
RSK-Stellungnahme

(511. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 04.09.2019)

Topical Peer Review „Alterungsmanagement elektrischer Kabel“

STELLUNGNAHME

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Beratungsauftrag	2
3	Beratungsgang	3
4	Bewertungsmaßstäbe	3
5	Aspekte des Alterungsmanagements für elektro- und leittechnische Kabel in Kernkraftwerken	4
6	Expected Level of Performance (ELP)	6
7	Fazit.....	13
8	Literatur/Unterlagen	14

1 Einleitung

Die Richtlinie 2014/87/EURATOM [1] sieht für alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union alle sechs Jahre die Durchführung sogenannter Topical Peer Reviews vor. Für das erste Topical Peer Review (TPR) haben die Mitgliedsstaaten der europäischen Union durch die European Nuclear Safety Regulators Group (ENSREG) 2017 das Thema „Ageing Management of Nuclear Power Plants“ gewählt. Neben allgemeinen Aspekten des Alterungsmanagements sollte zu speziellen Sachgebieten berichtet werden. Das TPR gilt für alle zum 31.12.2017 in Betrieb befindlichen Kernkraftwerke sowie für Forschungsreaktoren mit einer Leistung $> 1 \text{ MW}_{\text{th}}$.

In einem ersten Schritt führten die Mitgliedsstaaten der EU eine nationale Selbstbewertung zu den aufgezeigten Themen und für die zu betrachtenden Anlagen durch. Das BMU veröffentlichte dazu am 28.12.2017 den Bericht zum TPR [3].

In einem zweiten Schritt, der im Januar 2018 begann, wurden jeweils durch die anderen Mitgliedsstaaten und die Europäische Kommission als Beobachter Peer Reviews der nationalen Selbstbewertungen durchgeführt. Expertengruppen reichten Fragen ein, die für Deutschland durch das BMU, die Landesbehörden, die GRS und den VGB beantwortet wurden. Das Alterungsmanagement in den Kernkraftwerken sollte im Rahmen des TPR u. a. mit dem Ziel überprüft werden, „good practices“ zu ermitteln und Bereiche für Verbesserungen (areas for improvement) zu identifizieren. Die beteiligten internationalen Experten haben die Nationalen Berichte [3] erörtert, ihre Erwartungen zu ausgewählten Aspekten als „expected level of performance“ (ELP) [4] formuliert und länderspezifische Ergebnisse [5] abgeleitet.

Bis September 2019 soll ein National Action Plan (NACp) erstellt werden, in dem die Maßnahmen beschrieben werden, mithilfe derer die vom TPR Board jeweils ausgewiesenen „expected level of performance“ erreicht werden können. Dies betrifft sowohl die länderspezifischen Ergebnisse bzgl. der „areas for improvement“ als auch die generischen Erkenntnisse zum Thema „elektrische Kabel“.

2 Beratungsauftrag

In der 509. RSK-Sitzung am 27.03.2019 bat das BMU gemäß Beratungsauftrag [2] vom 18.03.2019 die RSK, die Ergebnisse des TPR dahingehend zu beraten, ob nach dem Stand von Wissenschaft und Technik in deutschen Kernkraftwerken zusätzliche Maßnahmen

1. zur Prüfung des Grundwerkstoffs der RDB und
2. zum Alterungsmanagement elektrischer Kabel

erforderlich sind. Die RSK bat den Ausschuss ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN (EE) um Beratung zum Alterungsmanagement elektrischer Kabel und um Erarbeitung eines entsprechenden Entwurfs.

Die ENSREG hat zu den elektrischen Kabeln anstelle von länderspezifischen Empfehlungen an die Teilnehmerstaaten sieben allgemeine Anforderungen als „expected level of performance“ (ELP) und eine Anforderung als „good practice“ formuliert. Die „good practice“ bezieht sich auf die in Deutschland vorhandene Kabeldeponie. Darauf wird im Weiteren nicht eingegangen.

Das BMU beauftragte die GRS zu den einzelnen ELP einen Sachstandsbericht zu erstellen [7]. Die Erkenntnisse sollten in den Beratungen berücksichtigt werden.

3 Beratungsgang

In der 270. Sitzung des Ausschusses EE am 17.04.2019 legte die GRS ihre Ergebnisse aus dem Sachstandsbericht [7], [8] zu den sieben o. g. ELP vor. Die GRS erläuterte die ELP und verwies auf zugeordnete Anforderungen des deutschen Regelwerks. Wenn vorhanden, wurde auch auf GRS-Weiterleitungsnachrichten, RSK-Stellungnahmen/Empfehlungen u. ä. hingewiesen, die im Zusammenhang mit der in den ELP angesprochenen Thematik stehen. Außerdem wurden der deutsche National Report [3] und Antworten der deutschen Betreiber und Behörden herangezogen [6], sofern sich aus diesen Erkenntnisse zur Erfüllung der formulierten Anforderungen ableiten ließen. Ggf. wurden weitere Informationsquellen zur Bewertung herangezogen. Abschließend erfolgte eine Bewertung, ob hinsichtlich der jeweiligen Anforderung aus Sicht der GRS Maßnahmen ergriffen werden sollten. Der Ausschuss EE diskutierte jeweils zu den einzelnen ELP und gab seine Bewertung dazu ab. Die Ergebnisse wurden in einem Entwurf zusammengefasst.

