



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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



## Alterungsüberwachung

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

**ENSI-B01**

# **Alterungsüberwachung**

Ausgabe August 2011

**Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen**

**ENSI-B01/d**

# Inhalt

Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen

ENSI-B01/d

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Gegenstand und Geltungsbereich</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>Grundsätzliche Anforderungen an die Alterungsüberwachung</b>	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>Alterungsüberwachung in der Bautechnik</b>	<b>2</b>
<b>6</b>	<b>Alterungsüberwachung in der Elektro- und Leittechnik</b>	<b>3</b>
<b>7</b>	<b>Alterungsüberwachung in der Maschinenteknik</b>	<b>5</b>
7.1	Kategorie A: Detaillierte Betrachtung in den Steckbriefen	6
7.2	Kategorie B: Gruppierte Betrachtung in den Steckbriefen	6
<b>8</b>	<b>Liste der Verweisungen</b>	<b>6</b>
<b>Anhang 1:</b>	<b>Begriffe (gemäss ENSI-Glossar)</b>	<b>7</b>
<b>Anhang 2:</b>	<b>Inhalt der Steckbriefe für Bauwerke</b>	<b>10</b>
<b>Anhang 3:</b>	<b>Inhalt der Steckbriefe für elektrische Systeme und Komponenten</b>	<b>12</b>
<b>Anhang 4:</b>	<b>Inhalt der Steckbriefe für mechanische Systeme und Komponenten</b>	<b>13</b>
<b>Anhang 5:</b>	<b>Nachweis der Sprödbruchsicherheit RDB</b>	<b>15</b>
<b>Anhang 6:</b>	<b>Ermüdungsüberwachung</b>	<b>18</b>



# 1 Einleitung

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) ist die Aufsichtsbehörde über die nukleare Sicherheit und Sicherung der Kernanlagen in der Schweiz. In seiner Eigenschaft als Aufsichtsbehörde oder gestützt auf einen Auftrag in einer Verordnung erlässt es Richtlinien. Richtlinien sind Vollzugshilfen, die rechtliche Anforderungen konkretisieren und eine einheitliche Vollzugspraxis erleichtern. Sie konkretisieren zudem den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Das ENSI kann im Einzelfall Abweichungen zulassen, wenn die vorgeschlagene Lösung in Bezug auf die nukleare Sicherheit und Sicherung mindestens gleichwertig ist.

## 2 Gegenstand und Geltungsbereich

Diese Richtlinie regelt die Anforderungen an die Alterungsüberwachung für den Betrieb von schweizerischen Kernanlagen für alle gemäss Richtlinie ENSI-G01 zu klassierenden Bauwerke sowie elektrischen und mechanischen Ausrüstungen.

Für die Alterungsüberwachung sind die sicherheitsrelevanten Aspekte der Werkstoffalterung von mechanischen und elektrischen Ausrüstungen sowie von Bauwerken zu betrachten.

## 3 Rechtliche Grundlagen

Diese Richtlinie stützt sich auf Art. 35 Kernenergieverordnung (KEV, SR 732.11).

## 4 Grundsätzliche Anforderungen an die Alterungsüberwachung

Der Bewilligungsinhaber hat folgende grundsätzlichen Anforderungen zu erfüllen:

- a. Identifizierung der für die jeweiligen Anlagenteile relevanten Alterungsmechanismen
- b. Überprüfung, ob das bestehende Instandhaltungsprogramm geeignet ist, alterungsbedingte Schäden frühzeitig zu erkennen
- c. die in der Überprüfung erkannten Schwachstellen zu beseitigen

Zur Erfüllung dieser Anforderungen sind durch den Bewilligungsinhaber folgende Dokumente und Unterlagen zu erstellen und der Aufsichtsbehörde einzureichen:

- a. fachspezifische Kataloge von Alterungsmechanismen
- b. GSKL-Schnittstellendokument für die fachspezifische Zuordnung der Aus-rüstungen und Bauwerke zu den Fachgebieten Bautechnik, Elektrotechnik und Maschinentchnik
- c. werkspezifische oder GSKL-Leitfäden
- d. Steckbriefe zur Alterungsüberwachung mit bauteil- oder komponentenspe-zifischer Zuordnung von relevanten Alterungsmechanismen und Abgleich mit dem jeweiligen Instandhaltungsprogramm

Diese Unterlagen und Dokumente sind regelmässig dem aktuellen Kenntnisstand anzupas-sen, eine Revision ist spätestens alle 10 Jahre oder entsprechend fachspezifischen Vorga-ben durchzuführen. Dabei sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- a. relevante Herstellerinformation
- b. Auswertung aus Instandhaltung und Betriebserfahrung
- c. Auswertung von Vorkommnissen in der eigenen Anlage und in vergleichba-ren Anlagen, die auf Werkstoffalterung zurückzuführen sind
- d. Stand von Wissenschaft und Technik, insbesondere relevante Erkenntnisse aus der Fachliteratur, Fachkonferenzen, Standards und Normen

Im Geltungsbereich der Richtlinie ENSI-B01 sind vom Bewilligungsinhaber die Aspekte der Werkstoffalterung gemäss IAEA Safety Guide NS-G-2.12 /1/ zu erfüllen.

