DIN EN IEC 60544-5 (VDE 0306-5)

DIN

Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 29.035.01

Einsprüche bis 2021-09-02

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60544-5
(VDE 0306-5):2012-10

Entwurf

Elektroisolierstoffe – Bestimmung der Wirkung ionisierender Strahlung – Teil 5: Bewertungsverfahren für die Alterung während des Einsatzes (IEC 112/523/CDV:2021); Deutsche und Englische Fassung prEN IEC 60544-5:2021

Electrical insulating materials –
Determination of the effects of ionizing radiation –
Part 5: Procedures for assessment of ageing in service
(IEC 112/523/CDV:2021);
German and English version prEN IEC 60544-5:2021

Matériaux isolants électriques –
Détermination des effets des rayonnements ionisants –
Partie 5: Procédures pour l'estimation du vieillissement en service
(IEC 112/523/CDV:2021);
Version allemande et anglaise prEN IEC 60544-5:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-07-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 44 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ... .

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN IEC 60544-5:2021-04 "Elektroisolierstoffe – Bestimmung der Wirkung ionisierender Strahlung – Teil 5: Bewertungsverfahren für die Alterung während des Einsatzes" (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 112/523/CDV:2021-04 "Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 5: Procedures for assessment of ageing in service" unverändert in den Entwurf prEN IEC 60544-5:2021-04 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 112 "Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur "JA/NEIN"-Entscheidungen möglich, wobei "NEIN"-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 183 "Bewertung und Qualifizierung von elektrischen Isolierstoffen und Isoliersystemen" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60544-5 (VDE 0306-5):2012-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) wurde redaktionell überarbeitet, um sie an kürzlich vom SC 45A erstellte Normen sowie andere Teile der Normenreihe IEC 60544 anzugleichen.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

– Leerseite –

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Elektroisolierstoffe – Bestimmung der Wirkung ionisierender Strahlung – Teil 5: Bewertungsverfahren für die Alterung während des Einsatzes

Inhalt

Seite

Einleitung 7
1 Anwendungsbereich 8
2 Normative Verweisungen 8
3 Begriffe 9
4 Hintergrundinformationen 9
4.1 Allgemeines 9
4.2 Diffusionsbegrenzte Oxidation (DLO) 9
4.3 Dosisleistungseffekte (DRE) 10
4.4 Beschleunigte strahlungsbedingte Alterung 10
4.5 Beschleunigte thermische Alterung 11
5 Ansätze zur Bewertung der Alterung 11
6 Identifizierung wichtiger Komponenten 11
6.1 Allgemeines 11
6.2 Prioritäten für das Alterungsmanagement 11
6.3 Überwachung der Umgebung 12
6.4 Örtlich begrenzte kritische Umgebungen 12
6.5 Komponenten für die ungünstigsten Bedingungen 12
7 Zustandsüberwachungstechniken 13
7.1 Allgemeines 13
7.2 Erstellung von Korrelationskurven für CM-Verfahren 13
7.3 CM-Verfahren 13
7.4 Kurzfristige Fehlersuche und -beseitigung mit CM 14
7.5 Langfristige Fehlersuche und -beseitigung mit CM 16
8 Vorhersagemodelle 17
9 Musterlager 18
9.1 Allgemeines 18
9.2 Anforderungen an ein Lager 18
9.3 Vorgealterte Proben für ein Lager 18
9.4 Anlegen eines Musterlagers 19
9.5 Prüfung von Proben aus dem Lager 19
9.6 Bestimmung der Probenahmeabstände 19
9.7 Echtzeitalterung von Werkstoffen 20
Anhang A (informativ) Beispiel einer CM-Korrelationskurve 21

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Anhang B (informativ) Verwendung eines Lagers 22

B.1 Typische Probe in einem Lager 22

B.2 Typischer Prüfplan für ein Lager 22

Literaturhinweise 23

Bilder

Bild 1 – Erstellen von Alterungsdaten aus Änderungen der Zugdehnung und eines Zustandsanzeigemerkmals (z. B. Indentermodul) – schematisch 15

