

Thermische Eigenschaften von Elektroisolierstoffen

Langzeitverhalten Statistische Verfahren
Identisch mit IEC 216-3 Ausgabe 1980

DIN
VDE 0304
Teil 23

Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm **IEC 216-3**

Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine VDE-Richtlinie im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.

Thermal properties of electrical insulating materials;
Endurance properties; Statistical methods;
Identical with IEC 216-3 edition 1980

Propriétés thermiques de matériaux isolants électriques;
propriétés d'endurance; méthodes statistiques;
Identique à CEI 216-3 édition 1980

Die Internationale Norm IEC 216-3 "Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials; Part 3: Statistical methods", 2. Ausgabe 1980, ist mit dem Nachtrag vom März 1981 unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm (VDE-Richtlinie) gilt ab 1. September 1985.

Fortsetzung Seite 2 bis 12

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)
Normenausschuß Kunststoffe (FNK) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Nationales Vorwort

Diese Norm ist die deutsche Übersetzung von IEC 216-3, 2. Ausgabe 1980. Ein im März 1981 veröffentlichter Nachtrag, der Druckfehler in den Abschnitten 3 und 4.5 der Ausgabe 1980 berichtigt, wurde in der vorliegenden Norm berücksichtigt. Die Übersetzung wurde im Unterkomitee 831.2 „Thermisches Verhalten und Brennverhalten“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) erarbeitet und als deutsche Fassung autorisiert.

Diese Norm ergänzt zusammen mit DIN VDE 0304 Teil 24 die beiden Normen DIN IEC 216 Teil 1/VDE 0304 Teil 21/12.80 und DIN IEC 216 Teil 2/VDE 0304 Teil 22/12.80.

DIN VDE 0304 Teil 23 beschreibt die statistischen Verfahren, die bei der Auswertung von thermischen Langzeitmeßergebnissen anzuwenden sind, vorausgesetzt, daß das thermische Langzeitdiagramm nach diesen Meßergebnissen eine lineare Funktion zwischen dem Logarithmus der Zeit und der reziproken thermodynamischen (absoluten) Temperatur ergibt. Die in Abschnitt 3.2 genannten weiteren Voraussetzungen sollten ebenfalls beachtet werden. Diesem statistischen Verfahren ist auf alle Fälle gegenüber der heute noch vielfach angewandten graphischen Auswertung der Vorzug zu geben, weil damit die Sicherheit des vornehmlich als Kennwert anzugebenden thermischen Langzeitprofils eindeutig besser sichergestellt werden kann. Der rechnerische Aufwand für diese statistische Auswertung setzt das Vorhandensein einer EDV für Laborzwecke voraus.

Beispiele für die Programmierung von zerstörungsfreien, zerstörenden und Schwellwertmessungen sind in DIN VDE 0304 Teil 24 zu finden. Auf diese Weise ist die Auswertung von thermischen Langzeitmessungen mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung genauer, leichter und schneller als das graphische Auswertverfahren durchzuführen.

Auf der anderen Seite ist es eine weitgehendst bekannte Tatsache, daß viele thermische Langzeitmessungen nicht zu einer linearen Arrhenius-Kurve führen. Das ist einer der mitbestimmenden Gründe, warum IEC 216 Teil 1 und Teil 2 zur Zeit einer Revision unterworfen werden, um Richtlinien zu erarbeiten, die diesem Umstand Rechnung tragen.

Schließlich wird auf denjenigen Abschnitt des Nationalen Vorwortes von DIN IEC 216 Teil 1/VDE 0304 Teil 21/12.80 hingewiesen, der sich auf die Verwendung von thermischen Langzeitdaten im Rahmen von Publikation IEC 85 bezieht. Dazu ist zu ergänzen, daß eine Revision dieser Publikation aufgrund von Empfehlungen einer Koordinations-Tagung in Genf, an der mehrere an der Publikation IEC 85 interessierte Technische Komitees der IEC teilnahmen, in die Wege geleitet wurde und inzwischen abgeschlossen ist. Die 2. Ausgabe von IEC 85 ist 1984 unter dem Titel „Thermal evaluation and classification of electrical insulation“ erschienen. Ihr vorangegangen war als Entwurf das Schriftstück IEC 15B(Central Office)55, Ausgabe September 1982, das der deutschen Öffentlichkeit als Entwurf DIN IEC 15B(CO)55/VDE 0301 Teil 1/08.83 zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt worden war.