## **5 Alterungsüberwachung in der Bautechnik**

Im Leitfaden für die Bautechnik sind folgende allgemeine Grundlagen zu regeln:

- a. die Dokumentation des Bauwerks
- b. die Beschreibung der bauteilspezifischen Alterungsmechanismen
- c. die Untersuchungsmethoden
- d. die Beschreibung der werkstoffspezifischen Zustandsstufen und der Zuord-nungskriterien
- e. die Dokumentation der Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen

Die Basis der Alterungsüberwachung besteht in werkspezifischen Inspektionsprogrammen für systematische Zustandsuntersuchungen der Bauwerke der Bauwerksklassen 1 und 2. Das Hauptintervall der Untersuchungen beträgt 10 Jahre. Die Ergebnisse werden als Haupt-

inspektion dokumentiert. Die Basisinspektion oder erste Hauptinspektion erfolgt bei Beginn des Inspektionsprogramms. In der Mitte des Hauptintervalls erfolgt eine Zwischeninspektion. Die Zwischeninspektion fasst alle seit der letzten Hauptinspektion gemachten Feststellungen zusammen. Sonderinspektionen werden fallweise bei wesentlichen Zustandsänderungen oder bei aussergewöhnlichen Ereignissen angeordnet, zum Beispiel wenn für einzelne Bauteile spezielle Alterungseinflüsse zu untersuchen sind. Das Gesamtprogramm aller Zustandsuntersuchungen wird bauwerksweise mit einem Inspektionsplan festgelegt.

Die bauwerksspezifischen Informationen und Zustandsuntersuchungen der Bautechnik sind in Steckbriefen zu dokumentieren. Der Bewilligungsinhaber reicht die Steckbriefe der Aufsichtsbehörde zur Überprüfung ein. Er hat sie alle 5 Jahre nachzuführen, jeweils nach der Hauptinspektion und nach der Zwischeninspektion. Bei Bauwerken der Bauwerksklasse 2 sind die Steckbriefe alle 10 Jahre nachzuführen. Ergebnisse von Zwischen- und Hauptinspektionen können zusammengefasst werden.

Der Aufbau der Steckbriefe ist in Anhang 2 dargestellt. Zentrale Elemente der Steckbriefe bilden die Inspektionspläne und die Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen. Die Datenbasis der in den Steckbriefen aufgeführten Tabellen ist auch in elektronischer Form mitzuliefern.

Der fach- und termingerechte Vollzug der Inspektionspläne wird von der Aufsichtsbehörde überwacht. Die aktualisierten Steckbriefe sind der Aufsichtsbehörde spätestens 6 Monate nach Abschluss der Inspektionen zuzustellen.

Im Geltungsbereich der Richtlinie ENSI-B01 sind vom Bewilligungsinhaber grundlegend die Anforderungen der Norm SIA 469 /2/ für den Bereich der Bauwerke zu erfüllen.

## **6           Alterungsüberwachung in der Elektro- und Leittechnik**

Für alle gemäss Richtlinie ENSI-G01 als 1E zu klassierenden elektrischen und leittechnischen Ausrüstungen ist in systemspezifischen Steckbriefen die Alterungsüberwachung zu dokumentieren. Dazu ist eine vollständige Liste der Steckbriefe für die 1E-klassierten Systeme und Komponenten nach der Richtlinie ENSI-G01 zu erstellen. Zu dieser Erhebung ist die 1E-Komponentenliste, welche nach den Vorgaben der Richtlinie ENSI-G01, Anhang 4 erstellt wird, zu verwenden.

Die Steckbriefe werden in Teilgruppen aufgeteilt (siehe Anhang 3) und beinhalten:

- a.   Teil 1: Alterungsmechanismen
- b.   Teil 2: Mögliche Diagnosemethoden
- c.   Teil 3: Werkspezifische Überprüfung

Die Teile 1 und 2 der Steckbriefe sind generisch zu erstellen. Der Aufsichtsbehörde wird somit nur eine gemeinsam gültige, anlagenunabhängige Version eingereicht. Teil 3 ist anlage-spezifisch und fällt daher in den Zuständigkeitsbereich der einzelnen Bewilligungsinhaber. Anhand eines Soll-Ist-Vergleiches von Teil 1 und Teil 2 gegenüber den in der Anlage etablierten Instandhaltungsmassnahmen wird der Erfüllungsgrad der Alterungsüberwachung für jeden Komponententyp im Teil 3 festgestellt. Für eventuell vorhandene Lücken oder Abweichungen in den Instandhaltungsprogrammen sind die geeigneten Ergänzungsmassnahmen entweder vorbeugend (zeit- oder zustandsorientiert) oder bei mehrfach vorhandenen Redundanzen ausfallsorientiert festzulegen. Auch Teil 3 ist aktuell zu halten und der Aufsichtsbehörde zur Beurteilung einzureichen.

