

DIN EN IEC 60216-5
(VDE 0304-25)
DIN

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

VDE

ICS 29.035.01

Einsprüche bis 2020-04-28

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60216-5
(VDE 0304-25):2009-02

Entwurf

Elektroisolierstoffe –
Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens –
Teil 5: Bestimmung des relativen Temperaturindex (RTI) von
Elektroisolierstoffen
(IEC 112/467/CD:2019);
Text Deutsch und Englisch

Electrical insulating materials –
 Thermal endurance properties –
 Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material
 (IEC 112/467/CD:2019);
 Text in German and English

Matériaux isolants électriques –
 Propriétés d'endurance thermique –
 Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant
 (IEC 112/467/CD:2019);
 Text en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-02-28 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

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

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

Gesamtumfang 51 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 112/467/CD:2019 „Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative temperature index (RTI) of an insulating material“ (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 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

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

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. 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 FprEN nur 6 Wochen 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 dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 183 „Bewertung und Qualifizierung von elektrischen Isolierstoffen und Isoliersystemen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

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

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

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

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

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

Änderungen

Gegenüber **DIN EN IEC 60216-5 (VDE 0304-25):2009-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Diese vierte Ausgabe verdeutlicht und korrigiert einige Punkte und umfasst einen komplett überarbeiteten **Anhang C**, „Computerprogramm“.

Inhalt

Seite

1	Anwendungsbereich.....	5
2	Normative Verweisungen	5
3	Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	5
3.1	Begriffe und Abkürzungen.....	5
3.2	Formelzeichen und Einheiten.....	7
3.3	Zielsetzungen der Ermittlung des RTI.....	8
4	Durchführung der Untersuchungen.....	8
4.1	Auswahl des Vergleichsmaterials	8
4.2	Auswahl der Bewertungsprüfung für das Warmlagerungsverfahren	8
4.3	Warmlagerungsverfahren.....	9
5	Verfahren der Berechnung.....	10
5.1	Thermische Langzeitkennwerte – Berechnung der Zwischenwerte	10
5.2	Berechnung des RTI	11
5.3	Statistische und numerische Prüfungen	11
6	Prüfbericht.....	13
6.1	Ergebnisse der statistischen und numerischen Tests.....	13
6.2	Ergebnisse	13
6.3	Bericht	13
7	Materialprüfung mittels kurzzeitiger Warmlagerung.....	14
8	Klassifizierung der Isolation	14
	Anhang A (informativ) Wiederholbarkeit der Bezugszeit.....	15
A.1	Übersicht	15
A.2	F-Test auf Gleichheit der Varianzen	15
A.3	Standardfehler der Differenz zweier Mittelwerte	15
A.4	Student's-t-Test für die Differenz zweier Mittelwerte	16
A.5	Zusammenfassung der Werte.....	16
	Anhang B (informativ) Zuordnung der Temperaturklasse	17
	Anhang C (informativ) Computerprogramm	19
C.1	Allgemeines.....	19
C.1.1	Benutzerfreundliche Programmausführung	20
C.2	Aufbau der von dem Programm verwendeten Datendateien.....	21
C.3	Durchführung der Berechnung des RTI	21
C.4	Ausgabedateien und graphische Darstellung	21
	Anhang D (informativ) Auswahl des Vergleichsmaterials	23
D.1	Übersicht	23
D.2	Bezeichnung des Vergleichsmaterials	23
D.3	Einzelheiten, die für das Vergleichsmaterial im Bericht anzugeben sind	23
	Literaturhinweise	25

Bilder

Bild 1 – Graphische Darstellung der thermischen Lebensdauer	9
Bild 2 – Graphische Darstellung einer nicht akzeptablen thermischen Lebensdauer	10
Bild C.1 – Dialog für die Eigenschaften der Verknüpfung für den Programmstart	20
Bild C.2 – Thermische Langzeitdiagramme	21
Bild C.3 – Beispiel für thermische Langzeitdiagramme	22

Tabellen

Tabelle 1 – Eingabeparameter zu den RTI-Berechnungen	11
Tabelle B.1 – Entsprechungen zu Temperaturklassen für Isolierstoffe	17
Tabelle B.2 – F -Verteilung; $p = 0,05$	18
Tabelle B.3 – t -Verteilung	18

b)

Elektroisolierstoffe – Eigenschaften hinsichtlich des thermischen Langzeitverhaltens – Teil 5: Bestimmung des relativen Temperaturindex (RTI) von Elektroisolierstoffen

1 Anwendungsbereich

Der vorliegende Teil der IEC 60216 beschreibt die versuchstechnischen und Berechnungsverfahren für die Bestimmung des relativen Temperaturindex eines Werkstoffes aus Versuchsergebnissen, die nach den Anweisungen von **IEC 60216-1** und **IEC 60216-2** ermittelt wurden. Die Berechnungsverfahren ergänzen diejenigen von **IEC 60216-3**.

Ferner wird eine Anweisung für die Abschätzung der thermischen Alterung über eine einzelne festgelegte Zeitdauer und eine Temperatur gegeben, ohne dass eine Extrapolation vorgenommen wird.

