

RISIKO ALTREAKTOREN SCHWEIZ

Eine Studie von Dipl.-Ing. Dieter Majer

IMPRESSUM

Studie: «Risiko Altreaktoren Schweiz», Februar 2014

Autor: Dipl.-Ing. Dieter Majer, Ministerialdirigent a. D., ehemaliger Leiter der Abteilung «Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen» des deutschen Bundesumweltministeriums

Herausgeber / Auftraggeber:

Schweizerische Energie-Stiftung SES, Sihlquai 67, 8005 Zürich, Fon 044 275 21 21, Fax 044 275 21 20, info@energiestiftung.ch, www.energiestiftung.ch, Spendenkonto: 80-3230-3

Greenpeace Schweiz, Heinrichstrasse 147, 8031 Zürich, Fon 044 447 41 41, Fax 044 447 41 99, gp@greenpeace.ch, www.greenpeace.ch

Redaktion: Schweizerische Energie-Stiftung SES, Florian Brunner; Greenpeace Schweiz, Florian Kasser

Layout / Grafiken: fischer.d, visuelle Kommunikation SGD, Schulstrasse 5, 5303 Würenlingen, mails@fischerdesign.ch, www.fischerdesign.ch

Druck: Alder Print und Medien AG, Bitzistrasse 19, 9125 Brunnadern, info@alderag.ch, www.alderag.ch

Auflage: 300 Exemplare

Gedruckt auf: Refutura, 100% FSC-Recycling-Papier

INHALTSVERZEICHNIS

	ZUSAMMENFASSUNG	4
1	VORWORT	6
2	ALTERUNGSPROBLEME	7
2.1	ALTERUNGSPROBLEME BEI KKW IM ALLGEMEINEN	7
2.1.1	ALTERUNG DURCH VERÄNDERN DER SICHERHEITSEIGENSCHAFTEN IM LAUFE DER ZEIT	7
2.1.2	ALTERUNG DURCH TECHNISCHE WEITERENTWICKLUNGEN	11
2.2	TRUGSCHLUSS NACHRÜSTUNGEN	12
3	VERGLEICH DER SCHWEIZER KERNKRAFTWERKE MIT DEN SICHERHEITS-ANFORDERUNGEN ENTSPRECHEND DEM STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK	14
	BESONDERE DEFIZITE DES KKW MÜHLEBERG:	34
	BESONDERE DEFIZITE DES KKW BEZNAU:	36
4	VERGLEICH VON SCHWEIZER ANLAGEN MIT DEN IN DEUTSCHLAND BEREITS STILLGELEGTE ANLAGEN	37
5	MISSBRAUCH DER PROBABILISTIK	38
6	FAZIT/EMPFEHLUNGEN	39
7	LITERATUR	40
8	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	43

ZUSAMMENFASSUNG

Die Schweizer Kernkraftwerke, insbesondere die Anlagen in Mühleberg und Beznau, gehören europaweit zu den ältesten Anlagen, ja sogar weltweit. Die Reaktoren weisen fortgeschrittene Alterungsprozesse aus, welche die ursprünglich bestehende Sicherheit stetig reduzieren. Die Anlagen, konzipiert und erbaut in den 60er- und 70er-Jahren, sind weit entfernt vom heutigen Stand von Wissenschaft und Technik.

DRUCK, HOHE TEMPERATUREN UND NEUTRONENSTRAHLUNG BELASTEN DAS MATERIAL

In einem Kernkraftwerk gibt es Tausende von Bauteile, die für die Sicherheit der Anlage von Bedeutung sind. Die Lebensdauer dieser Teile ist beschränkt. Altersbedingte Veränderungen sind oft nicht sichtbar und Voraussagen über den Zeitpunkt des Versagens deshalb kaum möglich. Schäden werden meist zufällig oder nach einem Schadensereignis entdeckt. Hohe Temperaturen, Druck und vor allem die Neutronenstrahlung belasten das Material massiv. Einzelne Alterungsphänomene wären isoliert betrachtet mit Gegenmassnahmen vielleicht noch beherrschbar. Spielen mehrere Alterungsprozesse zusammen – wie etwa Versprödung, Korrosion und Ermüdung beim Stahl eines Reaktordruckbehälters –, führt das zu einer mehrfachen Belastung des Materials und dadurch zu einer mehrfachen Qualitätsreduktion. Wirklich zuverlässige Aussagen, wie sich das Material nach vielen Jahren an jeder Stelle des Reaktordruckbehälters verhält, können nicht gemacht werden. Das Zusammenwirken der diversen Alterungsprozesse kann nicht hinreichend untersucht und Gegenstrategien nicht entworfen werden. Erschwerend kommt hinzu: Kaum ein Störfall in einem Kernkraftwerk kann simuliert werden. Die Robustheit der Anlage, die in einem katastrophalen Zustand erschwerte Bedingungen aushalten muss – wie etwa in Fukushima nach Erdbeben und Explosionen – ist mit Tests nicht prüfbar. Man muss sich auf theoretische Betrachtungen – basierend auf physikalischen Modellen – beschränken. Solche Ergebnisse sind aber nur bedingt verlässlich. Das Dilemma: Aufgrund der bestehenden Anlagenkonzeptionen lassen sich nicht alle wichtigen Einrichtungen und Sicherheitseigenschaften, die eigentlich aufgrund der vielen negativen Erfahrungen in Kernkraftwerken verbessert werden müssten, reparieren oder austauschen. Der Reaktordruckbehälter etwa – das Herzstück der Anlage – kann nicht ersetzt werden.

BEGRENZTE WIRKUNG VON NACHRÜSTUNGEN

Insbesondere von Betreiberseite wird immer wieder betont, dass die älteren Kernkraftwerke mittlerweile runderneuert seien und über modernste Technik verfügen. Ihr Sicherheitsniveau sei mit dem neuerer Anlagen vergleichbar. Diese Aussage ist falsch. Die erwähnten Sicherheitsnachteile und konzeptionellen Schwächen der alten Bauweise bestehen in älteren Anlagen weitgehend weiter. Ein Beispiel: In Mühleberg und Beznau wurde die Notstromversorgung aufwändig nachgerüstet. Für neue Kernkraftwerke werden jedoch Notstromsysteme in vierfacher Ausführung (Redundanz) gefordert, die klar gegliedert und getrennt sind. Dies ist weder in Mühleberg noch in Beznau der Fall. Und die Nachrüstung alter Kernkraftwerke mit neuer Technologie bringt nicht nur Verbesserungen, sondern wirft auch neue Probleme auf, die zu Folgefehlern führen können.

SCHWEIZ: KRITIK AN DER METHODIK UND DER AUFSICHTSPRAXIS

In der Fachwelt ist weitgehend unumstritten, was unter dem Begriff «Stand von Wissenschaft und Technik» zu verstehen ist. Hingegen ist der in der Schweiz verwendete Terminus für Altanlagen «Stand der Nachrüsttechnik» ein inhaltsleerer Massstab, da dieser Begriff sowohl in der Schweiz, als auch international nicht mit konkreten Sicherheitsanforderungen verbunden ist. Er dient lediglich dazu, die existierenden Sicherheitsdefizite, gemessen am Stand von Wissenschaft und Technik, zu verschleiern. Die letztendlich vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) im Einzelfall geforderten Nachrüstungen sind nicht das Ergebnis eines systematischen Vergleiches mit den heutigen Sicherheitsanforderungen und dem Stand von Wissenschaft und Technik, sondern basieren zum grossen Teil auf Überlegungen, ob die Massnahmen in den veralteten Anlagen umsetzbar sind oder nicht.

KERNSCHADENSHÄUFIGKEIT 1:100?

Wahrscheinlichkeitsaussagen (Probabilistische Analysen) dienen in erster Linie dazu, Schwachstellen im Gesamtsystem eines Kernkraftwerks zu identifizieren und die Eintrittshäufigkeit von Kernschmelzen abzuschätzen. Sie werden aber auch als Sicherheitsnachweise missbraucht. Davon abgesehen, dass Alterungseffekte für solche Analysen kaum korrekt berücksichtigt werden können, sind die im Rahmen der Probabilistik ermittelten Werte in ihrer absoluten Grösse mit erheblichen Ungenauigkeiten verbunden. Solche Fehlerbandbreiten liegen nach Einschätzung des Autors dieser Studie mindestens bei einem Faktor 100. Wenn also die Kernschadenshäufigkeit z.B. mit einmal in 10'000 Jahren angegeben wird, dann kann der wahre Wert auch bei einmal in 100 Jahren liegen: Ein für die Sicherheit völlig inakzeptabler Wert.

MÜHLEBERG UND BEZNAU STILLLEGEN. MEHR TRANSPARENZ IN SICHERHEITSBEURTEILUNGEN

Insbesondere die Anlagen in Mühleberg und Beznau sollten wegen der in dieser Studie sichtbar gewordenen Sicherheitsdefizite unverzüglich abgeschaltet werden. Für die weiter betriebenen Anlagen sollten alle sicherheitsrelevanten Unterlagen – insbesondere aktualisierte Systemschaltpläne, Systembeschreibungen, Betriebshandbücher und Prüfhandbücher - veröffentlicht werden, damit sich die Schweizer Öffentlichkeit, aber auch deren Nachbarn ein umfassendes und authentisches Bild vom Sicherheitszustand der Schweizer Kernkraftwerke machen können.

1 VORWORT

In der Schweiz werden zur Zeit fünf Kernkraftwerke betrieben. Es handelt sich dabei mit um den ältesten Reaktorpark in Europa. Spätestens seit den schweren Reaktorunfällen in Three Mile Island USA 1979, Tschernobyl 1986 und Fukushima 2011 hat sich eine neue kritische Einstellung zur weiteren Nutzung der Kernenergie entwickelt. Viele Länder sind, insbesondere nach den Erfahrungen in Fukushima, der Auffassung, dass die Atomenergie keine Zukunft mehr habe. Ausbauprogramme wurden ad acta gelegt – auch in der Schweiz.

Das Parlament und der Bundesrat in der Schweiz haben im Jahr 2011 den Atomausstieg beschlossen. Als gesetzliche Verankerung ist allerdings lediglich das Verbot für den Bau neuer KKW vorgesehen. Wie lange die bestehenden Schweizer KKW betrieben werden, ist also unklar. Im Rahmen der Energiestrategie 2050 wird das Kernenergiegesetz (KEG) revidiert. Das wird Anlass sein über Laufzeitbeschränkungen zu debattieren. Bis jetzt spielten die wirtschaftlichen Fragen im Vergleich zum Sicherheitsaspekt oftmals die grössere Rolle. Die Mehrheit des Parlaments, sowie der Bundesrat sind zudem nach wie vor für ein Modell «KKW sollen laufen so lange sie sicher sind», das heisst ohne Beschränkung der Laufzeit. Problematisch dabei sind zurzeit vor allem die drei alten KKW der Schweiz Mühleberg, Beznau I und II, die auch mit aufwendigen Nachrüstungen nicht dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik und damit dem aktuellen Forschungsstand im Bereich der Kerntechnik entsprechen werden.

Das Ziel der hiermit vorgelegten Studie ist die Laufzeit-Debatte voran zu treiben, indem die sicherheitstechnischen Probleme der alten Reaktoren in den Vordergrund gestellt werden. Die alterungsbedingten Probleme sind zentraler Bestandteil der Studie. Zudem wird der Frage nach dem Sicherheitsgewinn durch Nachrüstungen nachgegangen. Zur technischen Beurteilung der Schweizer Anlagen wird anhand von Beispielen die Sicherheitslücke zwischen diesen Anlagen und den heutigen Sicherheitsstandards beschrieben. Ergänzt wird die Studie durch Hinweise zur Situation in Deutschland im Vergleich zur Schweiz und kritischen Anmerkungen zu probabilistischen Betrachtungen und Bewertungen, wie sie in der Schweiz angestellt werden.

Der Autor dieser Studie war über 30 Jahre bis zu seiner Pensionierung wenige Monate nach dem Unfall in Fukushima in leitender Stellung in verschiedenen deutschen Ministerien im Bereich der Aufsicht über kerntechnische Anlagen tätig. In Deutschland ist die staatliche Aufsicht über Kernkraftwerke bei den Landesumweltministerien bzw. beim Bundesumweltministerium angesiedelt. Auch vielfältige internationale Aktivitäten waren mit dieser Tätigkeit verbunden.

Die hiermit vorgelegte Studie basiert auf speziellen Recherchen aus öffentlich zugänglichen Quellen über Schweizer Kernkraftwerke und auf den jahrzehntelangen Erfahrungen beim Betrieb von deutschen und ausländischen Kernkraftwerken.

2 ALTERUNGSPROBLEME

2.1 ALTERUNGSPROBLEME BEI KKW IM ALLGEMEINEN

2.1.1 ALTERUNG DURCH VERÄNDERN DER SICHERHEITSEIGENSCHAFTEN IM LAUFE DER ZEIT

Bei älter werdenden Kernkraftwerken verschlechtern sich mit der Zeit die Qualität der einzelnen sicherheitstechnisch bedeutsamen Komponenten und damit das Sicherheitsniveau der Anlagen. Während der Planung und zu Beginn des Betriebes vorgesehene bzw. vorhandene Sicherheitsreserven gehen teilweise verloren. Die Betreiber von Kernkraftwerken und die zuständigen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden reagieren auf diese Entwicklung unterschiedlich. Teilweise wird versucht, durch ein Alterungsmanagement die negativen Wirkungen des Alterns der Anlage auszugleichen, teilweise werden in die Jahre gekommenen Kernkraftwerke abgeschaltet. In der Schweiz gehen die Betreiber und die Aufsichtsbehörde davon aus, dass die negativen Wirkungen von Alterungserscheinungen durch Kontrollen und entsprechende Nachrüstungen vermieden werden können.

Die Fachwelt verwendet keine einheitlichen Kriterien für den Begriff Alterung. Generell wird unterschieden zwischen der zeitabhängigen Veränderung der Sicherheitseigenschaften von Bauteilen und dem Veralten von Sicherheitskonzepten aufgrund von technischen Weiterentwicklungen und Fortschreibungen von Regelwerken.

Beide Arten von Alterung beeinflussen massiv den Sicherheitszustand von Kernkraftwerken. Sie können, verbunden mit den prinzipiellen Risiken von Kernkraftwerken, Ursache für schwere Unfälle und die Freisetzung von grossen Mengen radioaktiver Stoffe sein.

In einem Kernkraftwerk gibt es Tausende von Bauteilen, die eine mehr oder weniger grosse Bedeutung für die Sicherheit der Anlage haben. Praktisch alle diese Bauteile unterliegen einem Alterungsprozess mit negativen Auswirkungen. Vorausgesetzt, man erkennt die durch Alterungsprozesse verschlechterten Sicherheitseigenschaften von Bauteilen und Komponenten rechtzeitig, dann lassen sich bestimmte Komponenten und Bauteile ersetzen. Dies gilt allerdings nicht für besonders wichtige Komponenten wie Reaktor-druckbehälter, Sicherheitsbehälter und bautechnische Barrieren.

Da die Alterung technischer Anlagen im Unterschied zur biologischen Alterung äusserlich kaum wahrgenommen wird, wird sie meist unterschätzt. Mit wenigen Ausnahmen vollziehen sich die Alterungsprozesse auf der Ebene der mikroskopischen Gitterstruktur. In einer technischen Anlage wird die Schwäche des Werkstoffes häufig erst nach dessen Versagen, z. B. beim Bruch, erkenntlich.

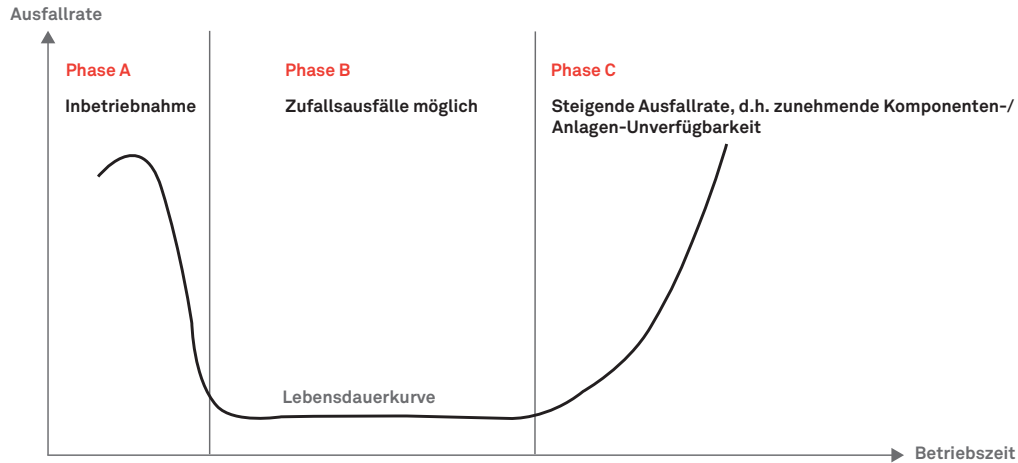
Die Betreiber und Behörden bemühen sich intensiv darum, die Alterungsmechanismen und deren Wirkungen für alle davon betroffenen Bauteile zu verstehen und rechtzeitig Gegenmassnahmen zu ergreifen. Es zeigt sich jedoch bei den gemeldeten Störfällen in Kernkraftwerken, dass technische Alterungsprozesse trotzdem nicht rechtzeitig erkannt oder gestoppt werden konnten und so die Sicherheit gefährden. Einige Beispiele für typische Altersschäden (d. h. Verschleiss- und Abnutzungserscheinungen) an den Anlagen sind: Erosion, Risse in Bauteilen als Folge betrieblicher Belastungen, Veränderung elektrischer Kenngrössen, veränderte Eigenschaften von Schmierstoffen.