Die Behandlungstiefe kann für normale bzw. erschwerte Umgebungsbedingungen bei Störfällen unterschiedlich erfolgen. Die Vorhersage von potenziellen Alterungseinflüssen kann auf verschiedenen Methoden basieren. Die Aufsichtsbehörde akzeptiert folgende Methoden:

- a. beschleunigter Alterungsversuch in einer Testumgebung (z. B. in einer Wärmebox): Die für die Versuchsauswertung notwendige Modellrechnung erfolgt danach z. B. mittels Arrhenius- oder n-k-Regel
- b. Untersuchung von ausgebauten Komponenten mit bekannten Nutzungsbedingungen
- c. Kabel- oder Komponentenlagerung im Containment unter extremen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, etc.)

Ausserdem wird pro Steckbrief eine Liste der in der Anlage betroffenen Komponenten mit Anlagekennzeichen verfasst. Diese ist in elektronischer Form einzureichen. Für die Komponenten mit Störfallfestigkeitsanforderung ist der Zeitpunkt für eine Neubewertung der Nutzungszeit respektive des Störfallfestigkeitsnachweises oder der Ersatz der Komponente festzulegen. Dabei sind die Lagerungsbedingungen, die tatsächlichen Betriebs- und Umgebungsbedingungen der Einsatzzeit sowie neuere werkstofftechnische Erkenntnisse zu berücksichtigen.

Alle elektrischen Ausrüstungen mit sicherheitstechnischer Bedeutung (gemäss ENSI-G01 als 0E zu klassieren) einschliesslich deren Stromversorgungssysteme sowie deren zugehörigen leittechnischen Einrichtungen, welche zur Aufrechterhaltung oder zum Erlangen der Sicherheit einer Kernanlage notwendig sind, sind in ein Alterungsdossier aufzunehmen. Hierbei handelt es sich um einen Vergleich der vorgesehenen Instandhaltungsarbeiten mit den für das System relevanten Alterungsmechanismen. Der Vergleich kann auf Stufe System durchgeführt werden und ist zu bewerten. Bei Änderungen und Nachträgen muss das Dossier der Aufsichtsbehörde eingereicht werden. Durchgeführte Änderungen und Nachträge sowie deren Veranlassung müssen rückverfolgbar sein.

## 7 Alterungsüberwachung in der Maschinentechnik

In komponenten- oder systemspezifischen Steckbriefen ist eine systematische Alterungsüberwachung für alle gemäss Richtlinie ENSI-G01 zu klassierenden Behälter und Rohrleitungen der Sicherheitsklassen 1-3, deren Abstützungen und druckhaltenden Ausrüstungsteilen (Pumpen, Armaturen, Sicherheitsventile) für die Verwendung in den schweizerischen Kernanlagen (BRK<sup>1</sup>) zu dokumentieren. Sie gilt auch für Kerneinbauten und Dieselanlagen der Notstromversorgung sowie für Komponenten, welche gemäss Richtlinie ENSI-A06 aus Sicht der PSA von sicherheitstechnischer Bedeutung sind. Ausgenommen werden alle Kleinleitungen für SK1 DN ≤ 25 und für SK2 und SK3 DN ≤ 50 sowie deren angeschlossenen Komponenten ausser den Sicherheitsventilen.

Die systematische Alterungsüberwachung beinhaltet insbesondere die Identifizierung der für die Komponenten relevanten Alterungsmechanismen. Diese werden vor allem aus den Erkenntnissen vom Katalog der Alterungsmechanismen von mechanischen Ausrüstungen (KATAM), den werkspezifischen Leitfäden sowie aus der Jahresübersicht zur Alterungsüberwachung hergeleitet. Eine mögliche Übertragbarkeit auf die im Steckbrief erfassten Komponenten ist zu prüfen. Die Auswirkung der Alterung von Betriebs- und Hilfsmitteln ist dabei zu berücksichtigen.

