

**DIN EN 60893-2
(VDE 0318-2)**
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 29.035.20

Einsprüche bis 2018-05-23

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60893-2
(VDE 0318-2):2005-02

Entwurf

**Tafeln aus technischen Schichtpressstoffen auf der Basis warmhärtender Harze für elektrotechnische Zwecke –
Teil 2: Prüfverfahren
(IEC 15/817/CD:2017); Text Deutsch und Englisch**

Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes –
Part 2: Methods of test
(IEC 15/817/CD:2017); Text in German and English

Stratifiés industriels rigides en planches à base de résines thermodurcissables à usages électriques –
Partie 2: Méthodes d'essai
(IEC 15/817/CD:2017); Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-03-23 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 65 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Konditionierung der Probekörper	6
4 Maße.....	6
4.1 Dicke.....	6
4.2 Ebenheit	7
5 Mechanische Prüfungen.....	7
5.1 Biegefestigkeit	7
5.2 Elastizitätsmodul aus dem Biegeversuch.....	8
5.3 Druckfestigkeit	8
5.4 Schlagfestigkeit	8
5.5 Scherfestigkeit parallel zur Schichtrichtung.....	10
5.6 Zugfestigkeit	10
6 Elektrische Prüfungen	11
6.1 Durchschlagfestigkeit und Durchschlagspannung	11
6.2 Permittivität und Verlustfaktor	12
6.3 Isolationswiderstand nach dem Eintauchen in Wasser	21
6.4 Vergleichszahl und Prüfzahl der Kriechwegbildung	22
6.5 Resistenz gegen Kriechwegbildung und Erosion.....	23
7 Thermische Prüfungen	23
7.1 Thermisches Langzeitverhalten	23
7.2 Entflammbarkeit.....	23
8 Sonstige Prüfverfahren.....	24
8.1 Dichte.....	24
8.2 Wasserabsorption.....	24
Anhang A (informativ) Darstellungsweisen der Kapazität	30
Anhang B (informativ) Flüssigkeiten mit bekannten Permittivitätswerten.....	31
Literaturhinweise	32
Bilder	
Bild 1 – Probekörper für Schlagfestigkeitsprüfung	25
Bild 2 – Vorrichtung zur Prüfung der parallelen Scherfestigkeit	26
Bild 3 – Beispiel für ein Elektrodensystem für Verfahren A.....	27
Bild 4 – Beispiel für ein Elektrodensystem für Verfahren B	28
Bild 5 – Beispiel für ein Elektrodensystem für Verfahren C.....	29
Bild A.1 – Gleichwertige Parallel- und Reihen-Ersatzdarstellung eines Kondensators.....	30

Tabellen

Tabelle 1 – Für Routinemessungen anwendbare Reihenfolge 20

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 15/817/CD:2017 „Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 2: Methods of test“ (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 15 „Standards on specifications for electrical insulating materials“ 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 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 181 „Feste elektrische Isolierstoffe“ 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.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 60893-2 (VDE 0318-2):2005-02** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Neue Werkstofftypen wurden eingeführt,
- b) Eigenschaftsanforderungen für einige vorhandene Werkstofftypen wurden verändert,
- c) Ein neues Prüfverfahren zur Ermittlung der Permittivität und des Verlustfaktors wurde hinzugefügt,
- d) Alle nicht den Anforderungen entsprechende Angaben für jeden Werkstofftyp wurden in einen neuen Teil 4 von IEC 60893 verschoben.

Tafeln aus technischen Schichtpressstoffen auf der Basis warmhärtender Harze für elektrotechnische Zwecke – Teil 2: Prüfverfahren

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60893 beschreibt Prüfverfahren für Werkstoffe, die in **IEC 60893-1** definiert sind (auch als Teil 1 bezeichnet).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 60112, *Method for determining the comparative and the proof tracking indices of solid insulating materials under moist conditions*

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 60243-1:1998, *Electric strength of solid insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60250:1969, *Recommended methods for the determination of the permittivity and dielectric dissipation factor of electrical insulating materials at power, audio and radio frequencies including metre wavelengths*

IEC 60296:1982, *Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgear*

IEC 60587:1984, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*

IEC 60695-11-10:1999, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60893-1:2004, *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 1: Definitions, designations and general requirements*

IEC 60893-3 (all parts 3), *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 3: Specifications for individual materials*

IEC 60893-4:2003, *Industrial rigid laminated sheets based on thermosetting resins for electrical purposes – Part 4: Typical values*

IEC 62631-3-3:2015, *Dielectric and resistive properties of solid insulating materials – Part 3-3: Determination of resistive properties (DC methods) – Insulation resistance*

ISO 62:1999, *Plastics – Determination of water absorption*

ISO 178:2001, *Determination of flexural properties*

ISO 179-1:2000, *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 1: Non-instrumented impact test*

ISO 179-2:1997, *Plastics – Determination of Charpy impact properties – Part 2: Instrumented impact test*

ISO 180:2000, *Plastics – Determination of Izod impact strength*

ISO 527-1: 1993, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles*

ISO 527-4:1997, *Plastics – Determination of tensile properties – Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites*

ISO 604:2002, *Plastics – Determination of compressive properties*

ISO 1183:1987, *Plastics – Methods for determining the density and relative density of non-cellular plastics*

ISO 3611:1978, *Micrometer callipers for external measurement*

3 Konditionierung der Probekörper

Wenn nicht anders festgelegt, müssen die Probekörper mindestens 24 h im Normalklima B nach IEC 60212 (Temperatur $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$, relative Luftfeuchte $(50 \pm 5)\%$) konditioniert werden.

Wenn nicht anders vorgeschrieben, muss jeder Probekörper im Vorbehandlungsklima und bei Vorbehandlungstemperatur geprüft werden, oder die Prüfungen müssen innerhalb von 3 min nach Entnahme des jeweiligen Probekörpers aus dem Vorbehandlungsklima beginnen.

Wenn in einem der Blätter von IEC 60893-3 eine Prüfung bei erhöhter Temperatur gefordert ist, müssen die Probekörper unmittelbar vor der Prüfung für 1 h bei der erhöhten Temperatur vorbehandelt werden.

4 Maße

4.1 Dicke

4.1.1 Allgemeines

Jedes Verfahren, das es ermöglicht, die Dicke der Schichtpressstofftafel an einer geeigneten Anzahl von Punkten zu messen, darf angewendet werden, vorausgesetzt, die verwendete Vorrichtung und das Messverfahren ermöglichen eine Genauigkeit von 0,01 mm oder besser.

Das folgende Standardverfahren (Referenzmethode) hat sich als geeignet erwiesen und ist in Streitfällen anzuwenden.

4.1.2 Prüfgerät für das Standardverfahren

In Streitfällen muss eine Bügelmessschraube gemäß ISO 3611 mit einem Durchmesser der Auflagefläche zwischen 6 mm und 8 mm verwendet werden.

4.1.3 Verfahren für das Standardverfahren

Die Dicke der Schichtpressstofftafel ist im Anlieferungszustand an 8 Punkten auf 0,01 mm genau zu messen. Es sind zwei Messungen an jeder Kante, nicht weniger als 20 mm von der Kante entfernt, vorzunehmen.

