

DIN EN 62631-2-1

ICS 29.035.01

Einsprüche bis 2015-11-04

Entwurf**Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Elektroisolierstoffe –
Teil 2-1: Dielektrizitätszahl und der Verlustfaktor –
Technische Frequenzen (0,1 Hz – 10 MHz), AC-Methoden
(IEC 112/324/CD:2015)**

Dielectric and resistive properties of solid insulating materials –
Part 2-1: Relative permittivity and dissipation factor –
Technical Frequencies (0.1 Hz – 10 MHz), AC Methods
(IEC 112/324/CD:2015)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-09-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de 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/stellungnahme 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 41 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prüfverfahren.....	7
4.1 Allgemeine Theorie.....	7
4.2 Spannungsquelle	10
4.3 Messsysteme.....	10
4.3.1 Genauigkeit	10
4.3.2 Auswahl der Messmethoden	10
4.3.3 Messaufbau mit Elektrodenanbringung auf den zu prüfenden Isolierstoff	11
4.4 Kalibrierung	14
4.5 Prüflinge	14
4.5.1 Empfohlene Abmessungen von Prüflingen und Elektrodenanordnungen	15
4.5.2 Herstellung von Prüflinge	15
4.5.3 Anzahl der Prüflinge	16
4.5.4 Aufbereitung und Vorbehandlung der Prüflinge	16
4.6 Verfahren für spezifische Isolierstoffe	16
5 Durchführung der Prüfung	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Berechnung der Dielektrizitätskonstante und relativen Dielektrizitätskonstante.....	16
5.2.1 Relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r	16
5.2.2 Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$	16
6 Prüfbericht	17
7 Messunsicherheit und Reproduzierbarkeit.....	17
Anhang A (informativ) Grundlagen	18
A.1 Fehler für die effektive Fläche bei Schutzringe Elektroden Beispiele mit verschiedenen Prüflingen, mit Durchmessern $d_1 = 25, 50$ oder 100 mm und einem Spalt $g = 1$ mm	18
A.2 Berechnung der Randzonenkorrektur	19
A.3 Bestimmung H und Berechnen von B	19
Literaturhinweise.....	21
Bilder	
Bild 1 – Dielektrischer Verlustfaktor	8
Bild 2 – Vereinfachtes Prinzip Schaltbild	9
Bild 3 – Zylinderplattenelektrode mit Schutzring für plattenförmige Prüflinge.....	12
Bild 4 – Prüfling mit Flüssig-Metall-Elektroden	13
Bild A.1 – Flächenfehler h in e% mit $\epsilon_r = 1$	18

	Seite
Bild A.2 – Flächenfehler h in $e\%$ mit $\varepsilon_r = \infty$	18
Bild A.3 Fehlerberechnung bei unterschiedlichen ε_r und d_1	18
Bild A.4 – Flussdiagramm zur Berechnung der Randzonenkorrektur	19
Bild A.5 – Faktor H , verglichen mit dem Spalt g und der Höhe h des Prüflings	20
Tabellen	
Tabelle 1 – Prüflinge	15
Tabelle A.1 – Schätzung der Angleichung – Fehler der Standardabweichung ^[B.3.6]	20

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 112/324/CD:2015 „Dielectric and resistive properties of solid insulating materials – Part 2-1: Relative permittivity and dissipation factor – Technical Frequencies (0.1 Hz - 10 MHz), AC Methods“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

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

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für 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. ISO [und/oder] IEC sind 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.

Einleitung

Der Tangens Delta, auch als Verlustwinkel, Leistungsfaktor oder Dielektrischer Verlustfaktor bezeichnet, ist ein grundlegender Parameter für die Qualität von Isolierstoffen. Die Messung der Kapazität und des Verlustwinkels ist eine klassische Methode in der Industrie, die seit über 100 Jahren bekannt ist.

Der dielektrische Verlustfaktor ($\tan \delta$) ist von mehreren Parametern abhängig, wie z. B. der Elektrodenanordnung, den Materialeigenschaften, den Umwelteinflüssen, der Feuchtigkeit, der Temperatur, der angelegten Spannung, er ist stark abhängig von der verwendeten Frequenz, der Genauigkeit der Messeinrichtung und anderen Parameter, die auf die Probe angewandt werden.

Der Frequenzbereich ist beschränkt und von der Prü fzellen- und Elektrodenkonstruktion, den Abmessungen des Prüflings und den Messleitungen abhängig. Deshalb sind in dieser Norm die angewandten Frequenzen für die Messbereiche mit sehr niedriger Frequenz (en: very low frequency, VLF) von weniger als 1 Hz bis 10 MHz eingeschränkt. Allerdings können Messgeräte einen breiteren Frequenzbereich bieten, wobei die nutzbare und geeignete Frequenz durch den gesamten Messaufbau eingeschränkt wird.

Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Elektroisolistoffe – Teil 2-1: Dielektrizitätszahl und der Verlustfaktor – Technische Frequenzen (0,1 Hz - 10 MHz), AC-Methoden

1 Anwendungsbereich

Der Teil 2-1 der IEC 62631 legt die Methode zur Prüfung und zur Bestimmung der relativen Dielektrizitätskonstante und der Verlustfaktoreigenschaften fester Isolierstoffe (Wechselspannungsmethoden von 0,1 Hz bis 10 MHz) fest.

ANMERKUNG Dieser Teil der Norm ist für Messaufbauten mit Schutzringeletroden bestimmt.

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).