Die Versuchsergebnisse können grundsätzlich durch Anwendung zerstörender, zerstörungsfreier und Grenzwertprüfungen erhalten werden, wenngleich zerstörende Prüfungen weitaus umfangreicher angewendet werden. Versuchsergebnisse aus zerstörungsfreien und Grenzwertprüfungen können dahingehend „abgeändert“ sein, dass die Ermittlung der Ausfallzeiten zu einem Zeitpunkt nach dem Median dieser Zeiten beendet wird, bevor alle Proben den Grenzwert erreicht haben (siehe **IEC 60216-1**).

Es wird ferner eine Anweisung für die vorläufige Zuordnung eines Elektroisolierstoffes zu einer Isolationsklasse gegeben, die auf dem thermischen Alterungsverhalten beruht.

Die vorliegende Norm gilt auch für die Bestimmung der Isolationsklasse eines Elektroisoliersystems, wenn die thermische Beanspruchung der vorherrschende Alterungsfaktor ist.

2 Normative Verweisungen

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

IEC 60216-1:2013, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

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

IEC 60216-3:2006, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 3: Instructions for calculating thermal endurance characteristics*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

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

3.1 Begriffe und Abkürzungen

3.1.1

Elektroisolierstoff

EIM

Feststoff oder Flüssigkeit mit vernachlässigbar geringer elektrischer Leitfähigkeit oder eine einfache Kombination von derartigen Stoffen, der/die zum Trennen von leitenden Teilen mit unterschiedlichem elektrischem Potenzial in elektrotechnischen Geräten verwendet wird

3.1.2

festgelegter Temperaturindex

ATI

Zahlenwert der Temperatur in Grad Celsius, bis zu der das Vergleichsmaterial bekannte, bei der vorgesehenen Anwendung ausreichende Gebrauchstauglichkeit besitzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wert für den ATI kann bei dem gleichen Material bei verschiedenen Anwendungen unterschiedlich sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die hier genannte Größe wird manchmal als „absoluter“ thermischer Index verstanden.

3.1.3

Untersuchungsmaterial

Material, für dessen thermische Lebensdauer (thermische Dauerstandfestigkeit) ein Schätzwert ermittelt werden soll

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Bestimmung wird durch eine gleichzeitige Warmlagerung dieses Materials und eines Vergleichsmaterials vorgenommen.

3.1.4

Vergleichsmaterial

Material mit bekannter thermischer Lebensdauer, die vorzugsweise aus Erfahrungen bei der praktischen Anwendung ermittelt wurde, welches als Bezugsgröße für vergleichende Prüfungen mit dem Untersuchungsmaterial verwendet wird

3.1.5

zweites zentrales Moment eines Satzes von Werten

Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den Einzelwerten und dem Mittelwert der Gruppe, geteilt durch die Anzahl der Einzelwerte in dieser Gruppe

3.1.6

Bezugszeit

erwartete Ausfallzeit für das Vergleichsmaterial bei einer Temperatur, die seinem festgelegten Temperaturindex (ATI) in Grad Celsius entspricht

3.1.7

Freiheitsgrade

Anzahl der Einzelwerte, vermindert um die Anzahl der Parameter

3.1.8

Standardfehler

der Standardfehler eines Schätzwertes für den wahren Wert der Eigenschaft einer Wertegruppe ist der Wert der Standardabweichung der hypothetischen Probenmenge, von der die betreffende Eigenschaft der Gruppe als Element angesehen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Gruppenmittelwert ist das 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.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die vorliegende Norm befasst sich nur mit Mittelwerten und dem Unterschied zwischen zwei Mittelwerten (siehe Abschnitt A.2).

3.1.9

Standardabweichung

Quadratwurzel aus der Varianz einer Gruppe oder Untergruppe von Werten

3.1.10

relativer Temperaturindex

RTI

Zahlenwert der Temperatur in Grad Celsius, bei der die abzuschätzende Ausfallzeit des Untersuchungsmaterials die gleiche ist wie die abzuschätzende Ausfallzeit für das Vergleichsmaterial bei einer Temperatur, die dessen festgesetztem Temperaturindex (ATI) entspricht

3.1.11

Varianz einer Gruppe von Werten

Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte von einem Bezugsniveau, das durch einen oder mehrere Parameter definiert ist, geteilt durch die Anzahl der Freiheitsgrade

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Bezugsniveau kann beispielsweise durch einen Mittelwert (1 Parameter) oder durch eine Gerade (2 Parameter, in dieser Norm als Anstieg und als Abschnitt auf der y-Achse) gegeben sein.