4.1.4 Ergebnisse

Die maximalen und minimalen Messwerte und der arithmetische Mittelwert der Messwerte sind zu dokumentieren.

4.2 Ebenheit

4.2.1 Allgemeines

Dieser Test ist für alle Tafeln mit einer Dicke von 3 mm oder größer anzuwenden.

4.2.2 Probekörper

Der Probekörper muss aus der ganzen zu prüfenden Tafel oder Platte im Anlieferungszustand bestehen.

4.2.3 Prüfverfahren

Wenn eine beliebige Tafel mit der Nenndicke von 3,0 mm oder mehr ohne Belastung mit der konkaven Seite nach oben auf eine ebene Unterlage gelegt wird, darf die Abweichung keines Punkts der Tafeloberfläche von einem leichten 1 000 mm oder 500 mm langen Richtlineal, das in jeder Richtung auf die Tafel gelegt wird, den in IEC 60893-3 genannten Wert überschreiten, der abhängig vom Werkstoff, seiner Dicke und von der Länge des Richtlineals ist. Die Masse des 1000-mm-Richtlineals darf 800 g, die des 500-mm-Richtlineals 400 g nicht überschreiten.

4.2.4 Ergebnisse

Die maximale gemessene Abweichung der Ebenheit der Fläche ist in mm zu dokumentieren.

ANMERKUNG Für den Fall, dass die Tafel in zwei Richtungen von der Flächenebenheit abweicht, sprich sattelförmig, so sind beide Abweichungen zu messen und die höchste zu dokumentieren.

5 Mechanische Prüfungen

5.1 Biegefestigkeit

5.1.1 Allgemeines

Die Biegefestigkeit ist definiert durch die Biegespannung beim Bruch. Ihre Bestimmung erfolgt durch die in ISO 178 festgelegte Methode.

5.1.2 Probekörper

Die Probekörper sind aus der zu prüfenden Tafel mit ihren Hauptachsen parallel zu den Seiten der Tafel auszuschneiden. 5 Probekörper sind in jede Richtung zu testen, außer bei Typen, deren Fasern hauptsächlich in die gleiche Richtung verlaufen. In solchen Fällen sind 5 Probekörper so zu schneiden, dass ihre Längsachsen parallel zur Faserrichtung verlaufen.

Wenn die Nenndicke der zu prüfenden Tafel größer als 10 mm ist (bzw. 20 mm bei den Typen PF WV), ist die Dicke des Probekörpers auf 10 mm zu verringern (bzw. 20 mm bei PF WV).

Sollte es notwendig sein, die Dicke des Probekörpers zu reduzieren, ist die Bearbeitung so vorzunehmen, dass eine Oberfläche der Tafel intakt bleibt. In diesen Fällen muss der Probekörper so getestet werden, dass die Original-Oberfläche in Kontakt mit den zwei Auflagern steht.

5.1.3 Prüfverfahren

Der Test muss so ausgeführt werden, dass die Belastung senkrecht zur Fläche der Schichtung erfolgt. Die Testgeschwindigkeit muss bei 5 mm/min mit einer Toleranz von ± 20 % liegen.

5.1.4 Ergebnisse

Der arithmetische Mittelwert der Prüfergebnisse ist für jede Richtung in MPa anzugeben. Der niedrigere der zwei Mittelwerte, der bei der Prüfung ermittelt wurde, ist der maßgebliche Minimalwert für die Biegbarkeit der Tafel, dies gilt jedoch nicht für Tafeln, deren Faserschichtung hauptsächlich in eine Richtung verläuft. In diesen Fällen ist der in diese Richtung erzielte Mittelwert anzugeben.

5.2 Elastizitätsmodul aus dem Biegeversuch

5.2.1 Allgemeines

Das folgende Prüfverfahren muss angewendet werden, um das Elastizitätsmodul bei der Biegung zu ermitteln.

5.2.2 Probekörper

Der Probekörper muss die gleiche Form wie in [5.1.2](#) beschrieben aufweisen.

5.2.3 Prüfverfahren

Das Elastizitätsmodul ist gemäß der in ISO 178 beschriebenen Methode zu ermitteln.

5.2.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in MPa anzugeben.

5.3 Druckfestigkeit

5.3.1 Allgemeines

Die folgenden Prüfverfahren sind zur Bestimmung der Druckfestigkeit anzuwenden.

5.3.2 Probekörper

Die Probekörper müssen aus der zu prüfenden Tafel, wie in ISO 604 beschrieben, geschnitten werden.

5.3.3 Prüfverfahren

Die Druckfestigkeit wird mittels der in ISO 604 festgelegten Prüfverfahren bestimmt, wobei die Belastung senkrecht zur Fläche der Schichtung zu erfolgen hat.

5.3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in MPa anzugeben.

5.4 Schlagfestigkeit

5.4.1 Allgemeines

Dieses Prüfverfahren ist nur bei einer Tafeldicke größer oder gleich 5 mm anwendbar.

5.4.2 Charpy-Schlagfestigkeit

5.4.2.1 Probekörper

Die Probekörper sind aus der zu prüfenden Tafel gemäß den Vorgaben nach Bild 1a) zu schneiden. Fünf Probekörper mit einer Dicke zwischen 5 mm und 10 mm müssen in jede Richtung getestet werden, dies gilt jedoch nicht für Typen, bei denen die Faserrichtung hauptsächlich in eine Richtung verläuft. In diesen Fällen sind nur fünf Probekörper so zu schneiden, dass ihre Längsachsen parallel zur Faserrichtung verlaufen.

Sollte die nominale Dicke der zu prüfenden Tafel größer als 10 mm sein, ist die reduzierende Bearbeitung des Prüfkörpers so vorzunehmen, dass die Abtragung bis auf 10 mm Tafeldicke gleichmäßig auf beiden Tafelflächen erfolgt.

5.4.2.2 Prüfverfahren

Die Charpy-Schlagfestigkeit ist in Kantenrichtung zu bestimmen, wie in den Verfahren von ISO 179-1 und ISO 179-2 beschrieben, wobei die Proben wie oben beschrieben beschaffen sein müssen und der Bereich 70 mm betragen muss. Der Werkstoff ist so zu prüfen, dass seine Hauptachsen in jeder Richtung parallel zu den Seiten der Tafel liegen. Dies gilt jedoch nicht für Werkstoffe, bei denen die Faserrichtung hauptsächlich in eine Richtung verläuft. Für diese Werkstoffe dürfen nur Prüfkörper mit einer Längsachse parallel zur Faserrichtung geprüft werden.

5.4.2.3 Ergebnisse

Der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse ist für jede Richtung in kJ/m^2 zu dokumentieren. Der niedrigere der zwei Mittelwerte, der bei der Prüfung erreicht wurde, bestimmt die minimale Charpy-Schlagfestigkeit der Tafel, dies gilt jedoch nicht für den Fall, in dem die verstärkenden Fasern hauptsächlich in eine Richtung verlaufen. In diesen Fällen ist der in diese Richtung erzielte Mittelwert anzugeben.

