

	DIN IEC 60034-18-21 (VDE 0530-18-21)	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 29.080.30	<div style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 200px;"> Entwurf </div> <p style="text-align: right;">Einsprüche bis 2008-06-30</p> <p style="text-align: right;">Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 60034-18-21 (VDE 0530-18-21):1995-08 und DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1):1998-06 und DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2):1998-06</p> <p>Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-21: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen – Thermische Bewertung und Klassifizierung (IEC 2/1486/CD:2008)</p> <p>Rotating electrical machines – Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification (IEC 2/1486/CD:2008)</p> <p>Machines électriques tournantes – Partie 18-21: Evaluation fonctionnelle des systèmes d'isolation – Procédures d'essai pour enroulements à fils – Evaluation thermique et classification (CEI 2/1486/CD:2008)</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2008-04-14 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <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. <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> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 80 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p>	

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 2/1486/CD:2008 „Rotating electrical machines – Part 18-21: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for wire-wound windings – Thermal evaluation and classification“ (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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60034-18-21 (VDE 0530-18-21):1995-08, DIN EN 60034-18-21/A1 (VDE 0530-18-21/A1):1998-06 und DIN EN 60034-18-21/A2 (VDE 0530-18-21/A2):1998-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aktualisierung Inhalt und Status, insbesondere
 - Berücksichtigung neuer Materialien, Technologien, Prüfverfahren, Anwendungen;
 - Berücksichtigung neuer normativer Regeln und Harmonisierungsanforderungen;
- b) technische Korrekturen und Verbesserungen;
- c) Berücksichtigung von Prüferfahrungen mit dieser Norm;
- d) inhaltliche Straffung und Koordinierung, insbesondere mit IEC 60034-18-1;
- e) 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 Abschnichtsnummer, 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
HD 53.1 S2 ... EN 60034-1:2004	IEC 60034-1:1983 + A1:1987 + A2:1989 IEC 60034-1:2004	DIN VDE 0530-1:1991-07 zurückgezogen, ersetzt durch DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04	VDE 0530-1 VDE 0530-1
EN 60034-18-1:1994	IEC 60034-18-1:1992 + Corr.:1992	DIN EN 60034-18-1 (VDE 0530-18-1):1995-08	VDE 0530-18-1
EN 60034-18-1/A1:1996	IEC 60034-18-1/A1:1996	DIN EN 60034-18-1/A1 (VDE 0530-18-1/A1):1998-06	VDE 0530-18-1/A1
EN 60034-18-22:2001	IEC 60034-18-22:2000	DIN EN 60034-18-22 (VDE 0530-18-22):2001-12	VDE 0530-18-22
HD 566 S1:1990 EN 60085:2004	IEC 60085:1984 IEC 60085:2004	DIN IEC 60085 (VDE 0301-1):1993-03; zurückgezogen, ersetzt durch: DIN EN 60085 (VDE 0301-1):2005-05	VDE 0301-1 VDE 0301-1
Normen der Reihe EN 60455	Normen der Reihe IEC 60455	Normen der Reihe DIN EN 60455 (VDE 0355)	Normen der Reihe VDE 0355
Normen der Reihe EN 60464	IEC 60464	Normen der Reihe DIN EN 60464 (VDE 0360)	Normen der Reihe VDE 0360
– EN 60505:2004	IEC 60505:1975 IEC 60505:2004	DIN VDE 0302-1 (VDE 0302-1):1986-09 zurückgezogen, ersetzt durch: DIN EN 60505 (VDE 0302-1):2005-08	VDE 0302-1 VDE 0302-1
–	IEC 60610:1978	–	–
–	IEC 60611:1978	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60034-1 (VDE 0530-1):2005-04, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten (IEC 60034-1:2004); Deutsche Fassung EN 60034-1:2004.*

DIN EN 60034-18-1 (VDE 0530-18-1):1995-08, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 1: Allgemeine Richtlinien (IEC 60034-18-1:1992 + Corrigendum 1992); Deutsche Fassung EN 60034-18-1:1994.*

DIN EN 60034-18-1/A1 (VDE 0530-18-1/A1):1998-06, *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen; Hauptabschnitt 1: Allgemeine Richtlinien (IEC 60034-18-1/A1:1996); Deutsche Fassung EN 60034-18-1/A1:1996.*

— Entwurf —

E DIN IEC 60034-18-21 (VDE 0530-18-21):2008-04

DIN EN 60034-18-22 (VDE 0530-18-22), *Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-22: Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen – Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen – Klassifizierung von Änderungen und Substitutionen von Systemkomponenten.*

DIN EN 60085 (VDE 0301-1):2005-05, *Elektrische Isolierung – Thermische Klassifizierung (IEC 60085:2004); Deutsche Fassung EN 60085:2004.*

DIN EN 60505 (VDE 0302-1):2005-08, *Bewertung und Kennzeichnung von elektrischen Isoliersystemen (IEC 60505:2004); Deutsche Fassung EN 60505:2004.*

Normen der Reihe DIN EN 60455 (VDE 0355), *Reaktionsharzmassen für die Elektroisolierung.*

Normen der Reihe DIN EN 60464 (VDE 0360), *Elektroisolierlacke.*

**Drehende elektrische Maschinen – Teil 18-21: Funktionelle Bewertung von
Isoliersystemen – Prüfverfahren für Runddrahtwicklungen – Thermische
Bewertung und Klassifizierung**

Inhalt

	Seite
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Allgemeine Feststellungen	7
3.1 Referenz-Isoliersystem	7
3.2 Prüfobjekte und Prüflinge	7
3.3 Thermische Funktionsprüfverfahren	9
3.4 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	11
3.5 Diagnostischer Unterzyklus	11
3.6 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	13
3.7 Standard-Prüfverfahren	14
4 Verfahren 1: Motoretten-Prüfverfahren	14
4.1 Allgemeines	14
4.2 Prüfobjekte	14
4.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	15
4.4 Diagnostischer Unterzyklus	15
4.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	16
5 Verfahren 2: Motor-Prüfverfahren	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Prüfobjekte	16
5.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	17
5.4 Diagnostischer Unterzyklus	18
5.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	19
6 Verfahren 3: Prüfverfahren für Ständerwicklungen in Nuten	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Prüfobjekte	19
6.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	20
6.4 Diagnostischer Unterzyklus	20
6.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	21
7 Verfahren 4: Prüfverfahren für Polwicklungen	21
7.1 Allgemeines	21
7.2 Prüfobjekte	21
7.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	21
7.4 Diagnostischer Unterzyklus	22
7.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	23
8 Verfahren 5: Prüfverfahren für Läuferwicklungen in Nuten	23
8.1 Allgemeines	23
8.2 Prüfobjekte	23
8.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus	24
8.4 Diagnostischer Unterzyklus	24
8.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung	25
Anhang A (informativ) Motoretten-Konstruktion (Beispiel)	26
Anhang B (informativ) Modelle für Polwicklungen (Beispiele)	29

	Seite
Anhang C (informativ) Einrichtungen für Feuchteprüfungen	30
Bild 1 – Arrhenius-Diagramm zum Vergleich eines Erprobungs-Systems C mit einem Referenz-System R	13
Bild 2 – Bauelemente der Motorette vor dem endgültigen Zusammenbau	31
Bild 3 – Vollständig zusammengebaute und imprägnierte Motorette	31
Bild 4 – Werkstattzeichnung für das Motoretten-Gestell.....	32
Bild 5 – Prüfvorrichtung für eine ungeordnet gewickelte Feldspule.....	33
Bild 6 – Ungeordnet gewickelte Feldspule auf der Prüfvorrichtung montiert.....	33
Bild 7 – Fertigungszeichnung einer Polnachbildung für eine Prüfvorrichtung für eine ungeordnet gewickelte Feldspule.....	34
Bild 8 – Fertigungszeichnung einer Abdeckplatte für eine Prüfvorrichtung für eine ungeordnet gewickelte Feldspule.....	35
Bild 9 – Prüfvorrichtung für eine geordnet gewickelte Feldspule.....	36
Bild 10: Geordnet gewickelte Feldspule auf der Prüfvorrichtung montiert.....	36
Bild 11: Fertigungszeichnung einer Polnachbildung für eine Prüfvorrichtung für eine geordnet gewickelte Feldspule.....	37
Bild 12 – Fertigungszeichnung einer Abdeckplatte für eine Prüfvorrichtung für eine geordnet gewickelte Feldspule.....	38
Bild 13 – Schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Kondensationskammer mit gekühlten Prüfobjekten.....	39
Bild 14 – Schnittbild einer Kondensations-Kammer mit gekühlten Prüfobjekten.....	39
Tabelle 1 – Wärmeklassen.....	10
Tabelle 2 – Empfohlene Temperaturen und Dauer der Alterungs-Unterzyklen	10
Tabelle 3 – Prüfspannungen bei Verfahren 1	15
Tabelle 4 – Prüfspannungen	23

Einleitung

Teil 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 Wicklungen mit (normalerweise ungeordnet gewickelten) Drähten.

Es werden mehrere Prüfverfahren für unterschiedliche Drahtwicklungen und Prüftechniken angegeben.

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

Teil 31: Prüfverfahren für Wicklungen mit vorgeformten Elementen (IEC 60034-18-31).

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

Teil 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

Dieser Teil von IEC 60034-18 beschreibt Prüfverfahren für die thermische Bewertung und Klassifizierung von Isoliersystemen, die in drehenden elektrischen Wechsel- oder Gleichstrommaschinen mit Drahtwicklungen eingesetzt werden oder deren Verwendung vorgesehen ist. Die Prüfverfahren arbeiten auf Vergleichsbasis in der Weise, dass das Verhalten eines Erprobungs-Isoliersystems mit dem eines Referenz-Isoliersystems mit nachgewiesener Betriebserfahrung verglichen wird.