Die in der Einleitung genannte Publikation IEC 493-1 ist bisher noch nicht in das Deutsche Normenwerk übernommen worden. Es ist allerdings auch nicht beabsichtigt, diese Internationale Norm zu übernehmen, da in Deutschland genügend Fachbücher verfügbar sind, die statistische Verfahren zum Gegenstand haben und z.B. DIN 55302 Teil 1 und Teil 2 sowie DIN 55303 Teil 2 dieses Gebiet sachlich erfassen.

Der letzte Satz des 2. Absatzes auf Seite 3, rechte Spalte „ein Temperaturindex kann jedoch nur nach Prüfungen mit einer Lagerungstemperatur angegeben werden, die zu einer mittleren Ausfallzeit von wenigstens 20 000 h führt“ unterliegt einer Revision, die in der Neuausgabe von IEC 216-1 mit Bezug auf diesen Teil zum Ausdruck gebracht werden wird.

Die komplette IEC 216 befindet sich bereits wieder in Revision. Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieser Norm standen die folgenden internationalen Schriftstücke in der Diskussion (Originaltitel dieser Schriftstücke siehe „Weitere Normen“):

Zu 216-1:

IEC 15B(Central Office)62, Ausgabe September 1984 und
IEC 15B(Central Office)62A, Ausgabe Oktober 1984

Zu IEC 216-2:

IEC 15B(Central Office)50, Ausgabe Oktober 1981
(siehe DIN IEC 216 Teil 2 A1/VDE 0304 Teil 22 A1/Entwurf 04.82)

Zu IEC 216-4:

15B(Secretariat)84, Ausgabe November 1983

Teil 5 und Teil 6, die im Abschnitt „Einführung“ noch als „in Vorbereitung“ erwähnt werden, sollen voraussichtlich nicht mehr erscheinen, da die hierin geplanten Ausführungen im Rahmen der Revision in Teil 1 bis Teil 4 einfließen sollen.

Alle zu dieser IEC-Publikation erscheinenden Sechsmonatsschriftstücke werden in Entwürfen als Ergänzungen oder Änderungen zu DIN VDE 0304 veröffentlicht.

Deutsche Übersetzung

Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC)

Richtlinie zur Bestimmung des thermischen Langzeitverhaltens von Elektroisolierstoffen

Teil 3: Statistische Verfahren

Deskriptoren: Isolierstoffe;
Prüfung des thermischen Langzeitverhaltens;
Statistik

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	3	5 Zerstörende Messungen	7
Einleitung	3	Anhang A 0,95-Bruchwerte der χ^2-, t- und F-Verteilung	8
Einführung	3	Anhang B Flußdiagramm zum statistischen Verfahren	9
1 Anwendungsbereich	4	Anhang C Liste der Formelzeichen	10
2 Zweck	4	Bilder	11
3 Statistische Verfahren	5		
4 Zerstörungsfreie Messungen und Schwellwertprüfungen	5		

Vorwort

1. In den Technischen Komitees der IEC sind jeweils die Nationalen Komitees vertreten, die an den betreffenden Normungsarbeiten interessiert sind. Damit entsprechen die Arbeitsergebnisse der Technischen Komitees einer in höchstmöglichem Maße übereinstimmenden internationalen Meinung über die behandelten Themen.
2. Die Arbeitsergebnisse stellen internationale Empfehlungen dar und werden in diesem Sinne von den Nationalen Komitees anerkannt.
3. Um die internationale Vereinheitlichung zu fördern, wünscht die IEC, daß alle Nationalen Komitees den Wortlaut der IEC-Empfehlung in ihre nationalen Normen aufnehmen, soweit es die nationalen Gegebenheiten erlauben. Alle Abweichungen zwischen den IEC-Empfehlungen und den entsprechenden nationalen Normen sind – soweit möglich – in diesen Normen deutlich anzugeben.

Einleitung

Diese Norm wurde von dem Unterkomitee 15B „Langzeitprüfungen“ des Technischen Komitees Nr 15 „Isolierstoffe“ der IEC ausgearbeitet. Sie bildet den Teil 3 der zweiten Ausgabe*) von IEC 216, die in mehreren Teilen veröffentlicht wird.

Entwürfe wurden auf den Tagungen 1973 in Zürich und 1976 in Toronto diskutiert. Als Ergebnis der zuletzt genannten Tagung wurde den Nationalen Komitees im Mai 1977 ein endgültiger Entwurf als Schriftstück IEC 15B(Central Office)36 unter der Sechsmonatsregel zur Abstimmung vorgelegt.