Der Inhalt der Steckbriefe ist im Anhang 4 dokumentiert. Anhang 5 definiert die Anforderungen an den Nachweis der Sprödbrechtsicherheit des Reaktordruckbehälters (RDB). Im Anhang 6 sind die Anforderungen an die Ermüdungsüberwachung geregelt. Die Steckbriefe sind der Aufsichtsbehörde als Dokument einzureichen. Die Datenbasis der in den Steckbriefen aufgeführten Tabellen ist auch in elektronischer Form mitzuliefern.

Für die als relevant eingestufteten Alterungsmechanismen muss dargestellt werden, ob die dadurch möglichen Schädigungen durch das vorhandene Instandhaltungsprogramm rechtzeitig erkannt werden können. Eingeleitete Ergänzungsmassnahmen sind in den Steckbriefen zu dokumentieren. Alle überprüften Alterungsmechanismen sind in den Steckbriefen zusammenfassend aufzuführen.

Die Dokumentationstiefe in den Steckbriefen wird entsprechend der sicherheitstechnischen Klassierung (SK) der mechanischen Ausrüstungen abgestuft. Basis bildet die Komponentenliste der mechanischen Ausrüstungen gemäss ENSI-G01, Anhang 3:

- a. BRK und Kerneinbauten der Sicherheitsklassen 1 und 2 gehören zur Kategorie A und sind detailliert zu behandeln.
- b. BRK und Dieselanlagen der Sicherheitsklasse 3 sowie Komponenten, welche aus Sicht der PSA von sicherheitstechnischer Bedeutung sind, gehören zur Kategorie B. Sie können in Gruppen zusammengefasst werden.

---

<sup>1</sup> BRK: gemäss Art. 1 der Verordnung über sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen in Kernanlagen

## **7.1 Kategorie A: Detaillierte Betrachtung in den Steckbriefen**

Die zu Kategorie A gehörenden Komponenten sind vollumfänglich und detailliert für die Alterungsüberwachung zu betrachten. Dabei ist eine Bewertung der Alterungsmechanismen auf Stufe der einzelnen Komponenten oder Komponentenbauteile erforderlich.

## **7.2 Kategorie B: Gruppierte Betrachtung in den Steckbriefen**

Die zu Kategorie B gehörenden Komponenten können für die jeweils als relevant erkannten Alterungsmechanismen auf Systemebene zu Gruppen zusammengefasst werden, für die der gleiche Alterungsmechanismus anzunehmen ist. Dabei ist eine detaillierte Auflistung der Komponenten und Komponentenbauteile nicht erforderlich.

# **8 Liste der Verweisungen**

In dieser Richtlinie wird auf folgende Dokumente verwiesen:

Ageing Management of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards

IAEA-Safety Guide No. NS-G-2.12, ISBN 978-92-0-112408-1 (January 2009)

Norm SIA 469 (1997),

Erhaltung von Bauwerken

ASTM E 1820,

Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness

U.S. Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.99,

Radiation Embrittlement of Reactor Vessel Materials, Revision 2

ASTM E 1921,

Standard Test Method for Determination of Reference Temperature  $T_0$  for Ferritic Steels in the Transition Range

NUREG/CR-6909,

Effect of LWR Environments on Fatigue Life of Reactor Materials, 2007

Diese Richtlinie wurde am 1. Juli 2011 vom ENSI verabschiedet.

Der Direktor des ENSI: sig. H. Wanner

## Anhang 1: Begriffe (gemäss ENSI-Glossar)

### Allgemeine Begriffe

Alterung	kumulative zeitabhängige Veränderung der Eigenschaften eines Anlageteils durch physikalische, chemische oder biologische Prozesse: Bei der Alterung können mehrere Alterungsmechanismen gleichzeitig wirksam sein.
Alterungsmechanismus	zeitabhängiger Prozess, der zu einer Veränderung der physikalischen oder chemischen Eigenschaften eines Werkstoffs, Materials oder Baustoffs führt
Alterungsmechanismen, potenzielle	alle bekannten und aus werkstoffkundlicher Sicht möglichen Alterungsmechanismen: Eine Übersicht findet sich in den fachspezifischen Katalogen sowie in den werkspezifischen oder GSKL-Leitfäden.
Alterungsmechanismen, relevante	nicht auszuschliessende Alterungsmechanismen, die kontinuierlich oder zeitweilig zu Schäden führen können
Alterungsüberwachung	wirksame Massnahmen zur rechtzeitigen Erkennung, Beurteilung und Beherrschung des Alterungszustandes eines Anlageteils
Alterungsüberwachungsprogramm	systematische Vorgehensweise bei der Überprüfung einer Anlage auf Alterungseinflüsse, zur Bewertung derselben und zur Überprüfung der vorhandenen Alterungsüberwachungsmassnahmen auf Vollständigkeit und Wirksamkeit mit dem Ziel, Lücken oder Schwachstellen zu erkennen und Massnahmen zu deren Schliessung festzulegen (Ergänzungsmassnahmen).
GSKL	Fachverband der „Gruppe der schweizerischen Kernkraftwerksleiter – GSKL“, organisiert in fachspezifischen Arbeitsgruppen mit Vertretern aller Schweizer Kernkraftwerke.