5.4.3 Izod-Schlagfestigkeit

5.4.3.1 Probekörper

Die Maße der Probekörper müssen der Beschreibung in Bild 1b) entsprechen. Fünf Probekörper mit einer Dicke zwischen 5 mm und 10 mm müssen in jede Richtung getestet werden, dies gilt jedoch nicht für Typen, bei denen die Faserrichtung hauptsächlich in eine Richtung verläuft. In diesen Fällen sind nur fünf Probekörper so zu schneiden, dass ihre Längsachsen parallel zur Faserrichtung verlaufen.

Sollte die nominale Dicke der zu prüfenden Tafel größer als 10 mm sein, ist die reduzierende Bearbeitung des Prüfkörpers so vorzunehmen, dass die Abtragung bis auf 10 mm Tafeldicke gleichmäßig auf beiden Tafelflächen erfolgt.

5.4.3.2 Prüfverfahren

Die Izod-Schlagfestigkeit muss in Kantenrichtung nach dem in ISO 180 beschriebenen Verfahren bestimmt werden. Die Werkstoffe sind mit ihren Hauptachsen in jeder Richtung parallel zu den Tafelseiten zu prüfen. Dies gilt jedoch nicht für Werkstoffe, deren Fasern hauptsächlich in einer Richtung liegen. Für diese Werkstoffe muss die Prüfung mit der Längsachse parallel zur Faserrichtung erfolgen.

5.4.3.3 Ergebnisse

Der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse ist für jede Richtung in kJ/m^2 zu dokumentieren. Der niedrigere der zwei Mittelwerte, der bei der Prüfung erreicht wurde, bestimmt die minimale Izod-Schlagzähigkeit der Tafel, dies gilt jedoch nicht für die Fälle, in denen die verstärkenden Fasern hauptsächlich in eine Richtung verlaufen. In diesen Fällen ist der in diese Richtung erzielte Mittelwert anzugeben.

5.5 Scherfestigkeit parallel zur Schichtrichtung

5.5.1 Allgemeines

Das Scherfestigkeitsprüfverfahren parallel zur Schichtrichtung liefert Daten, die einen Hinweis für die Bindung oder die Haftfestigkeit zwischen den Schichten geben. Das Prüfverfahren kann nur bei Tafeln mit einer Dicke größer als 5 mm angewendet werden.

5.5.2 Probekörper

Es werden rechteckige Probekörper mit folgenden Maßen herausgeschnitten:

Länge 20 mm $\pm$ 0,1 mm

Breite und Dicke $5^{+0}_{-0,15}$ mm

Die Probekörper sind aus der zu prüfenden Tafel mit ihren Hauptachsen parallel zu den Seiten der Tafel auszuschneiden. Es sind fünf Sätze von Probekörpern für jede Hauptachse vorzubereiten, wobei jeder Satz aus zwei Stücken besteht.

Die zwei Probekörper jedes Paares müssen in der Breite (Abmessung entlang der Schichtrichtung rechtwinklig zur Länge) bis auf 0,01 mm genau übereinstimmen.

5.5.3 Prüfverfahren

Zwei Probekörper werden gleichzeitig der Scherbeanspruchung in der Apparatur, wie in [Bild 2](#) abgebildet, ausgesetzt.

Die Probekörper müssen so angeordnet werden, dass die Scherbeanspruchung in einer Ebene parallel zur Schichtrichtung wirkt. Die relative Bewegungsgeschwindigkeit des Kreuzkopfs der Prüfapparatur muss bei 2 mm/min mit einer Toleranz von ± 20 % liegen.

5.5.4 Ergebnisse

Die Scherfestigkeit ist durch Division der Scherkraft mit der Gesamtscherfläche von $2 \times 100 \text{ mm}^2$ zu berechnen.

Der arithmetische Mittelwert der Prüfergebnisse ist für jede Richtung in MPa anzugeben, der niedrigere der beiden Mittelwerte gilt als Scherfestigkeit parallel zur Schichtrichtung der zu prüfenden Tafel.

5.6 Zugfestigkeit

5.6.1 Allgemeines

Die Zugfestigkeit, definiert als Zugspannung bei Maximallast, ist mittels der in ISO 527-4 in Verbindung mit ISO 527-1 festgelegten Verfahren zu bestimmen.

5.6.2 Probekörper

Die Probekörper der zu prüfenden Tafel sind so zu schneiden, dass die Hauptachsen in jeder Richtung parallel zu den Seiten der Tafel liegen. Für jede Richtung sind fünf Probekörper in Nenndicke zwischen 1,5 mm und 10 mm entsprechend dem Typ 1 nach ISO 527-4 zu prüfen, außer für den Fall, dass die Faserrichtung hauptsächlich in der gleichen Richtung liegt. Für diese Werkstoffe muss die Prüfung mit der Längsachse parallel zur Faserrichtung erfolgen.

Wenn die zu prüfende Tafel dicker als 10 mm ist, muss die Dicke des Probekörpers auf beiden Seiten zu gleichen Anteilen auf 10 mm abgearbeitet werden.

5.6.3 Prüfverfahren

Der Test ist wie in ISO 527-4 beschrieben durchzuführen. Die Geschwindigkeit der Abstandsvergrößerung der Backen der Prüfapparatur muss bei 5 mm/min liegen, mit einer Toleranz von ± 20 %.

5.6.4 Ergebnisse

Der arithmetische Mittelwert der Prüfergebnisse ist für jede Richtung in MPa anzugeben. Der niedrigere der beiden Mittelwerte gilt als Zugfestigkeit der zu prüfenden Tafel, außer bei Typen, deren verstärkende Fasern hauptsächlich in der gleichen Richtung liegen. In diesen Fällen ist der in diese Richtung erzielte Mittelwert anzugeben.

6 Elektrische Prüfungen

6.1 Durchschlagfestigkeit und Durchschlagspannung

6.1.1 Allgemeines

Die Durchschlagfestigkeit und Durchschlagspannung sind gemäß den Prüfverfahren nach IEC 60243-1 zu prüfen, welche beide Prüfungen beschreibt, die Stufenspannungs- und die 60-s-Nachweis-Prüfung. Jedes der beiden Prüfverfahren kann angewandt werden. Wenn es nicht anders angegeben, muss das Prüfverfahren bei $90^\circ \text{ C} \pm 2 \text{ K}$ in Mineralöl (möglichst frei von Zersetzungsprodukten), wie in IEC 60296 beschrieben, durchgeführt werden. Die Probekörper sind in Öl, für nicht weniger als 0,5 h und nicht mehr als 1 h unmittelbar vor Durchführung des Prüfverfahrens, eingetaucht zu halten.

6.1.2 Probekörper

Zur Prüfung der Durchschlagfestigkeit sind drei Probekörper senkrecht zur Schichtrichtung zu prüfen. Für die Prüfung der Durchschlagspannung sind drei Probekörper parallel zur Schichtrichtung zu prüfen.

Die Probekörper sind aus der zu prüfenden Tafel zu schneiden. Die Maße der Probekörper müssen der Beschreibung in IEC 60243-1 entsprechen.

