

RSK - EMPFEHLUNG

Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken

vom 22.07.2004 (374. Sitzung)

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Grundsätze für das Vorgehen zur Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken

- 1.1 Einleitung
- 1.2 Begriffsbestimmungen
- 1.3 Alterungsmanagement und bestehende Regelungen
- 1.4 Anforderungen an das Vorgehen zur Beherrschung von Alterungsprozessen
 - 1.4.1 Alterung der technischen und baulichen Einrichtungen
 - 1.4.2 Alterung bzw. Veralten der für die Betriebsführung relevanten Systeme, der betrieblichen Regelungen sowie der Dokumentation
 - 1.4.3 Erhaltung der Fachkompetenz
 - 1.4.4 Konzeptionelle und technologische Alterung
- 1.5 Empfehlung

Kapitel 2

Fachspezifische Beiträge für das Vorgehen zur Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken

- 2.1 Alterungsmanagement mechanischer Komponenten
- 2.2 Alterungsmanagement elektro- und leittechnischer Komponenten
- 2.3 Alterungsmanagement von baulichen Anlagen
- 2.4 Alterungsmanagement von Hilfs- und Betriebsstoffen

- 2.5 Alterungsmanagement von Betriebsführungssystemen
- 2.6 Alterungsmanagement der Dokumentation
- 2.7 Alterungsmanagement beim Kompetenzerhalt des Personals
- 2.8 Anforderungen an die Verfolgung des Stands von Wissenschaft und Technik bezüglich der konzeptionellen und der technologischen Alterung

Kapitel 3

Literatur

1.1 Einleitung

Das BMU bat die RSK um eine Stellungnahme zur Gewährleistung eines geeigneten bundeseinheitlichen Verfahrens zum Alterungsmanagement, in der anlagenübergreifende Konzepte zur Erfassung, zur Bewertung und zu den zu ergreifenden Maßnahmen empfohlen werden sollen [1.1].

In der 347. RSK-Sitzung am 10.01.2002 verabschiedete die RSK die Stellungnahme „Grundsätze für das Vorgehen zur Beherrschung von Alterungsprozessen in Kernkraftwerken“. Diese befasste sich mit dem grundsätzlichen Vorgehen beim Alterungsmanagement.

In der Folge haben die RSK und ihre Ausschüsse ANLAGEN- UND SYSTEMTECHNIK, DRUCKFÜHRENDE KOMPONENTEN UND WERKSTOFFE, ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN und REAKTORBETRIEB in einer Reihe von Sitzungen die spezifischen inhaltlichen Fragen des Alterungsmanagements beraten. Diese Empfehlung enthält die Ergebnisse dieser Beratungen und eine Fortschreibung der RSK-Stellungnahme aus der 347. RSK-Sitzung. Diese Empfehlung ersetzt somit auch die Stellungnahme aus der 347. Sitzung.

Auf der 370. Sitzung am 04.03.2004, auf der 371. Sitzung am 29.04.2004, auf der 373. Sitzung am 24.06.2004 und abschließend auf der 374. Sitzung am 22.07.2004 beriet die RSK den Entwurf dieser Empfehlung und verabschiedete sie auf der 374. Sitzung am 22.07.2004.

1.2 Begriffsbestimmungen

Die RSK versteht die Begriffe „Alterung“, „Veralten“ und „Alterungsmanagement“ wie folgt:

Alterung ist die zeitabhängige Veränderung funktionsbezogener Eigenschaften

- der Technik (mechanische Komponenten, Bauwerke und bauliche Einrichtungen, Elektro- und Leittechnik),
- der für die Betriebsführung relevanten Systeme,
- der Spezifikations- und Dokumentationsunterlagen und
- des Personals.

Bei der Alterung handelt es sich um zeitliche Veränderungen der zum Zeitpunkt der Genehmigung vorhandenen Qualität und Auslegungsmerkmale, die während der Betriebszeit der Anlage auftreten können. Zu alterungsbedingtem Qualitätsverlust können Mechanismen, die vorhersehbar sind und mit entsprechenden Programmen überwacht werden. Zum anderen sind Veränderungen zu betrachten, die trotz spezifikationsgemäßer Auslegung, Herstellung, Inbetriebnahme und Betriebsführung der betroffenen Einrichtungen aufgrund von ursprünglich nicht vorhergesehenen Alterungsmechanismen entstehen. Schließlich gibt es bei der Auslegung unterstellte Alterungsmechanismen, die zu nicht vorhergesehenen Auswirkungen führen.

Veralten können Anlagenkonzepte und technologische Verfahren sowie administrative Regelungen gegenüber dem Stand von Wissenschaft und Technik.

Realisierte Konzeptlösungen, die sowohl das gesamte Sicherheitskonzept der Anlage als auch die einzelnen technologischen Merkmale betreffen, können über die Betriebszeit veralten.

Alterungsmanagement ist die Gesamtheit aller vom Betreiber durchzuführenden organisatorischen und technischen Maßnahmen, mit denen die für die Sicherheit eines Kernkraftwerkes bedeutsamen Alterungsphänomene beherrscht werden. Die vorrangige Aufgabe des Alterungsmanagements ist es, mögliche Alterungsmechanismen zu erfassen und deren schädlichen Auswirkungen gezielt und wirksam vorzubeugen.

Die gezielten Gegenmaßnahmen, die den möglichen Qualitätseinbußen vorbeugen, bilden die Grundlage für ein effizientes Alterungsmanagement. Für die Konzipierung solcher Maßnahmen ist eine solide Wissensbasis zu den möglichen Alterungsmechanismen und deren Auswirkungen erforderlich, die eine präventive Entscheidungsstrategie wirksam unterstützt. Das Alterungsmanagement ist ausgerichtet auf die Verfolgung von Trends und die Optimierung der Verfahrensweisen und stellt damit eine Ergänzung zum bestehenden Instandhaltungsmanagement dar.

1.3 Alterungsmanagement und bestehende Regelungen

Es existieren bereits vielfältige Regelungen zur Gewährleistung der Qualität, deren Umsetzung im Rahmen entsprechender aufsichtlicher Aktivitäten überwacht wird. So werden zum Beispiel die Maßnahmen der Betreiber im Rahmen der Prüf- und Instandhaltungsprogramme und der betrieblichen Überwachung, die das Kernstück des Alterungsmanagements in den Anlagen umfassen, sowohl durch die ständige Aufsicht als auch durch Periodische Sicherheitsüberprüfungen behördlich beurteilt.

Das bestehende deutsche Regelwerk enthält Anforderungen im Sinne der Verhinderung bzw. Reduzierung von Qualitätseinbußen im Laufe der Betriebszeit. Die Anforderungen sind hinsichtlich Tiefe und Regelungsumfang heterogen gestaltet. Eine geschlossene, alle Aspekte des Alterungsmanagements umfassende Darstellung der Anforderungen ist bisher nicht vorhanden und im nationalen Bereich gibt es bisher zum Alterungsmanagement kein Regelwerk oder eine sonstige, den Stand von Wissenschaft und Technik repräsentierende Vorschrift. Neben Workshops, Vortragsveranstaltungen, Positionspapieren gibt es gutachterliche Aussagen bezogen auf Betreiberkonzepte zum Alterungsmanagement, die im Auftrag von Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden zu grundsätzlichen Fragen des Alterungsmanagements getroffen wurden.

Die internationale Atomenergiebehörde IAEA hat zahlreiche Dokumente vorgelegt, die hilfreiche Anregungen für eine Systematisierung des Alterungsmanagements in den Anlagen und für die Harmonisierung der entsprechenden Bewertungen durch die zuständigen Behörden enthalten [1.2-1.14]. Insbesondere in IAEA Safety Reports Series No. 15 wird das Alterungsmanagementprogramm (AMP) als ein Werkzeug für ein systematisches und integriertes Vorgehen empfohlen. Das Hauptanliegen eines solchen

Programms ist die Erfassung und Auswertung aller alterungsrelevanten Vorgänge in der Anlage unter Berücksichtigung der Betriebserfahrungen anderer, auch ausländischer Betreiber sowie der Ergebnisse von Forschungsvorhaben und deren Umsetzung (Abbildung 1).

Auch das Committee on Nuclear Regulatory Activities (CNRA) der Nuclear Energy Agency der OECD sieht in den regulatorischen Aspekten der Alterung einen Beratungsschwerpunkt und befürwortet einen systematischen Ansatz, der über die rein physische Alterung von Strukturen, Systemen und Komponenten hinausgeht [1.15 – 1.17].

Alterungsbedingte Phänomene werden in den deutschen Anlagen unterschiedlich und zum Teil nicht systematisch erfasst. Im Rahmen von Instandhaltung oder als Folge von Ereignissen wurden in einzelnen Fällen auch unerwartete Alterungsphänomene, zum Teil zufällig, gefunden. Der Betrieb der Anlagen findet zudem unter sich verändernden Rahmenbedingungen statt: Deregulierung des Energiemarktes, Rationalisierungsmaßnahmen, Generationswechsel des Personals, nicht mehr zur Verfügung stehende Zulieferer und Hersteller. Auch das Spannungsfeld zwischen dem zunehmenden Alter der Anlagen und der Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik wird immer prägnanter.

Von den Betreibern der Anlagen wird die Betriebserfahrung z. B. in der Dokumentation, in den Auslegungsberichten, sowie in den Berichten zur Instandhaltung und zu den Ergebnissen der Wiederkehrenden Prüfungen dokumentiert und fortgeschrieben. Diese Aktivitäten, die de facto Teil des Alterungsmanagements sind, erfolgen jedoch nicht unter einem einheitlichen und umfassenden Ansatz. Es ist weiterhin festzustellen, dass in der Regel „ereignisorientiert“ vorgegangen wird. Ein wirkungsvolles Alterungsmanagement muss jedoch „wissensbasiert“ vorbeugend erfolgen.

1.4 Anforderungen an das Vorgehen zur Beherrschung von Alterungsprozessen

Das strategische Ziel des Alterungsmanagements ist die Verhinderung der Abnahme des Sicherheitsniveaus infolge möglicher Alterungsprozesse durch geeignete Maßnahmen.

Die Identifizierung der Alterungsprozesse soll im Rahmen der Auswertung anlagenrelevanter Hinweise aus externen und anlageninternen Informationsquellen erfolgen. Als Ergebnis der Auswertung der Wissensbasis sind unter Beachtung des Ist-Zustandes der Anlage geeignete Maßnahmen zu initiieren und umzusetzen.

Nachfolgend werden übergreifende Anforderungen an die Alterungsbereiche dargelegt. Die detaillierteren Vorgaben hierfür finden sich in Kapitel 2 dieser Empfehlung.

1.4.1 Alterung der technischen und baulichen Einrichtungen

Für die technischen und baulichen Einrichtungen ist ein geeignetes Alterungsmanagement unter Beachtung der zu gewährleistenden Qualitätsstufen zu konzipieren. Art und Umfang der entsprechenden Überwachungs- bzw. Instandhaltungsmaßnahmen müssen sich an der sicherheitstechnischen Relevanz, wie

z. B. dem Redundanzgrad der Systeme, Komponenten und sonstigen Einrichtungen, orientieren.

Als Grundlage für ein gezieltes, langfristig angelegtes Alterungsmanagement muss eine gut strukturierte Wissensbasis zur Verfügung stehen, die sowohl anlagenrelevante technologische Weiterentwicklungen als auch die Verarbeitung aller alterungsrelevanten Informationen in einfacher und konsistenter Weise ermöglicht. Dazu eignen sich entsprechende Informationsquellen, die z. B. Werkstoffdaten und -eigenschaften, Konstruktions- und Auslegungsdaten, Prüf- und Analyseergebnisse sowie Daten aus der Betriebsüberwachung enthalten.

Die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik unter Beachtung vorliegender Betriebserfahrungen bekannten anlagenrelevanten Alterungsmechanismen und/oder das Ausfallverhalten sind zu identifizieren und zu verfolgen. Die nennenswerten Abweichungen von spezifizierten Betriebsparametern, die praktizierten Überwachungsmaßnahmen und die wesentlichen sicherheitsrelevanten Befunde sind zu erfassen und im Hinblick auf Alterungsrelevanz mit dem eingerichteten Managementsystem zu bewerten. Erforderlichenfalls sind aussagefähige Trendanalysen für relevante Systeme und Komponenten durchzuführen. Auf Basis der vorliegenden Befunde bzw. Trendanalysen sind geeignete Maßnahmen vorzuschlagen und umzusetzen.

Näheres ist im Kapitel 2.1 für mechanische Komponenten, im Kapitel 2.2 für elektro- und leittechnische Komponenten, im Kapitel 2.3 für bauliche Anlagen und im Kapitel 2.4 für Hilfs- und Betriebsstoffe geregelt.

1.4.2 Alterung bzw. Veralten der für die Betriebsführung relevanten Systeme der betrieblichen Regelungen sowie der Dokumentation

Betriebsführungssysteme sind Organisations- und Logistik-Systeme, die keine realzeitabhängigen Anlagenprozesssteuer- und Kontrollfunktionen haben. Sie können in Bereichen wie Dokumentation, Störungsmeldung, Arbeitsauftragsabwicklung, Personendosimetrie, EDV-technische Erstellung und Führung von betrieblichen Regelungen zum Einsatz kommen. Soweit diese sicherheitstechnisch relevant sind, ist auch für diese Bereiche ein entsprechendes Alterungsmanagement zu entwickeln. Die Betriebsführungssysteme sind den sich ändernden Arbeitsprozessen anzupassen.

Das Alterungsmanagement für die Dokumentation muss die möglichen Alterungseffekte in Bezug auf Aktualität und den physischen Zustand sowie die Verfügbarkeit der Unterlagen berücksichtigen.

Der inhaltliche Alterungsprozess in Bezug auf die Anpassung an den aktuellen Anlagenzustand ist bei allen sicherheitstechnisch relevanten Dokumenten zu überwachen. Dies kann sowohl zeitabhängig als auch ereignisabhängig erfolgen.

Näheres ist im Kapitel 2.5 für Betriebsführungssysteme und im Kapitel 2.6 für die Dokumentation geregelt.

1.4.3 Erhaltung der Fachkompetenz

Den Schwerpunkt bei der Betrachtung von Personalfragen bildet der Erhalt der für den sicheren Betrieb der Anlage erforderlichen Fachkompetenz. Diese kann als Gesamtheit der Ausbildungsqualifikation der Mitarbeiter und ihrer beruflichen Erfahrungen betrachtet werden. Einerseits ist bei zunehmender Betriebsdauer der Anlage und geringer personeller Fluktuation ein Erfahrungszuwachs der Mitarbeiter zu erwarten, andererseits ist dem Know-how-Verlust durch ein Ausscheiden von Erfahrungsträgern vorzubeugen.

Die für die Erstausbildung und den Fachkundeerhalt des im Kernkraftwerk tätigen Personals erforderlichen Rahmenbedingungen sind in entsprechenden Richtlinien bundeseinheitlich geregelt. Die Qualifikationsmaßnahmen des Betreibers sind derart auszugestalten, dass insbesondere die aufgrund eines möglichen Verlusts der Erfahrungsträger in den für den sicheren Betrieb der Anlage bedeutsamen Schlüsselpositionen mögliche Know-how-Lücken vermieden werden. Unter Beachtung der o. g. Aspekte ist eine gezielte Personalentwicklung mit frühzeitiger Einarbeitung und Vorbereitung des Nachfolgepersonals auf die künftigen Aufgaben erforderlich.

Näheres ist im Kapitel 2.7 geregelt.

1.4.4 Konzeptionelle und technologische Alterung

Eine integrale Bewertung des Sicherheitskonzepts der Anlage erfolgt im Rahmen der SÜ. Parallel ist im Rahmen des Alterungsmanagements vom Betreiber eine kontinuierliche Verfolgung des Fortschritts von Wissenschaft und Technik und die Bewertung der Relevanz der festgestellten Abweichungen hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen und der Analyseverfahren in bezug auf die anlagenspezifische Umsetzung vorzunehmen.

Die Ergebnisse sind zu dokumentieren. Dabei ist anzugeben, welche Konsequenzen für die Anlage und ihren Betrieb gezogen worden sind, inwieweit die geänderten Forderungen des kerntechnischen oder einschlägigen konventionellen Regelwerks erfüllt werden bzw. inwieweit Zweck und Ziel dieser Forderungen unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Bedingungen auf andere Weise erreicht werden können.

