die Sicherheitsebene 4b, derjenige, der die Autarkiezeiten von Batterien behandelt (vgl. Forderung 4.5-1), die Sicherheitsebene 4.

Darüber hinaus enthält die Richtlinie ENSI-G04 Anforderungen an den Nachweis eines ausreichenden Schutzes von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente gegen unfallbedingten Flugzeugabsturz unabhängig von dessen Eintrittshäufigkeit. Der hier festgestellte Verbesserungsbedarf (vgl. Forderung 6.4-2) betrifft den auslegungsüberschreitenden Flugzeugabsturz.

Vorsorge auf Sicherheitsebene 5

Die Verantwortung für die Sicherheitsebene 5, also den anlagenexternen Notfallschutz, liegt primär nicht beim KKL. Die Wirksamkeit der Sicherheitsebene 5 ist Gegenstand national koordinierter Massnahmen. Die Übung der Teilaufgaben des KKL im Rahmen von Notfallübungen (vgl. Kap. 9.2) bewertet das ENSI als zur Sicherheitsebene 5 gehörig. Hier ergab sich kein Verbesserungsbedarf.

Das KKL erfüllt die Anforderungen an die Sicherheitsebene 5.

Sicherheitsebenen übergreifende Vorsorge

Themen wie Organisation und Personal (vgl. Kap. 8), Strahlenschutz (vgl. Kap. 3.4), Wasserchemie (vgl. Kap. 3.5), Umgebungsüberwachung (vgl. Kap. 3.6) und Entsorgung (vgl. Kap. 3.7) werden vom ENSI als Sicherheitsebenen übergreifend bewertet. Weitere wichtige Aspekte wie Brandschutz (vgl. Kap. 4.6.1), Blitzschutz (vgl. Kap. 4.6.2), Flucht- und Rettungswege (vgl. Kap. 4.6.3) sowie Strahlenmesstechnik (vgl. Kap. 4.6.4) sind aus Sicht des ENSI ebenfalls als Sicherheitsebenen übergreifend einzuordnen. Punktueller Verbesserungsbedarf liegt bei der Darlegung der Vorgehensweise bei Konflikten zwischen Unternehmens- und Kraftwerksleiter zu Sicherheitsfragen (vgl. Forderung 8.1-1) vor.

An Bauwerke (vgl. Kap. 4.2) werden auf den Sicherheitsebenen 1 bis 4 Anforderungen gestellt, der hier identifizierte Verbesserungsbedarf betrifft den Nachweis des Brandwiderstandes von Stahlbauteilen bzw. Stahlkonstruktionen (vgl. Forderung 4.2-1) und ist damit Sicherheitsebenen übergreifend einzuordnen. Punktuellen Sicherheitsebenen übergreifenden Verbesserungsbedarf hat das ENSI auch bezüglich des Stands der Transportfähigkeit von beladenen Transport- und Lagerbehältern im Eigentum des KKL (vgl. Forderung 3.7-1) identifiziert.

10.2 Schutzzielorientierte Bewertung

Angaben des KKL

Der Nachweis der Gewährleistung der grundlegenden Schutzziele erfolgt im Rahmen der PSÜ 2016 für die Sicherheitsebenen 1 bis 4 zunächst durch die deterministischen Sicherheitsanalysen. Dabei wird insbesondere aufgezeigt, welche Vorkehrungen auf welcher Sicherheitsebene dem Schutz welcher Barriere bzw. welchem Schutzziel dienen. Die Berichte zum Sicherheitsgebiet „Betriebserfahrung und Zustand der SSK“ enthalten für jedes System die Zuordnung der technischen Ausrüstungen, Massnahmen und Prozesse zu den Schutzzielen. Tabellarisch werden in diesen Berichten die Schutzzielfunktionen der Systeme den Schutzzielen und den Sicherheitsebenen zugeordnet.

Die Überprüfung zeigt, dass die Qualifikation der Ausrüstungen für die erforderlichen Schutzzielfunktionen konsistent mit den Klassierungen und Kategorisierungen der identifizierten Schutzzielfunktionen ist. Die Betriebserfahrung mit den sicherheitsklassierten SSK zeigt keine Verletzung der sicherheitstechnischen Vorgaben. Die SSK werden zuverlässig innerhalb ihrer Betriebsgrenzen betrieben. Es sind ausserdem ausreichend Sicherheitsmargen zwischen diesen Betriebsgrenzen und den Auslegungsgrenzen vorhanden. Es wurden keine Fälle festgestellt, bei denen Auslegungsgrenzen durch den Betrieb der Anlage oder während Tests verletzt wurden.

Das KKL kommt zusammenfassend zum Schluss, dass die Untersuchung im Rahmen der PSÜ für alle Bereiche, die zur nuklearen Sicherheit und zum Strahlenschutz des Kernkraftwerks Leibstadt beitragen, positive Ergebnisse erbracht hat:

- Das Barrierenkonzept ist wirksam, und die physischen Barrieren sind in einem sehr guten Zustand.
- Das Konzept der gestaffelten Sicherheitsvorsorge wird auf allen Sicherheitsebenen vollständig erfüllt.

Damit ist aus Sicht des KKL die Schlussfolgerung gerechtfertigt, dass die übergeordneten Schutzziele erfüllt werden.

Beurteilung des ENSI

Das KKL betrachtet für die schutzzielorientierte Bewertung des Sicherheitskonzepts der Anlage alle relevanten Sicherheitsebenen. Aus der Erfüllung des Konzepts der gestaffelten Sicherheitsvorsorge und der Wirksamkeit des Barrierenkonzepts auf die Erfüllung der übergeordneten Schutzziele zu schliessen, greift jedoch zu kurz. Insbesondere während der Revisionen werden temporär Systeme geöffnet und Abschirmungen entfernt, um notwendige Arbeiten ausführen zu können. Damit werden bestehende physikalische Barrieren teilweise aufgehoben. Zur Kompensation sind Massnahmen wie z. B. das Tragen von Schutzausrüstung, Aufenthaltszeitbeschränkungen oder die Installation gezielter Absaugungen erforderlich.

In diesem Zusammenhang sei auf die Optimierung strahlungsrelevanter Tätigkeiten und das meldepflichtige Vorkommnis „Überschreitung der zulässigen Strahlenexposition einer Person bei Instandhaltungsarbeiten“ verwiesen. Bei diesem Ereignis führte das Einsammeln eines unbekanntes Gegenstands während Taucharbeiten im Brennelement-Transferbecken zu einer Strahlenbelastung des Tauchers oberhalb des zulässigen Grenzwerts, wodurch das Schutzziel „Begrenzung der Strahlenexposition“ verletzt war. Nach diesem Vorkommnis wurden vom KKL zielgerichtet Massnahmen zur Verhinderung von weiteren Dosisgrenzwertüberschreitungen getroffen (vgl. Kap. 3.4.4).

Das ENSI kann bestätigen, dass die Schutzziele „Kontrolle der Reaktivität“, „Kühlung der Brennelemente“ und „Einschluss der radioaktiven Stoffe“ im Überprüfungszeitraum erfüllt waren. Mit Ausnahme des oben erwähnten Vorkommnisses war auch das Schutzziel „Begrenzung der Strahlenexposition“ erfüllt.

Damit das Sicherheitsniveau der Anlage weiter erhöht wird, stellt das ENSI die in Kap. 10.3 zusammengestellten Forderungen.

10.3 Forderungen

Im Folgenden sind sämtliche in der vorliegenden sicherheitstechnischen Stellungnahme enthaltenen Forderungen zusammengestellt.

Forderung 2.1-1

Die Darstellung der geologischen Verhältnisse am Standort KKL und in dessen Umgebung ist methodisch und fachlich auf den neusten Stand zu bringen und sicherheitstechnisch bzgl. aktueller Erkenntnisse zu beurteilen. Eine aktualisierte Darstellung und die sich daraus für den Standort KKL ergebenden sicherheitstechnischen Erkenntnisse sind bis zum 15. Dezember 2022 einzureichen.

Forderung 2.2-1

Es ist ein Konzept zur Wärmeabfuhr aus dem Containment mit Accident-Management-Massnahmen zu erarbeiten, das ermöglicht, in der Spätphase eines auslegungsüberschreitenden Störfalls auf die gefilterte Containment-Druckentlastung zu verzichten. Die Konzeptunterlagen sind dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.

Forderung 2.2-2

Das KKL hat zu analysieren, ab welchem Füllstand und ab welcher Temperatur der Druckabbaukammer mit einem Kavittieren bzw. einem Ausfall der Funktion der RCIC-Pumpe in Abhängigkeit von der Drehzahl zu rechnen ist. Zusätzlich hat das KKL zu untersuchen, ob eine alternative Dampfableitung in das Containment – ggf. mit einer gefilterten Druckentlastung über das Containment-Druckentlastungssystem – möglich ist, bei der ein Aufheizen der Druckabbaukammer verhindert werden kann und ein grosser Teil des gesamten Wasserinventars der Druckabbaukammer vom RCIC (keine Kavitation) zur Einspeisung in den RDB genutzt werden könnte. Der Analysebericht hat den möglichen Sicherheits- bzw. Zeitgewinn sowie mögliche Nachteile auszuweisen und ist bis zum 15. Dezember 2020 dem ENSI einzureichen.

Forderung 3.2-1

Das KKL hat dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einen Bericht einzureichen, aus dem hervorgeht, ob die im Rahmen der Schwerpunktthemen

- Verantwortung der Führung stärken*
- Intensivierung von Training und Schulung der KKL-Standards*
- Anpassung der Prozesse, Überprüfung der Arbeitspapiere*

eingeleiteten Massnahmen die gewünschte Wirkung zeigen. Die Wirkung ist auf gesamtorganisationaler Ebene zu beurteilen. Dabei ist das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation zu berücksichtigen. Insbesondere ist auch die Wirksamkeit des in 2015 überarbeiteten Verfahrens für die Feststellungsmeldungen hinsichtlich einer verbesserten Akzeptanz zu beurteilen.