3.2 Formelzeichen und Einheiten

a_A	Regressionskoeffizient (Abschnitt auf der y-Achse) in der thermischen Langzeitgleichung für das Vergleichsmaterial
a_B	Regressionskoeffizient (Abschnitt auf der y-Achse) in der thermischen Langzeitgleichung für das Untersuchungsmaterial
b_A	Regressionskoeffizient (Anstieg) in der thermischen Langzeitgleichung für das Vergleichsmaterial
b_B	Regressionskoeffizient (Anstieg) in der thermischen Langzeitgleichung für das Untersuchungsmaterial
X	Variable bei der statistischen Untersuchung: $1/(\vartheta + \theta_0)$
Y	Variable bei der statistischen Untersuchung: (τ)
ϑ	Wärmelagerungstemperatur bei der Ermittlung des RTI
θ_0	Temperatur in K entsprechend 0 °C
1	Ausfallzeit
τ_c	Abgeschätzte Ausfallzeit für das Vergleichsmaterial bei der dem ATI entsprechenden Temperatur („Bezugszeit“)
$\mu_{2(A)}$	Zweites zentrales Moment der x-Werte für das Vergleichsmaterial
$\mu_{2(B)}$	Zweites zentrales Moment der x-Werte für das Untersuchungsmaterial
n_A	Anzahl der y-Werte für das Vergleichsmaterial
n_B	Anzahl der y-Werte für das Untersuchungsmaterial
T	Stochastische Prüfvariable t nach der Student-Verteilung
S	Standardfehler der Differenz zweier Mittelwerte
s_A^2	Varianz der y-Werte für das Vergleichsmaterial
s_B^2	Varianz der y-Werte für das Untersuchungsmaterial
$\bar{x}_A$	Gemeinsames Mittel der x-Werte für das Vergleichsmaterial
$\bar{x}_B$	Gemeinsames Mittel der x-Werte für das Untersuchungsmaterial
$\bar{y}_A$	Gemeinsames Mittel der y-Werte für das Vergleichsmaterial
$\bar{y}_B$	Gemeinsames Mittel der y-Werte für das Untersuchungsmaterial
θ_A	Temperatur in °C, dem ATI entsprechend
θ_B	Temperatur in °C, dem RTI entsprechend
$\hat{X}_B$	x-Wert zur Temperatur θ_B
$\hat{X}_A$	x-Wert zur Temperatur θ_A
$\theta_{c(B)}$	Untere Vertrauensgrenze von θ_B
$\theta_{c(A)}$	Untere Vertrauensgrenze von θ_A

$X_{L(B)}$	x-Wert zu θ_B
$X_{L(A)}$	x-Wert zu θ_A
Δ_B	Unterer Vertrauensbereich von θ_B
Δ_A	Unterer Vertrauensbereich von θ_A
$HIC_{B(c)}$	Halbzeitintervall des Untersuchungsmaterials bei einer Zeit gleich τ_c
s_D^2	Varianz, zugehörig zur Differenz zwischen den Mitteln der y-Werte für die beiden Materialien
n_D	Anzahl der Freiheitsgrade zu s_D^2
v_A, v_B	Logarithmen der längsten Ausfallzeiten für die Materialien A und B
b_r	Zwischenkonstante: angepasster Wert von b zur Berechnung des Vertrauensbereiches der Temperatur
s_r	Zwischenkonstante: angepasster Wert von s zur Berechnung des Vertrauensbereiches der Temperatur

3.3 Zielsetzungen der Ermittlung des RTI

Die Zielsetzungen dieser Bestimmung sind folgende:

- Die angenommene Beziehung zwischen der thermischen Lebensdauer (bei einem geeigneten Prüfmerkmal hinsichtlich der Alterung) und der Gebrauchstauglichkeit bei der Anwendung muss herangezogen werden, um mit ihr einen Wert für die vorläufige Abschätzung der zulässigen Betriebstemperatur eines Materials vorzugeben, für welches vergleichsweise wenig Erfahrungen bei der praktischen Anwendung vorliegen (durch Vergleich mit einem bekannten Vergleichsmaterial – siehe Abschnitte 4 und 5).

ANMERKUNG In der Mehrzahl der Fälle wird dies eine Extrapolation zu längeren Zeiten und/oder niedrigeren Temperaturen als bei den Versuchsbedingungen einschließen. Diese Extrapolation sollte durch eine zweckmäßige Wahl der Warmlagerungstemperaturen und -zeiten möglichst klein gehalten werden, da die Unsicherheit im Ergebnis schnell mit der Extrapolation anwächst. Aber auch wenn keine Extrapolation erforderlich ist, bleibt eine Unsicherheit wegen der Streuungen in den Versuchsergebnissen und aufgrund von Versuchsfehlern erhalten.

- Die Genauigkeit bei der Ermittlung der thermischen Lebensdauer muss durch die Verringerung von systematischen Fehlern bei der Warmlagerung erhöht werden. Wenn nach der Warmlagerung festgestellt wird, dass die Ergebnisse für das Vergleichsmaterial in signifikantem Maße von früheren Erfahrungen abweichen, kann das auf Änderungen im Material oder bei den Prüfeinrichtungen hinweisen. Dieser Sachverhalt kann dann untersucht und möglicherweise korrigiert werden. In jedem Fall wird die gleichzeitige Warmlagerung von Vergleichs- und Untersuchungsmaterial systematische Abweichungen zumindest teilweise kompensieren. Statistische Verfahren zur Abschätzung der Signifikanz von Abweichungen sind in [Anhang A](#) angegeben.
- Es sind Angaben bereitzustellen, wonach eine Temperaturklasse einem Elektroisolierstoff zugeordnet werden kann.

4 Durchführung der Untersuchungen

4.1 Auswahl des Vergleichsmaterials

Die grundsätzliche Anforderung an das Vergleichsmaterial ist hinsichtlich der in Betracht kommenden Anwendung die Kenntnis seines Temperaturindex (ATI). Wenn der Temperaturindex durch ein RTI-Verfahren ermittelt wurde, ist er vorzugsweise durch tatsächliche Erfahrungen bei der praktischen Anwendung zu bestätigen (siehe [Anhang D](#)).

Die erwarteten Alterungsmechanismen und -raten müssen bei beiden Materialien ähnlich und anwendungsbezogen sein.