GSKL-Schnittstellendokument	Das GSKL-Schnittstellendokument definiert die Zuordnung der klassierten Ausrüstungen und Bauwerke zu den Fachgebieten Bautechnik, Elektrotechnik und Maschinenteknik und ist damit integraler Bestandteil der GSKL-Dokumentation im Bereich der Alterungsüberwachung.
Steckbrief	komponenten-, system- oder bauwerksspezifisches Dokument, welches die wichtigsten Daten für die Beurteilung der Alterung, Angaben zu Alterungsmechanismen und zur Alterungsüberwachung sowie Angaben zur Umsetzung des komponenten- oder bauwerksspezifischen Alterungsüberwachungsprogramms enthält
<b>Bautechnik</b>	
Basisinspektion	Die erste Hauptinspektion erfolgt zu Beginn eines bauwerksspezifischen Inspektionsprogramms und wird als Basisinspektion bezeichnet.
Hauptinspektion	Die Hauptinspektion ist eine mehrheitlich visuelle Zustandserfassung eines Bauwerks. Weitere Untersuchungsmethoden und Zeitabstand zwischen den Hauptinspektionen sind abhängig von Bedeutung, Nutzung und Zustand der Bauteile. Hauptinspektionen sind jedoch mindestens alle 10 Jahre durchzuführen.
Zwischeninspektion	Die Zwischeninspektion ist eine Zusammenstellung sämtlicher während Rundgängen erfassten Zustandsänderungen eines Bauwerks seit der letzten Hauptinspektion.
Zustandsstufen	Beschreibung sowie Einstufung von werkstoff-spezifischen Bauteilschäden nach einheitlichen Kriterien
<b>Elektrotechnik</b>	
0E-Alterungsdossier	spezifisches Dokument, welches die wichtigsten Daten für die Beurteilung der Alterungsüberwachung von 0E-klassierten Systemen sowie Angaben zur Wartung, Instandsetzung, Ersatzteilhaltung, etc. enthält

Störfallfestigkeitsnachweis

Mit dem Störfallfestigkeitsnachweis wird für eine Komponente belegt, dass ihre Störfallfestigkeit am Ende der vorgesehenen Nutzungszeit unter den am Einsatzort anzunehmenden Bedingungen erhalten bleibt. Dies beinhaltet die betriebliche Belastung, die Belastung während eines Störfalls und die Belastung während der Überführung der Anlage in den sicheren Zustand.

Störfallfestigkeitsanforderungen

sind jene Anforderungen, welchen die Komponente während dem Einsatz ausgesetzt sein könnte

### **Maschinentchnik**

KATAM (Katalog der Alterungsmechanismen von mechanischen Ausrüstungen)

Übersichtsdokument zur Zusammenstellung von Alterungsmechanismen für die Maschinentchnik

## **Anhang 2: Inhalt der Steckbriefe für Bauwerke**

Steckbriefe für Bauwerke beinhalten mindestens die folgenden Teile:

### **Allgemeiner Teil**

- a. Abgrenzung des Bauwerks
- b. Unterteilung in Teilbauwerke und Bauteile
- c. Zugänglichkeit der Bereiche des Bauwerks für visuelle und instrumentelle Untersuchungen

### **Bauteildokumentation und Betriebsbedingungen**

- a. Funktionsbeschreibung;
- b. massgebende Normen und Auslegungsgrundsätze;
- c. technische Eigenschaften der Werkstoffe und der Strukturteile des Bereichs Bautechnik: Beton, Stahlbeton, Baustahl, Bewehrungsstahl, Spannstahl, Verankerungselemente, Brandabschlüsse, Fugenbänder, Abdichtungen, Anstriche und Beschichtungen
- d. Betriebsbedingungen: Einwirkungen aus Normalbetrieb (insbesondere Lasten, Druck, Temperatur) und Betriebsstörungen
- e. aussergewöhnliche Einwirkungen: Erdbeben, Überflutung, Flugzeugabsturz, Einwirkungen Dritter
- f. Festlegung der Sollzustandsstufen
- g. Verzeichnis der massgebenden Bauwerksdokumente