Forderung 3.3-1

Der Nachweis für die Sicherheitsebene 4a, der gemäss Richtlinie ENSI-A01 für den totalen Ausfall der Brennelementbeckenkühlung zu führen ist, ist bis zum 15. Dezember 2020 um Untersuchungen zur Unterkritikalität bei siedendem Wasser zu ergänzen.

Forderung 3.7-1

Bis zum 15. Dezember 2019 ist der Stand der Transportfähigkeit für jeden beladenen Behälter im Eigentum des KKL darzulegen. Sofern der Zustand des Einzelbehälters nicht der aktuellen Zulassung entspricht, sind die Abweichungen und die erforderlichen Massnahmen zur Herstellung der Transportfähigkeit zu benennen.

Forderung 4.2-1

Ergänzend zum Nachweis des Brandwiderstands der Tragwerke ist bis zum 15. Dezember 2020 abzuklären, ob es Stahlbauteile bzw. Stahlkonstruktionen gibt, die für die Tragsicherheit im Brandfall relevant sind. Gegebenenfalls muss auch für solche Bauteile die Erfüllung der Normanforderungen der aktuellen Normen des SIA nachgewiesen werden.

Forderung 4.3-1

Das KKL hat in einem Konzept bis zum 15. Dezember 2019 aufzuzeigen, wie die Anforderungen der SVTI-Festlegung NE-14 für die Revisionsschieber YB71/72S004 des Speisewassersystems umgesetzt werden können. Dabei sind die Betriebserfahrungen an vergleichbaren Armaturen sowie Aspekte der Alterungsüberwachung zu berücksichtigen.

Forderung 4.4-1

Das KKL hat zu prüfen, ob das System XK zur gefilterten Druckentlastung des Containments einen Rückhaltefaktor von 10 für organisches Iod aufweist. Die Ergebnisse sind in einem Bericht darzulegen, der dem ENSI bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen ist.

Forderung 4.4-2

Das KKL hat nach der Umsetzung der Querverbindung UV21-UF bis zum 15. Dezember 2019 das überarbeitete Instandhaltungskonzept dem ENSI einzureichen.

Forderung 4.5-1

Die Auslegungsvorgaben für die Autarkiezeiten (Überbrückungszeiten) der Batterien der sicherheitsrelevanten und der für das Accident-Management benötigten elektrischen Verbraucher sind auf Grundlage der nach den Ereignissen in Fukushima in der Schweiz dokumentierten Angaben (mindestens 4 h) zu überprüfen. Die Ergebnisse sind in einem Bericht darzulegen und dem ENSI bis zum 15. Dezember 2019 einzureichen.

Forderung 4.5-2

Bis zum 30. Juni 2020 sind die sicherheitsrelevanten leittechnischen Ausrüstungen bezüglich ihrer Betriebsdauer und Alterung, unter Einbezug der sicherheitstechnischen Klassierung, vertiefter zu betrachten. Aus den Erkenntnissen der Untersuchungen sind Prioritäten und Grobtermine für gezielte Modernisierungsprojekte abzuleiten.

Forderung 4.6-1

Der Wegfall der periodischen Prüfungen/Messungen der divisionszugeordneten zentralen Erdungspunkte ist vom KKL bis zum 15. März 2020 umfassend zu bewerten. Das KKL hat dazu eine Stellungnahme und ggf. eine Terminplanung für die Fortführung der Prüfungen einzureichen.

Forderung 4.6-2

- a) Zur Ertüchtigung des Tragwerks des 115-t-/5-t-Polarkrans sind dem ENSI Konzepte für Normalbetrieb und Erdbebenbelastung (Sicherheitserdbeben) bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.
- b) Zur Ertüchtigung des Tragwerks des 130-t-Brennelementlagerkrans sind dem ENSI Konzepte für Normalbetrieb und Erdbebenbelastung (Sicherheitserdbeben) bis zum 15. Dezember 2020 einzureichen.

Forderung 6.1-1

Das KKL hat den Sicherheitsbericht bis zum 15. Dezember 2022 systematisch auf Aktualität der Sicherheitsanalysen zu prüfen, diese einheitlich zu dokumentieren sowie ggf. den Sicherheitsbericht zu aktualisieren. Dabei sind der aktuelle Stand der Anlage hinsichtlich der Fahrweise und Systemauslegung und die Vorgaben der Richtlinie ENSI-G09 zu berücksichtigen. Insbesondere ist auch die Vorgabe der Richtlinie ENSI-A01 zu berücksichtigen, dass Sicherheitsanalysen bis zum Erreichen eines sicheren stabilen Anlagenzustandes zu erfolgen haben.

Forderung 6.1-2

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Störfall „Absturz schwerer Lasten“ um weitere Szenarien, welche das Versagen verschiedener Hebezeuge in den sicherheitsrelevanten Gebäuden berücksichtigen, zu ergänzen, entsprechend der zu erwartenden Absturzhäufigkeit zu kategorisieren und die Auswirkungen zu analysieren.

Forderung 6.1-3

Das KKL hat für alle auslösenden Ereignisse gemäss Störfallliste, welche der Störfallkategorie 1 zugeordnet sind, systematisch zur Einhaltung der Anforderungen der Gefährdungsannahmen-Verordnung bis zum 15. Dezember 2019 aufzuzeigen, dass keine Überdruckschutzeinrichtungen für die Störfallbeherrschung benötigt werden.

Forderung 6.1-4

- a) Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 verschiedene Szenarien zur Nachwärmeabfuhr unter Berücksichtigung der Vorgaben der Richtlinie ENSI-A01 (insbesondere auch hinsichtlich des wirksamsten Einzelfehlers) zu definieren und so zu analysieren, dass die betrachteten Szenarien für das langfristige Anlagenverhalten abdeckend sind.
- b) Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den abdeckenden Fall der Gruppe der auslösenden Ereignisse „Abnahme des Kühlmitteldurchsatzes im Reaktor“ ohne Berücksichtigung des ersten SCRAM-Signals quantitativ zu untersuchen.
- c) Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 das unerwartete Öffnen eines Sicherheits-/Entlastungsventils ohne Berücksichtigung des SCRAM-Signals „Temperatur-Hoch“ in der Druckabbaukammer und unter Berücksichtigung des 30-Minuten-Kriteriums quantitativ zu untersuchen.

Für die Erfüllung der Forderung sind die entsprechenden Ausführungen im Kap. 6.2.1 der Stellungnahme zur KKL PSÜ 2016 zu berücksichtigen.

Forderung 6.1-5

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2020 systematisch für alle Betriebsarten ausser dem Leistungsbetrieb zu prüfen, ob die auslösenden Ereignisse in diesen Betriebsarten durch die vorhandenen Analysen abgedeckt sind. Andernfalls sind entsprechende Sicherheitsanalysen bis zum 15. Dezember 2022 durchzuführen.

Forderung 6.1-6

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Einfluss der zulässigen Absenkung der Speisewassertemperatur gemäss „Technischen Spezifikationen“ für das Störfallspektrum zu bewerten und die Einhaltung der entsprechenden technischen Nachweisziele aufzuzeigen.

Forderung 6.1-7

- a) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 den Kühlmittelverluststörfall, den Frischdampf- und den Speisewasserleitungsbruch in kleinere, mittlere und grosse Lecks entsprechend deren Eintrittshäufigkeiten in Störfallkategorien einzuteilen und in die Störfallliste aufzunehmen. Die Einhaltung der entsprechenden technischen Nachweiskriterien ist anhand aktueller Störfallanalysen zu belegen. Dabei sind die entsprechenden Hinweise des ENSI aus Kap. 6.2.2.1, 6.2.2.2 und 6.2.2.4 der Stellungnahme zur KKL PSÜ 2016 zu berücksichtigen.*
- b) *Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2022 auf Basis der Betriebserfahrung die Anzahl Operateurhandlungen am Abgassystem zu bestimmen und bei der Berechnung der Eintrittshäufigkeit des Störfalls „Radioactive Gas Waste Failure – Operator Error“ zu berücksichtigen. Ferner ist bei der Bestimmung der Eintrittshäufigkeit der Fall zu berücksichtigen, dass der Einstieg in Vorschriften fehlerhaft gefordert wird, z. B. durch Fehlanzeigen oder Alarmer, die zu einem Öffnen des Bypasses führen.*

Forderung 6.1-8

Das KKL hat dem ENSI bis zum 15. Dezember 2019 detailliert und prüfbar die verwendeten Methoden von BISON für Störfallanalysen darzulegen. Ferner ist aufzuzeigen, dass die verwendeten Methoden in BISON im Vergleich mit anderen aktuell verwendeten Berechnungsprogrammen noch dem Stand der Technik entsprechen. Andernfalls ist ein Freigabeantrag für ein dem Stand der Technik entsprechendes Berechnungsprogramm für Störfallanalysen zu stellen.

Forderung 6.2-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2019 den Nachweis für die Störfälle „Ausfall des Frischdampfdruckreglers“, „Schliessen aller Frischdampfabschlussarmaturen“, „Steuerstabfahrfehler“ und „Langsamen Öffnen der Umwälzregelventile“, welche für den Nachweis der Hüllrohrintegrität ein Hüllrohrtemperatur-Zeitkriterium verwenden, zu aktualisieren und den entsprechenden Brennstabintegritätsnachweis anhand der Brennstoff- und Hüllrohreigenschaften aufzuzeigen.