In der 271. und 272. Sitzung am 21.05.2019 und 19.06.2019 setzte der Ausschuss seine Beratungen einschließlich Durchsprache des Entwurfes fort. Nach weiteren Ergänzungen verabschiedete der Ausschuss den Entwurf im Umlaufverfahren und legte ihn der RSK in ihrer 511. Sitzung am 04.09.2019 zur Verabschiedung vor. Die RSK beriet und verabschiedete die Stellungnahme in dieser Sitzung.

4 Bewertungsmaßstäbe

Der Bewertungsmaßstab für diese RSK-Stellungnahme ergibt sich direkt aus den Anforderungen der ENSREG. Für die einzelnen Anforderungen wurde zunächst geprüft, ob sie aufgrund der technischen Gegebenheiten für die deutschen Anlagen relevant sind. Für die relevanten Anforderungen wurde zur Bewertung die Praxis in den deutschen Anlagen und das das Alterungsmanagement elektrischer Kabel betreffende untergesetzliche kerntechnische Regelwerk herangezogen. Das sind u. a. die „Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke“ (SiAnf) [9] sowie deren Interpretationen [10], RSK-Leitlinien [11], RSK-Stellungnahmen bzw. Empfehlungen und KTA-Regeln. Von den KTA-Regeln wird insbesondere auf die Regeln KTA 1403 „Alterungsmanagement in Kernkraftwerken“ [12] und KTA 3706 „Sicherstellung des Erhalts der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit von Komponenten der Elektro- und Leittechnik in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke“ [13] Bezug genommen.

Anforderungen an das Alterungsmanagement sind in KTA 1403 „Alterungsmanagement in Kernkraftwerken“ geregelt. Neben allgemeinen Anforderungen in Kapitel 3 werden in Kapitel 4.2 spezielle Anforderungen an die Alterung technischer Einrichtungen der Elektro- und Leittechnik beschrieben. Dabei sind alle sicherheitstechnisch wichtigen technischen Einrichtungen der Elektro- und Leittechnik einschließlich der Kabel in das Alterungsmanagement einzubeziehen.

Die KTA 1403 unterscheidet bei der Vorgehensweise zur Beherrschung von Schädigungsmechanismen grundsätzlich zwischen anforderungsgerecht prüfbar und nicht anforderungsgerecht prüfbar elektro- und leittechnischen Komponenten. Anforderungsgerechte Prüfungen liegen dann vor, wenn die Prüfbedingungen (Temperatur, Feuchte, Strahlung etc.) den Bedingungen des Anforderungsfalls entsprechen und funktionsbeeinträchtigende Schädigungen erkannt werden können.

Für störfallfeste Komponenten einschließlich der Kabel gelten die Anforderungen gemäß KTA 3706 „Sicherstellung des Erhalts der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit von Komponenten der Elektro- und Leittechnik in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke“ [13].

Gemäß den aus der KTA 3706 abgeleiteten Anforderungen sind für Komponenten, die zur Beherrschung und Überwachung von KMV-Störfällen erforderlich sind, deren betriebliche Belastungen (Temperatur, Strahlung) und die nachgewiesene Dauer des Erhalts der Störfallfestigkeit für diese Komponenten (Vertrauenszeit) zu erfassen. Vor Ablauf der Dauer des Erhalts der Störfallfestigkeit ist die weitere Eignung betriebsbegleitend nachzuweisen. Der Nachweis kann analytisch oder durch Ersatz- oder Sonderprüfungen erbracht werden. Alternativ können die Komponenten oder relevante Bauteile vor Ablauf des Vertrauenszeitraums ausgetauscht werden.

5 Aspekte des Alterungsmanagements für elektro- und leittechnische Kabel in Kernkraftwerken

5.1 Umfang

In deutschen Kernkraftwerken werden die Kabel in folgende Kategorien eingeteilt [3]:

- Hoch- und Mittelspannungskabel (> 1 kV) zur Versorgung von großen Verbrauchern, zum Herstellen von Verbindungen zu Transformatoren und innerhalb des elektrischen Eigenbedarfsnetzes.
- Elektrische Niederspannungskabel (< 1 kV) zur Versorgung von elektrischen Verbrauchern wie Motoren, Heizaggregate, Stellantriebe.
- Leittechnik Kabel zur Übertragung von Analog- und Binärsignalen.
- Sonderkabel, Kabel für spezielle Anwendungsfälle z. B. Koaxialkabel für die Neutronenflussinstrumentierung Incore/Excore.