Näheres ist im Kapitel 2.8 geregelt.

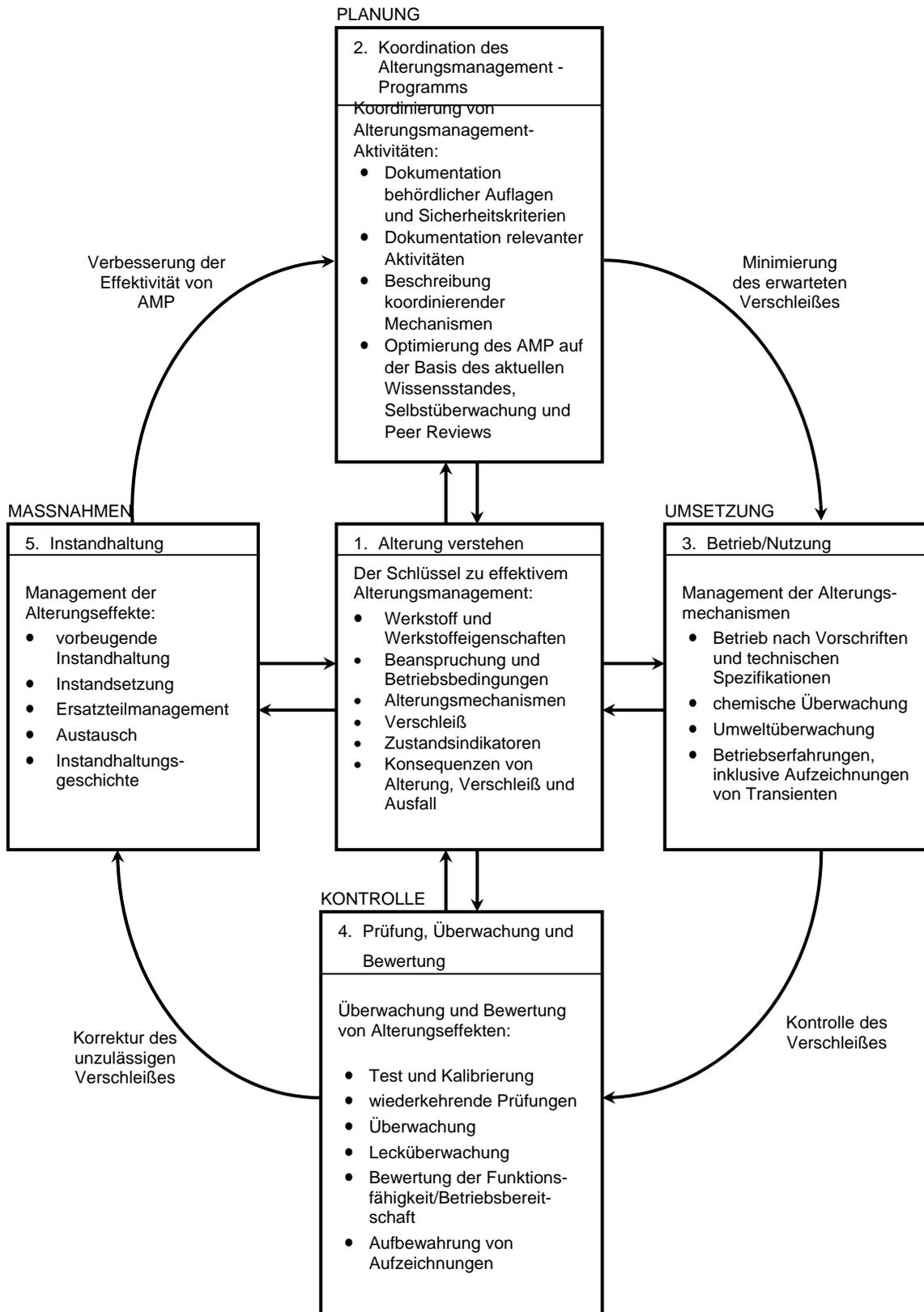
1.5 Empfehlungen

Die RSK hält ein umfassendes und systematisches Alterungsmanagement, wie es in dieser Empfehlung beschrieben ist, für erforderlich. Die RSK geht davon aus, dass die Anlagenbetreiber ein diesem Anspruch gerecht werdendes wirksames Alterungsmanagement einrichten und verfolgen. Organisatorisch ist das Alterungsmanagement als feste dauerhafte Aufgabe auf einer hohen hierarchischen Ebene in Verbindung mit der für die Sicherheit verantwortlichen Betriebsleitung anzuordnen. Das Alterungsmanagement erfordert die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachgebiete bzw. unterschiedlicher Organisationseinheiten des Betreibers. Dies ist in der Organisation sicherzustellen.

Die RSK empfiehlt die Vorlage eines jährlichen Berichts zum Alterungsmanagement an die zuständige Behörde, wobei in begründeten Fällen andere Berichtszyklen gewählt werden können. Soweit bereits zu einzelnen Alterungsphänomenen Berichtspflichten bestehen, hält die RSK es für notwendig, diese in den Bericht zum Alterungsmanagement zu integrieren.

Um eine einheitliche Vorgehensweise auf einer breiten Wissensbasis beim Alterungsmanagement zu erreichen, empfiehlt die RSK, die anlagenspezifischen Berichte der Betreiber anlagenübergreifend auszuwerten. Die Erkenntnisse aus der Auswertung müssen in das Alterungsmanagement der einzelnen Anlagen zurückfließen, dazu sind entsprechende Wege festzulegen.

Abb.1: Systematischer Alterungsmanagementprozess für Strukturen, Komponenten und Systeme
nach IAEA /1.6/



Kapitel 2

Fachspezifische Beiträge

2.1 Alterungsmanagement mechanischer Komponenten

2.1.1 Betrachtungsumfang

Ein umfassendes Alterungsmanagement für mechanische Komponenten muss durch den Betreiber so angelegt sein und angewendet werden, dass mit diesem Instrument unter Einschluss aller bereits systematisch zur Anwendung kommenden Instrumente, wie z. B. der WKP- oder Instandhaltungskonzepte, die erforderliche Qualität der sicherheitstechnisch relevanten Komponenten über deren gesamte Lebensdauer dargestellt und mit der Anwendung dieses Instruments erhalten werden kann. Die prinzipielle und strategische Vorgehensweise beim Alterungsmanagement für mechanische Komponenten mit sicherheitstechnischer Bedeutung wird nachfolgend beschrieben.

Konkrete Festlegungen, wie in der Anlage nach einem Schaden aus Alterungsgründen an mechanischen Komponenten bezüglich des Weiterbetriebes zu verfahren ist, oder welche Schäden oder Vorstufen von Schäden zulässig sind, erfolgen in den einschlägigen Regelungen und Vorschriften. Die den Schäden zu Grunde liegenden Alterungsmechanismen müssen analysiert werden und in der Strategie zur Verhinderung von Alterungsschäden berücksichtigt werden.

Zur Absicherung der Komponentenqualität im Rahmen des Alterungsmanagements werden die im Betrachtungsumfang genannten Komponenten in drei Gruppen eingeteilt, die durch die unten beschriebenen Eigenschaften gekennzeichnet sind. (Bei den einzelnen Eigenschaften kann es dabei zu Überschneidungen kommen):

Gruppe 1:

- Komponenten, deren Versagen oder Funktionsverlust zu einem auslegungüberschreitenden Ereignis führt oder Lasten erzeugt, die nicht durch die Auslegung abgedeckt sind (Sicherheitsebene 4),
- Komponenten der Druckführenden Umschließung (DFU),
- Komponenten der Sicherheitssysteme, soweit es durch deren Ausfall zu redundanz-übergreifenden Auswirkungen kommt bzw. die auslegungsgemäße Anzahl der redundanten Systeme nicht mehr zur Verfügung steht und
- Die für die Sicherheitsfunktion der obengenannten Komponenten erforderlichen Hilfssysteme oder -konstruktionen sind mitzubetrachten.

Für die hier eingeordneten Komponenten gilt, dass durch deren Qualität selbst in Verbindung mit den Maßnahmen und Nachweisen im Rahmen des Alterungsmanagement sichergestellt werden muss, dass

Schäden oder Funktionsverluste durch Alterungseffekte an den Komponenten selbst sowie deren negative Folgen auf die Anlagensicherheit mit sehr hoher Zuverlässigkeit verhindert, d. h. praktisch ausgeschlossen werden. Für diese Komponenten ist die jeweils erforderliche Qualität für Betriebs- und Störfalllasten durch das Alterungsmanagement in der Weise zu gewährleisten, dass immer die geforderten Sicherheitsabstände (die in den Regelwerken vorgegebenen) gegen die auf Grund von Alterung möglichen Versagensarten auf jeder Belastungsstufe nachgewiesen sind sowie die sicherheitstechnische Funktion bei aktiven Komponenten in gleicher Weise sichergestellt ist.

Die Zuverlässigkeit der Komponenten ist für den zukünftigen Betrieb durch die oben beschriebenen Anforderungen allein zu gewährleisten. Eine zugleich stattfindende Überwachung der unmittelbaren Folge möglicher Alterungsschäden an den Komponenten selbst hat somit den Charakter einer redundanten Verifizierung.

Bei den in Gruppe 1 einzuordnenden mechanischen Komponenten müssen neben der Gewährleistung der erforderlichen Qualität durch die Auslegung selbst die betrieblichen Schädigungsmechanismen analysiert, überwacht und geeignete Maßnahmen zur Gewährleistung der erforderlichen Qualität ergriffen werden (proaktive Vorgehensweise). Ein derartiges Alterungsmanagement schließt einen intensiven Erfahrungsrückfluss aus allen neu gewonnenen Erkenntnissen ein, mit der Konsequenz, dass bei einem neuen Kenntnissstand überprüft werden muss, ob die erforderliche Qualität noch gewährleistet ist und ob die begleitenden betrieblichen Überwachungsmaßnahmen noch ausreichend und abdeckend sind. Dies gilt sowohl für die ausgeführten Komponenten und Systeme selbst als auch für die Belastungsseite. So können sich z.B. neue Erkenntnisse zum Ablauf der Lastfälle, die der Genehmigung bereits zu Grunde liegen, ergeben. Aber auch neue nach Stand von Wissenschaft anzusetzende Lastfälle sind möglich. Grundsätzlich ist hier bei der Ausgestaltung des Alterungsmanagements anzustreben, Alterungseffekte auf der Basis der Kenntnis über die physikalischen oder chemischen Grundlage zu vermeiden und grundsätzlich gegenüber der Verfolgung und Überwachung der Schadensmechanismen selbst den Vorzug zu geben, soweit hierzu die Voraussetzungen gegeben sind. Insbesondere gilt dieser Grundsatz für solche Komponenten, die wegen des Anlagenkonzeptes oder wegen einer zu hohen Strahlenexposition nicht oder nur schwer austauschbar sind.

Gruppe 2:

In die Gruppe 2 sind alle sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten einzuordnen, die nicht der Gruppe 1 zugehören. Die für die Sicherheitsfunktion der obengenannten Komponenten erforderlichen Hilfssysteme oder -konstruktionen sind mitzubetrachten.

Ein Versagen der hier eingeordneten Komponenten, gegen das zwar grundsätzlich Vorsorgemaßnahmen vorhanden sein müssen, muss infolge des Anlagenkonzeptes zu beherrschbaren Folgen - auch unter Berücksichtigung der Strahlenschutzgrundsätze - führen. Dies gilt sowohl für die rein verfahrenstechnischen Abläufe als auch hinsichtlich der radiologischen Folgen (Einhaltung der Randbedingungen und der Grenzwerte für die Ebene 3).

In diese Gruppe sind auch diejenigen betrieblichen, eigentlich zur Gruppe 3 gehörigen Komponenten einzuordnen, durch deren Funktion ein störungsfreier Betrieb gewährleistet wird und deren Instandsetzung oder Austausch aus Strahlenschutzgründen während des Betriebes nicht oder nur unter hoher Strahlenexposition möglich ist.

Der Schwerpunkt des Alterungsmanagements für Komponenten dieser Gruppe liegt in der Verfolgung der für den weiteren Betrieb erforderlichen Qualität. Bei den hier eingeordneten Komponenten sind Alterungseffekte rechtzeitig zu erkennen. Darauf basierend sind umgehend Maßnahmen einzuleiten, mit denen sichergestellt wird, dass die festgestellten Folgen nicht unzulässig fortschreiten. Dazu kommt vorrangig das Instrument der vorbeugenden Instandsetzung (Eingriff bei Erreichen des Zustandes, wie dieser durch den Sicherheitsabstand gemäß dem Regelwerk vor Eintritt des realen Mangels bzw. Schadens definiert ist) in Frage. Die Instandsetzung kann entweder zeit- oder zustandsorientiert sein.

Zu den in Gruppe 2 zu betrachtenden Komponenten gehören mechanische Komponenten oder Bauteile, die aufgrund von Alterungseffekten ein geringeren Sicherheitsabstand gegen einen Ausfall als die Komponenten der Gruppe 1 haben können. Obwohl auch für diese Gruppe das vorrangige Ziel der Auslegung der Komponenten und des Alterungsmanagements darin besteht, einen Ausfall zu verhindern, kann es hier aufgrund der im Vergleich zur Gruppe 1 anderen sicherheitstechnischen Bedeutung und der darauf beruhenden anderen Vorgehensweise und angewandten Maßnahmen im Einzelfall zu Ausfällen kommen. Um aber eine Einordnung von Komponenten in diese Gruppe und nicht in die Gruppe 1 vornehmen zu können, müssen das Versagen und der Funktionsverlust beherrscht werden und die Auswirkungen begrenzt sein, d. h. das auslegungsgemäße Verhalten der Anlage muss sicher gestellt sein. Das Einzelversagen von Komponenten dieser Gruppe und die daraus resultierenden Folgen für die Anlage muss durch Anforderungen wie Redundanz, Diversität, räumliche Trennung oder vorhandener baulicher Schutz beherrscht werden. Bei der Betrachtung hinsichtlich gemeinsamer Ausfälle ist zu beachten, dass durch Alterung ggf. vorgeschädigte Komponenten nicht nur mit den betrieblichen Belastungen beaufschlagt werden, sondern im Anforderungsfall mit ggf. sehr viel höheren Störfalllasten die unterschiedliche Schädigungsentwicklungen der einzelnen Komponenten ausgleichen können und so einen gemeinsamen Ausfall bewirken können.

Gruppe 3:

Zur Gruppe 3 gehören Komponenten, die nicht zu Gruppe 1 und 2 gehören. Diese Komponenten unterliegen der üblichen Instandhaltung.

An die in die Gruppe 3 eingeordneten Komponenten werden hier keine speziellen Anforderungen gestellt. Bezogen auf das Instrument des Alterungsmanagements sind für den Anlagenbetreiber diese Komponenten Teil seines gesamten Anlagenmanagements, vorrangig aber unter dem Aspekt der Verfügbarkeit, wobei auch diese Anforderung die Grundlage für einen sicheren Betrieb darstellen muss.

Gruppe 1 – 3:

Die anlagenspezifische Zuordnung der Komponenten und Bauteile zu den einzelnen Gruppen ist unter Beachtung der vorstehenden Kriterien in einer systematischen Analyse durchzuführen, die jeweilige Entscheidung zu begründen und nachvollziehbar zu dokumentieren. Bei den hierbei notwendigen Analysen der Versagensfolgen sind die potenziell möglichen Versagensabläufe anzusetzen. Da die einzelnen Komponenten aus verschiedenen funktional zu unterscheidenden Bauteilen oder Bereichen mit unterschiedlichen Alterungsangriff bestehen und die integralen Lasten davon abhängig unterschiedlich wirken und daraus unterschiedliche Versagensfolgen resultieren, ist es möglich, dass Teile der selben Komponente unterschiedlichen Gruppen angehören (als Beispiel hier: Deckelflansch des Reaktordruckbehälters (RDB) in der Gruppe 1 und die Deckelschrauben einzeln in der Gruppe 2, bei der Möglichkeit von gemeinsamen Ausfällen aufgrund von Alterung jedoch in der Gruppe 1).