Forderung 6.2-2

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2020 für den Störfall „Überspeisung des Reaktordruckbehälters“ folgende Aspekte zu untersuchen:

- a) *Die Eintrittshäufigkeit des auslösenden Ereignisses ist zu überprüfen. Dabei sind mindestens die Szenarien „Überspeisung mit dem Hochdruckkernsprühsystem bei Anforderung und Fehler am Regelventil“ sowie „Störungen des Speisewassersystems durch Blitzschlag“ zu ergänzen. Weiterhin ist unter Berücksichtigung der Bst. b) und c) die Einhaltung der entsprechenden technischen Kriterien aufzuzeigen.*
- b) *Das Schliessverhalten der MSIV bei Beaufschlagung mit Wasser ist zu untersuchen und sicherheitstechnisch zu bewerten.*
- c) *Die Integrität und Funktionalität der SRV bei Beaufschlagung mit Wasser ist zu untersuchen und sicherheitstechnisch zu bewerten.*
- d) *Es sind verfahrenstechnische Verbesserungen des Beherrschungskonzepts für den Störfall „Überspeisung des Reaktordruckbehälters“ unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Bst. b) und c) darzulegen. Der Sicherheitsgewinn der identifizierten verfahrenstechnischen Verbesserungen ist zu bewerten.*

Forderung 6.2-3

- a) *Das KKL hat ein deterministisches Störfallspektrum anlageninterner Überflutungen bis zu einer Eintrittshäufigkeit von 10^{-6} pro Jahr kompatibel zu den in der PSA ausgewiesenen Eintrittshäufigkeiten interner Überflutungen bis zum 15. Dezember 2021 zu bestimmen. Zusätzlich zu den PSA-Komponenten sind*

dabei auch solche Komponenten zu betrachten, die radioaktive Stoffe in einer nicht vernachlässigbaren Menge enthalten oder enthalten können und potentiell durch die interne Überflutung beschädigt werden können. Falls keine detaillierten Berechnungen zur internen Überflutung durchgeführt werden, sind die in den betroffenen Anlagenräumen vorhandenen Komponenten in der Analyse als ausgefallen anzunehmen. Die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 sind zu erfüllen.

- b) Das KKL hat ein deterministisches Störfallspektrum anlageninterner Brände bis zu einer Eintrittshäufigkeit von 10^{-6} pro Jahr kompatibel zu den in der PSA ausgewiesenen Eintrittshäufigkeiten interner Brände bis zum 15. Dezember 2021 zu bestimmen. Zusätzlich zu den PSA-Komponenten sind dabei auch solche Komponenten zu betrachten, die radioaktive Stoffe in einer nicht vernachlässigbaren Menge enthalten oder enthalten können und potentiell durch den anlageninternen Brand beschädigt werden können. Weiterhin sind die möglichen Brandlasten und Zündquellen sowie der mögliche Brandverlauf auszuweisen. Falls keine detaillierte Brandausbreitungsrechnung geführt wird, sind die im Brandabschnitt vorhandenen Komponenten und Kabel in der Analyse als ausgefallen anzunehmen. Die Anforderungen der Richtlinie ENSI-A01 sind zu berücksichtigen.

Forderung 6.3-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2021:

- a) die im Inputdatenbericht verwendete Edelgasproduktionsrate nach US NRC Regulatory Guide 1.98 hinsichtlich der zwischenzeitlich erfolgten Leistungserhöhungen für die Verwendung in künftigen radiologischen Analysen) zu skalieren;
- b) die radiologische Analyse für den Störfall „Versagen des Abgassystems (Integritätsverlust einer Komponente des Abgassystems)“ entsprechend den Befunden in Kap. 6.3.5.8 der vorliegenden Stellungnahme zu überarbeiten und genauer zu dokumentieren sowie das Inventar radioaktiver Stoffe im Abgassystem, insbesondere des ersten Aktivkohlefilters, auf nachvollziehbare Berechnungen und Referenzen abzustützen;
- c) die Dokumentation der radiologischen Analyse für den Störfall „Versagen des Abwassersammelbehälters für flüssige radioaktive Abfälle“ zu ergänzen, indem die Angaben zum Aktivitätsinventar im Abwassersammelbehälter und zur veranschlagten Abgabedauer nach Richtlinie ENSI-A08, Kap. 4.2 und 4.2.3 derart vervollständigt werden, dass die Nachvollziehbarkeit gewährleistet ist;
- d) das Aktivitätsinventar im Verdampfer (Aufkonzentrierfaktor 20 h und 24 h Zerfallszeit) und dessen abdeckenden Charakter für den Störfall „Versagen des Verdampfers für flüssige radioaktive Abfälle“ genauer zu begründen.

Forderung 6.3-2

Die radiologische Analyse für den Störfall „Closure of all MSIVs“ ist aufbauend auf der neuen technischen Analyse gemäss Forderung 6.1-4 a) der vorliegenden Stellungnahme bis zum 15. Dezember 2022 neu zu erstellen. Dabei sind die genannten nicht konservativen Vereinfachungen zu korrigieren. Bei Berücksichtigung einer Impulsüberhöhung ist diese nachvollziehbar zu begründen und zu rechtfertigen.

Forderung 6.3-3

Die Analyse der radiologischen Auswirkungen des Kühlmittelverluststörfalls (Auslegungsstörfall, grosses Leck) innerhalb des Drywells ist vom KKL bis zum 15. Dezember 2022 in folgendem Punkt zu überarbeiten:

Die Anfangsbedingungen für die sogenannte Phase 2 nach 8 h sind für den SCBL-Pfad derart zu setzen, dass der Aktivitätseintrag aus den ersten 8 h in den Kondensator berücksichtigt wird.

Forderung 6.3-4

Die radiologische Analyse für den Störfall „Brennelement-Handhabungsstörfall im Brennelementlagergebäude“ ist unter Berücksichtigung einer vollständigen Umwandlung des Cäsiumiodids im Beckenwasser und der betrieblichen Ablufführung am Brennelementlagerbecken bis zum 15. Dezember 2020 neu zu erstellen.

Forderung 6.3-5

Die radiologische Analyse zum Störfall „Bruch einer Speisewasserleitung ausserhalb Containment“ ist aufbauend auf der neuen technischen Analyse gemäss Forderung 6.1-7 a der vorliegenden Stellungnahme bis zum 15. Dezember 2022 zu überarbeiten.

Forderung 6.3-6

Die radiologische Analyse für den Störfall „Versagen des Abgassystems (fehlerhafte Operateurhandlung)“ ist unter Berücksichtigung des Anlagenverhaltens bis zum 15. Dezember 2022 neu zu erstellen.

Forderung 6.4-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2021 die in der Gefährdungsannahmen-Verordnung und der Richtlinie ENSI-A01 genannten auslösenden Ereignisse für die auf dem Anlagenareal vorhandenen Lager und das Aufbereitungsgebäude, soweit die Ereignisse auf diese übertragbar sind, zu untersuchen. Für die auslösenden Ereignisse sind die Eintrittshäufigkeiten zu bestimmen und die Einhaltung der entsprechenden Nachweisziele aufzuzeigen.

Forderung 6.4-2

Die Analyse für den Störfall „Unfallbedingter Flugzeugabsturz auf das KKL-Zwischenlager“ ist unter Berücksichtigung nachfolgender Punkte bis zum 15. Dezember 2022 zu überarbeiten:

- a) Für die Extrapolation der mechanisch bedingten Freisetzungsteile müssen die massenspezifischen Energieeinträge herangezogen werden.
- b) Die mechanisch bedingten Freisetzungsteile aus der Transportstudie Konrad müssen mittels Skalierung auf die Massen und Volumina der zu untersuchenden Gebinde umgerechnet werden.

Forderung 7.9-1

Bis zum 16. Dezember 2022 sind sämtliche in der Aktionsliste zur KKL PSA 2016 aufgeführten Verbesserungspunkte umzusetzen und das PSA-Modell inklusive zugehöriger Dokumentation dem ENSI einzureichen. Ferner ist zu jedem in der Aktionsliste festgehaltenen Verbesserungspunkt darzulegen, wie dieser im neuen Modell beziehungsweise in der neuen Dokumentation umgesetzt wurde.

Forderung 8.1-1

Das KKL hat dem ENSI bis zum 30. Juni 2020 in einem Bericht die Vorgehensweise bei sicherheitsrelevanten Entscheidungen im Falle abweichender Meinungen bzw. bei Konflikten zwischen Unternehmens- und Kraftwerksleiter darzulegen. Dabei ist insbesondere auszuführen, wie sichergestellt wird, dass das Abhängigkeitsverhältnis von Unternehmens- und Kraftwerksleitung keinen ungünstigen Einfluss auf die Sicherheit hat (vgl. Richtlinie ENSI-G07). Im Bericht ist der Prozess der Entscheidungsfindung (Informationssammlung, -bewertung etc.) detailliert darzulegen und – soweit möglich – anhand von Beispielen zu illustrieren. Ebenso muss aus dem Bericht ersichtlich sein, wie bei der Entscheidungsfindung gewährleistet wird, dass die Selbstverpflichtung des KKL (vgl. Nukleare Sicherheits-Charta) umgesetzt wird.

Forderung 9.4-1

Bis zum 15. Dezember 2019 sind sämtliche in der Aktionsliste zur KKL PSA 2016 festgehaltenen Verbesserungspunkte bezüglich SAMG umzusetzen und ihre Umsetzung zu dokumentieren.

Forderung 9.5-1

Das KKL hat bis zum 15. Dezember 2019 darzulegen, inwiefern mit dem Messbereich der übertragenen Füllstandmessung in der Kondensationskammer alle relevanten Füllstände dargestellt werden können. Gegebenenfalls ist dem ENSI spätestens ab dem 15. März 2021 eine umfassendere Weitbereichsmessung des Füllstands in der Kondensationskammer des Containments zu übertragen.