### **Bauteilspezifische Alterungsmechanismen**

- a. Liste der für das Bauwerk massgebenden Alterungsmechanismen, bezogen auf die im Bauwerk verwendeten Materialien: Beton, Bewehrungsstahl, Linerbleche, Baustahl, Vorspannsysteme, Durchdringungen aus Stahl, Befestigungen, Brandabschlüsse, Fugenbänder, Abdichtungen, Anstriche, Beschichtungen
- b. Hinweise auf aktuelle Erfahrungen zur Bauwerksalterung in andern vergleichbaren Kernanlagen und Beurteilung deren Übertragbarkeit für das Bauwerk

## **Inspektionen, Befunde, Beurteilungen**

- a. Inspektionsplan: Zusammenstellung der am Bauwerk einzusetzenden Untersuchungsmethoden, gegliedert in visuelle Inspektionen, Prüfungen am Bauteil, Laboruntersuchungen sowie indirekte Untersuchungsmethoden für unzugängliche Bauteile, Zeitplan der Inspektionen
- b. Bestimmung und Auflistung der Zustandsstufen für die Bewertung der Bauteile
- c. Dokumentation der Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen mit Soll-Ist-Vergleich der Zustandsstufen, Beurteilung, Massnahmen zur Mängelbehebung, präventiven Massnahmen und Vollzugskontrolle der vorgängig festgelegten Massnahmen
- d. für die Stahlbetonhülle des Containments: Erfüllung der Anforderungen bezüglich Risse und Abplatzungen gemäss der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken

## **Anhang 3: Inhalt der Steckbriefe für elektrische Systeme und Komponenten**

Steckbriefe für elektrische Ausrüstungen beinhalten mindestens die folgenden Teile:

### **Teil 1: Alterungsmechanismen**

- a. Komponentengruppe
- b. Alterungsmechanismen mit Rahmenbedingungen
- c. Dokumentation/Referenzen zu Alterungsmechanismen

### **Teil 2: Mögliche Diagnosemethoden**

- a. Komponentengruppe
- b. Diagnosemethoden zur Festlegung des Alterungszustandes
- c. Dokumentation/Referenzen zu Diagnosemethoden

### **Teil 3: Werkspezifische Überprüfung**

- a. Komponenteninformation (Typ und Fabrikat)
- b. Situationsanalyse (Ist-Zustand der Überwachung)
- c. Auflistung der Lücken
- d. ergänzende Massnahmen zum Schliessen der Lücken
- e. Dokumentation/Referenzen zu werkspezifischen Überprüfungen (z. B. mit Angabe der Instandhaltungsvorschrift, etc.)
- f. Beilagen, Liste der betroffenen Komponenten
- g. Nutzungszeit/Störfallfestigkeitsnachweis (für 1E-Ausrüstung, welche erhöhter Strahlung ausgesetzt ist bzw. sein kann, z. B. bei einem LOCA)

## **Anhang 4: Inhalt der Steckbriefe für mechanische Systeme und Komponenten**

Steckbriefe für mechanische Komponenten und Systeme beinhalten mindestens die folgenden Teile:

### **Kategorie A: Detaillierte Betrachtung in den Steckbriefen**

- a. Titelblatt mit allgemeiner System- und Komponenteninformation;
- b. Übersicht der Komponenten und Komponentenbauteile mit folgenden Angaben in geeigneten Tabellen:
  - Bezeichnung, Komponentenidentifikation
  - für die Beurteilung relevante Angaben wie z. B. Werkstoffe und spezifische Werkstoffbehandlungen, innere oder äussere Beschichtung
  - Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Medium, etc.)
  - alterungsrelevante Inspektionsbefunde und Reparaturen, mechanische oder chemische Transienten aus Betriebsgeschichte
  - überprüfte und relevante Alterungsmechanismen
  - komponentenspezifische Instandhaltungsmassnahmen in Bezug auf die relevanten Alterungsmechanismen
- c. Sicherheitsklasse
- d. wesentliche externe Erfahrungen und relevante Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik (siehe auch Jahresübersicht ENSI-B02, Kapitel 4.7) zum betrachteten System und den Komponenten
- e. zusammenfassende Beurteilung
- f. Auflistung der eingeleiteten Ergänzungsmassnahmen
- g. Referenzen

## **Kategorie B: Gruppierte Betrachtung in den Steckbriefen**

- a. Titelblatt mit allgemeiner System- und Komponenteninformation;
- b. Übersicht mit gruppierten Angaben zu den Komponenten und Komponentenbauteilen in geeigneten Tabellen:
  - Bezeichnung, Komponentenidentifikation, Angaben zur Gruppierung
  - relevante Werkstoffangaben
  - überprüfte und relevante Alterungsmechanismen
  - Instandhaltungsmassnahmen mit Bezug auf die relevanten Alterungsmassnahmen
- c. Sicherheitsklasse
- d. Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Medium)
- e. alterungsrelevante Inspektionsbefunde und Reparaturen, mechanische oder chemische Transienten aus Betriebsgeschichte
- f. wesentliche externe Erfahrungen und relevante Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik (siehe auch Jahresübersicht ENSI-B02, Kapitel 4.7) zum betrachteten System und den Komponenten
- g. zusammenfassende Beurteilung
- h. Auflistung der eingeleiteten Ergänzungsmassnahmen
- i. Referenzen