2.1.2 Betrachtungsgrundlage

Für mechanische Komponenten werden die Anforderungen in technischen Regeln und Richtlinien, insbesondere in den KTA- Regeln festgelegt. In diesen Regeln sind Anforderungen zur umfassenden Beherrschung von Alterungsprozessen nicht explizit aufgeführt und geregelt. Für den Bereich der Vorsorge gegen Alterungsmechanismen bei kerntechnischen Anlagen gibt es bisher keine nationale verbindliche Regelung, in der festgelegt ist, wie für die Anlage ein wirksames System zum Alterungsmanagement zu errichten und anzuwenden ist.

2.1.3 Relevante Alterungsmechanismen

Die erforderliche Qualität der Komponenten wird zum Zeitpunkt der jeweiligen Errichtung durch die Anforderungen aus der Genehmigung und aus den Regelwerken bestimmt. Darüber hinaus wird auch der Kenntnissstand zu möglichen Schädigungsmechanismen aufgrund von Alterungsmechanismen im Rahmen von Nachweisen der erforderlichen Vorsorge gegen Schäden bei der Erstellung der Komponenten berücksichtigt. Dies erfolgt bisher jedoch nicht auf der Basis eines geschlossenen Konzeptes zur Verhinderung von Alterungsversagen, sondern durch Beachtung von Teilregelungen aus Regelwerken und unter dem Ansatz des ingenieurtechnischen Erfahrungswissens.

Die erforderliche Qualität wird durch die entsprechende Auslegung der Komponenten und Systeme und deren spezifikationsgerechte Fertigung (Herstellung, Fertigungs- und Inbetriebnahmeprüfung) erreicht. Diese wird im Laufe der Betriebszeit, abhängig von der Art der Komponente und von den jeweils wirkenden Alterungsmechanismen verändert. Bei der Alterung ist zwischen einer Änderung der Anforderungen (konzeptionelle Alterung), des Kenntnisstandes (technologische Alterung) oder des Komponentenzustandes, die durch die einwirkenden Belastungen und die Umgebungsbedingungen hervorgerufen wird (physikalische Alterung), zu unterscheiden. Daher müssen für ein umfassendes Alterungsmanagement bei mechanischen Komponenten diese Aspekte berücksichtigt werden. Die Vorgaben für konzeptionelle und technologische Alterung sind in Kapitel 2.8 enthalten. Hier wird im weiteren die physikalische Alterung betrachtet.

Bei den mechanischen Komponenten ist zwischen passiven und aktiven Komponenten zu unterscheiden. Bei der Vielzahl der Komponenten und deren Anforderungen gibt es aber Zwischenformen, die sich nicht immer eindeutig den beiden Komponentenarten zuordnen lassen. So haben aktive Komponenten in vielen Fällen auch Anforderungen, wie sie die passiven Komponenten besitzen (z. B. drucktragende und dichte Umschließung einschließlich Dichtungen, Abschlussorgane wie Dichtplatten bei Systemen mit Druckstufungen) oder es bestehen Anforderungen an die Komponente bei unterschiedlichen Anlagenzuständen, z. B. auf der Sicherheitsebene 1 (rein passive Anforderung) und auf der Sicherheitsebene 3 (passive und aktive Anforderung, z. B. Öffnen aus dem geschlossenen Zustand).

Passive Komponenten wie Rohrleitungen, Behälter, Wärmetauscher, Filtergehäuse, Dichtorgane und Halterungen sowie Abstützkonstruktionen haben zum einen die Aufgabe, in den Systemen die Belastungen aus dem Innendruck, aus den mechanischen und thermischen Einwirkungen als druckfeste und dichte Umschließung abzutragen und gegen die Ausbreitung der Radioaktivität als Barriere zu wirken sowie alle resultierenden Lasten ohne Verlust der erforderlichen Geometrie und der notwendigen Randbedingungen in die Gebäude und Verankerungen weiterzuleiten, und zum anderen die verfahrenstechnischen Aufgaben, ohne bewegliche Funktionsteile die Führung und Speichern des Mediums, das Transportieren von Energien in Rohrleitungen und das Übertragen von Energien in Wärmetauschen zu gewährleisten. Im Rahmen des Alterungsmanagements fallen auch Isolierungen, die die Aufgabe haben, Wärmeverluste aus Komponenten und Aufheizen der Gebäude zu begrenzen, unter diese Kategorie.

Aktive mechanische Komponenten haben die Aufgabe, verfahrenstechnische Regelungen mit Hilfe ihrer Funktionsteile zu gewährleisten. Hierbei können die Anforderungen sowohl durch bewegliche Bauteile erfüllt werden (z. B. Ventilkolben, Pumpenlaufräder und deren Antriebe, Brandschutzklappen) als auch durch solche Teile, die ihre Funktion lediglich durch ihre Eigenschaft sicherstellen (z. B. katalytische Folien). Bei aktiven Komponenten ist nach dem Kriterium zu unterscheiden, ob die aktive Funktion hinsichtlich der dazu notwendigen Energie unmittelbar aus dem System und dessen Reaktionen auf Belastungsänderungen selbst bezogen wird (z. B. bei Stoßbremsen, Reiblager und eigenmediumsbetätigten Stellorganen bei Rohrleitungssystemen) oder ob die Energie als Fremdleistung zu Verfügung stehen muss. Je nach den vorliegenden Verhältnissen muss dann das Instrument des Alterungsmanagements bis auf diejenigen Bereiche ausgedehnt werden, die bei der Erfüllung der Aufgabe der jeweiligen aktiven Komponente notwendig sind. Es ist auch hinsichtlich der passiven und aktiven Anforderungen möglich, dass eine Komponente in unterschiedliche Gruppen des Alterungsmanagements eingestuft werden kann. In einem solchen Fall ist im Zweifelsfall immer die höherwertige Anforderungsgruppe zu wählen. Weiterhin ist es bei Komponenten nicht immer möglich, eine widerspruchsfreie Einordnung hinsichtlich passiver und aktiver Anforderungen vorzunehmen. Bei der Einordnung ist deshalb ingenieurmäßiges Erfahrungswissen anzuwenden.

Die Summe der zeitlichen Veränderung der Eigenschaften einer Komponente unter Einwirkung von

- mechanischen Beanspruchungen,
- Temperatur,
- Bestrahlung und

- chemisch/physikalisch Reaktionen mit den umgebenden Medien oder Feldern

ist verantwortlich für die Alterung mechanischer Komponenten.

Auch zeitlich lang wirkende, hauptsächlich in den Materialzusammensetzungen und -eigenschaften selbst begründete Veränderungen sind möglich (z. B. Versprödung von Materialien durch innere chemische Prozesse oder Gefügeveränderungen bei Raumtemperatur ohne sonstige Belastungen).

Einmalige kurzfristige Belastungen und Einwirkungen mit Schadenspotenzial fallen nicht unter den Begriff der Alterung; daraus resultierende Schäden oder Veränderungen der Eigenschaften können aber den Alterungsprozess begünstigen oder beschleunigen (wie auch Herstellungsfehler), überhaupt erst starten lassen oder bei schon gealterten Komponenten zum sofortigen Ausfall führen. Auch Veränderungen der Komponenteneigenschaften durch unqualifizierte Wartungs- und Instandhaltungsvorgänge sowie unsachgemäße oder häufige Prüfungen der Komponenten können Alterungseffekte begünstigen oder sogar erst auslösen.

In den oben genannten Grundeinwirkungen sind alle Alterungsmechanismen begründet. Hierbei kann entweder eine Grundeinwirkung allein oder eine Überlagerung verschiedener Grundeinwirkungen den Alterungsprozess bewirken. Durch Überlagerungen sind Wechselwirkungen möglich, die die Einzelwirkungen verstärken und beschleunigen. Sie sind in den Strategien gegen die Schäden aus der Alterung zu berücksichtigen. Für mechanische Komponenten ergeben sich insbesondere die nachstehend aufgeführten Alterungseffekte:

- Werkstoffänderung,
- Ermüdung,
- Waddickenabtrag,
- Zersetzung, Erosion, Korrosion,
- Verschleiß,
- Relaxation,
- Fressen von Werkstoffen,
- Schwinden, Schwellen, Quellen,
- Kerb- bzw. Anrissbildung und
- Risswachstum.

Bei der Organisation und Durchführung des Alterungsmanagements ist auch von Bedeutung, zu welchen anlagentechnischen oder sicherheitstechnischen Zuständen die oben aufgezählten Folgen und Schäden der Alterungsmechanismen führen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Alterungsmechanismen für passive und aktive Komponenten nach Ursache, Wirkung und Folgen gegliedert beispielhaft aufgeführt. Die Aufgliederung in Ursache, Wirkung und Folgen ist wegen der komplexen Abläufe bei den einzelnen Alterungsmechanismen nicht immer streng und eindeutig auszugestalten, es soll aber exemplarisch aufgezeigt werden, wie bei einer systematischen Erfassung und Abarbeitung der Phänomene vorgegangen werden soll. Bei Komponenten, die gleichzeitig eine Anforderung im Sinne einer druckfesten und druckdichten Umschließung und eine aktive Funktionsanforderung haben, ist darauf zu achten, dass bei der Einordnung der Alterungsvorgänge ggf. Rückwirkungen zwischen den drucktragenden Komponententeilen und den Funktionsteilen zu betrachten und zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1: Beispiele von Alterung an passiven Komponenten bzw. gleichartig belasteten Bereichen aktiver Komponenten

Passive Komponenten		
Ursache	Wirkung	Beispielhafte Folgen
Strahlung	Änderung der Werkstoffeigenschaften	Zähigkeitsverlust, Werkstoffversprödung
Strahlung	Schwellen	Veränderung der Geometrie
Strahlung	Werkstoffsensibilisierung, bestrahlungsinduzierte Spannungsrisskorrosion	Rissbildung, Risswachstum
Chemische Belastung	Korrosion -allgemein abtragende Korrosion -örtliche Korrosion (Lochfraß -und Spaltkorrosion)	Wanddickenverringering, Korrosionskerben, Korrosionslöcher
Chemische Belastung und statische Belastung	Spannungsrisskorrosion	Anrisse, Risswachstum
Chemische Belastungen und zyklische Belastungen	Korrosionsermüdung	Anrisse, Risswachstum
Chemische Belastungen und mechanische Belastungen	Muldenkorrosion, Reibkorrosion	Korrosionskerben, Anrisse, Materialabtrag
Chemische Belastungen und hydraulische Belastung durch Strömungsvorgänge	Erosionskorrosion, Kavitationskorrosion	Wanddickenverringering Formänderung
Chemische Belastung durch Verunreinigung des Mediums (z. B. Spuren von Chlor)	Spannungsrisskorrosion	Anrisse, Risswachstum

Chemische Belastung durch Ablagerungen von korrosionsauslösenden Stoffen aus dem Medium in schlecht durchströmten Bereichen	Korrosion (Wastage)	Lokaler Wanddickenabtrag
Mikrobiologisch beeinflusste Umgebungsbelastung	Korrosion	Materialabtrag
Zyklische mechanische und/oder thermische Belastung	Werkstoffermüdung	Anriss, Risswachstum,
Zyklische mechanische und/oder thermische Belastung	Inkrementaler Dehnungszuwachs (Ratcheting), Entfestigung	Geometrieänderung, Verlust der Tragfähigkeit
Mechanische und thermische Belastung	Plastische Dehnungen	Verlust der Vorspannung bzw. Dichtheit von Befestigungsorganen und von Teilen formschlüssiger Verbindungen
Mechanische Belastung	Reibung, Fressen	Veränderungen an Auflagern, Gleitlagern
Zyklische mechanische Belastung	Ermüdung, Relaxation	Verlust der Material- und Funktionseigenschaften von Komponenten aus Elastomeren durch mechanische zyklische Belastungen
Zyklische mechanische Belastung	Reiben von Komponenten an Kontaktstellen (Fretting)	Materialabtrag
Temperatur, chemische Belastung	Wasserstoffeintrag in den Werkstoff bei Bildung einer Oxydschicht, Gefügeveränderung	Verschlechterung des Wärmeübergangs bei Brennstäben, geändertes Dehn-Berstverhalten
Temperatur, Umgebungseinfluss	Veränderung der Stoffeigenschaften	Änderung der mineralischen Isolierstoffe

Tabelle 2: Beispiele von Alterung an Funktionsteilen aktiver Komponenten

Aktive Komponenten

Ursache	Wirkung	Beispielhafte Folgen
Mechanische Belastung (Festigkeit)	Plastische Verformung, Ratcheting, Knicken	Versagen der Funktionsglieder durch Überbeanspruchung, Funktionsbeeinträchtigung infolge Geometrieänderung, relevante Veränderung von Spielen und Passungen
Mechanische Belastung (Festigkeit)	Plastische Verformung, Ratcheting	Verlust der Dichtfunktion und Integrität an Absperrerelementen durch wiederholt zu hohe Stellkräfte
Zyklische mechanische Belastung (Festigkeit)	Ermüdung	Versagen von Funktionsteilen aufgrund von Rissen
Zyklische mechanische Belastung (Festigkeit)	Ermüdung, durch inkrementalen Spielzuwachs gestützte dynamische Vorgänge	Verlust von geometrischen Randbedingungen bei formschlüssigen Verbindungen unter zyklischen Belastungen auch bei niedrigen Lasthorizonten, wenn hochzyklische Belastungen vorliegen
Zyklische mechanische Belastung (Festigkeit)	Ermüdung, durch inkrementalen Vorspannungsverlust gestützte dynamische Vorgänge	Lösung von kraftschlüssigen Verbindungen auf Grund von hochfrequenten zyklischen Schwingungen oder wechselnden Belastungen auch bei niedrigen Lasthorizonten
Zyklische mechanische Belastung (Festigkeit/Kinematik)	Ermüdung, Relaxation	Verlust der Material- und Funktionseigenschaften von Komponenten aus Elastomeren durch mechanische zyklische Belastungen
Mechanische Belastung (Kinematik)	Verschleiß	Abnutzung und Materialabtrag von aneinander reibenden Bauteilen mit hohen Kontaktkräften oder andauernden Beanspruchungen durch tribologische Bedingungen bei niedrigen bis mittleren Kontaktkräften, z. B. in Armaturen, Stell- und Antriebselementen, Pumpen, Verdichtern usw.
Mechanische Belastung (Kinematik)	Reiben, Fressen	Schwergängigkeit durch Veränderung der Reib- und Gleiteigenschaften sowie durch Ablagerung, korrodierte Oberflächen bis hin zum Verschweißen von gegeneinander bewegten Bauteilen

Zyklische mechanische Belastung (Kinetik)	Ermüdung	Funktionsversagen an Pumpen durch dynamische Kräfte aus Kavitation
Zyklische mechanische Belastung (Kinetik)	Verschleiß	Zunehmende Unwucht durch Lagerverschleiß oder Materialabtrag an rotierenden Bauteilen bzw. daraus resultierende Entwicklung eines Global-schadens/Funktionsverlustes an Komponenten wie Pumpen, Verdichtern, Lüftern, Antriebseinheiten oder sonstigen rotierenden Bauteilen
Mechanische Belastung, Medium	Verschleiß, Abrieb	Verlust der Dichtfunktion oder der Antriebsfunktion (Hydraulik) durch Veränderung von Dichtelementen infolge Bewegung und Medium
Mechanische Belastung, Medium	Materialabtrag	Lokale Undichtheit an Absperrorganen mit zunehmender Zerstörung der Dichtflächen durch wachsende Schleichströmungen
Temperatur, Medium, (Zeit)	Quellen, Schwinden, Verspröden	Veränderung der Material- und Funktionseigenschaften z. B. der Gleiteigenschaften, der Geometrie und der Dichteigenschaften bei Kunststoffen und Elastomeren
Mechanische Belastung, Medium	Verschleiß, Materialabtrag	Funktionsversagen an Pumpenlaufrädern und Leitapparaten durch Kavitation
Mechanische Belastung, Medium	Verschleiß, Erosion	Materialabtrag an festen oder beweglichen Drosseleinbauteilen infolge von Kavitationserosion
Mechanische Belastung, hydraulische Belastung	Reibkorrosion	(Fretting) an Funktionsteilen
Chemische Belastung	Korrosion	Festsitzen von Funktionsteilen
Mechanische Belastung, Temperatur, Zeit	Veränderung der Materialeigenschaften	Veränderung der Viskoseeigenschaften bei Stoßbremsen bis zum Verlust der Funktion
Strahlung, Chemie	Spannungsrissskorrosion, Schwellen	Schwellen und Ausbeulen von Steuerstäben infolge von Korrosion und anschließender chemischer Reaktion zwischen dem Fluid und dem Neutronenabsorber mit Verlust der Verfahrbarkeit
Strahlung, Temperatur	Bleibende plastische Verformung	Einschränkung des freien Steuerstabweges durch Verbiegen der Brennelement(BE)-Kästen

2.1.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Komponenten

2.1.4.1 Ermittlung des Zustandes der Komponenten

In einem ersten Schritt muss der Ist-Zustand und darauf aufbauend die vorhandene Qualität der Komponente festgestellt werden, damit eine eindeutige Zuordnung zu den jeweiligen Alterungsmechanismen erreicht werden kann.

