

	DIN IEC 60034-18-31 (VDE 0530-18-31)	
	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.	
ICS 29.080.30	<div data-bbox="628 618 1058 705" data-label="Text"> <p style="text-align: center;">Entwurf</p> </div> <div data-bbox="240 784 1362 958" data-label="Section-Header"> <p>Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-31: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Wicklungen mit vorgeformten Elementen – Thermische Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen für drehende Maschinen (IEC 2/1517/CD:2008)</p> </div> <div data-bbox="240 990 1414 1149" data-label="Text"> <p>Rotating electrical machines – Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines (IEC 2/1517/CD:2008)</p> </div> <div data-bbox="240 1180 1409 1339" data-label="Text"> <p>Machines électriques tournantes – Partie 18-31: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements préformés – Evaluation thermique et classification des systèmes d'isolation utilisés dans des machines électriques tournantes (CEI 2/1517/CD:2008)</p> </div> <div data-bbox="240 1370 595 1402" data-label="Section-Header"> <p>Anwendungswarnvermerk</p> </div> <div data-bbox="240 1417 1444 1478" data-label="Text"> <p>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-09-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> </div> <div data-bbox="240 1491 1444 1550" data-label="Text"> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> </div> <div data-bbox="240 1563 617 1594" data-label="Text"> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> </div> <div data-bbox="240 1610 1431 1738" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> – vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden – oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main. </div> <div data-bbox="240 1753 1444 1814" data-label="Text"> <p>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> </div> <div data-bbox="1141 1843 1444 1874" data-label="Text"> <p>Gesamtumfang 37 Seiten</p> </div> <div data-bbox="322 1917 1361 1946" data-label="Text"> <p>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p> </div>	<div data-bbox="1094 510 1455 701" data-label="Text"> <p>Einsprüche bis 2008-11-30 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 60034-18-31 (VDE 0530-18-31):1995-08 und DIN EN 60034-18-31/A1 (VDE 0530-18-31/A1):1998-06</p> </div>

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 2/1517/CD:2008 „Rotating electrical machines – Part 18-31: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD 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 TC 2 „Rotating machinery“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die 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. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 311 „Drehende elektrische Maschinen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Der Teil 31 der 1. Ausgabe der Normenreihe IEC 60034-18 wurde – wie auch die nachfolgenden Teile – vom MT10 des IEC/TC2 „Drehende elektrische Maschinen“ vollständig überarbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60034-18-31 (VDE 0530-18-31):1995-08 und DIN EN 60034-18-31/A1 (VDE 0530-18-31/A1):1998-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Berücksichtigung neuer Materialien, Technologien, Prüfverfahren, Anwendung;
- b) Berücksichtigung neuer normativer Regeln und Harmonisierungsanforderungen;
- c) technische Korrekturen und Verbesserungen;
- d) Berücksichtigung von Prüferfahrungen mit dieser Normenreihe;
- e) Inhaltliche Straffung und Koordinierung zwischen den einzelnen Teilen;
- f) Berücksichtigung neuer Anwendungen im Geltungsbereich.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

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

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60034-1:2004	IEC 60034-1:2004	DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1
EN 60034-15:1996	IEC 60034-15:1995	DIN EN 60034-15 (VDE 0530-15):1996-08	VDE 0530-15
EN 60034-18-21:1994 A1:1996	IEC 60034-18-21:1992 A1:1994	DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1):1998-06	VDE 0530-18-21/A1
EN 60034-18-21:1994 A2:1996	IEC 60034-18-21:1992 A2:1996	DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2):1998-06	VDE 0530-18-21/A2
–	IEC/TS 60034-18-41:2006	DIN IEC/TS 60034-18-41 (VDE 0530-18-41):2007-04	VDE 0530-18-41
–	IEC 60034-18-42	–	–
EN 60085:2004	IEC 60085:2004	DIN EN 60085 (VDE 0301-1):2005-05	VDE 0301-1
–	IEC 60214-4-1	–	–
EN 60216-1:2001	IEC 60216-1:2001	DIN EN 60216-1 (VDE 0304-21):2002-09	VDE 0304-21
EN 60216-2:2005	IEC 60216-2:2005	DIN EN 60216-2 (VDE 0304-22):2006-04	VDE 0304-22
EN 60216-3:2006	IEC 60216-3:2006	DIN EN 60216-3 (VDE 0304-23):2007-03	VDE 0304-23