Anhang 1: Abkürzungen und Akronyme

ADS	Automatic Depressurization System
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
Al-Elko	Aluminium-Elektrolytkondensator
AM	Accident Management
ANIS	Anlageninformationssystem
ANO	Arbeitsgruppe Notfallorganisation
ANPA	Anlageparameter-System
AOO	Anticipated Operational Occurrences
AREVA	AREVA GmbH
ART	Adjusted Reference Temperature
ASA	Alarm-Störfallanweisungen
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATWS	Anticipated Transient Without Scram
AÜP	Alterungsüberwachungsprogramm
AÜP-E	Alterungsüberwachungsprogramm im Bereich Elektrotechnik
AWE	Aktivwerkstatt
AWE	Aktivwerkstatt
Axpo	Axpo Power AG (vormals NOK)
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BELT	Betriebsleittechnik
BFI	Betriebsfunk Innen
BPVC	Boiler & Pressure Vessel Code
BWROG	Boiling Water Reactor Owners Group
CCF	Common Cause Failure
CDF	Core Damage Frequency
CIS	Chemieinformationssystem des KKL
CODAP	Component Operational Experience, Degradation and Ageing Programme
CPR	Critical Power Ratio
CPR	Cardio Pulmonary Resuscitation
CRDA	Control Rod Drop Accident
CRUD	Ablagerung von Partikeln und Ionen auf der Brennstaboberfläche
CRWE	Control Rod Withdrawal Error
DAK	Druckabbaukammer
DIS	Direct Ion Storage
DZO	Depleted Zinc Oxide
ECP	Elektrochemisches Potential
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
EOFP	End of Full Power

EPD	Elektronisches Personen-Dosimeter
EPRI	Electric Power Research Institut
EQDB	Environmental Qualification Data Bank
ERKO	Projekt Ersatz bzw. Umbau im Bereich des Hauptkondensators
EROSKO	Wanddickenmessprogramm Erosion/Korrosion
ERSIM	Projekt Erhöhung der Sicherheitsmargen
EXAR	Projekt Gefahrengrundlagen für Extremhochwasser an Aare und Rhein
FCVS	Filtered Containment Venting System
FDF	Fuel Damage Frequency
FHB	Fuel Handling Building
FLI	Failure Likelihood Index
FME	Foreign Material Exclusion
FV	Fussel-Vesely (-Importanz)
FwG	Feuerwehrgesetz
FwV	Verordnung zum Feuerwehrgesetz
GE	General Electric
GEH	General Electric Hitachi Nuclear Energy
GSKL	Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter
HAZ	Hilfsalarmzentrale
HCLPF	High Confidence of Low Probability of Failure
HEP	Human Error Probability
HEPA-Filter	High Efficiency Particulate Air Filter
HKR	Hauptkommandoraum
HKW	Hauptkühlwasser
HPCS	High Pressure Core Spray System
HRA	Human Reliability Analysis
HWC/OLNC	Hydrogen Water Chemistry/On-Line NobleChem®(-Einspeisung)
IAEA	International Atomic Energy Agency
IBIS	Integriertes Betriebs- und Informations-System
IFTS	Inclined Fuel Transfer System
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale
IRM	Intermediate Range Monitoring
ISOE	Information System on Occupational Exposure
JHR	Jahreshauptrevision
KEG	Kernenergiegesetz
KEV	Kernenergieverordnung
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKL AG	Kernkraftwerk Leibstadt AG (vormals NOK)
KPDS	Key Plant Damage States
KRA	Kondensatreinigungsanlage

LEAP	Life Expectancy Analyses Program
LERF	Large Early Release Frequency
LIRA-Methode	Line Resonance Analysis Method
LOCA	Loss of Coolant Accident
LOOP	Loss of Offsite Power
LPCI	Low Pressure Core Injection
LPCS	Low Pressure Core Spray (System)
MADUK	Messnetz zur automatischen Erfassung der Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke
MCPR	Minimum Critical Power Ratio
MSIV	Main Steam Line Isolation Valves
MTO	Mensch, Technik, Organisation
NAMOD	Projekt Modernisierung von Nebenanlagen
NEX	Projekt Ersatz der Strahlenschutzinstrumentierung
NFO	Notfallorganisation
NORA	Noble Metal Deposition Behavior in Boiling Water Reactors (Project)
NRC	Nuclear Regulatory Commission
NS	Niederspannung
NSOA	Nuclear Safety Operational Analysis
NSS	Notsteuerstellen
NWC	Normal Water Chemistry
OBE	Operating Basis Earthquake
ODL	Ortsdosisleistung
ODM	Operational Decision Making
OECD NEA	Organization for Economic Cooperation and Development, Nuclear Energy Agency
OLMCPR	Operational Limit of Minimum Critical Power Ratio
PDI	Performance Demonstration Initiative
PDS	Plant Damage State
PEAK	Projekt zur Entsorgung von ausgebauten Kernkomponenten
PGA	Peak Ground Acceleration
POS	Plant Operating State
PRNMS	Power Range Neutron Monitor System
PRP	PEGASOS Refinement Project
PRP-IH	PEGASOS Refinement Project Intermediate Hazard
PSA	Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSI	Paul Scherrer Institut
PSÜ	Periodische Sicherheitsüberprüfung
QSt	Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz
RABE	Rasche Alarmierung der Bevölkerung

RACS	Rod Activity Control System
RAW	Risk Achievement Worth
RC&IS	Rod Control & Information System (Steuerstab-Fahr- und Anzeigesystem)
RCIC	Reactor Core Isolation Cooling
RDB	Reaktordruckbehälter
RHR	Residual Heat Removal
RPIS	Rod Position Information System
RSD	Remote Shut Down (Room)
SAMG	Severe Accident Management Guidance
SBO	Station Blackout
SEHR	Special Emergency and Heat Removal
SGTS	Standby Gas Treatment System
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SILT	Sicherheitsleittechnik
SIR	Seismic Interface Restraint
SLERF	Stillstands-LERF
SLMCPR	Safety Limit of Minimum Critical Power Ratio
SMIS	Schutz von Mensch und Umwelt vor ionisierender Strahlung
SPDS	Safety Parameter Display System
SRI	Select Rod Insertion
SRM	Source Range Monitoring
SRV	Safety Relief Valves
SSE	Safe Shutdown Earthquake
SSK	Strukturen, Systeme und Komponenten
STAR-Prinzip	Stop–Think–Act–Review (Principle)
SÜA	Schutzzielübersichtsanzeige
Suva	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt
SVTI	Schweizerischer Verein für technische Inspektionen
T/L-Behälter	Transport- und Lagerbehälter
TEBRA	Projekt technische Erneuerung Brandschutz für die Notsteuerstellen und die SEHR-Steuerstellen
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction
TIP	Transversing Incore Probe
T-LOOP	Total Loss of Offsite Power
TOC	Total Organic Carbon
TQM	Total Quality Management
TS	Technischen Spezifikationen
TSBO	Total Station Blackout
TSC	Technical Support Center
TSL	Technische Spezifikationen Leibstadt

TÜV	Technischer Überwachungsverein
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VKF	Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen
WANO	World Association of Nuclear Operators
Westinghouse	Westinghouse Electric Sweden AB
WRNMS	Wide Range Neutron Monitoring System
YUMOD	Projekt Sanierung und Optimierung des Reaktorumwälzsystems
ZENT	Projekt Zwischenlager und Entsorgung, Bau der Aktivlagerhalle ZL6
ZEP	Zentrale Erdungspunkte
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfungen
Zwilag	Zwischenlager Würenlingen AG

Anhang 2: Referenzen

PSÜ/4	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0004, „Strahlenschutz“
PSÜ/5	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0005, „Wasserchemie“
PSÜ/6	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0006, „Umgebungsüberwachung“
PSÜ/7	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0007, „Radioaktive Abfälle, abgebrannte Brennelemente und Transporte“
PSÜ/8	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0008, „Reaktorkern, Brenn- und Steuerelemente“
PSÜ/9	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0009, „Brandschutz“
PSÜ/10	KKL, Bericht PSÜ/0010, „Deterministische Sicherheitsanalyse“
PSÜ/11	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0011, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – RDB Reaktor-druckbehälter und Einbauten (YC)“
PSÜ/12	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0012, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Systembewertung RCIC Kernisolations-Kühlsystem (TM)“
PSÜ/13	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0013, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – SLCS Vergiftungssystem (TW)“
PSÜ/14	KKL, Bericht PSÜ/0014, „Probabilistische Sicherheitsanalyse“
PSÜ/15	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0015, „Vorkommnisse“
PSÜ/17	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0017, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Nach- und Notkühlsystem und Niederdruck-Kernflutsystem (TH)“
PSÜ/18	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0018, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Hochdruckkernsprühsystem (TJ)“
PSÜ/19	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0019, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Brennelementbeckenkühlung (TG)“
PSÜ/20	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0020, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Reaktorwasserreinigungssystem (TC)“
PSÜ/21	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0021, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Niederdruckkernsprühsystem (TK)“
PSÜ/22	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0022, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstandssystem (TF)“
PSÜ/23	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0023, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Nukleares Zwischenkühlsystem (VG)“
PSÜ/24	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0024, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – CRD Steuerstabantriebs-System (YV02-69)“
PSÜ/25	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0025, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Umwälzsystem (YU)“
PSÜ/26	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0026, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Steuerluftsystem RGH (UE70-72)“
PSÜ/27	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0027, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Wasserstoff-Rekombinationssystem (XP)“
PSÜ/28	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0028, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Krane (UQ, XW)“