Bild 2 – Aus den Daten in Bild 1 abgeleitete Korrelationskurve – schematisch 16

Bild 3 – Abschätzung der Bruchdehnung aus einer Korrelationskurve 17

Bild 4 – Veränderung des Probenahmeintervalls in Abhängigkeit von den Werten des CM-Anzeigemerkmals – schematisch 20

Bild A.1 – Korrelationskurve für den Indentermodul in Abhängigkeit der Bruchdehnung für einen Kabelmantel aus CSPE 21

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Einleitung

Organische und polymere Werkstoffe bilden einen großen Anteil der in elektrischen Systemen verwendeten Isolierstoffe. Diese Werkstoffe sind empfindlich gegen ionisierende Strahlung, wobei die Empfindlichkeit innerhalb dieser Werkstoffarten in weiten Grenzen variiert. Es ist daher wichtig, das Maß des Abbaus dieser Isolierstoffe während ihrer Gebrauchsdauer zu bewerten. In diesem Teil der Norm IEC 60544 werden Bewertungsverfahren für die Alterung von Isolierstoffen während ihres Einsatzes beschrieben.

Zur Bewertung der Alterung von Bauteilen auf Polymerbasis in strahlenden Umgebungen gibt es mehrere Ansätze [1] bis [4][1]. Diese beruhen auf dem besseren Verständnis der den Alterungsabbau bewirkenden Faktoren, das innerhalb mehrerer Jahrzehnte Betriebserfahrung gewonnen wurde. In einem Kernkraftwerk werden Bauteile, einschließlich solcher aus polymeren Werkstoffen, üblicherweise nach Qualifikationsprogrammen ausgewählt. Diese Eingangsqualifikationsverfahren wie in IEEE-323 [5] und IEEE-383 [6] beschrieben, wurden ursprünglich erarbeitet, bevor ein ausreichendes Verständnis über die Alterungsmechanismen vorlagen. Die meisten der in diesem Teil der IEC 60544 erläuterten Verfahren ergänzen daher diese ursprünglichen Qualifikationsverfahren.

Diese vorliegende Norm ist der Teil 5 einer Reihe, die sich mit der Wirkung von ionisierender Strahlung auf Isolierstoffe befasst.

Teil 1 (Einfluss der Strahlenwirkung und Dosimetrie) enthält eine allgemeine Übersicht zur Problematik der Ermittlung von Strahlenwirkungen. Er enthält auch eine Einführung in die Terminologie der Dosimetrie, verschiedene Methoden der Ionen- und Energiedosismessung sowie Verfahren zur Berechnung der Energiedosis in einem bestimmten Material aus den Ergebnissen der angewandten dosimetrischen Methode.

Teil 2 (Verfahren zur Bestrahlung und Prüfung) beschreibt Verfahren für sieben verschiedene Arten von Bestrahlungsbedingungen. Weiterhin werden die für diese Bedingungen erforderlichen Überwachungen festgelegt, so dass die Prüfergebnisse zuverlässige Vergleiche der Gebrauchstauglichkeit der Werkstoffe ermöglichen. Außerdem werden auch einige wichtige Bestrahlungsbedingungen, die Prüfverfahren zur Bestimmung der Eigenschaftsänderungen und die zugehörigen Eigenschaftsgrenzwerte festgelegt.

Teil 3 wurde in die zweite Ausgabe von IEC 60544-2 eingearbeitet.

Teil 4 (Klassifikationssystem für den Einsatz unter Strahlung) liefert eine Empfehlung für ein Klassifikationssystem zur Einteilung der Strahlenbeständigkeit von Isolierstoffen.

---

[1] Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Literaturhinweise.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil von IEC 60544 behandelt Verfahren zur Bewertung der Alterung von Bauteilen aus polymeren Werkstoffen (z. B. Kabelisolierungen und -ummantelungen, Elastomer-Dichtungen, Polymerbeschichtungen, Schutzmanschetten), die in strahlenden Umgebungen eingesetzt werden.