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten.*

DIN EN 60034-15 (VDE 0530-15), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 15: Bemessungsstoßspannungen drehender Wechselstrommaschinen mit Formspulen im Ständer.*

DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Hauptabschnitt 21: Prüfverfahren für Runddraht-Wicklungen – Thermische Bewertung und Klassifizierung – Änderung A1.*

DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Hauptabschnitt 21: Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen – Thermische Bewertung und Klassifizierung; Änderung A2.*

DIN IEC/TS 60034-18-41 (VDE 0530-18-41), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-41: Qualifizierung und Typprüfung elektrischer Isoliersysteme vom Typ I in drehenden elektrischen Maschinen, die von Spannungsumrichtern gespeist werden.*

DIN EN 60085 (VDE 0301-1), *Elektrische Isolierung – Thermische Klassifizierung.*

DIN EN 60216-1 (VDE 0304-21), *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 1: Warmlagerungsverfahren und Auswertung von Prüfergebnissen.*

DIN EN 60216-2 (VDE 0304-22), *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 2: Leitfaden zur Bestimmung thermischer Langzeiteigenschaften von Elektroisolierstoffen – Auswahl der Prüfmerkmale.*

DIN EN 60216-3 (VDE 0304-23), *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 3: Anweisungen zur Berechnung thermischer Langzeitkennwerte.*

Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-31: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Wicklungen mit vorgeformten Elementen – Thermische Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen für drehende Maschinen

Inhalt

	Seite
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Allgemeine Feststellungen	7
3.1 Referenz-Isoliersystem	7
3.2 Kennzeichnung von Prüfverfahren	7
3.3 Kontrolle der informativen Prüfungen	7
4 Prüfobjekte und Prüflinge	8
4.1 Aufbau der Prüfobjekte	8
4.2 Verfahren für ein geringfügig verändertes Isoliersystem	8
4.3 Anzahl der Prüflinge	8
4.4 Vorhergehende Qualitätssicherungs-Prüfungen	8
4.5 Vorhergehende Diagnose-Prüfungen	8
5 Prüfverfahren	8
5.1 Temperaturen im thermischen Alterungs-Unterzyklus und Dauer der Unterzyklen	8
5.1 Heizeinrichtungen	10
5.2 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	11
6 Diagnose-Unterzyklus	11
6.1 Reihenfolge	11
6.2 Mechanische Beanspruchung	11
6.3 Feuchteprüfung	11
6.4 Spannungsprüfung	12
6.5 Informative Prüfungen	13
7 Berichterstattung und Vergleich der Ergebnisse vom Erprobungs- und Referenz-System	13
Anhang A (informativ) Formetten-Konstruktion (Beispiel Prüfobjekt)	16

Bilder

Bild 1 – Arrhenius-Kennlinie für den Vergleich eines Erprobungs-Systems C mit einem Referenz-System R	15
Bild A.1 – Typische Nutanordnung	17
Bild A.2 – Typische Nutanordnung	18
Bild A.3 - Gleichstrom-Formette	19
Bild A.4 - Prüfeinrichtung für Läufer-Nutbereich	20

Tabellen

Tabelle 1 – Wärmeklassen	9
Tabelle 2 – Empfohlene Temperaturen und Dauer der Alterungs-Unterzyklen	10

Einleitung

Der Teil 18-1 von IEC 60034-18 enthält allgemeine Richtlinien für die Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen für drehende elektrische Maschinen.

Dieser Teil von IEC 60034-18 behandelt die thermische Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen für Ständerwicklungen mit vorgeformten Elementen. Es werden Standard-Prüfverfahren für die thermische Alterung und die Diagnose angegeben.

Der Teil 18 befasst sich mit der funktionellen Bewertung von Isoliersystemen für drehende elektrische Maschinen. Für das vorliegende Dokument sind die nachfolgenden Teile von Bedeutung:

Teil 18-1: Allgemeine Richtlinien (IEC 60034-18-1);

Teil 18-21: Prüfverfahren für Runddraht-Wicklungen (IEC 60034-18-21);

Teil 18-41: Bewertung und Qualifizierung von elektrischen Isoliersystemen für drehende elektrische Maschinen mit Speisung durch Spannungs-Zwischenkreis-Umrichter (IEC 60034-18-41);

Teil 18-42: Qualifizierungs- und Eignungsprüfungen von elektrischen Isoliersystemen vom Typ II für drehende elektrische Maschinen mit Speisung durch Spannungs-Zwischenkreis-Umrichter (IEC 60034-18-42).

