

Langzeitbetrieb der schweizerischen Kernkraftwerke

Ulrich Schmocker und Dietmar Kalkhof¹

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)

1. Einleitung

Die Schweizer Regierung hat im Februar 2007 eine Neuausrichtung der Energiepolitik beschlossen, um der drohenden Engpässe bei der Stromversorgung zu begegnen. Die Strategie stützt sich auf 4 Säulen: Energieeffizienz, Erneuerbare Energien, Grosskraftwerke und Energieaussenpolitik. Von besonderer Bedeutung ist die Aussage der Regierung, dass die bestehenden Kernkraftwerke ersetzt und durch Neubauten ergänzt werden sollen. Dies bedeutet ein klares Signal für die weitere Nutzung der Kernenergie in der Schweiz. Die Betreiber von Kernkraftwerken in der Schweiz haben deshalb umgehend mit der Planung von Neubauprojekten begonnen und gleichzeitig klargestellt, dass der Weiterbetrieb der in Betrieb stehenden Kernkraftwerke bis zur Inbetriebnahme der Nachfolganlagen notwendig sei. Dies bedeutet im Klartext, dass ein Langzeitbetrieb der 5 in der Schweiz in Betrieb stehenden Kernkraftwerke angestrebt wird.

Die Stromproduktion in der Schweiz stützt sich auf Wasserkraft (rund 60%) und auf Kernkraft (rund 40%). Die Stromproduktion der Schweiz ist damit weitgehend CO₂-frei. Drei der fünf Reaktorblöcke sind seit über 35 Jahren in Betrieb, wie dies aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

Tabelle 1: Daten der Schweizer KKW

Name	Typ	Hersteller	Nettoleistung (MWe)	Inbetriebnahme
Beznau-1	PWR (2-Loop)	Westinghouse	365	1969
Beznau-2	PWR (2-Loop)	Westinghouse	365	1971
Mühleberg	BWR	General Electric	355	1972
Gösgen	PWR (3-Loop)	Siemens KWU	970	1979
Leibstadt	BWR-6	General Electric	1165	1984

¹ Ulrich Schmocker ist Direktor des ENSI;
Dietmar Kalkhof ist Leiter der Sektion Maschinen- und Bautechnik



Bild 1: Die Anlage Beznau 1 (rechts im Bild) wird 2009 das 40. Betriebsjahr feiern. Für Block 2 wird dies 2011 der Fall sein.

2. Rechtliche Basis

Gemäss schweizerischem Kernenergiegesetz (KEG)² vom 21. März 2003 wird eine Betriebsbewilligung für ein Kernkraftwerk zeitlich nicht befristet. Die Bewilligung kann allerdings befristet werden, falls dies aus Sicherheitsgründen angezeigt ist. Beispielsweise kann dies der Fall sein, falls eine bestimmte Frage zur Sicherheit noch offen geblieben ist, die für den Betrieb zwar nicht von elementarer Bedeutung ist, aber dennoch abgeklärt werden muss. In diesem Fall wäre die Nichterteilung der Betriebsbewilligung oder, falls diese bereits erteilt wurde, deren Entzug unverhältnismässig. Eine solche Befristung ist keine gesetzliche Befristung im Sinne der Festlegung der Lebensdauer eines Kernkraftwerks.

In der Vergangenheit wurden für Beznau 2 und Mühleberg befristete Betriebsbewilligungen erteilt, weil zum Zeitpunkt ihrer Inbetriebnahme die Frage der ausreichenden Wirksamkeit der Notkühlung nach den Erkenntnissen aus neuen Experimenten in den USA offen war. Bis diese Frage geklärt war, erhielten Beznau 2 und Mühleberg nur befristete Bewilligungen. Beznau 1 hatte demgegenüber bereits 1970 nach Abschluss der Inbetriebnahmephase eine unbefristete Betriebsbewilligung erhalten, genauso wie die Anlage Gösgen 1979 und Leibstadt 1984. Aus politischen Gründen wurden die befristeten Betriebsbewilligungen für Beznau 2 und Mühleberg immer wieder verlängert. Für Beznau 2 wurde sie schliesslich 2004 in eine unbefristete Betriebsbewilligung umgewandelt. Das KKW Mühleberg verfügt zurzeit noch über eine bis Ende 2012 befristete Betriebsbewilligung. Das Verfahren, diese in eine unbefristete umzuwandeln, ist aber im Gange.