## Anhang 5: Nachweis der Spröbruchsicherheit RDB

Die Überwachung der Neutronenversprödung ( $E_{\text{neutron}} > 1\text{MeV}$ ) der Materialien des Reaktor-druckbehälters (Grundmaterial und Schweissgut) hat durch in den RDB eingehängte Bestrahlungsproben zu erfolgen. Insbesondere sind folgende Untersuchungen durchzuführen:

### A5.1 Bestimmung Materialkennwerte

Für jeden Bestrahlungsprobensatz sind mindestens die relevanten Kennwerte des Zugversuches (Raum- und Betriebstemperatur) und des Kerbschlagbiegeversuches (in Abhängigkeit der Temperatur) zu bestimmen. Die Ergebnisse sind zu dokumentieren und der Aufsichtsbehörde einzureichen.

### A5.2 Bestimmung der Bruchzähigkeit für bestrahlte Materialzustände

Rechnerischen Spröbruchsicherheitsnachweisen ist folgender Verlauf der Bruchzähigkeit zugrunde zu legen:

$$K_{Ic}(T) = \min \left\{ 36.5 + 22.8 \cdot \exp[0.036 \cdot (T - RT_{ref})]; \sqrt{\frac{J_{Ic} \cdot E}{1 - \nu^2}} \right\} \quad (\text{a})$$

Die Referenztemperatur  $RT_{ref}$  ist mit einer der beiden in Abschnitt A5.3 festgelegten Methoden zu bestimmen.  $J_{Ic}$  bezeichnet die nach /3/ zu bestimmende Bruchzähigkeit in der Hochlage,  $E$  das Elastizitätsmodul bei der entsprechenden Versuchstemperatur und  $\nu = 0.3$  die dazugehörige Querdehnungszahl.

### A5.3. Bestimmung der Referenztemperatur

#### *Methode I: Klassisches Verfahren*

Die Referenztemperatur ist nach dem Vorgehen im Regulatory Guide 1.99 Rev. 2 /4/ zu bestimmen.

$$RT_{ref} = ART$$

ART ist die auf den Bestrahlungszustand justierte Referenztemperatur.

#### *Methode II: Vorgehen auf der Basis des Master-Curve-Konzepts*

Bei dieser Methode wird  $RT_{ref}$  auf der Basis der Referenztemperatur  $T_0$  nach /5/ bestimmt. Hierbei sind prinzipiell zwei Varianten möglich: Bei Variante A wird  $T_0$  direkt im bestrahlten Materialzustand ermittelt. Bei Variante B wird von  $T_0$  des unbestrahlten Ausgangsmaterials ausgegangen. Die Verschiebung von  $T_0$  wird analog zum Vorgehen bei Methode I aus der Verschiebung des Steilabfalls beim Kerbschlagbiegeversuch bestimmt.

Variante A:

$$RT_{ref} = T_0 + 12.4K + \Delta T_s + \sqrt{\frac{324}{n} + 16 + \Delta T_M^2 + \Delta T_T^2} \quad (b)$$

wobei:

$T_0$ : Referenztemperatur nach /5/  
 $n$ : Anzahl gültiger Versuche zur Bestimmung von  $T_0$

$\Delta T_s$   $\left\{ \begin{array}{l} = 0, \text{ wenn } T_0 \text{ mit 1T-C(T)-Proben bestimmt wurde} \\ = 10 \text{ K, wenn } T_0 \text{ mit 0.4T-SEN(B)-Proben bestimmt wurde} \end{array} \right.$

$\Delta T_M$   $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ für Grundmaterial} \\ = 6 \text{ K für Schweissgut} \end{array} \right.$

$\Delta T_T$   $\left\{ \begin{array}{l} = 0 \text{ für 1T-C(T)-Proben} \\ = 5 \text{ K für 0.4T-SEN(B)-Proben} \end{array} \right.$

Variante B:

$$RT_{ref} = RT_{ref}^{(0)} + \Delta T_j \quad (c)$$

wobei:

$RT_{ref}^{(0)}$  Referenztemperatur  $RT_{ref}$  nach Gleichung (b) des Werkstoffs im Ausgangszustand (unbestrahlt)

$\Delta T_j$  Temperaturverschiebung infolge Bestrahlung

$\Delta T_j$  ist aus Kerbschlagbiegeversuchen als die Temperaturverschiebung des Steilabfalls /4/ auf der Referenzhöhe 41 J oder 68 J wie folgt zu bestimmen:

$$\Delta T_j = \Delta T_{41J} \quad (d)$$

oder

$$\Delta T_j = \Delta T_{68J} \quad (e)$$

Hierbei bezeichnen  $\Delta T_{41J}$  bzw.  $\Delta T_{68J}$  die Temperaturverschiebung der mit einer tanh-Funktion gefitteten Übergangskurve der Kerbschlagarbeit auf einem Niveau von 41J bzw. 68 J.