4.2 Auswahl der Bewertungsprüfung für das Warmlagerungsverfahren

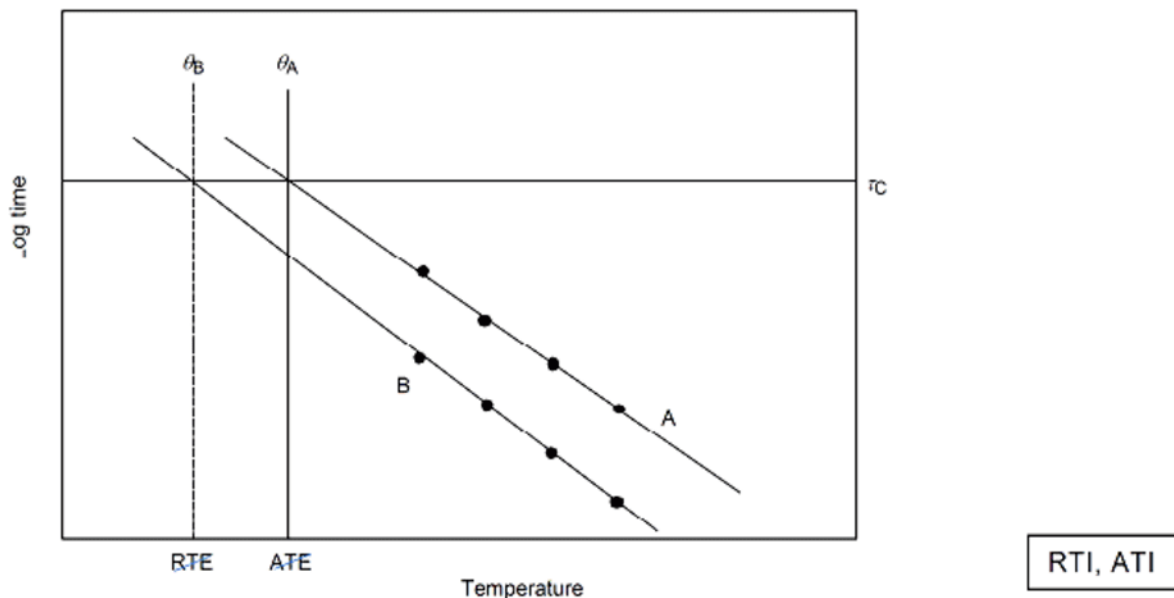
Das Verfahren der Bewertungsprüfung muss im Hinblick auf den Anwendungsbereich, für den der Wert von RTI gefordert wird, aussagefähig sein. Sowohl für das Vergleichs- als auch für das Untersuchungsmaterial muss das gleiche Prüfverfahren angewendet werden.

4.3 Warmlagerungsverfahren

Sowohl die Anzahl und Art der Probekörper für beide Materialien als auch die Warmlagerungstemperaturen und -zeiten müssen den Anforderungen nach IEC 60216-1 (5.3.2, 5.4 und erster Absatz von 5.5) entsprechen. Bei jeder Lagerungstemperatur muss die Beladung der Wärmeschränke der erforderlichen Anzahl von Probekörpern aus beiden Versuchsmaterialien, die im selben Ofen gelagert werden, entsprechen. Die Probekörper müssen im Wärmeschränk so gleichmäßig verteilt werden, dass es erwartungsgemäß keinen systematischen Unterschied zwischen den Lagerungsbedingungen gibt, denen die Probekörper aus beiden Versuchsmaterialien ausgesetzt werden. Es ist wichtig, dass die Probekörper aus beiden Materialien gleichzeitig bei mindestens drei Temperaturen gelagert werden, die in die Berechnungen einbezogen werden.

ANMERKUNG Als Beispiel können die in Bild 1 dargestellten Messwerte zur Auswertung herangezogen werden. Von den Messwerten, die in Bild 2 dargestellt werden, können die niedrigste Temperaturgruppe des Untersuchungsmaterials und die höchste Temperaturgruppe des Vergleichsmaterials nicht verwendet werden, da in beiden Fällen die Gruppe der Probekörper nur aus einem Material besteht oder eines der beiden Materialien den gewählten Endpunkt während der Prüfungszeit nicht erreicht hat.

Wenn nach Abschluss der Warmlagerung bei den ausgewählten Temperaturen die Ergebnisse für eines der Materialien nicht den Anforderungen nach 6.1) entsprechen, muss eine weitere Gruppe von Probekörpern bei einer geeigneten Temperatur im selben Ofen gelagert werden. Diese Gruppe muss wiederum aus der geforderten Anzahl und Art von Probekörpern von beiden Materialien zusammengestellt werden.