Ziel des Alterungsmanagements ist es, die Funktionsfähigkeit der Kabel sowohl unter den normalen betrieblichen Bedingungen als auch unter den Einflüssen unterstellter Störfälle sicherzustellen. Betrachtet werden dabei die elektrischen Belastungen der Kabel bei unterschiedlichen Störfallszenarien und insbesondere die Belastungen durch die Störfallatmosphäre bei KMV-Störfällen. Mechanische Belastungen aus EVA-Ereignissen müssen für die Kabel nicht betrachtet werden, da die zugehörigen Kabeltragkonstruktionen gegen diese Belastungen ausgelegt sind und die resultierenden Beschleunigungen für die Kabel keine relevante Belastung darstellen.

Alle alterungsrelevanten Schädigungsmechanismen sind gemäß [12] in den Basisberichten zusammenzustellen.

5.2 Prüfbarkeit von Kabeln

Gemäß KTA 1403 [12] Abschnitt 4.2.2 sind die relevanten Schädigungsmechanismen für elektro- und leittechnische Komponenten zu identifizieren, d. h. auch für die Kabel.

Gemäß KTA 1403, Abschnitt 4.2.3 wird die Vorgehensweise zur Beherrschung von Schädigungsmechanismen beschrieben. Für die Komponenten, die anforderungsgerecht geprüft werden können, ist über die Typ- und Eignungsprüfung unter Berücksichtigung des Aspektes der Alterung und über die Maßnahmen

- a) Wiederkehrende Prüfungen,
- b) vorbeugende Instandhaltung und

c) Instandsetzung

in Verbindung mit dem entsprechenden Erfahrungsrückfluss der Nachweis über den Erhalt der benötigten funktionalen Merkmale zu erbringen.

Zur Bewertung von Alterungsphänomen bei Kabeln werden als Belastungsgrößen gemäß [3] benannt: thermische und radiologische Belastung, Belastung durch UV-Strahlung, Spannung/Frequenz/elektrische Felder, mechanische Belastung durch Feldkräfte, Wassereinflüsse/Feuchtigkeit und Medienkontakt (z. B. Öldunst, Säuren/Laugen, Dämmschichtbildner).

In deutschen Anlagen werden folgende Messmethoden zur Bewertung der Kabel verwendet [3]:

- Isolationswiderstandsmessungen (> 1 kV)
- Messungen des Durchgangswiderstandes (alle Kabeltypen)
- Teilentladungsmessung (> 1kV)
- Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens (Leittechnikkabel)
- Sichtprüfungen (alle Kabeltypen)
- Thermografie (alle Kabeltypen)
- Reißdehnungsprüfungen (alle Kabeltypen)
- Elektrische Funktionsfähigkeit unter KMV-Störfallbedingungen (alle Kabeltypen)

Zur Nachweisführung der KMV-Festigkeit auch bei entsprechender betrieblicher Alterung bestimmter Kabel werden Kabelproben, die in Bereichen eines Konvoi-DWR (stellvertretend für die Leistungsreaktoren) mit hoher radiologischer und thermischer Belastung (Hauptkühlmittelleitung) in einer Kabeldeponie gelagert sind, auf ihr Alterungsverhalten hin überwacht. In regelmäßigen Abständen (ca. alle 3 Jahre) werden einzelne Kabelproben entnommen und die Änderung der relativen Reißdehnung als Anhaltspunkt zur Einschätzung der Veränderung des Kunststoffmaterials herangezogen. Außerdem werden solchermaßen vorgealterte Kabelproben elektrischen Prüfungen unter KMV-Störfallbedingungen (Dampfatmosfera mit hohem Druck und hoher Temperatur) unterzogen. Als Akzeptanzkriterium wird kabeltypspezifisch die elektrische Funktionsfähigkeit unter KMV-Bedingungen angesetzt; diese leitet sich aus den typischen Anwendungsfällen des Kabeltyps ab. Die dabei erzielten Ergebnisse können auf die in den Kernkraftwerken eingesetzten Kabel mit den entsprechenden Anforderungen übertragen werden. Darüber hinaus kann aus den Prüfergebnissen die Restlebensdauer für ein solches Kabel abgeleitet werden [3].

5.3 Wissensbasis

Gemäß KTA 1403 [12], Abschnitt 6 „Berichtswesen“ ist von den Betreibern ein anlagenspezifischer Basisbericht zum Alterungsmanagement zu erstellen. In jährlichen Abständen ist in Statusberichten über alterungsrelevante Aktivitäten und Maßnahmen sowie Erkenntnisse und Ergebnisse aus der Anlagenüberwachung an die zuständige atomrechtliche Aufsichtsbehörde des Landes zu berichten. Ergeben sich neue Erkenntnisse über Alterungsprozesse oder Methoden, so ist dies zu berücksichtigen. Die Statusberichte enthalten eine zusammenfassende Bewertung der Wirksamkeit des Alterungsmanagements und der Qualität bzw. der Veränderung der Qualität der technischen Einrichtungen. Bei erkanntem Verbesserungspotenzial sind geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Wirksamkeit des Alterungsmanagements und der Qualität der technischen Einrichtungen zu ergreifen.