Das Ziel dieser Norm ist die Bereitstellung von Verfahren für die Bewertung der Alterung während des Einsatzes. Die in den folgenden Abschnitten erläuterten Ansätze betreffen Programme zur Bewertung der Alterung, die auf der Zustandsüberwachung (CM, en: condition monitoring), dem Anlegen von Musterlagern in kritischen Umgebungen und der Probenahme von in Echtzeit gealterten Bauteilen beruhen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60544-1, *Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation – Part 1: Radiation interaction and dosimetry*

IEC 60544-2, *Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials – Part 2: Procedures for irradiation and test*

IEC 61244-1, *Determination of long-term radiation ageing in polymers – Part 1: Techniques for monitoring diffusion-limited oxidation*

IEC 61244-2, *Determination of long-term radiation ageing in polymers – Part 2: Procedures for predicting ageing at low dose rates*

IEEE 323/IEC 60780, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe nach IEC 60780.

BWR	Siedewasserreaktor (en: boiling water reactor)
CBQ	zustandsbasierte Qualifikation (en: condition based qualification)
CM	Zustandsüberwachung (en: condition monitoring)
CSPE	chloriertes Polyethylen (en: chlorosulphonated polyethylene)
DBE	konstruktionsbasiertes Ereignis (en: design basis event)
DLO	diffusionsbegrenzte Oxidation (en: diffusion limited oxidation)
DRE	Dosisleistungseffekt (en: dose rate effect)
EPR	Ethylen-Propylen-Kautschuk (en: ethylene propylene rubber)
EQ	Umweltqualifikation (en: environmental qualification)
NPP	Kernkraftwerk (en: nuclear power plant)
OIT	Anlaufzeit der Oxidation (en: oxidation induction time)
OITP	Anlauftemperatur der Oxidation (en: oxidation induction temperature)
PVC	Polyvinylchlorid (en: polyvinyl chloride)
PWR	Druckwasserreaktor (en: pressurised water reactor)
TGA	thermogravimetrische Analyse (en: thermo-gravimetric analysis)
VVER	wassergekühlter, wassermoderierter/-gebremster Energiereaktor (Art von Druckwasserreaktor, der in Russland entwickelt wurde)
XLPE	vernetztes Polyethylen (en: cross-linked polyethylene)

4 Hintergrundinformationen

4.1 Allgemeines

Es gibt verschiedene Faktoren, die bei der Bewertung der Alterung von polymeren Bauteilen in Strahlungsfeldern zu berücksichtigen sind. In den folgenden Abschnitten werden einige dieser Faktoren kurz erläutert und Bezüge zu detaillierteren Informationsquellen hergestellt.

Um die Alterung in Strahlungsfeldern zu beschleunigen, ist die übliche Vorgehensweise, die Strahlungsdosisleistung zu erhöhen, oft in Verbindung mit einer Temperaturerhöhung. Die beiden wichtigsten möglichen Komplikationen aus diesen Erhöhungen sind die diffusionsbegrenzte Oxidation (DLO), die in 4.2 beschrieben wird, und chemische Dosisleistungseffekte (DRE), die in 4.3 beschrieben werden. Weiterhin werden die Auswirkungen dieser Faktoren auf die Anwendung und die Interpretation der Zustandsüberwachungstechniken (CM) erläutert. In 4.4 und 4.5 werden Programme zur Alterungsbeschleunigung erläutert.

4.2 Diffusionsbegrenzte Oxidation (DLO)

Wenn Polymere einer sauerstoffhaltigen Umgebung (z. B. Luft) ausgesetzt sind, wird Sauerstoff vom Werkstoff aufgenommen. Wenn keine Reaktionen mit Sauerstoffaufnahme (Oxidation) vorliegen, ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes proportional zum Sauerstoffpartialdruck in der Umgebung des Polymers (bekannt als Henrysches Gesetz). Alterung führt zu Oxidationsreaktionen im Polymer, deren Geschwindigkeit wesentlich steigt, wenn die Dosisleistung und die Temperatur der Alterung erhöht werden. Wenn die Aufnahmegeschwindigkeit des gelösten Sauerstoffes im Polymer größer ist als die Geschwindigkeit, mit der der Sauerstoff durch Diffusionseffekte aus der Umgebungsatmosphäre nachgeliefert werden kann, sinkt die Konzentration des gelösten Sauerstoffes im Inneren des Polymers mit der Zeit (die Sauerstoffkonzentration auf der Probenoberfläche bleibt in ihrem Gleichgewicht). Die Verringerung der inneren Sauerstoffkonzentration kann zu einer ver-

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

ringerten Oxidation oder zu einer vernachlässigbaren Oxidation führen, was als diffusionsbegrenzte Oxidation bezeichnet wird.