1 Anwendungsbereich

IEC 60034-18-31 beschreibt Prüfverfahren für die thermische Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen, die in drehenden elektrischen Wechsel- oder Gleichstrommaschinen mit vorgeformten Wicklungselementen und indirekter Kühlung. Ziel ist, das Verhalten eines Erprobungs-Isoliersystems während der Prüfung mit dem eines Referenz-Isoliersystems mit nachgewiesener Betriebserfahrung zu vergleichen.

Teil 18-1 beschreibt die allgemeinen Prinzipien der Prüfverfahren für die thermische Bewertung von Isoliersystemen für drehende elektrische Maschinen. Die Prinzipien von Teil 18-1 sind einzuhalten, es sie denn, im Teil 18-31 sind andere Festlegungen enthalten.

Die im Teil 18-1 beschriebenen Prüfverfahren dienen dem Vergleich von:

- Hauptisolierung zwischen Leiter(-n) und Erde,
- Windungsisolierung und
- Isolierung zwischen den Phasen im Wickelkopf.

Es ist nicht beabsichtigt, die Betriebserfahrungen für die Wickelkopfabstützung zu simulieren. Es ist nicht enthalten, wie sich thermo-mechanische Zerstörung infolge Ausdehnung und Verkürzung der Isolierung bei thermischen Wechselfällen auswirkt.

ANMERKUNG 1 Für große Maschinen, vor allem bei Verwendung von Stäben, können besondere Prüfverfahren zur thermischen Bewertung erforderlich sein, die nicht in diesem Hauptabschnitt enthalten sind.

ANMERKUNG 2 Es dürfen die in Teil 18-42 empfohlenen Parameter für die Diagnose-Prüfung von Spulen mit vorgeformten Elementen, die Isoliersystemen vom Typ II, vorgesehen für den Umrichterbetrieb, angehören, angewendet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 60034-1, *Functional Evaluation of Insulation Systems for Rotating Electrical Machines – Part 1: General guidelines*

IEC 60034-18-21, *Functional evaluation of insulation systems – Part 18: Test procedures for wire-wound windings*

IEC 60034-18-41, *Evaluation and qualification of electrical insulation systems used in rotating electrical machines when fed from voltage converters*

IEC 60034-18-42, *Qualification and acceptance tests for Type II electrical insulation systems used in rotating electrical machines fed from voltage converters*

IEC 60085, *Electrical Insulation – Thermal evaluation and designation*

IEC 60214-4-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-2, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 2: Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Choice of test criteria*

IEC 60216-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

3 Allgemeine Feststellungen

3.1 Referenz-Isoliersystem

Wie in 4.3 von Teil 18-1 beschrieben, muss ein Referenz-Isoliersystem mit den gleichen Prüfverfahren, Prüfeinrichtungen und im gleichen Laboratorium geprüft werden wie das Erprobungs-System.

3.2 Kennzeichnung von Prüfverfahren

Jede thermische Beständigkeitsprüfung wird in Zyklen ausgeführt; jeder Zyklus enthält einen thermischen Unterzyklus, auf den ein Diagnose-Zyklus folgt. Der Diagnose-Unterzyklus muss in der nachfolgenden Reihenfolge beinhalten:

- eine mechanische Prüfung,
- eine Feuchteprüfung,
- Spannungsprüfungen und
- andere optionale informative Prüfungen.

Die anzuwendenden Diagnose-Prüfungen sind im Abschnitt 6 beschrieben.

Die mechanische Prüfung besteht aus einer Rütteltisch-Prüfung der Prüfobjekte mit festgelegter Schwingungsamplitude. Die Feuchteprüfung mit Untertauchen ist für die Qualifizierung von vergossenen Isoliersystemen erforderlich. Die Feuchtekammer ist für die Qualifizierung von unvergossenen Isoliersystemen notwendig.