Die allgemeinen Pflichten eines Betreibers für den sicheren Betrieb seiner Anlage sind in Art. 22 des KEG festgelegt.

² Kernenergiegesetz (KEG) (SR 732.1) vom 21. März 2003

Art. 22 Allgemeine Pflichten des Bewilligungsinhabers

1 Der Bewilligungsinhaber ist für die Sicherheit der Anlage und des Betriebs verantwortlich.

2 Dazu muss er insbesondere:

- a. der nuklearen Sicherheit stets den gebotenen Vorrang beim Betrieb der Kernanlage einräumen, namentlich die vorgegebenen betrieblichen Grenzen und Bedingungen einhalten;
- b. eine geeignete Organisation aufbauen und geeignetes und fachlich ausgewiesenes Personal in genügender Zahl beschäftigen; der Bundesrat legt die Mindestanforderungen fest und regelt die Ausbildung des Fachpersonals;
- c. Massnahmen treffen, um die Anlage in einem guten Zustand zu erhalten;
- d. Nachprüfungen sowie systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertungen während der ganzen Lebensdauer der Anlage durchführen; für ein Kernkraftwerk periodisch eine umfassende Sicherheitsüberprüfung vornehmen;
- f. den Aufsichtsbehörden periodisch über den Zustand und den Betrieb der Anlage berichten und ihr Ereignisse unverzüglich melden;
- g. die Anlage soweit nachrüsten, als dies nach der Erfahrung und dem Stand der Nachrüstungstechnik notwendig ist, und darüber hinaus, soweit dies zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beiträgt und angemessen ist;
- h. die Entwicklung von Wissenschaft und Technik sowie die Betriebserfahrungen vergleichbarer Anlagen verfolgen;
- i. eine vollständige Dokumentation über die technischen Einrichtungen und den Betrieb führen und den Sicherheitsbericht und den Sicherungsbericht wenn nötig anpassen;
- j. qualitätssichernde Massnahmen für sämtliche im Betrieb ausgeübten Tätigkeiten durchführen;
- k. den Plan für die Stilllegung oder das Projekt für die Beobachtungsphase und den Plan für den Verschluss der Anlage nachführen.

3 Der Bundesrat bezeichnet die Kriterien, bei deren Erfüllung der Bewilligungsinhaber die Kernanlage vorläufig ausser Betrieb nehmen und nachrüsten muss.

Für den Langzeitbetrieb von besonderer Bedeutung sind die Pflichten c, d und g von Absatz 2. Damit wird explizit gefordert, dass die Anlage jederzeit in einem guten Zustand sein muss und soweit nachzurüsten ist, wie dies gemäss dem aktuellen Stand der Nachrüstungstechnik notwendig und angemessen ist und zu einer Verminderung der Gefährdung und damit des Risikos beiträgt. Gemäss Buchstabe d von Absatz 2 wird der Betreiber zudem verpflichtet, systematisch die Sicherheit seiner Anlage zu bewerten und periodisch eine umfassende Sicherheitsüberprüfung vorzunehmen. In der Kernenergieverordnung (KEV)³, die das KEG detaillierter ausführt, wird festgelegt, dass alle 10 Jahre eine umfassende periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) durchzuführen ist (KEV, Art. 34). Art. 33 der KEV sagt auch, was unter einer systematischen Sicherheits- und Sicherungsbewertung zu verstehen ist. Das ENSI hat die Vorgaben für eine PSÜ in der Richtlinie HSK-R-48 noch genauer ausgeführt; für die systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertung ist die entsprechende Richtlinie noch in Ausarbeitung. Es ist vorgesehen, dass eine systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertung jährlich aufgrund der Betriebserfahrung, der durchgeführten Nachrüstungen und Sicherheitsanalysen durchzuführen ist. Das ENSI seinerseits führt eine solche Bewertung für jedes Kernkraftwerk aufgrund der ihm vorliegenden Ergebnissen aus Inspektionen, Vorkommnissen, periodischen Berichterstattungen und Änderungsvorhaben bereits heute durch und veröffentlicht diese in seinem jährlich erscheinenden Aufsichtsbericht.