Die Bedeutung dieses Effekts hängt von der Probendicke (dünnere Proben ergeben geringere DLO-Effekte) und dem Verhältnis der Sauerstoffaufnahmegeschwindigkeit zum Sauerstoffpermeabilitätskoeffizienten *P* ab, das sich aus dem Produkt der Sauerstoffdiffusion und der Löslichkeitsparameter ergibt. Die Beschleunigung der Alterung in Strahlungsfeldern wird erreicht durch Erhöhung der Strahlungsdosisleistungen, durch die die Sauerstoffaufnahmegeschwindigkeit erhöht wird. Wenn die Temperatur bei ansteigender Dosisleistung konstant bleibt, bleibt der Sauerstoffpermeabilitätskoeffizient gleich. Das bedeutet, dass DLO-Effekte in dem Maße verstärkt werden, in dem die Dosisleistung erhöht wird. Diese Effekte werden in IEC/TR 61244-1 genauer beschrieben.

Es kann auch notwendig sein, die Auswirkungen der DLO bei der Durchführung von CM-Messungen zu berücksichtigen. Das stellt für die zahlreichen CM-Techniken kein Problem dar, die die Eigenschaften bei Umgebungstemperatur messen, wie Techniken, die auf Dichtemessungen und Messungen des Spannungswertes beruhen. Andererseits werden verschiedene CM-Techniken wie Messung der Anlaufzeit der Oxidation (OIT, en: oxidation induction time) und thermogravimetrische Analysen (TGA, en: thermo gravimetric analysis) bei sehr viel höheren Temperaturen durchgeführt. Bei diesen Techniken besteht die Möglichkeit, dass bei den Messungen der CM-Parameter DLO-Effekte auftreten. Aus diesem Grund sind detaillierte CM-Prüfungsverfahren entwickelt worden [8], damit bei dem Verfahren zur Vorbereitung und Prüfung der Probe DLO-Effekte vermieden werden. DLO muss auch bei der Entwicklung von Korrelationskurven für CM-Verfahren berücksichtigt werden, damit für die strahlungsbedingte Alterung sowie für die thermische Alterung repräsentative Daten erhalten werden.

4.3 Dosisleistungseffekte (DRE)

Das Auftreten von Dosisleistungseffekten und Verfahren für deren Behandlung sind in IEC/TR 61244-2 beschrieben. Im Allgemeinen werden DRE in zwei Arten eingeteilt. Die erste Art, die üblicherweise bei Versuchen mit beschleunigter strahlungsbedingter Alterung nachgewiesen wird, tritt aufgrund der in 4.2 beschriebenen DLO-Effekte auf. Diese DLO-Effekte stellen einen physikalischen, von der Geometrie abhängigen DRE dar.

Die zweite Art, die für die gegenwärtige Diskussion von Interesse ist, betrifft die chemischen DRE, die bedeutend seltener auftreten. Ein nachgewiesener Fall von chemischem DRE finden sich bei PVC und Polyethylenwerkstoffen niedriger Dichte und werden vom langsamen Zerfall von Hydroperoxid-Zwischenprodukten bei der Oxidation verursacht [9]. Das Auftreten dieses chemischen DRE muss am Beginn eines jeden beschleunigten Alterungsprogramms überprüft werden. Falls die Literatur keine Daten zum spezifischen Werkstoff von Interesse umfasst, kann er durch Aufnahme von Prüfungen bei niedrigen Dosisleistungen in das Alterungsprogramm geprüft werden.