Dieser Teil 21 muss in Verbindung mit Teil 1 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 34-1:1983, *Rotating electrical machines – Part 1: Rating and performance*

IEC 60455, *Specification for solventless polymerisable resinous compounds used for electrical insulation*

IEC 60464, *Specification for insulating varnishes containing solvent*

IEC 60034-18-1:1991, *Rotating electrical machines – Part 18: Functional evaluation of insulation systems Section 1: General guidelines*

IEC 60085:1984, *Thermal evaluation and classification of electrical insulation*

IEC 60505:1975, *Guide for the evaluation and identification of insulation systems of electrical equipment*

IEC 60610:1978, *Principal aspects of functional evaluation of electrical insulation systems: Ageing mechanisms and diagnostic procedures.*

IEC 60611:1978, *Guide for the preparation of test procedures for evaluating the thermal endurance of electrical insulation systems.*

3 Allgemeine Feststellungen

3.1 Referenz-Isoliersystem

Ein Referenz-Isoliersystem ist mit den gleichen Verfahren zu prüfen wie das Erprobungs-System, siehe 4.2 in IEC 60034-18-1.

Die Wärmeklassen der beiden Systeme dürfen nicht mehr als 25 K voneinander abweichen.

3.2 Prüfobjekte und Prüflinge

3.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Es ist zunächst erforderlich, die einzelnen Isolierstoffe und Komponenten der nach diesen Prüfverfahren zu bewertenden Isoliersysteme sorgfältig auszuwählen. Dazu können die Temperaturindizes der Isolierstoffe in

E DIN IEC 60034-18-21 (VDE 0530-18-21):2008-04

Betracht gezogen werden. Wie bereits in IEC 60085 erläutert, sind jedoch diese Temperaturindizes der Isolierstoffe nicht für die Klassifizierung von Isoliersystemen geeignet, sondern sind lediglich als Indikator im Rahmen der thermischen Funktionsprüfungen der Systeme anzusehen.

Wenn es aus Sicht der Wirtschaftlichkeit oder der Maschinengröße oder aus beiderlei Sicht vertretbar ist, sollte eine komplette Maschine oder eine Maschinenkomponente als Prüfobjekt verwendet werden. Das bedeutet im Allgemeinen, dass Spulen mit vollem Nutquerschnitt und mit den tatsächlichen Luftabständen und Kriechweglängen verwendet werden, nur die Nutlänge darf kürzer sein.

Prüfobjekte dürfen komplette Maschinen, Maschinenkomponenten oder Modelle sein.

Wenn Prüfmodelle verwendet werden, müssen sie alle wesentlichen Elemente enthalten, die in der nachzubildenden Wicklung zu finden sind; sie dürfen aber nur als weitgehende Annäherungen aufgefasst werden. Die Isolierungsdicken, die Kriechstrecken und – wo erforderlich – die Glimmschutzanordnungen müssen der vorgesehenen maximalen Bemessungsspannung und der Betriebsmittelnorm oder der realen praktischen Ausführung entsprechen.

Für Großmaschinen und Hochspannungsmaschinen dürfen Prüfmodelle verwendet werden, die einen Teil einer Spule oder eines Stabes darstellen, wenn die Alterung speziell für diesen Teil untersucht wird, vorausgesetzt, die typischen Einflussfaktoren können auf die Prüflinge wirken.

Die zu vergleichenden Systeme müssen wie in den Maschinen angeordnet sein.

ANMERKUNG Es sei darauf hingewiesen, dass (auch) bei identischen Isolierstoffen in Abhängigkeit von Isolierdicken und Kriechweglängen stark unterschiedliche Prüf-Lebensdauerwerte ermittelt werden können.

Prüflinge, die Teile einer Spule oder einer Wicklung nachbilden, dürfen zur Bewertung verwendet werden, wenn die auf diese Teile im Betrieb wirkenden Beanspruchungen bei der Prüfung zuverlässig nachgebildet werden können.

Besondere Typen von Modellen sind in einigen Ländern erfolgreich genutzt worden; Beispiele dafür sind in Anhang A und Anhang B erläutert.

Der Hersteller sollte sicherstellen, dass die für das neue Isoliersystem vorgesehenen Werkstoffe den geplanten Fertigungsprozess ohne Verschlechterung der Eigenschaftswerte durchlaufen können.

3.2.2 Anzahl der Prüflinge

Für jede gewählte Alterungstemperatur muss eine hinreichende Anzahl von Prüflingen der funktionellen Prüfung bis zum Ausfall unterworfen werden, um einen gesicherten statistischen Mittelwert erzielen zu können.

3.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Jeder Isolierstoff, der für die Prüfobjekte vorgesehen ist, sollte zum Nachweis übereinstimmender Eigenschaftswerte gesonderten Prüfungen unterzogen werden, bevor er beim Zusammenbau verwendet wird.

Jeder Prüfling muss die Qualitätssicherungs-Prüfungen des üblichen oder zur Einführung vorgesehenen Fertigungsverfahren durchlaufen.

Um fehlerhafte Prüfobjekte auszusondern, sollten sie zunächst visuell kontrolliert und anschließend Spannungsprüfungen in Übereinstimmung mit den Maschinen- oder Spulenprüfungen in der Fertigung oder wie für die diagnostischen Prüfungen in den entsprechenden Unterabschnitten angegeben, unterzogen werden.

ANMERKUNG Wenn erforderlich können zusätzliche Vorprüfungen (Qualitätsprüfungen) einschließlich der im Folgenden genannten durchgeführt werden:

- Messung des Isolationswiderstandes
- Verlustfaktor- und Kapazitätsmessung
- Messung der Teilentladungs-Einsatzspannung
- Verhältnis der Phasenströme im Lauf
- Wiederholte Stoßspannungsbeanspruchung
- Kriechstrom
- Hochspannungsprüfung

Alle stark abweichenden Prüfobjekte sollten verworfen werden bzw. es sollten die Ursachen für die Abweichungen untersucht und vertretbare Toleranzbereiche festgelegt werden.

3.2.4 Diagnostische Vorprüfungen

Jedes vollständige Prüfobjekt ist allen diagnostischen Prüfungen, die für die thermische Funktionsprüfung festgelegt wurden, zu unterwerfen, bevor der erste thermische Alterungs-Unterzyklus beginnt, um sicher zu stellen, dass jeder Prüfling in der Lage ist, die ausgewählten diagnostischen Prüfungen zu bestehen.

3.3 Thermische Funktionsprüfverfahren

3.3.1 Allgemeines

Die Erfahrung hat gezeigt, dass in vielen Fällen die beste diagnostische Bewertung einer thermisch geschädigten und daher brüchigen Isolierung dadurch erreicht wird, dass sie einer mechanischen Beanspruchung, die in den mechanisch beanspruchten Teilen Risse erzeugt, ausgesetzt wird, dass danach Feuchte einwirkt und dass schließlich die Prüfspannung angelegt wird.

In anderen Fällen sind wohl möglich die mechanische Beanspruchung, die Feuchtelagerung und das Anlegen der Spannung nicht die besten Diagnoseprüfungen. Um den Zustand der Isolierung nach jedem thermischen Alterungs-Unterzyklus zu ermitteln, kann es vielmehr zweckmäßig sein, sie durch ausgewählte dielektrische Prüfungen (z.B. Teilentladungs- oder Verlustfaktormessung) zu ersetzen.

Das Prüfverfahren umfasst mehrere Alterungsprüfungen, die bei unterschiedlichen Alterungstemperaturen ausgeführt werden. Bei jeder Temperatur wird die Prüf-Lebensdauer des untersuchten Isoliersystems bestimmt. Auf Grund dieser Lebensdauer-Prüfwerte wird die Lebensdauer bei Klassentemperatur im Vergleich zu derjenigen des Referenz-Systems bei seiner Klassentemperatur abgeschätzt.

Jede Alterungsprüfung wird in Zyklen ausgeführt; jeder Zyklus besteht aus einem thermischen sowie aus einem diagnostischen Unterzyklus. Der diagnostische Unterzyklus darf eine mechanische Prüfung, eine Feuchtelagerung, eine Spannungsprüfung und andere diagnostische Prüfungen einschließen.

3.3.2 Alterungstemperaturen und Dauer der Unterzyklen

3.3.2.1 Standardverfahren

Es wird empfohlen, die Prüfungen mit einer Anzahl Prüflingen wie in den folgenden Teilen dieser Norm angegeben und bei mindestens drei unterschiedlichen Alterungstemperaturen durchzuführen.

Die angestrebte Wärmeklasse des Erprobungs-Isoliersystems sowie die bekannte Klasse des Referenz-Systems sind aus Tabelle 1 zu wählen.

Tabelle 2 enthält die empfohlenen Alterungstemperaturen und die entsprechende Dauer eines jeden thermischen Alterungs-Unterzyklus für Isoliersysteme mit unterschiedlichen Wärmeklassen. Zeit und Temperatur dürfen zur bestmöglichen Nutzung der Prüfeinrichtungen und entsprechend der Verfügbarkeit des Personals angepasst werden, jedoch müssen solche Anpassungen beim Vergleich beachtet werden.

Die niedrigste Alterungstemperatur sollte so gewählt werden, dass im logarithmischen Maßstab eine mittlere Prüf-Lebensdauer von etwa 5 000 h oder mehr ermittelt wird. Das ist im Allgemeinen der Fall, wenn die niedrigste Alterungstemperatur so gewählt wird, dass sie mit einer Beanspruchungsperiode von 28 bis 35 Tagen oder mehr korrespondiert.

Zusätzlich sollten wenigstens zwei höhere Alterungstemperaturen gewählt werden, die einen Abstand von mindestens 20 K haben. Intervalle, die kleiner als 20 K sind, sind angemessen, wenn die Untersuchungen bei mehr als vier Alterungstemperaturen ausgeführt werden.