PSÜ/30	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0030, „Übergeordnetes Auslegungskonzept“
PSÜ/31	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0031, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdieselsysteme A (BN, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ)“
PSÜ/32	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0032, „Alterungsüberwachung sicherheitstechnisch klassierter Ausrüstungen und technologische Alterungsüberwachung“
PSÜ/33	KKL, Bericht PSÜ/0033, „Langzeitbetrieb“
PSÜ/34	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0034, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Blow-Out-Panels, Deckel und Schleusen“
PSÜ/36	KKL, Bericht PSÜ/0036, „Allgemeine Anforderungen“
PSÜ/37	KKL, Bericht PSÜ/0037, „Organisation des Kraftwerks“
PSÜ/38	KKL, Bericht PSÜ/0038, „Organisation des Bewilligungsinhabers“
PSÜ/40	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0040, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdieselsystem HPCS (BN, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ)“
PSÜ/41	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0041, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdieselsystem SEHR-A (BN, BP, BQ, BR, BS, BU, BV, BX, BY, BZ)“
PSÜ/42	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0042, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdieselsystem SEHR-B (BN, BP, BQ, BR, BS, BU, BV, BX, BY, BZ)“
PSÜ/43	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0043, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Lüftungsanlagen Notstromdieselgebäude (UZ34–41)“
PSÜ/44	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0044, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notkühlwassersystem (VE)“
PSÜ/45	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0045, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Brennelementwechseleinrichtung (PL)“
PSÜ/46	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0046, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Nebenkondensat (RR70–79)“
PSÜ/47	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0047, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Frischdampf-System bis SIR-Wand (YB, RA)“
PSÜ/48	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0048, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Speisewassersystem ab SIR-Wand (YB, RL)“
PSÜ/49	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0049, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Primär-/Sekundär Containment inkl. Durchdringungen (XA, XE, XF, XG)“
PSÜ/50	KKL, Bericht PSÜ/0050, „Notfallabläufe“
PSÜ/51	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0051, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Eigenbedarf und Notstromversorgung (A–D)“
PSÜ/52	KKL, Bericht PSÜ/0052, „Notfalldokumentation“
PSÜ/53	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0053, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Radwaste-Systeme (RQ90–99, TQ, TR, TT, TU51, TU60-71, TX30-51, UD80)“
PSÜ/54	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0054, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Brennelement Transportsystem (PX)“
PSÜ/55	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0055, „Stand der Forderungen aus PSÜ 2006“
PSÜ/56	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0056, „Betriebserfahrung“

PSÜ/57	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0057, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Lüftungstechnische Anlage Primärteil (TL)“
PSÜ/61	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0061, „Standort“
PSÜ/63	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0063, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – H2-Zündsystem (XX)“
PSÜ/64	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0064, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Blitzschutz (ML)“
PSÜ/65	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0065, „Auslegung der Gebäude“
PSÜ/66	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0066, „Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Bautechnik“
PSÜ/67	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0067, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Reaktorgebäude ZA“
PSÜ/68	KKL, Bericht PSÜ/0068, „Notfallvorsorge und Notfallbereitschaft“
PSÜ/69	KKL, Bericht PSÜ/0069, „Notfallorganisation, Notfallausbildung und Notfallübungen“
PSÜ/71	KKL, Bericht PSÜ/0071, „Technische Ausrüstungen“
PSÜ/72	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0072, „Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Elektrotechnik“
PSÜ/73	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0073, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Blocktrafo, Generator und Hilfssysteme (AC, AT, AP, AR, SP, SS, ST, SU)“
PSÜ/74	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0074, „Betriebserfahrung in vergleichbaren Anlagen, Verfolgen von Wissenschaft und Technik“
PSÜ/75	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0075, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Seismische Instrumentierung (MS)“
PSÜ/76	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0076, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Sicherheitsrelevante Leittechnik und Leitstellen“
PSÜ/78	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0078, „Bewertung der Auslegungsvorgaben von Strukturen, Systemen und Komponenten (SSK), Fachrichtung Maschinentechnik“
PSÜ/79	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0079, „Leitbericht Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Systeme und Komponenten“
PSÜ/80	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0080, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdieselsysteme B (BN, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ)“
PSÜ/81	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0081, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Reaktorhilfsanlagegebäude ZC1“
PSÜ/82	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0082, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Brennelementlagergebäude ZD1“
PSÜ/83	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0083, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Kaltkondensatbehälter-Gebäude ZW1“
PSÜ/84	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0084, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstromdiesel- und Notkühlwasseranlagen A, B, HPCS (C), Gebäude ZK1/ZM4, ZK2/ZM5, ZK3/ZM6“
PSÜ/85	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0085, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notstandsbunker (SEHR) ZC2 und neuer SEHR-Brunnen A ZC3“

PSÜ/86	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0086, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Zwischenlager für radioaktive Rückstände ZT“
PSÜ/87	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0087, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Aufbereitungsgebäude ZB1“
PSÜ/88	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0088, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Abgasfiltergebäude ZB2“
PSÜ/89	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0089, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Abluftkamin ZQ“
PSÜ/90	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0090, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Rohrleitungs- und Kabelkanäle ZV1/ZV2“
PSÜ/91	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0091, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Betriebsgebäude ZE1 und -Anbau ZE2“
PSÜ/92	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0092, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Maschinenhaus ZF“
PSÜ/93	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0093, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Dekontaminationsgebäude ZD2“
PSÜ/94	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0094, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Aktivwerkstatt (AWE) ZD3“
PSÜ/95	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0095, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Nebenkühlwasseranlage ZM2“
PSÜ/96	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0096, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Frischdampf-System ab SIR-Wand (RA)“
PSÜ/97	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0097, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Speisewassersystem bis SIR-Wand (RL)“
PSÜ/98	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0098, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Zwischenkühlwassersystem Sekundärseite (VH)“
PSÜ/99	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0099, „Nebenkondensatsystem (RR-RR69)“
PSÜ/100	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0100, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Hauptkondensatsystem (RM)“
PSÜ/101	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0101, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Steuerluftsystem (UE-UE69)“
PSÜ/102	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0102, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Abgassystem (TS)“
PSÜ/103	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0103, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Kondensatreinigungsanlage (UB)“
PSÜ/105	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0105, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Gefilterte Containment-Druckentlastung (XK)“
PSÜ/106	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0106, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Notabluftsystem (XL)“
PSÜ/107	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0107, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Turbinenbypasssystem (SF)“
PSÜ/108	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0108, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Turbinen-Regelschutzsystem (SE)“

PSÜ/110	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0110, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Kälteanlagen Kontrollierte Zone (UF-UF29)“
PSÜ/111	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0111, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Lüftungsanlagen HKR, NSS, Betriebsgebäude und ZE-Elektorräume (UV10–UV42)“
PSÜ/113	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0113, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Steuerstab Fahr- und Anzeigesystem RC&IS (YV90)“
PSÜ/114	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0114, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Raumstrahlungsüberwachung (XQ)“
PSÜ/115	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0115, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Containment Aerosol-, Edelgasüberwachung (XR20)“
PSÜ/116	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0116, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Containment-Raumluftüberwachung (XU)“
PSÜ/117	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0117, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Prozessstrahlungsüberwachung (XT)“
PSÜ/120	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0120, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Post Accident Sampling System (TV90)“
PSÜ/121	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0121, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Neutronenflussmessung (YX)“
PSÜ/126	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0126, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Sichere Schienen, Batterien, zugehörige Verteilanlagen (EM-EY, FM-FZ)“
PSÜ/127	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0127, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Turbotrol-System (MQ)“
PSÜ/128	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0128, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Speisewasserregelung (YR)“
PSÜ/129	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0129, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Leckage-Überwachung Nuklear-Teil (XN-XN93)“
PSÜ/130	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0130, „Schutzzielübersichtsanzeige (SÜA)“
PSÜ/132	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0132, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK: Reaktorschutzsystem RPS (YZ)“
PSÜ/133	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0133, „Stand der verfügbaren Forderungen im Überprüfungszeitraum der PSÜ 2016“
PSÜ/135	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0135, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – 50kV – Innenraumschaltanlage ZX“
PSÜ/136	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0136, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Nebenkühlwassersystem (VF)“
PSÜ/137	KKL, Technischer Bericht PSÜ/0137, „Betriebserfahrung und Zustand der SSK – Spaltprodukte-Leckageüberwachung im Drywell (XN95)“
PSÜ/141	KKL, Bericht PSÜ/0141, „Zusammenfassende Bewertung aller Sicherheitsgebiete und Sicherheitsthemen“
BET/02/132	KKL, Technischer Bericht BET/02/132, „KKL 3600 MW Source Term Calculations with Origen2“
BET/05/101	KKL, Technischer Bericht BET/05/0101, „Klassierung von Auslegungsstörfällen“
BET/05/182	KKL, Technischer Bericht BET/05/0182, „Input Parameters for radiological accident analysis“