Die Ist-Qualität der Komponente ist bestimmt durch die ursprüngliche Auslegung, die Fertigung (unter Berücksichtigung von Abweichungen) und die Montage (unter Berücksichtigung des as-built-Zustandes), die Alterung aus dem bisherigen Betrieb einschließlich der Inbetriebsetzung (IBS) (Belastungen/Umgebungsbedingungen) und die Veränderungen infolge ggf. durchgeführter Reparaturen oder Ertüchtigungen.

Die nachfolgenden Ausführungen betreffen die grundsätzliche Vorgehensweise, deren Anwendung allgemein für die Komponenten der Gruppe 1 gilt, aber sinngemäß auch auf Komponenten der Gruppe 2 übertragen werden kann.

Die folgenden Angaben müssen für den Nachweis der geforderten Qualität oder der geforderten Funktionen der Komponenten anlagenspezifisch zur Verfügung stehen:

- Ist-Zustand der Komponente bzw. der Bauteile und Bereiche der Komponente
 - Werkstoffeigenschaften (spezifizierte Werte, Abnahmewerte, Abweichungen, Tolerierungen, Werkstoffpaarungen, Fügeverfahren),
 - Konstruktion (Gestaltung, Konstruktionsanforderungen, Abmessungen, Anforderungen einschließlich der Abweichungen von den spezifizierten Anforderungen, Halterungsfunktion und -konstruktion, usw.),
 - Systemeinbindung, Art der sicherheitstechnischen Funktion, Funktionsverhalten, Nennung der Einbindung in Funktionsketten und
 - Befundzustand aus betriebsbegleitenden Untersuchungen (Ergebnisse der bisherigen wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen, auffindbare Fehlergröße, Ergebnisse von Funktionsprüfungen und vergleichbaren Prüfungen, vergleichbare Erkenntnisse aus dem Betrieb von Kernkraftwerken, usw.);
 - Bisherige betriebliche Belastungen einschließlich Umgebungseinfluss
- betriebliche Belastungen (für Spannungsabsicherung, Ermüdungsanalyse, bruchmechanische Analyse, Funktionsnachweis) sowie Umgebungseinflüsse (Wasserchemie, Strahlenexposition, Atmosphäre), Erkenntnisse aus der Betriebsüberwachung (z. B in Anlehnung an die KTA-Regel 3201.4);

- Betriebserfahrungen (z. B. aus Vorkommissen, Instandhaltungsvorgängen, Schäden und Funktionsversagen unterhalb der Meldeschwelle, Ergebnisse von Untersuchungen an ausgebauten Komponenten, bisher nicht spezifizierte Belastungen oder Umgebungsbedingungen);
- Störfallbelastungen nach neuesten Anforderungen aufgrund von Erkenntnissen aus Alterung;
- Ergebnisse und Methode bisheriger Nachweise zur Festigkeit und Funktionsverhalten unter dem Aspekt des Alterungsverhaltens.

Die entsprechenden Daten sind so zu dokumentieren, dass die für diesen Bereich des Alterungsmanagements notwendigen Schritte durchführbar sind.

2.1.4.2 Zuordnung der Alterungsmechanismen

Den so erfassten und entsprechend der weiteren Bearbeitbarkeit dokumentierten Komponenten ist der dort jeweils auf der Basis der global und lokal wirkenden alterungsrelevanten Belastungen und Umgebungseinflüsse vorhandene Alterungsmechanismus bis auf die Ebene der für den Integritäts- oder Funktionserhalt erforderlichen Bereiche zuzuordnen. Weiter sind hier gemäß der voranstehenden Systematik die möglichen Versagensarten und -folgen zuzuordnen. Hierbei sind nicht nur die unmittelbaren lokalen Schadensfolgen zu verknüpfen, sondern auch die Folgen im Sinne des funktionalen Zusammenhangs.

- **Komponenten und Bauteile der Gruppe 1**

In dieser Gruppe ist bei der Ableitung von Maßnahmen des Alterungsmanagements der Vermeidung der Ursachen von Alterungsschäden der Vorzug zu geben. Für Komponenten dieser Gruppe ist der Nachweis zu führen, dass die erforderliche Schadensvorsorge hinsichtlich der Alterung allein aus der vorhandenen Qualität der Komponenten selbst unter Ansatz der zu erwartenden Lasten und wirkenden Alterungsmechanismen für die weitere Betriebszeit gegeben und abgesichert ist. Unbeschadet von dieser Forderung müssen als zusätzliche Maßnahme die Folgen der Alterungsmechanismen an den Komponenten mit den vorhandenen und dazu qualifizierten Überwachungsmaßnahmen überwacht werden. Erfahrungen aus einer solchen Überwachung müssen dann ebenfalls beim Alterungsmanagement eine entsprechende Berücksichtigung finden.

Der Stand der Nachweise, die Überwachungsmaßnahmen selbst und die damit erzielten Ergebnisse sind zur weiteren Fortschreibung und Bearbeitung entsprechend aufzubereiten und zur Nachvollziehbarkeit auch in Berichtsform zu dokumentieren, ebenso die ergriffenen Maßnahmen.

- **Komponenten und Bauteile der Gruppe 2**

Nach den Grundsätzen der Schadensvorsorge im Rahmen des gestaffelten Sicherheitssystems ist für Komponenten dieser Gruppe die Vorsorge so auszugestalten, dass Ausfälle oder Funktionsverlust aus Alterungsmechanismen nicht zu erwarten sind. Während durch die Qualität der Komponenten selbst in der Gruppe 1 ein Ausfall durch Alterungsmechanismen für die gesamte Betriebsdauer auszuschließen ist, liegt der Schwerpunkt des Alterungsmanagements bei der Gruppe 2 in dem Prinzip, die Qualität der Komponenten zu verfolgen. Die wesentlichen Instrumente des Alterungsmanagements, sind hierfür zum einen die Überwachung der Folgen von Alterungsschäden bei den Komponenten und dem rechtzeitigen d. h. entsprechend vorbeugenden Eingreifen, bevor sich hieraus ein Schaden bzw. ein entsprechender Ereignisablauf entwickeln kann, und zum anderen die vorbeugende Instandhaltung, die zeit- oder zustandsorientiert angewandt werden kann.

Bei dem konzeptionellen Ansatz und der Art der Vorgehensweise des Alterungsmanagements für die Komponenten der Gruppe 2 kommt dem rechtzeitigen Erkennen der Schadensart, der Schadensentwicklung und der Schädigungsgeschwindigkeit eine entscheidende Bedeutung zu. Neben der oben beschriebenen Vorgehensweise für die Erfassung aller Komponenten und der davon abgeleiteten Maßnahmen bietet es sich als zusätzliche und absichernde Strategie des Alterungsmanagements an, anhand von entsprechenden Parametern solche Komponenten oder Bauteile oder Bereiche von Komponenten auszuwählen, die wegen der dort vorliegenden Verhältnisse und wirkenden alterungsrelevanten Belastungen und Umgebungseinflüsse repräsentativ und abdeckend (z. B. hinsichtlich Konstruktion, ggf. Vorschäden, Alterungsbelastung, Umgebungsbedingungen und Übertragbarkeit auf andere Komponenten oder Bauteile) für eine Reihe oder Gruppen von anderen Komponenten, Bauteile oder Komponentenbereiche hinsichtlich der Art der Alterungsschäden und deren Fortschreiten wie z. B. der Schädigungsgeschwindigkeit oder Zustandsänderung sind. Dies kann für gleichartige Komponenten unter verschiedenen Einsatzbedingungen zutreffen, aber auch für unterschiedliche Komponenten, wenn die zu betrachtenden Bereiche oder Bauteile hinsichtlich der alterungsrelevanten Parameter von der Art und Qualität vergleichbar und zu Gruppen zusammengefasst werden können. Durch die Schaffung solcher Schlüsselkomponenten oder Indikatoren ist es möglich, für die jeweilige Gruppe von Komponenten, die durch den jeweiligen Indikator abgedeckt werden, durch deren gezielte Überwachung im vorlaufenden Sinne rechtzeitig den jeweiligen Zeitpunkt oder Zustand zum Ergreifen von Maßnahmen im Rahmen der Instandsetzung zu veranlassen oder bisherige Ansätze zum Alterungsverhalten zu korrigieren. Es ist für die Bestimmung solcher Schlüsselkomponenten zweckmäßig, zu Beginn eine zusätzliche Inspektion hinsichtlich des Zustandes der Komponente und der dort wirkenden Alterungsmechanismen im Sinne einer Nullaufnahme vorzusehen. Diese Schlüsselkomponenten, deren Auswahl jeweils zu begründen ist, sind in ein spezielles Überwachungsprogramm aufzunehmen; die Ergebnisse sind neben der internen Verfahrensweise jährlich auch in Berichtsform zu dokumentieren.

Mit diesem Instrument wird neben der bereits vorhandenen Praxis der Instandhaltung im Rahmen des Alterungsmanagements ein zusätzliches systematisches und übergreifendes Instrument geschaffen, um die erforderliche Qualität der Komponenten für den zukünftigen Betrieb zu erhalten.

Die Ergebnisse der Überwachung dieser Schlüsselkomponenten ist in der Weise zu dokumentieren und zu

verarbeiten, dass diese stets auf die Komponenten übertragen werden können, die durch sie repräsentiert werden. Ebenso ist dafür Sorge zu tragen, dass ein möglicher Erkenntniszuwachs für Alterungsmechanismen in das System der Überwachung der Schlüsselkomponenten selbst und der von diesen abgedeckten Komponenten Eingang findet.

2.1.5 Geeignete Überwachungsverfahren

Mit den betriebsbegleitenden Prüfungen und Überwachungen sind die möglichen Ursachen von Alterung (aus spezifizierten Belastungen einschließlich der nach der Betriebserfahrung anzusetzenden sonstigen Belastungen und Umgebungsbedingungen) zu überwachen und ihnen durch geeignete Maßnahmen entgegenzuwirken. Dabei ist von dem Grundsatz auszugehen, dass der Beseitigung oder der Abschwächung der Ursachen für die Alterung der Vorzug zu geben ist.

Zur Überwachung sollen alle bereits zur Anwendung kommenden Maßnahmen mit herangezogen werden. Diese sind jedoch systematisch in das System des Alterungsmanagement einzubeziehen. Hier können sich bei den bereits praktizierten Maßnahmen die Art, der Umfang und ggf. die Auswertung und Dokumentation ändern. Dies wird z. B. die Zuordnung der Ergebnisse der WKP und anderer bisher praktizierter Überwachungsmaßnahmen zu bestimmten Merkmalen in dem System und der Dokumentation des Alterungsmanagements betreffen.

Als Ergebnis der im Rahmen des Alterungsmanagements durchgeführten Analysen, Nachweise und Betrachtungen ergeben sich weitere Überwachungsmaßnahmen. Die Durchführung dieser zusätzlichen Maßnahmen ist mit den bestehenden Überwachungsmaßnahmen gemeinsam in das System des Alterungsmanagements zu integrieren.

Insgesamt gilt es, neben den analytischen Betrachtungen und Nachweisen der Komponenten alle relevanten Informationen aus Vorgängen des Anlagenbetriebs und sonstigen Quellen in das Alterungsmanagement einzubeziehen, zu verarbeiten und daraus entsprechende Maßnahmen abzuleiten sowie den dazu notwendigen Informationsfluss auszugestalten. Entsprechende Informationen ergeben sich beispielsweise aus:

- WKP (z. B. zerstörungsfreie Prüfungen (zFP), Funktionstest, Messungen relevanter Parameter),
- Überwachung der für Alterung relevanten verfahrenstechnischen Parameter,
- Messergebnisse der Überwachungssysteme (z. B. FAMOS, KÜS),
- Ergebnisse der Überwachung zukünftig zu bestimmender Schlüsselkomponenten oder Indikatoren,
- Betriebsbeobachtungen, Schadensanalysen,
- Maßnahmen und Aktivitäten in der Revision,
- Begehungen,
- Instandhaltung,
- Wartung, Reparaturen,
- Diagnoseeinrichtungen,
- Auswertungen von Störmeldungen,

- Vorkommnisse (z. B. Weiterleitungen, meldepflichtige als auch unterhalb dieser Schwelle),
- Untersuchungen an ausgebauten schadhafte Teilen,
- Versuche an Komponenten z. B. mit Überlast oder Zeitraffung und
- Abfragen und Auswerten von entsprechenden Datenbanken (national und international).

Wenn die Instandhaltung zustandsorientiert durchgeführt wird, muss die Überwachung der einzuhaltenden Parameter auf der Basis der entsprechenden Erkenntnisse zum Alterungsverhalten erfolgen (Definition der Grenzwerte einschließlich Sicherheitsabstände). Wenn dazu Diagnostikmessungen zum Einsatz kommen, ist zu belegen, wie die Ergebnisse der Messungen dem Qualitätszustand der Komponente zuzuordnen sind.

Bei zeitorientierter Instandhaltung muss auf der Basis der Alterungsvorgänge die Eingriffzeit bzw. das Instandhaltungsintervall einschließlich der notwendigen Sicherheitsabstände festgelegt und überwacht werden.

2.1.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Festgestellte Alterungsbefunde und Schäden bzw. Funktionsausfälle an Komponenten mit sicherheitstechnischer Relevanz sind zu erfassen und zur weiteren Verfolgung zu dokumentieren. Die festgestellten Sachverhalte sind in eine entsprechend qualifizierte Dokumentation (vorzugsweise eine Datenbank) in der Weise einzufügen, dass eine nachvollziehbare Auswertung der Versagensursache bzw. der Alterungseffekte der Komponente hinsichtlich einer Trendanalyse der weiteren Entwicklung und der daraus resultierenden sicherheitstechnischen Folgen für die betroffene Komponente selbst, aber auch für andere Komponenten, auf die die Alterungsmerkmale zutreffen, möglich ist. Bei systematischen Schäden ist sicherzustellen, dass alle in der Dokumentation erfassten Komponenten, für die dieser Mechanismus und Schadensverlauf hinsichtlich der Systematik relevant ist, hervorgehoben werden. Falls der festgestellte Alterungsbefund in der Dokumentation hinsichtlich Wirkungsweise und Verlauf noch nicht ausreichend dokumentiert ist, sind entsprechende Regelungen und Kriterien aufzunehmen.

Weiter sind bei festgestellten Befunden die Auswirkungen auf die vorhandene Qualität zu bewerten. Nötigenfalls sind die Betriebsüberwachung, die Instandhaltung und die Betriebs- und Fahrweisen anzupassen. Es ist zu analysieren, ob die Schädigungsmechanismen zu einem einzelnen oder zu einem systematischen Fehler führen können. Dies gilt für die Komponenten der Gruppen 1 und 2.

In der Gruppe 2 sind bei einem systematischen Fehler die Anforderungen an die Überwachung und an die zu ergreifenden Maßnahmen entsprechend den festgestellten Schädigungsmechanismen anzupassen. Falls sich aus dem Befund selbst oder aus den möglichen sicherheitstechnischen Auswirkungen ein Widerspruch zu der Gruppeneinordnung ergibt, ist eine Einstufung in die Gruppe 1 vorzunehmen. Die Ergebnisse der Überwachung der Schlüsselkomponenten bzw. der Indikatoren für Alterungsschäden sind zu erfassen und entsprechend auf die Komponenten oder Bereiche zu übertragen, für die diese jeweils repräsentativ sind. Abhängig von den Ergebnissen ist die Vorgehensweise für das Alterungsmanagement für die damit erfassten Komponenten anzupassen.