4.4 Beschleunigte strahlungsbedingte Alterung

Beschleunigte Alterungsprogramme im Labor tendieren dazu, wesentlich geringere Beschleunigungsfaktoren, als sie normalerweise für die Qualifikation von Geräten benutzt werden, zu verwenden. Dadurch können einige Probleme der DLO und der DRE vermieden werden. Die erzeugte Alterung könnte dann eine bessere Simulation der Langzeitalterung sein, die unter Einsatzbedingungen vorliegt. Die bei Prüfungen mit beschleunigter Alterung erhaltenen Daten können in Vorhersagemodellen benutzt werden, damit eine Bewertung des Werkstoffverhaltens unter Einsatzbedingungen möglich ist.

Beschleunigte Alterungsprogramme erfordern eine Matrix von Prüfdaten, die über einen Bereich von Umgebungsbedingungen nach IEC 61244-2 zu erzeugen sind. Es sind Daten für mindestens 3 unterschiedliche Dosisleistungen bei normaler Betriebstemperatur erforderlich, aber zusätzliche Daten über die thermische und strahlungsbedingte Alterung bei erhöhten Temperaturen erleichtern die Anwendung der verfügbaren Vorhersagemodelle. Die Dosisleistungen und Temperaturen für die beschleunigte Alterung sollten nach den Grundsätzen in IEC 60544-2 ausgewählt werden, damit eine homogene Oxidation sichergestellt wird. Für jede vorliegende Umgebungsbedingung müssen Prüfdaten zu mehreren unterschiedlichen Alterungszeiten aufgenommen werden, bei der längsten Alterungszeit sollte ein wesentlicher Abbau vorliegen. Ein übliches Prüfprogramm kann abhängig von der Strahlenbeständigkeit des geprüften Werkstoffes länger als 18 Monate dauern.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Die in der Prüfmatrix erforderlichen Daten werden durch die Art des zu bewertenden Bauteiles bestimmt. Die geeigneten Prüfparameter sind für verschiedene Arten von polymeren Werkstoffen und Bauteilen in IEC 60544-2 angegeben.

4.5 Beschleunigte thermische Alterung

Bei der Durchführung der thermischen Alterung als Teil eines beschleunigten Alterungsprogrammes ist es wichtig, dass ein entsprechender Wert der Aktivierungsenergie bei der Bewertung der Temperatur und des zeitlichen Rahmens der Beschleunigungsprüfung verwendet wird. Bei einigen Werkstoffen unterscheidet sich der Alterungsmechanismus bei hohen Temperaturen von dem, der unter Anlagenbedingungen auftreten würde, und bei vielen Werkstoffen sinkt die Aktivierungsenergie bei niedrigen Temperaturen beträchtlich [10,11].

Proben, die einer beschleunigten thermischen Alterung ausgesetzt wurden, müssen sich vor der Durchführung der CM-Prüfungen stabilisieren können. Einige polymere Werkstoffe sind feuchtigkeitsbindend und zeigen eine deutliche Abhängigkeit ihrer Eigenschaften vom Feuchtegehalt [8]. Das ist insbesondere bei einigen Werkstoffen wichtig, die in älteren Kernkraftwerken verwendet wurden, aber kann auch für solche CM-Verfahren von Bedeutung sein, die sensibel auf den Feuchtegehalt des Werkstoffs reagieren.

5 Ansätze zur Bewertung der Alterung

Zur Bewertung der Alterung steht eine Anzahl von ergänzenden Verfahren zur Verfügung, die in ihren entsprechenden Abschnitten beschrieben sind. Jedes Verfahren besitzt Vorteile und Grenzen. Die Auswahl eines oder mehrerer Verfahren hängt von den Anforderungen der einzelnen Anwender ab.

In dieser Norm werden die folgenden verschiedene Ansätze zur Bewertung der Alterung während des Einsatzes beschrieben. Diese sind:

- Identifizierung wichtiger Komponenten, um die Anwendung von Alterungsmanagementprogrammen zu priorisieren (siehe Abschnitt 6);
- Zustandsüberwachung, um den Zustand der Werkstoffe zu bewerten, die für längere Zeiten in der tatsächlichen Einsatzumgebung gealtert wurden (siehe Abschnitt 7);
- Vorhersagemodelle zur Verwendung von Daten aus dem Labor, die auf beschleunigten Alterungsprogrammen beruhen, um die Alterung unter Echtzeitalterungsbedingungen zu bewerten (siehe Abschnitt 8);
- Musterlager zur Bereitstellung von Proben für die Messung der Alterung unter Echtzeitalterungsbedingungen (siehe Abschnitt 9).