Die folgenden Länder stimmten ausdrücklich für die Veröffentlichung:

Ägypten	Frankreich	Portugal	Spanien
Belgien	Jugoslawien	Rumänien	Südafrika (Republik)
Dänemark	Kanada	Schweden	Tschechoslowakei
Deutschland	Norwegen	Schweiz	Türkei
Finnland	Österreich	Sowjetunion	Vereinigtes Königreich

Andere in dieser Norm zitierte IEC-Publikationen*):

- IEC 216-1: Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials; Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles.
- IEC 216-2: Part 2: List of materials and available tests.
- IEC 493-1: Guide for the statistical analysis of ageing test data;
Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results.

Einführung

Die 2. Ausgabe von IEC 216 „Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials“ setzt sich aus mehreren Teilen*) zusammen:

- IEC 216-1: General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles
- IEC 216-2: List of materials and available tests
- IEC 216-3: Statistical methods
- IEC 216-4: Instructions for calculating the thermal endurance profile
- IEC 216-5: Instructions for making thermal endurance tests and obtaining the temperature index (in Vorbereitung)
- IEC 216-6: Procedures for the determination of relative temperature indices (in Vorbereitung)

*) Siehe Nationales Vorwort

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil 3*) enthält statistische Verfahren zur Bestimmung des thermischen Langzeitdiagramms und des thermischen Langzeitprofils von Elektroisierstoffen, wie auch des Temperaturindex nach IEC 216-1*), Abschnitt 11.2.

2 Zweck

Die Verfahren, die hier im Teil 3*) beschrieben werden, dienen zur Bestimmung von thermischen Langzeiteigenschaften von Elektroisierstoffen nach IEC 216 Teil 1 und Teil 2.

Die Bedeutung der Verfahren und statistischen Prüfungen, die im folgenden benutzt werden, ist in der IEC 493-1*) „Guide for the statistical analysis of ageing test data; Part 1: Methods based on mean values of normally distributed test results“ erläutert; der Leser wird bezüglich weiterer Einzelheiten zu den Verfahren und zu ausführlicheren Formeln auf diese IEC-Publikation verwiesen.

Das **thermische Langzeitdiagramm** eines Elektroisierstoffes ist eine Darstellung, die die Abhängigkeit einer ausgewählten Werkstoffeigenschaft von der Temperatur zeigt. Sie beruht auf bestimmten Prüfungen, während oder nachdem der Werkstoff verschiedenen Temperaturen ausgesetzt ist.

Der **Temperaturindex** – Definition siehe IEC 216-1*), Abschnitt 11 – besteht aus der mit der Temperatur in °C übereinstimmenden Zahl, die aus dem thermischen Langzeitdiagramm für eine Zeit, im allgemeinen 20 000 h, abgeleitet wird.

Das **thermische Langzeitprofil** – Definition siehe IEC 216-1*), Abschnitt 11 – besteht aus 2 Zahlen, die zu den Temperaturen in °C gehören, wie sie aus dem thermischen Langzeitdiagramm für 20 000 und 5000 h abzuleiten sind, gefolgt durch eine Zahl, die mit der unteren 95 %-Vertrauensgrenze für die Temperatur bei 5000 h übereinstimmt.

Die Bestimmung der Vertrauensgrenze setzt eine statistische Behandlung der Ergebnisse der thermischen Langzeitprüfungen voraus. Die Gleichungen für diese statistische Behandlung sind im folgenden Text angegeben.

Die experimentellen Daten, die mit statistischen Verfahren auszuwerten sind, um thermische Langzeiteigenschaften zu erhalten, sind die Ausfallzeiten, z.B. die Zeiten bis zum Erreichen eines festgelegten Grenzwertes als Ergebnis einer Wärmealterungsbehandlung einer Anzahl von Probekörpern bei verschiedenen Alterungstemperaturen.