Bei vergossenen Systemen wird die Spannungsprüfung an den Prüflingen im untergetauchten Zustand ausgeführt. Bei unvergossenen Systemen darf die Spannungsprüfung außerhalb der Feuchtekammer durchgeführt werden, vorausgesetzt, dass die Prüflinge noch satt durchfeuchtet sind. Die Prüfspannung muss in jedem Fall über der Hauptisolierung angelegt werden. Zusätzliche Spannungsprüfungen können zwischen den Windungen oder zwischen den Phasen durchgeführt werden, sofern das zweckmäßig ist. Als Ergänzung der im Diagnose-Unterzyklus erforderlichen Spannungsprüfungen können nicht zerstörende informative Prüfungen zur Bewertung des Zustandes der Isolierung durchgeführt werden oder um periodische Messergebnisse über den Zustand nach den thermischen und Diagnose-Zyklen zu erhalten. Diese Prüfungen enthalten oft Prüfungen des Verlustfaktors (DF) oder Tangens-Delta ($\tan \delta$), Anstieg des Tangens-Delta oder Delta-Tangens-Delta ($\Delta \tan \delta$), Teilentladungs-Messungen (PD), Isolationswiderstand (IR) und Polarisationsindex (PI). Andere nicht zerstörende Prüfungen können ebenso angewendet werden.

3.3 Kontrolle der informativen Prüfungen

Jede der gewählten informativen Prüfungen kann durch die Prüfung eines ungealterten Prüflings kontrolliert werden, um:

- die Durchführbarkeit der informativen Prüfung zu bestätigen und
- Ausgangs-Messwerte vom Zustand der Isolierung vor Beginn der thermischen Alterungsprüfung zu erhalten.

4 Prüfobjekte und Prüflinge

4.1 Aufbau der Prüfobjekte

Die verschiedenen Isolierstoffe und Komponenten eines Isoliersystems, das mit Hilfe dieser Prüfverfahren zu bewerten ist, sollten vorher sorgfältig ausgewählt werden. Das kann auf Basis der Temperaturindizes (TI) der Isolierstoffe geschehen. Die Temperaturindizes liefern jedoch nur einen Anhaltswert für das potentielle Leistungsvermögen während der funktionellen thermischen Prüfungen und sind nicht gleichbedeutend mit einer Qualifizierung der Isoliersysteme.

Soweit durchführbar sollten die Prüfobjekte genaue Nachbildungen des tatsächlichen konstruktiven Aufbaues des Isoliersystems in der drehenden Maschine sein. Im Allgemeinen sind deshalb Spulen mit vollem Querschnitt, mit tatsächlichen Abständen und Kriechstrecken, befestigt in einer Vorrichtung, die der Anordnung der Spulen im Maschinenständer entspricht, erforderlich. Die Spulen oder Stäbe sind die Prüflinge und die vollständige Anordnung der Prüflinge ist das Prüfobjekt.

Wenn die Prüflinge aus Spulen oder Stäben bestehen, sollten sie den konstruktiven Aufbau der Isolierung genau nachbilden, einschließlich der Isolierungsdicken, der Abstände von Spule zu Spule (oder von Stab zu Stab) und der ggf. erforderlichen Materialien zur Vermeidung von Glimmentladungen bzw. zur Spannungssteuerung. Die zur Prüfung eingesetzten Prüflinge müssen für die maximale vorgesehene Bemessungsspannung und die Betriebsmittelnormen ausgelegt sein.

Bei Großmaschinen und Hochspannungsmaschinen dürfen Prüflinge verwendet werden, die nur einen Teil einer Spule oder eines Stabes nachbilden, vorausgesetzt dass:

- (1) die bedeutsamen Einflussfaktoren auf die Prüflinge einwirken, um die für diesen Teil des Systems spezifischen Alterungsprozesse untersuchen zu können, und
- (2) jedes Material, das zum konstruktiven Aufbau der Hochspannungsisolierung gehört, auch tatsächlich Bestandteil der Prüflinge ist und so angeordnet und verarbeitet ist, wie es im Betrieb der Fall sein würde.

Prüfobjekte dürfen komplette Maschinen, Maschinenkomponenten oder Modelle sein. Die Komponenten oder Modelle sollten alle wesentlichen Elemente enthalten.

Die als Formetten bekannten Prüfobjekte bilden die Geometrie, die Abstände und die Anordnung einer Reihe von Spulen in einem gewickelten Ständer nach. Sie sind erfolgreich für die thermische Bewertung eingesetzt worden. Beispiele für solche Formetten sind im Anhang A erläutert.

4.2 Verfahren für ein geringfügig verändertes Isoliersystem

Unter besonderen Bedingungen, wenn bei einem betriebsgeprüften Isoliersystem lediglich eine geringfügige Änderung zu bewerten ist, darf die Alterung von nicht weniger als 5 Prüflingen bei nur einer Temperatur ausgeführt werden. Geringfügige Änderungen sind im Teil 18-1 definiert.