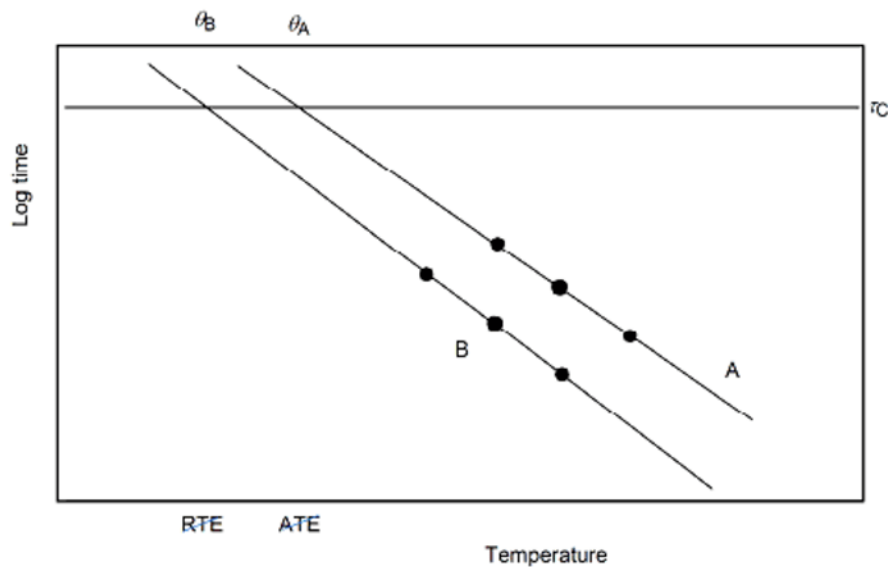
Englisch	Deutsch
Log time	Logarithmus der Zeit
FTE	FTE
ATE	ATE
Temperature	Temperatur

Legende

A = Vergleichsmaterial

B = Untersuchungsmaterial

Bild 1 – Graphische Darstellung der thermischen Lebensdauer



RTI, ATI

Englisch	Deutsch
Log time	Logarithmus der Zeit
FTE	FTE
ATE	ATE
Temperature	Temperatur

Legende

A = Vergleichsmaterial

B = Untersuchungsmaterial

ANMERKUNG Die Probekörper beider Elektroisierstoffe sind nicht gleichzeitig bei mindestens drei Temperaturen gelagert worden.

Bild 2 – Graphische Darstellung einer nicht akzeptablen thermischen Lebensdauer

5 Verfahren der Berechnung

5.1 Thermische Langzeitkennwerte – Berechnung der Zwischenwerte

Die Berechnung der Gleichungen der thermischen Lebensdauer muss in Übereinstimmung mit den Anweisungen nach IEC 60216-3 erfolgen.

Für die den RTI betreffenden Berechnungen werden die folgenden, in Tabelle 1 aufgeführten Ausgangsgrößen benötigt, wobei dieselben aufgezeichnet werden sollten (jedes der Formelzeichen kann mit dem Index A für das Vergleichsmaterial oder B für das Untersuchungsmaterial versehen werden).

Tabelle 1 – Eingabeparameter zu den RTI-Berechnungen

Größe	Formelzeichen in IEC 60216-3	Gleichung in IEC 60216-3	Formelzeichen in IEC 60216-5	
Anstieg der Regressionsgeraden	b	(33)	b_A	b_B
Achsenabschnitt der Regressionsgeraden	a	(34)	a_A	a_B
Gewichtetes Mittel von x -Werten	$\bar{x}$	(26)	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$
Zweites zentrales Moment von x -Werten	$\mu_2(x)$	(31)	$\mu_{2(A)}$	$\mu_{2(B)}$
Gewichtetes Mittel von y -Werten	$\bar{y}$	(27)	$\bar{y}_A$	$\bar{y}_B$
Varianz von y -Werten	s^2	(41)	s_A^2	s_B^2
Anzahl von y -Werten	N	(25)	n_A	n_B
Halbzeitintervall	HIC	(53)	–	$HIC_{B(c)}$
Größter Mittelwert der Logarithmen der Ausfallzeit	$\bar{y}_k$	–	v_A	v_B
Untere Vertrauensgrenze von θ	$\hat{\theta}_c$	(50)	$\theta_{c(A)}$	$\theta_{c(B)}$
ANMERKUNG Wenn die Berechnungen nach IEC 60216-3 mit dem empfohlenen Computerprogramm durchgeführt werden, dürfen die Werte für $\theta_{c(A)}$ und $\theta_{c(B)}$ in diesem Programm direkt berechnet werden.				

Das Ergebnis der Prüfung auf Linearität (IEC 60216-3, 6.3.2) wird ebenfalls benötigt.

5.2 Berechnung des RTI

Die Berechnung der Koeffizienten der Gleichungen der thermischen Lebensdauer sowohl für das Untersuchungs- als auch für das Vergleichsmaterial muss in Übereinstimmung mit den Anweisungen in 6.1 und 6.2 von IEC 60216-3 durchgeführt werden (siehe 5.1 der vorliegenden Norm). Mit diesen Koeffizienten müssen die Werte von τ_c und θ_B wie unten angegeben berechnet werden (siehe auch Bild 1).

- a) Mit den Regressionskoeffizienten für das Vergleichsmaterial wird die Zeit τ_c berechnet, die dessen ATI zugeordnet ist:

$$\ln \tau_c = a_A + \frac{b_A}{(\theta_A + \theta_0)} \quad (1)$$

- b) Mit den Regressionskoeffizienten für das Untersuchungsmaterial wird die Temperatur berechnet, die einer Zeit τ_c zuzuordnen ist:

$$\theta_B = \frac{b_B}{[\ln(\tau_c) - a_B]} - \theta_0 \quad (2)$$

Der gesuchte Index RTI ist gleich dem Wert von θ_B in °C.