Während einige Alterungsmechanismen zweifelsfrei identifiziert sind, herrscht bei anderen trotz stetigem Wissenszuwachs durch Forschung und zunehmende Erfahrung beim Betrieb von Kernkraftwerken noch immer grosse Ungewissheit. Da für eine verlässliche Voraussage von alterungsbedingten Schäden das Verstehen der Schadensmechanismen Voraussetzung ist, ist eine solche Voraussage in vielen Fällen nicht möglich. Die Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs ist häufig nicht zerstörungsfrei prüfbar, woraus die Schwierigkeit resultiert, den jeweils aktuellen Materialzustand sicher abzuschätzen. Zerstörungsfreie Prüfverfahren erlauben zwar in vielen Fällen, Rissentwicklungen, Oberflächenveränderungen und Wanddickenschwächungen zu verfolgen, aus Gründen konstruktiver Unzugänglichkeit sind aber nicht alle Komponenten, insbesondere bei Kernkraftwerken älterer Bauart wie Mühleberg und Beznau uneingeschränkt überprüfbar. Hinzu kommt, dass die eingesetzten Prüfverfahren danach ausgelegt sind, Folgen von bekannten Schädigungsmechanismen aufzufinden. Folgen von bisher unbekanntem Schädigungsmechanismen werden oft nur zufällig entdeckt. Sind einzelne Alterungseffekte bekannt und Gegenmassnahmen ergriffen, so zeigt die Erfahrung, dass plötzlich neue Alterungseffekte auftreten, die vorher nicht bekannt oder in ihrer Bedeutung falsch eingeschätzt wurden. Der Erkenntnisgewinn bei Alterungsprozessen entsteht oftmals nur durch entsprechende negative Erfahrungen beim Betrieb von Kernkraftwerken, da ihre Mechanismen in Mikrostrukturen wirken und von aussen oft nicht sichtbar sind. Besonders fatal ist es, wenn Alterungseffekte erst bei einem Auftreten von Störfällen dadurch bemerkt werden, dass die für die Störfallbeherrschung erforderlichen Sicherheitssysteme versagen. Das Kernkraftwerk und sein Betrieb sind «Versuchseinrichtungen» zum Erkennen von Alterungsprozessen. Ein wirklich gefährlicher Vorgang, der mit zunehmendem Alter der Kernkraftwerke noch brisanter wird.

Durch Alterung verschlechterte Komponenten müssen insbesondere auch bei Störfällen (Leitungsbrüche, Erdbeben, Druckstösse, Ausfall von Komponenten) ihren Dienst verrichten. Viele Störfälle können aus verständlichen Gründen nicht an echten, lebensgrossen Anlagen simuliert werden, so dass realitätsnahe Tests nicht möglich sind. Beispielsweise können für entsprechende Tests die Bedingungen eines Kühlmittelverlust-Störfalles im Sicherheitsbehälter mit hoher Druck-, Temperatur- und Feuchtebeanspruchung nicht erzeugt werden. Ähnliches gilt für Schwingungsbeanspruchungen durch Flugzeugabsturz, Erdbeben und Explosionsdruckwelle. Für diese Fälle ist man auf theoretische Betrachtungen angewiesen, die zum Teil auf sehr ungenauen physikalischen Modellen und Parametern beruhen und somit die ermittelten Ergebnisse sehr fragwürdig sind.

Für viele Systeme der Störfallbeherrschung steht also seit ihrer Entwicklung, Herstellung und dem Einbau in den Anlagen (vor bis zu vierzig Jahren) der allererste praktische Funktionstest (glücklicherweise) noch immer aus. Für viele Typen von Sicherheitssystemen gilt diese Aussage sogar weltweit.

Generell kann man davon ausgehen, dass bei vielen technischen Komponenten das Ausfallverhalten der sogenannten Badewannenkurve folgt.



Die Erfahrung zeigt, dass die Phase C nach ca. 20 Betriebsjahren beginnt und sich bei 40 Betriebsjahren und mehr eine drastische Erhöhung von Ausfällen zeigt. Der sicherste Zustand besteht im Zeitraum B, in dem die Frühausfälle abgeklungen sind und dem Zeitraum, in dem die Ermüdungsausfälle sich noch nicht bemerkbar machen.

Alterungsprozesse zeigen sich in fast allen Bereichen der Kernkraftwerke, die für die Sicherheit von Bedeutung sind. Im Bereich der Maschinentechnik treten Phänomene wie z. B. Versprödung, Korrosion, Ermüdung, Verschleiss und Zersetzung auf. Die Elektro- und Leittechnik ist beispielsweise durch Isolationsverlust, Verharzung und Materialwanderung betroffen. Die Brandgefahr steigt damit massiv an. Neben den üblichen Brandfolgen sind hier insbesondere durch Brände verursachte Fehlsteuerungen von Sicherheitseinrichtungen zu nennen.

Im Bereich der Bautechnik muss man u. a. mit Rissbildung, Verlust der Dichtefunktion und Aufquellen rechnen. Besondere Bedeutung hat auch die Kombination dieser Alterungsprozesse. So wirkt z. B. Versprödung in Verbindung mit Korrosion und Ermüdung zu einer mehrfachen Qualitätsreduzierung von wichtigen Kühlleitungen. Selbst wenn Schadensmechanismen als Einzeleffekte bekannt sind, ihr Zusammenwirken ist oftmals noch nicht hinreichend untersucht bzw. Gegenstrategien stehen oftmals nicht zur Verfügung.

Alterungsprozesse finden in der Regel an gleichartigen Komponenten gleichzeitig statt. Dies hat die fatale Wirkung, dass mehrfach vorhandene Systeme (Redundanzen) aus Alterungsgründen gleichzeitig ausfallen und damit das wichtige Sicherheitsprinzip der redundanten Sicherheitssysteme ausser Kraft setzen. Der in der Sicherheitstechnik besonders gefürchtete gemeinsam verursachte Ausfall aller Redundanzen ist insbesondere bei Altanlagen ein grosses Problem. Diversitäre Einrichtungen, also die Nutzung verschiedener physikalischer Prinzipien in den Redundanzen, sind bei älteren Anlagen nur in sehr eingeschränktem Umfang vorhanden.

Einzelne Komponenten bis hin zu Grosskomponenten wie Dampferzeuger können in einem Kernkraftwerk prinzipiell, wenn auch teilweise mit enormen Kosten und Risiken verbunden, ausgetauscht werden. Doch ein vollständiger Schutz vor alterungsbedingten Schäden ist auch damit nicht möglich. Besonders wichtige Komponenten wie der Reaktordruckbehälter und der Reaktorsicherheitsbehälter können nicht ausgetauscht werden.

Der Reaktordruckbehälter ist das für die Sicherheit eines Kernkraftwerkes wichtigste Bauteil. Er wird während des Betriebes ununterbrochen einer hochenergetischen Neutronenstrahlung ausgesetzt, was eine kontinuierliche Materialversprödung und damit einen kontinuierlichen Verlust der Zähigkeit des Metalls zur Folge hat. Die mechanische Belastbarkeit des Reaktordruckbehälters nimmt im Laufe der Zeit ab. Ähnlich wie Glas, kann ein versprödeter Reaktordruckbehälter unter normalen Betriebsbedingungen aber insbesondere unter Störfalleinwirkungen, z. B. bei einer Notkühlung aufgrund eines Bruches einer Hauptkühlmittleitung, bei denen der Reaktordruckbehälter einem erhöhten Druck und einer erhöhten Temperatur und starken Temperaturschwankungen (Thermoschock) ausgesetzt sein kann, bersten. Da ein Leck im Reaktordruckbehälter ab einer bestimmten Grösse unbeherrschbar ist, kommt es in diesem Fall unweigerlich zu grossen Freisetzungen radioaktiver Stoffe.

Die Ursache für die Versprödung sind Veränderungen im Kristallgitter des Materials. Treffen Neutronen auf Eisenatome, stossen sie diese von ihren angestammten Gitterplätzen fort. Die verdrängten Eisenatome verdrängen nun ihrerseits andere Eisenatome von ihren angestammten Plätzen, so dass es im Sinne einer «Kettenreaktion» zu grösseren Defekten und im schlimmsten Fall zu Rissen kommt, die vorherzusagen ausserordentlich schwierig ist. Diese feinen Risse können, wie allgemein bekannt, Ausgangspunkt für weiteres Risswachstum sein. Die Forschung bemüht sich zwar intensiv, quantitative Antworten über das Materialverhalten unter Neutronenbestrahlung zu geben, die bisherigen Ergebnisse sind aber nicht so eindeutig, dass eine wirklich belastbare Aussage über das Materialverhalten des Reaktordruckbehälters nach vielen Betriebsjahren unter dem Einfluss der Neutronenbestrahlung an jeder Stelle des Materials gemacht werden kann. Üblicherweise erfolgt die Kontrolle des Materialzustandes mit sogenannten Voreilproben, die aus dem gleichen Stahl wie das Reaktordruckgefäss bestehen. Man glaubt nun, man könne durch werkstofftechnische Untersuchungen dieser Voreilproben Aussagen über das Alterungsverhalten des gesamten Reaktordruckbehältermaterials machen. Dies ist aus verschiedenen Gründen fragwürdig. Zum einen ist der Neutronenfluss im Reaktordruckbehälter sehr unterschiedlich, die Voreilproben können aber nur an bestimmten Stellen angebracht werden, zum anderen hängt die Art der Defektstellen im Material nicht nur von der kumulierten Neutronenstrahlung sondern auch von der zeitlichen Verteilung der Neutronenstrahlung ab. Mit anderen Worten, es macht einen Unterschied aus, ob dieselbe Menge an Neutronen in einer relativ kurzen Zeit oder in einem grösseren Zeitraum verteilt auf das Material einwirkt. Ungeklärt ist auch, ob der Schädigungsmechanismus kontinuierlich fortschreitet, oder ob es oberhalb einer bestimmten Neutronenbestrahlung, wenn also ein bestimmter Schwellenwert überschritten ist, es zu einem plötzlichen massiven Anstieg der Versprödung kommt. Dieser Effekt ist unter Forschern unter dem Begriff «Late-Blooming-Effekt» bekannt. Insgesamt ist festzustellen, dass die Materialeigenschaften von längerer Zeit bestrahlten Reaktordruckbehältern nur begrenzt beurteilt werden können. Zu dieser Versprödung als Ursache für reduzierte Festigkeitseigenschaften des Reaktordruckbehälters kommt die Ermüdung des Materials durch das An- und Abfahren des Kernkraftwerkes. Reaktorschnellabschaltungen verstärken diesen Effekt noch.

Besonders betroffen von diesen negativen Alterungswirkungen sind ältere Reaktordruckbehälter die durch eine grosse Anzahl von Schweissnähten gekennzeichnet sind und grössere Mengen an Kupfer und Nickel in den Schweissnähten enthalten.

Das Thema Alterung von Komponenten stellt auch die Ergebnisse von sogenannten probabilistischen Analysen in Frage. Probabilistische Analysen dienen dazu, die Eintrittshäufigkeit von Kernschmelzen mit Hilfe von Modellen zu berechnen. Wichtige Modellgrößen sind die Versagenswahrscheinlichkeiten von Komponenten. Dabei extrapoliert man die Erfahrungen aus der Vergangenheit – mit teilweise weniger gealterten Komponenten – auf die Zukunft. Da das Alterungsverhalten praktisch nicht quantifizierbar ist, sind auch die probabilistischen Ergebnisse unter dem Alterungsaspekt sehr fragwürdig. Die Kernschmelzhäufigkeit wird wegen der nicht hinreichend berücksichtigten Alterungseffekte in der Regel unterschätzt. Einzelne unerkannte und deshalb nicht beseitigte Alterungseffekte können zwar unmittelbar zu schweren Unfällen führen, sie können aber auch Ursache von Störfällen sein, für deren Beherrschung Sicherheitssysteme angefordert werden. Nach den Gesetzen der Ausfallwahrscheinlichkeit von Sicherheitssystemen hängt die absolute Zahl von Ausfällen von der Zahl der Anforderungen ab. Je höher die Zahl der Anforderungen, umso höher auch die Anzahl der Ausfälle. Mit anderen Worten, jedes Versagen eines Bauteils aus Alterungsgründen führt zu einer grösseren Wahrscheinlichkeit eines schweren Unfalles.

2.1.2 ALTERUNG DURCH TECHNISCHE WEITERENTWICKLUNGEN

Das Veralten von Sicherheitskonzepten aufgrund von (negativen) praktischen Erfahrungen, neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, technischen Weiterentwicklungen sowie deren Berücksichtigung in der Fortschreibung von Regelwerken ist ein bedeutsamer Faktor im Rahmen der Alterungsproblematik. Realisierte Konzeptlösungen, die sowohl das gesamte Sicherheitskonzept der Anlage als auch die einzelnen technologischen Merkmale betreffen, können über die Betriebszeit veralten. Die Anlagen entfernen sich mit zunehmendem Alter immer weiter vom Stand von Wissenschaft und Technik. Zwar versuchen die Betreiber der Kernkraftwerke ältere Anlagen durch Nachrüstungen an den aktuellen Stand der Sicherheitstechnik anzugleichen. Das gelingt aber nur mit Abstrichen, denn grundlegende Merkmale können mit vertretbarem Aufwand kaum verändert werden (die Auslegung von Grosskomponenten wie Reaktor Druckbehälter oder Sicherheitsbehälter, die Anordnung von Gebäuden und Systemen, die Wandstärke von Gebäuden). In der Schweiz verwendet man in diesem Zusammenhang den Begriff des «Standes der Nachrüsttechnik» ohne öffentlich zu definieren, was damit genau gemeint ist. Jedenfalls werden teilweise schon bei der Festlegung der erforderlichen Sicherheitseigenschaften gegenüber dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik reduziert, d.h. es wird erst gar nicht herausgearbeitet, welche Unterschiede zum aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bestehen. Dies widerspricht eindeutig der internationalen Regel IAEA Safety Guide NS-G-2.12. Danach ist im Rahmen des Alterungsmanagements ein systematischer Vergleich der bestehenden Anlagen mit dem jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik durchzuführen und die Unterschiede nachvollziehbar zu bewerten. Der für das Kernkraftwerk Beznau durch den Betreiber durchgeführte Vergleich mit dem European Pressurized Reactor (EPR) erfüllt diese Anforderung nicht, da er sich im Wesentlichen auf einen konzeptionellen Vergleich beschränkt und weitergehende Prüfkriterien, die sich aus dem Stand von Wissenschaft und Technik ergeben, nicht berücksichtigt.

Die in der Schweiz heute betriebenen Anlagen wurden im Wesentlichen in den sechziger und siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts konzipiert und gebaut. Seitdem hat sich die Sicherheitstechnik massiv weiterentwickelt. Unterschiede bestehen beispielsweise darin, dass in neueren Anlagen üblicherweise vier gleichartige Sicherheitssysteme vorhanden sind, die räumlich getrennt und gegen Angriffe von aussen geschützt sind. In älteren

Anlagen sind die Systeme teilweise verknüpft und nur unzureichend voneinander getrennt. Dadurch besteht bei Störfällen die Gefahr, dass gleichzeitig alle redundant vorhandenen Sicherheitssysteme durch eine gemeinsame Ursache ausfallen mit verheerenden Folgen für die Störfallsicherheit. Auch das Containment ist bei neueren Anlagen erheblich stärker ausgelegt und bietet damit einen erheblich besseren Schutz sowohl bei internen Störfällen wie z. B. Leitungsbrüchen und Stromausfall als auch bei Einwirkungen von aussen wie z. B. Flugzeugabsturz und Explosionsdruckwellen.

Bei der Inbetriebnahme insbesondere der älteren Anlagen war nur ein kleiner Bruchteil des heutigen Regelwerkes vorhanden. Daraus ergeben sich in vielen Bereichen Unterschiede zwischen modernen Anlagen und den alten Anlagen.

Das Prinzip des Bruchausschlusses für wichtige Grosskomponenten und Rohrleitungen wurde erst in den siebziger Jahren entwickelt, zu spät für Altanlagen, die in den siebziger Jahren und davor errichtet wurden. Im Rahmen des Prinzips des Bruchausschlusses müssen bereits bei der Herstellung von Komponenten bestimmte Herstellungsverfahren praktiziert und herstellungsbegleitende Prüfungen durchgeführt werden. Diese können später nicht mehr nachgeholt werden. Bruchabschluss bedeutet, dass es nach wissenschaftlichen Erkenntnissen zu keinem spontanen Abriss oder Bersten von wichtigen Rohrleitungen kommt. Man hatte erkannt, dass ein vollständiger Abriss solcher Rohrleitungen nicht beherrscht wird. Anlagen ohne Nachweis des Bruchausschlusses stellen deshalb eine besondere Gefahr dar.