6.1.3 Prüfverfahren

Der Werkstoff ist entweder nach der 20 s-Stufenspannungsprüfung, wie in 9.2 von IEC 60243-1 beschrieben, oder mittels der 60 s-Prüfung, wie in 9.6 von IEC 60243-1 beschrieben, zu testen.

6.1.3.1 Durchschlagfestigkeit senkrecht zur Schichtrichtung

Bei einer Werkstoffdicke von nicht mehr als 3 mm muss die Prüfung senkrecht zur Schichtrichtung erfolgen. Die obere Elektrode muss einen Durchmesser von 25 mm und die untere Elektrode einen Durchmesser von 75 mm, in Übereinstimmung mit IEC 60243-1, haben.

ANMERKUNG Dieser Test ist üblicherweise in der Teil 3-Reihe für eine Werkstoffdicke über 3 mm nicht erforderlich. Falls erforderlich, ist die Reduzierung der Dicke der Probekörper auf 3 mm durch einseitige Bearbeitung gemäß Abschnitt 4.1.1.3 von IEC 60243-1 vorzunehmen, und die Anforderungen für die 3 mm-Werkstoffdicke anzuwenden.

6.1.3.2 Durchschlagspannung parallel zur Schichtrichtung

Für Werkstoffdicken über 3 mm und bis zu 10 mm ist der Werkstoff mit der Schmalseite voran gemäß Abschnitt 4.2.2 von IEC 60243-1 (kegelige Stiftelektroden) oder gemäß Abschnitt 4.2.1.1 von IEC 60243-1 (parallele Plattenelektroden) zu prüfen. Für Werkstoffdicken oberhalb 10 mm ist gemäß Abschnitt 4.2.1.1 von IEC 60243-1 (parallele Plattenelektroden) zu prüfen. Für Werkstoffe, deren Fasern hauptsächlich in eine Richtung verlaufen, ist die Prüfung in Faserrichtung durchzuführen.

6.1.3.3 Ergebnisse

Für jedes der oben genannten Prüfverfahren wird das arithmetische Mittel der Prüfergebnisse als Ergebnis festgehalten. Der Minimalwert muss ebenso dokumentiert werden. Die Prüfergebnisse zur Durchschlagfestigkeit senkrecht zur Schichttrichtung müssen in kV/mm dokumentiert werden, und die Prüfergebnisse zur Durchschlagspannung parallel zur Schichttrichtung werden in kV angegeben.

6.2 Permittivität und Verlustfaktor

6.2.1 Allgemeine Anforderungen

Die Permittivität und der Verlustfaktor können nach jedem der in diesem Abschnitt beschriebenen drei Verfahren bestimmt werden. Wenn nicht anders in dem dafür relevanten Abschnitt von IEC 60893-4 angegeben, muss der Probekörper für (96 ± 1) h in Luft, bei einer Temperatur von $105\text{ °C} \pm 5\text{ K}$ und einer relativen Luftfeuchte von weniger als 20 % (trocken-heiße Normal-Atmosphäre nach IEC 60212) konditioniert werden. Nach Ablauf dieser Zeit sind die Probekörper in einem trockenen Exsikkator auf Raumtemperatur abzukühlen. Die Elektroden sind anzubringen und/oder anderweitig die Messungen innerhalb von 10 min nach Entnahme jedes einzelnen Probekörpers aus dem Exsikkator durchzuführen.

Wo aufgebrachte Elektroden gefordert sind, ist Silberfarbe (Leitsilber) auf die Mitte des Probekörpers aufzubringen. Leitfähiger Gummi, aufgedampfte oder aufgespritzte Elektroden dürfen nicht verwendet werden.

Die Messungen müssen, wenn nicht anders festgelegt, bei einer Temperatur von $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}$ und einer Netzfrequenz zwischen 48 Hz und 62 Hz oder bei Hochfrequenz von 1 MHz durchgeführt werden.

Um sicherzustellen, dass sich die Probekörper, die Elektroden und die Eintauchflüssigkeit während der Messungen im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung befinden, müssen alle Komponenten unmittelbar vor der Messung für mindestens 0,5 h auf Messtemperatur gehalten werden. Die Prüfspannung muss hoch genug sein, um die erforderliche Empfindlichkeit sicherzustellen, darf aber auch nicht zu hoch sein, um eine dielektrische Erwärmung und Entladungen an den Elektrodenkanten zu vermeiden.

Bei allen drei Verfahren muss die Prüfung, wenn nicht anders festgelegt, an zwei Probekörpern durchgeführt werden. Die Probekörper müssen immer mit Edelstahlzangen mit ebenen Wangen angefasst werden, um die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung oder Verschmutzung zu verringern.

Der Durchschnitt der zwei Bestimmungen ist als Prüfergebnis anzugeben.

ANMERKUNG 1 Insgesamt kann jedes der drei Prüfverfahren für Tafelwerkstoffe im Dickenbereich von 0,3 mm bis 12,0 mm angewendet werden. In Abhängigkeit von der Gestaltung des Probekörperhalters und der Elektroden jedoch, wird die Messgenauigkeit jedes Verfahrens durch Maße und Eigenschaften des Probekörpers beeinflusst.

ANMERKUNG 2 Für zusätzliche Anleitung und Klärung ist auf IEC 60250 Bezug zu nehmen.

6.2.2 Verfahren

Verfahren A – ein direktes Messverfahren unter Verwendung von aufgebrachten Elektroden

Verfahren B – ein Luftsubstitutionsverfahren ohne aufgebrachte Elektroden

Verfahren C – ein zwei-Fluid Eintauchverfahren ohne aufgebrachte Elektroden

Verfahren A ist geeignet für Tafelwerkstoffe mit einer Permittivität bis 10,0 und einem Verlustfaktor größer als 50×10^{-6} bei einer Dicke zwischen 0,3 mm und 12,0 mm, was abhängig von der Gestaltung des Probenhalters ist. Verfahren A erfordert eine genaue Kenntnis der Probenkörperdicke und sollte in all den Fällen angewandt werden, in denen diese Information bekannt ist. Siehe 6.2.3.

Verfahren B ist geeignet für Tafelwerkstoffe mit einer Permittivität bis 10,0, kann aber, bei Werkstoffen mit einem Verlustfaktor unter 250×10^{-6} , Mängel bezüglich der Genauigkeit aufweisen. Verfahren B erfordert

eine genaue Kenntnis der Probenkörperdicke und darf an Stelle von Verfahren A angewandt werden, wenn diese Information vorhanden ist. Abhängig von der Gestaltung des Probenhalters kann die Prüfung von Probekörpern mit Dicken zwischen 0,3 mm und 12 mm erfolgen.

Verfahren C ist geeignet für Werkstoffe mit einer Permittivität bis 10,0, kann aber, bei Werkstoffen mit einem Verlustfaktor unter 250×10^{-6} , Mängel bezüglich der Genauigkeit aufweisen. Falls die Dicke nicht genügend genau bekannt ist, kann Verfahren C unter dem Vorbehalt angewandt werden, dass das Verfahren die Verwendung einer inerten Flüssigkeit mit etwa der gleichen Permittivität wie der des Probekörpers erfordert.