Basisberichte und Statusberichte sind Bestandteil der Wissensbasis zum Alterungsmanagement [12].

Neben entsprechenden Herstellerspezifikationen, die auf nationalen und internationalen Regelwerken beruhen, werden folgende Quellen für Erkenntnisse zum Alterungsmanagement für Kabel genannt [3]:

- Ergebnisse aus der Überwachung, WKP und Instandhaltungsmaßnahmen
- Stör-/Mängelmeldungen, Revisionsberichte
- GRS-Weiterleitungsnachrichten (WLN)
- meldepflichtige Ereignisse und Ereignisse aus Kernkraftwerken außerhalb Deutschlands
- nationale und internationale Forschungsvorhaben
- Erfahrungsauswertung der Hersteller
- Erfahrungsaustausch unter den Betreibern
- Auftragnehmermeldungen (VGB-System zur Bewertung der Auftragnehmer)

Zur Umsetzung der Anforderungen aus KTA 3706 wurde als Hilfsmittel die AUREST-Datenbank [14] (AUREST: Automatische Restlebensdauerbestimmung) entwickelt, um Ergebnisse aus den Ursprungstypprüfungen oder betriebsbegleitenden Nachweisen einzelner Geräte nach Umrechnung auf Geräte in den jeweiligen Einbaupositionen übertragen zu können. Die Daten aus den genannten Typprüfungen und betriebsbegleitenden Nachweisverfahren wurden und werden in die anlagenübergreifende Gerätebibliothek der AUREST-Datenbank eingebracht. Die Umrechnung auf die Geräte in den jeweiligen Einbaupositionen erfolgt konservativ unter Anwendung der Arrhenius-Formel für die thermische und unter Berücksichtigung des Dosisleistungseffektes für die radiologische Alterung. Anlagenspezifisch werden neben Eingangsdaten, wie z. B. Umgebungseinflüsse an den jeweiligen Einbauorten, Anforderungen aus der Störfallklassifizierungsmatrix - heruntergebrochen auf die einzelnen Funktionskettenglieder (Komponenten) - in die Datenbank eingebracht. Als Ausgangsdaten stehen für die Funktionskettenglieder Berechnungen der sogenannten Vertrauenszeiten und elektrische Werte zur Verfügung. Anhand dieser Ausgangsdaten können Eignungsüberprüfungen auf den Anlagen erfolgen [14].

6 Bewertung der Erfüllung der Expected Level of Performance (ELP)

Im Folgenden sind die von ENSREG zu den elektrischen Kabeln formulierten sieben „expected level of performance“ [4] und die Bewertung der RSK aufgeführt.

6.1 ELP 1 bezieht sich auf die Dokumentation:

Documentation of the cable ageing management program: „The AMP is sufficiently well-documented to support any internal or external reviews in a fully traceable manner“.

Bewertung durch die RSK:

Mit Erfüllung der Anforderungen aus KTA 1403 wird die Forderung unter ELP 1 abgedeckt. Basisberichte und Statusberichte sind Bestandteil der Wissensbasis zum Alterungsmanagement und werden gutachterlich über das Aufsichtsverfahren begleitet. Weitere Maßnahmen sind aus Sicht der RSK nicht erforderlich und die RSK sieht ELP 1 als erfüllt an.

6.2 ELP 2 thematisiert Methoden zur Zustandsüberwachung von Kabeln:

Methods for monitoring and directing all AMP-activities: „Methods to collect NPP cable ageing and performance data are established and used effectively to support the AMP for cables“.

Die ENSREG hebt dabei hervor, dass eine möglichst breite Basis an Informationsquellen genutzt werden soll und weist als positives Beispiel auf eine länderübergreifende Zusammenarbeit unter Anlagen des gleichen Herstellers hin.

In diesem Zusammenhang ist aus Sicht der RSK auch ELP 4 und ELP 7 zu betrachten. Dort nennt die ENSREG unterschiedliche Methoden zur Überwachung der Alterung von Kabeln.

Bewertung durch die RSK:

Eine Vielzahl von Prüfmethode n wird in deutschen Anlagen bei regelmäßigen Prüfungen im Rahmen des Alterungsmanagements angewendet. Für Sonderprüfungen werden weitere Prüfverfahren verwendet. Nach Ansicht der RSK wird in den Anlagen systematisch Kabelalterung überwacht und es sind Verfahren etabliert, die diese systematische Überwachung ermöglichen. Mithilfe dieser Verfahren wird festgestellt, ob die Kabel weiterhin ihre jeweiligen einsatzspezifischen Anforderungen erfüllen. Zur KMV-Festigkeit der Kabel dient darüber hinaus das AUREST-Verfahren zur Bestimmung der Restlebensdauer. Im Rahmen der Nachweisführung für den Erhalt der Störfallfestigkeit wird die Kabeldeponie genutzt. In festgelegten zeitlichen Intervallen werden von der Kabeldeponie Kabelproben für entsprechende Untersuchungen entnommen, um eine Aussage über den Fortbestand der Funktionsfähigkeit geben zu können. Insgesamt liegt ein breites Spektrum an Informationsquellen vor, das auch ausgewertet wird.