4.3 Anzahl der Prüflinge

Die Prüfungen sollten mit mindestens fünf Prüflingen pro Alterungstemperatur und Isoliersystem durchgeführt werden. Dies ist aus Sicht der statistischen Vertrauenswürdigkeit die minimale empfohlene Anzahl.

4.4 Vorhergehende Qualitätssicherungs-Prüfungen

Jeder Isolierstoff, der für die Herstellung der Prüflinge vorgesehen ist, sollte auf Einhaltung der Spezifikationen hin geprüft werden. Die Qualitätssicherungs-Prüfungen sollten so gewählt werden, dass für jedes Material die Eignung für das Herstellungsverfahren und die Anordnung der einzelnen Prüflinge gesichert wird.

4.5 Vorhergehende Diagnose-Prüfungen

Jedes vollständig fertiggestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus allen Diagnose-Prüfungen und allen ausgewählten informativen Prüfungen unterworfen werden.

5 Prüfverfahren

5.1 Temperaturen im thermischen Alterungs-Unterzyklus und Dauer der Unterzyklen

Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein thermisch gealtertes und deshalb im allgemeinen sprödes Isoliersystem durch Einwirkung von mechanischer Beanspruchung, auf die eine Feuchtelagerung und eine Spannungsprüfung folgt, auf seinen Zustand hin untersucht werden kann. Risse in den Prüflingen, die durch die

mechanische Beanspruchung entstanden sind, können durch die Kombination Feuchtelagerung und Spannungsprüfung erkannt werden.

Die angestrebte Wärmeklasse des Erprobungs-Isoliersystems und die bekannte Wärmeklasse des Referenz-Systems (Tabelle 1) sind entsprechend IEC 60085 zu wählen.

Tabelle 1 – Wärmeklassen

Wärmeklasse	Klassentemperatur °C
105 (A)	105
120 (E)	120
130 (B)	130
155 (F)	155
180 (H)	180

ANMERKUNG 1 Die Wärmeklassen 105 (A) und 120 (E) werden bei Isoliersystemen moderner drehender Maschinen selten genutzt und sind nicht Bestandteil von Teil 18-1¹.

Mindestens drei unterschiedliche Alterungstemperaturen sollten benutzt werden.

In Tabelle 2 sind die Alterungstemperaturen und die entsprechende Dauer eines jeden thermischen Alterungs-Unterzyklus für Isoliersysteme mit unterschiedlichen Wärmeklassen angegeben.

Die niedrigste Alterungstemperatur sollte so gewählt werden, dass im logarithmischen Maßstab eine mittlere Prüf-Lebensdauer von mindestens 5 000 h ermittelt wird. Zusätzlich sollten wenigstens zwei höhere Alterungstemperaturen gewählt werden, die einen Abstand von mindestens 20 K haben. Intervalle von 10 K sind angemessen, wenn die Prüfungen bei mehr als drei Alterungstemperaturen ausgeführt werden.

Es wird empfohlen, dass die Dauer der Alterungs-Unterzyklen für die angestrebte Wärmeklasse so ausgewählt wird, dass die mittlere Lebensdauer bei jeder Alterungstemperatur ungefähr 10 Zyklen beträgt.

Falls die für das Erprobungs-System vorgesehene Wärmeklasse nicht mit der bekannten Klasse des Referenz-Systems übereinstimmt, müssen dem entsprechend unterschiedliche Alterungstemperaturen und Unterzyklus-Zeiten in geeigneter Weise ausgewählt werden.

¹ Anmerkung des Übersetzers: es muss heißen: „Teil 1“.

Tabelle 2 – Empfohlene Temperaturen und Dauer der Alterungs-Unterzyklen

Erwartete Klassen-temperatur	105 °C		120 °C		130 °C		155 °C		180 °C		200 °C		Tage je Alterungs-Unterzyklus
$t_1 < t_A \leq t_2$	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2	
Empfohlener Bereich für die Alterungs-temperatur (t_A) °C	170	180	185	195	195	205	220	230	245	255	265	275	1 bis 2
	160	170	175	185	185	195	210	220	235	245	255	265	2 bis 3
	150	160	165	175	175	185	200	210	225	235	245	255	4 bis 6
	140	150	155	165	165	175	190	200	215	225	235	245	7 bis 10
	130	140	145	155	155	165	180	190	205	215	225	235	14 bis 21
	120	130	135	145	145	155	170	180	195	205	215	225	28 bis 35
	110	120	125	135	135	145	160	170	185	195	205	215	45 bis 60