Das Tauchverfahren, C, ermöglicht eine höhere Genauigkeit der Permittivität für Tafelwerkstoffe mit einer Dicke zwischen 0,3 mm und 1,0 mm und hat den Vorteil, dass eine genaue Kenntnis der Probendicke nicht erforderlich ist. Es ist aber nicht geeignet für Werkstoffe mit einer offenen Zellstruktur.

6.2.3 Grundsätze der Prüfverfahren

Bei den beschriebenen Prüfverfahren ist die Elektrodenanordnung ein integraler Bestandteil des Probenhalters, in den der Probekörper eingesetzt wird. Bei Verfahren A stellen Hilfselektroden den Kontakt mit den Innenelektroden dar und die Eigenschaften des Probekörpers werden gemessen, indem der Probekörper als einfacher Kondensator eingesetzt wird. Der spezielle Vorteil von Verfahren A ist, dass Messungen bei erhöhten Temperaturen durchgeführt werden können, die nur durch die thermischen Eigenschaften des Probekörpers begrenzt sind.

Bei den Verfahren B und C werden der Probekörper und geeignete Isolierflüssigkeit(en) in den Probenhalter eingeführt und die Kapazität und der Verlustfaktor der Anordnung gemessen. Solche Systeme führen bei der Messung zu kleineren Fehlern als solche mit angelegten Elektroden und erleichtern die Bereitstellung von Schutzelektroden, die elektrische Feldstörungen und Streukapazitäten verringern.

Geeignete Elektrodensysteme für jedes Verfahren sind in 6.2.5.2, 6.2.6.2 und 6.2.7.2 beschrieben. Geeignete Messgeräte sind in 6.2.4 beschrieben.

ANMERKUNG Die Permittivität und der Verlustfaktor eines Dielektrikums können sich beträchtlich mit der Frequenz, Temperatur und relativer Luftfeuchte ändern. Dementsprechend sollten die Messwerte nur für solche Fälle genommen werden, die dielektrische Eigenschaften ähnlich wie bei der Prüfung des Probekörpers aufweisen.

6.2.4 Messgeräte

Es sind Geräte mit geeigneter Empfindlichkeit zu verwenden. Ein Auflösungsvermögen von 0,3 fF ($= 0,3 \times 10^{-15}$ F) bei der Kapazität und von 0,000 01 ($= 10 \times 10^{-6}$) beim Verlustfaktor werden als ausreichend bewertet.

ANMERKUNG 1 Bei kommerziellen Messeinrichtungen werden verschiedene Ausgangsarten angeboten. Einige fortschrittlichere bieten eine Reihe von Ausgängen beim gleichen Gerät an, wodurch es dem Anwender ermöglicht wird, einen geeigneten Ausgang auszuwählen. Diese Norm setzt voraus, dass der Ausgang die Messung der Kapazität (C, in pF) und des Verlustfaktors (tan δ) erlaubt. Siehe [Anhang A](#) für die Umformung anderer Formen des Ausgangs auf dieses Format.

ANMERKUNG 2 Die Elektrodensysteme der Verfahren A, B und C sind geschützte Dreipolanschlüsse. Dies eliminiert praktisch den Einfluss von elektrischen Streufeldern an den Elektrodenkanten und beseitigt die Notwendigkeit der Kantenkapazitätskorrekturen.

ANMERKUNG 3 Es sollte entsprechend den Anweisungen des Herstellers dafür Sorge getragen werden, dass alle Messleitungen abgeschirmt sind und so kurz wie möglich gehalten werden.

Einige Geräte erfordern eine Kalibrierung bei „Kurzschluss“- und im Leerlaufzustand. Der „Kurzschluss“ sollte zwischen den Elektroden des Elektrodensystems hergestellt werden, d. h. in der Stellung, die der Probekörper einnehmen würde. Es ist sicherzustellen, dass der verwendete Kurzschluss einen niedrigen ohmschen und kapazitiven Widerstand besitzt und dass die Oberfläche der Elektroden nicht beschädigt wird. Es ist auch wichtig sicherzustellen, dass die Messschraubenstellung null nicht verändert wird. Ein U-förmiges Stück Federmetall mit glatten Kanten ist zur Verwendung als Kurzschluss geeignet. Der „Leerlaufzustand“ wird durch Unterbrechen der Elektroden am Ende der Kabel, möglichst weit weg

vom Kapazitätsmessgerät, hergestellt, so dass die Toleranz für den Einfluss der Messleitung wiederhergestellt wird. Zu beachten sind auch die Anweisungen des Herstellers, um herauszufinden, ob es notwendig ist, die äußeren Verbindungen der Koaxialkabel während dieser Kalibrierung zu unterbrechen, und ob der durch Nichtbeachten des Elektroden-systems eingeführte Fehler gering ist und vernachlässigt werden kann. Dementsprechend ist es von Vorteil, wenn ein Dreipol-Messgerät mit z. B. „Hoch“- „Nieder“- und „Schutz“-Verbindungen verwendet werden kann.

ANMERKUNG 4 Viele handelsübliche Messgeräte basieren heutzutage auf der Messung von Strom, Spannung und Phasenwinkel. Diese Geräte besitzen gewöhnlich eine Vier-(oder Fünf-)polige Ausführung. Die Anweisungen des Herstellers sind deshalb vor dem Verbinden eines Dreipol-Elektrodensystems mit solch einem Messgerät zu beachten, da die bevorzugte Art des Verbindens sich zwischen den Messgeräten unterscheiden kann.

6.2.5 Verfahren A: Direkte Messung

6.2.5.1 Kurzbeschreibung

Nach dem Messen der Probendicke werden die Elektroden auf den Probekörper „aufgemalt“, der dann in den geschützten Probenhalter eingesetzt und zwischen den Hilfselektroden platziert wird. Der Abstand der Hilfselektroden wird so weit reduziert, bis sie mit den aufgetragenen Elektroden Kontakt geben. Die Messungen der Probenkapazität und des Verlustfaktors werden durchgeführt.

Die Permittivität des zu prüfenden Werkstoffs wird aus der gemessenen Kapazität und der Dicke berechnet. Der Verlustfaktor wird gewöhnlich direkt am Messgerät abgelesen.

6.2.5.2 Elektrodensystem

Das Elektrodensystem muss mechanisch fest ausgeführt sein und eine ausreichende thermische Kapazität besitzen, damit rasche Änderungen der Umgebungstemperatur seine Masse nicht wesentlich beeinflussen. Es muss aus einer kreisförmigen Messelektrode bestehen, die von einer konzentrischen koplanaren Schutz-elektrode umgeben ist, und einer beweglichen Elektrode, deren Trennung von der Messelektrode durch eine Federeinrichtung mit Schraubgewinde gesteuert wird. Die Drehung des Schraubmechanismus ermöglicht der federbelasteten Elektrode sich an die aufgetragenen Elektroden anzuschließen. Die Schraubdrehung darf sich nicht auf die Elektrode übertragen.

Bild 3 zeigt eine mögliche Konstruktion und Ausführungen der Verbindung zu einem Dreipolmessgerät.