Die statistische Behandlung von Meßwerten, wie sie im folgenden angegeben wird, basiert auf der Voraussetzung, daß eine lineare Beziehung zwischen dem Logarithmus der Ausfallzeit und dem Reziprokwert der (absoluten) thermodynamischen Temperatur besteht; dies ist z.B. der Fall, wenn der Abbau durch eine chemische Reaktion erster Ordnung verursacht wird und so dem Arrhenius-Gesetz folgt. Da die Temperaturabhängigkeit von Alterungsmechanismen diese Annahme außerhalb des Bereiches, der durch die Lagerungstemperaturen erfaßt wird, ungültig machen kann – selbst, wenn sie innerhalb dieses Bereiches nicht bemerkt wird –, sollte die niedrigste Lagerungstemperatur so gewählt werden, daß eine mittlere Ausfallzeit von mindestens 5000 h erreicht wird. Um das

thermische Langzeitprofil oder den Temperaturindex zu erhalten, sollte nicht über 25 °C hinaus extrapoliert werden.

In den Fällen, in denen die gemessenen Werte deutlich anzeigen, daß keine lineare Beziehung besteht, darf nicht extrapoliert werden. Die Kurven der geprüften Eigenschaft, in Abhängigkeit von der Zeit bei den verschiedenen Lagerungstemperaturen, können in solchen Fällen wertvolle Informationen geben; ein Temperaturindex kann jedoch nur nach Prüfungen mit einer Lagerungstemperatur angegeben werden, die zu einer mittleren Ausfallzeit von wenigstens 20 000 h führt.*)

Die Anzahl der Probekörper, die den einzelnen Temperaturen ausgesetzt werden, hat einen großen Einfluß auf die Genauigkeit der Prüfergebnisse. Wenn sich die wahrscheinliche Streuung der Prüfergebnisse abschätzen läßt, ist es möglich, die Anzahl der Probekörper zu berechnen, die notwendig ist, um eine annehmbare Genauigkeit der Ergebnisse zu erhalten; anderenfalls müssen Richtwerte durch Stichprobenprüfungen ermittelt werden.

Wenn Verdacht besteht, daß vereinzelt extreme Prüfungsergebnisse nicht zu der Grundgesamtheit gehören, so dürfen diese nach bekannten statistischen Methoden als Ausreißer aussortiert werden, aber nur nach sorgfältiger Prüfung der gesamten Umstände; deren Wert ist im Prüfbericht anzugeben. In solchen Fällen ist die Zahl der Prüfungsergebnisse bei verschiedenen Lagerungstemperaturen gewöhnlich unterschiedlich.

Die Verfahren zur Auswertung dieser Daten hängen in gewisser Weise von der experimentellen Verfahrensweise ab. Die folgenden Fälle sind zu unterscheiden:

- a Alterungsverfahren
 - a.1 Fortlaufend
 - a.2 Zyklisch
- b Bestimmung des Zustandes des Probekörpers
 - b.1 Zerstörungsfreie Messung der Eigenschaft/Eigenschaften
 - b.1.1 Fortlaufende Aufzeichnung
 - b.1.2 Periodische Messungen
 - b.2 Periodische Anwendung einer bestimmten Prüfbeanspruchung (Schwellwertprüfung)
 - b.3 Zerstörende Messung einer Eigenschaft

Verfahren b.1 kann entweder in Kombination mit Verfahren a.1 (fortlaufende Alterung) oder mit Verfahren a.2 (zyklische Alterung) angewandt werden; dabei kann der Zweck der zyklischen Alterung sein, z.B. den Probekörper definierten Wärmeschocks während der Alterung auszusetzen. Wird die Messung kontinuierlich oder durch häufiges Abtasten aufgezeichnet (b.1.1), dann erhält man die Ausfallzeiten direkt durch Prüfung der aufgezeichneten Meßwerte; werden periodische Messungen vorgenommen (b.1.2), können sie aus den Aufzeichnungen der Eigenschaft über der Zeit interpoliert werden (siehe Abschnitt 4.1). In beiden Fällen wird die Ausfallzeit für jeden einzelnen Probekörper als eine kontinuierliche Variable bestimmt. Die Änderungsrate der Eigenschaft wird dann aus den Messungen ersichtlich, was für die Verfahren b.2 und b.3 nicht gilt. Die Berechnung der Ergebnisse wird in Abschnitt 4 beschrieben.

Das Verfahren b.2 wird am häufigsten in Verbindung mit dem Verfahren a.2 (zyklische Alterung) angewandt. Bei der Schwellwertprüfung prüft man, ob die zu untersuchende Eigenschaft eines Probekörpers noch innerhalb der Grenzen für die Prüfbeanspruchung (Grenzwert) liegt oder nicht. Bei der Schwellwertprüfung ist – z.B. am Ende einer

*) Siehe Nationales Vorwort