Diese Tabelle, die die Bereiche sowohl für die Alterungstemperaturen als auch für die Dauer der Alterungs-Unterzyklen angibt, ist in der Weise entworfen worden, dass die Laboratorien die Möglichkeit haben, die Alterungszeiten und die Temperaturen so zu wählen, dass Personal und Einrichtungen bestmöglich genutzt werden. Sie ist dem idealen Zustand angepasst (aufgebaut auf der 10-K-Regel), nach dem es zulässig ist, für jede Minderung der Alterungstemperatur um 10 K die Alterungszeit zu verdoppeln (z. B. 1, 2, 4, 8, 16, 32 und 64 Tage Alterung). Sie ermöglicht, die Alterung bei der niedrigen Alterungstemperatur in Vielfachen einer Woche auszuführen (z. B. 1, 2, 4, 7, 14, 28 und 49 Tage Alterung). Um Vergleiche zwischen den Systemen ausführen zu können, müssen alle Veränderungen gegenüber den Tabellenwerten für alle Prüflinge gleich wirksam sein.

ANMERKUNG Außerdem lässt sie zu, die Alterung in der Weise auszuführen, dass die 5-Tage-Arbeitswoche bestmöglich genutzt wird. Das bedeutet, dass z. B. ein Alterungs-Unterzyklus an einem Freitag beginnen kann und die Diagnose-Prüfungen an einem Montag ausgeführt werden (z. B. 3, 10, 17, 31 und 59 Tage Alterung).

5.1 Heizeinrichtungen

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Öfen zur einfachen und wirtschaftlichen Anwendung von Alterungstemperaturen geeignet sind. Bei der Ofenmethode werden alle Teile des Isoliersystems mit der vollen Alterungstemperatur beansprucht, während im tatsächlichen Betrieb ein großer Anteil der Isolierung wesentlich niedrigere Temperaturen als der Heißpunkt aufweist. Außerdem muss damit gerechnet werden, dass die Abbauprodukte während der Alterung im Ofen in der Nähe der Isolierung bleiben, während sie beim tatsächlichen Betrieb durch die Lüftung fortbewegt werden können. Die Alterungstemperaturen müssen kontrolliert und auf ± 2 K bis zu 180 °C und auf ± 3 K von 180 °C bis zu 300 °C konstant gehalten werden.

Wenn die Ofenmethode nicht durchführbar ist oder die Betriebsbedingungen nicht richtig widerspiegelt, können alternative Aufheizmethoden angewendet werden. Beispiele für Heizeinrichtungen, die direkt wirken und bestimmte Betriebsbedingungen gut nachbilden, sind:

- unmittelbare Aufheizung der Prüflinge durch elektrischen Strom;
- Anlauf- und Umkehr-Betrieb (wobei ein kompletter Motor als Prüfobjekt eingesetzt wird);
- Überlagerung des normalen Wechselstromes eines Motors im Leerlauf mit einem Gleichstrom;
- Einsatz von beweglichen Heizeinrichtungen auf den Prüflingen.

Es ist bekannt, dass einige Materialien schneller geschädigt werden, wenn die Abbauprodukte Kontakt mit der Isolierungsoberfläche behalten, während andere Materialien schneller geschädigt werden, wenn die Abbauprodukte kontinuierlich entfernt werden. Im Idealfall sollte sich die Konzentration der Abbauprodukte nicht mit der Alterungstemperatur ändern, was jedoch bei der praktischen Prüfung nicht verwirklicht sein dürfte. Für das Erprobungs-System und für das Referenz-System müssen dieselben Belüftungsverhältnisse im Ofen aufrechterhalten werden. Der Anteil der Luft, der während der thermischen Alterung ausgetauscht wird, muss im Prüfbericht angegeben werden.

Abhängig von den verfügbaren Prüfeinrichtungen und von der Art der eingesetzten Prüfobjekte kann es wünschenswert sein, andere Aufheizmethoden und andere Verfahren zur Behandlung der Abbauprodukte anzuwenden.

5.2 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

Bei der Verwendung von Öfen sollten die Prüfobjekte zu Beginn des Alterungs-Unterzyklus mit Raumtemperatur in den aufgeheizten Alterungsöfen eingebaut werden. Damit werden die Prüfobjekte in jedem Zyklus einem bestimmten Wärmeschock ausgesetzt.