Der Prüfbarkeit von sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten hat man bei Altanlagen keine besondere Bedeutung eingeräumt. Dies führte dazu, dass gerade Altanlagen in besonders gefährdeten Bereichen, z. B. Schweissnähte oder Anschlussstellen mit unterschiedlichen Stahlsorten, nur eingeschränkt wiederkehrenden Prüfungen unterzogen werden können, obwohl gerade Altanlagen aufgrund ihrer häufig schlechteren Qualität eigentlich verstärkt überprüft werden müssten. Häufig werden auch Kompromisse beim Prüfumfang zugunsten einer Reduktion der Strahlendosis für das Prüfpersonal gemacht. Man steht gerade bei Altanlagen mit ihren räumlich engen Verhältnissen vor dem Dilemma, entweder an sich notwendige Prüfungen auf ein Minimum zu reduzieren, oder eine enorme Strahlenbelastung des Prüfpersonals in Kauf zu nehmen.

In sich geschlossene und konsequent realisierte Befestigungskonzepte für sicherheitstechnisch bedeutsame Komponenten an Gebäuden sind bei Altanlagen in der Regel nicht vorhanden. Darüber hinaus ist die Genehmigungsdokumentation der Anlagen der alten Baulinien gegenüber heutigen Standards wesentlich schlechter. Gegenüber den heute geltenden Standards sind die alten Genehmigungen und Genehmigungsdokumentationen in vielen Fällen unvollständig. In vielen Fällen, in denen die Anlagen mehrfach verändert wurden, lässt sich der Zustand der Anlagen darüber hinaus nur noch aufwändig in einer geschlossenen Kette von Nachweis- und Dokumentationsunterlagen verfolgen.

2.2 TRUGSCHLUSS NACHRÜSTUNGEN

Vielfach wird versucht, alte Reaktoren mit Hilfe neuer Technologie nachzurüsten, um die Anlagen sicherer zu machen, doch immer wieder muss festgestellt werden, dass die Kombination aus alter Technik des letzten Jahrhunderts und moderner Technik neue bisher unbekannte Probleme aufwirft. Nachrüstungen stossen an Grenzen. Konzeptionelle Sicherheitsnachteile durch das veraltete Sicherheitsdesign der älteren Kernkraftwerke können nur begrenzt ausgeglichen werden. Durch Nachrüstungen werden immer wieder auch neue Fehler verursacht, die dem Ziel, die Fehlerrate zu senken, entgegen wirken.

Zum Teil werden dadurch neue Sicherheitsrisiken erst geschaffen. Nachträgliche Änderungen führen praktisch in jedem System statistisch zu Folgefehlern. Dies gilt auch für Kernkraftwerke. Durch den umfangreichen Austausch von Komponenten, Rohrleitungen, Kabeln, Befestigungen sind auf der einen Seite – zumeist vorzeitige – Alterungsprozesse unterbrochen worden. Auf der anderen Seite wurden durch die zum Teil umfangreichen Nachrüstungen neue Fehler eingebaut, die die Fehlerrate und damit das Risiko erhöht haben. Das Risiko, neue Fehler zu machen, ist dabei umso höher, je komplexer das System ist, in das eingegriffen wird. Nachträgliche Eingriffe durch Nachrüstungen können auf diese Weise zu ganz neuen Risiken für den Betrieb führen. Dies ist auch die Erfahrung aus der Praxis der Nachrüstungen in Kernkraftwerken weltweit.

Besonders deutlich macht sich dies bei Nachrüstungen in den Steuersystemen bemerkbar. Die Steuerung der Altanlagen basieren auf sogenannten analogen Systemen. Müssen Teile der analogen Systeme ausgetauscht werden, so stellt man fest, dass Ersatzteile auf dem Markt nicht mehr erhältlich sind. Es bleibt dann nichts anderes übrig, als analoge Systeme mit modernen digitalen Systemen zu kombinieren. Für solche Einsätze sind aber die alten als auch die modernen Systeme nicht ausgelegt bzw. ausgetestet. Die Kernkraftwerke werden nach solchen Nachrüstungen zu Versuchseinrichtungen.

Nachrüstungen im maschinentechnischen Bereich, wie der Austausch von Pumpen, Armaturen und Rohrleitungen können zu Veränderungen des Schwingungsverhaltens von ganzen Systembereichen führen. Neue, in der Anlage bisher unbekannte Schädigungen durch veränderte Fließgeschwindigkeiten, Strömungsprofile oder Resonanzschwingungen können die Folge sein.

Insbesondere in den Kernkraftwerken Mühleberg und Beznau wurden im Bereich der Notstromversorgung umfangreiche Nachrüstungen durchgeführt. Betrachtet man das dabei entstandene Gesamtsystem der Notstromversorgung, so zeigt sich ein äusserst komplexes und nur schwer durchschaubares System. Bisherige Teile des Notstromsystems sind mit neuen Teilen verbunden so dass komplexe, miteinander verwobene Systeme entstanden sind. Dies führt sowohl beim automatischen Ablauf, aber insbesondere dann, wenn die Betriebsmannschaft im Anforderungsfall Eingriffe vornehmen muss, zu der erhöhten Gefahr von Fehlfunktionen, da in solchen Fällen komplizierte Schaltungen erforderlich werden. Heutige Notstromsysteme sind klar gegliedert. Zur Störfallbeherrschung stehen vier voneinander unabhängige und redundante Stränge zur Verfügung. Zusätzlich hat man zur weiteren Beherrschung von Einwirkungen von aussen (Erdbeben, Flugzeugabsturz und Druckwellen z.B. durch Explosionen) vier weitere sogenannte Notstandsdiesel installiert, die dann zum Einsatz kommen, wenn die davor gelagerten Notstromsysteme versagen.

Die oben beschriebene Badewannenkurve zeigt, dass in der Frühphase einer eingebauten Komponente und in der Spätphase verstärkt Ausfälle auftreten. Bei Nachrüstungen kann dieser Effekt dazu führen, dass sich beide Effekte überlagern und deshalb sogar unmittelbar nach Einbau neuer Komponenten verstärkt Ausfälle von Komponenten zu verzeichnen sind. Etliche Vorkommnisse weltweit bestätigen diese Erkenntnis. Das Risiko der älteren Kernkraftwerke wird auch deshalb zukünftig auf einem deutlich höheren Niveau verbleiben als das der neueren Anlagen.

Insbesondere von Betreiberseite wird immer wieder betont, dass die älteren Kernkraftwerke mittlerweile runderneuert seien. Eine Vielzahl von Komponenten sei ausgetauscht worden insoweit könne man nicht von alten Anlagen sprechen. Die alten Anlagen wiesen daher ein mit den neueren Anlagen vergleichbares Sicherheitsniveau auf. Diese Aussage ist falsch. Die dargelegten konzeptionellen Sicherheitsnachteile der älteren Anlagen

bestehen weitgehend nach wie vor. Sie würden bei einem systematischen Vergleich dieser Anlagen mit den neueren Kernkraftwerken und erst recht mit dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik offen zu Tage treten. Einen solchen Vergleich lehnen die Betreiber auch in der Schweiz entschieden ab. In der Schweiz wird an dieser Stelle an den inhaltlich völlig nichtssagenden Stand der Nachrüsttechnik verwiesen.

Jeder Versuch, die alten Reaktoren auch konzeptionell auf den heutigen Sicherheitsstandard zu bringen, käme technisch und wirtschaftlich einem Neubau nahe. Planung, Genehmigung und Bau würden darüber hinaus so grosse Zeiträume in Anspruch nehmen, dass die Sicherheitsverbesserungen für einen effektiven Sicherheitsgewinn zu spät kämen.

3 VERGLEICH DER SCHWEIZER KERNKRAFTWERKE MIT DEN SICHERHEITSANFORDERUNGEN ENTSPRECHEND DEM STAND VON WISSENSCHAFT UND TECHNIK

In den meisten Ländern, in denen Atomtechnologie eingesetzt wird, darf eine Atomanlage von den zuständigen Behörden nur genehmigt werden, wenn sie dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entspricht. Deshalb ist dieser Begriff von fundamentaler Bedeutung für die sicherheitstechnische Gestaltung von Atomanlagen. Die Entwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik ist ein dynamischer Prozess. Teilweise ist dieser Stand in nationalen Regeln z. B. in USA, Schweden, Schweiz und Deutschland beschrieben, teilweise in internationalen Regeln der International Atomic Energy Agency (IAEA) und der OECD Nuclear Energy Agency (OECD/NEA). Zum Teil sind aber diese geschriebenen Regeln veraltet und repräsentieren nicht mehr den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, so dass zur Feststellung des Standes von Wissenschaft und Technik auch auf die internationale wissenschaftliche Literatur zurückgegriffen werden muss. Wenn auch in der Fachwelt weitestgehend unumstritten ist, was unter dem Begriff «Stand von Wissenschaft und Technik» zu subsumieren ist, so gibt es doch einige Themen, bei denen unter Fachleuten massiv diskutiert wird, wie der Stand von Wissenschaft und Technik zu definieren ist. Beispiele dafür sind die moderne Leittechnik, die Auslegung von Atomanlagen gegen Flugzeugabsturz oder die Beherrschung von Einzelfehlern in sogenannten passiven Systemen wie sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen und Druckbehälter.

Es würde den Umfang dieses Berichtes sprengen, den kompletten Stand von Wissenschaft und Technik, der für Kernkraftwerke einschlägig ist, hier aufzulisten. Im Rahmen dieses Berichtes wird insbesondere auf die Teile des Standes von Wissenschaft und Technik eingegangen, die für eine sicherheitstechnische Bewertung der Schweizer Kernkraftwerke von besonderer Bedeutung sind und die insbesondere bei den Altanlagen nicht oder nur unzureichend erfüllt sind.

Die hier gemachten Aussagen bezüglich der technischen Ausgestaltung der Schweizer Kernkraftwerke sind nicht in jedem Fall durch verifizierte Unterlagen belegbar, da die zur Verfügung stehenden Unterlagen unvollständig, teilweise nicht aktuell und auch die Quellen sich teilweise auf Vermutungen stützen. Es ist auch denkbar, dass der eine oder andere Punkt durch zwischenzeitlich erfolgte Nachrüstungen erledigt ist. Allerdings besteht der Eindruck nach der Lektüre der verschiedenen Dokumente des ENSI, dass das ENSI dazu neigt, trotz weiter verbleibender Defizite, gemessen an dem Stand von Wissenschaft und Technik, diese Defizite dann nicht weiter zu erwähnen bzw. zu problematisieren, wenn der in der Schweiz verwendete Terminus «Stand der Nachrüsttechnik» für die jeweilige Anlage keine Nachrüstforderung ergibt. Der in der Schweiz verwendete behördliche Massstab für das Erfordernis von Nachrüstungen, «Stand der Nachrüsttechnik» ist ein inhaltsleerer Massstab, da sowohl innerhalb der Schweiz, aber auch international dieser Terminus nicht mit konkreten Sicherheitsanforderungen verbunden ist. Er dient lediglich dazu, zu verschleiern, welche Sicherheitsdefizite, gemessen am Stand von Wissenschaft und Technik existieren. Die letztendlich von dem ENSI im Einzelfall geforderten Nachrüstungen sind nicht das Ergebnis eines systematischen Vergleiches mit den heutigen Sicherheitsanforderungen, sondern basieren zum grossen Teil auf Überlegungen bezüglich der Umsetzbarkeit in den veralteten Anlagen. Damit wird hingenommen, dass die bestmögliche Schadensvorsorge nicht gewährleistet ist.

Anzumerken ist weiterhin, dass die der Öffentlichkeit zur Verfügung stehenden Unterlagen an vielen Stellen nicht ausreichend sind, um Ausführungen der Betreiber der Kernkraftwerke und der Aufsichtsbehörde ENSI über Nachweise der Sicherheitseigenschaften zu verifizieren. Eine Begehung der Anlagen war im Rahmen der Studie nicht vorgesehen und hätte auch den Rahmen der Studie gesprengt. Anfragen des Autors dieser Studie bei den Betreibern der Kernkraftwerke Mühleberg und Beznau bezüglich der nachfolgend aufgelisteten Mängel wurden inhaltlich nicht beantwortet [104, 105, 106, 107].

Da meine Auftraggeber auf eine möglichst grosse Allgemeinverständlichkeit Wert legen, sind die Formulierungen entsprechend gewählt. Dies geht teilweise zu Lasten der in der Fachwelt verwendeten Terminologie und damit zu Lasten der Präzision der Aussagen.

Im Folgenden wird in Form einer Synopse anhand besonders wichtiger Beispiele dargestellt, inwieweit die Schweizer Kernkraftwerke den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Kerntechnik einhalten. Für jedes behandelte Sicherheitsthema wird zunächst in einer Kopfzeile der Stand von Wissenschaft und Technik in einer allgemein verständlichen Form beschrieben. Darunter wird anlagenspezifisch der jeweilige Erfüllungsstand dargestellt.

Konstruktion der Reaktordruckbehälter¹

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind Reaktordruckbehälter aus nahtlosen Schmiederingen geschweisst. Es gibt keine Längsnähte. Alle Schweissnähte sind komplett prüfbar. Der Werkstoff besitzt eine ausreichende Zähigkeit.

¹ Im Reaktordruckbehälter befinden sich die Brennelemente mit dem spaltbaren Kernbrennstoff. Der Reaktordruckbehälter hat deshalb eine herausragende Bedeutung für den sicheren Einschluss von radioaktiven Stoffen.

KKW Mühleberg

Vermutlich hat der Reaktordruckbehälter auch Längsschweissnähte. Längsschweissnähte sind besonders anfällig für Risse und Brüche.

Insbesondere die T-förmigen Schweissnahtstellen sind im Hinblick auf Schweissfehler und der daraus resultierenden Rissbildungsgefahr eine konstruktive Schwachstelle. Eine weitere konstruktionsbedingte Schwachstelle ist die Schweissnaht zwischen dem zylindrischen Teil und dem Bodenbereich des Reaktordruckbehälters, da diese Schweissnaht sehr hohen Belastungen ausgesetzt ist. Hinzu kommt, dass gerade diese Schweissnaht nur eingeschränkt prüfbar ist.

Die komplette Prüfbarkeit aller Schweissnähte ist stark eingeschränkt. Eine ins Einzelne gehende Bewertung der Prüfbarkeit wäre nur nach Vorlage der detaillierten Prüfhandbücher mit den Prüfergebnissen möglich.

Die verwendete Stahlsorte hat eine zu geringe Zähigkeit, was die Sprödbruchgefahr erhöht.

In der sicherheitstechnischen Stellungnahme zur periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerkes Mühleberg vom November 2007 wird auf diese Problematik nicht eingegangen.

KKW Beznau

Die Reaktordruckbehälter sind im Hinblick auf die Schweissnähte vergleichbar mit dem KKW Mühleberg. Ebenso hat die verwendete Stahlsorte eine zu geringe Zähigkeit. Daraus ergibt sich eine erhöhte Sprödbruchgefahr. Die Prüfbarkeit der Schweissnähte ist ebenfalls eingeschränkt.

KKW Leibstadt

Die Reaktordruckbehälter sind im Hinblick auf die Schweissnähte vergleichbar mit dem KKW Mühleberg. Die verwendete Stahlsorte ist für Versprödung durch Neutronenbestrahlung nicht so anfällig wie im KKW Mühleberg und Beznau. Die Prüfbarkeit der Schweissnähte ist eingeschränkt.

KKW Gösgen

Für den Reaktordruckbehälter wurden nahtlose Schmiederinge verarbeitet. Dies bedeutet die Vermeidung von Längsschweissnähten und eine geringere Anzahl von Schweissnähten und damit von Schwachstellen. Die Prüfbarkeit der Schweissnähte ist teilweise eingeschränkt.

Die verwendete Stahlsorte hat eine zu geringe Zähigkeit. Die verwendete Stahlsorte ist für Versprödung durch Neutronenbestrahlung nicht so anfällig wie im KKW Mühleberg und Beznau.

Prüfbarkeit der Konstruktion mit zerstörungsfreien Prüfverfahren

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik müssen die sicherheitstechnisch wichtigen Bereiche mit zerstörungsfreien Methoden wie z. B. Ultraschallprüfungen oder Röntgenprüfungen überprüfbar sein. Dies bedeutet, dass neben dem Reaktordruckbehälter wie oben beschrieben auch das Containment und die für die Kühlung des Reaktors wichtigen Rohrleitungen in regelmässigen Abständen überprüfbar sein müssen. Dazu gehören insbesondere die Leitungen von und zum Reaktordruckbehälter wie z. B. die Hauptkühlmittelleitungen, die Dampf führenden Leitungen, die Leitungen für die Bespeisung des Reaktordruckbehälters mit Kühlwasser und die Leitungen für die Notkühlung, die im Falle eines Lecks oder Bruchs in den Hauptleitungen die nicht abschaltbare Nachzerfallswärme abführen sollen. Kann diese Nachzerfallswärme nicht abgeführt werden, kommt es zwangsläufig zu einer Kernschmelze mit Freisetzungen grosser Mengen an radioaktiven Stoffen.