Wenn Alterungsbefunde an Komponenten aufgetreten sind, die von der bisherigen Überwachung nicht oder nicht ausreichend erfasst wurden, ist die Überwachung entsprechend anzupassen.

2.1.7 Dokumentation

Die wichtigste Anforderung an die Dokumentation ist, dass alle Maßnahmen und Erkenntnisse unmittelbar so dokumentiert werden, dass es damit möglich ist, alle Vorgänge des Alterungsmanagements zu verwalten, entsprechende Informationen möglichst schnell und einfach zu entnehmen, und dass neue Erkenntnisse und Betriebserfahrungen für die zukünftigen Aktivitäten konsistent eingefügt werden können. Damit diese Anforderungen erfüllt werden, muss die so ausgestaltete Dokumentation entsprechend gepflegt und fortentwickelt werden.

Die entsprechenden Angaben zum Alterungsmanagement und die Maßnahmen für die einzelnen Komponenten und Ergebnisse aller Prüfungen sind in einem zusammenfassenden Bericht (Basisbericht) aufzunehmen und regelmäßig fortzuschreiben (Statusberichte). Der Inhalt dieses Berichtes muss den voranstehenden Anforderungen genügen und muss u. a. Angaben zum Wissensstand, zur Kategorisierung, zu alterungsrelevanten Belastungen, zu Schädigungsmechanismen, zu Überwachungsmaßnahmen enthalten.

2.1.8 Organisatorische Einbindung in die bestehenden Strukturen

Das Alterungsmanagement der mechanischen Komponenten erfordert die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachgebiete bzw. unterschiedlicher Organisationseinheiten des Betreibers. Die spezifischen Aufgabenstellungen aus dem Alterungsmanagement für mechanische Komponenten sind entsprechend auszugestalten.

2.2 Alterungsmanagement elektro- und leittechnischer Komponenten

2.2.1 Betrachtungsumfang

Der Betrachtungsumfang bezieht sich auf die elektro- und leittechnischen Komponenten der Sicherheitssysteme und der sicherheitstechnisch relevanten Einrichtungen. Die nachfolgende Auflistung ist nach Komponentengruppen, die erhöhten Belastungen aufgrund der Umgebungsbedingungen, z. B. Störfallbedingungen, ausgesetzt sind, und solchen, die keinen erhöhten Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind, untergliedert. Die nachfolgende Aufteilung betrifft nicht die sicherheitstechnische Relevanz.

2.2.1.1 Komponentengruppen in Bereichen mit erhöhten Belastungen auf Grund der Umgebungsbedingungen, z. B. Störfallbedingungen

- Motoren,
- Stellantriebe, Magnetantriebe,
- Messwertgeber und -fühler,
- Messumformer,
- Kabel und Leitungen,
- Unterverteiler,
- elektrische Durchführungen,
- Stecker,
- Elektronikschränke, Schrankverdrahtung,
- Elektronikbaugruppen.

2.2.1.2 Komponentengruppen in Bereichen ohne erhöhte Belastungen auf Grund der Umgebungsbedingungen, z. B. in Schaltanlagen- und Dieselgebäuden

- Generatoren, Motoren,
- Stellantriebe, Magnetantriebe,
- Messwertgeber und -fühler,
- Messumformer,
- Kabel und Leitungen,
- Unterverteiler,
- Stecker, Steckerleisten, Federleisten,
- Elektronikschränke, Schrankverdrahtung,
- Elektronikbaugruppen,
- Schaltanlagen feststehender Teil, Einschübe (Schaltanlagenabzweige), elektrische Schutzeinrichtungen,
- Gleich- und Wechselrichter,
- Batterieanlagen,
- Transformatoren,
- Warte und örtliche Leitstände,

- Rechner,
- Anzeigengeräte, Bedienelemente,
- Rangierverteiler.

2.2.2 Betrachtungsgrundlage

Die sicherheitstechnisch wichtigen elektro- und leittechnischen Einrichtungen in den deutschen Kernkraftwerken sind entsprechend dem KTA-Regelwerk nach den KTA-Regeln 3501 bis 3507 und 3701 bis 3705 ausgelegt. Im KTA-Regelwerk werden Anforderungen an die Auslegung und Qualifizierung der Komponenten und Einrichtungen des Sicherheitssystems gestellt, wie z. B. Typ- und Eignungsüberprüfung, Betriebsbewährung und Inbetriebsetzungsprüfung. Die KTA-Regeln stellen hohe Qualitäts- und Zuverlässigkeitsanforderungen sowohl an die einzelnen Komponenten als auch an die Systemauslegung.

Aufbauend auf dieser hochwertigen Auslegung und Qualifizierung muss das Alterungsmanagement sicherstellen, dass alterungsbedingte Auswirkungen auf Komponenten so rechtzeitig erfasst und behoben werden, dass unzulässige Funktionsbeeinträchtigungen des Sicherheitssystems ausgeschlossen werden können. Im Bereich der Elektro- und Leittechnik wurden diesbezüglich mit den Untersuchungsvorhaben SR 441 und SR 2234 des BMU (ALSTER I /2.2.1/ und ALSTER II /2.2.2/) sowie einem Vorhaben des VGB-Arbeitskreises „Betriebsbegleitende Nachweise der KMV-Störfallfestigkeit“ Vorgehensweisen zum Alterungsmanagement festgelegt.

Für die elektro- und leittechnischen Komponenten und Systeme lässt sich feststellen, dass diese im Bedarfsfalle uneingeschränkt erneuerbar bzw. austauschbar sind. Soweit sich, z. B. auf Grund des Ausscheidens von Herstellern aus dem Markt, der Einstellung der Fertigung von Komponenten oder Komponentengruppen, Einschränkungen bei der Beschaffung von Ersatzkomponenten oder der benötigten Ersatzteile ergeben, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, auf funktionsidentische Komponenten anderer Baureihen oder anderer Hersteller auszuweichen.

Prognosen über das Alterungsverhalten elektro- und leittechnischer Komponenten lassen sich aus der statistischen Auswertung von Störungen und Befunden, Vorkommismeldungen, den Ergebnissen und Befunden aus Prüfungen und Wartungsmaßnahmen sowie aus den Ergebnissen einer künstlichen (zeitraffenden) Voralterung, z. B. nach der KTA-Regel 3706, ableiten.

2.2.3 Relevante Alterungsmechanismen

Typische Einwirkungen, die längerfristig oder wiederkehrend einwirken und daher für die Alterung elektro- und leittechnischer Komponenten maßgeblich sind, sind z. B.:

- Umgebungstemperatur, Eigenerwärmung aufgrund elektrischer Verluste,
- ionisierende Strahlung, UV-Licht,

- mechanische Schwingung,
- Feuchte,
- Aerosole,
- chemische Belastung und
- elektrische Spannung, elektromagnetische Felder.

Im Bereich der elektro- und leittechnischen Einrichtungen werden insbesondere folgende Alterungseffekte beobachtet:

- Verschleiß (z. B. Lagerstandzeit, Nachlassen von Federkräften, Kontaktabbrände)
- Kapazitätsverlust, (z. B. bei Batterien und Kondensatoren),
- Versprödung, Aushärtung, Isolationsschwächung (z. B. von Kunststoffen, Isolierstoffen),
- Undichtheit (z. B. bei Dichtungen, Elektrolytkondensatoren),
- Verharzung (z. B. Schmierstoffe),
- Verschmutzung (z. B. hinsichtlich Beeinträchtigung an Luft- und Kriechstrecken, Kontaktprobleme von Steckern),
- Korrosion (z. B. bei Batterien, Belagbildung auf Kontakten),
- Diffusion (z. B. Partikeldiffusion in Halbleitern, Sauerstoffdiffusion in Kunststoffen),
- Materialwanderung (z. B. Whiskerbildung, Fließen von Kunststoffen) und
- Veralten von Hard- und Software bei rechnerbasierten Systemen.

2.2.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Komponenten

Die Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Komponenten sollte durch eine systematische Analyse unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Aspekte erfolgen.

2.2.5 Geeignete Überwachungsverfahren

Um Alterungseffekte im Bereich der elektro- und leittechnischen Komponenten rechtzeitig erkennen zu können, ist eine Vielzahl von Maßnahmen vorzusehen, wie die Erfassung und Auswertung von im Anlagenbetrieb auftretenden Störungen und Befunden, die Durchführung von speziellen Prüfungen und Diagnosen und, bei ausgewählten Komponenten, die Durchführung einer künstlichen (zeittraffenden) Alterung. Im Folgenden sind übliche Überwachungsverfahren für elektro- und leittechnische Komponenten aufgeführt:

2.2.5.1 Erfassung und Dokumentation von Ausfällen und Auswertung von Befunden

Erfassung und Dokumentation von Ausfällen und Auswertung von Befunden aus:

- wiederkehrenden Prüfungen,

- Betriebsbeobachtungen,
- Instandhaltung,
- Diagnoseeinrichtungen und speziellen Prüfungen, z. B. Teilentladungsmessungen an Motoren und Generatoren,
- Störungen (z. B. Störmeldungen, Meldungen durch Selbstüberwachung) und
- Vorkommnissen (z. B. Weiterleitungsnachrichten, Meldepflichtige Ereignisse, GRS-Jahresbericht über ausländische Ereignisse).

2.2.5.2 Künstliche (zeitraffende) Alterung von Komponenten

Um Alterungseffekte frühzeitig zu erkennen, können elektro- und leittechnische Komponenten einer künstlichen Alterung unterzogen werden. Beispiele hierfür sind:

- Künstliche Alterung nach der KTA-Regel 3706 für störfallfeste Komponenten, Durchführung von Prüfungen an künstlich gealterten Komponenten und nachfolgende Betrachtungen hinsichtlich des Erhalts der geforderten Störfallfestigkeit.
- Kabeldeponien in temperatur- und strahlungsmäßig hoch belasteten Bereichen und daraus abgeleitete Erkenntnisse.
- Künstliche Alterung im Rahmen der Typprüfung und daraus abgeleitete Erkenntnisse.

2.2.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Festgestellte Ausfälle und Alterungsbefunde von elektro- und leittechnischen Komponenten mit sicherheitstechnischer Relevanz sind zu erfassen und zu dokumentieren. Die Dokumentation muss eine nachvollziehbare Auswertung der Ausfallursachen bzw. der Alterungseffekte für die Komponenten und Komponentengruppen ermöglichen, damit Trendanalysen möglich sind. Die Dokumentation der Prüfergebnisse von in Kabeldeponien gealterten Kabeln sollte eine Hersteller-, Kabeltyp- und Herstellungszeitraum-spezifische Auswertung ermöglichen. Die Ausfallerfassung und -auswertung sollte EDV-gestützt durchgeführt werden.

Die festgestellten Alterungseffekte sind hinsichtlich ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung und hinsichtlich des Potenzials für mögliche systematische Ausfälle zu bewerten. Abhängig von den Bewertungsergebnissen sind erforderliche Abhilfemaßnahmen zu planen, festzulegen und durchzuführen. Die Befunde, die Bewertung der Alterungseffekte und die daraus abzuleitenden Maßnahmen sind im Betreiberbericht darzustellen.

2.3 Alterungsmanagement von baulichen Anlagen

2.3.1 Betrachtungsumfang

Beim Alterungsmanagement baulicher Anlagen sind grundlegende Anforderungen bezüglich der

- Tragsicherheit,
- Gebrauchstauglichkeit und der
- Dauerhaftigkeit

zu beachten. Das Alterungsmanagement umfasst die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Erfüllung dieser Anforderungen während der gesamten Nutzungsdauer der Anlage.

Zum Alterungs- und Lebensdauermanagement von Bauwerksstrukturen soll die KTA-Regel 2201.1 als Auswahlkriterium für die Einteilung von Bauwerken und Bauteilen herangezogen werden:

- Bauwerke (der Klasse I), die für die sicherheitstechnische Funktion der technischen Einrichtungen der Anlage erforderlich sind und dazu beitragen, die grundlegenden Schutzziele (Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente, Einschluss der radioaktiven Stoffe und Begrenzung der Strahlenexposition) zu erfüllen.
- Bauwerke (der Klasse II) die für den Betrieb der Anlage erforderlich sind, aber selbst keine sicherheitstechnische Funktion haben.
- Bauwerke (der Klasse IIa), die selbst keine sicherheitstechnische Funktion haben, die aber durch an ihnen infolge Störfällen oder Alterung möglicherweise entstehenden Wirkungen und Schäden zur Klasse I gehörende Bauwerke in ihrer sicherheitstechnischen Funktion beeinträchtigen können.

2.3.2 Betrachtungsgrundlage

Das einschlägige kerntechnische Regelwerk enthält bisher kaum Regelungen zur Beherrschung von Alterungsprozessen bei Bauanlagen; es wird auf die in der konventionellen Bautechnik hierzu vorliegende Literatur verwiesen /2.3.1/.

2.3.3 Relevante Alterungsmechanismen

Bauliche Anlagen müssen ihren vorgesehenen Zweck während der gesamten Nutzungsdauer erfüllen. Sie müssen daher den mechanischen und thermischen Einwirkungen im Betrieb und bei Störfällen zuverlässig widerstehen und gegen chemische, biologische, klimatische und ähnliche Einwirkungen ausreichend beständig sein. Ferner müssen sie unter bestimmten Einwirkungen in einem gebrauchsfähigen Zustand verbleiben. Diese Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit sind während der gesamten Nutzungsdauer zu gewährleisten; Bauliche Anlagen müssen dementsprechend dauerhaft sein

(Dauerhaftigkeit). Ziel des Alterungsmanagements bei baulichen Anlagen ist es, durch technische und organisatorische Maßnahmen sicherzustellen, dass diese Anforderungen während der gesamten Nutzungsdauer der Anlage erfüllt werden.

Die Alterung von Bauwerken wird durch folgende Einwirkungen maßgeblich beeinflusst:

- mechanische Einwirkungen (z. B. äußere Lasten, Drücke, Vorspannung, Setzungen),
- physikalische Einwirkungen (z. B. Temperatur, Feuchte, Wasser, Frost, Schwinden, UV-Strahlung, radioaktive Strahlung),
- chemische Einwirkungen (z. B. Kohlendioxid, Chlorid, Sulfat, Säuren, Laugen) und
- biologische Einwirkungen (z. B. Bakterien, Bewuchs).
- Baugrundveränderungen

Hinsichtlich der Alterungsmechanismen ist zwischen folgenden Bauteilen und Baustoffen zu unterscheiden:

- Stahlbetonbauteile (z. B. Reaktorkuppel, Wände und Decken),
- Spannbetonbauteile (z. B. Spannbetoncontainment, Dachbinder),
- Stahlbauteile (z. B. Stahlliner, Verankerungen, Bühnen),
- Kunststoffe (z. B. Kunststoffliner, Beschichtungen, Abdichtungen, Fugenbänder),
- Brandschutzbauteile (z. B. Dämmschichtbildner(DSB)-Beschichtungen, Abschottungen) und
- Rohrleitungs- und Kabeldurchführungen.

Alterungsprozesse bei baulichen Anlagen laufen im Allgemeinen langsam ab, so dass ausreichend Zeit bleibt, um Alterungserscheinungen rechtzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Besonderes Augenmerk ist wegen der Möglichkeit eines Vorspannkraftverlustes auf die Alterungsüberwachung von Spannbetonbauteilen zu legen.