³ Kernenergieverordnung (KEV) vom 10. Dezember 2004 (Stand am 1. Januar 2009) (SR 732.11)

Die in Art. 22, Absatz 3 des KEG erwähnte Verordnung (Ausserbetriebnahme-Verordnung)⁴ wurde 2008 in Kraft gesetzt. Art. 2 dieser Verordnung verpflichtet den Betreiber eines Kernkraftwerks, die Auslegung seiner Anlage in Ergänzung zu den obigen Ausführungen unverzüglich zu überprüfen, falls er annehmen muss, dass diese durch neue Erkenntnisse in Frage gestellt ist.

Art. 2 Überprüfung der Auslegung

- 1 Der Inhaber der Betriebsbewilligung (Bewilligungsinhaber) hat die Auslegung des Kernkraftwerks unverzüglich zu überprüfen, wenn:
 - a. er annehmen muss, dass aufgrund eines Auslegungsfehlers die Kernkühlbarkeit bei Störfällen, die Integrität des Primärkreislaufs oder die Integrität des Containments nicht mehr gewährleistet sind;
 - b. in seinem Kernkraftwerk Ereignisse oder Befunde eingetreten sind, die nach der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES nach Anhang 6 Ziffer 2 der KEV der Stufe 1 oder höher zugeordnet werden;
 - c. in einem anderen in- oder ausländischen Kernkraftwerk Ereignisse oder Befunde eingetreten sind, die nach der internationalen Störfall-Bewertungsskala INES nach Anhang 6 Ziffer 2 der KEV der Stufe 2 oder höher zugeordnet werden;
 - d. die Aufsichtsbehörde nach Artikel 6 KEV dies anordnet.
- 2 Er teilt das Ergebnis der Überprüfung unverzüglich der Aufsichtsbehörde mit.

Die Integrität des Primärkreislaufs und des Containments wird anhand folgender Kriterien bewertet (Art. 4, Abs. 3):

- 3 Der Bewilligungsinhaber hat das Kernkraftwerk unverzüglich vorläufig ausser Betrieb zu nehmen, wenn:
 - a. die aktuelle justierte Sprödbruch-Referenztemperatur von der Innenwand in einer Tiefe von einem Viertel der Wanddicke den Wert von 93 °C erreicht; oder
 - b. die aktuelle Hochlagenenergie aus Kerbschlagbiegeversuchen unter 68 Joule absinkt.

Zudem hat er die Anlage unverzüglich ausser Betrieb zu nehmen, falls Wand durchdringende Risse im Primärkreislauf (Art. 5) vorhanden oder die Mindestwandstärke von Leitungen der Sicherheitsklasse 1 nicht mehr gewährleistet sind (Art. 6).

Die Kriterien für das Containment umfassen dessen Mindestwandstärke (Art. 7) oder ein festgelegtes Ausmass an Betonabplatzungen des Sekundärcontainments (Art. 8).

Die gesetzlichen Anforderungen an die Alterungsüberwachung sind in Art. 35 der KEV festgelegt.

Art. 35 Alterungsüberwachung

- 1 Der Bewilligungsinhaber hat anhand des Alterungsüberwachungsprogramms eine systematische Alterungsüberwachung für alle Ausrüstungen und Bauwerke durchzuführen, deren Funktion und Integrität für die Sicherheit und die Sicherung von Bedeutung sind.
- 2 Er hat die Ergebnisse auszuwerten, Massnahmen abzuleiten und diese umzusetzen.
- 3 Er hat anhand des Alterungsüberwachungsprogramms die Überprüfung der Anlage auf Alterungseinflüsse zu dokumentieren und das Programm entsprechend dem aktuellen Stand der Anlage periodisch nachzuführen.
- 4 Das ENSI wird beauftragt, Methoden und Umfang der Alterungsüberwachung in Richtlinien zu regeln.

⁴ Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken (SR 732.114.5)

Die detaillierten Anforderungen an das Alterungsüberwachungsprogramm (AÜP) sind in der Richtlinie HSK-R-51⁵ genauer ausgeführt. Ziel des AÜP ist die rechtzeitige Erkennung, Beurteilung und Beherrschung der Werkstoff-, Baustoff- und Materialalterung. Im nachfolgenden Kapitel wird speziell auf das in der Schweiz umgesetzte AÜP eingegangen.