6 Identifizierung wichtiger Komponenten

6.1 Allgemeines

In einem Kernkraftwerk enthalten viele Bauteile polymere Isolierstoffe; so gibt es z. B. in einem typischen Kernkraftwerk mehr als 1 000 km elektrischer Kabel. Die Alterung eines jeden einzelnen Bauteils zu bewerten ist praktisch nicht durchführbar, und viele werden keinen signifikanten Alterungsbedingungen in der Umgebung ausgesetzt sein. Es ist daher notwendig, jedes Alterungsmanagement-Programm zu priorisieren, indem eine Identifizierung der wichtigsten Komponenten vorgenommen wird.

6.2 Prioritäten für das Alterungsmanagement

Nicht allen Bauteilen wird dieselbe Priorität für das Alterungsmanagement eingeräumt. Im Allgemeinen sind jene Bauteile, die während eines Unfalls und nach einem Unfall Sicherheitsfunktionen ausüben, sowie jene, die für die Fortsetzung des Betriebes von Bedeutung sind, am wichtigsten. Allen nicht zu diesen Kategorien gehörenden Bauteilen würde am Anfang eine niedrigere Priorität für Aktivitäten im Alterungsmanagement zugeordnet werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

Es muss die normale Betriebsumgebung der Bauteile geprüft werden, damit die erwartete Auswirkung der Umgebung auf deren Alterung bestimmt werden kann. Den Bauteilen, bei denen eine schwerwiegende Alterung festgestellt wurde, würde die höchste Priorität zugeordnet werden, wohingegen anderen, die einer moderaten Alterung unterliegen, eine mittlere Priorität zugeordnet werden kann.

Damit diese Priorisierung effektiv durchgeführt werden kann, ist eine Überwachung der Umgebung erforderlich (siehe 6.3) sowie die Kenntnis über das Alterungsverhalten der Bauteile. Bei der anfänglichen Bewertung können Konstruktionsberechnungen für Temperaturen und Dosisleistungen verwendet werden. Die Informationen über die Alterung können von Daten der Anlagenqualifizierung oder von den ergänzenden beschleunigten Alterungsprüfungen, die im Labor durchgeführt werden, erhalten werden.

6.3 Überwachung der Umgebung

Die Alterung von Isolierstoffen in einem Kernkraftwerk wird von der Temperatur, der Strahlungsdosis und der Strahlungsdosisleistung für polymere Werkstoffe bestimmt. Eine Hauptbedingung für das Alterungsmanagement sind detaillierte Kenntnisse der Ist-Temperaturen und -Dosisleistungen an den Standorten in der Anlage, wo die Bauteile mit hoher Priorität installiert sind.

Die Verteilung der Temperatur und der Dosisleistung in der Anlage wird durch Temperaturaufzeichnungsgeräte und Dosimeter erhalten. Um dabei betriebliche Schwankungen und jahreszeitliche Veränderungen zu berücksichtigen, werden diese Messungen über mehrere Brennstoffzyklen durchgeführt. Es kann notwendig sein, diese Messungen zu wiederholen, wenn an der Anlage Änderungen vorgenommen werden, z. B. bei Erweiterungen der Energieversorgung.

Es stehen kleine netzunabhängige Temperaturaufzeichnungsgeräte zur Verfügung, die die örtlich begrenzte Temperatur praktisch und flexibel aufzeichnen und als Ergänzung für die großen Temperaturüberwachungsgeräte dienen, die bereits in der Anlage installiert sind.

Die beste Überwachung der Strahlung wird mit Alanindosimetern erreicht, die für langfristige Messungen geeignet sind. Diese Dosimeter werden durch die Temperatur wenig beeinträchtigt, können versiegelt werden, um das Eindringen der Feuchtigkeit zu verhindern, und sind für die Überwachung eines großen Dosisbereiches geeignet. Die sich unter der Ausstrahlung im Alanin bildenden Radikale sind über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr stabil und können mithilfe der Elektronenspinresonanz gemessen werden (IEC 60544-1).