5.3 Statistische und numerische Prüfungen

5.3.1 Prüfungen nach IEC 60216-3

Die statistischen und numerischen Prüfungen in IEC 60216-3 müssen vor den Berechnungen in diesem Abschnitt durchgeführt und die daraus erhaltenen Ergebnisse bei der Erstellung des Berichtes nach Abschnitt 6 mit aufgenommen werden.

5.3.2 Genauigkeit der Bezugszeit

Wenn das Vergleichsmaterial bei einer früheren Gelegenheit mit der gleichen Bewertungsprüfung und dem gleichen ATI untersucht worden war, sollten die beiden Werte für τ_c unter Verwendung der t -Verteilung nach Student auf den Unterschied der beiden Mittelwerte miteinander verglichen werden. Ein signifikanter Unterschied kann auf eine Veränderung des Vergleichsmaterials selbst hinweisen, auf eine Änderung in der Ausrüstung der Wärmeschränke oder einer Änderung der Prüfgeräte. Die Ursache sollte untersucht und angegeben werden.

Statistische Verfahren zur Abschätzung der Signifikanz der Unterschiede von Werten sind in [Anhang A](#) aufgeführt.

5.3.3 Unterer Vertrauensbereich des RTI

Die untere Vertrauensgrenze des RTI wird aus den unteren Vertrauensgrenzen für die Schätzwerte der Temperaturen θ_A und θ_B ([IEC 60216-3, 6.3.3 b](#)), Gleichungen (46) bis (50)) berechnet.

Die untere Vertrauensgrenze θ_B für die Temperatur $\theta_{c(B)}$ wird nach [IEC 60216-3, 6.3.3 b](#)), für eine Zeit τ_c berechnet; nach Subtraktion des Ergebnisses von dem Wert für θ_B erhält man den Vertrauensbereich Δ_B .

$$X_{L(B)} = \bar{x}_B + \frac{(Y - \bar{y}_B)}{b_r} + \frac{t s_r}{b_r} \quad (3)$$

$$Y = \ln \tau_c \quad ; \quad \hat{X}_B = (Y - a_B) / b_B \quad (4)$$

$$\text{wobei } b_r = b_B - \frac{t^2 s_B^2}{b_B \mu_{2(B)}} \quad (5)$$

$$s_r^2 = s_B^2 \left(\frac{b_r}{b_B} + \frac{(\hat{X}_B - \bar{x}_B)^2}{\mu_{2(B)}} \right) \quad (6)$$

Hierbei ist t der Wert für die Student-Prüfvariable t für n_B Freiheitsgrade und ein Signifikanzniveau von 0,05 (siehe [Tabelle B.3](#)).

$\mu_{2(B)}$ ist das zweite zentrale Moment für die x -Werte:

$$\mu_{2(B)} = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^k n_{i(B)} (x_{i(B)} - \bar{x}_{(B)})^2 \quad (7)$$

(Einzelheiten hierzu siehe [IEC 60216-3, 6.2.2](#))

Die untere Vertrauensgrenze θ_A für die Temperatur $\theta_{c(A)}$ wird wie oben angegeben für eine Zeit τ_c berechnet und das Ergebnis von dem Wert für θ_A subtrahiert, um den Vertrauensbereich Δ_A zu erhalten.

Der untere Vertrauensbereich Δ_R für RTI ergibt sich dann als „pythagoreische“ (orthogonale) Vektorsumme aus den beiden Intervallen:

$$\Delta_R = \sqrt{(\Delta_A^2 + \Delta_B^2)} \quad (8)$$

5.3.4 Extrapolation

Der für die Bestimmung der Bezugszeit erforderliche Extrapolationsbereich wird sowohl für das Vergleichsmaterial als auch für das Untersuchungsmaterial als Differenz zwischen dem Logarithmus der Bezugszeit und dem größten Mittelwert der Logarithmen der Ausfallzeiten berechnet (ν_A oder ν_B). Der erforderliche Extrapolationsbereich ist dann der größere der erhaltenen beiden Werte.

6 Prüfbericht

6.1 Ergebnisse der statistischen und numerischen Tests

Die folgenden Kriterien werden angesetzt:

- Linearität von Beziehungen zwischen der thermischen Lebensdauer und den Vertrauensbereichen der TI-Ergebnisse sowohl des Vergleichs- als auch des Untersuchungsmaterials (siehe IEC 60216-3, 6.3.2 und 6.3.3): Beide Ergebnisse müssen den Anforderungen nach IEC 60216-3, 7.3.1 und 7.3.2, entsprechen.
- Die Extrapolation, angegeben als das Verhältnis der Bezugszeit (siehe voranstehend 5.3.4) zum größten geometrischen Mittelwert der Ausfallzeit, muss kleiner sein als 4.
- Unterer Vertrauensbereich des RTI (siehe voranstehend 5.3.3): Der Wert von Δ_R muss kleiner sein als das Halbzeitintervall ($HIC_{B(c)}$) für das Untersuchungsmaterial bei einer Zeit, die der Bezugszeit entspricht (siehe IEC 60216-3, 7.1).

$$HIC_{B(c)} = b_B \left[\frac{1}{((\ln \tau_c / 2) - a_B)} - \frac{1}{(\ln \tau_c - a_B)} \right] \quad (9)$$

6.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen aus den Berechnungen nach 5.2 und 5.3.3 wie folgt bestimmt werden:

- Falls alle Prüfkriterien (siehe 6.1) erfüllt werden, muss das Ergebnis der Wert des RTI sein. Das Ergebnis muss dann in folgender Form angegeben werden: „RTI nach IEC 60216-5 = xxx“ gerundet auf einen vollen Wert in °C.
- Falls eines der Prüfkriterien nicht erfüllt ist, muss als Ergebnis die untere 95%-Vertrauensgrenze des RTI angegeben werden. Das Ergebnis muss dann in folgender Form angegeben werden: „RTI untere 95%-Vertrauensgrenze = xxx“ gerundet auf einen vollen Wert in °C.
- Falls zwei oder mehr der Prüfkriterien nicht erfüllt sind, kann kein Ergebnis in Übereinstimmung mit den Anforderungen nach IEC 60216-5 angegeben werden. Das Gesamtergebnis kann in folgender Form angegeben werden:
„RTI = xxx. (Ergebnis aufgrund der statistischen Prüfung nicht aussagefähig)“.

6.3 Bericht

Der Bericht muss mindestens Folgendes enthalten:

- das Ergebnis;
- die kennzeichnende Beschreibung des Vergleichsmaterials und den Wert seines ATI (siehe Anhang D);
- die angewandte Bewertungsprüfung und den Grenzwert;
- die Berichte zur thermischen Lebensdauerprüfung nach IEC 60216-1 für das Vergleichs- und für das Untersuchungsmaterial;
- bei einem Ergebnis nach Kategorie 6.2 c) die Einzelheiten zum Versagen bei der statistischen Bewertung.

7 Materialprüfung mittels kurzzeitiger Warmlagerung

Oft besteht die Anforderung, Materialien durch eine kurzzeitige Warmlagerung zu prüfen, z. B. um das thermische Leistungsverhalten von Materialien mit geringfügigen chemischen Modifikationen mit einem bekannten Vergleichsmaterial zu vergleichen, oder bei der Qualitätskontrolle von Isolierstoffen mit einem Bestandteil an Antioxidationsmitteln, wobei eine Warmlagerung des Materials bei der erhöhten Temperatur über eine Zeitdauer von wenigen tausend Stunden angewandt werden könnte.

Die Interpretation derartiger Versuche kann erhebliche Schwierigkeiten bereiten, besonders wenn die Warmlagerung mit Eigenschaftsmessungen nach einer einzigen, festgelegten Zeit bei nur einer einzigen Temperatur erfolgt. Da eine Prüfung auf den Zusammenhang mit einem Modell der chemischen Kinetik fehlt, führt das zu einer Ursache für systematische Fehler, die durch eine Änderung an der Versuchsausrüstung oder dem Material verursacht werden.

Es wird empfohlen, in diesen Fällen ein Vergleichsmaterial von ähnlicher Zusammensetzung und Alterungsrate wie das Versuchsmaterial simultan warm zu lagern und nach der gleichen Lagerungszeit zu prüfen. Eine Überprüfung, ähnlich der nach [Anhang A](#), kann dann an den zwei Sätzen von Eigenschaftswerten vorgenommen werden, um festzustellen, ob signifikante Unterschiede bestehen zwischen

- a) dem Untersuchungsmaterial und dem Vergleichsmaterial oder
- b) den jetzt vorliegenden Prüfwerten für das Vergleichsmaterial und früheren Prüfwerten an dem gleichen Material.

Bei dieser Überprüfung sind s_1^2 und s_2^2 die Varianzen der Gruppen von Eigenschaftswerten nach der Warmlagerung bei der Prüftemperatur; $\bar{y}_1$ und $\bar{y}_2$ sind die Mittelwerte dieser Gruppen (siehe Gleichungen (A.1) bis (A.4)).

Falls das nicht anderweitig festgelegt ist, muss die Prüfung auf signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von 0,05 durchgeführt werden (siehe [Tabelle B.1](#)).

Werden keine signifikanten Unterschiede gefunden, darf angenommen werden, dass die thermischen Langzeiteigenschaften der beiden verglichenen Materialien die gleichen sind. Werden im Falle a) (siehe oben) signifikante Unterschiede gefunden, ist es wahrscheinlich, dass die Gebrauchseigenschaft des Untersuchungsmaterials nicht die gleiche ist wie die des Vergleichsmaterials. Werden im Falle b) signifikante Unterschiede (siehe oben) gefunden, ist es wahrscheinlich, dass die Warmlagerungsbedingungen in irgendeiner Weise von den ursprünglich angewandten abweichen; sie sollten untersucht und die Ursache festgestellt werden.

8 Klassifizierung der Isolation

Falls erforderlich, kann das Untersuchungsmaterial einer Isolationsklasse nach [Tabelle B.1](#) zugeordnet werden.

Anhang A (informativ)

Wiederholbarkeit der Bezugszeit

A.1 Übersicht

Sofern ein Vergleichsmaterial bei einer früheren Gelegenheit untersucht wurde, sollten die Werte von τ_c miteinander verglichen werden. Ein bedeutender Unterschied kann auf eine Änderung des Materials selbst oder möglicherweise auf eine Änderung in der Ausrüstung der Wärmeschränke oder eine Änderung der Prüfgeräte hinweisen. Die Ursache sollte untersucht und angegeben werden.