Nebst den technischen Vorgaben sind für den Langzeitbetrieb auch im Bereich der organisatorischen und menschlichen Faktoren die notwendigen Massnahmen zu ergreifen, um einen sicheren Betrieb jederzeit zu gewährleisten. Auch gibt es eine Reihe von gesetzlichen Vorgaben und Richtlinien des ENSI. Art. 22, Abs. 2 Bst b des KEG (siehe oben) gibt dazu die übergeordneten Anforderungen, indem eine geeignete Organisation und fachlich ausgewiesenes, in genügender Zahl vorhandenes Personal verlangt wird. Art. 30 der KEV führt diese übergeordneten Anforderungen noch weiter aus, in dem konkret verlangt wird, welche Tätigkeits- und Sachgebiete durch die Organisation selber wahrgenommen werden müssen. Art. 31 der KEV verlangt ein Qualitätsmanagement-System, in dem die sicherheits- und sicherungsrelevanten Aufgaben in einem Management-Kreislauf erfasst sind und systematisch geplant, durchgeführt, kontrolliert, dokumentiert, periodisch überprüft und angepasst werden. In der ENSI-Richtlinie G07⁶ sind die Anforderungen an die Organisation eines Kernkraftwerks detailliert ausgeführt. Die Richtlinie gibt neben allgemeinen Festlegungen an die Organisation vor allem spezifische Anforderungen an die Aufbauorganisation, die Ablauforganisation (Arbeitsabläufe) und organisatorische Änderungen sowie deren Auswirkungen auf die Sicherheit des Kernkraftwerks. Die Mindestanforderungen an Ausbildung und Personal sind in einer eigenen Verordnung⁷ geregelt.

Mit diesen gesetzlichen Vorgaben wird gewährleistet, dass die Kernkraftwerke in der Schweiz jederzeit und unabhängig von ihrem Betriebsalter sicher betrieben werden. Es ist Aufgabe des ENSI, sicherzustellen, dass der Betreiber diese gesetzlichen Aufgaben wahrnimmt und der Sicherheit immer die erste Priorität einräumt. Es muss darauf achten, dass die Nachrüstung der laufenden Kernkraftwerke gesetzeskonform dem Stand der Nachrüsttechnik entspricht und darüber hinaus sinnvolle Verbesserungen umgesetzt werden, die zu einer Risikoreduktion führen und angemessen sind. Gerade dieses Grundprinzip gewährleistet, dass die technische Ausführung der Kernanlagen auch nach 40 Jahren Betrieb dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, so weit wie sinnvoll möglich, entsprechen.

3. Alterungsüberwachungsprogramm (AÜP)

Ende 1991 forderte die HSK (heute: ENSI) alle Betreiber von Kernkraftwerken auf, eine systematische Überprüfung aller sicherheitsrelevanten Komponenten und Baustrukturen bezüglich Alterungseffekte durchzuführen und ein Alterungsüberwachungsprogramm einzuführen. Mit dem AÜP soll sichergestellt werden, dass die bekannten Alterungsmechanismen bei allen sicherheitsrelevanten Komponenten und Baustrukturen in den entsprechenden Instandhaltungs- und Qualitätssicherungsprogrammen berücksichtigt und dass geeignete Massnahmen bei festgestellten Abweichungen ergriffen werden.

3.1 Anforderungen an die AÜP

Unabhängig vom Fachgebiet bestehen die Anforderungen an die Alterungsüberwachung aus vier grundsätzlichen Elementen, die zu dokumentieren sind:

⁵ Richtlinie HSK-R-51: Alterungsüberwachung für mechanische und elektrische Ausrüstungen sowie Bauwerke in Kernanlagen, Ausgabe November 2004

⁶ Richtlinie G07: Organisation von Kernanlagen, Ausgabe April 2008

⁷ Verordnung über die Anforderungen an das Personal von Kernanlagen (VAPK) vom 9. Juni 2006 (SR 732.143.1)

1. Fachspezifische Übersicht über die möglichen Alterungsmechanismen.
2. Bauteil- oder komponentenspezifische Zuordnung von möglichen Alterungsmechanismen (werkspezifische "Steckbriefe" für Komponenten oder Bauwerke).
3. Überprüfung der vorhandenen Alterungsüberwachung auf Vollständigkeit und Eignung, ggf. Liste von Ergänzungsmassnahmen.
4. Schnittstellenregelung zwischen den Fachbereichen.