## Anhang 6: Ermüdungsüberwachung

### A6.1 Überwachungsbereich

In die Überwachung sind ermüdungsrelevante Komponenten der SK1 bis SK3 einzubeziehen. Ermüdungsrelevant sind Komponenten, die mindestens einer der folgenden Bedingungen ausgesetzt sind:

- a. in der Auslegung spezifizierte Lasttransienten
- b. Temperaturschichtungen, wenn über den Umfang einer Komponente Temperaturdifferenzen von mehr als  $\Delta T = 100$  K für Austenit und Nickelbasislegierungen oder von mehr als  $\Delta T = 60$  K für alle übrigen Werkstoffe auftreten
- c. Mischströmungen, wenn sich beide Fluidtemperaturen um mehr als  $\Delta T = 80$  K für Austenit und Nickelbasislegierungen oder um mehr als  $\Delta T = 50$  K für alle übrigen Werkstoffe unterscheiden
- d. hochzyklische mechanische Belastungen (Vibrationen), welche zu lokalen Spannungsschwingweiten oberhalb  $2 \cdot S_a$  bei  $10E10$  Lastwechsel für Austenit und Nickelbasislegierungen oder oberhalb  $2 \cdot S_a$  bei  $10E6$  Lastwechsel von der Designkurve für die übrigen Werkstoffe führen

sowie Komponenten, für die

- e. ungünstige interne oder externe Betriebserfahrung hinsichtlich Ermüdungsschädigung sowie Vorgaben des Herstellers, welche auf die jeweilige Anlage übertragbar sind

### A6.2 Anforderungen an die Ermüdungsüberwachung und Massnahmen

Der Bewilligungsinhaber ist zu Folgendem verpflichtet:

- f. die ermüdungsrelevanten Komponenten systematisch zu überwachen, den Stand regelmässig zu aktualisieren und jährlich im Rahmen der Jahresübersicht zur Alterungsüberwachung zu dokumentieren
- g. die zur Ermittlung der Ermüdungsausnutzung erforderlichen Daten qualitätsgesichert zu erfassen, dauerhaft zu speichern und auszuwerten
- h. die lokalen thermischen und mechanischen Beanspruchungen an den höchstbeanspruchten Stellen der Komponenten abzuleiten, die Beanspruchungs-Zeit-Funktionen für eine Betriebsfestigkeitsanalyse zu klassieren und den aktuellen Ermüdungszustand nach Stand von Wissenschaft und Technik zu ermitteln

Für die in der Auslegung spezifizierten Lasttransienten genügt eine vereinfachte Abschätzung des Erschöpfungsgrades auf Basis der Anzahl aufge-

treter ermüdungsrelevanter Ereignisse im Vergleich zur Anzahl spezifizierter Ereignisse

- i. für die nicht in der Auslegung spezifizierten ermüdungsrelevanten Beanspruchungen den Umgebungseinfluss gemäss den Anforderungen in /6/ zu berücksichtigen

Vereinfachte Annahmen zur Bestimmung des Umgebungseinflusses sind zulässig, sofern deren Konservativität sichergestellt ist

- j. geeignete Massnahmen zu ergreifen, falls der Gesamterschöpfungsgrad den Wert von 1.0 erreicht, bzw. der Gesamterschöpfungsgrad um mehr als 0.1 im Vergleich zum Vorjahr zunimmt

Der Gesamterschöpfungsgrad berechnet sich wie folgt:

$$D_{\text{Ges}} = D + \Delta D * F_{\text{en}} ,$$

mit

D: Teilerschöpfungsgrad aus Beanspruchungen, welche in der Auslegung spezifiziert wurden,

$\Delta D$ : Teilerschöpfungsgrad aus nicht in der Auslegung spezifizierten Beanspruchungen und

$F_{\text{en}}$ : Faktor zur Berücksichtigung des Mediumeinflusses.

**Herausgeber:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Industriestrasse 19, CH-5200 Brugg  
Telefon +41 (0)56 460 84 00, Telefax +41 (0)56 460 84 99

**Zu beziehen bei:** Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), Industriestrasse 19, CH-5200 Brugg  
oder per E-Mail: [info@ensi.ch](mailto:info@ensi.ch)  
Abrufbar unter [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)