² Der Sicherheitsbehälter (Containment) ist die Stahlbetonkonstruktion, die den Reaktordruckbehälter und wichtige Kühlleitungen und Notkühlleitungen umschliesst und eine wichtige Barriere zum Einschluss von radioaktiven Stoffen darstellt, insbesondere bei Störfällen und Unfällen.

KKW Mühleberg

Es bestehen erhebliche Einschränkungen der Prüfbarkeit insbesondere wegen der teilweise hohen Strahlung und auch der Nichtzugänglichkeit von bestimmten Bereichen mit entsprechenden Messgeräten. Insgesamt ist der Bereich innerhalb des Sicherheitsbehälters (Containment)² so eng, dass wichtige Überprüfungen nicht oder nur eingeschränkt möglich sind. Der Materialzustand des Primärcontainments kann nur unzureichend überprüft werden.

KKW Beznau

Es bestehen erhebliche Einschränkungen der Prüfbarkeit insbesondere wegen der teilweise hohen Strahlung und auch der Nichtzugänglichkeit von bestimmten Bereichen mit entsprechenden Messgeräten.

KKW Leibstadt

Es bestehen erhebliche Einschränkungen der Prüfbarkeit insbesondere wegen der teilweise hohen Strahlung und auch der Nichtzugänglichkeit von bestimmten Bereichen mit entsprechenden Messgeräten. Verglichen mit dem KKW Mühleberg ist die Situation wegen des grösseren Volumens des Primärcontainments etwas günstiger.

KKW Gösgen

Die Situation ist in einigen Bereichen günstiger als bei den anderen Schweizer Kernkraftwerken. Allerdings bestehen auch Einschränkungen der Prüfbarkeit insbesondere wegen der teilweise hohen Strahlung und auch der Nichtzugänglichkeit von bestimmten Bereichen mit entsprechenden Messgeräten.

Ausführung der Rohre der druckführenden Umschliessung³

Nach Stand von Wissenschaft und Technik sind diese Rohre aus nahtlosen Rohrstücken zusammengesweisst, so dass Längsschweissnähte nicht erforderlich sind. Die Wandstärke der Rohre ist so gewählt, dass auch für auslegungsüberschreitende Ereignisse⁴ Reserven vorhanden sind.

³ Die druckführende Umschliessung wird aus Rohren gebildet, die direkt mit dem Reaktordruckbehälter verbunden sind, ohne dass eine gegenseitige Absperrmöglichkeit besteht. Es handelt sich dabei insbesondere um Hauptkühlmittelleitungen, Druckhalterleitung bei den Druckwasserreaktoren und direkte Anschlussleitungen an die Hauptkühlmittelleitungen bis zur ersten Absperrmöglichkeit.

⁴ Auslegungsüberschreitende Ereignisse sind Ereignisse, für die die Anlage nicht ausgelegt ist, die aber nicht gänzlich ausgeschlossen werden können. Beispiele sind grosse Lecks im Reaktordruckbehälter, totaler Stromausfall durch Überflutung.

KKW Mühleberg

Zum Errichtungszeitpunkt des KKW Mühleberg wurden teilweise auch Halbschalen für Rohre der druckführenden Umschliessung verwendet. Dies bedeutet, dass auch Schweisslängsnähte mit ihren hohen Spannungen und damit erhöhter Riss- und Bruchgefahr nicht auszuschliessen sind.

Die Wandstärken der Rohre haben keine bzw. nur geringe Reserven für auslegungsüberschreitende Ereignisse.

KKW Beznau

Zum Errichtungszeitpunkt des KKW Beznau wurden teilweise auch Halbschalen für Rohre der druckführenden Umschliessung verwendet. Dies bedeutet, dass auch Schweisslängsnähte mit ihren hohen Spannungen und damit erhöhter Riss- und Bruchgefahr nicht auszuschliessen sind.

Die Wandstärken der Rohre haben keine bzw. nur geringe Reserven für auslegungsüberschreitende Ereignisse.

KKW Leibstadt

Zum Errichtungszeitpunkt des KKW Leibstadt wurden teilweise auch Halbschalen für Rohre der druckführenden Umschliessung verwendet. Dies bedeutet, dass auch Schweisslängsnähte mit ihren hohen Spannungen und damit erhöhter Riss- und Bruchgefahr nicht auszuschliessen sind.

Die Wandstärken der Rohre haben keine bzw. nur geringe Reserven für auslegungsüberschreitende Ereignisse.

Die Unterschiede zu Mühleberg und Beznau, die sicherlich bestehen, können den öffentlich zugänglichen Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Gösgen

Zum Errichtungszeitpunkt des KKW Gösgen wurden teilweise auch Halbschalen für Rohre der druckführenden Umschliessung verwendet. Dies bedeutet, dass auch Schweisslängsnähte mit ihren hohen Spannungen und damit erhöhter Riss- und Bruchgefahr nicht auszuschliessen sind.

Die Wandstärken der Rohre haben keine bzw. nur geringe Reserven für auslegungsüberschreitende Ereignisse. Die Unterschiede zu Mühleberg und Beznau, die sicherlich bestehen, können den öffentlich zugänglichen Unterlagen nicht entnommen werden.

Einhaltung des Bruch-ausschlusskonzeptes (Basissicherheit) für wichtige Rohrleitungen

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist für die druckführende Umschliessung und die drucktragenden Wandungen von Komponenten der äusseren Systeme die Basissicherheit durch die Einhaltung nachfolgender Kriterien nachzuweisen:

- Einsatz hochwertiger Werkstoffe, insbesondere hinsichtlich Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit,
- konservative Begrenzung der Spannungen,
- Vermeidung von Spannungsspitzen durch optimierte Konstruktion und
- Gewährleistung der Anwendung optimierter Herstellungs- und Prüftechnologien.

Diese Kriterien sind im Einzelnen in einschlägigen Regeln präzise erläutert.

Bei Einhaltung der Kriterien der Basissicherheit wird ein spontaner Bruch einer Rohrleitung erheblich unwahrscheinlicher. Werden die Kriterien der Basissicherheit nicht eingehalten, so muss der doppelendige Bruch der betroffenen Rohrleitung bei den Störfallbetrachtungen unterstellt werden. Vielfache Untersuchungen der Störfallsicherheit bei Kernkraftwerken zeigen, dass eine komplette Störfallbeherrschung ohne Basissicherheit nicht nachgewiesen werden kann.

KKW Mühleberg

Die Kriterien der Basissicherheit sind nicht bzw. nur teilweise eingehalten, insbesondere deshalb, weil die Kriterien erst nach der Fertigung der Komponenten für das Kraftwerk entwickelt wurden. Bei Nichteinhaltung der Kriterien für die Basissicherheit besteht ein grösseres Risiko für grössere Leckagen und Brüche in sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen. Leckagen und Brüche können Vorläufer von schweren Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe sein.

Eine nachträgliche Feststellung der kompletten Basissicherheit ist nicht möglich, da bestimmte Prüfungen nur herstellungsbegleitend durchgeführt werden können und diese zu einem späteren Zeitpunkt nicht nachgeholt werden können.

KKW Beznau

Die Kriterien der Basissicherheit sind nicht bzw. nur teilweise eingehalten, insbesondere deshalb, weil die Kriterien erst nach der Fertigung der Komponenten für das Kraftwerk entwickelt wurden. Bei Nichteinhaltung der Kriterien für die Basissicherheit besteht ein grösseres Risiko für grössere Leckagen und Brüche in sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen. Leckagen und Brüche können Vorläufer von schweren Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe sein.

Eine nachträgliche Feststellung der kompletten Basissicherheit ist nicht möglich, da bestimmte Prüfungen nur herstellungsbegleitend durchgeführt werden können und diese zu einem späteren Zeitpunkt nicht nachgeholt werden können.

KKW Leibstadt

Die Kriterien der Basissicherheit sind nicht bzw. nur teilweise eingehalten, insbesondere deshalb, weil die Kriterien erst nach der Fertigung der Komponenten für das Kraftwerk entwickelt wurden. Bei Nichteinhaltung der Kriterien für die Basissicherheit besteht ein grösseres Risiko für grössere Leckagen und Brüche in sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen. Leckagen und Brüche können Vorläufer von schweren Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe sein.

Eine nachträgliche Feststellung der kompletten Basissicherheit ist nicht möglich, da bestimmte Prüfungen nur herstellungsbegleitend durchgeführt werden können und diese zu einem späteren Zeitpunkt nicht nachgeholt werden können.

Es ist davon auszugehen, dass im KKW Leibstadt im Vergleich zu Mühleberg und Beznau die Anforderungen der Basissicherheit in grösserem Umfang eingehalten sind. Genaues könnte nur nach Vorlage der Prüfdokumente der entsprechenden Rohrleitungen festgestellt werden.

KKW Gösgen

Die Kriterien der Basissicherheit sind nicht bzw. nur teilweise eingehalten, insbesondere deshalb, weil die Kriterien erst nach der Fertigung der Komponenten für das Kraftwerk entwickelt wurden. Bei Nichteinhaltung der Kriterien für die Basissicherheit besteht ein grösseres Risiko für grössere Leckagen und Brüche in sicherheitstechnisch wichtigen Rohrleitungen. Leckagen und Brüche können Vorläufer von schweren Unfällen mit Freisetzungen radioaktiver Stoffe sein.

Eine nachträgliche Feststellung der kompletten Basissicherheit ist nicht möglich, da bestimmte Prüfungen nur herstellungsbegleitend durchgeführt werden können und diese zu einem späteren Zeitpunkt nicht nachgeholt werden können.

Es ist davon auszugehen, dass im KKW Gösgen im Vergleich zu Mühleberg und Beznau die Anforderungen der Basissicherheit in grösserem Umfang eingehalten sind. Genaues könnte nur nach Vorlage der Prüfdokumente der entsprechenden Rohrleitungen festgestellt werden.

Not-und Nachkühlstränge⁵

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind die mehrfach vorhandenen Teilsysteme (Redundanzen) von Sicherheitseinrichtungen wie Not- und Nachkühlstränge räumlich getrennt aufgestellt oder so geschützt, dass ein gleichzeitiger Ausfall der mehrfach vorhandenen Teilsysteme (redundanzübergreifender Ausfall) verhindert ist. Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind vier voneinander unabhängige Not-und Nachkühlstränge vorhanden. Diese vier voneinander unabhängigen Stränge sind so aufgebaut, dass sie ihre Funktion auch dann erfüllen können, wenn ein Strang aufgrund eines Fehlers (z. B. fehlende Energieversorgung (aktiver Einzelfehler) oder Leck bzw. Bruch, Verstopfung, Vibration, Brand (passiver Einzelfehler)) ausfällt und gleichzeitig ein zweiter Strang wegen einer daran durchgeführten Reparatur nicht zur Verfügung steht (Beherrschung eines passiven oder aktiven Einzelfehlers in einem Strang bei gleichzeitiger Freischaltung eines anderen Stranges aufgrund einer Reparatur).

⁵ Die Not-und Nachkühlstränge sind sicherheitstechnisch besonders wichtige Einrichtungen, bestehend aus Rohrleitungen, Pumpen, Armaturen und elektrischen Versorgungseinrichtungen, die die Brennelemente zuverlässig kühlen sollen, wenn die betrieblichen Kühleinrichtungen aufgrund von Störfällen wie Bruch oder Ausfall der Stromversorgung nicht mehr zur Verfügung stehen.

KKW Mühleberg

Im KKW Mühleberg ist die räumliche Trennung der einzelnen Stränge der Not-und Nachkühlstränge nicht konsequent durchgeführt. Das gilt auch für das nachträglich eingebaute «Spezielles unabhängiges System zur Abfuhr der Nachzerfallswärme» SUSAN, das die grossen Schwächen des ursprünglich vorhandenen Notkühlsystems ausgleichen soll. Der passive Einzelfehler wird grundsätzlich nicht beherrscht bzw. seine Beherrschung ist nicht nachgewiesen.

Es gibt Hinweise, dass Teile der Systeme die geforderte Freischaltmöglichkeit für die Reparatur eines Stranges nicht zulassen, da die Anzahl der Stränge zu gering ist.

KKW Beznau

Im KKW Beznau ist die räumliche Trennung der Redundanzen der Not-und Nachkühlstränge nicht konsequent durchgeführt. So ist z. B. das sogenannte Nebenkühlwassersystem als Teil der Not- und Nachkühlstränge nicht durchgehend räumlich getrennt. Der passive Einzelfehler wird grundsätzlich nicht beherrscht bzw. seine Beherrschung ist nicht nachgewiesen.

KKW Leibstadt

In der sicherheitstechnischen Stellungnahme des ENSI vom August 2009 zur periodischen Sicherheitsüberprüfung 2008 des Kernkraftwerkes Leibstadt wird nur für einige Bereiche die konsequente räumliche Trennung angesprochen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass Teile der Notkühlssysteme nicht räumlich konsequent getrennt sind. Die Beherrschung des passiven Einzelfehlers ist nicht nachgewiesen.

KKW Gösgen

Laut der sicherheitstechnischen Stellungnahme zur periodischen Sicherheitsüberprüfung 2008 des Kernkraftwerks Gösgen vom ENSI ist im KKW Gösgen die räumliche Trennung konsequent durchgeführt. Das KKW Gösgen verfügt nur über drei komplette Not-und Nachkühlstränge. Zwar ist der erste Teil des dreistufigen Not-und Nachkühlsystems viersträngig aufgebaut, der zweite und dritte Teil (Zwischenkühlsystem und Nebenkühlwassersystem) ist nur dreisträngig aufgebaut. Der Einzelfehler bei gleichzeitiger Reparatur einer Redundanz wird schon deshalb nicht beherrscht.

Sicherheitsbehälter (Containment)

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist der Sicherheitsbehälter so zu gestalten, dass er seine Funktion auch bei Ereignissen der nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik zu unterstellenden Störfällen, sogenannte Auslegungsstörfälle⁶, behält.

⁶ Auslegungsstörfälle sind definierte Störfälle, für die die Kernkraftwerke auszulegen sind. In den einschlägigen Regeln sind ca. 50 verschiedene Auslegungsstörfälle definiert wie z. B. Ausfall der Stromversorgung, irrtümliches Einspeisen von Kaltwasser, wodurch die Wärmeproduktion durch erhöhte Kernspaltung unzulässig erhöht wird (Transientenstörfälle) oder Bruch einer wichtigen Kühlmittelleitung (Leckstörfälle).

Reaktorschnellabschaltung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist das Reaktorschnellabschaltungssystem nach den Grundsätzen von Redundanz⁷ und räumlicher Trennung⁸ aufgebaut.

⁷ Redundanz in diesem Zusammenhang bedeutet, dass die Funktion der Reaktorschnellabschaltung durch mehrere Systeme realisiert ist, um den möglichen Ausfall eines Systemteils (Redundanz) zu kompensieren.

⁸ Unter dem Prinzip der räumlichen Trennung versteht man die Unterbringung der Redundanzen in verschiedenen bautechnisch abgetrennten Bereichen, um eine gegenseitige negative Beeinflussung zu vermeiden.

KKW Mühleberg

Eine vom ENSI geprüfte Analyse der Störfallbeherrschung liegt nicht vor. Da das Sekundärcontainment, innerhalb dessen sich wichtige sicherheitstechnische Einrichtungen befinden, teilweise nur eine Dicke von 15 cm aufweist, ist ein positiver Nachweis der kompletten Beherrschung von Auslegungsstörfällen nicht denkbar.

KKW Beznau

Eine vom ENSI geprüfte Analyse der Störfallbeherrschung liegt nicht vor.

KKW Leibstadt

Eine vom ENSI geprüfte Analyse der Störfallbeherrschung liegt nicht vor. Aufgrund des andersartigen Aufbaus des Sicherheitsbehälters kann von einem besseren Schutz gegen Auslegungsstörfälle als bei der Anlage Mühleberg ausgegangen werden.

KKW Gösgen

Eine vom ENSI geprüfte Analyse der Störfallbeherrschung liegt nicht vor.

Insgesamt ist jedoch der Sicherheitsbehälter des KKW Gösgen günstiger zu beurteilen als der der Anlagen Beznau und Mühleberg.

KKW Mühleberg

Ist nur bei wenigen Komponenten des Reaktorschnellabschaltungssystems erfüllt.

KKW Beznau

Prinzipiell hat das Schnellabschaltungssystem beim Druckwasserreaktor Beznau gegenüber den Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt erhebliche Sicherheitsvorteile, da die Schwerkraft für das Einfallen der Steuerstäbe ausreichend ist. Aktive Komponenten sind nur in begrenztem Masse erforderlich. Inwieweit diese die o.g. Prinzipien erfüllen, konnte den bisher veröffentlichten Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Leibstadt

Im Vergleich zum KKW Mühleberg sind die o.g. Prinzipien in einem grösseren Umfang implementiert. Allerdings gibt es auch in Leibstadt Abweichungen.

KKW Gösgen

Prinzipiell hat das Schnellabschaltungssystem beim Druckwasserreaktor Gösgen gegenüber den Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt erhebliche Sicherheitsvorteile, da die Schwerkraft für das Einfallen der Steuerstäbe ausreichend ist. Aktive Komponenten sind nur in begrenztem Masse erforderlich. Die aktiven Komponenten erfüllen die o.g. Prinzipien weitgehend.

RISIKO ALTREAKTOREN SCHWEIZ

Reaktorabschaltung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist ein zweites zuverlässiges Abschaltsystem vorhanden.

30-Minuten-Konzept

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist das sogenannte 30-Minuten-Konzept⁹ eingehalten.

⁹ Das 30-Minuten-Konzept verlangt, dass die Aktivierung von Sicherheitseinrichtungen automatisch so ausgeführt wird, dass Handmassnahmen durch die Operateure frühestens bzw. erst 30 Minuten nach Eintritt eines Auslegungsstörfalles erforderlich werden, um eine Kernschmelze zu vermeiden.

KKW Mühleberg

Zweites System ist vorhanden. Die Zuverlässigkeit ist jedoch gering, da die Einspeisung von neutronenabsorbenden Stoffen nur sehr langsam abläuft.

KKW Mühleberg

Nicht für alle zu unterstellenden Auslegungsstörfälle nachgewiesen [102] Seite 132. Der genaue Erfüllungsgrad kann nur auf der Basis von technischen Unterlagen ermittelt werden, die bisher nicht veröffentlicht wurden.

KKW Beznau

Zweites System ist vorhanden.

KKW Beznau

Nicht für alle zu unterstellenden Auslegungsstörfälle nachgewiesen [102] Seite 132. Der genaue Erfüllungsgrad kann nur auf der Basis von technischen Unterlagen ermittelt werden, die bisher nicht veröffentlicht wurden.

KKW Leibstadt

Zweites System ist vorhanden. Im Vergleich zum KKW Mühleberg erheblich schnellere Abschaltung durch das zweite System möglich.

KKW Leibstadt

Nicht für alle zu unterstellenden Auslegungsstörfälle nachgewiesen [102] Seite 132. Der genaue Erfüllungsgrad kann nur auf der Basis von technischen Unterlagen ermittelt werden, die bisher nicht veröffentlicht wurden.

KKW Gösgen

Zweites System ist vorhanden.

KKW Gösgen

Nicht für alle zu unterstellenden Auslegungsstörfälle nachgewiesen [102] Seite 132. Der genaue Erfüllungsgrad kann nur auf der Basis von technischen Unterlagen ermittelt werden, die bisher nicht veröffentlicht wurden.

RISIKO ALTREAKTOREN SCHWEIZ

Stromversorgung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik bestehen mindestens drei unabhängige Netzanbindungen an das öffentliche Stromnetz.

KKW Mühleberg

Es bestehen drei Netzanbindungen bei Berücksichtigung des Wasserkraftwerks Mühleberg. Im Vergleich zu den anderen Schweizer Anlagen ist jedoch die Netzanbindung unter dem Aspekt des Sabotageschutzes verletzlich. Inwieweit die drei Netzanbindungen sicherheitstechnisch als wirklich unabhängig betrachtet werden können, kann den vorliegenden Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Beznau

Es sind nur zwei Netzanbindungen vorhanden bei Berücksichtigung des Hydrowerkes Beznau.

KKW Leibstadt

Erfüllt.

KKW Gösgen

Es bestehen drei Netzanbindungen bei Berücksichtigung des Wasserkraftwerks Gösgen.

Notstromversorgung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist die Versorgung der Sicherheitssysteme¹⁰ mit Notstrom 4-strängig¹¹ mit je einem Dieselgenerator realisiert.

¹⁰ Sicherheitssysteme sind Einrichtungen, die bei Ausfall der betrieblichen Systeme dafür sorgen sollen, dass es zu keinen grossen Freisetzungen radioaktiver Stoffe kommt. Beispiele: Notkühlsystem, Reaktorschnellabschaltungssystem.

¹¹ 4-strängig bedeutet, dass die erforderlichen Funktionen vierfach vorhanden sind unter Beachtung des Prinzips der räumlichen Trennung der einzelnen Stränge.

KKW Mühleberg

Nur 3 Dieselgeneratoren, wobei ein Diesel nur Stränge 1 und 2 und 2 Dieselgeneratoren (SUSAN) Stränge 3 und 4 versorgen.

KKW Beznau

Nicht erfüllt, da Zuverlässigkeit der Notstromdiesel nicht komplett die Anforderungen an Sicherheitssysteme erfüllt.

KKW Leibstadt

Nur 3 Notstromgeneratoren vorhanden, die die Anforderungen an Sicherheitssysteme erfüllen.

KKW Gösgen

Erfüllt.

RISIKO ALTREAKTOREN SCHWEIZ

Notstromversorgung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind zusätzlich zu den o.g. Notstromeinrichtungen weitere Notstromversorgungseinrichtungen zur Beherrschung von äusseren Einwirkungen, sogenannter Notstandsfall (z. B. Erdbeben und Hochwasser) bestehend aus vier Strängen mit je einem Dieseldieselgenerator im geschützten Gebäude vorhanden.

KKW Mühleberg

Die Notstromeinrichtungen entsprechen insgesamt nicht den Anforderungen, da zusätzliche Notstromversorgungseinrichtungen zur Beherrschung von äusseren Einwirkungen nicht vorhanden sind. Das SUSAN erfüllt diese Anforderung nicht, da seine Notstromversorgungseinrichtung schon für die Versorgung der Sicherheitssysteme «verbraucht» ist.

KKW Beznau

Nur teilweise vorhanden. Die zugänglichen Unterlagen lassen keine genaue Analyse der Situation zu. Vorgesehene Nachrüstung (AUTANOVE 500 Mio. CHF) soll Verbesserungen bringen. Gemäss Aussagen des ENSI werden grundlegende Sicherheitsmerkmale (Einzelfehlersicherheit) zwar verbessert aber immer noch nicht durchgehend erreicht.

KKW Leibstadt

Nur 2 zusätzliche Notstandsgeneratoren vorhanden.

KKW Gösgen

Nur 2 zusätzliche Notstandsdiesel vorhanden.

Notstromversorgung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind die vier Stränge der Notstromversorgung konsequent getrennt (entmascht) und baulich bzw. räumlich getrennt, um eine gegenseitige negative Beeinträchtigung zu vermeiden.

KKW Mühleberg

Weitgehend nicht erfüllt.

KKW Beznau

Weitgehend nicht erfüllt.

KKW Leibstadt

Weitgehend erfüllt.

KKW Gösgen

Weitgehend erfüllt.

Sicherheitsleittechnik¹²

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind die mehrfach ausgeführten Leitungen und Kabel bautechnisch getrennt in verschiedenen Brandabschnitten untergebracht.

KKW Mühleberg

Weitgehend nicht erfüllt.

KKW Beznau

Weitgehend nicht erfüllt.

KKW Leibstadt

Weitgehend erfüllt.

KKW Gösgen

Weitgehend erfüllt.

¹² Die Sicherheitsleittechnik umfasst die Mess- und Steuerungsleitungen für die Steuerung der Sicherheitssysteme.

Erdbeben

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind Kernkraftwerke gegen ein Bemessungserdbeben, das nach aktuellem Stand von Wissenschaft und Technik ermittelt ist, ausgelegt und überprüft. Auswirkungen der Alterung sind bei der Ermittlung der Erdbebensicherheit berücksichtigt.

¹³ Probabilistische Erdbeben-Gefährdungs-Analyse für die KKW-Standorte in der Schweiz

¹⁴ Der Kontrollraum ist der zentrale Kontroll- und Steuerungsraum für das Kernkraftwerk.

KKW Mühleberg

Die Erdbebenauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Die umfassende Studie Pegasos¹³ zeigt, dass die Schädigungsrisiken deutlich höher sind als das was bisher der Auslegung der Schweizer KKW zu Grunde gelegt wurde. In Verbindung mit den sonstigen Auslegungsmängeln des KKW Mühleberg ist bei einem Erdbeben, gegen das das KKW nicht ausgelegt ist, mit erheblichen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen zu rechnen. Es gibt zudem deutliche Hinweise dafür, dass sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen wie der Kontrollraum¹⁴ im KKW Mühleberg nicht gegen die ursprünglich zugrunde gelegte niedrigere Erdbebengefährdung ausgelegt sind. Der sicherheitstechnischen Stellungnahme zur periodischen Sicherheitsüberprüfung des KKW Mühleberg vom November 2007 kann entnommen werden, dass sicherheitstechnisch bedeutsame Systeme nicht gegen das ursprünglich festgelegte Sicherheitserdbeben SSE ausgelegt sind. Trotzdem stellt das ENSI eine ausreichende Erdbebenauslegung fest. Dies kann nur damit erklärt werden, dass hier KKM spezifische Vorgaben definiert wurden, die weit vom heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entfernt sind.

In den Unterlagen gibt es keine Hinweise auf Berücksichtigung von Alterungseffekten bei der Ermittlung der Erdbebensicherheit.

KKW Beznau

Die Erdbebenauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Die umfassende Studie Pegasos über die Erdbebengefährdung in der Schweiz zeigt deutlich, dass die Schädigungsrisiken deutlich höher sind als das was bisher der Auslegung der Schweizer KKW zu Grunde gelegt wurde. Insbesondere in Verbindung mit den sonstigen Auslegungsmängeln des KKW Beznau ist bei einem Erdbeben, gegen das das KKW Beznau nicht ausgelegt ist, mit erheblichen Freisetzungen von radioaktiven Stoffen zu rechnen.

In den Unterlagen gibt es keine Hinweise auf Berücksichtigung von Alterungseffekten bei der Ermittlung der Erdbebensicherheit.

KKW Leibstadt

Die Erdbebenauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Die umfassende Studie Pegasos über die Erdbebengefährdung in der Schweiz zeigt deutlich, dass die Schädigungsrisiken deutlich höher sind als das was bisher der Auslegung der Schweizer KKW zu Grunde gelegt wurde.

Im Vergleich zu den Anlagen Mühleberg und Beznau ist jedoch, bedingt durch die spätere Planungs- und Bauzeit, die Erdbebenauslegung günstiger zu beurteilen.

In den Unterlagen gibt es keine Hinweise auf Berücksichtigung von Alterungseffekten bei der Ermittlung der Erdbebensicherheit. Da die Anlage jünger ist als Mühleberg und Beznau, kann man davon ausgehen, dass der negative Alterungseffekt bei der Erdbebensicherheit nicht so gravierend ist.

KKW Gösgen

Die Erdbebenauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Die umfassende Studie Pegasos über die Erdbebengefährdung in der Schweiz zeigt deutlich, dass die Schädigungsrisiken deutlich höher sind als das was bisher der Auslegung der Schweizer KKW zu Grunde gelegt wurde.

Im Vergleich zu den Anlagen Mühleberg und Beznau ist jedoch, bedingt durch die spätere Planungs- und Bauzeit, die Erdbebenauslegung günstiger zu beurteilen.

In den Unterlagen gibt es keine Hinweise auf Berücksichtigung von Alterungseffekten bei der Ermittlung der Erdbebensicherheit. Da die Anlage jünger ist als Mühleberg und Beznau, kann man davon ausgehen, dass der negative Alterungseffekt bei der Erdbebensicherheit nicht so gravierend ist.

Externe Überflutung

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind für Hochwasserereignisse eine maximale Überflutungshöhe des Kernkraftwerkes und eine dazugehörige Überflutungsdauer nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen festgelegt und die Anlage so geschützt, dass es unter diesen Bedingungen zu keiner Überflutung sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen kommt.

KKW Mühleberg

Die Hochwasserauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Es gibt eine Fülle von wissenschaftlichen Abhandlungen, die nachweisen, dass die Überflutungsrisiken in der Schweiz bisher weit unterschätzt wurden.

Insbesondere sind erhebliche Überflutungsrisiken des Kernkraftwerkes Mühleberg bei einem Bruch der Stauanlagen Wohlensee und Saane vorhanden. Nach allen bekannten Studien über die Staumauer des Wohlensee hält diese einem Erdbeben, gegen das Kernkraftwerke ausulegen sind nicht stand (sogenanntes 10000-jähriges Erdbeben).

Ausserdem besteht die Gefahr, dass bei einem Bruch durch mitgeführten Schlamm, Geröll und verkeiltes Treibgut, die Kühlkanäle verstopft werden.

Da das SUSAN die Anforderungen eines Sicherheitssystems nicht erfüllt, ist die Aussage von ENSI falsch, dass damit die Beherrschung bestimmter Hochwasserszenarien nachgewiesen sei. Der Hochwasserschutz muss ohne Berücksichtigung von SUSAN gewährleistet sein.

KKW Beznau

Die Hochwasserauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Es gibt eine Fülle von wissenschaftlichen Abhandlungen, die nachweisen, dass die Überflutungsrisiken in der Schweiz bisher weit unterschätzt wurden.

KKW Leibstadt

Die Hochwasserauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Es gibt eine Fülle von wissenschaftlichen Abhandlungen, die nachweisen, dass die Überflutungsrisiken in der Schweiz bisher weit unterschätzt wurden.

KKW Gösgen

Die Hochwasserauslegung ist nicht nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik nachgewiesen. Es gibt eine Fülle von wissenschaftlichen Abhandlungen, die nachweisen, dass die Überflutungsrisiken in der Schweiz bisher weit unterschätzt wurden.

Flugzeugabsturz

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind Kernkraftwerke gegen den gezielten und unfallbedingten Flugzeugabsturz von grossen Zivilflugzeugen (B747, A380) ausgelegt.

KKW Mühleberg

Nur ein kleiner Teil der sicherheitstechnisch wichtigen Systeme sind gegen kleinere Flugzeuge geschützt (Systeme im Notstandsgebäude SUSAN).

KKW Beznau

Aufgrund der geringen Stärke von Primärcontainment und Reaktorgebäude kein ausreichender Schutz.

KKW Leibstadt

Aufgrund der geringen Stärke von Primärcontainment und Reaktorgebäude kein ausreichender Schutz. Der Schutz gegen einen Flugzeugabsturz ist aber insgesamt besser als beim KKW Mühleberg.

KKW Gösgen

Aufgrund der geringen Stärke von Primärcontainment und Reaktorgebäude kein ausreichender Schutz (punktuelle Berücksichtigung B707 auf das Reaktorgebäude und Schaltanlagegebäude).

Der Schutz gegen einen Flugzeugabsturz ist aber insgesamt besser als beim KKW Mühleberg.

Nachwärmeabfuhr

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik ist die Nachwärmeabfuhr¹⁵ aus der Anlage in allen Betriebszuständen, auch bei Ausfall der primären Wärmesenke¹⁶, aufgrund von Ausfallsursachen im Bereich der Kühlwasserentnahmen und Kühlwasserrückführungen durch eine diversitäre Wärmesenke¹⁷ sichergestellt.

KKW Mühleberg

Ausser der Aare keine Wärmesenke vorhanden, deshalb Anforderung nicht erfüllt.

KKW Beznau

Vermutlich durch Grundwasserentnahmemöglichkeit erfüllt. Einzelheiten können dazu den Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Leibstadt

Vermutlich durch Grundwasserentnahmemöglichkeit erfüllt. Einzelheiten können dazu den Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Gösgen

Vermutlich durch Grundwasserentnahmemöglichkeit erfüllt. Einzelheiten können dazu den Unterlagen nicht entnommen werden.

¹⁵ Die Nachwärme ist die bei einem Kernkraftwerk nicht abzuschaltende Wärmeproduktion, die aufgrund der Strahlung der radioaktiven Stoffe im Reaktordruckbehälter entsteht, und die bei Nichtkühlung zu einer Kernschmelze führt.

¹⁶ Die primäre Wärmesenke ist in der Regel die Möglichkeit, die Nachwärme über die Notkühleinrichtungen an einen Fluss abzugeben.

¹⁷ Eine diversitäre Wärmesenke bietet die Möglichkeit, unabhängig von der primären Wärmesenke die Nachwärme an die Umgebung durch ein zweites System (z. B. Grundwasserentnahme oder spezieller Kühlturm) abzugeben

Füllstandsmessung im Reaktordruckbehälter¹⁸

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik kann der Füllstand im Reaktordruckbehälter bei allen Zuständen (Normalbetrieb, Störfälle, auslegungsüberschreitender Bereich) zuverlässig gemessen werden.

¹⁸ Die präzise Füllstandsmessung im Reaktordruckbehälter unter allen Betriebsbedingungen ist ausserordentlich wichtig. Ereignisse in der Vergangenheit haben gezeigt, dass die Betriebsmannschaft bei fehlerhafter Füllstandsanzeige falsch reagiert hat und es deshalb zu einer Verschärfung der Situation gekommen ist.

Periodische Sicherheitsüberprüfungen (PSÜ) für Kernkraftwerke

Nach der entsprechenden IAEA-Sicherheitsrichtlinie NS-G-2.10¹⁹, beinhalten periodische Sicherheitsüberprüfungen eine Bewertung der Sicherheit von Kernkraftwerken auf der Basis jeweils aktueller Sicherheitsnormen²⁰.

¹⁹ Sicherheitsrichtlinie der internationalen Atomenergieorganisation. Die Schweiz hat sich völkerrechtlich verbindlich verpflichtet, die Vorgaben der IAEA Sicherheitsrichtlinien einzuhalten.

²⁰ Eine solche Bewertung würde auch in der Schweiz die Sicherheitssituation der einzelnen KKW transparent darstellen, so dass sich jedermann ein Bild vom Sicherheitszustand des jeweiligen KKW machen könnte. Auch ein Vergleich zwischen den einzelnen Schweizer Anlagen im Sinne eines Sicherheitsrankings wäre möglich.

KKW Mühleberg

Die derzeit eingesetzten Füllstandsmesseinrichtungen sind bei bestimmten Störfällen und Unfällen sehr unzuverlässig.

KKW Beznau

Einzelheiten zur Qualität der Füllstandsmesseinrichtungen sind unbekannt.

KKW Leibstadt

Die derzeit eingesetzten Füllstandsmesseinrichtungen sind bei bestimmten Störfällen und Unfällen sehr unzuverlässig.

KKW Gösgen

Einzelheiten zur Qualität der Füllstandsmesseinrichtungen sind unbekannt.

KKW Mühleberg

Vorliegende PSÜ weisen die Abweichungen von aktuellen Sicherheitsnormen nur teilweise aus.

KKW Beznau

Vorliegende PSÜ weisen die Abweichungen von aktuellen Sicherheitsnormen nur teilweise aus.

KKW Leibstadt

Vorliegende PSÜ weisen die Abweichungen von aktuellen Sicherheitsnormen nur teilweise aus.

KKW Gösgen

Vorliegende PSÜ weisen die Abweichungen von aktuellen Sicherheitsnormen nur teilweise aus.

Hochdruckeinspeisung bei Siedewasserreaktoren²¹

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gibt es mindestens drei Hochdruckeinspeisestränge²² die die Anforderungen von Sicherheitssystemen erfüllen.

²¹ In der Schweiz nur relevant für die Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt.

²² Die Möglichkeit der sicheren Hochdruckeinspeisung ist, wie Sicherheitsanalysen zeigen, für die Beherrschung von kleineren Leckagen in den Kühlleitungen und bestimmten Transienten ausserordentlich wichtig.

Mitteldruckeinspeisung bei Siedewasserreaktoren²³

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gibt es mindestens ein Mitteldruckeinspeisesystem zur Erhöhung der Zuverlässigkeit der Notkühlung.

²³ In der Schweiz nur relevant für die Siedewasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt.

KKW Mühleberg

Für die Hochdruckeinspeisung steht lediglich das zweisträngige Kernisolationskühlsystem (RCIC) zur Verfügung. Die beiden Pumpen sind auf der 11 m Ebene des Reaktorgebäudes nicht räumlich getrennt. Eine gegenseitige negative Beeinflussung ist deshalb nicht auszuschliessen.

KKW Beznau

KKW Leibstadt

Für die Hochdruckeinspeisung steht lediglich ein zweisträngiges System zur Verfügung.

KKW Gösgen

KKW Mühleberg

Nicht vorhanden.

KKW Beznau

KKW Leibstadt

Nicht vorhanden.

KKW Gösgen

Niederdruckeinspeisung bei Siedwasserreaktoren²⁴

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gibt es mindestens ein Niederdruckeinspeisesystem mit 3 Strängen und einer Kapazität²⁵ von 3 x 100 % oder 4 Strängen mit einer Kapazität von 4 x 50 %.

²⁴ In der Schweiz nur relevant für die Siedwasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt.

²⁵ Kapazität bezieht sich auf die erforderliche Kühlleistung zur Abfuhr der bei Auslegungsstörfällen entstehenden Wärmemenge.

Druckentlastung des Reaktordruckbehälters bei Siedwasserreaktoren²⁶

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gibt es ca. 15 Druckentlastungsmöglichkeiten bei Siedwasserreaktoren.

²⁶ In der Schweiz nur relevant für die Siedwasserreaktoren Mühleberg und Leibstadt.

KKW Mühleberg

Nur 2 x 100 % vorhanden. Dadurch Einzelfehler und Reparaturfall nicht abgedeckt.

KKW Beznau

KKW Leibstadt

Nur 2 Stränge vorhanden, Kapazität unbekannt. Einzelfehler und Reparaturfall nicht abgedeckt.

KKW Gösgen

KKW Mühleberg

Besitzt lediglich zwei Druckentlastungsventile. Ein zusätzliches automatisches Druckabbausystem mit vier Sicherheitsabblaseventilen ist vorhanden. Einzelheiten des Druckabbausystems können den vorhandenen Unterlagen nicht entnommen werden.

KKW Beznau

KKW Leibstadt

16 Druckentlastungsventile vorhanden.

KKW Gösgen

Anzahl der Loops²⁷

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik besitzen moderne Druckwasserreaktoren 4 Loops.

²⁷ In der Schweiz nur relevant für die Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen.

KKW Mühleberg**KKW Beznau**

Das KKW Beznau hat nur 2 Hauptkühlmittelschleifen (Loops). Dies hat negative Auswirkungen auf die Konzeption der Sicherheitssysteme (z. B. auf die Einspeisung der Notkühlstränge).

KKW Leibstadt**KKW Gösgen**

Das KKW Gösgen hat nur 3 Hauptkühlmittelschleifen (Loops). Dies hat ebenfalls negative Auswirkungen auf die Konzeption der Sicherheitssysteme (z. B. auf die Einspeisung der Notkühlstränge). Das KKW Gösgen ist unter diesem Aspekt allerdings günstiger zu beurteilen als das KKW Beznau.

Konstruktion der Dampferzeuger²⁸

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik sind die Dampferzeuger aus nahtlosen Schmiederingen hergestellt.

²⁸ In der Schweiz nur relevant für die Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen.

KKW Mühleberg**KKW Beznau**

Die Dampferzeuger im KKW Beznau wurden in den neunziger Jahren ausgetauscht. Ob damals, anstelle der Dampferzeuger, die aus Blechen gefertigt waren, Dampferzeuger aus nahtlosen Schmiederingen hergestellt wurden, ist aus den öffentlich zugänglichen Unterlagen nicht zu entnehmen.

KKW Leibstadt**KKW Gösgen**

Die Dampferzeuger im KKW Gösgen sind vermutlich, da Gösgen zu den Anlagen der 2ten Baulinie der KWU Reaktoren gehört, aus Blechen hergestellt. Dadurch sind erheblich mehr und auch an sehr ungünstigen Stellen Schweissnähte erforderlich. Die Gefahr von Rissen und Brüchen ist erheblich höher.

Anzahl der Flutbehälter²⁹

Nach dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik besitzen die Druckwasserreaktoren vier Doppelflutbehälter³⁰ mit entsprechendem Wasservolumen.

²⁹ In der Schweiz nur relevant für die Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen.

³⁰ Sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen zur Notkühlung der Reaktoren bei Druckwasserreaktoren. Je grösser die Wasservorräte in den Flutbehältern, umso grösser die Störfallsicherheit.

³¹ Im Sumpf eines Druckwasserreaktors sammelt sich nach einem Kühlmittelverluststörfall das austretende Wasser in der tiefsten Stelle des Containments an. Ein Auffangbecken unter dem Reaktor fängt das im Notfall auslaufende, radioaktive Wasser auf. Dieses Wasser kann mittels Pumpen zur Kühlung in den Reaktordruckbehälter zurückgepumpt werden.

Anzahl der Druckspeicher³²

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik besitzen die Druckwasserreaktoren acht Druckspeicher³³ mit entsprechendem Wasservolumen.

³² In der Schweiz nur relevant für die Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen.

³³ Sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen zur Notkühlung der Reaktoren bei Druckwasserreaktoren. Je grösser die Wasservorräte in den Druckspeichern, umso grösser die Störfallsicherheit.

KKW Mühleberg

KKW Beznau

Das KKW Beznau besitzt pro Block jeweils nur einen Borwasser-Vorratstank (BOTA) mit relativ geringem Wasservolumen. Im Anforderungsfall ist dieser Vorratstank (Flutbehälter) relativ schnell leer. Für die Notkühlung steht dann entsprechend weniger Wasser aus dem Sumpf³¹ zur Verfügung. Die Gefahr einer Kernschmelze ist dadurch erheblich grösser. Im Falle eines Kühlmittelverluststörfalles mit einem Leck nach ausserhalb des Containments wirkt sich dieser Mangel besonders gravierend aus. Hinzu kommt, dass der BOTA pro Block nur einmal vorhanden ist, so dass ein zu unterstellender Einzelfehler diese Gefahr noch verstärkt.

KKW Leibstadt

KKW Gösgen

Das KKW Gösgen besitzt nur drei Einfachflutbehälter mit geringerem Wasservolumen, als dies bei modernen KKW Standard ist. Allerdings ist das Wasservolumen erheblich grösser als beim KKW Beznau.

KKW Mühleberg

KKW Beznau

Das KKW Beznau besitzt pro Block nur 2 Druckspeicher. Dadurch ist die Zuverlässigkeit der Notkühlung mit den Druckspeichern in der Anfangsphase eines Störfalles geringer. Das Gesamtvolumen an Kühlwasser ist entsprechend niedrig. Da für den Kühlbetrieb im späteren Verlauf eines Störfalles die Wasservorräte auch in den Druckspeichern von entscheidender Bedeutung sein können, ist das geringere Wasservolumen negativ zu bewerten. Im Falle eines Kühlmittelverluststörfalles mit einem Leck nach ausserhalb des Containments wirkt sich dieser Mangel besonders gravierend aus.

KKW Leibstadt

KKW Gösgen

Das KKW Gösgen besitzt 6 Druckspeicher. Damit entspricht das KKW Gösgen zwar nicht modernen Anlagen, ist aber gegenüber dem KKW Beznau im Hinblick auf die Beherrschung von Kühlmittelverluststörfällen erheblich günstiger zu beurteilen.

Notbespeisung³⁴

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik besitzen die Druckwasserreaktoren vier Notspeisepumpen³⁵ und zwei An- und Abfahrpumpen.

³⁴ Sicherheitstechnisch wichtige Einrichtungen zur Notkühlung der Reaktoren bei Druckwasserreaktoren. Je grösser die Wasservorräte in den Druckspeichern, umso grösser die Störfallsicherheit.

³⁵ Notspeisepumpen dienen zur Bespeisung der sogenannten Dampf-erzeuger mit Wasser für den Fall, dass die betriebliche Versorgung ausgefallen ist.

Sumpfleitung, Hochdruckbetrieb aus dem Sumpf³⁶

Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik haben Druckwasserreaktoren ein Hochdruckeinspeisemöglichkeit aus dem Sumpf.³⁷

³⁶ In der Schweiz nur relevant für die Druckwasserreaktoren Beznau und Gösgen.

³⁷ Dies ist insbesondere für die Beherrschung von kleineren Leckstörfällen von Bedeutung.

KKW Mühleberg**KKW Beznau**

In der sicherheitstechnischen Stellungnahme des ENSI zur periodischen Sicherheitsüberprüfung 2004 des Kernkraftwerks Beznau ist das Notspeisesystem nicht beschrieben. Die Frage bleibt, ob weniger als 4 Notspeisepumpen vorhanden sind und An- und Abfahrpumpen zur Notbespeisung benutzt werden können um einen Temperaturschock in den Dampferzeugern zu vermeiden.

KKW Leibstadt**KKW Gösgen**

Vier Notspeisepumpen und zwei An- und Abfahrpumpen sind vorhanden. Damit werden Thermoschocks in den Dampferzeugern bei Notbespeisung vermieden, da eine Bespeisung aus dem Speisewasserbehälter möglich ist.

KKW Mühleberg**KKW Beznau**

In der sicherheitstechnischen Stellungnahme des ENSI zur periodischen Sicherheitsüberprüfung 2004 des Kernkraftwerks Beznau ist eine Hochdruckeinspeisemöglichkeit aus dem Sumpf nicht erwähnt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass eine solche nicht vorhanden ist.

KKW Leibstadt**KKW Gösgen**

In der sicherheitstechnischen Stellungnahme des ENSI zur periodischen Sicherheitsüberprüfung 2008 des Kernkraftwerks Gösgen ist eine Hochdruckeinspeisemöglichkeit aus dem Sumpf nicht erwähnt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass eine solche nicht vorhanden ist.

BESONDERE DEFIZITE DES KKW MÜHLEBERG:

BRANDRISIKEN

Da im KKW Mühleberg die Kabel der verschiedenen Stränge für Stromversorgung und Steuerung von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen nicht konsequent bautechnisch getrennt sind, wirkt sich ein Brand besonders nachteilig aus. Durch einen Brand besteht das Risiko, dass gleichzeitig mehrfach vorhandene Sicherheitseinrichtungen zerstört werden.

RISSE IM KERNMANTEL

Seit vielen Jahren werden im Kernmantel wachsende Risse beobachtet. Hinzu kommt, dass einige Bereiche für Prüfungen nicht zugänglich sind, so dass neben den bekannten Rissen auch bisher unbekannte Risse im Kernmantel wahrscheinlich sind. Der Kernmantel befindet sich im Inneren des Reaktordruckbehälters und hat dort insbesondere die Funktion, die Lage der Brennelemente und der Steuerstäbe zum Abschalten des Reaktors stabil zu halten und zwar im Normalbetrieb, aber insbesondere auch beim Auftreten von Störfällen wie z. B. dem Bruch einer Umwälzleitung. Kommt es zu einem Bruch des Kernmantels, besteht die Gefahr, dass die Anlage wegen Verkeilung der Steuerstäbe nicht abgeschaltet werden kann und/oder die Wärme wegen eines gestörten Kühlmitteldurchlaufes nicht mehr ausreichend abgeführt werden kann und es dadurch zu einer Kernschmelze kommen kann, die im weiteren Verlauf zur Freisetzung grosser Mengen radioaktiver Stoffe führen kann. Der Kernmantel hat ausserdem eine Dichtheitsfunktion zu erfüllen. In Unfallsituationen mit dem Bruch einer Reaktor-Umwälzschleife bildet der Kernmantel eine Hülle um den zu flutenden Reaktorkern. Zur sicheren Kühlung der Brennelemente muss innerhalb des Kernmantels ein bestimmter Mindest-Wasserstand gehalten werden. Ob die als Notlösung eingebauten Zuganker notfalls die Abschaltfähigkeit und die Kühlung auch im Störfall sicherstellen können, ist völlig offen. Hinzu kommt, dass der Kernmantel auch besonders für Risse anfällige Längsnähte enthält. Dies ist ein schwerer Verstoß gegen das Prinzip der sogenannten Basissicherheit. Dieses Prinzip ist heute Stand von Wissenschaft und Technik. Nur bei Anwendung dieses Prinzips ist das Auftreten von spontanen Brüchen einigermaßen eingeschränkt. Ein Gutachten des TÜVNORD EnSys GmbH, zur Sicherheitsbewertung der Klammervorrichtung im Hinblick auf den Kernmantel vom Dezember 2006 kommt zusammenfassend zu dem Ergebnis:

Der Erhalt der Integrität der Zugankerkonstruktion im Betrieb und bei Störfällen kann nicht uneingeschränkt vorausgesetzt werden und das Versagen eines oder mehrerer Zuganker ist nicht auszuschliessen. Dies liegt u. a. an der komplexen Konstruktion, den verwendeten Materialien, den bei ungünstigen geometrischen Verhältnissen allenfalls auftretenden Spannungsspitzen, die zu weiteren Rissen führen könnten, an der eingeschränkten Überprüfbarkeit des Zustandes und am fehlenden System zur rechtzeitigen Feststellung von Schäden. Es ist offensichtlich und ergibt sich eindeutig aus diesem Gutachten, dass erhebliche Zweifel an der Sicherheit des heutigen Zustandes des Kernmantels respektive dessen Sicherung bestehen und dass sich diese Mängel nicht ohne grösseren Aufwand beheben lassen.

UNGÜNSTIGE KONSTRUKTIVE GESTALTUNG DES CONTAINMENTS

Das Mark-I-Containment des KKW Mühleberg hat eine komplizierte birnenartige Form und einen frei stehenden Teil, der zum Abbau des Überdrucks bei Schnellabschaltungen und Unfällen mit Wasser gefüllt ist. Im Gegensatz zu späteren Containments, welche für den Druckabbau Wasserbecken führen, kann das Wasser bei einer Leckage – vor allem an den Schweissstellen von Ansaugrohren - vollständig auslaufen.

KORROSIONSERSCHEINUNGEN AM PRIMÄRCONTAINMENT

In der Vergangenheit wurden zum Teil erhebliche Korrosionen an wichtigen Teilen des Primärcontainments festgestellt. Eine typische Alterserscheinung, die nur zum Teil durch Überwachungsmassnahmen rechtzeitig festgestellt werden können. Im Anforderungsfall könnten solche Korrosionen Ursache für das Versagen des Primärcontainments sein. Die Rückhaltefunktion von radioaktiven Stoffen und der Verlust von Kühlwasser wären die Folge.

UNZUREICHENDE SICHERHEIT DES Brennelementlagerbeckens

Das Brennelement-Lagerbecken liegt ungeschützt unter der teilweise nur 15 cm dicken Decke des Reaktor Gebäudes. Ausserdem ist die Kühleinrichtung des Brennelementlagerbeckens selbst gegen das Erdbeben nicht ausgelegt, das schon bei der Errichtung des KKW als das massgebende betrachtet wurde. Des Weiteren fallen bei Hochwasser die Beckenkühlsysteme wegen Überflutung aus. Notwendige Redundanzen und Einzelfehlerfestigkeit sind nicht gegeben. Ein Ausfall der Brennelementlagerbeckenkühlung hätte verheerende Folgen. Ähnlich wie in Fukushima würde es zu Wasserstoffexplosionen mit der Zerstörung des Daches kommen. Freisetzungen grosser Mengen radioaktiver Stoffe wären die Folge. Auch der Absturz eines relativ kleinen Verkehrsflugzeuges auf das Brennelementlagerbecken würde ebenfalls zur Freisetzung grosser Mengen radioaktiver Stoffe führen.

BESONDERE RISIKEN DURCH FEHLHANDLUNGEN DER BETRIEBSMANNSCHAFT

Forderungen bestehen auch hinsichtlich der Gestaltung der Operateurhandlungen bei ATWS-Fällen (Transienten mit Ausfall der Reaktorschnellabschaltung). Diese Störfälle erfordern Handmassnahmen, die bei Nicht-ATWS-Ereignissen eindeutig nicht sicherheitsgerichtet sind, und daher ein Verhalten erfordern, das unter normalen Bedingungen nicht zulässig wäre. So muss bspw. der Wasserstand im Reaktordruckbehälter bis zu einem gewissen Niveau abgesenkt werden. Die normalerweise bei fallendem Wasserstand Wasser einspeisenden Systeme müssen dazu mit einem speziellen Schalter ausser Funktion gesetzt werden. Geschieht dies fälschlicherweise nicht, kommt es zu Überhitzungen der Brennelemente.

BESONDERE DEFIZITE DES KKW BEZNAU:

KORROSIONSANFÄLLIGER STAHL FÜR DEN REAKTORDRUCKBEHÄLTERDECKEL

Die Reaktordruckbehälterdeckel bestehen aus dem Stahl Alloy 600. Dieser Werkstoff hat, wie sich zwischenzeitlich herausgestellt hat, erhebliche Schwächen. Er ist insbesondere anfällig für Spannungsrisskorrosion³⁸ und neigt deshalb zu spontanen Lecks oder Brüchen.

KORROSIONSERSCHEINUNGEN AM CONTAINMENT

In der Vergangenheit wurden zum Teil erhebliche Korrosionen an wichtigen Teilen des Containments festgestellt. Eine typische Alterserscheinung, die nur zum Teil durch Überwachungsmaßnahmen rechtzeitig festgestellt werden können. Im Anforderungsfall könnten solche Korrosionen Ursache für das Versagen des Containments sein. Die Rückhaltefunktion von radioaktiven Stoffen und der Verlust von Kühlwasser wären die Folge.

UNZUREICHENDE SICHERHEIT DES BRENNELEMENTLAGERBECKENS

Die Systeme zur Brennelementlagerbeckenkühlung sind gegen keinerlei Erdbeben- und Überflutungsfahrer geschützt. Das Problem verschärft sich noch dadurch, dass nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik die Erdbeben- und Hochwassergefährdung noch zugenommen hat. Bei Ausfall der betrieblichen Beckenkühlung stehen keine Sicherheitssysteme zur Beckenkühlung zur Verfügung.

³⁸ Unter Spannungsrisskorrosion versteht man die Rissbildung in bestimmten Werkstoffen unter dem gleichzeitigen Einfluss einer Zugspannung und eines spezifischen Angriffsmittels. Solche Angriffsmittel befinden sich im Reaktordruckbehälter.

4 VERGLEICH VON SCHWEIZER ANLAGEN MIT DEN IN DEUTSCHLAND BEREITS STILLGELEGTEN ANLAGEN

Das Kernkraftwerk Mühleberg gehört zu den ersten grösseren Siedewasserreaktoren, die weltweit in Betrieb gegangen sind. Bezüglich der in Deutschland bereits stillgelegten Anlagen ist das KKW Mühleberg am ehesten mit dem KKW Würzgassen vergleichbar. Das KKW Mühleberg hat fast alle Defizite, die das KKW Würzgassen auch hatte. Das KKW Würzgassen wurde bis 1994 betrieben und im Jahr 1997 endgültig stillgelegt. Konkreter Anlass für die endgültige Stilllegung waren Risse im Kernmantel. Die Behörden in Deutschland haben den Betrieb mit diesen Rissen nicht mehr geduldet. Im KKW Mühleberg existieren seit Jahren ebenfalls Risse im Kernmantel, ohne dass diese zu einer vergleichbaren Reaktion der Schweizer Aufsichtsbehörde geführt hätte. Neben dem Austausch des rissbehafteten Kernmantels verlangten die deutschen Aufsichtsbehörden auch weitere erhebliche Nachrüstungen. Vor diesem Hintergrund hat sich der deutsche Betreiber des KKW Würzgassen für die endgültige Stilllegung entschieden.

Weitere KKW in Deutschland, die hinsichtlich der Sicherheitseigenschaften mit dem KKW Mühleberg vergleichbar waren bzw. nur geringfügig bessere Sicherheitseigenschaften hatten, sind die Anlagen Brunsbüttel, Krümmel, Isar 1 und Philippsburg 1. Diese Anlagen wurden aufgrund einer Verfügung der zuständigen deutschen Aufsichtsbehörden im Jahr 2011 vorläufig und wenige Monate später aufgrund eines neuen Gesetzes wegen unzureichenden Sicherheitseigenschaften endgültig stillgelegt. Unter anderem waren die oben für die Anlage Mühleberg im Einzelnen aufgelisteten Abweichungen vom Stand von Wissenschaft und Technik für die Sicherheitsbeurteilung und damit für die Abschaltung ausschlaggebend.

Das Kernkraftwerk Beznau mit seinen beiden Blöcken gehört mit zu den ersten grösseren Druckwasserreaktoren, die weltweit in Betrieb gegangen sind. Bezüglich der in Deutschland bereits stillgelegten Anlagen ist das KKW Beznau am ehesten mit den KKW Obrigheim und Stade vergleichbar. Das KKW Beznau hat fast alle Defizite, die diese KKW auch hatten. Das KKW Stade wurde 2003 und das KKW Obrigheim 2005 abgeschaltet. Zum Einen ergaben Sicherheitsbewertungen, dass die Anlagen Stade und Obrigheim nicht mehr dem Sicherheitsstandard entsprach, der für deutsche Anlagen gefordert war. Zum Anderen waren diese Abschaltungen eine erste Folge des vom deutschen Gesetzgeber angestrebten Atomausstieges.

Weitere KKW in Deutschland, die hinsichtlich der Sicherheitseigenschaften dem KKW Beznau ähnelten waren die Anlagen Biblis A und B, Unterweser und Neckarwestheim I, wobei allerdings zu erwähnen ist, dass diese Anlagen in einigen Sicherheitsbereichen günstiger als die Anlage Beznau zu beurteilen waren. Diese deutschen Anlagen gehörten einer weiter fortgeschrittenen Baulinie als das KKW Beznau an, wodurch sie sich insbesondere im Hinblick auf räumliche Trennung der Redundanzen und Anzahl der Redundanzen vom KKW Beznau positiv unterschieden. Trotzdem wurden diese Anlagen aufgrund einer Verfügung der zuständigen deutschen Aufsichtsbehörden im Jahr 2011 vorläufig und wenige Monate später aufgrund eines neuen Gesetzes wegen unzureichenden Sicherheitseigenschaften endgültig stillgelegt. Unter anderem waren die oben für die Anlage Beznau im Einzelnen aufgelisteten Abweichungen vom Stand von Wissenschaft und Technik für die Sicherheitsbeurteilung und damit für die Abschaltung ausschlaggebend.

5 MISSBRAUCH DER PROBABILISTIK³⁹

Grundsätzlich werden seit Beginn der Atomenergienutzung Anlagen nach bestimmten Vorgaben gebaut und betrieben. Diese Vorgaben beschreiben im Einzelnen die technischen Anforderungen an die verschiedenen Systeme. Beispielsweise sind die Anforderungen an besonders wichtige Bauteile wie den Reaktordruckbehälter und den Sicherheitsbehälter und die Anordnung und Anzahl von Sicherheitssystemen beschrieben. Diese Art der Festschreibung von Sicherheitsanforderungen wird in der Fachsprache als deterministische Anforderungen bezeichnet. Diese deterministischen Anforderungen sind einem ständigen Aktualisierungsprozess unterworfen. Idealtypisch berücksichtigen sie den jeweils aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Man geht davon aus, dass ein Kernkraftwerk hinreichend sicher ist (eine absolute Sicherheit gibt es nicht), wenn die neuesten deterministischen Anforderungen eingehalten werden.

Neben diesen deterministischen Kriterien werden zur weiteren Prüfung der Sicherheit eines KKW auch sogenannte probabilistische Analysen herangezogen. Mit Hilfe einer probabilistischen Analyse versucht man zu ermitteln, mit welcher Wahrscheinlichkeit in einem KKW eine Kernschmelze (Kernschadenshäufigkeit) auftritt. Der grosse Nutzen einer solchen probabilistischen Untersuchung liegt darin, zu erkennen, wie die verschiedenen Systeme im Zusammenwirken relativ zueinander zum Auftreten einer Kernschmelze beitragen. Man kann somit erkennen, wo trotz der Einhaltung von deterministischen Kriterien mögliche relative Schwachpunkte der Anlage sind. Trägt zum Beispiel das Versagen einer bestimmten Messeinrichtung relativ stark zur Kernschmelze bei, so weiss man, dass es sich insbesondere hier lohnt, den Stand von Wissenschaft und Technik weiter zu entwickeln.

In den letzten Jahren wurde insbesondere in den Ländern, in denen ältere Kernkraftwerke betrieben werden, die sich immer weiter von dem fortschreitenden Stand von Wissenschaft und Technik entfernt haben, so auch in der Schweiz, die Probabilistik missbraucht um die angebliche Sicherheit von Kernkraftwerken nachzuweisen. Man benutzt dazu die Probabilistik in der Weise, dass man für die jeweilige Anlage eine Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Kernschmelze zahlenmässig ermittelt und diesen Zahlenwert mit einem empfohlenen Wert einer Arbeitsgruppe der IAEO vergleicht. Defizite nach Massgabe des deterministischen Regelwerkes glaubt man so negieren zu können.

Aus verschiedenen Gründen ist diese Vorgehensweise abzulehnen. Die von der Arbeitsgruppe der IAEO empfohlenen Werte sind keine Werte, die von der Staatengemeinschaft jemals in einem entsprechenden Verfahren, also in einem verbindlichen Beschluss der IAEO Gremien verabschiedet wurden. Die im Rahmen der Probabilistik ermittelten Werte sind in ihrer absoluten Grösse mit erheblichen Ungenauigkeiten verbunden. Für die Probabilistik ist es erforderlich, dass das Kernkraftwerk in einem Fehlerbaummodell⁴⁰ umgesetzt wird, um überhaupt einer Berechnung zugänglich zu sein. Die verwendeten Modelle, auch in der Schweiz, bilden die Realität nur näherungsweise ab. Daraus ergeben sich sogenannte Modellunsicherheiten, die in den probabilistischen Berechnungen nicht bzw. unzulänglich berücksichtigt werden. Eine weitere Quelle von Unsicherheiten sind die in die probabilistische Berechnung eingehenden Werte von Ausfallwahrscheinlichkeiten einzelner Bauteile und Bauteilgruppen. Diese Ausfallwahrscheinlichkeiten werden anhand von fragwürdigen Statistiken ermittelt, die zum Einen auf einer unter statistischen Gesichtspunkten viel zu geringen Anzahl von Ereignissen basieren, zum Anderen

³⁹ Hier die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten für das Entstehen einer Kernschmelze in einem Kernkraftwerk.

⁴⁰ Ein Fehlerbaummodell stellt die möglichen Ausfälle sicherheitstechnisch wichtiger Einrichtungen in systematischer Weise dar. Anhand diese Modells wird die Gesamtausfallwahrscheinlichkeit von sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen ermittelt.

im Wesentlichen auf Betreiberangaben beruhen, die teilweise dazu neigen, wichtige Einzelereignisse auszublenken mit dem Argument, solche Einzelereignisse seien für statistische Zwecke nicht geeignet. Eine besonders wichtige Quelle für Ungenauigkeiten bei der probabilistischen Betrachtung ist die Berücksichtigung von sogenannten gemeinsam verursachten Ausfällen. Es geht dabei um gleichzeitige Ausfälle von mehreren Redundanzen. Je nachdem, wie diese Möglichkeit eingeschätzt wird, ändert sich die ermittelte Häufigkeit von Kernschäden erheblich. An dieser Stelle ist der Willkür Tür und Tor geöffnet. Gerade bei den Schweizer Altanlagen wie Mühleberg und Beznau mit ihrer unzureichenden Auslegung im Hinblick auf voneinander unabhängigen Sicherheitssystemen ist der redundanzübergreifende Ausfall von Sicherheitssystemen ein bedeutsames Thema. Der Störfall im Kernkraftwerk Forsmark im Juli 2006, bei dem mehrere Notstromeinrichtungen gleichzeitig ausgefallen waren und der Unfall im Kernkraftwerk Fukushima sind insbesondere auf redundanzübergreifende Ausfälle von Sicherheitssystemen zurückzuführen.

Wenn man trotz der o. g. Schwachpunkte bei der Probabilistik die Ergebnisse als relevant für die Sicherheit betrachtet, so müsste man wenigstens den Versuch machen, das Ergebnis mit einer Fehlerbandbreite auszuweisen. Solche Fehlerbandbreiten liegen nach Einschätzung des Autors dieser Studie mindestens bei einem Faktor 100. Wenn also die Kernschadenshäufigkeit z. B. mit einmal in 10 000 Jahren angegeben wird, dann kann der wahre Wert auch bei einmal in 100 Jahren liegen. Ein für die Sicherheit völlig unakzeptabler Wert, der zeigt, dass die Probabilistik absolut ungeeignet ist, die ausreichende Sicherheit nachzuweisen.

6 FAZIT/EMPFEHLUNGEN

Die Schweizer Kernkraftwerke, insbesondere die Anlagen in Mühleberg und Beznau, gehören mit zu den ältesten Anlagen in Europa aber auch weltweit. Sie sind gekennzeichnet durch fortgeschrittene Alterungsprozesse, die ursprünglich bestehende Sicherheitseigenschaften nicht unerheblich reduzieren. Die Anlagen haben sich auch immer mehr vom sich fortentwickelnden Stand von Wissenschaft und Technik entfernt. Neuere Erkenntnisse über Unfallrisiken sind nur teilweise in Form von Anlagenänderungen umgesetzt worden. Besonders wichtige Sicherheitseinrichtungen und Sicherheitseigenschaften, die eigentlich aufgrund der vielen Ereignisse in Kernkraftwerken weltweit verbessert werden müssten, lassen sich teilweise aufgrund der bestehenden Anlagenkonzeptionen nicht mehr verändern. Selbst dort, wo Änderungen durchgeführt wurden, führen diese nicht in jedem Fall zu einer Sicherheitserhöhung. Anlagenänderungen können wegen Kompatibilitätsproblemen und neuer Anfangsstörungen zu zusätzlichen Risiken führen.

Die Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit von schweren Kernschmelzunfällen in Schweizer Kernkraftwerken zeigen die wahren Kernschmelzrisiken nicht auf, da die Berechnungen schwere methodische Defizite haben.

Insbesondere die Anlagen in Mühleberg und Beznau sollten wegen der in dieser Studie sichtbar gewordenen Sicherheitsdefizite unverzüglich abgeschaltet werden.

Für die weiter betriebenen Anlagen sollten alle sicherheitsrelevanten Unterlagen, insbesondere fortgeschriebene Systemschaltpläne, Systembeschreibungen, Betriebshandbücher und Prüfhandbücher, veröffentlicht werden. Aber auch eine Begehung der Anlagen durch vom ENSI unabhängige Experten sollte möglich gemacht werden, damit sich

die Schweizer Öffentlichkeit, aber auch die Nachbarn der Schweiz ein umfassendes und authentisches Bild vom Sicherheitszustand der Schweizer Anlagen machen können. Es ist nicht hinnehmbar, dass Anfragen zu den Sicherheitseigenschaften beim ENSI zum Einen sehr schleppend behandelt werden und zum Anderen teilweise mit sehr hohen Gebühren verbunden sind.

7 LITERATUR

Die hier aufgelistete Literatur ist grösstenteils im Internet verfügbar, teilweise wurde sie dem Autor dieser Stellungnahme von verschiedenen Institutionen bzw. Personen, die sich um Aufklärung der Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke bemühen, zur Verfügung gestellt. Für die im Rahmen dieser Studie vorgenommene Bewertung der Sicherheit der Schweizer Kernkraftwerke wurde insbesondere die hier aufgelistete Literatur herangezogen.

- [1] *KKW Beznau I: Sicherheitstechnische Stellungnahme der HSK zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung Würenlingen, November 2004*
- [2] *Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Mühleberg Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK 11/800 Zusammenfassung, Ergebnisse und Bewertung Würenlingen, Dezember 2002*
- [3] *Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Leibstadt ENSI 12/1300 Würenlingen, 10. August 2009*
- [4] *Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung 2008 des Kernkraftwerks Gösgen ENSI August 2012*
- [5] *Schlussbericht des Kernkraftwerks Beznau zum EU-Stresstest vom 28.10.11*
- [6] *EU Stress Test Kernkraftwerk Mühleberg vom Oktober 2011*
- [7] *Neubewertung der Sicherheit des KKL zum EU Stresstest Technischer Bericht BET/11/0089*
- [8] *EU Stresstest: Beurteilung der Sicherheitsmargen des KKG, Bericht des Genehmigungsinhabers BER-D-54731 vom 27.10.2011*
- [9] *Bundesamt für Energie Bern; Stellungnahme zu den Stellungnahmen der BKW Energie AG vom 13. Februar 2009 und des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI vom 10. Februar 2009 zu den Einsprachen im Verfahren zur Aufhebung der unbefristeten Betriebsbewilligung des AKW Mühleberg*
- [10] *Bundesverwaltungsgericht Urteil vom 1. März 2012 Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für das Kernkraftwerk Mühleberg.*
- [11] *Information der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK Beurteilung der HSK zum Thema: Risse im Kernmantel des Kernkraftwerks Mühleberg Sicherheitsüberprüfungen und Massnahmen von 1990 bis heute*
- [12] *Lessons learned aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima ENSI 11.3.2011*
- [13] *Langzeitbetrieb der schweizerischen Kernkraftwerke Ulrich Schmocker und Dietmar Kalkhof1 Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)*
- [14] *Stellungnahme der ENSI zu den vom KKM eingereichten Verbesserungsmassnahmen zur Erfüllung der Forderungen aus der Verfügung vom 5. Mai 2011*
- [15] *Stellungnahme der ENSI zu den vom KKL eingereichten Verbesserungsmassnahmen betreffend die Forderung 1 aus der Verfügung vom 5. Mai 2011*
- [16] *Stellungnahme der ENSI zu den vom KKG eingereichten Verbesserungsmassnahmen zur Erfüllung der Forderungen aus der Verfügung vom 5. Mai 2011*
- [17] *Stellungnahme der ENSI zu den vom KKB eingereichten Verbesserungsmassnahmen zur Erfüllung der Forderungen aus der Verfügung vom 5. Mai 2011*
- [18] *Bericht zur Verfügung des ENSI vom 5. Mai 2011 über geplante Nachrüstungen im KKM Forderungen 1,2 und 3 vom 31.8.2011*
- [19] *Antwort KKL: Forderung 1 aus der Verfügung des ENSI: Ertüchtigung der Niveau- und Temperaturinstrumentierung im Brennelementlagerbecken vom 31.8.11*
- [20] *Verfügung: Neubewertung der Sicherheitsmargen des Kernkraftwerkes Beznau im Rahmen der EU Stresstests Schreiben von ENSI an KKB vom 1.6.2011*

- [21] Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest Schreiben des ENSI vom 10.1.2012 an KKB
- [22] Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest Schreiben des ENSI vom 10.1.2012 an KKM
- [23] Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest Schreiben des ENSI vom 10.1.2012 an KKL
- [24] Verfügung: Stellungnahme zu Ihrem Bericht zum EU-Stresstest Schreiben des ENSI vom 10.1.2012 an KKG
- [25] Stellungnahme der HSK zur Sicherheit der schweizerischen Kernkraftwerke bei einem vorsätzlichen Flugzeugabsturz Würenlingen, März 2003
- [26] KKW Beznau II: Gutachten zum Gesuch der NOK um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung Würenlingen, März 2004 HSK 14/730
- [27] Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) DSK-Bericht Nr. 2004/1 Bericht zum Gesuch der NOK um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung des Kernkraftwerks Beznau II
- [28] Kernkraftwerk Mühleberg Gutachten zur Sicherheitsbewertung der Klammervorrichtung (Zugankerkonstruktion) im Hinblick auf Kernmantel-Durchrisse erstellt von TÜV Nord Dezember 2006
- [29] Neubestimmung der Erdbebengefährdung an den Kernkraftwerkstandorten in der Schweiz (Projekt PEGASOS) HSK-AN-6252 Juni 2007
- [30] Gefährdung durch Rutschungen und Steinschlag am Standort EKKM: Beurteilung der eingereichten Unterlagen der Resun AG zu Auflage 2 aus dem Gutachten des ENSI zum Rahmenbewilligungsgesuch für das EKKM; ENSI vom 15.11.2011
- [31] Sicherheitstechnische Stellungnahme zum Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks Mühleberg der ENSI vom Dezember 2012
- [32] Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken vom 16. April 2008 (Stand am 1. Mai 2008)
- [33] Verordnung des UVEK über die Gefährdungsannahmen und die Bewertung des Schutzes gegen Störfälle in Kernanlagen vom 17. Juni 2009 (Stand am 1. August 2009)
- [34] Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Mai 2012)
- [35] Kernenergiegesetz (KEG) vom 21. März 2003 (Stand am 1. Januar 2009)
- [36] KKW Mühleberg Fachstellungnahme zum Verfahren betreffend das Gesuch um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung Umweltbundesamt Wien 2008
- [37] Sicherheitstechnische Lebensdauer von Kernkraftwerken; Einreichung von Nussbaumer Eric an den Nationalrat vom 23.11.11
- [38] Risiken alter Kernkraftwerke Studie im Auftrag der Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen erstellt von: Renneberg Consult UG Wolfgang Renneberg www.atomsicherheit.de Bonn, Juni
- [39] IAEA Safety standards www.iaea.org
- [40] Sicherheitstechnische Regeln des kerntechnischen Ausschusses (KTA) in Deutschland www.bfs.de
- [41] Empfehlungen der deutschen Reaktorsicherheitskommission RSK www.rskonline.de
- [42] Convention on Nuclear Safety The fifth Swiss report in accordance with Article 5 Juli 2010
- [43] Implementation of the Obligations of the Convention on Nuclear Safety National Report of Switzerland for the Second Extraordinary Meeting in Accordance with Article 5 of the Convention
- [44] EU Stress Test: Swiss National Action Plan Follow up of the Peer Review 2012 Year-End Status Report
- [45] Peer review country report Stresstests performed on European nuclear power plants
- [46] EU Stress Test: Swiss National Report ENSI review of the operators' reports
- [47] Richtlinien für die Schweizer Anlagen nebst Erläuterungsberichten www.ensi.ch
- [48] Problems with the EU Stresstest swiss national report and the mühleberg nuclear power plant draft 3 von markus kühni vom 23.1.2012
- [49] Gutachten zum Gesuch der Kernkraftwerk Gösgen-Daniken AG, Olten um Erteilung einer 6. Teilbaubewilligung für ein Leichtwasserkernkraftwerk am Standort Gösgen. Eidgenössische Kommission für die Sicherheit von Atomanlagen KSA 17/56
- [50] PROJEKTIERUNGSREGELN DER KSA FUER KERNKRAFTWERKE MIT LEICHTWASSERREAKTOREN KSA-AN 414
- [51] Sicherheitstechnische Stellungnahme zur Periodischen Sicherheitsüberprüfung des Kernkraftwerks Mühleberg HSK 11/1100 Würenlingen, November 2007
- [52] Die Akte Mühleberg; von Thomas Angeli und Otto Hostetter Ausgabe 11/11
- [53] 11.3256 Motion veraltetes AKW Mühleberg sofort vom Netz nehmen von Wyss Ursula eingereicht im Nationalrat am 18.3.2011
- [54] Mühleberg stilllegen Fokus Anti-Atom Folienvortrag
- [55] Teil II – Fragen und Antworten zur PSA Methodik (teilweise gibt es wohl zwei Antworten: eine für aktuelle PSA, eine für geplante zukünftige PSA): von Markus Kühni an die ENSI
- [56] <http://energisch.ch/sonntagszeitung-untaugliches-notstandssystem/651/>
- [57] Illustration: Unerwartete technische Sicherheitsprobleme in Fukushima Erklärt am AKW Mühleberg von Fokus Anti-Atom

- [58] Das ENSI hat fundamentalste Prinzipien der Nuklearsicherheit missachtet – ENSI-Rat und KNS sind aufgefordert, vom ENSI die Korrektur der Fehler zu verlangen <http://zbern.ch/110925>; <http://www.ensi.ch/de/2011/09/07/schweizer-kernkraftwerke-beherrschen-hochwasser/>
- [59] Hochwassernachweis AKW Mühleberg Eine kritische Beurteilung Revision 12 vom 24.9.11 von Markus Kühni
- [60] Brief des ENSI Rat an Markus Kühni vom 30.9.2011
- [61] Schreiben von Markus Kühni an ENSI vom 5.3.12 zu Containment-Druckentlastung KKM und andere Fragen
- [62] Schreiben von Markus Kühni an Eidgenössische Kommission für nukleare Sicherheit vom 6.4.12 zu KNS-Bericht zu den Fukushima-Folgemaßnahmen
- [63] Der Bund: «Nuklearprofessor: AKW Mühleberg weist grundlegende Sicherheitsmängel auf» www.energisch.ch
- [64] Schreiben des ENSI Rat vom 14.11.11 an Markus Kühni
- [65] Schreiben von Markus Kühni an ENSI vom 11.5.10 zu Verfügung 3 Kernkraftwerk Mühleberg vom 5. Mai 2011
- [66] Schreiben des ENSI vom 9.1.12 an Markus Kühni
- [67] Die PEGASOS-Legende M. Kühni – öffentliche Version vom 14.7.2012
- [68] Schreiben von Markus Kühni an ENSI Rat vom 6.8.12
- [69] Risiko seit 1991 vermindlicht www.energisch.ch
- [70] Wasserkraftwerk Mühleberg – Überprüfung der Erdbebensicherheit – Unregelmäßigkeiten M. Kühni 19.2.2013
- [71] Wasserkraftwerk Mühleberg (Wohlensee-Staumauer) Unregelmäßigkeiten beim Erdbebennachweis M. Kühni, Dipl. Ingenieur ETH Folienvortrag www.energisch.ch
- [72] Langzeitbetrieb des Kernkraftwerkes Mühleberg nur unter strengen Auflagen ENSI vom 21.12.12 www.ensi.ch
- [73] Bemerkungen zur Stellungnahme der BFE vom 5.3.2013 für das Wasserkraftwerk Mühleberg Universität für Bodenkultur Wien Department für Bautechnik und Naturgefahren Institut für Geotechnik Vorstand: Univ. Prof. Dr.-Ing. Wei Wu Feistmantelstrasse 4 1180 WienW
- [74] Fragen für das Technische Forum Kernkraftwerke (TFK) M. Kühni, www.energisch.ch
- [75] ENSI-verlaengert-unsicheren-Betrieb-des-AKW-Muehleberg-um-weitere-zwei-Jahre-<http://energisch.ch/>
- [76] Kurzstellungnahme zum Gesuch der BKW um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für das Kernkraftwerk Mühleberg Stand: 4. Juli 2008 Öko Institut Darmstadt
- [77] Nachrüstungen für den Langzeitbetrieb – Appell an das ENSI, den gesetzlichen Auftrag wahrzunehmen von der ENSI Mahnwache vom 1.7.2013
- [78] Analyse der Ergebnisse des EU Stresstest der Kernkraftwerke Fessenheim und Beznau Teil 2: Beznau Öko Institut 11.10.12
- [79] Energie & Umwelt Magazin der Schweizerischen Energie-Stiftung SES – 1/2013 40 Jahre sind genug! Ungenügender Schutz der AKW gegen Flugzeugangriff Sichere Schweiz? Der Schwarze Peter wird herungereicht ISonderbeilage
- [80] Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke vom 20. November 2012 Bundesumweltministerium Deutschland www.bmu.de
- [81] Kurzstellungnahme zum Gesuch der BKW um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für das Kernkraftwerk Mühleberg Stand: 4. Juli 2008 Öko Institut Darmstadt
- [82] Kernkraftwerk Leibstadt Technische Beschreibung www.KKL.ch
- [83] DER SCHWEIZERISCHE BUNDESRAT vom 28.10.98 zum Gesuch der BKW Energie AG vom 8.Mai 1996 um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung vom 14. Dezember 1992 für das Kernkraftwerk Mühleberg
- [84] DER SCHWEIZERISCHE BUNDESRAT zum Gesuch der Bernischen Kraftwerke AG vom 9. November 1990 um Erteilung einer unbefristeten Betriebsbewilligung und um Leistungserhöhung von 10 % für das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)
- [85] MUSA PSA Mühleberg Sicherheitsanalyse Hauptbericht erstellt im Auftrag der Bernische Kraftwerke AG Bern, Schweiz Oktober 1990
- [86] Kernkraftwerk Mühleberg Sicherheitsbericht 1989
- [87] Periodische Sicherheitsüberprüfung für das Kernkraftwerk Gösgen-Däniken Zusammenfassung, Ergebnisse und Bewertung Würenlingen, November 1999 HSK 17/400 KSA 17/261
- [88] Ältestes AKW der Welt: Beznau vom Netz! Februar 2012, Fokus Anti-Atom
- [89] KSA 10/244 Stellungnahme zum Gesuch der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK) um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für das Kernkraftwerk Beznau 2 März 2004
- [90] DER SCHWEIZERISCHEBUNDESRAT vom 3.12.2004 zum Gesuch der Nordostschweizerischen Kraftwerke (NOK) vom 17. November 2000 um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung für das KKW Beznau II
- [91] BEZNAU PROBABILISTISCHE SICHERHEIT'SANALYSE HAUPTBERICHT KKB 511051 Exemplar Nr. . 13 Rev. 2, Januar 2002
- [92] Strategy for long term operation of the Beznau NPP Unit 1 and 2 (KKB) IAEA-CN-155-006 2nd International Symposium on Nuclear Power Plant Life Management October 15 – 18, 2007; Shanghai, China Folienvortrag von Herbert Rust, Head Mechanical Department NOK Nuclear Division

- [93] NUCLEAR POWER PLANT LIFE MANAGEMENT: STRATEGY FOR LONG TERM OPERATION OF THE BEZNAU NPP UNIT 1 AND 2 H. Rust Nordostschweizerische Kraftwerke AG (NOK), Switzerland
- [94] KKW Beznau II: Gutachten zum Gesuch der NOK um Aufhebung der Befristung der Betriebsbewilligung Würenlingen, März 2004 HSK 14/730
- [95] Sicherheitstechnische Stellungnahme zum Langzeitbetrieb des Kernkraftwerks Beznau Block 1 und Block 2 Brugg, 30. November 2010 ENSI 14/1400
- [96] Kernkraftwerk Beznau Block 2 Sicherheitsbericht 2001
- [97] Kernkraftwerk Beznau Block 2 Sicherheitsbericht 1991
- [98] Beurteilung der zur Erlangung einer endgültigen Betriebsbewilligung für das KKW Mühleberg öffentlich aufgelegten Unterlagen Öko Institut März 1991
- [99] Schreiben Axpo an KKB vom 30.6.2011 Forderung aus ENSI Verfügung vom 1.4.2011: Sicherheitstechnischer Nachweis für das 10 000 jährliche Hochwasser
- [100] ENSI an KKB vom 31.8.11 Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des zur Beherrschung des 10 000 jährlichen Hochwassers
- [101] KKM an ENSI vom 30.6.11 Deterministischer Nachweis zur Beherrschung des 10 000 jährlichen Hochwassers
- [102] 6th National Report of Switzerland in Accordance with Article 5 of the Convention August 2013
- [103] ENSI Aktionsplan Fukushima 2012
- [104] Anfrage bei KKW Beznau
- [105] Anfrage bei KKW Mühleberg
- [106] Antwort zu Anfrage Mühleberg
- [107] Antwort zu Anfrage Beznau

8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

KKW	Kernkraftwerk
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
IAEA	International Atomic Energy Agency
OECD/ NEA	Nuclear Energy Agency der Organisation for Economic Co-operation and Development
Pegasos	Probabilistische Erdbeben-Gefährdungs-Analyse für die Kernkraftwerksstandorte in der Schweiz
SSE	Sicherheitserdbeben
SUSAN	Spezielles unabhängiges System zur Abfuhr der Nachzerfallswärme im Kernkraftwerk Mühleberg
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg
KKB	Kernkraftwerk Beznau
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt
KKG	Kernkraftwerk Gösgen
DSK	Deutsch-Schweizerische Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen
EKKM	Ersatzkernkraftwerk Mühleberg