Um die Unsicherheit bei der Extrapolation möglichst klein zu halten, sollte die niedrigste Prüftemperatur um nicht mehr als 25 K über der Temperatur liegen, auf die die Ergebnisse extrapoliert werden.

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

Wenn sich das Erprobungs-Isoliersystem durch eine geringfügige Änderung vom klassifizierten System unterscheidet, ist nach Punkt 3.3.2.2 zu verfahren.

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.

Tabelle 1 – Wärmeklassen

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

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 – 2
	160	170	175	185	185	195	210	220	235	245	255	265	2 – 3
	150	160	165	175	175	185	200	210	225	235	245	255	4 – 6
	140	150	155	165	165	175	190	200	215	225	235	245	7 – 10
	130	140	145	155	155	165	180	190	205	215	225	235	14 – 21
	120	130	135	145	145	155	170	180	195	205	215	225	28 – 35
	110	120	125	135	135	145	160	170	185	195	205	215	45 – 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). Außerdem lässt sie zu, die Alterung in der Weise auszuführen, dass die 5-Tage-Arbeitswoche bestmöglich genutzt wird. Dies bedeutet, dass ein Alterungs-Unterzyklus immer an einem Freitag begonnen wird und die diagnostischen Prüfungen immer an einem Montag ausgeführt werden (z. B. 3, 10, 17, 31 und 59 Tage Alterung).

3.3.2.2 Überprüfung der Wirkung von geringfügigen Änderungen im Isoliersystem

Für die thermische Bewertung von geringfügigen Änderungen im Isoliersystem von Draht-Wicklungen gilt IEC 60034-18-22. Für andere Wicklungstypen siehe 4.4 in IEC 60034-18-1.

3.3.3 Heizeinrichtungen

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Öfen – trotz einiger offensichtlicher Nachteile – 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.

Die Verwendung von Öfen für die Aufheizung wird jedoch nicht zwingend vorgeschrieben. Wenn es angebracht ist, darf ein unmittelbar wirkendes Verfahren angewendet werden, bei dem die Betriebsbedingungen besser nachgebildet werden. Solche Verfahren dürfen sein:

- unmittelbare Aufheizung durch elektrischen Strom;
- Anlauf- und Umkehr-Betrieb (Motorprüfung);
- Überlagerung des normalen Wechselstromes eines Motors im Leerlauf mit einem Gleichstrom.

3.3.4 Überprüfung der diagnostischen Prüfungen

Es wird vorgeschlagen, dass vor dem Ablauf des vollen Programms zur Untersuchung von Prüflingen bei ausgewählten Alterungstemperaturen eine kleine Anzahl von Objekten (ein oder zwei) extremen Alterungsbedingungen unterworfen wird, damit sichergestellt ist, dass das Diagnoseverfahren zur Ermittlung des Lebensdauerendes bei der Prüfung wirksam ist. Die Alterungstemperatur sollte so gewählt werden, dass das Lebensdauerende innerhalb von 48 h erreicht wird. Häufig ist dafür eine Alterungstemperatur erforderlich, die mindestens um 100 K höher liegt als die vorgesehene Klassentemperatur. Diese gealterten Prüflinge müssen alle vorgesehenen Diagnoseverfahren durchlaufen, damit sichergestellt ist, dass das Verfahren sich dazu eignet, in dem speziellen Laboratorium und bei den speziellen Prüfobjekten eine thermische Schädigung zu ermitteln.

Die Ergebnisse dieser extremen Alterung werden nicht als Teil der thermischen Alterungsdaten angesehen.

3.4 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

Die kalten Prüfobjekte (mit Raumtemperaturen) sollten unmittelbar in die vorgeheizten Öfen gebracht werden, so dass sie bei jedem Zyklus einen entsprechenden Temperaturschock erleiden. Ebenso sollten die heißen Prüfobjekte unmittelbar aus den Öfen an Raumtemperatur gebracht werden, damit sie bei der Abkühlung einem gleichartigen Temperaturschock wie bei der Aufheizung unterworfen werden.

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. Für das Erprobungs-System und für das Referenz-System müssen dieselben Belüftungsverhältnisse im Ofen aufrechterhalten werden.

Falls im tatsächlichen Betrieb die Abbauprodukte in Kontakt mit der Isolierung bleiben, wie es bei vollständig geschlossenen Maschinen der Fall sein kann, sollten die Prüfungen so geplant werden, dass diese Stoffe durch die Ofenbelüftung nicht vollständig entfernt werden. Im Idealfall sollte sich die Konzentration der Abbauprodukte nicht mit der Alterungstemperatur ändern, was jedoch im praktischen Versuch nicht verwirklicht sein dürfte. Der Anteil der Luft, der während der thermischen Alterung ausgetauscht wird, muss im Prüfbericht angegeben werden.

In Abhängigkeit von den verfügbaren Prüfeinrichtungen, von der Art der eingesetzten Prüfobjekte oder von anderen Faktoren dürfen andere Verfahren zur Aufheizung oder zur Behandlung der Abbauprodukte angewendet werden.

Darüber hinaus kann bei der thermischen Alterung, die periodisch für Diagnoseprüfungen zur Ermittlung der thermischen Schädigung unterbrochen wird, zusätzlich eine thermisch-mechanische Schädigung eines Isoliersystems durch das Ausdehnen und das Zusammenziehen während der Temperaturzyklen hervorgerufen werden.

3.5 Diagnostischer Unterzyklus

Im Anschluss an jeden Unterzyklus der thermischen Alterung müssen an jedem Prüfling eine Reihe ausgewählter Diagnoseprüfungen ausgeführt werden, die falls erforderlich und in nachstehender Reihenfolge mechanische Beanspruchungen, Anwendung von Feuchte, Spannungsprüfungen und andere diagnostische Untersuchungen einschließen dürfen.

3.5.1 Mechanische Prüfungen

Es wird empfohlen, dass die angewandte mechanische Beanspruchung von derselben Art ist, wie von Betriebserfahrungen her bekannt, und von einer Schärfe, die mit den höchsten Beanspruchungen oder Spannungszuständen im Betrieb vergleichbar ist. Das Verfahren zur Anwendung dieser Beanspruchung darf für jeden Prüflingstyp und je nach vorgesehener Betriebsart unterschiedlich sein.

Ein weit verbreitetes Verfahren zur Anwendung mechanischer Beanspruchung besteht darin, jedes Prüfobjekt auf einen Rütteltisch zu montieren und es eine Stunde lang mit einer 50-Hz- oder 60-Hz-Schwingbewegung zu betreiben. Auch andere Verfahren, wie z. B. wiederholte Schlagbeanspruchung oder Biegung, werden angewendet.

Als Verfahren zur mechanischen Beanspruchung von Wicklungen in tatsächlichen Maschinen darf auch ein Start-Stop- oder ein Drehrichtungsumkehr-Zyklus angewendet werden. Es kann dadurch jedoch eine mechanische Alterung eingeleitet werden. Da dieser Einfluss mit wachsender Maschinengröße stärker ins Gewicht fällt, muss er berücksichtigt werden.

3.5.2 Feuchteprüfungen

In vielen Fällen wird Feuchte als Hauptgrund für die Veränderung von Eigenschaftswerten der elektrischen Isolierung angesehen. Sie kann bei elektrischer Beanspruchung unterschiedliche Arten von Isolationsversagen verursachen. Bei fester Isolierung führt die Fechteaufnahme nach und nach zu einem Ansteigen der dielektrischen Verluste und zu einer Verminderung des Isolationswiderstandes, und sie kann zu einer Änderung der elektrischen Festigkeit beitragen. Feuchte auf der Isolierung verbessert die Eignung einer Spannungsprüfung zur Aufdeckung von Rissen und Löchern in der Isolierung.

Es ist üblich, innerhalb des Diagnose-Unterzyklus eine Feuchteprüfung anzuwenden. Bei dieser Prüfung wird jedes Objekt in feuchter Atmosphäre gelagert, so dass sich Feuchte auf der Oberfläche niederschlägt. Während dieser Zeitspanne sollten die Prüflinge nicht an Spannung liegen.

Häufig angewendet wird eine Prüfung von zwei Tagen Dauer, bei der sichtbar Feuchte auf den Isolierungsoberflächen lagert, was eine schärfere Bedingung als diejenige ist, die im normalen Betrieb auftritt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine Lagerungszeit von mindestens 48 h erforderlich ist, damit die Feuchte in die Isolierung eindringt und der Isolationswiderstand einen ziemlich konstanten Wert annimmt.

3.5.3 Spannungsprüfungen

Um den Zustand der Prüflinge zu ermitteln und um festzustellen, wann deren Lebensdauer erreicht worden ist, wird als Teil des ausgewählten Diagnose-Unterzyklus Spannung angelegt. Höhe und Kurvenform der anzulegenden Spannung sind in den nachfolgenden Teilen dieser Norm festgelegt. Wenn Spannung mit Netzfrequenz vorgeschrieben ist, muss die Frequenz im Bereich von 49 Hz bis 62 Hz liegen.

Je nach Erfordernis darf die Spannung zwischen Spule und Erde, zwischen Spulen, zwischen Windungen und zwischen Drähten angelegt werden. Falls eine Feuchteprüfung erfolgt, wird die Spannung angelegt, wenn die Prüflinge noch von der Lagerung her feucht sind und angenähert Raumtemperatur haben.

In bestimmten Fällen kann vorhandene Oberflächenfeuchtigkeit eine normale Spannungsprüfung verhindern; in derartigen Fällen dürfen die Wassertröpfchen unmittelbar vor der Spannungsprüfung von der Prüflingsoberfläche weggewischt werden. Es muss dafür Sorge getragen werden, dass die Isoliersysteme nicht durch unbeabsichtigte Schaltspannungen mit transienten Spannungsschößen beansprucht werden.