Bei den genannten Bauteilen und Baustoffen können folgende Alterungsmechanismen und -effekte auftreten:

- **Beton- und Stahlbetonbauteile**

Ursache/Einwirkung	Schadensmechanismus	Folgen
Kohlendioxid (CO ₂)	Karbonatisierung	Korrosion, Abplatzungen
Austrocknung des Betons	Schwinden	Risse, Verformungen
Äußere Belastung	Kriechen	Risse, Verformungen
Baugrundsetzungen	Verformungen, Lastumlagerungen	Risse
Dyn. Lasten, Vibrationen	Materialermüdung	Risse
Temperatur	Zwängungen, Verformungen	Risse, Abplatzungen
Wasser, Feuchte	Quellen	Korrosion, Ausblühungen
Frost	Gefrieren, Volumenvergrößerung	Abplatzungen
Chem. Einwirkung	Volumenvergrößerung	Abplatzungen
Chlorideinwirkung	Bewehrungskorrosion, Lochfraß	Abplatzungen, Risse
Bewuchs	Durchfeuchtung, Durchwurzelung	Abplatzungen
Ionisierende Strahlung	Versprödung, Gefügeveränderung	Reduzierte Festigkeit

- **Spannbetonbauteile**

Ursache/Einwirkung	Schadensmechanismus	Folgen
Äußere Belastung, Vorspannung	Kriechen, Relaxation	Spannkraftverlust, Risse
Fehlstellen im Verpressmörtel	Spannstahlkorrosion	Spannkraftverlust, Risse
Wasser, Feuchte	Spannungsrissskorrosion	Spannkraftverlust, Risse
Austrocknung des Betons	Schwinden	Spannkraftverlust, Risse
Hohe Temperaturen	Steifigkeits- und Festigkeitsabfall	Spannkraftverlust, Risse
Ionisierende Strahlung	Versprödung, Gefügeveränderung	Reduzierte Duktilität

- **Stahlbauteile**

Ursache/Einwirkung	Schadensmechanismus	Folgen
Dyn. Lasten, Vibrationen	Materialermüdung	Anrisse, Ermüdungsbruch
Wasser, Feuchte	Korrosion	Tragfähigkeitsabfall, Verformungen
Chem. Einwirkung	Korrosion	Tragfähigkeitsabfall, Verformungen
Ionisierende Strahlung	Versprödung	Anrisse, Kerben

- **Kunststoffe**

Ursache/Einwirkung	Schadensmechanismus	Folgen
UV-Strahlung	Versprödung	Risse
Äußere Belastung	Kriechen, Relaxation	Risse, Verformungen
Chem./Biol. Einwirkungen	Versprödung, Blasenbildung	Risse, Blasen (Beschichtungen)
Mechan. Einwirkungen	Verschleiß	Abrieb (Beschichtungen)

- **Brandschutzbauteile**

- Alterung der Dämmschichtbildner (Fähigkeit des Aufschäumens über die Zeit, vgl. Herstellerangaben)
- Alterung von Kabelbeschichtungen
- Alterung von Kabeln (Änderung der Brennbarkeit)

- **Rohr- und Kabeldurchführungen**

- Alterungsmechanismen und -effekte wie bei Stahlbeton- und Stahlbauteilen sowie Kunststoffen
- Schäden durch Differenzsetzungen zwischen den Bauteilen
- Schäden durch drückendes Wasser besonders im Grundwasserbereich eines Bauwerks

2.3.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Komponenten

Die Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Komponenten sollte durch eine systematische Analyse unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Aspekte erfolgen.

2.3.5 Geeignete Überwachungsverfahren

Regelmäßige Begehungen (z. B. jährlich) der Bauwerke und visuelle Kontrolle der Bauteile im Hinblick auf u. a.:

- Risse,
- Betonabplatzungen, Beschädigungen, Rostfahnen, Korrosion,
- Bauteilverformungen,
- Ablösungen, Versprödungen,
- Schäden an Auskleidungen und Beschichtungen, speziell im Kontrollbereich und
- sonstige Auffälligkeiten.

Als weitere Überwachungsverfahren sind die Messüberwachung (Monitoring) von Bauteilen und wiederkehrende Setzungsmessungen der Bauwerke zu nennen.

Bei der Feststellung von Alterungsbefunden kommen als nähere Untersuchungsverfahren in Frage:

- zerstörungsfreie Prüfungen (Betondruckfestigkeit, Betondeckung),
- zerstörende Prüfungen an Bohrkernen (Betondruckfestigkeit, Karbonatisierungstiefe),
- Haftzugprüfungen,
- chemische Analysen und
- Sonstige Analysen.

U. a. sind folgende Bauteile mit den genannten Verfahren zu überwachen und zu prüfen:

- Beton-Innen- und -Außenbauteile (auch Betonrohrleitungen/-kanäle),
- Spannbetonbauteile,
- Stahlbauteile und Verankerungselemente,
- Dachabdichtung und Dachentwässerung,
- Liner, Fugenbänder, Beschichtungen, Brandschutzbauteile und
- Durchführungen.

2.3.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Festgestellte Alterungsbefunde sind zu erfassen und einschließlich der hieraus abgeleiteten Maßnahmen zu dokumentieren.

2.3.7 Organisatorische Einbindung in die bestehenden Strukturen

Die Alterung baulicher Anlagen ist durch ein den sicherheitstechnischen Anforderungen entsprechendes Prüf- und Überwachungskonzept zu überwachen und sollte folgende Punkte beinhalten:

- systematische Erfassung und Festlegung der zu betrachtenden Bauwerke und Bauteile unter Berücksichtigung ihrer sicherheitstechnischen Bedeutung,
- Zusammenstellung der maßgeblichen Konstruktions- und Auslegungsdaten der zu betrachtenden Bauwerke und Bauteile (u. a. Lasthaushalt, Betriebsbedingungen wie Druck, Temperatur, Feuchte, Strahlung),
- Festlegung der Anforderungen an den bestimmungsgemäßen Zustand der baulichen Anlagen,
- Zusammenstellung möglicher Alterungserscheinungen,
- Angabe des Prüfzeitpunktes
- Angabe des Prüfverfahrens,
- Angaben über die Auswertung von Befunden und zu weitergehenden Untersuchungen und
- der Festlegung von Instandsetzungsmaßnahmen.

Im Abstand von höchstens zehn Jahren ist ein Bauzustandsbericht zu erstellen. Darin sind auch geänderte Lastannahmen und Bemessungsregeln zu berücksichtigen. Jährlich sind

- der fortgeschriebene Stand der einschlägigen technischen Regeln und
- die wesentlichen neuen Erkenntnisse zum Stand von Wissenschaft und Technik hinsichtlich des Materialverhaltens

zu bewerten.

2.4 Alterungsmanagement von Hilfs- und Betriebsstoffen

2.4.1 Betrachtungsumfang

Zu betrachten sind

- die Schmierstoffe (Öle, Fette) für die Komponenten, die nach den Auswahlkriterien für die Maschinen-, Elektro- und Leittechnik auf Alterungsprozesse überwacht werden sollen,
- die Isolieröle von sicherheitstechnisch relevanten Transformatoren,
- die Brennstoffe der Notstromdiesel und
- sonstige Hilfs- und Betriebsstoffe, wie z. B. Kältemittel, Steuerflüssigkeiten und Chemikalien, soweit sie in sicherheitstechnisch wichtigen Einrichtungen zum Einsatz kommen.

2.4.2 Betrachtungsgrundlage

Die Betrachtungsgrundlage für die Überwachung der Alterungsprozesse ergibt sich aus

- den Empfehlungen der Komponentenhersteller und Lieferanten der Hilfs- und Betriebsstoffe,
- den vorliegenden Betriebserfahrungen mit diesen Stoffen, im konkreten Anwendungsfall in der eigenen Anlage oder in vergleichbaren Anlagen und
- einschlägigen Regeln und Normen.

2.4.3 Relevante Alterungsmechanismen

Durch den Einfluss von Sauerstoff und Feuchtigkeit (evtl. auch Strahlung) kann es bei Mineralölprodukten zur Bildung von Oxydationsstoffen und zur Polymerisation kommen. Diese Prozesse laufen mit steigender Betriebstemperatur beschleunigt ab und führen zur Veränderung der Stoffeigenschaften. Hierdurch können negative Auswirkungen, z. B. auf die Schmierfähigkeit von Schmierstoffen oder die Isoliereigenschaften von Trafoölen, hervorgerufen werden.

2.4.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Hilfs- und Betriebsstoffen

Die Zuordnung von Alterungsmechanismen zu Hilfs- und Betriebsstoffen sollte durch eine systematische Analyse unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Aspekte erfolgen.

2.4.5 Geeignete Maßnahmen zur Vorbeugung und Überwachung

Die Maßnahmen zur Vorbeugung bzw. Überwachung der Veränderung der Stoffeigenschaften sind im Wesentlichen

- der vorbeugende Austausch von Schmierstoffen bzw. von Filtereinsätzen und
- regelmäßige Ölproben bei großen Ölmengen, die nicht vorbeugend gewechselt werden.

Die Maßnahmen für die Hilfs- und Betriebsstoffe der Notstromdiesel sind in der KTA-Regel 3702.2 festgelegt.

Für die übrigen Stoffe sind geeignete Kontrollmechanismen individuell festzulegen.

2.4.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Befunde an sicherheitstechnisch relevanten Komponenten unterliegen der Meldepflicht. Dies trifft auch auf Befunde zu, die durch Alterungseffekte bei den Hilfs- und Betriebsstoffen verursacht werden. Unabhängig hiervon sind wesentliche Abweichungen vom erwarteten Verhalten der Stoffe sowie die hieraus abgeleiteten Maßnahmen zu dokumentieren und in der jährlichen Berichterstattung zu erwähnen.

2.4.7 Organisatorische Einbindung in die bestehenden Strukturen

Die Koordinierung der Maßnahmen zur Überwachung der Hilfs- und Betriebsstoffe hinsichtlich der Alterungseffekte soll durch eine zentrale Stelle, z. B. im Bereich Chemie, erfolgen.

2.5 Alterungsmanagement von Betriebsführungssystemen

2.5.1 Betrachtungsumfang

Betriebsführungssysteme werden als Datenbasis zur Unterstützung administrativer Abläufe und deren Dokumentation in zunehmendem Maß auch in Kernkraftwerken eingesetzt. Von sicherheitstechnischer Relevanz sind dabei solche Systeme bzw. Systemteile, die als Arbeitshilfen bei sicherheitsrelevanten Tätigkeiten und/oder bei der Dokumentation relevanter Abläufe dienen oder dann zum Einsatz kommen, wenn das Betriebsführungssystem Daten für sicherheitsrelevante Aktivitäten oder Entscheidungen bereitstellt. Dies trifft beispielsweise für Systeme zur Freischnittunterstützung, zur Überwachung und Dokumentation von Strahlenschutzmaßnahmen, zur Terminierung sicherheitstechnisch relevanter Prüfungsvorgänge usw. zu.

Die sicherheitstechnische Relevanz eines Betriebsführungssystems hängt deshalb insbesondere davon ab, in welcher Art und Weise die Systeme genutzt werden: als reines Dokumentationssystem oder als ein System, das sicherheitsrelevante Prozesse steuert oder dessen Datenbasis zur Festlegung sicherheitstechnisch relevanter Entscheidungen und/oder Festlegungen dient. Die Anforderungen bezüglich Sicherung, Speicherung und Datenerhalt sind gleich.

2.5.2 Betrachtungsgrundlage

Betriebsführungssysteme sind vom kerntechnischen Regelwerk bislang nicht explizit erfasst worden; grundsätzliche Aspekte der Qualitätssicherung aus der KTA-Regel 1401 oder der DIN ISO 9001 sind jedoch auch auf Hard- und Software von Betriebsführungssystemen anwendbar. So sind Alterungsaspekte z. B. unter dem Thematik „Wartung“ in diesen Regelwerken tangiert.

Als Betrachtungsgrundlage für Alterungsmechanismen von Betriebsführungssystemen dient derzeit primär die mit der schnell fortschreitenden Entwicklung der Informationstechnologie in Kernkraftwerken und in anderen Industriezweigen gemachte allgemeine Betriebserfahrung.

2.5.3 Relevante Alterungsmechanismen

Umfangreiche Software-Produkte, wie sie für Betriebsführungssysteme üblicherweise eingesetzt werden, müssen während ihres ganzen Lebenszyklus ständig gewartet werden. Wartung bedeutet im Falle von Software im Wesentlichen Fehlerbeseitigung, Anpassung an geänderte Anforderungen und funktionale Erweiterung. Wenn Software nicht gewartet wird, veraltet sie im Allgemeinen nach wenigen Jahren und ist nicht mehr voll und zuverlässig einsatzfähig.

Ein weiteres relevantes Alterungsphänomen bei EDV-Anwendungen ist der rasche Wandel von Hard- und Software-Technologien, der dazu führen kann, dass bestehende Produkte nicht mehr gewartet werden, da die Hersteller von Datenbanksoftware oder von Hardware nicht mehr existieren. Der Erhalt der Kompatibilität von Software und Hardware ist bei Änderungen zu gewährleisten. Hinzu kommen steigende Anforderungen

an die Mensch-Maschine-Kommunikation (Benutzeroberfläche) und an die Sicherheit der Informationssysteme im Hinblick auf unerlaubte Zugriffe und/oder Manipulationen.

Steigende Funktionalitäten und/oder Nutzerzahlen können ebenfalls zu einer Reduzierung der Systemverfügbarkeit und Systemzuverlässigkeit führen; deshalb sind sie wie ein „Alterungsphänomen“ zu behandeln.

Auch die Aktualität der in den Betriebsführungssystemen vorgehaltenen sicherheitstechnisch relevanten Daten ist mit in das Alterungsmanagement einzubeziehen. Es ist sicherzustellen, dass diese Daten in gleicher Weise auf dem aktuellen Stand gehalten werden wie elektronisch archivierte Dokumentationsdaten.

2.5.4 Identifikation von Alterungsmechanismen bei Betriebsführungssystemen

Die relevanten Alterungsmechanismen sind für die Betriebsführungssysteme unter Beachtung der anlagenspezifischen Nutzung zu identifizieren.

2.5.5 Geeignete Überwachungsverfahren

In Kenntnis der genannten Alterungsmechanismen sind Überwachungsverfahren einzusetzen, die die folgenden Kriterien erfüllen:

- Verfolgung der Verfügbarkeit und Wartbarkeit der eingesetzten Hard- und Software,
- Verfolgung der Systemverfügbarkeit, von Fehlerraten und von Antwortzeiten,
- Verfolgung des Aktualisierungsstatus von Funktionalitäten auf Grund geänderter Randbedingungen (Regeln und Richtlinien, Erfahrungsrückfluss aus Vorkommnissen usw.),
- Kontrollmechanismen zur Überprüfung der Richtigkeit von sicherheitsrelevanten Daten und
- Überprüfung der Funktionalität bei Einsatz neuer Komponenten (Hard- und Software).

2.5.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Erkannte Mängel in Datenbeständen sind in Abhängigkeit von der Wertigkeit der Daten, für den sicheren Anlagenbetrieb zu beheben. Mängel an sicherheitstechnisch relevanten Daten und Mängel in den organisatorischen Abläufen zur Aktualisierung der Datenbestände sind unverzüglich zu beheben.

Wenn sich aus den Überwachungen des Alterungszustands Hinweise auf Defizite des Systems ergeben, sind diese einschließlich der eingeleiteten Maßnahmen zur Wiederherstellung und Erhaltung des spezifizierten Zustandes der Betriebsführungssysteme zu dokumentieren.

2.5.7 Fachspezifische Personalalterungseffekte

EDV-Systeme erfordern qualifiziertes Personal zum Betrieb und zur Wartung der Hard- und Software. Da in der IT-Industrie bekanntermaßen Firmen- und Personalfluktuationen höher als in anderen Branchen sind, ist diesem Aspekt durch ausreichende Redundanz bei Fremdfirmen und/oder Eigenpersonal besonders Rechnung zu tragen.

2.5.8 Organisatorische Einbindung in bestehende Strukturen

Hinsichtlich der organisatorischen Einbindung in bestehende Strukturen gelten die generellen Anforderungen beim Alterungsmanagement. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die für die sichere Betriebsführung verantwortliche Organisation Maßnahmen zur Beseitigung alterungsbedingter Mängel entsprechend der Dringlichkeit veranlassen kann.

2.6 Alterungsmanagement der Dokumentation

2.6.1 Betrachtungsumfang

Die Dokumentation, die im Rahmen der Planung, Errichtung, Inbetriebsetzung, des Betriebs und der Stilllegung eines Kernkraftwerks für das Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren erstellt und archiviert wird, ist zu betrachten, um

- das Vorliegen oder die Erfüllung rechtlicher Voraussetzungen aufzuzeigen,
- den Soll-Zustand der Anlage und wesentliche Vorgänge bei Errichtung und Betrieb der Anlage zu beschreiben,
- eine Bewertung des Ist-Zustandes der Anlage zu ermöglichen,
- die für den sicheren Betrieb der Anlage erforderlichen Informationen und Sachverhalte darzustellen und
- den internen und externen Erfahrungsrückfluss zu ermöglichen.