ANMERKUNG Für die Verbindung zu Vier- oder Mehrpolgeräten sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

6.2.5.3 Probekörper

Das Probestück muss annähernd eben und gleichmäßig dick sein und über die ungeschützte Elektrode mindestens 2 mm hinausragen. Wann immer möglich, sind Probekörper entsprechend den Empfehlungen des Herstellers des Elektrodensystems zu verwenden. Für das gezeigte Elektrodensystem muss der Probekörper entweder

- a) eine flache kreisförmige Tafel mit einem Durchmesser von (61 ± 1) mm sein oder
- b) eine flache rechteckige Tafel, 60 mm × 60 mm ist ausreichend, jedoch wird eine rechteckige Tafel mit den Maßen (61 ± 1) mm (100 ± 1) mm bevorzugt, um die Handhabung des Probekörpers zu erleichtern.

Die Dicke darf an keinem Punkt um mehr als 1 % vom Mittelwert abweichen.

ANMERKUNG Wenn möglich, sollte der Probekörper die gleiche Dicke besitzen und in gleicher Weise vorbehandelt worden sein wie der zu untersuchende elektrische Isolierstoff. Falls es notwendig ist, die Dicke zu reduzieren, muss sichergestellt werden, dass seine Oberflächen während des Prozesses nicht kontaminiert werden.

Die größte Toleranzabweichung eines Richtlineals, das entlang eines Durchmessers oder einer Diagonalen auf der konkaven Seite angelegt wird, muss kleiner als 10 % der Dicke sein.

6.2.5.4 Bestimmung der Probekörperdicke

Die Dicke des Probekörpers ist mit einer Messschraube nach 4.1.1 zu bestimmen. Vier Werte der Dicke an Punkten, die gleichmäßig um die Peripherie des Probekörpers verteilt sind, und ein fünfter Wert im Zentrum sind zu bestimmen. Der arithmetische Mittelwert t der Dicke ist für jeden Probekörper zu berechnen.

6.2.5.5 Aufbringung der Elektroden

Die Silberfarbelektroden sind unter Verwendung einer Maskentechnik und unter Befolgung der Anweisung des Herstellers aufzubringen. Der Außendurchmesser der Schutzelektrode muss der Vorschrift des Herstellers des Messgerätes entsprechen und sollte größer als die entsprechende Hilfselektrode sein. Der innere Durchmesser der Schutzelektrode muss dementsprechend kleiner sein als die Hilfsschutzelektrode.

Der Außendurchmesser der ungeschützten Elektrode muss näherungsweise gleich groß sein wie der Durchmesser der ungeschützten Hilfselektrode.

6.2.5.6 Messung von Kapazität und Verlustfaktor

Der Probekörper wird in dem Probenhalter platziert und die Hilfselektroden werden geschlossen, bis sie Kontakt mit den auf dem Probekörper aufgebrachten Elektroden haben. Es ist sicherzustellen, dass die aufgebrachten Elektroden zum Hilffsystem ausgerichtet sind.

Die Probekörperkapazität, der Verlustfaktor, die Prüffrequenz und Luftfeuchte werden gemessen und dokumentiert.

Die Messungen werden an einem zweiten Probekörper wiederholt.

6.2.5.7 Berechnungen

Der effektive Elektrodenbereich des Probekörpers wird in cm^2 berechnet.

$$A = \left(\frac{\pi}{4} \right) (d_1 + g)^2 \quad (1)$$

und die (relative) Permittivität:

$$\varepsilon_r = \frac{3,6\pi Ct}{A} \quad (2)$$

Dabei ist

C die gemessene Kapazität in pF;

t die Dicke des Probestücks in cm;

d_1 der Durchmesser der geschützten Elektrode in cm;

g der Abstand zwischen der Schutz- und der geschützten Elektrode in cm;

A der wirksame Elektrodenbereich in cm^2 .

Der Verlustfaktor ist durch Ablesen der Instrumente zu bestimmen.

Die Permittivität und der Verlustfaktor sind aus dem Durchschnitt der zwei Bestimmungen zu berechnen.

6.2.5.8 Ergebnisse

Das Ergebnis, die Prüffrequenz, die Temperatur und die Luftfeuchte werden dokumentiert.

6.2.6 Verfahren B: Luftsubstitutionstechnik

6.2.6.1 Kurzbeschreibung

Der Probekörper wird in ein System mit geschützten Elektroden eingesetzt, bei dem die Elektrodentrennung variabel ist. Zwischen der Probe und den Elektroden wird ein schmaler Luftspalt belassen, um sicherzustellen, dass der Probekörper nicht mechanisch belastet wird. Die Kapazität und der Verlustfaktor der Anordnung werden gemessen.

Der Probekörper wird entfernt und der Elektrodenabstand so verstellt, dass der Wert der Kapazitätsmessung mit der Messung des Probestücks übereinstimmt. Die Elektrodenverschiebung und der neue Wert des Verlustfaktors werden gemessen.

Die Permittivität und der Verlustfaktor des zu prüfenden Werkstoffs werden nach 6.2.6.7 aus der Dicke des Probekörpers, der Änderung des Elektrodenabstands und der Änderung des Verlustfaktors berechnet.

6.2.6.2 Elektrodensystem

Das Elektrodensystem muss mechanisch fest ausgeführt sein und eine ausreichende thermische Kapazität besitzen, damit rasche Änderungen der Umgebungstemperatur seine Masse nicht wesentlich beeinflussen. Das System muss aus einer kreisförmigen Messelektrode bestehen, die von einer konzentrischen koplanaren Schutzelektrode umgeben ist, und einer beweglichen Elektrode, deren Trennung von der Messelektrode durch einen Messschraubenkopf überwacht wird. Die Genauigkeit der Messschraube muss 0,01 mm betragen. Die Drehung des Antriebsmechanismus darf nicht auf die Elektrode übertragen werden.

Die Elektrodenoberflächen müssen eben sein und jederzeit parallel bleiben.

Bild 4 zeigt eine mögliche Konstruktion und Ausführungen der Verbindung zu einem Dreipolmessgerät.

ANMERKUNG 1 Für die Verbindung zu Vier- oder Mehrpolgeräten sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

ANMERKUNG 2 Ein genaueres Messmittel zur Bestimmung der Änderungen des Elektrodenabstandes, z. B. ein Verschiebungs-Messumformer, der das elektrische Feld zwischen den Elektroden nicht stört, darf verwendet werden.

6.2.6.3 Probekörper

Der Probekörper muss annähernd eben und gleichmäßig dick sein und muss über die ungeschützte Elektrode mindestens 2 mm hinausragen. Wann immer möglich sind Probekörper entsprechend den Empfehlungen des Herstellers des Elektrodensystems zu verwenden. Für das gezeigte Elektrodensystem muss der Probekörper entweder

- a) eine flache kreisförmige Tafel mit einem Durchmesser von (61 ± 1) mm sein oder
- b) eine flache rechteckige Tafel, 60 mm $\times$ 60 mm ist ausreichend, jedoch wird eine rechteckige Tafel mit den Maßen (61 ± 1) mm auf (100 ± 1) mm bevorzugt, um die Handhabung des Probekörpers zu erleichtern.