BET/07/78	KKL, Technischer Bericht BET/07/0078, „KKL Specific Requirements, Boundary Conditions and Analysis Input Parameters for Licensing Analysis“
BET/11/89	KKL, Technischer Bericht BET/11/0089, „Neubewertung der Sicherheit des KKL zum EU-Stress-test“
BET/12/96	KKL, Technischer Bericht BET/12/0096, „Radiologische Störfallanalysen für Auslegungsstörfälle“
BET/14/5	KKL, Technischer Bericht BET/14/0005, „Fukushima-Aktionsplan: Extreme Wetterbedingungen am Standort Leibstadt“
BET/15/257	KKL, Technischer Bericht BET/15/0257, „Schadstoffeintrag in Grundwasser und Fließgewässer bei auslegungsüberschreitenden Störfällen“ vom 30. November 2015
BET/17/340	KKL, Technischer Bericht BET/17/0340, „ENSI-Nachforderungen zur PSÜ-2016: Nachforderung 3.5-1, Weitere Angaben zur Wasserchemie“
BET/17/421	KKL, Technischer Bericht BET/17/0421, „Stellungnahme PSÜ2016 ENSI12/2380 Nachforderung 4.6.1, Weitere Angaben zu Hebezeugen“
BET/97/27	KKL, Technischer Bericht BET/97/027, „A List of Transients and Accidents for Leibstadt (KKL Störfall-Liste)“
SET 13-21	Westinghouse Report SET 13-021, „KKL – Westinghouse Codes Description“
SET 13-35	Westinghouse Report SET 13-035, „KKL – Westinghouse Code User Qualification“
SET 13-45	Westinghouse Report SET 13-045, „KKL – Westinghouse Analysis Procedures for the evaluation of transients in accord with ENSI-A01“
SET 13-77	Westinghouse Report SET 13-077, „KKL Validation of the plant model for BISON“
SET 13-105	Westinghouse Report SET 13-105, „KKL Plant Model for BISON for Plant Capability Analysis under A01 Conditions“
SET 13-128	Westinghouse Report SET 13-128, „KKL Transient analyses in accordance with ENSI-A01“
SET 13-170	Westinghouse Report SET 13-170, „KKL Disposition of events for the evaluation of transients in accord with ENSI-A01“
SET 14-115	Westinghouse Report SET 14-115, „KKL Disposition of fact-sheets for the evaluation of transients in accord with ENSI-A01“
GE-1985	General Electric, 22A2703AC, „Plant Requirement Data Sheet / BWR Radiation Sources (A62-4100)“, 1985
SAR-2016	KKL, „Sicherheitsbericht SAR-2016“, Band 1–18
TS	KKL, „Technische Spezifikationen Leibstadt“, TSL-1713-02
FDB28	Strahlenschutzkonzept, „Basisdokument Führung (FDB)“, FDB/0028
FDB40	„Organisatorische Abschaltkriterien“, FDB/0040
FDB43	„Konzept zur Entsorgung radioaktiver Abfälle, Basisdokument Führung (FDB)“, FDB/0043
F-wa-3	„Aufbauorganisation KKL (Organigramme und Aufgaben der Organisation)“, F_wa_03
F-ws-2	„Kraftwerksreglement“, F_ws_02
F-ws-3	„Strahlenschutzreglement“, F_ws_03
LI-13-53	„Liste der Störfallinstrumentierung“, LI/13/0053
P04-00-wl-1	„Anweisung Radiologische Schutzziele“, P04_00_wl_01
P04-01-01-wf-1	„Strahlenschutzplanung“, P04\01\01_wf_01

P04-01-wa-4	„Anweisung: Optimierung der Massnahmen“, P04_01_wa_04
P04-02-wa-1	„Anweisung: Dekontamination von Personen“, P04_02_wa_01
P04-02-wa-2	„Anweisung: Gebäudereinigung kontrollierte Zone und Schleusen“, P04_02_wa_02
P04-02-wa-5	„Anweisung: Zutritt zur kontrollierten Zone“, P04_02_wa_05
P04-02-wa-7	„Anweisung: Aus- und Weiterbildung im Strahlenschutz“, P04_02_wa_07
P04-02-wa-10	„Anweisung: Zutritt und Plakatierung zu Räumen erhöhter Dosisleistung oder Kontamination“, P04_02_wa_10
P04-02-wa-11	„Anweisung: Sicherer Umgang mit Strahlenquellen“, P04_02_wa_11
P04-03-wa-3	„Anweisung: Personenüberwachung“, P04_03_wa_03
P04-03-wa-4	„Anweisung: Anlagenüberwachung“, P04_03_wa_04
P04-03-wa-6	„Anweisung: Messtechnik zur Bestimmung von Strahlenfeldern und Kontamination an Arbeitsplätzen“, P04_03_wa_06
P04-03-wa-7	„Anweisung: Freimessung“, P04_03_wa_07
P04-03-wa-11	„Anweisung: Dichtheitsprüfung an Strahlenquellen“, P04_03_wa_11
P04-03-wa-12	„Anweisung: Einsatz von Funkdosimetern“, P04_03_wa_12
P05-09-wa-4	„Anweisung: Qualitätssicherungsverfahren für Strahlenschutzmessgeräte“, P05_09_wa_04
P04-02-ws-1	„Spezialdokument: Verfahren bei Inkorporationsverdacht“, P04_02_ws_01
RL/49	KKL-Richtlinie RL/049, „Qualitätskontrollprogramm für Chemie- und Radiochemie-Instrumentarium“
SPA170	KKL-Spezifikation SPA/170, „Spezifikation der chemischen und radiochemischen Qualitätsanforderungen von überwachten Systemen“
EXPOG14	STEAG Energy Services GmbH Programmbeschreibung, „Programmsystem EXPOG14“
PP PSÜ16	KKL, Bericht PSÜ/0033, „Projektplan und Dokumentation für die Periodische Sicherheitsüberprüfung 2016 des Kernkraftwerks Leibstadt“ vom 27. März 2015
KKL-Rev-T-2016	KKL, „Revisionsbericht Technik 2016“
KKL-2013-11-29	KKL, Brief KOR/KKL/131129/0012, „Meldung: Organisationsänderung per Januar 2014“ vom 29. November 2013
KKL-2015-03-27	KKL, Brief KOR/KKL/150327/0007, „Meldung: KKL PSÜ-2016: Einreichung des Projektplans“ vom 27. März 2015
KKL-2016-01-26	KKL, Brief KOR/KKL/160126/0003, „Folgebericht: Technischer Bericht BET/09/0408, Rev. 6, Verbacken von sicherheitstechnisch klassierten Sicherheitsventilen: Analyse und weiteres Vorgehen“ vom 26. Januar 2016
KKL-2016-12-14	KKL, Brief KOR/KKL/161214/0001, „Einreichung des aktualisierten Sicherheitsberichts (Safety Analysis Report, SAR-2016)“ vom 14. Dezember 2016
KKL-2016-12-16	KKL, Brief KOR/KKL/161216/0009, „Pendenz: Einreichung der KKL PSA 2016 (Stufe 1 und 2) im Rahmen der PSÜ 2016“ vom 16. Dezember 2016
KKL-2016-12-19	Axpo, Aktennotiz AN-093-KG16023, „KKL Periodische Sicherheitsüberprüfung 2016: Bewertung Aufbereitungsgebäude ZB1“ vom 19. Dezember 2016
KKL-2016-12-23	Axpo, Aktennotiz AN-093-KG16029, „KKL Periodische Sicherheitsüberprüfung 2016: Bewertung Reaktorgebäude ZA“ vom 23. Dezember 2016

KKL-2016-12-25	Axpo, Aktennotiz AN-093-KG16022, „KKL Periodische Sicherheitsüberprüfung 2016: Bewertung Abluftkamin ZQ“ vom 25. Dezember 2016
KKL-2017-10-9	Axpo, Bericht TB-093-KG17014, „Überprüfung von bestehenden Bauten bzgl. Brandwiderstand nach den aktuellen SIA-Tragwerksnormen“ vom 9. Oktober 2017
KKL-2017-10-30	KKL, Brief KOR/KKL/171030/0001, „Antwort: Erfüllung der Nachforderungen aus der Grobprüfung der KKL PSÜ-2016“ vom 30. Oktober 2017
KKL-2017-12-20	KKL, Brief KOR/KKL/171220/0008, „Antwort: Diversitäre Auslösungen und Ausführung von Sicherheitsfunktionen“ vom 20. Dezember 2017
KKL-2018-03-20	KKL, Brief KOR/KKL/180403/0002, „Antwort: KKL PSÜ-2016“ vom 20. März 2018
KEG	Kernenergiegesetz (KEG, SR 732.1)
StSG	Strahlenschutzgesetz (StSG, SR 814.50)
StSV	Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501)
FwG	Feuerwehrgesetz Kanton Aargau (FwG SAR 581.100)
FwV	Verordnung zum Feuerwehrgesetz Kanton Aargau (FwVSAR 581.111)
KEV	Kernenergieverordnung (KEV, SR 732.11)
ADR	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2017/17contentse0.html)
ARGV3	Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz ARGV 3, SR 822.113
DosV	Verordnung des EDI über die Personen- und Umgebungsdosimetrie (SR 814.501.42)
GSchV	Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)
NFSV	Verordnung vom 20. Oktober 2010 über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV, SR 732.33)
SDR	Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR, SR 741.621)
StMmV	Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (SR 941.210)
StSA	Verordnung des EDI über die Aus- und Fortbildungen und die erlaubten Tätigkeiten im Strahlenschutz (SR 814.501.261)
UVEK-A	Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5)
UVEK-G	Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen (SR 732.112.2)
VAPK	Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK, SR 732.143.1)
VBRK	Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen (VBRK, SR 732.13)
VBWK	Verordnung über die Betriebswachen von Kernanlagen (VBWK, SR 732.143.2)
NFK	Notfallschutzkonzept bei einem KKW-Unfall in der Schweiz, https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/40198.pdf
A01	Richtlinie ENSI-A01, „Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen“
A03	Richtlinie ENSI-A03, „Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken“
A04	Richtlinie ENSI-A04, „Gesuchunterlagen für freigabepflichtige Änderungen“
A05	Richtlinie ENSI-A05, „Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Qualität und Umfang“