2.6.2 Betrachtungsgrundlage

Die Anforderungen an die vom Betreiber eines Kernkraftwerks vorzunehmende Dokumentation sind im Wesentlichen in den „Grundsätzen zur Dokumentation technischer Unterlagen durch Antragsteller/Genehmigungsinhaber bei Errichtung, Betrieb und Stilllegung von Kernkraftwerken“ sowie in der KTA-Regel 1404 festgelegt. Diese stützen sich auch auf allgemein für aufbewahrungspflichtige Dokumentationen gültige Grundsätze ab (z. B. Grundsätze der elektronischen Archivierung, Grundsätze für die Mikroverfilmung), die auch Alterungsaspekte beinhalten. Sicherheitstechnisch von besonderer Relevanz ist die Aktualität der bestehenden Dokumentation und deren schnelle Verfügbarkeit insbesondere von solchen Dokumenten, die zur Beherrschung von Betriebsstörungen und Störfällen erforderlich sind.

2.6.3 Relevante Alterungsmechanismen und -effekte

Hinsichtlich relevanter Alterungsmechanismen sind vor allem zwei Aspekte zu betrachten

- die inhaltliche Aktualisierung der Dokumente und
- die Verfügbarkeit und Lesbarkeit der Dokumente für den potentiellen Nutzer.

Die inhaltliche Aktualisierung von Dokumenten ist eine über die Lebensdauer der Anlage bestehende Daueraufgabe; sie wird üblicherweise durch entsprechende administrative Regelungen (Änderungsverfahren) sichergestellt. Wenn diese Verfahren mangelhaft sind, kann es auf Grund nicht aktualisierter Dokumentationen z. B. zu falschen sicherheitsrelevanten Entscheidungen oder Festlegungen kommen. Eine weitere mögliche Folge wäre, dass der aktuelle Genehmigungsstatus der Anlage nicht eindeutig nachvollziehbar ist. Hinsichtlich der zeitlichen Dringlichkeit der Aktualisierung von Dokumenten und Datenbeständen ist deren Nutzung entscheidend; z. B. sind Dokumente, die der direkten Betriebsführung dienen, immer unverzüglich zu aktualisieren.

Hinsichtlich des zweiten Aspekts sind je nach Datenträger unterschiedliche Alterungsphänomene zu betrachten:

- Bei Papierdokumentationen kann die physische Handhabbarkeit und Lesbarkeit, insbesondere bei nicht sachgemäßer Lagerung, verloren gehen.
- Bei anderen Datenträgern wie Mikrofilm oder elektronischen Datenträgern sind neben dem physischen Zustand der Datenträger auch die Alterungsmechanismen der zur Reproduzierung erforderlichen technischen Einrichtungen relevant. Hierzu gehört vor allem die Verfügbarkeit der notwendigen Hard- und Softwaresysteme, da deren technischer Fortentwicklungszyklus üblicherweise deutlich kürzer ist als die Archivierungszeit der Dokumentationsunterlagen. Daraus können Probleme beim Datenzugriff resultieren, wenn Datenträger und technische Einrichtungen nicht mehr kompatibel sind.
- Wenn Dokumentationen auf andere Datenträger übertragen werden, kann hierbei der sachliche Inhalt der Datenträger verfälscht werden.

2.6.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zur Dokumentation

Die Zuordnung von Alterungsmechanismen zur Dokumentation sollte durch eine systematische Analyse unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Aspekte erfolgen.

2.6.5 Geeignete Überwachungsverfahren

Die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Vermeidung des Alterungseffekts „Verlust der Aktualität“ kann unmittelbar durch eine Kontrolle der Aktualität der vorhandenen sicherheitstechnisch relevanten Dokumente überprüft werden. Eine weitere Möglichkeit, die Wirksamkeit der für eine ordnungsgemäße Aktualisierung getroffenen Maßnahmen zu überprüfen, ist die regelmäßige Auditierung der relevanten Verfahren (Änderungsverfahren, Dokumentationsverfahren, Datenaktualisierung usw.).

Zur Überprüfung der Lesbarkeit und Verfügbarkeit sind, je nach Archivierungsmedium, unterschiedliche Überwachungsverfahren möglich:

- Bei Papierdokumentationen kann die physische Handhabbarkeit und Lesbarkeit durch Stichproben und/oder Kontrolle der erforderlichen Lagerbedingungen überprüft werden.
- Bei anderen Datenträgern, wie Mikrofilm oder elektronischen Datenträgern, kann der physische Zustand der Datenträger mittels Stichproben oder durch Verfolgung des Austausches dieser Datenträger nach Ablauf der spezifizierten Lagerzeit überwacht werden.
- Eine systematische Verfolgung der Kompatibilität von verwendeter Hard- und Software mit den

Datenträgern ist sinnvoll.

- Bei der Übertragung von Dokumentationen auf andere Datenträger ist die sachliche Richtigkeit durch ein qualifiziertes Verfahren und/oder die inhaltliche Kontrolle der transformierten Daten zu überprüfen.

2.6.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Nach der Entdeckung von Mängeln sind diese entsprechend der Bedeutung der Dokumente für den sicheren Anlagenbetrieb in angemessener Zeit zu beseitigen; bei Dokumenten, die zur Betriebsführung und zur Störfallbehandlung notwendig sind, hat dies unverzüglich zu erfolgen.

Gefundene systematische Mängel, z. B. in der Ablauforganisation des Unternehmens, sind schnellstmöglich zu beseitigen. Wenn bei festgestellten systematischen Mängeln nicht ausgeschlossen werden kann, dass die bestehende Dokumentation fehlerhaft ist, sind ggf. entsprechende Nachkontrollen der bestehenden Dokumentationen erforderlich.

Bei Mängeln im Zugriff auf die Dokumentation infolge inkompatibler Hard- und Software zu vorhandenen Datenträgern ist ein zeitlicher Rahmen für Abhilfe in Abhängigkeit von der sicherheitsrelevanten Nutzung der Dokumente vorzugeben.

2.6.7 Spezifische Aspekte bezüglich der Personalalterung

Zur Verwaltung und Aktualisierung sind sachkundige und eingearbeitete Mitarbeiter erforderlich. Diese müssen die Systematik der Archivierung kennen und in der Lage sein, Dokumente in angemessenem Zeitraum bereitzustellen.

Wenn technische Systeme zur Dokumentation eingesetzt werden, muss jederzeit geschultes und zugriffsberechtigtes Personal verfügbar sein, das in angemessenem Zeitraum die angeforderten Dokumentationen bereitstellen kann.

2.6.8 Organisatorische Einbindung in die Unternehmensstruktur

Die für die sichere Betriebsführung verantwortliche Organisationseinheit muss in der Lage sein, die Beseitigung erkannter Mängel unter Berücksichtigung der erforderlichen Dringlichkeit zu veranlassen. Es ist organisatorisch zu gewährleisten, dass dem Kraftwerkpersonal sowie den Aufsichtsbehörden und den Sachverständigen in angemessener Zeit Dokumentationsunterlagen in lesbarer Form zur Verfügung gestellt werden können.

2.7 Alterungsmanagement beim Kompetenzerhalt des Personals

2.7.1 Betrachtungsumfang

Die in die Betrachtung der personellen Alterung einzubeziehende Zielgruppe umfasst die für die Leitung und Beaufsichtigung des Betriebs verantwortlichen Personen. In erster Linie gehören somit alle in der personellen Betriebsorganisation gemäß Betriebshandbuch (BHB, Teil 1) genannten Funktionsträger zum Betrachtungsumfang.

Für jede Personengruppe werden folgende Aspekte betrachtet:

- die personenbezogene Leistungsfähigkeit,
- der dauerhafte Know-how-Erhalt und
- die Aus- und Weiterbildung.

Darüber hinaus sind die folgenden Aspekte zu beachten:

- Erhalt der Personalqualifikation bei vorhandenen bisher eingesetzten Gerätetechniken einschließlich den zugrundegelegten Auslegungsgrundsätze (z. B. Schulung neuer Mitarbeiter).
- Ersatz von Hersteller-know-how durch Aufbau eines entsprechenden Know-hows auf Betreiberseite (die Notwendigkeit ergibt sich z. B. durch Ausscheiden von Herstellern vom Markt oder die Aufgabe der Produkte und der Produktbetreuung durch die Hersteller wegen zu geringer Nachfrage).
- Weiterbildung der Mitarbeiter und Einsatz neuer, entsprechend ausgebildeter Mitarbeiter für die eingesetzten modernen Techniken und Technologien (z. B. digitale Leittechnik).

2.7.2 Betrachtungsgrundlage

Die Grundlage für die Bewertung der physischen und psychischen Leistungsfähigkeit sind in erster Linie die berufsgenossenschaftlichen Vorschriften und Kriterien für die arbeitsärztlichen Untersuchungen. Insbesondere gilt dies für die strahlenexponierten Personen. Der Vorgesetzte soll darüber hinaus durch seine Aufsicht Veränderungen in der Leistungsfähigkeit seiner Mitarbeiter vornehmlich an den Arbeitsergebnissen und in der Zusammenarbeit mit seinen Mitarbeitern erkennen.

Das Alterungsmanagement bezüglich des Know-how-Erhalts und der Aus- und Weiterbildung ist die Reaktion auf die sich verändernden oder sich entwickelnden Anforderungen. Diese sind in Regeln und Richtlinien der Behörden festgelegt und dokumentiert. Der darin festgelegte inhaltliche Umfang der Fachkunde umfasst die Auslegung und die Betriebsweisen der Anlage, deren Änderungen sowie die relevanten Betriebserfahrungen aus der eigenen und aus anderen Anlagen.

2.7.3 Alterungsmechanismen

2.7.3.1 Relevante Mechanismen der personenbezogenen Alterung

Eine Person wird älter und damit verändern sich ggf. körperliche und psychische Leistungsmerkmale sowie das Erfahrungsspektrum. Der Alterungsmechanismus bezüglich des Individuums ist offensichtlich. Die Veränderungen können aus Sicht der betrieblichen Erfordernisse sowohl positive als auch negative Folgen haben. Im Einzelfall kann die Leistungsfähigkeit nachlassen; dieser Fall soll möglichst frühzeitig erkannt werden.

Eine weitere Folge der längerfristigen Ausübung einer Tätigkeit ist die sich einstellende Routine. Einerseits ist sie ein positiver Aspekt bezüglich der Souveränität bei der Erledigung von Aufgaben, andererseits kann sie die Ursache für geringere Aufmerksamkeit oder mangelnde Selbstkritik werden (situational awareness).

2.7.3.2 Relevante Alterungsmechanismen für den Know-how-Erhalt

- **Personalentwicklung**

Durch Fluktuation, persönliche Entwicklungen oder organisatorische Änderungen scheiden bisherige Mitglieder einer Kompetenzgruppe aus und neue Personen kommen hinzu.

- **Einzelne Erfahrungsträger**

Besondere Kenntnisse, Kompetenzen oder Erfahrungen konzentrieren sich in Einzelfällen auf eine Person oder wenige Personen. Dies können Spezialisten für komplexe Sachgebiete und Führungskräfte mit möglicherweise nur auf sie konzentrierten Erfahrungen oder Fähigkeiten sein. In der Regel ist deren Austritt aus der Position geplant. Eine unerwartete Fluktuation ist allerdings nicht ausschließbar.

- **Nutzung externen Know-hows**

- a) **Nutzung externer Ausbildungszentren**

Wenn wesentliche Teile der Aus- und Weiterbildung an externe Ausbildungseinrichtungen (z. B. Kraftwerkshersteller, Forschungszentren oder betreibergemeinschaftliche Einrichtungen) weiter gegeben werden, entsteht u. U. eine nicht erwünschte Abhängigkeit von deren Know-how.

- b) **Spezifisches Know-how anderer Firmen**

Wenn dem Betreiber keine oder nur wenige Alternativen für die Lieferungen oder Leistungen zur Verfügung stehen, kann sich eine entsprechende Abhängigkeit vom Zulieferer entwickeln. Änderungen im Angebot, beim Personal oder bei den Kompetenzen des Zulieferers können zu Lücken führen, wenn der Betreiber nicht unmittelbaren und gestalterischen Einfluss in dem erforderlichen Maß hat. Diesbezügliche Qualitätsanforderungen und die Qualitätssicherung müssen den internen Vorgaben entsprechen.

2.7.3.3 Relevante Alterungsmechanismen bei der Aus- und Weiterbildung

- **Schulungsinhalte**

Die Kenntnis einmal gelernter Schulungsinhalte verblasst mit der Zeit, wenn sie nicht durch Wiederholungen oder Erfahrungen im Kraftwerksbetrieb ständig aufgefrischt wird („didaktische Halbwertszeit“).

Die Schulungsinhalte und -schwerpunkte ändern oder erweitern sich ständig. Diese Veränderungen sind durch Weiterentwicklungen, Modernisierungen und Nachrüstungen der Anlagen und der Betriebsanweisungen bedingt. Zum Anderen sind die relevanten Betriebserfahrungen der eigenen Anlage und anderer Anlagen oder neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Technik an das Betriebspersonal weiterzugeben.

- **Schulungsunterlagen**

Die Änderung von Schulungsinhalten führt dazu, dass die vom Kraftwerkshersteller mit dem Revisionsstand der Inbetriebnahme übergebenen Schulungsunterlagen u. U. nicht dem aktuellen Anlagenstatus entsprechen.

- **Schulungsmedien und -methoden**

Schulungsmedien erfahren, zurzeit vornehmlich bedingt durch die Weiterentwicklung von EDV-Systemen, einen stetigen Wandel. Dieser bezieht sich nicht nur auf die erweiterte Funktionalität, sondern auch auf den längerfristigen Erhalt der verwendeten Hard- und Software.

Die Lehr- und Lernmethoden entwickeln sich auf Grund der EDV-Funktionalität und durch neue Erkenntnisse auf den Gebieten Didaktik, Arbeitspsychologie oder Beurteilungsmethoden ständig weiter.

- **Simulatorschulung**

Der Stand der Technik erfordert anlagenspezifische Simulatoren, die in den relevanten Bereichen im Erscheinungsbild und in ihrem Prozess-Verhalten der Realanlage entsprechen müssen.

2.7.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen zum Kompetenzerhalt des Personals

Die Zuordnung von Alterungsmechanismen zum Kompetenzerhalt des Personals sollte durch eine systematische Analyse unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Aspekte erfolgen.

2.7.5 Geeignete Überwachungsverfahren

2.7.5.1 Überwachungsverfahren zur personenbezogenen Alterung

Für alle Personengruppen gilt die systematische Beobachtung des täglichen Arbeitsverhaltens und der gezeigten Leistungen durch entsprechend geschulte Führungskräfte. Diese haben durch ihre Dienstaufsicht kontinuierlich darauf zu achten, dass die Vorgehensweise den festgelegten und schulmäßigen Normen entspricht.

Strahlenexponierte Personengruppen werden jährlich arbeitsmedizinisch untersucht. Das verantwortliche Schichtpersonal unterliegt der Richtlinie des BMU zum Erhalt der Fachkunde, die eine Beurteilung des Erfolgs von Schulungsmaßnahmen und Aussagen zur Eignung im ein- bzw. dreijährigen Rhythmus verlangt.

2.7.5.2 Überwachungsverfahren zum Know-how-Erhalt

Voraussetzungen zum Know-how-Erhalt sind die kontinuierliche Überprüfung des Status der Dokumentation der Anlagentechnik und der Betriebserfahrungen sowie die Verfolgung des Personalstands und des Personalvorhalts. Mit dem Weggang von Know-how-Trägern ist der Know-how-Verlust zu bestimmen.

2.7.5.3 Überwachungsverfahren zur Aus- und Weiterbildung

Änderungen in der Aus- und Weiterbildung sind durch die folgenden geeigneten Verfahren kontinuierlich zu erkennen:

- Abgleichen der Schulungsinhalte mit dem Anlagenstatus, den Betriebserfahrungen und den Erkenntnissen aus Wissenschaft und Technik,
- Erfassen und Überprüfen der Revisionsstände der Schulungsunterlagen,
- Vergleichen der eigenen Methoden mit den sich entwickelnden Standards der eigenen Branche und vergleichbarer Branchen und mit dem Stand von Wissenschaft und Technik,
- Verfolgen des Status zur Aktualisierung des Simulators und
- Überprüfen der Kenntnisse und Fertigkeiten durch systematische Beurteilung des Erfolgs von Schulungsmaßnahmen.