Der Vergleich wird unter Anwendung des t -Testes (nach der Student-Verteilung) für die Differenz zweier Mittelwerte mit den unten angegebenen Verfahren durchgeführt. Die Indizes 1 und 2 beziehen sich dabei auf die beiden Gesamtheiten an Werten. In den Gleichungen bedeuten die Werte $\bar{y}_1$ und $\bar{y}_2$ die Logarithmen der beiden Werte für die Bezugszeit.

A.2 F -Test auf Gleichheit der Varianzen

Die Varianzen der y -Werte für das Vergleichsmaterial bei der vorliegenden und bei der früheren Untersuchung (s_1^2 und s_2^2) müssen in Übereinstimmung mit den Anweisungen nach IEC 60216-3 (6.3.2, Gleichung (41) oder (42)) berechnet werden. Deren Verhältnis wird mit dem F -Test für ein Signifikanzniveau von 0,05 mit den Freiheitsgraden $n_1 - 2$ und $n_2 - 2$ auf Gleichheit der Varianzen geprüft (siehe Tabelle B.1).

ANMERKUNG: Die Formelzeichen s_1^2 und s_2^2 beziehen sich hier auf die Schätzwerte für die Varianz bei dem Material für die Fälle 1 und 2 und nicht auf diejenigen innerhalb und zwischen den Gruppen, wie sie in IEC 60216-3, Gleichungen (41) und (42) vorliegen.

A.3 Standardfehler der Differenz zweier Mittelwerte

Falls sich die Werte der Varianzen nicht signifikant unterscheiden, werden diese unter Anwendung der Gleichungen (A.1) und (A.2) zusammengefasst:

$$s_D^2 = \frac{s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1)}{(n_1 + n_2 - 2)} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \quad (\text{A.1})$$

$$n_D = (n_1 + n_2 - 2) \quad (\text{A.2})$$

Falls die Varianzen sich in signifikantem Maße unterscheiden, müssen die Gleichungen (A.3) und (A.4) verwendet werden. In diesem Fall darf der Wert von n_D nicht ganzzahlig sein. Der nächste ganzzahlige Wert (durch zweckmäßige Auf- oder Abrundung erhalten) muss bei den weiteren Berechnungen eingesetzt werden.

$$s_D^2 = \frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \quad (\text{A.3})$$

$$n_D = \frac{(s_D^2)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (\text{A.4})$$

Die Wurzel aus dem Wert für s_D^2 ist der Standardfehler s der Differenz der zusammengefassten Mittelwerte der y -Werte.

ANMERKUNG Wenn die Werte von n_1 und n_2 gleich sind, werden die Gleichungen (A.1) und (A.3) identisch.

A.4 Student's- t -Test für die Differenz zweier Mittelwerte

Wenn zwei Schätzwerte für einen Mittelwert (was im vorliegenden Falle Schätzwerte durch lineare Regression einschließt) aus getrennten Gesamtheiten von Messwerten ermittelt werden und wenn angenommen werden kann, dass die zugehörigen wahren Werte die gleichen sind, kann deren Gleichheit mit dem Student- t -Test überprüft werden. Das Prinzip dieses Tests besteht darin, dass das Verhältnis der Differenz der erwarteten Mittelwerte zum Standardfehler dieser Differenz berechnet wird. Die Varianzen der beiden Gesamtheiten von Messwerten werden in der gleichen Weise zusammengefasst wie die Varianzen in Abschnitt A.2, und hieraus wird der Standardfehler berechnet.

Der Wert von t ist das Verhältnis der Differenz der Mittelwerte zum Standardfehler:

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2)}{\sqrt{s_D^2}} \quad (\text{A.5})$$

Die zugehörige Anzahl an Freiheitsgraden ist n_D oder der nächste ganzzahlige Wert. Wenn der Wert von t größer ist als der in Tabelle B.2 für ein Signifikanzniveau von 0,05 aufgeführte Wert, ist die Differenz als signifikant anzusehen, und die Ursache hierfür sollte untersucht werden.

Für die Anwendung in 5.3.2, und zwar bei der Berechnung der Gleichungen (A.1) bis (A.5), werden die Werte für s_1^2 und s_2^2 mit Gleichung (45) in IEC 60216-3, 6.3.3, erhalten, nämlich:

$$s_Y^2 = \frac{s^2}{N} \left[1 + \frac{(X - \bar{x})^2}{\mu_2(x)} \right]$$

$$s_1^2 = \left| N s_Y^2 \right|_1 \quad \text{and} \quad s_2^2 = \left| N s_Y^2 \right|_2 \quad (\text{A.6})$$

Die Werte für $\bar{y}_1$ and $\bar{y}_2$ entsprechen den Logarithmen der beiden Werte von τ_c .

A.5 Zusammenfassung der Werte

Wenn sich die beiden Ergebnisse für die Bezugszeit und die beiden Werte für die Varianz nicht signifikant unterscheiden, kann eine genauere Bestimmung des Logarithmus der Bezugszeit dadurch erhalten werden, dass die beiden Gesamtheiten der Messwerte zusammengefasst werden:

$$\bar{y} = \frac{(n_1 \bar{y}_1 + n_2 \bar{y}_2)}{(n_1 + n_2)} \quad (\text{A.7})$$

$$s^2 = \frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{(n_1 + n_2 - 2)} \quad (\text{A.8})$$