A06	Richtlinie ENSI-A06: „Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen“
A08	Richtlinie ENSI-A08, „Qelltermanalyse: Umfang, Methodik und Randbedingungen“
B01	Richtlinie ENSI-B01, „Alterungsüberwachung“
B02	Richtlinie ENSI-B02, „Periodische Berichterstattung der Kernanlagen“
B03	Richtlinie ENSI-B03, „Meldungen der Kernanlagen“
B04	Richtlinie ENSI-B04, „Freimessung von Materialien und Bereichen aus kontrollierten Zonen“
B05	Richtlinie HSK-B05, „Anforderungen an die Konditionierung radioaktiver Abfälle“
B06	Richtlinie ENSI-B06, „Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Instandhaltung“
B07	Richtlinie ENSI-B07, „Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen“
B10	Richtlinie ENSI-B10, „Ausbildung, Wiederholungsschulung und Weiterbildung von Personal“
B11	Richtlinie ENSI-B11, „Notfallübungen“
B12	Richtlinie ENSI-B12, „Notfallschutz in Kernanlagen“
B13	Richtlinie ENSI-B13, „Ausbildung und Fortbildung des Strahlenschutzpersonals“
B14	Richtlinie ENSI-B14, „Instandhaltung sicherheitstechnisch klassierter elektrischer und leitetechnischer Ausrüstungen“
G01	Richtlinie ENSI-G01, „Sicherheitstechnische Klassierung für bestehende Kernkraftwerke“
G02	Richtlinie ENSI-G02, Teil 1, „Auslegungsgrundsätze für in Betrieb stehende Kernkraftwerke: Sicherheitskonzepte und Auslegungsanforderungen“
G04	Richtlinie ENSI-G04, „Auslegung und Betrieb von Lagern für radioaktive Abfälle und abgebrannte Brennelemente“
G05	Richtlinie HSK-G05, „Transport- und Lagerbehälter für die Zwischenlagerung“
G07	Richtlinie ENSI-G07, „Organisation von Kernanlagen“
G08	Richtlinie ENSI-G08, „Systematische Sicherheitsbewertungen des Betriebs von Kernanlagen“
G09	Richtlinie ENSI-G09, „Betriebsdokumentation“
G11	Richtlinie ENSI-G11, „Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Planung, Herstellung und Montage“
G13	Richtlinie ENSI-G13, „Messmittel für ionisierende Strahlung“
G14	Richtlinie ENSI-G14, „Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen“
G15	Richtlinie ENSI-G15, „Strahlenschutzziele für Kernanlagen“
G20	Richtlinie ENSI-G20, „Reaktorkern, Brennelemente und Steuerelemente: Auslegung und Betrieb“
R-7	Richtlinie HSK-R-07, „Richtlinie für den überwachten Bereich der Kernanlagen und des Paul Scherrer Instituts“
R-48	Richtlinie HSK-R-48, „Periodische Sicherheitsüberprüfung von Kernkraftwerken“ (abgelöst durch Richtlinie ENSI-A03)
R-50	Richtlinie HSK-R-50, „Sicherheitstechnische Anforderungen an den Brandschutz in Kernanlagen“
BAG-L	Bundesamt für Gesundheit, „Legionellen und Legionellose“

P91/4	PARCOM-Empfehlung 91/4 über radioaktive Ableitungen
VKF-B	VKF Brandschutzvorschriften, https://www.bsvonline.ch/de/vorschriften/
VKF-F	Brandschutzrichtlinie „Flucht- und Rettungswege“ der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen
VKF-K	Brandschutzrichtlinie „Kennzeichnung von Fluchtwegen Sicherheitsbeleuchtung Sicherheitsstromversorgung“ der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen
el-sui	electro suisse, SNR 464022, „Blitzschutzsysteme“
GSKL-B-1	GSKL-Arbeitsgruppe Bautechnik, „Alterungsüberwachungsprogramm Bautechnik AÜP, Leitfaden für Bautechnik-Steckbriefe“, GSKL-Bau-001
GSKL-B-2	GSKL-Arbeitsgruppe Bautechnik, „Konzept für Befestigungen in Betonstrukturen“, GSKL-Bau-002
GSKL-B-4	GSKL-Arbeitsgruppe Bautechnik, „Konzept für Eingriffe in Betonstrukturen“, GSKL-Bau-004
NE-14	SVTI-Festlegung NE-14, „Wiederholungsprüfungen von nuklear abnahmepflichtigen mechanischen Komponenten der Sicherheitsklassen 1 bis 4“
SIA 469	Norm SIA 469, „Erhaltung von Bauwerken“
GSR-3	IAEA Safety requirement No. GSR Part 3, “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards”
NSG-2.12	IAEA Safety Guide No. NS-G-2.12, “Ageing Management for Nuclear Power Plants”
NSG-2.15	IAEA Safety Guide No. NS-G-2.15, “Severe Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants”
SSG-3	IAEA Specific Safety Guide No. SGG-3, “Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants”
SSG-13	IAEA Specific Safety Guide No. SGG-13, “Chemistry Programme for Water Cooled Nuclear Power Plants”
SSG-18	IAEA Specific Safety Guide No. SSG-18, “Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations”
50-SG-S3	IAEA Safety Guides, Safety Series No. 50-SG-S3, “Atmospheric Dispersion in Nuclear Plant Siting”
SSR-6	IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-6, “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material”
NEA-6399	NEA-Report 6399, “Work Management to Optimise Occupational Radiological Protection at Nuclear Power Plants”
ICRP	International Commission on Radiological Protection, “Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60”
IEEE 400.2	IEEE 400.2, “IEEE Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency VLF”
EN/IEC-62305	BS EN/IEC-62305, “Lighting Protection Standard”
ISO2889	DIN ISO 2889, „Probenentnahme von luftgetragenen radioaktiven Stoffen aus Kanälen und Kaminen kerntechnischer Anlagen“
KTA1501	KTA-Regel 1501, „Ortsfestes System zur Überwachung der Ortsdosisleistungen innerhalb von Kernkraftwerken“
KTA1502	KTA-Regel 1502, „Überwachung der Radioaktivität in der Raumluft von Kernkraftwerken“

KTA1503.1	KTA-Regel 1503.1, „Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener Stoffe, Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe beim bestimmungsgemäsem Betrieb“
KTA1503.2	KTA-Regel 1503.2, „Überwachung der Ableitung gasförmiger und aerosolgebundener Stoffe, Teil 2: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe bei Störfällen“
KTA1504	KTA-Regel 1504, „Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit Wasser“
KTA2206	KTA-Regel 2206, „Auslegung von Kernkraftwerken gegen Blitzeinwirkungen“
KTA3101.1	KTA-Regel 3101.1, „Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 1: Grundsätze der thermohydraulischen Auslegung“
KTA3101.2	KTA-Regel 3101.2, „Auslegung der Reaktorkerne von Druck- und Siedewasserreaktoren; Teil 2: Neutronenphysikalische Anforderungen an Auslegung und Betrieb des Reaktorkerns und der angrenzenden Systeme“
KTA3103	KTA-Regel 3103, „Abschaltsysteme von Leichtwasserreaktoren“
VGB401J	VGB-Richtlinie R 401 J, „Richtlinie für das Wasser in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren, Teil 2: SWR-Anlagen“
GRS	Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Transportstudie Konrad 2009, „Sicherheitsanalyse zur Beförderung radioaktiver Abfälle zum Endlager Konrad“, Dezember 2009
NUREG-0696	NUREG-0696, „Functional Criteria for Emergency Response Facilities“
NUREG-0737	NUREG-0737, „Clarification of TMI Action Plan Requirements“
NUREG-0800	NUREG-0800, „Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants“
NUREG/CR-1278	NUREG/CR-1278, „Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications“
NUREG/CR-3518	NUREG/CR-3518, „An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgment“
NUREG/CR-5497	NUREG/CR-5497 Update, „CCF Parameter Estimations 2010“
NUREG/CR-6850	NUREG/CR-6850, „Fire PRA Methodology for Nuclear Power Facilities“
10CFR50.46	10CFR50.46, Appendix K, „Appendix K to Part 50 – ECCS Evaluation Models“
10CFR50.62	10CFR50.62, „§ 50.62 Requirements for reduction of risk from anticipated transients without scram (ATWS) events for light-water-cooled nuclear power plants“
RG1.98	U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.98, „Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Radioactive Offgas System Failure in a Boiling Water Reactor“
RG1.99	U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.99, „Radiation Embrittlement of Reactor Vessel Materials“
RG1.183	U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.183, „Alternative Radiological Source Terms for Evaluating Design Basis Accidents at Nuclear Power Reactors“
GL 92-4	US NRC, Generic Letter 92-04, „Resolution of the Issues Related to Reactor Vessel Water Level Instrumentation in BWRs Pursuant to 10 CFR 50.54(F)“, 1992
ISG-2010-01	DSS-ISG-2010-01, „Final division of safety systems interim staff guidance; Staff guidance regarding the nuclear criticality safety analysis for spent fuel pools“
MELCOR	Sandia National Laboratories, SAND2017-0876 O, „MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 2, Reference Manual, Version 2.2.9541“