Aus Sicht der RSK war zur Erfüllung von ELP 2 die Frage zu beantworten, ob in deutschen Anlagen Methoden angewendet werden, mit denen Alterungseffekte von Kabeln effektiv überwacht werden können. Aus Sicht der RSK kann diese Frage positiv beantwortet werden. Im nationalen Bericht [3] wurden die Prüfverfahren aufgeteilt nach Kabeltypen beschrieben, mit denen die Kabel in Deutschland wiederkehrend geprüft werden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über relevante Schädigungsmechanismen, und die zur Erkennung dieser Schädigungsmechanismen in deutschen Kernkraftwerken eingesetzten Prüfverfahren. Die Tabelle zeigt eine grundsätzliche Zuordnung zwischen Kabelbestandteilen, Schädigungsmechanismen und Prüfungen zu deren Erkennung. Aus der Darstellung darf nicht abgeleitet werden, dass alle Prüfungen an allen in einer Anlage installierten Kabeltypen durchgängig und regelmäßig in allen deutschen Anlagen zur Anwendung kommen. So erfolgen manche dieser Prüfungen auch nur im Bedarfsfall (z. B. zur Ursachenklärung bei im Rahmen von Funktionsprüfungen festgestellten Abweichungen oder Instandsetzungsmaßnahmen). Die in der Tabelle aufgeführten Prüfverfahren sind für alle Kabeltypen anwendbar, sofern dies nicht ausdrücklich durch eine entsprechende Kennzeichnung (Hoch- und Mittelspannungskabel (1), Niederspannungskabel (2) sowie Leittechnik-kabel (3) und Sonderkabel (4)) eingeschränkt wird.

Bau- teile	Funktionale Merkmale	Schädigungs- mechanismen	Alterungs- effekte	Prüfverfahren
Kabelmantel				
	Mechanische Widerstandsfähigkeit zum äußeren mechanischen Schutz	<ul style="list-style-type: none"> • Reibung, Vibration • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion 	<ul style="list-style-type: none"> • Integritätsverlust des Kabelmantels 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtprüfungen in zugänglichen Bereichen
	Flexibilität beweglicher Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion 	<ul style="list-style-type: none"> • Integritätsverlust des Kabelmantels 	<ul style="list-style-type: none"> • Reißdehnungsprüfungen • Haptischer Test in zugänglichen Bereichen (2), (3), (4)
Aderisolierung				
	Mechanische Beständigkeit zum dauerhaften Erhalt der Isolierfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion • Feuchtigkeit, Teilentladungen, Zersetzung, Ionenwanderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Haptischer Test in zugänglichen Bereichen (2), (3), (4)
	Elektrisches Isoliervermögen	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion • Feuchtigkeit, Teilentladungen, Zersetzung, Ionenwanderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationswiderstandsmessungen (1) • Teilentladungsmessung (1) • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens (3), (4) • Reißdehnungsprüfungen • Funktionsprüfungen • KMV-Test • Berechnung der Restlebensdauer (AUREST) (2), (3), (4)
	Spezielle elektrische Merkmale (z. B. Wellenwiderstand)	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion • Feuchtigkeit, Teilentladungen, Zersetzung, Ionenwanderung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstandes • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens • Funktionsprüfungen • KMV-Test • Berechnung der Restlebensdauer (AUREST) (2), (3), (4)
	Flexibilität beweglicher Leitungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung 	<ul style="list-style-type: none"> • Reißdehnungsprüfungen • Haptischer Test in zugänglichen Bereichen (2), (3), (4) • Berechnung der Restlebensdauer (AUREST) (2), (3), (4)

Leiter / Schirm				
	Niederohmige Leitfähigkeit ausreichenden Querschnitts	<ul style="list-style-type: none"> • Ermüdung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme • Einschränkungen der Stromtragfähigkeit in Leistungskabeln 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstands • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens (3), (4) • Funktionsprüfungen • KMV-Test
	Spezielle elektrische Merkmale (z. B. Wellenwiderstand)	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion • Feuchtigkeit, Teilentladungen, Zersetzung, Ionenwanderung • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstandes • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens • Funktionsprüfungen • KMV-Test • Berechnung der Restlebensdauer (AUREST) (2), (3), (4)
Steckverbinder, Klemmen				
	Niederohmige Leitfähigkeit ausreichenden Querschnitts	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung • Ermüdung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme • Einschränkungen der Stromtragfähigkeit in Leistungskabeln • Isolationsverlust 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstandes • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens (3), (4) • Thermografie (1), (2) • Funktionsprüfungen • KMV-Test
	Isoliervermögen	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung • Ermüdung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme • Isolationsverlust 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationswiderstandsmessungen • Funktionsprüfungen

	Spezielle elektrische Merkmale (z. B. Wellenwiderstand)	<ul style="list-style-type: none"> • Aushärtung, Versprödung, Rissbildung, thermisch/radiologisch induzierte Oxidation, Diffusion • Feuchtigkeit, Teilentladungen, Zersetzung, Ionenwanderung • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust der Aderisolierung • Verfälschung von Signalen durch erhöhte Kontaktübergangswiderstände oder Kriechströme 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstandes • Überprüfung des Signalübertragungsverhaltens • Funktionsprüfungen • KVM-Test • Berechnung der Restlebensdauer (AUREST) (2), (3), (4)
Kabelendverschlüsse				
	Niederohmige Leitfähigkeit ausreichenden Querschnitts	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung • Ermüdung 	<ul style="list-style-type: none"> • Einschränkungen der Stromtragfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Messungen des Durchgangswiderstandes • Thermografie (1), (2) • Funktionsprüfungen
	Isoliervermögen	<ul style="list-style-type: none"> • Korrosion, Belagbildung, Verschmutzung • Ermüdung 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationsverlust 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolationswiderstandsmessungen • Teilentladungsmessung (1) • Thermografie (1), (2) • Funktionsprüfungen

Tabelle 1: Kabelalterung – Schädigungsmechanismen, Alterungseffekte und Prüfverfahren für deren Überwachung

Weitere Prüfmethode, die in [4] thematisiert, aber in deutschen Kernkraftwerken nicht standardmäßig im Rahmen des Alterungsmanagements eingesetzt werden, sind:

- Tan-Delta-Messung: Die Ergebnisse dieser Prüfung werden durch die in deutschen Anlagen durchgeführten Isolationswiderstandsmessungen und Teilentladungsmessungen abgedeckt.
- Zeitbereichsreflektometrie (Time Domain Reflectometry, TDR): Hierbei handelt es sich lediglich um eine Methode zur Suche des Schadensortes an einem defekten Kabel.
- Line Resonance Analysis (LIRA): Die Ergebnisse dieser Prüfmethode werden bezüglich der Isolierung durch die Reißdehnungsmessung abgedeckt.
- Isothermal-Relaxation-Current-Messungen: Die Methode dient der Feststellung von Wasserbäumchen. Da in deutschen Anlagen nur VPE-Kabel der 2. Generation im Einsatz sind, welche nicht anfällig bezüglich Wasserbäumchenbildung sind, ist diese Prüfmethode für deutsche Anlagen nicht relevant (siehe ELP 4).

Beschreibungen dieser Messmethoden sind in [15], [16] aufgeführt.

Die RSK ist der Meinung, dass nicht alle der in [4] aufgeführten Prüf- und Diagnosemethoden in deutschen Anlagen angewandt werden müssen. Es ist sicherzustellen, dass Alterungsvorgänge an Kabeln mit den jeweils etablierten Methoden entdeckt werden. Entsprechend KTA 1403, Abs. 3 (3d) [12] ist die Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik insbesondere bezüglich veröffentlichter nationaler und internationaler alterungsrelevanter Erkenntnisse zu verfolgen und auszuwerten. Zurzeit ist kein Schädigungsmechanismus an Kabeln bekannt, der mit den in Deutschland standardmäßig angewendeten Prüfmethode nicht verfolgt wird.

Bei Auffälligkeiten der Kabelüberprüfungen können und werden zur Ursachenklärung Sonderprüfungen durchgeführt, bei denen einige der o. a. Prüfmethoden zur Anwendung kommen können. Insgesamt sieht die RSK ELP 2 als erfüllt an.

6.3 ELP 3 thematisiert die systematische Identifikation von Alterungsmechanismen:

Systematic identification of ageing degradation mechanisms considering cable characteristics and stressors: „Degradation mechanisms and stressors are systematically identified and reviewed to ensure that any missed or newly occurring stressors are revealed before challenging the operability of cables“.

Bewertung durch die RSK:

Gemäß KTA 1403 wurden Basisberichte erstellt, in denen eine systematische Analyse bzgl. Kabelalterung enthalten ist. Dort werden Schädigungsmechanismen, die auftreten können, und Maßnahmen zu deren Beherrschung benannt. In den jährlich zu erstellenden Statusberichten werden u. a. Änderungen am Wissensstand zur Kabelalterung behandelt. Die bestehenden Prozesse werden erforderlichenfalls aktualisiert.

Insgesamt werden die Anforderungen von ELP 3 an Kabel durch die Kabeldeponie (störfallfeste Kabel) und durch das anforderungsgerechte Prüfen (alle anderen Kabel) in Verbindung mit der Verfolgung des Standes von Wissenschaft und Technik zu Alterungseffekten abgedeckt. Die RSK sieht ELP 3 als erfüllt an.

6.4 ELP 4 betrifft die Erkennung und Verhinderung von Wasserbäumchenbildung:

Prevention and detection of water treeing: “Approaches are used to ensure that water treeing in cables with polymeric insulation is minimised, either by removing stressors contributing to its growth or by detecting degradation by applying appropriate methods and related criteria”.

Bewertung durch die RSK:

Für PVC-Kabel hat der Alterungsmechanismus „Wasserbäumchen“ keine Relevanz. Zu den VPE-Kabeln weist die RSK auf die Beratungen des Ausschusses EE in der 214. Sitzung am 16.11.2011 hin, in der das Thema „Diagnoseverfahren und Trendverfolgung von PE/VPE-Kabel“ beraten wurde. In den deutschen Kernkraftwerken sind ausschließlich VPE-Kabel der 2. Generation im Einsatz, die nach 1985 gefertigt wurden. Für VPE-Kabel der 2. Generation ist das Phänomen des Wasserbäumchenwachstums vernachlässigbar.

Daher sieht die RSK ELP 4 für deutsche Anlagen als nicht relevant an.

6.5 ELP 5 zielt auf die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der ursprünglichen Qualifizierung ab:

Consideration of uncertainties in the initial EQ: “The accuracy of the representation of the stressors used in the initial Environmental Qualification is assessed with regard to the expected stressors during normal operation and Design Basis Accidents”.

Damit soll hinterfragt werden, inwieweit die bei der Erstqualifikation aufgebrauchten Belastungen abdeckend für die tatsächlichen Belastungen während der qualifizierten Lebensdauer sind und Erkenntnisse aus dem Alterungsmanagement sollen zur Verbesserung des Qualifikationsprozesses genutzt werden. In [4] werden dazu als Maßnahmen explizit aufgezählt: die simultane Durchführung der radiologischen und thermischen Alterung, die Nutzung von niedrigen thermischen Beschleunigungsfaktoren und Dosisraten, die Nutzung von Aktivierungsenergien, die durch das Arrhenius-Modell möglichst genau bestimmt werden, und die Einleitung von Sauerstoff in die Testkammern während der KMV-Tests.

Bewertung durch die RSK:

Mithilfe der Kabeldeponie wurden die Unsicherheiten aus der Erstqualifikation störfallfester Kabel überprüft und abgebaut. Insgesamt erfolgt ein betriebsbegleitender Nachweis zur KMV-Festigkeit in deutschen Anlagen gemäß KTA 3706 [13]. Darüber hinaus sieht die RSK keinen Handlungsbedarf. Mögliche Unsicherheiten der Ursprungsqualifizierung nicht störfallfester Kabel werden durch deren Prüfung für den spezifischen Einsatz sowie im Betrieb durch wiederkehrende Prüfungen und Instandhaltungsmaßnahmen ausgeglichen. ELP 5 wird aus Sicht der RSK erfüllt.

6.6 ELP 6 beinhaltet die Frage nach der Bestimmung der Betriebsbereitschaft der Kabel unter Einfluss der höchstmöglichen Stressoren:

Determining cables' performance under highest stressors: „Cables necessary for accident mitigation are tested to determine their capabilities to fulfil their functions under Design Extension Conditions and throughout their expected lifetime”.

Bewertung durch die RSK:

Die RSK interpretiert ELP 6 als Anforderung im Hinblick auf Notfallmaßnahmen (DEC A und B).

Im deutschen Regelwerk werden keine spezifischen Anforderungen an den Eignungsnachweis von Notfalleinrichtungen gestellt. Jedoch werden bestimmte Einrichtungen gefordert, deren Funktionsfähigkeit im Anforderungsfall gegeben sein muss. Der Nachweis der KMV-Festigkeit deckt für Kabel diese Anforderung für DEC A ab.

Die RSK verweist im Zusammenhang mit DEC B auf die RSK-Stellungnahme „Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima“ [17], die zur Einführung von Severe Accident Management Guidelines (SAMG) bzw. des Handbuchs mitigativer Notfallmaßnahmen (HMN) Aussagen des VGB bezüglich der Instrumentierung enthält. Die RSK hat in dieser Stellungnahme bzgl. HMN u. a. auf Folgendes hingewiesen:

„Aus Sicht der RSK ist die Verfügbarkeit der Instrumentierung der für das HMN relevanten Parameter von besonderer Bedeutung. Anlagenspezifisch sollte im Detail nachvollzogen werden, inwieweit für die im HMN referenzierten Messstellen eine Verfügbarkeit unter der Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen der unterschiedlichen Szenarien und Kernschadenzustände gegeben ist“.

Mit der Umsetzung dieses Hinweises ist ELP 6 erfüllt.

6.7 ELP 7 betrifft das Vorgehen, um Alterungserscheinungen an unzugänglichen Kabeln zu detektieren:

Techniques to detect the degradation of inaccessible cables: "Based on international experience, appropriate techniques are used to detect degradation of inaccessible cables".

The choice of popular methods includes:

- *Insulation resistance measurement;*
- *Conductor resistance/impedance measurement;*
- *Dielectric loss factor measurement (Tan δ , phase angle);*
- *Signal transmission behaviour (time/frequency domain);*
- *Line Resonance Analysis (LIRA);*
- *Isothermal Relaxation Current Analysis;*
- *Partial discharge measurement.*

Bewertung durch die RSK:

Für schlecht bzw, nicht zugängliche Kabel wird durch die Gesamtheit der in Tabelle 1 aufgeführten elektrischen Prüfungen die Erkennung der relevanten Alterungseffekte sichergestellt. Auf die von ENSREG zur Tabelle 1 zusätzlich genannten Prüfverfahren wurde schon im Zusammenhang mit ELP 2 eingegangen.

ELP 7 wird somit erfüllt.

7 Fazit

In den Anlagen wird die Kabelalterung systematisch überwacht und es sind Verfahren etabliert, die diese systematische Überwachung ermöglichen.

Gemäß KTA 1403 wurden Basisberichte erstellt, in denen eine systematische Analyse bzgl. Kabelalterung enthalten ist. Dort werden Schädigungsmechanismen, die auftreten können, und Maßnahmen zu deren Beherrschung benannt. In den jährlich zu erstellenden Statusberichten werden u. a. Änderungen am Wissensstand zur Kabelalterung behandelt. Die bestehenden Prozesse werden erforderlichenfalls aktualisiert.

Als Nachweisverfahren für den Erhalt der Funktionsfähigkeit dienen für störfallfeste Kabel die Kabeldeponie und anforderungsgerechtes Prüfen für alle anderen Kabel. Darüber hinaus steht mit der AUREST-Datenbank ein Werkzeug zur Verfügung, mit der die aktuell herrschenden Umgebungsbedingungen des Einsatzortes erfasst und an den Auslegungsdaten gespiegelt werden können.

Für alle bekannten Alterungsmechanismen liegen Überwachungsmethoden vor und werden angewendet.

Bzgl. Kabelalterung liegt ein breites Spektrum an Informationsquellen vor, das auch ausgewertet wird. Es liegt eine breite Erfahrungsbasis vor, die systematisch gepflegt wird und den Verfahrensbeteiligten zugänglich ist.

Aus Sicht der RSK sind nach dem Stand von Wissenschaft und Technik in deutschen Kernkraftwerken keine zusätzlichen Maßnahmen zum Alterungsmanagement elektrischer Kabel erforderlich.

8 Literatur/Unterlagen

- [1] Richtlinie des Rates 2014/87/EURATOM vom 8. Juli 2014 zur Änderung der Richtlinie 2009/71/Euratom über einen Gemeinschaftsrahmen für die nukleare Sicherheit kerntechnischer Anlagen, EU, 2014

- [2] BMU, Beratungsauftrag S I 3 - 17018, S I 3 - 18033-2/ 1.1
Ergebnisse des Topical Peer Review „Alterungsmanagement“
Bonn, 18.03.2019

- [3] Bericht des BMU zum Topical Peer Review Alterungsmanagement in Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren, Dezember 2018

- [4] ENSREG-Abschlussbericht zum 1. TPR „Alterungsmanagement“, Oktober 2018

- [5] ENSREG-Bericht zu den länderspezifischen Ergebnissen des 1. TPR „Alterungsmanagement“, Oktober 2018

- [6] Fragen und Antworten im Rahmen des TPR an Deutschland

- [7] GRS, Sachstandsbericht zu den Anforderungen aus dem Themenkomplex „Kabel“ des Topical Peer Reviews zum Thema Alterungsmanagement
März 2019, Auftrags-Nr.: 820451

- [8] GRS, „Topical Peer Review: Ageing Management; hier: Kabelalterung“
270. Sitzung RSK Ausschuss EE, 17.04.2019, Foliensatz

- [9] Die Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, 2015

- [10] Interpretationen zu den Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke, 2015

- [11] RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren, Ursprungsfassung (3. Ausgabe vom 14. Oktober 1981) mit Änderungen vom 15.11.1996

- [12] KTA 1403: Alterungsmanagement in Kernkraftwerken, KTA, 2017

-
- [13] KTA 3706: Sicherstellung des Erhalts der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit von Komponenten der Elektro- und Leittechnik in Betrieb befindlicher Kernkraftwerke, KTA, 2000
- [14] Anlage zum Ergebnisprotokoll der 252. Sitzung des RSK-Ausschusses ELEKTRISCHE EINRICHTUNGEN am 19.05.2016, „KTA 3706, Betriebsbegleitender Nachweis der Kühlmittelverlust-Störfallfestigkeit“
- [15] IAEA Technical Report NP-T-3.6 “Assessing and Managing Cable Aging in Nuclear Power Plants, 2012
- [16] M. Muhr, R. Schwarz, S. Jauffer:
“Electrical Measurements as Diagnostic Tool for HV Insulations”, 8th Höflers Day 2005
- [17] „Bewertung der Umsetzung von RSK-Empfehlungen im Nachgang zu Fukushima“, RSK-Stellungnahme verabschiedet auf der 496. Sitzung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) am 06.09.2017