2.7.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

2.7.6.1 Festgestellte Befunde

Die relevanten Alterungs- bzw. Änderungsbefunde bezüglich der unter Punkt 2.7.3 genannten Mechanismen werden dokumentiert. Als relevant im Sinne des Alterungsmanagements gelten solche Abweichungen von Plan- und Sollvorgaben oder Änderungen, die Maßnahmen erfordern, die über die routinemäßigen Fachkunderhaltungsmaßnahmen im Tagesgeschäft hinausgehen.

2.7.6.2 Abzuleitende Maßnahmen

Für jeden relevanten Befund werden die resultierenden Maßnahmen einschließlich des Realisierungszeitraums abgeleitet und dokumentiert. Bezüglich der personellen Alterung können folgende Maßnahmen ggf. nützlich sein:

- Vorsorge bei Fluktuation,
- Vorkehrungen gegen den Verlust externen Know-hows,
- Revision von Schulungsprogrammen und -unterlagen,
- Qualifikationsmaßnahmen,
- Simulatornachrüstungen,
- Modifikation von Methoden und Schulungsmedien und
- Wissensmanagement.

2.7.7 Organisatorische Einbindung

Erkennen, Analysieren und Umsetzen von Änderungs- oder Entwicklungserfordernissen sind integraler Bestandteil

- der Arbeitsprozesse in der für die Aus- und Weiterbildung zuständigen Abteilung des Kraftwerks,
- der Zusammenarbeit mit externen Ausbildungsinstitutionen und
- der Aufsicht der jeweiligen Linienvorgesetzten.

2.8 Anforderungen an die Verfolgung des Stands von Wissenschaft und Technik bezüglich der konzeptionellen und der technologischen Alterung

2.8.1 Betrachtungsumfang

Als Betrachtungsumfang für die konzeptionelle und technologische Alterung ergibt sich das gesamte Sicherheitskonzept der Anlage mit allen Bauwerken, Systemen und Komponenten der Sicherheitssysteme und der sicherheitstechnisch relevanten Einrichtungen.

Eine erste integrale Bewertung des Sicherheitskonzeptes der Anlage erfolgte zunächst durch die Begutachtung und Genehmigungen im Rahmen der Anlagenerrichtung.

Die Einhaltung dieses genehmigten Qualitäts- und Sicherheitsniveaus während des Anlagenbetriebes wird im Rahmen der Auswertung und Umsetzung von Erkenntnissen z. B. aus Betriebserfahrungen, Wiederkehrenden Prüfungen u. ä. sichergestellt und aufsichtlich überwacht.

Parallel dazu muss der Fortschritt des Standes von Wissenschaft und Technik hinsichtlich geänderter Anforderungen oder Änderungen in der Sicherheitsphilosophie (konzeptionelle Alterung) sowie hinsichtlich neuer Erkenntnisse aus Schädigungsmechanismen, Werkstoff- und Bauteileigenschaften, Nachweismethoden, Prüf- und Berechnungsverfahren (technologischer Alterung) kontinuierlich verfolgt werden, um sich daraus entwickelnde Abweichungen zu erkennen und zu bewerten.

Sofern sich geänderte Anforderungen ergeben, sind entsprechende Funktions- und Integritätsnachweise zu führen bzw. sind Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, wobei sich erhöhte Qualitätsanforderungen für das technologische und auch das physikalische Alterungsmanagement ergeben können.

2.8.2 Betrachtungsgrundlage

Die wesentlichen Kenntnisse und die daraus resultierenden Maßnahmen zur Beherrschung der betrieblichen Alterungsphänomene konzeptioneller, technologischer oder physikalischer Art ergeben sich

- aus dem begutachteten und genehmigten Anlagensicherheitskonzept,
- aus den Ergebnissen der erfolgten Sicherheitsüberprüfungen,
- aus den Ergebnissen von Störfallanalysen und/oder der Auswertung von Vorkommnissen,
- durch die Komponenten-Auslegung und -Herstellung,
- durch ggf. erfolgte Hardware-Nachrüstmaßnahmen,
- aus den Ergebnissen der betrieblichen Überwachungsmaßnahmen,
- aus den Ergebnissen der Instandhaltungsmaßnahmen,
- aus der anlagenbezogenen Bewertung von Weiterleitungsnachrichten zu Erkenntnissen aus anderen Anlagen,
- aus der Erfüllung anlagenbezogener Einzelaufgaben,
- aus der Verfolgung des aktuellen Kenntnisstandes,

- aus sonstigen Vorsorgemaßnahmen sowie
- aus dem Rückfluss nationaler und internationaler Betriebserfahrungen.

Die kerntechnischen Regelwerke stellen eine wichtige Wissensbasis dar, die ergänzt werden durch die Beratungsergebnisse aus RSK und SSK sowie anderen einschlägigen Fachgremien. Diese wird ergänzt durch Forschungsergebnisse und internationale Erfahrungen (z. B. Weiterleitungsnachrichten und Betriebserfahrungen).

Als weiterer Bewertungsmaßstab für den Vergleich zum begutachteten und genehmigten Anlagensicherheitskonzept dient der gesicherte Stand von Wissenschaft und Technik in Form von Erkenntnissen aus der Forschung, die allgemein anerkannt sind oder unabhängig überprüft wurden. (z. B. im Rahmen der Bundesressortforschung erstellte und veröffentlichte Berichte und Studien) sowie aus internationalen Veröffentlichungen (Fundamentals, Requirements, Guides) der Internationalen Atom Energie Agentur (IAEA) und der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP).

2.8.3 Relevante Alterungsmechanismen

Die konzeptionelle Alterung wird durch die Änderung bzw. Weiterentwicklung der Sicherheitsphilosophie bestimmt und ist eine Langzeitentwicklung, die z. B. auf Erkenntnissen über mögliche neue Störfälle oder erforderlicher Vorsorge beruht.

Die technologische Alterung entsteht durch die Änderung des Kenntnisstandes im Wesentlichen hinsichtlich möglicher betrieblicher Schädigungsmechanismen, Werkstoff- bzw. Bauteileigenschaften, Prüf-, Analyse- und Berechnungsverfahren und deren Randbedingungen. Des Weiteren führt der technologische Fortschritt zu Entwicklungen, die Konsequenzen für den Ersatz von technischen Einrichtungen haben können.

2.8.4 Zuordnung von Alterungsmechanismen

Erkenntnisse aus der konzeptionellen und der technologischen Alterung fließen über den Parameter „Berücksichtigung des aktuellen Kenntnisstandes“ in das Alterungsmanagement technischer Einrichtungen ein.

2.8.5 Geeignete Überwachungsverfahren

Als geeignetes Überwachungsverfahren hinsichtlich konzeptioneller und technologischer Alterung dient einerseits die systematische Auswertung aller Betriebserkenntnisse, um durch gezielte Maßnahmen in der eigenen Anlage das genehmigte Sicherheitsniveau zu erhalten und andererseits eine kontinuierliche Verfolgung der Wissensbasis.

Dabei ist die Relevanz der festgestellten Abweichungen bezüglich der anlagenspezifischen Umsetzung unter

Berücksichtigung folgender Punkte zu bewerten:

- Regelmäßige, anlagenbezogene Nachweise zur Einhaltung des Standes von Wissenschaft und Technik,
- Fortschreibung des Regelwerkes,
- Auswertung nationaler und internationaler Betriebserfahrungen in Ergänzung zum Kenntnisstand in der eigenen Anlage und
- Sicherheitsüberprüfung (SÜ).

Die vorhandenen KTA-Regeln werden alle fünf Jahre dahingehend überprüft, ob Anpassungen an den aktuellen Kenntnisstand erforderlich sind, die dann im Bedarfsfall eingeleitet werden.

Neben diesen übergeordneten Bewertungsverfahren erfolgt jeweils im Einzelfall zeitnah die Überprüfung und Bewertung von aktuellen Erkenntnissen aus eigenen Betriebserfahrungen oder von Erkenntnissen aus in- und ausländischen Kraftwerken (Verzeichnis meldepflichtiger Ereignisse (VME), Weiterleitungsnachrichten usw.).

Als ganzheitliches, integrales Bewertungsverfahren gilt die Sicherheitsüberprüfung. Sie erfolgt in der Regel alle zehn Jahre. Dabei wird auch die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen als Folge sowohl der konzeptionellen - wie auch der physikalischen Alterung überprüft. Aus Basis der Ergebnisse, insbesondere derjenigen der deterministischen und probabilistischen Analysen, können dann weitere erforderliche Maßnahmen abgeleitet werden.

Zielsetzung dieser Sicherheitsüberprüfung ist es, den bestehenden Anlagenzustand und die Betriebssicherheit an den aktuellen sicherheitstechnischen Anforderungen zu spiegeln, um festzustellen, ob die Anlage auch im Hinblick auf den künftigen Betrieb ein ausreichendes Sicherheitsniveau besitzt.

Die Bewertung der Alterung der Konzeption der Systemtechnik und der Systemfunktionen erfolgt vorrangig im Rahmen der Sicherheits-Status-Analyse (SSA), ergänzt durch Ergebnisse der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA).

Auch eine systematische Auswertung von Nichtverfügbarkeitszahlen der einzelnen Sicherheitssysteme hinsichtlich Tendenzen und im Vergleich mit anderen Anlagen liefert diesbezüglich weitere Erkenntnisse. Dabei sollte zweckmäßigerweise zwischen geplanter Unverfügbarkeit z. B. durch vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen im Leistungsbetrieb (VIB-Maßnahmen) und ungeplanter Nichtverfügbarkeit unterschieden werden.

Abgestimmte Betriebsindikatoren z. B. auf Basis IAEA könnten dabei ebenfalls geeignet sein.

Die Mitarbeit in Arbeitskreisen und Ausschüssen der Betreiber, Behörden und Gutachter, die neue

Erkenntnisse und Fragen zum Sicherheitskonzept und zur Technologie behandeln, trägt dazu bei, dass der aktuelle Stand von Wissenschaft und Technik bekannt ist.

2.8.6 Behandlung von erkannten Alterungsbefunden

Die Ergebnisse der Überprüfungen und Bewertungen sind zu dokumentieren. Dabei ist anzugeben, welche Konsequenzen aus den Überprüfungen und Vergleichen für die Anlage und ihren Betrieb gezogen worden sind, inwieweit geänderte Forderungen des kerntechnischen oder einschlägiger konventioneller Regelwerke erfüllt werden bzw. inwieweit Zweck und Ziel dieser Forderungen unter Berücksichtigung anlagenspezifischer Bedingungen erreicht werden können.

Festgestellte Alterungsbefunde müssen hinsichtlich des geforderten Sicherheitsstandards der Anlage bewertet werden. Im Rahmen dieser Bewertungen können

- Nachbewertungen auf der Grundlage des aktuellen Regelwerkes oder
- schutzzielorientierte Nachweise auf Basis gültiger Leitlinien/Regelwerke oder
- Nachrüst- bzw. Ertüchtigungsmaßnahmen

erfolgen.

2.8.7 Organisatorische Einbindung in die bestehenden Strukturen

Die für die Betriebsführung verantwortliche Organisationseinheit muss in der Lage sein, die sicherheitstechnische Bewertung von erkannten Abweichungen gegenüber dem Stand von Wissenschaft und Technik vorzunehmen und die Bearbeitung unter Berücksichtigung der erforderlichen Dringlichkeit zu veranlassen.

Es muss sichergestellt sein, dass neben den für die sichere Betriebsführung verantwortlichen Personen auch die kerntechnischen Sicherheitsbeauftragten in die Erkenntnisse, Bewertungen und daraus abgeleiteten Maßnahmen bezüglich technologischer Alterung eingebunden sind.

Kapitel 3

Literatur

- [1.1] Schreiben des BMU AG RS I 4 – 13126/2 vom 22.11.2000 an die RSK-Geschäftsstelle

- [1.2] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Primary Piping in PWRs IAEA-TECDOC 1361 (2003)

- [1.3] International Atomic Energy Agency, Management of Ageing of I & C Equipment in Nuclear Power Plants, IAEA TECDOC 1147 (2000)

- [1.4] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: In-containment instrumentation and control cables, Volume I and II; IAEA-TECDOC-1188 (2000)

- [1.5] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Metal components of BWR containment systems, IAEA-TECDOC-1181 (2000)

- [1.6] International Atomic Energy Agency, Implementation and Review of Nuclear Power Plant Ageing Management Programme, IAEA SAFETY REPORT SERIES No. 15 (1999)

- [1.7] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Pressure Vessels, IAEA-TECDOC-1120 (1999)

- [1.8] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: PWR Vessel Internals, IAEA-TECDOC-1119 (1999)

- [1.9] International Atomic Energy Agency, Safe Management of the Operating Lifetimes of Nuclear Power Plants
INSAG-Series No. 14 (1999)
- [1.10] International Atomic Energy Agency, AMAT Guidelines: Reference Document for the IAEA-Ageing Management Assessment Teams, IAEA SERVICES SERIES No. 4 (1999)
- [1.11] International Atomic Energy Agency, Equipment Qualification in Operational Nuclear Power Plants: Upgrading, Preserving and Reviewing, IAEA SAFETY REPORT SERIES No. 3 (1998)
- [1.12] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Concrete Containment Buildings, IAEA-TECDOC-1025 (1998)
- [1.13] International Atomic Energy Agency, Assessment and Management of Ageing of Major Nuclear Power Plant Components Important to Safety: Steam Generators, IAEA-TECDOC-981 (1997)
- [1.14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Data Collection and Record Keeping for the Management of Nuclear Power Plant Ageing; Safety Series No 50-P-3 (1991)
- Anmerkung: Die o. a. Dokumente und weitere Dokumente der IAEA zum Alterungsmanagement sind unter "www-pub.iaea.org/mtcd/publications/resultspage.asp" und dem Stichwort "ageing" aufrufbar.*
- [1.15] OECD/NEA: Technical Aspects of Ageing for Long-term Operation, NEA/CSNI/R(2002)
- [1.16] OECD/NEA: Regulatory Aspects of Life Extension and Upgrading of NPPs, Report NEA/CNRA/R (2001)
- [1.17] Regulatory Aspects of Ageing Reactors, OECD/NEA/CNRA/R (99) 1 (1999)

- [2.1.1] Bartonicek, Zaiss, Roos, Schöckle; Lebensdauermanagement mechanischer Bauteile
27. MPA-Seminar, Stuttgart 2001
- [2.1.2] Generic Ageing Lessons Learned (GALL) Report; Summary NUREG-1801, Vol. 1
- [2.1.3] Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report; Tabulation of Results;
NUREG-1801, Vol. 2
- [2.1.4] Alterungsüberwachungsprogramm (AÜP) in CH-Kernkraftwerken als Basis für einen
sicheren Betrieb über mehr als 40 Jahre; Gruppe der schweizerischen
Kernkraftwerksleiter
- [2.1.5] GRS Bericht – Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2423 (GRS-A-3117)
- [2.2.1] Untersuchungsvorhaben SR 441 des BMU „Untersuchung zur Alterung bzw. der
Lebensdauer von elektrischen Einrichtungen des Sicherheitssystems und der
Störfallinstrumentierung in kerntechnischen Anlagen unter betrieblichen Einflüssen
(ALSTER I)“, TÜV Nord e. V., April 1992
- [2.2.2] Untersuchungsvorhaben SR 2234 des BMU „Relevanz betrieblicher Einflüsse für die
Störfallfestigkeit elektrischer Einrichtungen des Sicherheitssystems in kerntechnischen
Anlagen (ALSTER II)“, TÜV Nord e. V., Dezember 1998
- [2.3.1] Jungwirth et al.: Dauerhafte Betonbauwerke Beton-Verlag 1986,
VGB: Alterungsmanagement in deutschen Kernkraftwerken, September 1997,
Hillemeier et al.: Instandsetzung und Erhaltung von Betonbauwerken, Beton-Kalender
1999, Teil II,
Scholz et al.: Baustoffkenntnis, Werner Verlag 1999,
Schneider/Knoblauch: Bauchemie, Werner Verlag 2001 und
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie Schutz und Instandsetzung von
Betonbauteilen, Oktober 2001.