Ein Durchschlag in irgendeiner Komponente des Isoliersystems bedeutet das Versagen des gesamten Prüflings und bestimmt das Ende der Prüf-Lebensdauer.

Ein Durchschlag bei irgendeiner Spannungsprüfung wird durch eine ungewöhnliche Stromstärke angezeigt. Ebenso können eine örtliche Aufheizung oder das Vorhandensein von Rauch einen Ausfall anzeigen. Geringfügiges Spratzen und Glimmen auf der Oberfläche sollte im Prüfbericht vermerkt werden, bedeutet jedoch keinen Ausfall.

Die Prüfeinrichtung muss eine ausreichende Leistung zum Erzeugen und zum Auffinden eines Durchschlags haben.

3.5.4 Andere diagnostische Prüfungen

Es kann wünschenswert sein, im Verlauf der Untersuchungen an einigen Prüflingen periodische, praktisch zerstörungsfreie Messungen des Isolierzustandes vorzunehmen. Solche Messgrößen sind zum Beispiel: Isolationswiderstand, Verlustfaktor und Teilentladungen. Aus den bei diesen Messungen festgestellten Veränderungen gegenüber dem Ausgangszustand und deren Beziehung zu der Zeit vor dem Versagen können Rückschlüsse auf den Alterungsprozess in der Isolierung gezogen werden.

Außerdem dürfen einige andere diagnostische Prüfungen zur Bestimmung des Endes der Prüf-Lebensdauer angewendet werden, entweder, um Spannungsprüfungen zu ergänzen oder zu ersetzen. Für jede Diagnoseprüfung darf ein Kriterium für das Ende der Lebensdauer festgelegt und mit entsprechender Begründung im Prüfbericht niedergelegt werden.

3.6 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung

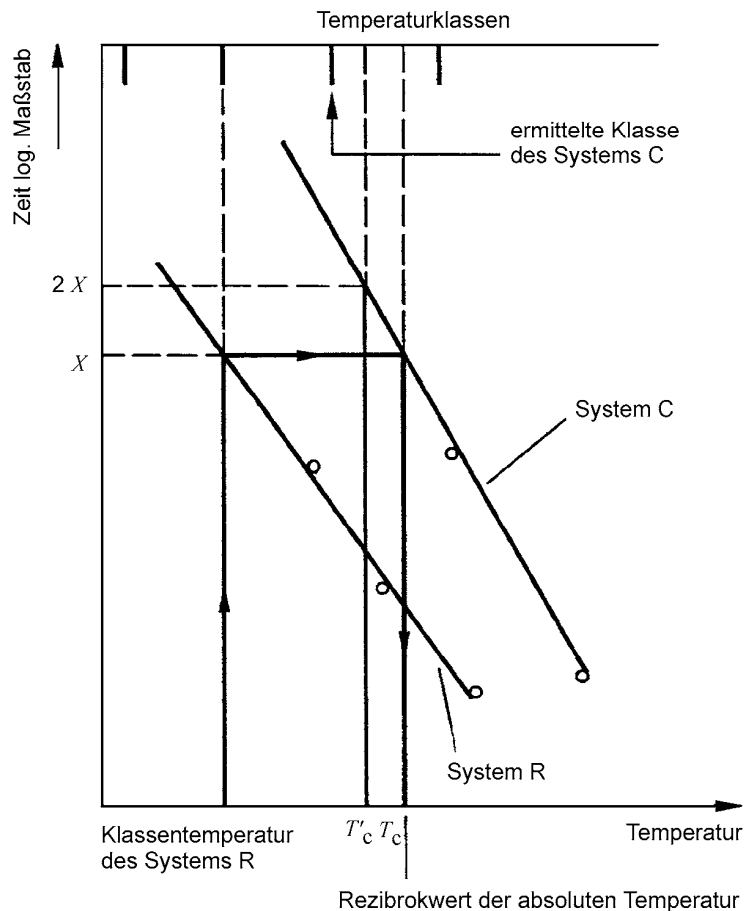


Bild 1 – Arrhenius-Diagramm zum Vergleich eines Erprobungs-Systems C mit einem Referenz-System R

Die Regressionslinie des Referenz-Systems (R) in Bild 1 muss bis zur zugehörigen Klassentemperatur verlängert werden, wodurch der logarithmische Mittelwert der Prüf-Lebensdauer (X) erhalten wird. Im Normalfall, wenn gefordert wird, dass das Erprobungs- und das Referenz-System dieselbe Lebensdauer im Betrieb erreichen, muss eine Temperatur (T_c) auf der Regressionslinie des Erprobungs-Systems (C) ermittelt werden, die mit derselben Prüf-Lebensdauer (X) übereinstimmt. Die Klassentemperatur des Erprobungs-Systems ist die nächst niedrigere Temperatur (gleich oder niedriger als T_c) in Tabelle 1, und aus dieser Tabelle wird die Klasse der Isolierung bestimmt.

In Sonderfällen, wenn die geforderten Betriebslebensdauern des Erprobungs- und des Referenz-Systems unterschiedlich sein sollen, muss die Temperatur T'_c auf der Regressionslinie des Erprobungs-Systems so liegen, dass sie einer Lebensdauer entspricht, die in demselben Verhältnis abweicht (z. B.: Falls vom Erprobungs-System eine zweifache Betriebs-Lebensdauer gefordert wird, so wird T'_c auf der Regressionslinie des Erprobungs-Systems bei einer Prüf-Lebensdauer ermittelt, die zweimal so groß ist wie die des Referenz-Systems bei seiner Klassentemperatur). Die Klassentemperatur des Erprobungs-Systems ist wiederum die nächst niedrigere Temperatur (gleich oder niedriger als T'_c) in Tabelle 1 aus der die Klasse der Isolierung bestimmt wird.

Falls die thermische Lebensdauerkurve leicht gekrümmt ist, so ist das ein Hinweis darauf, dass die Alterung durch mehr als einen chemischen Prozess oder Ausfallmechanismus beeinflusst wird.

Ein ausgeprägter Knick in der Kurve weist jedoch auf eine starke Änderung beim vorherrschenden Alterungsmechanismus hin. Dann kann die Klassifizierung nur aufgrund des unteren Temperaturbereiches der Kurve vorgenommen werden, deren Aussagekraft dadurch verstärkt werden kann, dass ein zusätzlicher Prüfwert bei einer niedrigeren oder einer Zwischentemperatur ermittelt wird. Es kann notwendig sein, aufgrund von Erfahrungen zu beurteilen, ob der Zeit- und der Kostenaufwand für weitere Untersuchungen

gerechtfertigt sind oder ob das Erprobungs-System ungeeignet ist, die angestrebte Klassifizierungs-Temperatur zu erreichen, und verworfen werden muss.

3.7 Standard-Prüfverfahren

Fünf Standard-Prüfverfahren sind in den Abschnitten 4 bis 8 angegeben. Der Anwender dieser Norm muss das Prüfverfahren auswählen, das dem Wicklungstyp und der Maschinengröße, die zu prüfen und zu klassifizieren sind, am besten gerecht wird, wobei auch die vorhandenen Prüfeinrichtungen und vorliegende Erfahrung zu berücksichtigen sind.

4 Verfahren 1: Motoretten-Prüfverfahren

4.1 Allgemeines

4.1.1 Verfahren 1

Dieses Verfahren, bei dem Modelle des Typs „MOTORETTE“ als Prüfobjekte verwendet werden, ist als IEC 60034-18-21, Verfahren 1 zu kennzeichnen.

4.1.2 Allgemeine Grundlagen

Das Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit besteht aus mehreren Zyklen. Jeder Zyklus enthält:

- einen thermischen Alterungs-Unterzyklus;
- einen diagnostischen Unterzyklus, der – in dieser Reihenfolge ausgeführt – eine mechanische Prüfung, eine Feuchteprüfung mit gekühltem Prüfling und eine Spannungsprüfung einschließt.

4.2 Prüfobjekte

4.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Bei diesem Verfahren wird das zu bewertende Isoliersystem durch ein als MOTORETTE bezeichnetes Prüfobjekt nachgebildet.

Die Motorette muss so aufgebaut sein, dass sie alle wesentlichen Bauteile enthält, und sie sollte möglichst gut das vollständige Wicklungs-Isoliersystems nachbilden.

Ein Beispiel einer Motorette, wie sie zur Prüfung der Isolierung einer Wicklung mit Drähten verwendet wird, ist in Anhang A beschrieben. Die Motorette bildet sowohl ungeordnet gewickelte oder auch konzentrische Wicklungen in genuteten Ständern nach.

Wenn konzentrische Wicklungen zu qualifizieren sind, sollten vorzugsweise Motoretten mit Polwicklungen nach Anhang B angewendet werden.

4.2.2 Anzahl der Prüfobjekte

Für jedes Isoliersystem sollten bei jeder Alterungstemperatur mindestens zehn Motoretten geprüft werden.

4.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die folgenden Qualitätssicherungs-Prüfungen ausgeführt werden:

- visuelle Prüfung der Prüfobjekte;
- Spannungsprüfungen nach IEC 60034-1;
- Wechsellspannungsprüfung Leiter gegen Leiter mit 400 V; Fehlererkennung durch einen 50 mA Überstromauslöser.

4.2.4 Vorhergehende diagnostische Prüfungen

Jedes vollständig fertig gestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus den in 4.4 aufgeführten diagnostischen Prüfungen unterworfen werden.

4.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

4.3.1 Alterungstemperaturen und Dauer von Unterzyklen

Es müssen die in 3.3.2 angegebenen Verfahren angewendet werden.

4.3.2 Heizeinrichtungen

Es müssen Alterungsöfen nach 3.3.3 verwendet werden.

4.3.3 Alterungsverfahren

Die Motoretten müssen zu Beginn des Alterungs-Unterzyklus in den aufgeheizten Alterungsöfen eingelagert und am Ende des Unterzyklus sofort aus dem Ofen genommen und auf Raumtemperatur gebracht werden.

Um die Auswirkungen von Unterschieden zwischen den tatsächlichen Alterungstemperaturen bei den einzelnen Motoretten so klein wie möglich zu halten, sollte die räumliche Lage der Prüflinge im Alterungsöfen bei aufeinander folgenden Wärmealterungs-Unterzyklen nach dem Zufallsprinzip verändert werden.

4.4 Diagnostischer Unterzyklus

4.4.1 Mechanische Prüfung

Im Anschluss an jeden Unterzyklus der thermischen Alterung wird jede Motorette nach der Abkühlung auf Raumtemperatur 1 h lang auf einem Rütteltisch mechanisch beansprucht.

Die Motoretten werden in der Weise montiert, dass die Bewegung senkrecht zur Spulenfläche erfolgt, so dass die Spulenenden zu Schwingungen angeregt werden, wie sie in einem tatsächlichen Motor unter dem Einfluss radialer Kräfte im Wickelkopf auftreten. Diese Schwingungsprüfung wird bei Raumtemperatur ohne elektrische Spannungsbeanspruchung ausgeführt.

Vorzugsweise wird mit einer Schwingungsamplitude gearbeitet, die einer Beschleunigung von 1,5 g entspricht (Amplitude Spitze/Spitze: 0,2 mm bei 60 Hz oder 0,3 mm bei 50 Hz). Falls die im Betrieb auftretenden Beanspruchungen zu einer größeren Schwingungsamplitude führen, muss diese angewendet und im Prüfbericht angegeben werden (siehe 3.5.1).

4.4.2 Feuchteprüfung

Nach 3.5.2 muss eine Feuchteprüfung von mindestens 48 h Dauer ausgeführt werden. Während der Feuchteeinwirkung müssen auf der Wicklung Wassertröpfchen mit weniger als 3 mm, aber nicht mehr als 5 mm im Durchmesser zu erkennen sein. Die Motoretten müssen annähernd Raumtemperatur – im Bereich von 15 °C bis 35 °C – haben. Die tatsächlichen Motoretten-Temperaturen müssen im Prüfbericht angegeben werden. Während der Feuchtelagerung werden die Prüflinge elektrisch nicht beansprucht. Beispiele für Einrichtungen für derartige Prüfungen sind in Anhang C aufgeführt.

Es muss das Verfahren mit gekühlten Prüfobjekten angewendet werden. Siehe Anhang C, C.2.

4.4.3 Spannungsprüfung

Um den Zustand der Prüflinge zu kontrollieren und um festzustellen, wann das Ende der Prüf-Lebensdauer erreicht ist, wird nach jeder der aufeinander folgenden Feuchtelagerungen netzfrequente Spannung nach Tabelle 3 an die Prüflinge gelegt:

Tabelle 3 – Prüfspannungen bei Verfahren 1

Nennspannung im Betrieb	Empfohlene netzfrequente Prüfspannung (in Volt, Effektivwerte)		
	gegen Erde	zwischen Spulen	zwischen Leitern *)
110 bis 400	400	400	110
401 bis 690	690	690	110
> 690	$2 U_N$	$2 U_N$	110
*) zulässiger Spannungsbereich; der gewählte Wert sollte jedoch unverändert angewendet werden.			

Die gegen Erde und zwischen Spulen angelegte Prüfspannung sollte mit dem oberen Grenzwert des Spannungsbereiches übereinstimmen, für den das Isoliersystem vorgesehen ist. Ein Spannungswert, der von 660 V abweicht, darf angewendet werden, um z. B. den Gebrauch von Prüfwerten zu ermöglichen, die bei 600 V ermittelt wurden. Zur Bestimmung des Endes der Prüf-Lebensdauer darf mit anderen Prüfspannungen, für die Versuchserfahrungen vorliegen, gearbeitet werden, wenn sichergestellt ist, dass diese in jedem Falle sowohl für das Referenz- als auch für das Erprobungs-Isoliersystem angewendet werden. Abweichungen von den in Tabelle 1 genannten Werten müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Die Spannungen werden 10 min lang angelegt; dabei befinden sich die Prüflinge noch in der Feuchte-kammer und sind feucht. Nacheinander werden in den entsprechenden Prüfkreisen jeweils 10 min lang die vorgesehenen Prüfspannungen angewendet, und zwar zunächst die Spannung zwischen den parallel gewickelten Leitern, dann die Spannung zwischen allen Spulen und schließlich die Spannung zwischen den Spulen und Erde. Um unbeabsichtigte Hochspannungs-Impulse auszuschließen, wird vorgeschlagen, in den Prüfkreis Überspannungsableiter einzubauen.

Aufgrund von Erfahrungen sind bei der Motoretten-Prüfung die Kennwerte der zur Fehlererkennung verwendeten Schalter von sehr großer Bedeutung. Siehe Anhang A, Abschnitt A.3.

4.4.4 Andere diagnostische Prüfungen

Es dürfen auch andere diagnostische Prüfungen ausgeführt werden, siehe 3.5.4.

4.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung

Es müssen die in 3.6 angegebenen Verfahren angewendet werden. Auf zusätzliche Einzelheiten, über die berichtet werden muss, wird in 4.4.1 und 4.4.3 hingewiesen.

5 Verfahren 2: Motor-Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

5.1.1 Verfahren 2

Dieses Verfahren, bei dem komplette Motoren als Prüfobjekte verwendet werden, ist als IEC 60034-18-21, Verfahren 2 zu kennzeichnen.

5.1.2 Allgemeine Grundlagen

Das Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit besteht aus mehreren Zyklen. Jeder Zyklus enthält:

- einen thermischen Alterungs-Unterzyklus;
- einen diagnostischen Unterzyklus, der eine Feuchteprüfung einschließen darf. Während des Betriebes des Motors liegt fortwährend Spannung an, die gleichzeitig als Diagnosefaktor dient.

Bei Prüfungen, die bei Temperaturen oberhalb der normalen Betriebstemperatur ausgeführt werden, tritt eine größere thermomechanische Beanspruchung und eine größere Konzentration von Zersetzungsprodukten auf. Es ist auch bekannt, dass Schäden, die durch außergewöhnlich große mechanische oder elektrische Beanspruchungen verursacht worden sind, sich im allgemeinen hinsichtlich ihrer Merkmale von denen unterscheiden, die nach langer Betriebszeit auftreten.

Wegen der Unterschiede bei den Kontrollen von Haupt-Prüfparametern, bei den Fertigungsverfahren und bei den Prüfarten für Motoren ist es außerordentlich schwierig, Motor-Prüfungen in einer Versuchseinrichtung mit denen in einer anderen zu vergleichen. Es ist bei diesem Verfahren beabsichtigt, Motor-Isoliersysteme aus einem Fertigungsbereich und in einer Versuchseinrichtung miteinander zu vergleichen.

Obgleich komplette Motoren untersucht werden, dürfen die Ergebnisse nicht dazu verwendet werden, um ohne Einschränkungen eine Lebensdauer bei Normalbetrieb zu ermitteln. Die Untersuchungen können lediglich als Mittel zur Klassifizierung durch den Vergleich von Isoliersystemen verwendet werden.

5.2 Prüfobjekte

5.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Die Prüfobjekte sind komplette Motoren. Ein Motor darf zur Verlängerung seiner mechanischen Lebensdauer für die Prüfung verändert werden. Um seine Erwärmung zu vergrößern, dürfen unterschiedliche Verfahren

unter der Voraussetzung angewendet werden, dass keinerlei Änderungen am Isoliersystem oder an dessen unmittelbarer Umgebung vorgenommen werden.

Bei Untersuchungen an kompletten Motoren werden die Prüfergebnisse durch die Abmessungen der Bauelemente und durch die Fertigungsverfahren beim Wickeln und bei der Formgebung beeinflusst. Daher sollten die Fertigungsverfahren mit denjenigen übereinstimmen, die während der normalen Fertigung angewendet werden oder vorgesehen sind.

5.2.2 Anzahl der Prüfobjekte

Bei jeder Alterungstemperatur und für jedes Isoliersystem sollten jeweils mindestens fünf Motoren untersucht werden.

5.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die folgenden Qualitätssicherungs-Prüfungen ausgeführt werden:

- visuelle Prüfung vor dem Zusammenbau des Motors;
- Spannungsprüfungen nach IEC 60034-1.

5.2.4 Vorhergehende diagnostische Prüfungen

Jedes vollständig fertig gestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus den diagnostischen Prüfungen nach 5.4 unterworfen werden.

5.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

5.3.1 Alterungstemperaturen und Dauer von Unterzyklen

Es müssen die in 3.2.2 angegebenen Verfahren angewendet werden.

Die Prüf-Temperaturen müssen mit Hilfe der Widerstandsmethode ermittelt werden. Zur Kontrolle dürfen Thermoelemente angebracht werden. Nachdem die Alterungstemperatur erreicht worden ist, sollte die Temperatur daraufhin überwacht werden, ob die in 3.3.3 festgelegte Genauigkeit eingehalten wird. Falls die Temperatur eines Motors merklich vom Mittelwert der bei einheitlicher Temperatur laufenden Gruppe abweicht, sollte dies im Prüfbericht angegeben und bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse berücksichtigt werden.

5.3.2 Heizeinrichtungen

In welcher Weise die Wärme erzeugt wird, ergibt sich aus der Art des verwendeten Motors und der verfügbaren Laboreinrichtung. Höhere als die normalen Wicklungstemperaturen dürfen dadurch erreicht werden, dass die Verlustleistung des Motors vergrößert wird, z. B. durch eine der folgenden Maßnahmen: Vergrößerung des Luftspalts, Anlauf und Drehrichtungsumkehr des Motors, Überlagerung des normalen Wechselstromes mit Gleichstrom oder durch Erhöhung der Temperatur der Umgebungsluft des Motors. Zur Temperaturregelung während des Wärmealterungs-Abschnittes innerhalb des Zyklus dürfen die Motoren mit normaler Spannung und Frequenz betrieben werden, wobei eine elektrische Regelung dafür sorgt, dass sie automatisch anlaufen und anhalten oder dass in bestimmten Zeitabständen die Drehrichtung umgekehrt wird. Andere vertretbare Mittel zur Temperaturregelung sind automatische Spannungsänderungen, Einstellen der Temperatur der umgebenden Luft oder Kombinationen von beiden.

Die Art und Weise der Aufheizung muss im Prüfbericht ausführlich beschrieben werden.

Bei Einphasen-Motoren müssen während des Wärmealterungs-Abschnittes innerhalb des Zyklus wenigstens 250 Anlauf-Halt-Schaltungen je Tag ausgeführt werden. Während des Anlaufs ist die Stromdichte in der Anlaufwicklung eines Einphasen-Motors weit größer als in der Hauptwicklung. Während jedes Anlaufs kann sie eine um 10 K bis 30 K höhere Temperatur als die Hauptwicklung erreichen. Um sicherzustellen, dass die ordnungsgemäße Beanspruchung beim maßgebenden Wicklungsteil des Isoliersystems auftritt, sollte eine angemessene Anzahl von Anläufen ausgeführt werden.

Bei Mehrphasen-Motoren müssen während des Wärmealterungs-Abschnittes innerhalb des Zyklus mindestens 1 000 Anläufe oder Drehrichtungs-Umkehrungen ausgeführt werden. Häufig wird die elektrische Verlustleistung bei der Drehrichtungsumkehr zur Aufrechterhaltung der erhöhten Temperaturen eingesetzt; dabei darf die Anzahl der täglichen Drehrichtungswechsel weit größer als 1 000 sein. Bei Untersuchungen mit der höchsten Alterungstemperatur ist die Gesamt-Beanspruchungszeit relativ kurz, wodurch während der Prüf-Lebensdauer auch nur eine relativ kleine Anzahl von Drehrichtungswechseln erreicht wird. Bei der

tieftesten Alterungstemperatur darf die Beanspruchungszeit 16 bis 20mal so lang sein wie bei der höchsten Temperatur. Große Unterschiede bei der Gesamtanzahl der Motor-Anläufe können die Neigung der Zeit-Temperatur-Kurve innerhalb eines Zyklus beeinflussen. Daher wird empfohlen, dass die Anzahl der Drehrichtungswechsel bei der niedrigen Alterungstemperatur höchstens zweimal so groß ist wie bei der hohen Temperatur. Für den Idealfall sollte eine gleichgroße Anzahl von Drehrichtungswechseln bei allen Alterungstemperaturen angestrebt werden.

5.3.3 Alterungsverfahren

Während des thermischen Alterungs-Zyklus werden die Motoren nach 5.3.2 betrieben. Die Aufheizzeit wird als Teil der thermischen Alterungs-Periode angesehen, die Abkühlphase dagegen nicht. Am Ende des Alterungs-Unterzyklus dürfen die Motoren vor dem Beginn des diagnostischen Unterzyklus auf Raumtemperatur abkühlen. Die Abkühlung darf dadurch beschleunigt werden, dass die Motoren eine Zeit lang im Leerlauf betrieben werden, wobei bei Maschinen mit offenem Kühlluftkreis die Lüftung nicht behindert wird.

5.3.4 Mechanische Beanspruchungen während des thermischen Alterungs-Unterzyklus

Bei der Untersuchung von kompletten Motoren ergeben sich mechanische Beanspruchungen durch normale Schwingungen des laufenden Motors sowie beim Anlauf und/oder bei der Drehrichtungsumkehr. Mechanische Stoßbeanspruchungen treten beim Anlauf und beim Wechsel der Drehrichtung auf. Die mit doppelter Netzfrequenz wirkende Schwingungsamplitude darf durch Vergrößerung des Luftspalts erhöht werden. In der Wicklung sind stärkere Kräfte als Folge der großen Ströme beim Anlauf und bei der Drehrichtungsumkehr der Motoren wirksam. Während der Prüfung treten diese mechanischen Kräfte bei erhöhten Temperaturen auf.

Die Art des Betriebes und die Schwingwerte sollten im Prüfbericht angegeben werden.

Die zu prüfenden Motoren sollten entweder starr befestigt werden oder auf Rütteltischen montiert sein, die alle Motoren einheitlich mit Stößen beanspruchen. Die Art der Montage muss im Prüfbericht angegeben werden. Die Prüflinge, die das Erprobungs-Isoliersystem enthalten, müssen in derselben Weise aufgestellt werden wie die Prüflinge mit dem Referenz-System.

5.4 Diagnostischer Unterzyklus

5.4.1 Feuchteprüfung

Es muss eine Feuchteprüfung von mindestens 48 h Dauer angewendet werden. Ausgenommen sind vollständig geschlossene Maschinen (Schutzart IP44 oder höher) und Gleichstrommaschinen, für die eine Feuchteprüfung nicht unbedingt gefordert wird. Auf den Wicklungen müssen während der Feuchteeinwirkung Wassertröpfchen erkennbar sein; größere Wasserflächen dürfen nicht auftreten. Um sichtbaren Feuchteeniederschlag zu erreichen, sollte das Isoliersystem während der gesamten Lagerungszeit eine Temperatur unterhalb des Taupunktes der umgebenden feuchten Atmosphäre haben. Zur Erfüllung dieser Forderung wird vorzugsweise eine Kondensations-Kammer mit gekühlten Prüflingen nach Anhang C, C.2, eingesetzt.

Bei größeren Motoren kann es jedoch schwierig sein, diese zu transportieren oder in einer Einrichtung für Feuchteprüfungen aufzustellen, oder es steht eine solche Einrichtung nicht zur Verfügung. Andere Verfahren zur Anwendung von Feuchte sind: Aufstellung des Motors innerhalb einer geschlossenen Haube oder Verwendung eines normalen Feuchteraumes oder einer Nebelkammer.

Falls vollständig geschlossene Maschinen untersucht werden, sollten die Abdeckhauben oder die Deckel der Anschlusskästen entfernt werden, oder es sollten für die Feuchtelagerung Öffnungen in den Gehäusen vorgesehen werden.

Während der Feuchtelagerung werden die Prüflinge elektrisch nicht beansprucht.

5.4.2 Spannungsprüfung

Die diagnostische Spannungsprüfung wird während des thermischen Alterungs-Unterzyklus ausgeführt.

Die Motoren sollten unmittelbar nach der Feuchteprüfung, wenn die Wicklungen noch feucht sind, in Betrieb genommen werden. Bei Maschinen, die vor der Inbetriebnahme wieder zusammengebaut werden müssen, sollten vor dem Zusammenbau die noch feuchten Wicklungen 10 min lang mit netzfrequenter Hochspannung gegen Erde geprüft werden, und zwar mit der höchsten Nennspannung. Wenigstens während eines Teils des thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die Motoren mit ihrer höchsten auf dem Leistungsschild angegebenen Spannung betrieben werden. Es sollte eine über eine Strombegrenzungs-Drosselspule geerdete Spannungsquelle verwendet und das Motorgehäuse geerdet werden, so dass die Spannungsbeanspruchungen während des gesamten Abschnitts der thermischen Alterung innerhalb des Zyklus wirksam sind. Um den elektrischen Durchschlag der Isolierung gegen Erde erkennen zu können, sollte ein Meldekreis

für den Strom nach Erde eingesetzt werden. Bei diesen Untersuchungen wird der Endpunkt der Motor-Lebensdauer durch den elektrischen Durchschlag der Wicklungsisolierung bei angelegter Nennspannung festgelegt. Bei einem Einphasen-Motor kann wahlloses Anlaufen in irgendeiner Drehrichtung auf einen Ausfall der Anlaufwicklung hinweisen.

Um unbeabsichtigte Hochspannungsimpulse auszuschließen, wird vorgeschlagen, in den Prüfkreis Überspannungsableiter einzubauen.

5.4.3 Andere diagnostische Prüfungen

Die Motoren dürfen einer Vergleichsprüfung mit wiederholter Stoßspannung unterworfen werden, wobei nacheinander alle Wicklungen oder Phasen des Motors beansprucht werden. Da die Stoßspannungen auch die Isolierung gegen Erde beanspruchen, darf keine Spannung angewendet werden, die höher ist als der Scheitelwert der Prüfspannung gegen Erde nach IEC 60034-1.

Es dürfen auch andere diagnostische Prüfungen ausgeführt werden, siehe 3.5.4

5.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung

Es müssen die in 3.6 angegebenen Verfahren angewendet werden.

Auf zusätzliche Einzelheiten, über die berichtet werden muss, wird in 5.3.1 und 5.3.2 hingewiesen.

6 Verfahren 3: Prüfverfahren für Ständerwicklungen in Nuten

6.1 Allgemeines

6.1.1 Verfahren 3

Dieses Verfahren, bei dem in Nuten angeordnete Wicklungen als Prüfobjekte verwendet werden, ist als IEC 60034-18-21, Verfahren 3 zu kennzeichnen.

6.1.2 Allgemeine Grundlagen

Das Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit besteht aus mehreren Zyklen. Jeder Zyklus enthält:

- einen thermischen Alterungs-Unterzyklus;
- einen diagnostischen Unterzyklus, der – in dieser Reihenfolge ausgeführt – eine mechanische Prüfung, eine Feuchteprüfung und eine Spannungsprüfung einschließt.

6.2 Prüfobjekte

6.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Die Prüfobjekte sind normal gefertigte Wicklungen oder Wicklungsteile in Ständern aus normaler Fertigung.

Jedes Prüfobjekt darf aus mehreren Einzel-Prüflingen bestehen.

Ein Prüfling muss so aufgebaut sein, dass die Windungsisolierung, die Isolierung zwischen Spulen und die Isolierung der Spulen gegen Erde geprüft werden kann.

Die Prüfobjekte müssen bei der Herstellung den normalen oder den vorgesehenen Fertigungsprozess durchlaufen.

6.2.2 Anzahl der Prüfobjekte

Bei jeder Alterungstemperatur sollten für jedes Isoliersystem mindestens zehn Prüflinge, die zu wenigstens zwei Prüfobjekten gehören, geprüft werden.

6.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Vor Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die folgenden Qualitätssicherungs-Prüfungen ausgeführt werden:

- visuelle Prüfung der Prüfobjekte;
- Spannungsprüfungen nach IEC 60034-1.

6.2.4 Vorhergehende diagnostische Prüfungen

Jedes vollständig fertig gestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus den diagnostischen Prüfungen nach 6.4 unterworfen werden.

6.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

6.3.1 Alterungstemperaturen und Dauer von Unterzyklen

Es müssen die in 3.3.2 angegebenen Verfahren angewendet werden.

6.3.2 Heizeinrichtungen

Je nach Gegebenheit dürfen Alterungsöfen nach 3.3.3 oder innere Widerstandsheizung angewendet werden.

6.3.3 Alterungsverfahren

Bei der Verwendung von Öfen müssen die Prüfobjekte zu Beginn des Alterungs-Unterzyklus direkt in den aufgeheizten Alterungsöfen eingebaut werden und am Ende des Unterzyklus sofort aus dem Ofen genommen und an Raumtemperatur gebracht oder mit entsprechenden Mitteln gekühlt werden.

Nach Möglichkeit sollten die Prüfobjekte nach dem Zufallsprinzip im Ofen verteilt werden, siehe 4.3.3.

6.4 Diagnostischer Unterzyklus

6.4.1 Mechanische Prüfungen

Vor Prüfbeginn müssen die Prüfobjekte nahezu auf Raumtemperatur abgekühlt sein.

Das Verfahren zum Erzeugen der mechanischen Beanspruchungen muss im Prüfbericht beschrieben werden. Es darf ein Rütteltisch verwendet werden.

Die mechanischen Beanspruchungen müssen mindestens die gleiche Intensität wie kurzzeitig im Betrieb auftretende Kräfte haben und von gleicher Art sein.

Die mechanischen Beanspruchungen müssen mit der kurzzeitig wirkenden Kraft in mindestens 1 000 Schwingungszyklen aufgebracht werden.

ANMERKUNG Um elektrodynamische Kräfte zu erzeugen, die mindestens so groß wie bei der Drehrichtungsumkehr des Motors sind, darf eine Überstrom-Prüfung angewendet werden.

6.4.2 Feuchteprüfung

Nach 3.5.2 muss eine Feuchteprüfung von mindestens 48 h Dauer ausgeführt werden. Während der Feuchteeinwirkung müssen auf den Wicklungen Wassertröpfchen zu erkennen sein; größere Wasserflächen dürfen nicht auftreten. Die Prüfobjekte müssen ungefähr Raumtemperatur – im Bereich von 15 °C bis 35 °C – haben. Die tatsächliche Temperatur des Prüfobjekts muss im Prüfbericht angegeben werden. Während der Feuchtelagerung werden die Prüflinge elektrisch nicht beansprucht. Die bevorzugte Einrichtung zur Anwendung von Feuchte ist in Anhang C, C.1, beschrieben.

6.4.3 Spannungsprüfung

Um den Zustand der Prüflinge zu kontrollieren und um festzustellen, wann das Ende der Prüf-Lebensdauer erreicht ist, sollte nach jeder der aufeinander folgenden Feuchteeinwirkungen in folgender Weise Spannung an die Prüflinge gelegt werden:

Die Prüfspannungen sollten nach Tabelle 1 ausgewählt werden. Zur Ermittlung des Endes der Prüf-Lebensdauer dürfen andere, auf Prüferfahrungen beruhende Prüfspannungen angewendet werden, wenn diese Spannungen fortlaufend sowohl für das Referenz- als auch für das Erprobungs-Isoliersystem beibehalten werden. Gegenüber Tabelle 1 geänderte Werte müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Nacheinander ist jeweils eine Prüfspannung von 10 min Dauer zwischen den Windungen, zwischen den Spulen und zwischen den Spulen und Erde anzulegen. Die Spannung muss angelegt werden, wenn die Prüflinge von der Feuchtelagerung her noch feucht sind – vorzugsweise wenn sie sich noch in der Feuchtekammer befinden – und näherungsweise Raumtemperatur haben. Um unbeabsichtigte Hochspannungs-Impulse auszuschließen, wird vorgeschlagen, in den Prüfkreis Überspannungsableiter einzubauen.

6.4.4 Andere diagnostische Prüfungen

Es dürfen auch andere diagnostische Prüfungen ausgeführt werden, siehe 3.5.4.

6.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung

Es müssen die in 3.6 angegebenen Verfahren angewendet werden.

Auf zusätzliche Einzelheiten, über die berichtet werden muss, wird in 6.4.1, 6.4.2 und 6.4.3 hingewiesen.

7 Verfahren 4: Prüfverfahren für Polwicklungen

7.1 Allgemeines

7.1.1 Verfahren 4

Dieses Verfahren, bei dem Polwicklungen als Prüfobjekte verwendet werden, ist als IEC 60034-18-21, Verfahren 4 zu kennzeichnen.

7.1.2 Allgemeine Grundlagen

Das Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit besteht aus mehreren Zyklen. Jeder Zyklus enthält:

- einen thermischen Alterungs-Unterzyklus;
- einen diagnostischen Unterzyklus, der – in dieser Reihenfolge ausgeführt – eine mechanische Prüfung, eine Feuchteprüfung und eine Spannungsprüfung einschließt.

7.2 Prüfobjekte

7.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Das bei diesem Prüfverfahren verwendete Prüfobjekt bildet das Isoliersystem von auf einem Pol montierten Feldspulen nach. Es muss so aufgebaut sein, dass alle wesentlichen Elemente enthalten sind, und es sollte möglichst weitgehend das gesamte Wicklungs-Isoliersystem darstellen.

Ein Beispiel einer Modellanordnung für die Untersuchung der Isolierung von ungeordnet gewickelten Ständer-Feldspulen ist in Anhang B beschrieben. Es dürfen, falls gewünscht, normale Teile von Polen aus der Fertigung verwendet werden, und das kann in manchen Fällen erforderlich sein, wenn die in den Polspulen entwickelten Beanspruchungen Verbiegungen des Polrahmens bewirken. Eine derartige Bewegung würde zu unzulässigen Abweichungen von den tatsächlichen Betriebsbedingungen führen.

7.2.2 Anzahl der Prüfobjekte

Bei jeder Alterungstemperatur und für jedes Isoliersystem müssen mindestens zehn Prüfobjekte untersucht werden.

7.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Vor Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die folgenden Qualitätssicherungs-Prüfungen ausgeführt werden:

- visuelle Prüfung der Prüfobjekte;
- Spannungsprüfungen nach IEC 60034-1.

7.2.4 Vorhergehende diagnostische Prüfungen

Jedes vollständig fertig gestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus den diagnostischen Prüfungen nach 7.4 unterworfen werden.

7.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

7.3.1 Alterungstemperaturen und Dauer von Unterzyklen

Es müssen die in 3.3.2 angegebenen Verfahren angewendet werden.

7.3.2 Heizeinrichtungen

Es müssen Alterungsöfen nach 3.3.3 verwendet werden.

7.3.3 Alterungsverfahren

Die Prüfobjekte müssen zu Beginn des Alterungs-Unterzyklus direkt in den aufgeheizten Alterungsöfen eingebaut werden und am Ende des Unterzyklus sofort aus dem Ofen genommen und an Raumtemperatur gebracht werden.

Nach Möglichkeit sollten die Prüfobjekte nach dem Zufallsprinzip im Ofen verteilt werden, siehe 4.3.3.

7.4 Diagnostischer Unterzyklus

7.4.1 Mechanische Prüfung

Im Anschluss an jeden Unterzyklus der thermischen Alterung und nach der Abkühlung auf Raumtemperatur muss jeder Prüfling mechanisch beansprucht werden.

Es ist empfehlenswert, dass die angewendete mechanische Beanspruchung von derselben Art ist, wie sie von Betriebserfahrungen her bekannt ist, und von einer Schärfe, die mit den höchsten im normalen Betrieb zu erwartenden Belastungen vergleichbar ist.

Die normale Prüfung für Ständerspulen ist – in Übereinstimmung mit 3.5.1 – die Rütteltisch-Prüfung. Die Prüflinge sollten so montiert werden, dass die Bewegung senkrecht zur Ebene jeder Leiterwindung erfolgt, so dass die Spulenenden zu Schwingungen angeregt werden, wie sie in einer normal gefertigten Maschine unter dem Einfluss radialer Kräfte im Wickelkopf auftreten. Diese Schwingungsprüfung sollte bei Raumtemperatur ohne elektrische Spannungsbeanspruchung erfolgen. Die Prüflinge müssen 1 h lang zu Schwingungen angeregt werden. Vorzugsweise ist eine Schwingungsamplitude anzuwenden, die einer Beschleunigung von 1,5 g (15 m/s^2) entspricht, d. h. es sollten Amplituden (Spitze/Spitze) von 0,3 mm bei 50 Hz bzw. 0,2 mm bei 60 Hz eingestellt werden. Falls nach den vorgenannten allgemeinen Richtlinien eine größere Amplitude erforderlich ist, muss sie angewendet und im Prüfbericht angegeben werden.

Falls nach den erwähnten allgemeinen Richtlinien irgendein anderes Verfahren gewählt wird, muss es im Prüfbericht ausführlich beschrieben und seine Auswahl begründet werden. So können z. B. Spulen von Läufern mit ausgeprägten Polen zur Nachbildung der im Betrieb auftretenden Fliehkräfte in Drehung versetzt werden.

7.4.2 Feuchteprüfung

Es muss eine Feuchteprüfung von mindestens 48 h Dauer ausgeführt werden. Während der Feuchteeinwirkung müssen auf den Wicklungen Wassertröpfchen zu erkennen sein; größere Wasserflächen dürfen nicht auftreten. Die Prüfobjekte müssen ungefähr Raumtemperatur – im Bereich von 15 °C bis 35 °C – haben. Die tatsächliche Temperatur des Prüfobjekts muss im Prüfbericht angegeben werden. Siehe Anhang C.

7.4.3 Spannungsprüfung

Um den Zustand der Prüflinge zu kontrollieren und um festzustellen, wann das Ende der Prüf-Lebensdauer erreicht ist, muss nach jeder Feuchtelagerung mit netzfrequenter Spannung geprüft werden.

Zur Bestimmung des Endes der Prüf-Lebensdauer darf mit anderen Prüfspannungen, für die Versuchserfahrungen vorliegen, gearbeitet werden, wenn sichergestellt ist, dass diese in jedem Falle sowohl für das Referenz- als auch für das Erprobungs-Isoliersystem angewendet werden. Abweichungen von den angegebenen Werten müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Nacheinander ist jeweils eine Prüfspannung von 10 min Dauer zwischen den Windungen, falls möglich zwischen den Spulen und zwischen den Spulen und Erde anzulegen. Die Spannung muss angelegt werden, wenn die Prüflinge von der Feuchtelagerung her noch feucht sind – vorzugsweise, wenn sie sich noch in der Feuchteammer befinden – und näherungsweise Raumtemperatur haben. Um unbeabsichtigte Hochspannungsimpulse auszuschließen, wird vorgeschlagen, in den Prüfkreis Überspannungsisolatoren einzubauen.

Tabelle 4 – Prüfspannungen

Empfohlene netzfrequente Prüfspannung (in Volt, Effektivwerte)		
Nennspannung der Feldwicklung	zwischen Spulen oder Spule gegen Erde	zwischen Leitern ^{*)}
≤ 35	200	110
36 bis 250	500	110
251 bis 690	1 380	110
> 690	2 U_N	110
*) Zulässiger Spannungsbereich; der gewählte Wert sollte jedoch unverändert angewendet werden.		

7.4.4 Andere diagnostische Prüfungen

Es dürfen auch andere diagnostische Prüfungen ausgeführt werden, siehe 3.5.4.

7.5 Auswertung, Prüfbericht und Klassifizierung

Es müssen die in 3.6 angegebenen Verfahren angewendet werden. Auf zusätzliche Einzelheiten, über die berichtet werden muss, wird in 7.3.1, 7.3.2 und 7.3.3 hingewiesen.

8 Verfahren 5: Prüfverfahren für Läuferwicklungen in Nuten

8.1 Allgemeines

8.1.1 Verfahren 5

Dieses Verfahren, bei dem in Läuferfalten angeordnete Wicklungsspulen verwendet werden, ist als IEC 60034-18-21, Verfahren 5 zu kennzeichnen.

8.1.2 Allgemeine Grundlagen

Das Prüfverfahren zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit besteht aus mehreren Zyklen. Jeder Zyklus enthält:

- einen thermischen Alterungs-Unterzyklus;
- einen diagnostischen Unterzyklus, der – in dieser Reihenfolge ausgeführt – eine mechanische Prüfung, eine Feuchteprüfung und eine Spannungsprüfung einschließt.

8.2 Prüfobjekte

8.2.1 Aufbau der Prüfobjekte

Die Erfahrung hat gezeigt, dass im Falle von Ankerwicklungen mit Drähten (Läufer von Gleichstrommaschinen) das am besten geeignete Prüfobjekt zur Bewertung des Isoliersystems der Läufer selbst ist, da hier alle gewünschten Eigenschaften des gewickelten Rotors vorhanden sind. Daher werden als Prüfobjekte normal gefertigte Wicklungen oder Wicklungsteile in Läuferfalten verwendet.

Während des Zusammenbaus des Prüfobjekts sollten beim Einbringen der Isolierung, beim Wickeln der Spulen und bei der Harz- oder Lackbehandlung die normalen Verfahren der Läuferfertigung angewendet werden. Schaltverbindungen sollten so ausgeführt werden, dass es möglich ist, 1) zwischen den Windungen, 2) zwischen den Spulen und 3) zwischen den Spulen und Erde dielektrische Prüfungen oder Isolationszustands-Messungen auszuführen, und zwar im Allgemeinen in dieser Reihenfolge, um möglichst viele Messdaten zu erhalten. Wegen dieser Untersuchungen darf sich die Anordnung der Schaltverbindungen von der normalen Ausführung unterscheiden. Für Kommutatormaschinen wird eine Verbindungstechnik vorgeschlagen, bei der jede Spule an derselben Kommutatorlamelle beginnt und endet. Dadurch entsteht zwar eine nicht funktionsfähige Wicklung, jedoch sind die Spulen gegeneinander isoliert, so dass Messungen ausgeführt werden können. Um bestimmte Prüfvorhaben zu verwirklichen, dürfen zur Isolierung von Windungen oder Spulen andere Schaltverbindungs-Anordnungen verwendet werden. Die bei den Untersuchungen benutzten Anordnungen müssen im Prüfbericht angegeben werden.

Der Aufbau des Kommutators und die dafür verwendeten Werkstoffe sind für das Prüfobjekt von großer Bedeutung. Das Ziel der Untersuchungen kann ausschließlich die Bewertung der Läuferwicklungs-Isolierung sein, und deshalb darf vorzugsweise das Verhalten des Kommutators unberücksichtigt bleiben. Grund dafür können Unterschiede in den Kühlanordnungen und damit bei den Erwärmungen von Wicklung und Kommutator sein. Daher dürfen die für die Wicklung und für den Kommutator ausgewählten Werkstoffe unterschiedliche thermische Beständigkeit haben. In diesem Falle darf eine Vorrichtung verwendet werden, die den Kommutator hinsichtlich der geforderten Spulenanschlüsse und Messungen ersetzt.

Falls das Ziel der Untersuchungen eine Bewertung von Wicklung und Kommutator im Zusammenbau sein sollte, sind gewöhnlich – besonders bei kleinen Prüfobjekten – einige Veränderungen am Kommutator erforderlich, damit zuverlässige Messungen und brauchbare Daten gewährleistet sind. Wegen der Verwendung von nicht isoliertem Kupfer und wegen der kleinen Abstände zwischen den Kommutatorlamellen, zwischen Lamellen und Schaltverbindungen sowie zwischen Lamellen und geerdeten Teilen, die durch den Aufbau und die Wirkungsweise des Kommutators gegeben sind, kann es während der Spannungsprüfung zu Überschlügen oder zu unzulässigen Einbrennungen bei den Isolierungen kommen. Zur Verminderung der Prüfbeanspruchungen darf übermäßige von der Feuchtelagerung stammende Nässe auf der Kommutatoroberfläche vor der Spannungsprüfung durch vorsichtiges Anblasen mit Druckluft oder durch Abwischen beseitigt werden. Es kann auch erforderlich sein, die Kommutatoroberfläche und nicht isolierte Schaltverbindungen zu versiegeln.

8.2.2 Anzahl der Prüflinge

Bei jeder Alterungstemperatur und für jedes Isoliersystem sollten mindestens zehn Prüflinge untersucht werden. Ein Läufer darf so gewickelt werden, dass er mehr als ein Isoliersystem enthält; jedes muss entsprechend gekennzeichnet und isoliert sein. Vorzugsweise dürfen für die Untersuchungen bei jeder Alterungstemperatur mehrere Läufer mit unterschiedlichen Isoliersystemen gewickelt werden.

8.2.3 Qualitätssicherungs-Prüfungen

Vor Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus müssen die folgenden Qualitätssicherungs-Prüfungen ausgeführt werden:

- visuelle Prüfung der Prüfobjekte;
- Spannungsprüfungen nach IEC 60034-1.

8.2.4 Vorhergehende diagnostische Prüfungen

Jedes vollständig fertig gestellte Prüfobjekt muss vor dem Beginn des ersten thermischen Alterungs-Unterzyklus den diagnostischen Prüfungen nach 8.4 unterworfen werden.

8.3 Thermischer Alterungs-Unterzyklus

8.3.1 Alterungstemperaturen und Dauer von Unterzyklen

Es müssen die in 3.3.2 angegebenen Verfahren angewendet werden.

8.3.2 Heizeinrichtungen

Es müssen Öfen nach 3.3.3 verwendet werden.

8.3.3 Alterungsverfahren

Die Prüfobjekte müssen zu Beginn des Alterungs-Unterzyklus direkt in den aufgeheizten Ofen eingebaut werden und am Ende des Unterzyklus sofort aus dem Ofen genommen und auf Raumtemperatur gebracht werden.

Nach Möglichkeit sollten die Prüfobjekte nach dem Zufallsprinzip im Ofen verteilt werden, siehe 4.3.3.

8.4 Diagnostischer Unterzyklus

8.4.1 Mechanische Prüfung

Die Läufer-Prüfanordnung wird mechanisch beansprucht, indem der Läufer zur Nachbildung der betriebsmäßigen Zentrifugalkräfte gedreht wird, indem bei normal gefertigten Maschinen eine Drehrichtungsumkehr erfolgt oder durch eine Schwingungsprüfung von 1 h Dauer. Das angewendete Verfahren muss im Prüfbericht angegeben werden.