Als Anfang des thermischen Alterungs-Unterzyklus wird der Zeitpunkt angenommen, bei dem ein geeichter Temperatursensor, der auf der Isolierungsoberfläche an der am besten geschützten Stelle des Prüfobjektes angebracht ist, die Alterungstemperatur anzeigt.

Die Temperatur-Steigerungsrate sollte für die Referenz- und die Erprobungs-Prüfobjekte gleich und nicht geringer als im normalen Betrieb sein.

Die Prüfobjekte sollten am Ende des Unterzyklus so aus dem Ofen genommen werden, dass sie unmittelbar der Raumtemperatur ausgesetzt werden, oder mit Hilfe geeigneter Mittel heruntergekühlt werden, um eine gleichmäßige Abkühlung zu erreichen. Der Alterungs-Unterzyklus endet, sobald die Heizung abgeschaltet ist oder wenn die Prüfobjekte aus dem Ofen genommen und den Umgebungsbedingungen ausgesetzt werden. Die Prüfobjekte sind nach dem thermischen Alterungs-Unterzyklus in der Umgebungsluft auf Raumtemperatur abzukühlen, bevor der Diagnose-Unterzyklus beginnt.

6 Diagnose-Unterzyklus

6.1 Reihenfolge

Im Anschluss an jeden Unterzyklus der thermischen Alterung muss jeder Prüfling einer Reihe von Diagnose-Prüfungen einschließlich einer mechanischen Beanspruchung, einer Feuchtelagerung und einer Prüfung mit erhöhter Spannung unterworfen werden. Andere informative Prüfungen können nach der Spannungsprüfung und noch bevor der nächste thermische Alterungs-Unterzyklus beginnt, angewendet werden.

Die Prüfungen werden in jedem Zyklus in gleich bleibender Reihenfolge und mit gleichen Verfahren angewendet. Die Reihenfolge und die detaillierten Parameter der Diagnose-Unterzyklen müssen im Prüfbericht angegeben werden.

6.2 Mechanische Beanspruchung

6.2.1 Methode

Bei der Anwendung der mechanischen Beanspruchung dürfen Besonderheiten der Prüfobjekte und des beabsichtigten Betriebes berücksichtigt werden. Die Prüfobjekte sind der mechanischen Beanspruchung bei Raumtemperatur und ohne Spannung auszusetzen.

Eine weit verbreitete Methode zur Anwendung der mechanischen Beanspruchung ist das Rütteln der Prüflingswickelköpfe. Dabei wird jedes Prüfobjekt auf einen waagerechten Rütteltisch befestigt und eine Stunde lang einer 50 Hz- oder 60 Hz-Schwingung ausgesetzt. Die Bewegung des Tisches sollte senkrecht zur Spulenfläche erfolgt, so dass die Spulenenden zu radialen Schwingungen angeregt werden, wie sie in einer realen drehenden Maschine im Wickelkopf auftreten.

Wenn komplette Maschinen als Prüfobjekte verwendet werden, darf die mechanische Beanspruchung der Wicklungen auch mit einem Start-Stop- oder einem Drehrichtungsumkehr-Zyklus an Stelle des Schwingtisches erzeugt werden. Bei diesem Verfahren sollte berücksichtigt werden, dass die mechanische Beanspruchung mit der Maschinengröße zunimmt.

Vorzugsweise ist bei einer Prüffrequenz von 60 Hz eine Spitze-Spitze-Schwingungsamplitude von 0,2 mm und bei 50 Hz von 0,3 mm anzuwenden. Diese Amplitude entspricht einer Beschleunigung von etwa 1,5 g (15 m/s^2).

6.3 Feuchteprüfung

6.3.1 Allgemeine Feststellungen

Im Allgemeinen hat eine kombinierte Feuchte- und elektrische Beanspruchung einen großen Einfluss auf die Eigenschaften der elektrischen Isolierung. Bei fester Isolierung führt die Feuchteaufnahme nach und nach zu

einem Ansteigen der dielektrischen Verluste und zu einer Verminderung des Isolationswiderstandes, und sie kann zu einer Verminderung der elektrischen Festigkeit beitragen. Feuchte auf der Isolierung verbessert die Eignung einer Spannungsprüfung zur Aufdeckung von Rissen und Löchern in der Isolierung.