Die Dicke muss zweckmäßigerweise so gewählt werden, dass sie der spezifischen Spannweite des Probekörperhalters entspricht. In den meisten Fällen wird dieser Wert zwischen 0,3 mm und 12,0 mm liegen. Die Dicke darf an keinem Punkt um mehr als 1 % vom Mittelwert t abweichen, gemessen in Übereinstimmung mit 6.2.6.4.

ANMERKUNG Wenn möglich, sollte der Probekörper die gleiche Dicke besitzen und in gleicher Weise vorbehandelt worden sein wie der zu untersuchende elektrische Isolierstoff. Falls es notwendig ist, die Dicke zu reduzieren, muss sichergestellt werden, dass seine Oberflächen nicht kontaminiert werden.

Die größte Toleranzabweichung eines Richtlineals, das entlang eines Durchmessers oder einer Diagonale angelegt wird, muss weniger als 10 % der Dicke betragen.

6.2.6.4 Bestimmung der Probekörperdicke

Die Dicke des Probekörpers ist mit einer Messschraube nach 4.1.1 zu bestimmen. Vier Werte der Dicke an Punkten, die gleichmäßig um die Peripherie des Probekörpers verteilt sind, und ein fünfter Wert im Zentrum sind zu bestimmen. Der arithmetische Mittelwert t der Dicke ist für jeden Probekörper zu berechnen.

6.2.6.5 Messung von Kapazität und Verlustfaktor

Der Probekörper wird zwischen die Elektroden gesetzt und der Elektrodenabstand so verringert, dass die obere Elektrode den Probekörper gerade noch nicht berührt.

ANMERKUNG Die Messschraube wird gedreht, bis die obere Elektrode den Probekörper gerade berührt. Anschließend wird die Messschraube in die entgegengesetzte Richtung gedreht, bis kein Widerstand mehr bei geringer seitlicher Bewegung der Probe festgestellt wird.

Die Kapazität und der Verlustfaktor sind zu messen.

Der Wert des Verlustfaktors wird als $\tan \delta_1$ dokumentiert und der Elektrodenabstand als m_1 . Der Probekörper wird entfernt und der Elektrodenabstand so weit verringert, bis der ursprüngliche Kapazitätswert erreicht ist. Der neue Wert des Verlustfaktors wird als $\tan \delta_2$ dokumentiert und der Elektrodenabstand als m_2 .

Das Verfahren wird für einen weiteren Probekörper durchgeführt.

Die Frequenz, Temperatur und relative Luftfeuchte, unter denen die Messungen durchgeführt werden, werden dokumentiert.

Die Werte für die Permittivität und den Verlustfaktor werden für jede Serie von Messungen wie in 6.2.6.7 beschrieben berechnet.

Das Mittel aus diesen Werten wird berechnet und als Permittivität bzw. als Verlustfaktor des zu prüfenden Werkstoffs angegeben.

6.2.6.6 Symbole

$\tan \delta_1$ der Verlustfaktor der Elektrodenanordnung mit eingesetztem Probekörper;

$\tan \delta_2$ der Verlustfaktor der Elektrodenanordnung ohne Probekörper;

$\Delta \tan \delta = (\tan \delta_1 - \tan \delta_2)$;

m_1 die Messschraubenablesung mit eingesetztem Probekörper in mm;

m_2 die Messschraubenablesung ohne eingesetzten Probekörper in mm;

$\Delta m = (m_1 - m_2)$ in mm;

t die Dicke des Probekörpers in mm;

$\tan \delta$ der Verlustfaktor des Werkstoffs;

ε_r die (relative) Permittivität des Werkstoffs.

6.2.6.7 Berechnung der Permittivität und des Verlustfaktors

Permittivität:

Berechnung der (relativen) Permittivität

$$\varepsilon_r = \frac{t}{t - \Delta m} \quad (3)$$

Verlustfaktor:

der Verlustfaktor berechnet sich zu:

$$\tan \delta = \Delta \tan \delta \left(\frac{m_2}{t - \Delta m} \right) \quad (4)$$

6.2.6.8 Darstellung der Ergebnisse

Das Ergebnis ist der arithmetische Mittelwert der Ergebnisse der einzelnen Probekörper. Alle Einzelwerte werden aufgezeichnet.

6.2.7 Verfahren C: Zwei-Fluid-Eintauchtechnik

6.2.7.1 Kurzbeschreibung

Wie bei Verfahren B ist der Elektrodenabstand nur wenig größer als die Probekörperdicke. Obwohl im Prinzip entweder eine oder beide bei diesem Verfahren verwendeten Fluide Flüssigkeiten oder Gase sein können, erlaubt diese Norm nur die Verwendung eines Gases (für gewöhnlich Luft) als erstes Fluid und eine Flüssigkeit als zweites Fluid.

Der Probekörper wird in ein geschütztes Elektrodensystem eingesetzt, der Elektrodenabstand eingestellt, der Probekörper entfernt und die Kapazität und der Verlustfaktor gemessen. Der Probekörper wird wieder eingesetzt und die Kapazität und der Verlustfaktor des Elektrodensystems erneut gemessen. Nach Entfernen des Probekörpers wird der Raum zwischen den Elektroden mit der Tauchflüssigkeit gefüllt und die Kapazität und der Verlustfaktor gemessen. Der Probekörper wird wieder eingesetzt und die Kapazität und der Verlustfaktor werden erneut gemessen. Die Permittivität und der Verlustfaktor des zu prüfenden Werkstoffs werden, wie in 6.2.7.8 beschrieben, berechnet.

6.2.7.2 Elektrodensystem

Das Elektrodensystem muss mechanisch fest ausgeführt sein und eine ausreichende thermische Kapazität besitzen, damit rasche Änderungen der Umgebungstemperatur seine Masse nicht wesentlich beeinflussen. Das System muss aus einer kreisförmigen Messelektrode bestehen, die von einer konzentrischen koplanaren Schutzelektrode umgeben ist, und einer beweglichen Elektrode, deren Trennung von der Messelektrode durch einen Messschraubenkopf überwacht wird. Der Antriebsmechanismus muss mit den Elektroden verbunden sein und zwar so, dass die Elektroden nicht mit dem Antriebsmechanismus rotieren. Beide Elektroden müssen vertikal angebracht sein, damit die mit dem Prüfkörper in die Flüssigkeit gelangenden Luftbläschen entweichen können.

Die Elektrodenoberflächen müssen eben sein und jederzeit parallel bleiben.

Bild 5 zeigt eine mögliche Konstruktion und Ausführungen der Verbindung zu einem Dreipolmessgerät.

ANMERKUNG 1 Für die Verbindung zu Vier- oder Mehrpolgeräten sind die Anweisungen des Herstellers zu beachten.

ANMERKUNG 2 Die Temperatur dieser Zelle kann durch ein Flüssigkeitszirkulationssystem auf $\pm 0,1$ K genau geregelt werden.

ANMERKUNG 3 Die Elektroden sind vorzugsweise aus nichtrostendem Stahl ausgeführt. Werden Messingelektroden verwendet, dann sollten alle Metallteile mit einer Mindestdicke von 10 μm mit Hartgold plattiert sein.