6.4 Örtlich begrenzte kritische Umgebungen

Die Ermittlung von örtlich begrenzten kritischen Umgebungen (Hotspots), in denen sich Bauteile mit hoher Priorität befinden, ist ein wichtiger Aspekt der Alterungsbewertung. Diese Standorte lassen sich auf unterschiedliche Art und Weise bestimmen, einschließlich Befragungen des Anlagenpersonals, Betriebsprüfungen, Überprüfung der Lagepläne der Anlage und Anlagenbegehungen [12] bis [15]. Jede Art bietet einen anderen Blick auf die Hotspot-Bedingungen. Auch Rückmeldungen vom Anlagenpersonal sind ein wichtiger Aspekt für das Erkennen frühzeitiger Alterungsanzeichen.

6.5 Komponenten für die ungünstigsten Bedingungen

Nachdem die Bauteile, die am wahrscheinlichsten der Alterung unterliegen, priorisiert wurden, die Überwachung der Umgebung durchgeführt und die örtlich begrenzten kritischen Umgebungen ermittelt wurden, wird den Bauteilen eine hohe, mittlere oder niedrige Priorität für das zukünftige Alterungsmanagement zugewiesen. Alle Bauteile mit einer hohen Priorität müssen in die Aktivitäten des Alterungsmanagements einbezogen werden, wie z. B. CM-Verfahren oder eingeplanter Austausch.

Der Bewertungsprozess kann, wenn weitere Informationen zur Verfügung stehen, weiterentwickelt werden. Wenn zum Beispiel bei der CM von Kabeln mit einer hohen Priorität angezeigt wird, dass der Alterungsprozess viel weniger kritisch ist als erwartet, können diese Bauteile in eine Kategorie mit geringerer Priorität eingestuft werden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

7 Zustandsüberwachungstechniken

7.1 Allgemeines

Zustandsüberwachungstechniken (CM-Techniken) werden dazu verwendet, um den Zustand der Werkstoffe zu bewerten, die für längere Zeiten in der tatsächlichen Einsatzumgebung wie beispielsweise Kernkraftwerken, Beschleunigern, Wiederaufbereitungsanlagen usw. gealtert wurden. Dabei werden Prüfverfahren angewendet, für die nachgewiesen wurde, dass sie gut mit dem Alterungsabbau korrelieren.

CM bei der Bewertung der Alterung kann auf verschiedene Arten zur Anwendung kommen, angefangen von kurzzeitiger Fehlersuche und -beseitigung bis zu lange andauernden Qualifikationsprogrammen.

7.2 Erstellung von Korrelationskurven für CM-Verfahren

Zur effektiven Anwendung von CM-Verfahren ist es wichtig, Korrelationskurven zwischen den gemessenen Überwachungsparametern und dem Hauptanzeigemerkmal für den Abbau oder die Funktionalität zu entwickeln. Für polymere Kabelwerkstoffe für Niederspannung wird als Hauptanzeigemerkmal für den Abbau im Allgemeinen die Bruchdehnung betrachtet, da Änderungen in den elektrischen Eigenschaften vor dem physikalischen Ausfall des Kabels in vielen Fällen gering sind. In Dichtungswerkstoffen hat sich der Druckverformungsrest als nützliches Anzeigemerkmal für den Abbau der Dichtungseigenschaften durch Alterung erwiesen. Geeignete Abbauparameter für andere Bauteile sind in IEC 60544-2 angegeben.

Korrelationskurven müssen durch Messungen der Hauptanzeigemerkmale und der entsprechenden CM-Parameter an den Proben ermittelt werden, die unter identischen Bedingungen gealtert wurden, wie in Bild 1 schematisch dargestellt. Die Messungen müssen einen Bereich von Abbauniveaus abdecken, der von einem Zustand ohne Alterung bis zu einem Zustand mit starkem Abbau reicht. Es wird empfohlen, dass mindestens 5 Datensätze zu unterschiedlichen Alterungszeiten zur Aufstellung der Korrelationskurve (Bild 2) benutzt werden, vorrangig für mehrere unterschiedliche Temperaturen und Strahlendosisleistungen. Ein Beispiel einer Korrelationskurve für einen Kabelmantelwerkstoff aus CSPE wird in Anhang A aufgezeigt.

Korrelationskurven werden normalerweise mit beschleunigten Prüfungen aufgestellt. Solche Prüfungen müssen nach den in IEC 60544-2 beschriebenen Verfahren durchgeführt werden. Alternativ dazu können Korrelationskurven als Teil des Musterlagerverfahrens zur Bewertung der Alterung nach Abschnitt 9 oder als Teil des Eingangsqualifizierungsverfahrens durchgeführt werden.

7.3 CM-Verfahren

Es gibt für die CM von Polymerbauteilen, besonders von Kabelwerkstoffen, viele überprüfte Verfahren [4, 17]. Von diesen wurden einige als geeignet für den praktischen Dauereinsatz eingestuft. Für die am weitesten entwickelten Verfahren werden Normen über Messungen in den verschiedenen Teilen von IEC 62582 [8] detailliert beschrieben. Für diese Verfahren wurden Daten erstellt, die einen Zusammenhang zwischen den Überwachungsparametern und dem Abbau der Polymerbauteile herstellen, und die praktischen Grenzen festgestellt. Die am weitesten entwickelten Verfahren sind folgende:

- Indentermodul,
- Anlaufzeit der Oxidation (OIT) und Anlauftemperatur der Oxidation (OITP),
- Bruchdehnung.

ANMERKUNG Es gibt viele weitere Verfahren, die für CM untersucht wurden, und für einige davon wird die Entwicklung von geeigneten Normen zu den entsprechenden Messverfahren in den nächsten Jahren erwartet. Einige von diesen sind im IAEA-NP-T-3.6 und IAEA-TECDOC-1825 einschließlich ihrer Einschränkungen beschrieben [4,17].

Die Sichtprüfung (einschließlich Tast- und anderer sensorischer Prüfungen) ist ein qualitatives Überwachungsverfahren, dass ein wertvolles Werkzeug bei der Bewertung des örtlich begrenzten Alterungsabbaus in kerntechnischen Anlagen durch Anlagenbegehungen sein kann. Die praktischen Betrachtungen für innerbetriebliche Sichtprüfungen (Anlagenbegehungen) sind in den Literaturhinweisen [12] bis [15] detailliert beschrieben.

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08

In IEC 62465 [18] werden elektrische Verfahren für die Bewertung des Abbaus in Kabelsystemen und deren dazugehörigen Endgeräten beschrieben. Diese Verfahren beziehen sich jedoch hauptsächlich auf Kabelsysteme (Steckverbinder, Durchführungen usw.) und weniger auf den Abbau der Isolierstoffe, aber einige Verfahren sind in Bezug auf die Korrelation mit dem Alterungsabbau sehr vielversprechend [18,19].

7.4 Kurzfristige Fehlersuche und -beseitigung mit CM

Bei Kurzzeitprüfungen besteht das Hauptziel der CM darin, das Ausmaß eines Problems zu erkennen bzw. nachzuweisen, dass kein Problem existiert. Beispielsweise wurde der Indenter benutzt, um das Ausmaß der Zerstörung von Kabeln zu ermitteln, die sich aus dem Abbau durch die beschädigte Wärmedämmung einer Dampfleitung neben einem Kabel in einem Kernkraftwerk mit Siedewasserreaktor ergibt. Durch Indentermessungen entlang dieses Kabels wurde ein Profil des beschädigten Bereichs erstellt. Dadurch konnte man einen begrenzten Abschnitt des Kabels auswechseln und musste nicht die gesamte Kabeltrasse austauschen. In einem anderen Beispiel wurden elektrische CM-Verfahren vor Ort angewendet, um die Funktionalität einer Reihe von Kabeln in einem Kernkraftwerk zu prüfen, das seit 40 Jahren in Betrieb war. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass 60 % der Kabel nicht wesentlich gealtert waren und der Austausch der Kabel, die wesentlich gealtert waren, empfohlen werden kann [20].

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN IEC 60544-5:2021-08