In diesem Teil des Diagnose-Unterzyklus lagert sich die Feuchte auf der Oberfläche eines jeden Prüflings ab, so dass alle zugänglichen Oberflächen vollständig feucht sind. Im Fall von nicht vergossenen Isoliersystemen wird die Feuchte mit einer geregelten Feuchteammer erzeugt. Bei vergossenen Systemen werden die Prüfobjekte komplett in Wasser getaucht.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine Lagerungszeit von mindestens 48 h erforderlich ist, damit die Feuchte in die Wicklung eindringt und der Isolationswiderstand einen nahezu konstanten Wert annimmt. Diese Art der Feuchtelagerung ist härter als im normalen Betrieb. Während der Feuchtelagerung wird keine Spannung an die Prüflinge gelegt.

6.3.2 Befeuchtung

Eine sichtbare und vollständige Feuchteablagerung kann durch Einlagerung der Prüfobjekte in eine Feuchte- oder Kondensationskammer erzielt werden. Jedes Prüfobjekt muss mindestens für 48 h der Feuchte ausgesetzt werden oder so lange, dass auf allen zugänglichen Oberflächen sichtbare Feuchteablagerungen vorhanden sind. Die Temperatur der Prüfobjekte sollte $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ betragen, und die tatsächliche Temperatur sollte im Prüfbericht dokumentiert werden. Während der Feuchtelagerung wird keine Spannung angelegt. Aus Sicherheitsgründen ist es erforderlich, dass das Prüfobjekt aus der Kondensationskammer genommen wird, bevor die Prüfspannung angelegt wird.

6.3.3 Eintauchen unter Wasser

Alle Prüflinge eines Prüfobjektes müssen einschließlich der Anschlussleitungen 30 min lang in Leitungswasser bei Raumtemperatur eingetaucht werden. Das Leitungswasser muss ein nichtionisches Benetzungsmittel in solcher Konzentration enthalten, dass die Oberflächenspannung nicht größer als $3,1\text{ mN/m}$ (31 dyn/cm) bei 25 °C ist.

Nach 30 min wird im eingetauchten Zustand des Prüfobjektes, wie in 7.3 beschrieben, eine Spannung an die Prüflinge angelegt. Im Anschluss an die Spannungsprüfung sind die Prüfobjekte mit Leitungswasser ohne Benetzungsmittel zu spülen. Die Prüfobjekte sind mit Luft bei Raumtemperatur zu trocknen, vorzugsweise über Nacht, bevor mit dem nächsten thermischen Alterungs-Unterzyklus begonnen wird.

Vor dem Anlegen der Prüfspannung kann es zweckmäßig und informativ sein, den Isolationswiderstand (IR) des Prüfobjektes bei einer Prüfspannung, die der Bemessungsspannung des Isoliersystems angepasst ist, zu messen.

6.4 Spannungsprüfung

Der Zustand und der Endpunkt der Prüflebensdauer der Prüflinge werden mit einer Spannungsprüfung ermittelt. Die Prüfspannung wird entsprechend der Bemessungsspannung der Isolierung festgelegt. Bei netzfrequenter Prüfspannung muss die Frequenz entweder $50\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$ oder $60\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$ betragen. Die Prüfung wird bei Raumtemperatur durchgeführt, und die aktuelle Umgebungstemperatur muss im Prüfbericht dokumentiert werden.

Bei Prüflingen, die durch hohe Luftfeuchtigkeit befeuchtet wurden, ist die Prüfspannung anzulegen, solange die Prüflinge noch feucht sind.

Die Prüfeinrichtung muss in der Lage sein, eine genügend hohe Spannungsbeanspruchung zu erzeugen und einen Fehler zu ermitteln. Die Prüfspannung wird angelegt, um den Zustand der Prüflinge und den Endpunkt der Prüflebensdauer anzuzeigen.

Ein Ausfall einer Komponente des Isoliersystems bedeutet den Ausfall des ganzen Prüflings. Stromanstieg, örtliche Überhitzung oder Rauchentwicklung können als Ausfallkriterien genommen werden. Geringfügige Funkenbildung auf der Oberfläche und elektrische Entladungen während der Spannungsprüfung sollten im Prüfbericht dokumentiert werden, bedeuten jedoch keinen Ausfall.

6.4.1 Methode

Es ist wichtig, jeden Teil des Isoliersystems einzeln zu prüfen, damit Bereiche erkannt werden können, in denen durch die thermische oder mechanische Beanspruchung möglicherweise Risse und/oder Ablösungen aufgetreten sind. Die Spannung muss in folgender Art und Weise und in der genannten Reihenfolge angelegt werden: