

	DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
ICS 29.035.01 Ersatz für DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26):2004-12 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 6: Bestimmung der thermischen Langzeitkennwerte (<i>TI</i> und <i>RTE</i>) eines Isolierstoffes unter Anwendung des Festzeitrahmenverfahrens (IEC 60216-6:2006); Deutsche Fassung EN 60216-6:2006 Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 6: Determination of thermal endurance indices (<i>TI</i> and <i>RTE</i>) of an insulating material using the fixed time frame method (IEC 60216-6:2006); German version EN 60216-6:2006 Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 6: Détermination des indices d'endurance thermique (<i>TI</i> et <i>RTE</i>) d'un matériau isolant en utilisant la méthode de „trame de durées fixes (fixed time frame)“ (CEI 60216-6:2006); Version allemande EN 60216-6:2006 Gesamtumfang 54 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2006-09-01 angenommene EN 60216-6 gilt als DIN-Norm ab 2007-06-01.

Daneben darf **DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26):2004-12** noch bis 2009-09-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26):2005-08.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 183 „Bewertung und Qualifizierung von elektrischen Isolierstoffen und Isoliersystemen“ (AK 183.0.1 „Thermische Prüfungen“) der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (<http://www.dke.de>) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 112 „Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26):2004-12** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Die neue Ausgabe wurde durch einen Anhang G „Computerprogramme“ einschließlich der zugehörigen Software ergänzt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 60216-6 (VDE 0304-26):2004-12

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
HD 437 S1	IEC 60212	DIN IEC 60212 (VDE 0308-1)	VDE 0308-1
EN 60216-1:2001	IEC 60216-1:2001	DIN EN 60216-1 (VDE 0304-21):2002-09	VDE 0304-21
EN 60216-2	IEC 60216-2	DIN EN 60216-2 (VDE 0304-22)	VDE 0304-22
EN 60216-3:2002	IEC 60216-3:2002	DIN EN 60216-3 (VDE 0304-23):2002-10	VDE 0304-23
–	IEC 60216-4-1	–	–
EN 60216-4-2	IEC 60216-4-2	DIN EN 60216-4-2 (VDE 0304-24-2)	VDE 0304-24-2
EN 60216-4-3	IEC 60216-4-3	DIN EN 60216-4-3 (VDE 0304-24-3)	VDE 0304-24-3
EN 60216-5	IEC 60216-5	DIN EN 60216-5 (VDE 0304-25)	VDE 0304-25
–	IEC 60493-1:1974	–	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60216-1 (VDE 0304-21):2002-09, *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 1: Warmlagerungsverfahren und Auswertung von Prüfergebnissen (IEC 60216-1:2001); Deutsche Fassung EN 60216-1:2001*

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):2002-10, *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 3: Anweisungen zur Berechnung thermischer Langzeitkennwerte (IEC 60216-3:2002); Deutsche Fassung EN 60216-3:2002*

DIN EN 60216-4-2 (VDE 0304-24-2), *Elektroisolierstoffe – Thermische Langzeiteigenschaften – Teil 4-2: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Präzisionswärmeschränke für Temperaturen bis 300 °C*

DIN EN 60216-4-3 (VDE 0304-24-3), *Elektroisolierstoffe – Thermische Langzeiteigenschaften – Teil 4-3: Wärmeschränke für die Warmlagerung – Mehrkammerwärmeschränke*

DIN EN 60216-5 (VDE 0304-25), *Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 5: Bestimmung des relativen thermischen Lebensdauer-Indexes (RTE) von Elektroisolierstoffen*

DIN IEC 60212 (VDE 0308-1), *Standardbedingungen für die Anwendung vor und während der Prüfung von festen Elektroisolierstoffen*

– Leerseite –

Elektroisolierstoffe –
Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens –
Teil 6: Bestimmung der thermischen Langzeitkennwerte (*TI* und *RTE*)
eines Isolierstoffes unter Anwendung des Festzeitrahmenverfahrens
(IEC 60216-6:2006)

Electrical insulating materials –
Thermal endurance properties –
Part 6: Determination of thermal
endurance indices (*TI* and *RTE*)
of an insulating material using
the fixed time frame method
(IEC 60216-6:2006)

Matériaux isolants électriques –
Propriétés d'endurance thermique –
Partie 6: Détermination des indices
d'endurance thermique (*TI* et *RTE*)
d'un matériau isolant en utilisant la
méthode de „trame de durées fixes
(fixed time frame)“
(CEI 60216-6:2006)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2006-09-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

© 2006 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60216-6:2006 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 112/28/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 60216-6, ausgearbeitet von dem IEC/TC 112 „Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2006-09-01 als EN 60216-6 angenommen.

Diese Europäische Norm ersetzt EN 60216-6:2004.

Die wesentlichen technischen Änderungen im Hinblick auf EN 60216-6:2004 sind wie folgt:

Die vorliegende neue Ausgabe wurde durch einen neu hinzugekommenen Anhang G sowie der zugehörigen Software ergänzt.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2007-06-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2009-09-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60216-6:2006 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe, Bezeichnungen, Formelzeichen und Abkürzungen	6
3.1 Begriffe, Abkürzungen und Bezeichnungen	6
3.2 Symbole und Kurzbezeichnungen.....	9
4 FTFM-Protokoll	10
4.1 Grundgedanken und Zielsetzung	10
4.1.2 Zweck des FTFM-Rahmenplanes	10
5 Bestimmung des T_I	11
5.1 Alterungsverfahren	11
5.2 Alterungszeiten und -temperaturen	11
5.3 Probekörper	11
5.4 Bewertungsprüfungen	13
5.5 Auswahl der Grenzwerte	13
5.6 Festlegung des Ausgangswertes einer Eigenschaft	13
5.7 Alterungsbedingungen.....	13
5.8 Verfahren für die Alterung	14
6 Berechnungsverfahren	14
6.1 Allgemeine Grundregeln.....	14
6.2 Genauigkeit der Berechnungen.....	16
6.3 Ableitung von Temperaturen äquivalent zu Eigenschaftswerten	16
6.4 Bestimmung der Regression (Temperatur über der Zeit)	19
6.5 Statistische Überprüfungen	21
6.6 Thermisches Langzeitdiagramm	23
7 Berechnung und Anforderungen an die Ergebnisse	23
7.1 Berechnung der thermischen Langzeitkennwerte.....	23
7.2 Dokumentation der Ergebnisse	24
8 Prüfbericht	24
9 Bestimmung des RTE	25
10 Zusätzliche Formelzeichen.....	25
11 Untersuchungsverfahren	26
11.1 Auswahl des Vergleichsmaterials.....	26
11.2 Auswahl der Bewertungsprüfung für den Umfang der Alterung.....	26
11.3 Verfahren für die Alterung	26
12 Berechnungsverfahren	26
12.1 Allgemeine Grundregeln.....	26
12.2 Eingabewerte.....	26

	Seite
12.3 RTE.....	27
12.4 Vertrauensgrenzen	27
12.5 Extrapolation	29
13 Ergebnisse und Prüfbericht	29
13.1 Ergebnisse der statistischen und numerischen Prüfungen	29
13.2 Untersuchungsergebnis	29
13.3 Prüfbericht.....	30
Anhang A (normativ) Flussdiagramm des Entscheidungsablaufes	31
Anhang B (normativ) Tabelle des Entscheidungsablaufes	32
Anhang C (informativ) Statistische Tabellen	33
Anhang D (informativ) Empfohlene Alterungszeiten und -temperaturen	37
Anhang E (informativ) Bilder	38
Anhang F (normativ) Statistische Signifikanz der Differenz zwischen zwei Erwartungswerten für die Regression.....	41
Anhang G (informativ) Computerprogramme zu IEC 60216-6	42
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	50
 Bild E.1 – Diagramm der Eigenschaftswerte über der Temperatur mit Regressionsgerade	 38
Bild E.2 – Thermisches Langzeitdiagramm	38
(Genauer Erwartungswert für TI und durchschnittlicher Wert für HIC).....	39
Bild E.3 – Alterungszeiten und -temperaturen in Bezug auf das thermische Langzeitdiagramm.....	39
Bild E.4 – Lagerungszeiten und -temperaturen in Bezug auf das thermische Langzeitdiagramm	39
Bild E.5 – Lagerungszeiten und -temperaturen in Bezug auf das thermische Langzeitdiagramm	40
Bild G.1 – Thermisches Langzeitdiagramm	48
 Tabelle B.1 – Entscheidungstabelle.....	 32
Tabelle C.1 – χ^2 -Verteilung	33
Tabelle C.2 – t -Verteilung	33
Tabelle C.3 – F -Verteilung; $P = 0,05$	34
Tabelle C.4 – F -Verteilung; $P = 0,005$	35
Tabelle D.1 – Alterungstemperaturen und Alterungsdauer.....	37

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60216 legt die versuchstechnischen Verfahren und die Verfahren zur Berechnung fest, die bei der Bestimmung der thermischen Langzeitkennwerte Temperaturindex (TI) und relativer thermischer Beständigkeitsindex (RTE) eines Werkstoffs unter Verwendung des „Festzeitraahmenverfahrens“ (FTFM) angewendet werden.

Nach diesem Protokoll erfolgt die Alterung über eine kleine Anzahl festgelegter Zeitintervalle, wobei eine geeignete Anzahl von Alterungstemperaturen während jedes Intervalls angewandt wird. Die Eigenschaften der Probekörper werden am Ende des jeweiligen Intervalls gemessen. Dies weicht von dem in IEC 60216-1 verwendeten Verfahren ab, bei dem die Alterung bei einer kleinen Anzahl von festgelegten Temperaturen durchgeführt wird und die Ermittlung der Eigenschaftswerte nach Lagerungszeiten erfolgt, die von dem Fortschreiten der Alterung abhängen.

Die diagnostischen Prüfungen, die im Festzeitraahmenverfahren Verwendung finden, sind auf destruktive Prüfungen beschränkt. Das Verfahren wurde bisher noch nicht auf nicht-zerstörende Verfahren oder Schwellenwertprüfverfahren angewendet.

Beide Langzeitkennwerte TI und RTE , die entsprechend dem FTFM-Protokoll ermittelt wurden, erhält man aus den Versuchsdaten, die in Übereinstimmung mit den Anweisungen in IEC 60216-1 und IEC 60216-2 und den in dieser Norm festgelegten Modifizierungen hierzu erzielt wurden. Die Berechnungsverfahren und die statistischen Tests wurden gegenüber denjenigen nach IEC 60216-3 und IEC 60216-5 abgeändert.

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 60212:1971, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60216-1:2001, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IEC 60216-2, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 2: Choice of test criteria*

IEC 60216-3:2002, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

IEC 60216-4-1, *Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials – Part 4: Ageing ovens – Section 1: Single-chamber ovens*

IEC 60216-4-2, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-2: Ageing ovens – Precision ovens for use up to 300 °C*

IEC 60216-4-3, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-3: Ageing ovens – Multi-chamber ovens*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material.*

IEC 60493-1:1974, *Guide for the statistical analysis of ageing test data – Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results*

3 Begriffe, Bezeichnungen, Formelzeichen und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe, Bezeichnungen, Formelzeichen und Abkürzungen.

3.1 Begriffe, Abkürzungen und Bezeichnungen

3.1.1

festgelegter thermischer Beständigkeitsindex *ATE*

Zahlenwert der Temperatur in Grad Celsius, bis zu der das Vergleichsmaterial bekannte, hinreichende Gebrauchseigenschaften bei der vorgesehenen Anwendung aufweist

ANMERKUNG 1 Der *ATE* kann für ein bestimmtes Material bei verschiedenen Anwendungen des Werkstoffes unterschiedlich sein.

ANMERKUNG 2 Der *ATE* wird manchmal auch als „absoluter“ thermischer Beständigkeitsindex bezeichnet.

3.1.2

Alterungstemperatur

Temperatur in Grad Celsius, bei der eine Gruppe von Probekörpern thermisch gealtert wird

3.1.3

Grenzwerttemperatur

Temperatur in Grad Celsius, bei der für einen Probekörper das Erreichen des Grenzwertes nach Alterung über eine festgelegte Zeit erwartet wird

3.1.4

Untersuchungsmaterial

Material, für dessen thermische Beständigkeit ein Erwartungswert bestimmt werden soll

ANMERKUNG Die Bestimmung wird durch gleichzeitige Wärmealterung dieses Materials und eines Vergleichsmaterials vorgenommen.

3.1.5

zweites zentrales Moment einer Gruppe von Werten

Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Einzelwerten und dem Mittelwert dieser Gruppe, dividiert durch die Anzahl der Werte dieser Gruppe

3.1.6

95 %-Vertrauensgrenze

statistische Größe, die aus Messwerten berechnet wird und die mit einer Zuverlässigkeit von 95 % eine untere oder obere Grenze für den wahren Wert einer Größe festlegt, wie diese aufgrund einer statistischen Bewertung zu erwarten ist

ANMERKUNG 1 Dies bedeutet, dass es eine Wahrscheinlichkeit von nur 5 % dafür gibt, dass der wahre Wert der erwarteten Größe tatsächlich größer oder kleiner ist als die Vertrauensgrenzen.

ANMERKUNG 2 In einem anderen Zusammenhang können manchmal andere Vertrauensgrenzen als 95 % verwendet werden, z. B. bei der Prüfung auf Linearität bei zerstörenden Prüfungen.

3.1.7

Vergleichsmaterial

Material mit bekanntem festgelegtem thermischem Beständigkeitsindex (*ATE*), der vorzugsweise aus Betriebserfahrungen ermittelt wurde, das als Bezugsgröße für vergleichende Prüfungen mit dem Untersuchungsmaterial verwendet wird

3.1.8

Korrelationskoeffizient

Zahl, die ausdrückt, wie vollständig die Beziehung zwischen den Gliedern zweier Datenreihen ist. Sie wird erhalten aus der Kovarianz, dividiert durch die Quadratwurzel aus dem Produkt der Varianzen der Reihen

ANMERKUNG 1 Der Wert des Quadrates dieser Zahl liegt zwischen 0 (keine Korrelation) und 1 (vollständige Korrelation).

ANMERKUNG 2 In dieser Norm sind die beiden Gesamtheiten gegeben durch die Werte der unabhängigen Variablen und die Mittelwerte der zugehörigen Gruppen von abhängigen Variablen.

3.1.9

Korrelationszeit von RTE

die erwartete Zeit des Erreichens des Grenzwerts des Vergleichsmaterials bei einer seinem ATE entsprechenden Temperatur in °C

3.1.10

Korrelationszeit von TI

die theoretische Zeit bis zum Erreichen des Grenzwertes; sie wird verwendet, um TI zu berechnen

ANMERKUNG Üblicherweise liegt dieser Wert bei 20 000 h.

3.1.11

Kovarianz (von Gruppen von Werten)

für zwei Gruppen von Werten mit gleicher Anzahl von Elementen, wobei jedem Element in einer Gruppe ein Element in der anderen zugeordnet werden kann, ist die Kovarianz die Summe der Produkte der Abweichungen zweier einander zugeordneter Elemente von den jeweiligen Gruppenmittelwerten, geteilt durch die Anzahl der Freiheitsgrade

3.1.12

Freiheitsgrade

Anzahl der Einzelwerte, vermindert um die Anzahl der Parameterwerte

3.1.13

zerstörende Prüfung

bewertende Eigenschaftsprüfung, bei der der Probekörper durch die Eigenschaftsmessung in einer Weise irreversibel verändert wird, die eine wiederholende Messung an dem gleichen Probekörper ausschließt

ANMERKUNG Ein Beispiel für einen zerstörenden Test ist die Messung der elektrischen Festigkeit. Ein Beispiel für einen nicht-zerstörenden Test ist die Messung von $\tan \delta$.

3.1.14

Grenzwertlinie

Gerade parallel zur Temperaturachse, die die Achse für die Eigenschaftswerte bei dem Grenzwert schneidet

3.1.15

Halbzeitintervall HIC

Zahlenwert des Temperaturintervalls in Kelvin, das eine Halbierung der Ausfallzeit ausdrückt, gemessen zu einem Zeitpunkt, der TI entspricht

3.1.16

Regressionsanalyse

Verfahren zur Herleitung der am besten angepassten Geraden, die die Beziehung zwischen jeweils einander zugeordneten Elementen zweier Gruppen von Werten ausdrückt, durch Minimierung der Summe der Quadrate der Abweichungen der Elemente einer der Gruppen von der Geraden

3.1.17

Regressionskoeffizienten

Koeffizienten der durch Regressionsanalyse erhaltenen Gleichung der Ausgleichsgeraden

3.1.18

relativer thermischer Beständigkeitsindex RTE

Erwartungswert für die thermische Beständigkeit eines Untersuchungsmaterials, erhalten durch gleichzeitige Wärmealterung mit dem Vergleichsmaterial, wie in dieser Norm beschrieben

ANMERKUNG Der Wert des *RTE* entspricht dem Wert der Temperatur in Grad Celsius, bei der der zu erwartende Grenzwert des Untersuchungsmaterials der gleiche ist, wie der zu erwartende Grenzwert für das Vergleichsmaterial bei einer Temperatur, die dessen *ATE* entspricht.

3.1.19

Signifikanz

Wahrscheinlichkeit, dass der Wert einer statistischen Funktion größer ist als ein festgelegter Wert

ANMERKUNG Der Wert entspricht $(1 - p)$ wobei p dem kumulierten Wert der Verteilungsfunktion entspricht. Die Signifikanz wird üblicherweise in Großbuchstaben angegeben (P).

3.1.20

Standardabweichung

Quadratwurzel aus der Varianz einer Gruppe oder Untergruppe von Werten

3.1.21

Standardfehler des Erwartungswertes für den wahren Wert einer Eigenschaft aus einer Gruppe von Werten

Wert der Standardabweichung einer hypothetischen Probengesamtheit, von der die Gruppeneigenschaft als Element angesehen werden kann

ANMERKUNG Für den Erwartungswert des Gruppenmittelwertes ist der Standardfehler gleich der Standardabweichung der Gruppe, geteilt durch die Quadratwurzel der Anzahl der Einzelwerte in dieser Gruppe, und gibt ein Maß für die Unsicherheit des wahren Mittelwertes an. Die vorliegende Norm befasst sich nur mit Mittelwerten und dem Unterschied von zwei Mittelwerten.

3.1.22

Temperaturindex *TI*

Zahlenwert der Temperatur in Grad Celsius, der aus der thermischen Langzeitbeziehung für eine Zeit von 20 000 h (oder eine andere festgelegte Zeit) erhalten wird

3.1.23

Temperaturgruppe (von Probekörpern)

Anzahl von Probekörpern, die gemeinsam der gleichen Wärmealterung bei der gleichen Temperatur im gleichen Wärmeschränk unterzogen werden

ANMERKUNG Wenn die Gefahr einer Zweideutigkeit nicht besteht, können sowohl Temperaturgruppen als auch Prüfgruppen einfach als „Gruppen“ bezeichnet werden.

3.1.24

Prüfgruppe (von Probekörpern)

Anzahl von Probekörpern, die zusammen aus einer Temperaturgruppe zur zerstörenden Prüfung entnommen wurden

ANMERKUNG Wenn die Gefahr einer Zweideutigkeit nicht besteht, können sowohl Temperaturgruppen als auch Prüfgruppen einfach als „Gruppen“ bezeichnet werden

3.1.25

thermisches Langzeitdiagramm

Diagramm, in dem der Logarithmus der Zeit zum Erreichen eines festgelegten Grenzwertes bei einer thermischen Langzeitprüfung gegen den Kehrwert der thermodynamischen (absoluten) Temperatur aufgetragen ist

3.1.26

thermisches Langzeitdiagramm-Papier

Diagrammpapier mit einer logarithmischen Zeitskala als Ordinate und Werten entsprechend dem Kehrwert der thermodynamischen (absoluten) Temperatur als Abszisse

ANMERKUNG Die Ordinate ist üblicherweise unterteilt in Potenzen von 10 (von 10 h bis 100 000 h ist ein oft üblicher Bereich). Die Abszisse ist üblicherweise in eine nicht-lineare Skala für die (Celsius-)Temperatur unterteilt, wobei die Temperaturwerte von links nach rechts zunehmen.

3.1.27**Zeit-Gruppen (von Probekörpern)**

alle Prüfgruppen, die zur selben Zeit für Prüfzwecke entnommen wurden

3.1.28**Varianz einer Gruppe von Werten**

Summe der Quadrate der Abweichungen der Werte von einer Bezugsgröße, die durch einen oder mehrere Parameter festgelegt ist, geteilt durch die Anzahl der Freiheitsgrade

ANMERKUNG Die Bezugsgröße kann beispielsweise ein Mittelwert (1 Parameter) oder eine Gerade (2 Parameter, hier Abschnitt auf der Achse der unabhängigen Variablen und Steigung) sein.

3.2 Symbole und Kurzbezeichnungen

Die folgenden Symbole werden in den Berechnungen von [Abschnitt 5](#), [6](#), [7](#) und [12](#) verwendet.

Symbol	Beschreibung	Abschnitt
a	Regressionskoeffizient: Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der x -Achse	6.4.3
b	Regressionskoeffizient: Steigung der Regressionsgeraden in Beziehung zur y -Achse	6.4.3
b_t	Parameter, abgeleitet aus b , zur Berechnung von $\hat{Y}_c$	6.5.3
b_p	Regressionskoeffizient für die Berechnung zerstörender Prüfungen	6.3.4
c	Parameter bei der Berechnung von χ^2	6.5.1
F	F -Verteilung des Varianzverhältnisses für Linearitätsprüfungen	6.3.3, 6.5.2
g, h, i, j	kennzeichnende Parameter für Regressionsberechnungen	6.3, 6.4
HIC	Halbzeitintervall	7.1
k	Anzahl der Alterungszeiten	6.1.1
N	Gesamtzahl der x_{ij} -Werte	6.4.2
n_i	Anzahl der x_{ij} -Werte in der Zeitgruppe i	6.1.1
P	Signifikanz des Wertes einer statistischen Testfunktion	Anhänge A, B und C
p_e	Grenzwert des Eigenschaftswertes	6.3
p_{gh}	Eigenschaftswert h in der Temperaturgruppe g (Zeitgruppe i mit inbegriffen)	6.3
$\bar{p}_g$	Mittelwert der Eigenschaft in Temperaturgruppe g (Zeitgruppe i mit inbegriffen)	6.3
q	Basis der Logarithmen bei der Berechnung von χ^2	6.5.1
r	Anzahl der in Zeitgruppe i ausgewählten Temperaturgruppen	6.3.2
r^2	Quadrat des Korrelationskoeffizienten	6.4.3
s^2	zusammengefasste Varianz der x -Werte (unabhängig von der Regression)	6.5.2
s_{1g}^2	Varianz der Eigenschaftswerte in Temperaturgruppe g (Zeitgruppe i inbegriffen)	6.3.2

Symbol	Beschreibung	Abschnitt
s_a^2	Wert von s^2 , zum Erreichen einer zulässigen Nichtlinearität angepasst	6.5.2
s_T^2	aus s^2 abgeleiteter Parameter zur Berechnung von $\hat{Y}_c$	6.5.3
t	stochastische Variable nach Student's t -Verteilung	6.5.3
TC, TC_a	untere Vertrauensgrenze von TI oder TI_a (siehe oben: s_a^2)	7.1
$t_{p,N}$	Wert von t mit der Wahrscheinlichkeit p und N Freiheitsgraden	6.5.3
x_{ij}	Wert von x mit der Indexnummer j in der Zeitgruppe i	6.3.4
$\bar{x}$	gemeinsamer Mittelwert der x -Werte	6.4.2
$\hat{X}, \hat{X}_c$	Erwartungswert von x und seine zugehörige Vertrauensgrenze	6.5.3
y_i	Wert von y für die Zeitgruppe i	6.1.1
$\bar{y}$	gemeinsamer Mittelwert der y -Werte	6.4.2
$\hat{Y}, \hat{Y}_c$	Erwartungswert für y und seine zugehörige Vertrauensgrenze	6.5.3
z_{ij}	Kehrwert der Temperatur in Kelvin für ϑ_{ij}	6.1.1
$\mu_2(y)$	zweites zentrales Moment der y -Werte	6.4.2
ν	Gesamtzahl der Eigenschaftswerte in einer Zeitgruppe (i mit inbegriffen)	6.3.2
χ^2	Variable nach der χ^2 -Verteilung für (Bartlett's) Prüfung auf Gleichheit der Varianz	6.5.1
ϑ_{ij}	Alterungstemperatur für Probekörpergruppe j in der Zeitgruppe i	6.1.1
ϑ_0	273,15 K = Zahlenwert der Temperatur in Kelvin bei 0 °C	6.1.1
τ_i	Alterungszeit für die Zeitgruppe i	6.1.1

4 FTFM-Protokoll

4.1 Grundgedanken und Zielsetzung

4.1.1 Grundgedanken des FTFM-Rahmenplanes

Der FTFM-Rahmenplan beruht auf dem Grundgedanken, dass die Wärmealterung zur Bestimmung von thermischen Langzeiteigenschaften über eine kleine Anzahl von festgelegten Zeiten durchgeführt wird, und zwar über einen ausreichenden Bereich der Alterungstemperaturen bei jeder Zeitstufe, so dass sichergestellt wird, dass die ermittelten Eigenschaftswerte den Grenzwert auf zufriedenstellende Weise erreichen.

Hierin unterscheidet er sich von dem herkömmlichen Verfahren (fester Temperaturrahmen) nach IEC 60216-1, bei dem eine kleine Anzahl von Alterungstemperaturen angewendet wird, wobei die Alterung in bestimmten Abständen überprüft wird, bis der Grenzwert erreicht ist.

4.1.2 Zweck des FTFM-Rahmenplanes

Der Zweck des Rahmenplanes ist es, folgende Vorteile zu erlangen:

Die Bestimmung thermischer Langzeitkennwerte erfolgt in einer fest vorbestimmten Zeit.

Dies ermöglicht eine effizientere Planung der Untersuchung und hat daher oft substantielle wirtschaftliche Vorteile. Eine einfache Bestimmung des TI kann in 5 000 h abgeschlossen werden, wohingegen es bei dem „Fixed Temperature“-Rahmenplan notwendig sein kann, die Alterung über diese Zeit hinaus beträchtlich zu verlängern, um den Grenzwert bei der niedrigsten gewählten Alterungstemperatur zu erreichen.

Jede Grenztemperatur (d. h. Mittelwert der Zeitgruppen) in der thermischen Langzeitregression beruht auf einer Anzahl von in einer Zeitgruppe ausgewählten Temperaturen. Die Anzahl der ausgewählten Temperaturen kann jeder Anzahl zwischen drei (3) und der Gesamtzahl der Temperaturgruppen in einer Zeitgruppe entsprechen.

Da die häufigste Ursache für systematische Fehler bei dem herkömmlichen Verfahren (fester Temperaturrahmen) bei Fehlern in der Temperatur liegt (tatsächlicher Temperaturfehler oder Fehler in der Temperaturverteilung), können systematische Fehler beträchtlich reduziert werden. Fehler mit dieser Ursache können zu Ergebnissen führen, die entweder ungenau oder untauglich wegen falscher Festsetzung der Linearität sind.

5 Bestimmung des TI

5.1 Alterungsverfahren

Jedes Prüfverfahren muss die Form, Abmessungen und Anzahl der Probekörper festlegen, ebenso die Lagerungszeiten, die Eigenschaft, auf die sich der TI bezieht, die Verfahren zu seiner Bestimmung, den Grenzwert und die Herleitung der thermischen Langzeitkennwerte aus den Versuchsergebnissen.

Die gewählte Eigenschaft sollte, wenn möglich, in kennzeichnender Weise ein Verhalten des Materials beim Gebrauch widerspiegeln. Eine Auswahl an Eigenschaften ist in [IEC 60216-2](#) aufgeführt.

Um einheitliche Bedingungen sicherzustellen, kann es erforderlich sein, die Konditionierung der Probekörper nach Entnahme aus dem Wärmeschränk und vor der Messung festzulegen.

5.2 Alterungszeiten und -temperaturen

In der Mehrzahl der Fälle sind die gesuchten thermischen Langzeitkennwerte für einen Zeitraum von 20 000 h vorgesehen. Es besteht jedoch oft ein Bedarf nach Kenntnissen, die sich auf andere, längere oder kürzere Zeiten beziehen. In Fällen von längeren Zeiten müssen die als Anforderungen oder Empfehlungen im Text dieser Norm angegebenen Zeiten (z. B. 5 000 h für den Mindestwert der längsten Lagerungszeit) im Verhältnis der aktuellen Bezugszeit zu 20 000 h vergrößert werden.

In Fällen von kürzeren Bezugszeiten müssen die betreffenden Zeiten, falls erforderlich, im gleichen Verhältnis verringert werden.

Besondere Sorgfalt wird bei sehr kurzen Bezugszeiten erforderlich, da die höheren Alterungstemperaturen in Temperaturbereiche führen können, die Übergangspunkte, z. B. Glasübergangstemperatur oder Kristallitschmelzpunkt, mit daraus folgender Nichtlinearität einschließen. Sehr lange Bezugszeiten können gleichfalls zur Nichtlinearität führen.

Empfehlungen für Alterungszeiten und -temperaturen sind in [Anhang D](#) aufgeführt.

5.3 Probekörper

5.3.1 Herstellung

Die für die Alterungsprüfung verwendeten Probekörper müssen eine Zufallsprobe der untersuchten Gesamtheit darstellen und müssen einheitlich behandelt werden.

Da die Herstellungsbedingungen die Alterungseigenschaften einiger Materialien in signifikanter Weise beeinflussen können, muss sichergestellt werden, dass beispielsweise Probenentnahme, Schneiden der Platten von der Vorratsrolle, Schneiden von anisotropem Material in einer vorgegebenen Richtung, Ausformung, Aushärtung und vorbereitende Konditionierung für alle Probekörper in der gleichen Weise durchgeführt werden.

Die Materialspezifikationen oder Normen für die Prüfverfahren enthalten alle erforderlichen Anweisungen für die Herstellung der Probekörper.

Die Dicke der Probekörper ist in einigen Fällen in der Liste der Eigenschaftsmessungen zur Bestimmung thermischen Langzeitverhaltens festgelegt (siehe IEC 60216-2). Wenn dies nicht der Fall ist, muss die Probendicke angegeben werden. Einige physikalische Eigenschaften werden bereits durch minimale Abweichungen der Probekörperdicke beeinflusst. In solchen Fällen kann es erforderlich sein, die Probendicke nach jeder Alterungsperiode zu bestimmen und zu dokumentieren, wenn dies in der betreffenden Norm gefordert wird.

Die Dicke ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Alterungsrate abhängig von der Dicke variieren kann. Alterungswerte von Materialien mit unterschiedlichen Dicken sind nicht immer vergleichbar. Demzufolge kann einem Material mehr als ein thermischer Langzeitkennwert, erhalten aus der Eigenschaftsmessung an unterschiedlichen Probendicken, zugeordnet werden.

Die Toleranzen der Probekörperabmessungen müssen die gleichen sein wie die normalerweise bei allgemeinen Prüfungen verwendeten. Sofern für die Abmessungen der Probekörper kleinere Toleranzen als normalerweise üblich benötigt werden, müssen diese besonderen Toleranzen angegeben werden.

Begleitende Messungen stellen sicher, dass die Probekörper von einheitlicher Qualität und typisch für das zu prüfende Material sind.

5.3.2 Anzahl der Probekörper

Die Genauigkeit der Ergebnisse von Langzeitprüfungen hängt in hohem Maße von der Anzahl der bei jeder Temperatur gealterten Probekörper ab.

Die Gesamtzahl der Probekörper (N) errechnet sich wie folgt:

$$N = a \times b \times c + d$$

Dabei ist

- a die Anzahl der Probekörper, die in einer Prüfgruppe der gleichen Behandlung bei einer Temperatur unterzogen werden und die nach der Bestimmung der Eigenschaft verworfen werden (üblicherweise fünf);
- b die Anzahl der Behandlungen, d. h. die Gesamtzahl der Lagerungstemperaturen bei einer Zeitstufe;
- c die Anzahl der Zeitstufen der Alterung;
- d die Anzahl der Probekörper in der Gruppe, die verwendet werden, um den Ausgangswert der Eigenschaft zu bestimmen. Normalerweise wählt man $d = 2a$, wenn als Prüfkriterium die prozentuale Eigenschaftsänderung vom Ausgangswert gilt. Gilt dagegen als Kriterium ein absolutes Eigenschaftsniveau, dann gilt für d üblicherweise der Zahlenwert 0, wenn nicht die Angabe des Ausgangswertes gefordert wird.

Es ist bewährte Praxis, zusätzliche Probekörper bereitzustellen oder zumindest eine Reservemenge der ursprünglichen Werkstofflieferung zurückzuhalten, aus der solche Probekörper nachfolgend hergestellt werden können. Auf diese Weise birgt eine erforderliche Alterung zusätzlicher Probekörper im Falle unvorhergesehener Komplikationen nur eine geringe Gefahr von systematischen Unterschieden zwischen Probekörpergruppen in sich. Solche Komplikationen können beispielsweise entstehen, wenn die thermische Langzeitbeziehung sich als nichtlinear erweist oder wenn Probekörper wegen Überhitzung eines Wärmeschrankes verloren gehen.

5.4 Bewertungsprüfungen

Liegen IEC-Werkstoff-Spezifikationen vor, dann sind üblicherweise auch Eigenschaftsanforderungen in Form zulässiger unterer Grenzwerte für den TI vorgegeben. Für den Fall, dass solche Werkstoffbestimmungen nicht verfügbar sind, liegt in IEC 60216-2 eine Auswahl von Eigenschaften und Verfahren zur Bestimmung des thermischen Langzeitverhaltens vor.

Wenn auch dort kein geeignetes Verfahren zu finden ist, sollte ein solches nach einer internationalen, nationalen oder Werksnorm bzw. ein besonders entwickeltes Verfahren angewendet werden, und zwar hinsichtlich der Auswahl in der angegebenen Reihenfolge. In diesem Fall muss die Bewertungsprüfung, einschließlich Eigenschaft, Messverfahren und Grenzwert, im Prüfbericht festgehalten werden.

5.5 Auswahl der Grenzwerte

Es kann erforderlich sein, das thermische Langzeitverhalten von Werkstoffen durch verschiedene Langzeitwerte (ermittelt unter Anwendung unterschiedlicher Eigenschaften und/oder Grenzwerte) zu charakterisieren, um eine sachgerechte Auswahl des Werkstoffes im Hinblick auf seine besondere Verwendung zu erleichtern. Siehe hierzu IEC 60216-2.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, nach denen der Grenzwert festgelegt werden kann:

- als prozentuale Zu- oder Abnahme des gemessenen Eigenschaftswertes, bezogen auf den Ausgangswert. Dieses Vorgehen ermöglicht Vergleiche zwischen Werkstoffen, erlaubt aber nur einen geringeren Bezug zu den im normalen Anwendungsfall erforderlichen Eigenschaftswerten als das Vorgehen nach b). Zur Bestimmung der Ausgangswerte siehe 5.6.
- als fester Eigenschaftswert. Dieser Wert kann im Hinblick auf die üblichen Betriebsanforderungen gewählt werden. Grenzwerte für die Schwellenwertprüfung werden vorwiegend in der Form fester Eigenschaftswerte vorgegeben.

Der Grenzwert sollte so gewählt werden, dass er bei dem Isolierstoff einen Grad des thermischen Abbaus erkennen lässt, durch welchen die Fähigkeit des Isolierstoffes, einer betriebsbedingten Beanspruchung standzuhalten, herabgesetzt wird. Der mit dem Grenzwert des Prüfverfahrens aufgezeigte Grad des Abbaus sollte abgestimmt werden auf den Sicherheitsbeiwert für die im Anwendungsfall geforderte Werkstoffeigenschaft.

5.6 Festlegung des Ausgangswertes einer Eigenschaft

Für die Bestimmung des Ausgangswertes der Eigenschaft werden die Probekörper so ausgewählt, dass sich eine Zufallsteilmenge der für die Alterung vorbereiteten Probekörper ergibt. Vor der Bestimmung des Eigenschaftswertes müssen diese Probekörper durch Lagerung über zwei Tage (48 ± 6) h bei der niedrigsten Stufe der für die Prüfung vorgesehenen Alterungstemperatur (siehe 5.2) vorbehandelt werden.

ANMERKUNG In einigen Fällen (z. B. bei sehr dicken Probekörpern) können Zeiten von mehr als zwei Tagen erforderlich sein, um einen stabilen Wert festlegen zu können.

Falls nichts anderes in der Verfahrensanweisung zur Ermittlung der Bewertungseigenschaft festgelegt ist (z. B. in den die Prüfverfahren beschreibenden Abschnitten von Werkstoffbestimmungen oder in einem in IEC 60216-2 aufgelisteten Verfahren), gilt als Ausgangswert der arithmetische Mittelwert der Testergebnisse.

5.7 Alterungsbedingungen

5.7.1 Wärmeschränke für die Alterung

Während der gesamten Dauer der Wärmealterung müssen die Wärmeschränke in dem Teil des Arbeitsraumes, in dem die Probekörper eingelagert sind, eine Temperatur mit den in IEC 60216-4-1 angegebenen zulässigen Abweichungen aufrechterhalten. Falls nichts anderes festgelegt ist, wird IEC 60216-4-1 angewendet. In besonderen Fällen kann eine Spezifizierung nach IEC 60216-4-2 und IEC 60216-4-3 erfolgen.