Für das methodische Vorgehen gilt:

- Alle bekannten und möglichen Alterungsmechanismen sind zu betrachten.
- Die Eignung und Durchführung der Überwachungsmassnahmen ist zu prüfen.
- Mögliche Lücken und offene Fragen sind zu identifizieren und zu bearbeiten.
- Die Auswertung von Trends aus Instandhaltung und Betriebserfahrung ist zu nutzen.
- Die Auswertung von Erkenntnissen aus Forschung, Technik und Industrie ist einzubeziehen.
- Die Risikorelevanz von Komponenten, die mittels probabilistischer Sicherheitsanalysen (PSA) bestimmt wird, ist beim Betrachtungsumfang mitzubeachten⁸.
- Es wird eine Dokumentation der Ergebnisse und Nachweise zur Alterungsüberwachung einschliesslich Umsetzung von Ergänzungsmassnahmen erwartet.

3.2 Vorgehen im Bereich Maschinentechnik

Am Beispiel des Bereichs Maschinentechnik soll nachfolgend kurz erläutert werden, wie im Konkreten das AÜP umgesetzt wird.

Die mechanischen Ausrüstungen der Schweizer Kernkraftwerke sind gemäss ihrer Funktion in vier Sicherheitsklassen (SK 1 bis SK 4) eingeteilt oder sind unklassiert. Im Rahmen des AÜP werden folgende Komponenten in der Maschinentechnik detailliert betrachtet:

- druckführende Rohrleitungen und Behälter des Primärkreises (SK 1) einschliesslich deren Armaturen, Pumpen, Abstützungen und Drucksicherungseinrichtungen;
- Sicherheitseinschluss (Containment) (SK 2);
- Reaktoreinbauten (SK 2 und SK 4);
- Komponenten, die zur Erfüllung einer Sicherheitsfunktion im Anforderungsfall erforderlich sind (SK 2 und SK 3);
- Komponenten, die unabhängig von der Sicherheitsklasse aufgrund von PSA-Resultaten als risikorelevant erkannt werden;
- ausgewählte weitere Komponenten aufgrund wichtiger Aspekte der Systemtechnik, des Betriebes und des Strahlenschutzes.

Die wesentlichen Programmbestandteile für die Alterungsüberwachung in der Anlage sind:

- Instandhaltungsprogramme (Wartung, Ersatz, Reparaturen, Prüfungen);
- Integritäts- und Funktionsprüfungen;

⁸ In der ENSI-Richtlinie A06 (Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA): Anwendungen) ist die Definition einer risikorelevanten Komponente festgelegt.

- Zerstörungsfreie Materialprüfung (u.a. Ultraschall-, Wirbelstrom- und Röntgenmethoden) mit mechanisierten Prüfsystemen;
- Bestrahlungsprobenprogramm (RDB-Versprödung durch Neutronenstrahlung);
- Ermüdungsüberwachungsprogramm (Transientenbuchhaltung und Berechnung der Ermüdungsausnutzung);
- Chemieüberwachung der Medien und Hilfsstoffe;
- Leckageüberwachung.

3.3 Bekannte Alterungseffekte und Schäden in Schweizer KKW

- Die Versprödung des Reaktordruckbehälterstahls durch Neutronenbestrahlung ist vor allem für die Anlagen Beznau 1, Beznau 2 und Mühleberg relevant. Die Anlagen Gösgen und Leibstadt sind dank besserer Materialauswahl in deutlich geringerem Masse betroffen. Die Grenzwerte für den Versprödungszustand des RDB sind in der Ausserbetriebnahme-Verordnung⁴ festgelegt.
- Schäden durch Materialermüdung treten vor allem durch thermomechanische Beanspruchung aufgrund von Strömungsvermischungen und -schichtungen an Rohrleitungen und Behälterstützen sowie durch Vibrationen an Pumpengehäusen und Kleinleitungen auf. Durch thermische Schichtung kam es beispielsweise 2003 im KKW Mühleberg zu einer Leckage an einem RDB-Stutzen. Der Stutzen wurde abgedichtet und verschlossen. Die Ermüdungsüberwachung an den Primärkreiskomponenten besteht aus der messtechnischen Erfassung der ermüdungsrelevanten Ereignisse während des Betriebes und der Berechnung der aktuellen Sicherheitsreserve gegen Rissbildung. Bereiche erhöhter Ermüdungsbelastungen müssen mittels volumetrischer Prüfung (vor allem Ultraschall- und Wirbelstromverfahren) regelmässig untersucht werden.
- Spannungsrisskorrosion war die Ursache der Dampferzeuger-Heizrohrschäden in Beznau. Dies führte in den neunziger Jahren zu einem Austausch der Dampferzeuger. An austenitischen Reservedurchführungskappen eines RDB-Deckels von Beznau 2 traten 1999 unerwartet Risse auf. Von Spannungsrisskorrosion waren bzw. sind auch die Schweissnähte an den Umwälzschleifen der SWR-Anlagen betroffen sowie der Kernmantel im KKW Mühleberg.
- Flächen-, Mulden- und Lochkorrosion wurden in Kühlwassersystemen, in geringem Umfang im Wasser-Dampfsystem der Sekundäranlagen und in unzugänglichen Bereichen zwischen Stahldruckschale und Betonwandung des Sicherheitseinschlusses (Stahldruckschale) in den Anlagen des KKW Beznau festgestellt. An der Stahldruckschale wurden durch Inspektionsbohrungen die Wanddicken an verschiedenen Stellen gemessen. Massnahmen zur Reduzierung des Korrosionsangriffs wurden eingeleitet.
- Borsäurekorrosion am RDB-Deckel trat bereits zu Anfang des Betriebs von Beznau 1 (1970/71) auf. Seitdem ist man sich dieser Gefahr bewusst und überwacht die potenziell gefährdeten Bereiche regelmässig. Das KKW Beznau hat sich inzwischen entschieden, die RDB-Deckel zu ersetzen.
- Im Bereich der Elektro- und Leittechnik sind die Kabelalterung und die Austrocknung von Elektrolytkondensatoren die wichtigsten Alterungseffekte.

- Bei den älteren Bauwerken der Kernkraftwerke liegt teilweise eine tief reichende Karbonatisierung der Betonstrukturen vor. Durch einen wirkungsvollen Witterungsschutz wird der Entstehung von Folgeschäden vorgebeugt.

4. Sicherheitsüberprüfung

Die periodische Sicherheitsüberprüfung ist ein zentrales Element des Langzeitbetriebs der schweizerischen Kernkraftwerke. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, muss von Gesetzes wegen der Betreiber eines Kernkraftwerks systematische Sicherheits- und Sicherungsbewertungen während der ganzen Lebensdauer der Anlage durchführen und periodisch eine umfassende Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) vornehmen.

Die Grundphilosophie der Sicherheit einer Kernanlage baut auf drei hintereinander angeordneten Sicherheitsbarrieren, deren Zuverlässigkeit durch die gestaffelte Sicherheitsvorsorge auf fünf Sicherheitsebenen gewährleistet wird (Defense-in-Depth Konzept). Die auf den fünf Schutzebenen getroffenen Massnahmen zielen darauf ab, die vier grundlegenden Schutzziele sicherzustellen: die Kontrolle der Reaktivität, die Kühlung der Brennelemente, den Einschluss radioaktiver Stoffe und die Begrenzung der Strahlenexposition. Die Idee der **systematischen Sicherheitsbewertung** beruht nun darauf, jede Anlage gemäss dieser Grundphilosophie der nuklearen Sicherheit zu bewerten. Jede Beobachtung bei Inspektionen, von Meldungen, Ergebnisse von Analysen, usw. werden einer oder mehreren der fünf Sicherheitsebenen, den drei Sicherheitsbarrieren und den vier Schutzzielen zugeordnet, wobei unterschieden wird, ob die Beobachtung sich auf technische oder menschliche/organisatorische Aspekte bezieht.

Für die Bewertung der Beobachtungen wird eine einheitliche Skala verwendet. Die Skala basiert auf der internationalen Ereignisskala (INES), ist aber nach unten – im Bereich «below scale» – erweitert. Dadurch deckt sie nicht nur Vorkommnisse ab, sondern auch den ungestörten Normalbetrieb und sogar Aspekte, die Vorbildcharakter für andere Anlagen haben.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Struktur der vom ENSI erarbeiteten systematischen Sicherheitsbewertung. In diese Zuordnungsmatrix werden alle Beobachtungen eingetragen. Das sich daraus ergebende Bild hilft, die Sicherheit einer Kernanlage umfassender zu bewerten, als dies allein aufgrund einzelner Aspekte möglich ist. Die Darstellung hilft insbesondere, mögliche Muster zu erkennen, also Hinweise, in welchem Bereich sich Veränderungen aufzeigen oder ungenügende Vorsorgemassnahmen vorliegen. Die Darstellung dient aber auch der Aufsichtsbehörde selber, um ihre eigene Arbeit zu optimieren und sicherzustellen, dass sie eine ausgewogene Aufsichtspraxis pflegt und sich nicht punktuell auf einige Aspekte konzentriert.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass dieser systematische Ansatz eine deutlich nachvollziehbarere Bewertung der Sicherheit einer Kernanlage zulässt. Sie hilft zudem, Massnahmen abzuleiten, die im Gesamtkontext sicherheitsgerichtet und für die Betreiber nachvollziehbar sind.

Zuordnungsmatrix für aufsichtsrelevante Bewertungsgegenstände

Schutz von Mensch und Umwelt gegen die schädlichen Effekte ionisierender Strahlung: Kontrolle über den Reaktorkern, die nukleare Kettenreaktion, radioaktive Quellen und Strahlenquellen und die resultierende Strahlenexposition		Bewertungsaspekte			
		Vorgabedokumentation Auslegungsvorgaben	Betriebsvorgaben	Betriebsgeschehen Zustand und Verhalten der Anlage	Verhalten von Mensch und Organisation
Gestaffelte Sicherheitsvorsorge Nicht eindeutig zuzuordnende Aspekte					
L	Zuordnung zu den Sicherheitsebenen				
	L1	Vermeidung von Abweichungen vom Normalbetrieb			
	L2	Erkennen und Beherrschen von Betriebsstörungen			
	L3	Beherrschen von Auslegungsstörfällen			
	L4	Beherrschen von auslegungsüberschreitenden Störfällen			
	L5	Linderung der Konsequenzen bei signifikanten Abgaben			
B	Barrierenintegrität (passive und im Normalbetrieb geschlossene Komponenten)				
	B1	Brennstoffmatrix und Hüllrohre (resp. Quellenummantelung)			
	B2	Primärkreis (resp. innere Barriere)			
	B3	Containment (resp. äussere Barriere)			
Grundlegende Sicherheitsfunktion resp. Schutzziele (IAEA NS-R-1, KTA) Nicht eindeutig zuzuordnende Aspekte					
S1	Kontrolle der Reaktivität				
S2	Kühlung der Brennelemente (resp. der Abfallgebinde bei Lagern)				
S3	Einschluss radioaktiver Stoffe				
S4	Begrenzung ⁹ der Strahlenexposition				
	E1	Strahlenschutzplanung und Schutzmassnahmen			
	E2	Einhaltung gesetzlicher Grenz- und Richtwerte			

Eine **Periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ)**¹⁰ umfasst folgende Teilbereiche:

- Darstellung des Sicherheitskonzepts;
- Bewertung der Betriebsführung und des Betriebsverhaltens;
- Deterministische Sicherheitsstatusanalyse mit Bewertung aller Sicherheitseinrichtungen und der vorliegenden Störfallanalysen;

⁹ Dem Schutzziel „Begrenzung der Strahlenexposition“ sind nicht nur Systeme, Komponenten und Tätigkeiten zur Einhaltung gesetzlicher Grenz- und Richtwerte, sondern auch zur Rechtfertigung und Optimierung (ALARA) gemäss den Artikeln 5 und 6 der StSV zugeordnet.

¹⁰ Voir Contrôle N° 147 Juillet 2002 : La vérification périodique de sûreté en Suisse

- Probabilistische Sicherheitsanalyse der Stufe 1 für den Leistungsbetrieb und den Stillstand sowie der Stufe 2 ausschliesslich für den Leistungsbetrieb.

Im Rahmen der Gesamtbewertung sind die Ergebnisse der einzelnen Teilbereiche der Periodischen Sicherheitsüberprüfung zusammenzuführen. Die Gesamtbewertung besteht aus der Bewertung des aktuellen Sicherheitsstatus des Kernkraftwerks und einer vorausschauenden Bewertung des zukünftigen Sicherheitsstatus. Die vorausschauende Bewertung des zukünftigen Sicherheitsstatus des Kernkraftwerks ist auf Trenddarstellungen der Beanspruchung und der Nichtverfügbarkeit von Sicherheitseinrichtungen, auf Ausfallstatistiken sicherheitsrelevanter Komponententypen sowie auf Ergebnisse der Alterungsüberwachung abzustützen. Darüber hinaus ist auf organisatorische und personelle Aspekte eines weiteren sicheren Betriebes einzugehen. Diese vorausschauende Bewertung ist ein wichtiges Element für den Langzeitbetrieb eines Kernkraftwerks.

5. Aktueller Stand

Wie einleitend festgehalten, wird die Anlage Beznau 1 dieses Jahr das 40. Betriebsjahr abschliessen. Das ENSI hat deshalb von Beznau bereits 2004 verlangt, *rechtzeitig vor Ablauf der 40-jährigen Betriebsdauer, d.h. bis Mitte 2008, die Nachweise zu erbringen, dass die Auslegungsgrenzen der sicherheitstechnisch relevanten Anlageteile auch in einer verlängerten Betriebsdauer nicht erreicht werden. Andernfalls sind rechtzeitig Nachrüstmassnahmen durchzuführen.* Die Studien für beide Blöcke der Anlage Beznau wurden termingerecht Mitte 2008 eingereicht.

Zur Beurteilung des technischen Zustandes und des Sicherheitsstatus seiner Anlagen hat der Betreiber folgende Aspekte betrachtet:

- Beitrag der systematischen Alterungsüberwachung für die Ausrichtung einer sicherheitsgerichteten Instandhaltung von sicherheitsrelevanten Komponenten, Ausrüstungen und Baustrukturen;
- Zustands- und Alterungsanalysen hinsichtlich Langzeitbetrieb für die druckführenden Behälter und Rohrleitungen des Primärkreises, insbesondere für die Reaktordruckbehälter sowie auch für ausgewählte Ausrüstungen der Sicherheitsklasse 2;
- Beitrag des Betriebsdauermanagements als Entscheidungsgrundlage für Nachrüstungen von Grosskomponenten und Systemen;
- Vergleich des Sicherheitskonzepts der Anlagen Beznau mit einer modernen Druckwasserreaktoranlage, im speziellen mit dem EPR;
- Probabilistische Bewertung des Sicherheitsstatus der Anlage Beznau.

Aufgrund dieser umfassenden Überprüfung kommt der Betreiber zum Ergebnis, dass beide Blöcke der Anlage Beznau sicher über 40 Betriebsjahre hinaus betrieben werden können. Das ENSI überprüft zurzeit diese Unterlagen und wird seine Stellungnahme gegen Ende 2009 veröffentlichen.

Das ENSI hat dieselben Analysen auch vom Betreiber der Anlage Mühleberg verlangt. Die entsprechende Studie muss bis Ende 2010 vorliegen. Das ENSI wird auch für die Anlagen Gösgen und Leibstadt vergleichbare Studien verlangen, falls diese – wie vorgesehen – über 40 Jahre hinaus betrieben werden sollen.

6. Schlussbemerkung

In der Schweiz kann ein Kernkraftwerk so lange betrieben werden, wie es sicher ist. Es gibt von Gesetzes wegen keine Laufzeitbegrenzung. Die Sicherheit muss jederzeit gewährleistet

sein. Es ist Aufgabe des Betreibers, dies nachzuweisen und es ist Aufgabe des ENSI, zu prüfen, dass der Betreiber seine Aufgabe umfassend wahrnimmt.

Da keine Laufzeitbegrenzung gesetzlich vorgegeben ist, sind die systematische Sicherheitsbewertung und die periodische Sicherheitsüberprüfung (PSÜ) von zentraler Bedeutung. Die systematische Sicherheitsbewertung stellt sicher, dass die Betriebserfahrung umfassend jährlich ausgewertet wird und daraus die notwendigen Konsequenzen im technischen, betrieblichen und organisatorischen Bereich gezogen werden. Mit der alle 10 Jahre durchzuführenden Periodischen Sicherheitsüberprüfung wird der aktuelle Anlagenzustand umfassend mit dem Regelwerk sowie dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik verglichen. Es wird beurteilt, ob die Anlage soweit nachgerüstet wurde, als dies nach der Erfahrung und dem Stand der Nachrüstungstechnik notwendig ist und ob die Nachrüstung zu einer weiteren Verminderung der Gefährdung beiträgt.

Die Kernkraftwerke in der Schweiz sind im Laufe der Jahre dank umfassender Nachrüstungen sicherheitstechnisch in einem guten Zustand, verfügen über kompetente und engagierte Betriebsmannschaften und Organisationen, die die Sicherheit über wirtschaftliche Gewinnoptimierung stellen. Aus heutiger Sicht ist ein Betrieb auch über 40 Betriebsjahre hinaus zu verantworten.