6.2.7.3 Eintauchflüssigkeiten

Geeignete Flüssigkeiten mit bekannten Permittivitätswerten sind in Anhang B aufgelistet. Flüssigkeiten, die die Eigenschaften des zu prüfenden Werkstoffs entweder durch Quellen oder durch andere Wechselwirkungen beeinflussen, dürfen nicht verwendet werden. Die Eintauchflüssigkeit darf nicht wiederholt verwendet

werden, wenn der Verlustfaktor der Zellflüssigkeit vom Originalwert um mehr als 2 % oder um den Faktor 10×10^{-6} abweicht (je nachdem welcher Wert der größere ist).

ANMERKUNG Silikonflüssigkeiten mit einer Viskosität von $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (1 cSt bis 2 cSt) sind für Verwendung bei vielen Kunststoffen, z. B. den Polyolefinen PE, PTFE, PET und Polycarbonaten, zufriedenstellend geeignet. Cyclohexan ist eine geeignete Flüssigkeit bei der Verwendung mit PTFE. Perfluorierte Flüssigkeiten sind ausgezeichnet geeignet, da sie mit den meisten organischen Polymeren keine Wechselwirkung zeigen. Die Flüssigkeit darf nicht wiederverwendet werden, wenn sich der Wert des Verlustfaktors der Flüssigkeit in der Zelle um mehr als 2 % oder 10×10^{-6} geändert hat, je nachdem welcher Wert der größere ist.

6.2.7.4 Probekörper

Für das gezeigte Elektrodensystem muss der Probekörper eine rechteckige Tafel mit den Maßen $(61 \pm 1) \text{ mm} \times (100 \pm 1) \text{ mm}$ sein. Die Dicke muss zwischen 0,3 mm und 1,0 mm betragen.

ANMERKUNG Die genaue Dicke der Probekörper ist nicht erforderlich. Sie darf jedoch gemessen und als Vergleich mit dem Wert, der durch elektrische Messungen ermittelt wurde, verwendet werden. Wo immer möglich, soll der Probekörper so verwendet werden, wie er vom Hersteller angefertigt wurde. Wann immer es notwendig sein sollte seine Dicke zu reduzieren, ist sicherzustellen, dass die Oberflächen während des Prozesses nicht kontaminiert werden.

6.2.7.5 Vorbereitung der Prüfzelle

Die Zelle ist durch mehrmaliges Spülen mit warmem entionisiertem Wasser und dann durch Spülen mit Aceton vorzubereiten. Die Zelle ist bei 50 °C zu trocknen und dann auf Prüftemperatur abzukühlen (siehe 6.2.1). Nach einer Stabilisierungsphase von mindestens 1 h muss der Verlustfaktor weniger als (10×10^{-6}) sein. Es wird sichergestellt, dass sich die Elektrodenanordnung, die Flüssigkeiten und der Probekörper im Exsikkator im thermischen Gleichgewicht bei Messtemperatur $\pm 0,1 \text{ K}$ befinden, bevor mit dem Test begonnen wird. Der Elektrodenabstand wird so eingestellt, dass der Probekörper mindestens 80 % der Lücke ausfüllt, er darf jedoch die Lücke nicht vollständig ausfüllen, damit er problemlos ein- und ausgeführt werden kann.

6.2.7.6 Messung von Kapazität und Verlustfaktor

Die Leitungen zur Zelle sind zu verbinden und die Anweisungen des Herstellers sind zu befolgen, wie bei der anfänglichen Brückeneichung. Die Werte der Kapazität und des Verlustfaktors werden als C_1 und $\tan \delta_1$ mit Luft zwischen den Elektroden dokumentiert.

Das Probestück ist in die luftgefüllte Zelle einzusetzen. Die Werte der Kapazität und des Verlustfaktors werden als C_2 und $\tan \delta_2$ dokumentiert. Die Zellentemperatur wird auf $\pm 0,1 \text{ K}$ genau dokumentiert.

ANMERKUNG 1 Es ist notwendig, dass die Probekörper- und die Fluidtemperatur möglichst gleich der der Probenhalterung ist.

Der Probekörper wird aus der Zelle entnommen und die Zelle mit dem gewählten Fluid aufgefüllt. Die Kapazität und der Verlustfaktor werden gemessen und die Werte als C_3 und $\tan \delta_3$ dokumentiert.

Das Probestück wird in die Zelle eingesetzt. Die Kapazität und der Verlustfaktor werden gemessen und die Werte als C_4 und $\tan \delta_4$ dokumentiert.

Das Probestück ist nach dieser Messung aus der Zelle zu entfernen und das Verfahren an einem weiteren Probekörper zu wiederholen.

Die Werte für die Permittivität und den Verlustfaktor werden für jede Serie von Messungen wie in 6.2.7.8 beschrieben berechnet.

Die Mittelwerte der Permittivität und des Verlustfaktors des Werkstoffs werden berechnet. Die Frequenz, die Temperatur und die relative Luftfeuchte, bei der die Messungen durchgeführt wurden, werden dokumentiert.

ANMERKUNG 2 Für Routinemessungen ist es praktischer, die nachfolgend in Tabelle 1 aufgeführte Reihenfolge anzuwenden. Aber in Streitfällen muss die im Haupttext angegebene Reihenfolge der Messungen angewendet werden:

Tabelle 1 – Für Routinemessungen anwendbare Reihenfolge

Probekörper	Fluid	Ablesung als
Keines	Luft	$(C_1)_1 (C_1)_2$
1	Luft	$(C_2)_1$
2	Luft	$(C_2)_2$
Keines	Flüssigkeit	$(C_3)_1 (C_3)_2$
1	Flüssigkeit	$(C_4)_1$
2	Flüssigkeit	$(C_4)_2$
Keines	Flüssigkeit	$(C_3)_3$

6.2.7.7 Symbole

- C_1 ist die Zellkapazität nur mit Luft gefüllt in pF;
 C_2 ist die Zellkapazität mit Probestück in Luft in pF;
 C_3 ist die Zellkapazität nur mit Fluid gefüllt in pF;
 C_4 ist die Zellkapazität mit Probekörper in Flüssigkeit in pF;
 $\Delta C_A = (C_2 - C_1)$ in pF;
 $\Delta C_F = (C_4 - C_3)$ in pF;
 $\tan \delta$ ist der Verlustfaktor des Probekörpers;
 $\tan \delta_1$ ist der Verlustfaktor der Zelle in Luft;
 $\tan \delta_2$ ist der Verlustfaktor mit Probekörper in Luft;
 $\Delta \tan \delta_A = (\tan \delta_2 - \tan \delta_1)$;
 A ist der wirksame Elektrodenbereich in m²;
 ε_0 ist die elektrische Feldkonstante 8,8542 pF × m⁻¹.

6.2.7.8 Berechnung der Permittivität und des Verlustfaktors

Permittivität:

Berechnung der (relativen) Permittivität

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{C_4 \Delta C_A (C_3 - C_1)}{C_1 (C_4 \Delta C_A - C_2 \Delta C_F)} \quad (5)$$

Verlustfaktor:

Berechnung des Verlustfaktors

$$\tan \delta = \frac{C_5 \Delta D_A}{\Delta C_A} \quad (6)$$