ANS-18.1	American Nuclear Society, ANSI/ANS-18.1-1999, "Radioactive Source Term for Normal Operation of Light Water Reactors"
BPVC-III	ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section III, "Rules for Construction of Nuclear Facility Components"
BPVC-XI	ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section XI, "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components"
EPRI-159	EPRI-Bericht BWRVIP-159, "BWR Vessel and Internals Project HWC/NMCA Experience Report and NMCA Applications Guidelines"
EPRI-167	EPRI-Bericht BWRVIP-167NP, "BWR Vessel and Internals Project Boiling Water Reactor Issue Management Tables"
EPRI-190	EPRI-Bericht, BWRVIP-190, "BWR Water Chemistry Guidelines – Mandatory, Needed, and Good Practice Guidance"
TR-1013141	EPRI, "Pipe Rupture Frequencies for Internal Flooding Probabilistic Risk Assessments"
IEC-60960	IEC 60960, "Functional Design Criteria for a Safety Parameter Display System for Nuclear Power Stations"
BetrB	Betriebsbewilligung des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartements (EVED) für das Kernkraftwerk Leibstadt vom 15. Februar 1984
MetS-227	MeteoSchweiz-Bericht Nr. 227, „Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Leibstadt“
OSP	Publikationen der OSPAR Kommission (https://www.ospar.org/work-areas/rsc)
swisstopo	swisstopo, „Geocover“-Datensatz (www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geo-daten-online/geologische-daten-online.html)
GEH	General Electric Hitachi, "Realistic Assessment of Break Size in Simulated BWR Loss-of-Coolant Accidents", The 13th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-13), Japan, September 27–October 2, 2009
Bitt-2000	Bitterli, T., Graf, H.R., Matousek, F. und Wanner, M. (2000): „Erläuterungen zum geologischen Atlas der Schweiz“, Kartenblatt Zurzach (1050). Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern
SVTI-2015	SVTI, Brief A350/JUIV1/J16260, „KKW Leibstadt Revisionsabstellung 2015; Inspektionsbericht A0350-32“, Rev. 1 vom 1. Dezember 2015
HSK12/420	Gutachten HSK 12/420, „Gutachten der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen zum Gesuch des Kernkraftwerks Leibstadt um Leistungserhöhung auf 3600 MWth“ vom März 1996
HSK12/456	Aktennotiz HSK12/456, „Reglement für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des KKL“ vom Januar 1996
HSK12/1257	Aktennotiz HSK 12/1257, „Fachgespräch zur längerfristigen Personalplanung im Strahlenschutz KKL“ vom 27. Februar 2008
HSK-3674	Aktennotiz HSK-AN-3674, „HSK-Anforderungen für die Entwicklung und Einführung von SAMG“ vom November 2000
ENSI 11/2010	Transportbewilligung ENSI 11/2010, „Bewilligung Nr. 11/2010 für die Ausfuhr (Versand) und/oder Einfuhr (Empfang) sowie den Transport von radioaktiven Stoffen von und zu Kernanlagen“ vom 27. August 2010
ENSI 12/1300	Aktennotiz ENSI 12/1300, „Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Leibstadt“ vom 10. August 2009

- ENSI 12/1623 Aktennotiz ENSI 12/1623, „Stellungnahme des ENSI zu deterministischen Nachweis des KKL zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Hochwassers“ vom 31. August 2011
- ENSI 12/1714 Aktennotiz ENSI 12/1714, „Stellungnahme des ENSI zu deterministischen Nachweis des KKL zur Beherrschung des 10'000-jährlichen Erdbebens“ vom 9. Juli 2012
- ENSI 12/1792 Aktennotiz ENSI 12/1792, „Stellungnahme des ENSI zum Schutz vor Wasserstoffdeflagration und -explosion im Bereich der Brennelementlagerbecken“ vom 18. Februar 2013
- ENSI 12/2172 Inspektionsbericht ENSI 12/2172, „Abfallbehandlung und Zwischenlagerung“, vom 12. November 2015
- ENSI 12/2258 Aktennotiz ENSI 12/2258, „Stellungnahme des ENSI zu den Nachweisen des ausreichenden Schutzes des KKL gegen extreme Wetterbedingungen“ vom 19. August 2016
- ENSI 12/2280 Inspektionsbericht ENSI 12/2280, „Ultraschallprüfung der Mischnaht FW4 (Einspeiseleitung TW10Z010)“ vom 9. September 2016
- ENSI 12/2380 Aktennotiz ENSI 12/2380, „Ergebnisse der Grobprüfung der zur PSÜ KKL 2016 eingereichten Unterlagen“ vom 1. Juni 2017
- ENSI 12/2405 Verfügung ENSI 12/2405, Rev. 1, „Reglement für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt (KKL)“ vom April 2019
- ENSI 12/2477 Inspektionsbericht ENSI 12/2477, „Managementsystem (Betriebserfahrung)“ vom 2. Februar 2018
- ENSI 12/2516 Inspektionsbericht ENSI 12/2516, „Strahlenschutzaspekte der Damengarderobe“ vom 29. Mai 2018
- ENSI 7057 Aktennotiz ENSI-AN-7057, „ANPA Betriebsreglement“ vom 14. Oktober 2009
- ENSI 7219 Aktennotiz ENSI-AN-7219, „Anforderungen an interne Kommunikationsmittel von KKW“ vom 3. September 2012
- ENSI 7669 Aktennotiz ENSI-AN-7669, „Analyse Fukushima 11032011“ vom 29. August 2011
- ENSI 7798 Aktennotiz ENSI-AN-7798, „EU Stresstest Swiss National Report“ vom Dezember 2011
- ENSI 7844 Aktennotiz ENSI-AN-7844, „Aktionsplan Fukushima 2012“ vom 28. Februar 2012
- ENSI 7911 Aktennotiz ENSI-AN-7911, „Betrachtungen zu infrastrukturellen elektromagnetischen Auswirkungen aufgrund von solaren Eruptionen“ vom 23. April 2012
- ENSI 8226 Aktennotiz ENSI-AN-8226, „Aktionsplan Fukushima 2013“ vom 28. Februar 2013
- ENSI 8711 Aktennotiz ENSI-AN-8711, „Aktionsplan Fukushima 2014“ vom 28. Februar 2014
- ENSI 9106 Aktennotiz ENSI-AN-9106, „Aktionsplan Fukushima 2015“ vom 28. Februar 2015
- ENSI 9264 Aktennotiz ENSI-AN-9264, „Stellungnahme des ENSI zur Erhöhung der Sicherheitsmargen (ERSIM) des KKL bzgl. Erdbeben und externer Überflutung“ vom 3. Juni 2015
- ENSI 9657 Aktennotiz ENSI-AN-9657, „Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz“ vom Mai 2016
- ENSI 9872 Aktennotiz ENSI-AN-9872, „Schlussbericht Aktionsplan Fukushima“ vom 21. Dezember 2016
- ENSI 2011-03-18 ENSI, „Verfügung: Massnahmen aufgrund der Ereignisse in Fukushima“ vom 18. März 2011
- ENSI 2011-04-1 ENSI, Verfügung SGE/FLP – 14/11/015, „Vorgehensvorgaben zur Überprüfung der Auslegung bezüglich Erdbeben und Überflutung“ vom 1. April 2011
- ENSI 2011-04-19 ENSI, Brief WEM/GOA/GUJ – 12/10/001, „Konzept- und Auslegungsfreigabe ATA/09/0010 Weitbereichs Neutronenflussmessung (WRNM)“, ENSI-Geschäft 12/10/001“ vom 19. April 2011

- ENSI 2012-03-28 ENSI, Brief TEG/GUJ – 12/11/018, „Flugzeugabsturz auf das Abfallzwischenlager des KKL, ENSI-Geschäft 12/11/018“ vom 28. März 2012
- ENSI 2012-05-25 ENSI, Brief WEM/NEP – 12/10/001, „Montagefreigabe ATM/11/0006 ‚Ersatz der SRM/IRM Instrumentierung durch eine Weitbereichsinstrumentierung (WRNM)‘, AE2006-0076“ vom 25. Mai 2012
- ENSI 2012-12-4 ENSI, Brief TEG/GUJ – 12/09/096, 12/12/058, „Stellungnahme zur Forderung 7.6.4-1 aus der PSÜ-2006: Radiologische Post-LOCA-Studie“ vom 4. Dezember 2012
- ENSI 2013-04-22 ENSI, „Verfügung: Überprüfung der gefilterten Containmentdruckentlastung und des Schutzes gegen Wasserstoffverbrennungen bei schweren Unfällen“ vom 22. April 2013
- ENSI 2014-09-19 ENSI, Brief ARK/NEP – 12/12/058, „Stellungnahme des ENSI zum Antrag des KKL auf Schließung des Geschäfts 12/12/058“ vom 19. September 2014
- ENSI-2015-09-22 ENSI, Brief RAA/GUJ – 12KGX.PSÜ2016, „Projektplan für die Durchführung der KKL PSÜ 2016“ vom 22. September 2015
- ENSI-2016-01-21 ENSI, Brief WAM/VOB – 12KKS, „Alterungsüberwachungsprogramm Bautechnik AÜP, Leitfaden für Bautechnik-Steckbriefe, GSKL.BAU-001, Rev.6, Freigabe“ vom 21. Januar 2016
- ENSI-2016-05-26 ENSI, „Verfügung: Erdbebengefährdungsannahmen ENSI-2015 für die Standorte der Schweizer Kernkraftwerke“ vom 26. Mai 2016
- Gef-A [/https://www.ensi.ch/de/2016/10/19/schweizer-kernkraftwerke-haben-guten-schutz-gegen-extreme-wetterbedingungen/](https://www.ensi.ch/de/2016/10/19/schweizer-kernkraftwerke-haben-guten-schutz-gegen-extreme-wetterbedingungen/)
- ENSI-2017-05-4 ENSI, Brief SZT/NEP – 12KKS, „Kernkraftwerk Leibstadt, Alterungsüberwachung Bautechnik, AÜP Steckbriefe BK I und BK II“ vom 4. Mai 2017
- ENSI-2017-09-28 ENSI, Brief FEU/LOD/BER/KNH/BAW/ADL/SZT/GUJ – 12/16/055, „Konzeptfreigabe: Ersatz der Stabsteuerung (RC&IS), Teilsysteme RACS und RPIS (AE2006-0078), ENSI-Geschäft 12/16/055“ vom 28. September 2017
- ENSI-2017-11-30 ENSI, Brief BUM/VOB – 12/15/017, „Stellungnahme: Konzept für die Installation von passiven autokatalytischen Einrichtungen zum Wasserstoffabbau im Containment und Annulus“ vom 30. November 2017
- ENSI-2018-10-23 ENSI, Brief HER/VOB – 12/13/012, „Stellungnahme: Beurteilung der Blitzschutzsicherheit des KKL“ vom 23. Oktober 2018
- ENSI-2018-11-5 ENSI, Brief BUM/VOB – 12KFX.ALLG, „Kernkraftwerk Leibstadt; Freigabe: Abgassystem TS – Umklassierung von Komponenten und Aktualisierung der ENSI-Komponentenlisten“ vom 5. November 2018

ENSI 12/2511

ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg, Schweiz, Telefon +41 56 460 84 00, info@ensi.ch, www.ensi.ch