ISO 291, *Plastics Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 558, *Conditioning and testing; Standard atmospheres; Definitions*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance, part 1: Ageing procedures and evaluation of test results* IEC 60505, *Evaluation and qualification of electrical insulation systems*

IEC 60247, *Insulating liquids – Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and D.C. resistivity*

EN 10088-2:201X, *Nichtrostende Stähle – Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung*

IEC 60050-121:1998, *International electro technical vocabulary. Electromagnetism*

IEC 60212:2010, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

IEC 60216-4-1:2006, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 4-1: Ageing ovens – Single-chamber ovens*

IEC 62631-1 Ed.1, *Guidelines for the determination of dielectric and resistive properties of solid insulating materials*

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 wavelength*

IEC 60212 Ed. 3, *Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Elektrisch isolierende Materialien

Feststoff mit vernachlässigbarer elektrischer Leitfähigkeit, der zur Trennung leitender Körper mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Im englischen Sprachraum wird der Begriff elektrischer Isolierstoff ("electrical insulating material") mitunter mit einer erweiterten Bedeutung auch zur Bezeichnung von Isolierflüssigkeiten und isolierender Gase verwendet. Isolierflüssigkeiten sind in der IEC 60247 beschrieben.

3.2

Dielektrische Eigenschaften

Materialeigenschaften elektrischer Isolierstoffe, wie Kapazität, absolute Dielektrizitätskonstante, relative Dielektrizitätskonstante, relative komplexe Dielektrizitätskonstante und Verlustfaktor, die bei Wechselstrom im Frequenzbereich gemessen werden

3.3

Absolute Dielektrizitätskonstante

elektrische Flussdichte dividiert durch die elektrische Feldstärke

3.4

Relative Dielektrizitätskonstante

Verhältnis von absoluter Dielektrizitätskonstante und Dielektrizitätskonstante im Vakuum ϵ_0

3.5

Relative komplexe Dielektrizitätskonstante

Dielektrizitätskonstante in einer komplexen Zahlendarstellung unter stationären sinusförmigen Feldbedingungen.

3.6

Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ (Verlustfaktor)

Zahlenwert des Verhältnisses vom Imaginär Teil zum Realteil der komplexwertigen relativen Permittivität

3.7

Kapazität C

Eigenschaft einer Anordnung von elektrischen Leitern und Dielektrika, die die Speicherung elektrischer Ladung ermöglicht, sofern Potentialdifferenzen zwischen diesen Leitern vorliegen.

3.8

Spannungsanwendung

Anlegen einer Spannung zwischen den Elektroden.

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Anlegen der Spannung wird mitunter als Elektrisierung bezeichnet.

3.9

Messelektrode

Aufgebrachte oder eingebettete Leiter werden mit einem Material kontaktiert, um die dielektrische Eigenschaft und den Widerstand zu messen. Die Form und Größe der Elektroden ist abhängig von der Prüflingsgeometrie und dem Zweck der Prüfung.

4 Prüfverfahren

4.1 Allgemeine Theorie

Die gemessene Dielektrizitätskonstante ϵ eines Isolierstoffes ist das Produkt aus der relativen Dielektrizitätskonstante ϵ_r und der absoluten Dielektrizitätskonstante des Vakuums ϵ_0 :

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (1)$$

Die Dielektrizitätskonstante wird in Farad pro Meter (F/m) ausgedrückt; die Dielektrizitätskonstante ϵ_0 des Vakuums hat den folgenden Wert:

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \quad (2)$$

Die relative Dielektrizitätskonstante ist das Verhältnis der absoluten Dielektrizitätskonstante und der Dielektrizitätskonstante des Vakuums ε_0 .

Bei konstantem Wechselfeld und ausreichend niedriger Frequenz ist die relative Dielektrizitätskonstante eines isotropen oder quasi-isotropen dielektrischen Materials gleich dem Verhältnis der Kapazität eines Kondensators, in dem der Raum zwischen und um die Elektroden vollständig und ausschließlich mit dem zu messenden Dielektrikum gefüllt ist, und der Kapazität mit gleichem Elektrodenaufbau im Vakuum.

In der angewandten Konstruktion ist es gängige Praxis, den Term Dielektrizitätskonstante für den Term relative Dielektrizitätskonstante zu verwenden. Die relative Dielektrizitätskonstante ε_r eines Isolierstoffes ist der Quotient der Kapazität C_x einer kapazitiven Probe (Kondensator), in dem der Raum zwischen den Elektroden vollständig und ausschließlich mit dem zu messenden Dielektrikum gefüllt ist, und der Kapazität C_0 mit gleichem Elektrodenaufbau im Vakuum.

$$\varepsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (3)$$

Die relative Dielektrizitätskonstante ε_r trockener Luft, frei von Kohlendioxid, unter normalem atmosphärischen Druck, ist gleich 1,000 53, so dass in der Praxis die Kapazität C_a dieser Elektrodenanordnung in Luft, anstatt C_0 , normalerweise verwendet werden kann, um die relative Dielektrizitätskonstante ε_r mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Die relative komplexe Dielektrizitätskonstante ist die Dielektrizitätskonstante in einer komplexen Zahlendarstellung unter stationären sinusförmigen Feldbedingungen.

$$\underline{\varepsilon}_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' = \varepsilon_r \cdot e^{-j\delta} \quad (4)$$

wobei ε_r' und ε_r'' positive Werte sind.

ANMERKUNG 1 Die komplexe Dielektrizitätszahl $\underline{\varepsilon}_r$ wird üblicherweise entweder in Bezug auf ε_r' und ε_r'' oder in Bezug auf ε_r und $\tan \delta$ angegeben. Wenn $\varepsilon_r' > \varepsilon_r''$ ist, dann werden $\varepsilon_r \approx \varepsilon_r'$ beide relative Dielektrizitätskonstante genannt.

ANMERKUNG 2 ε_r'' wird als Verlustindex bezeichnet.

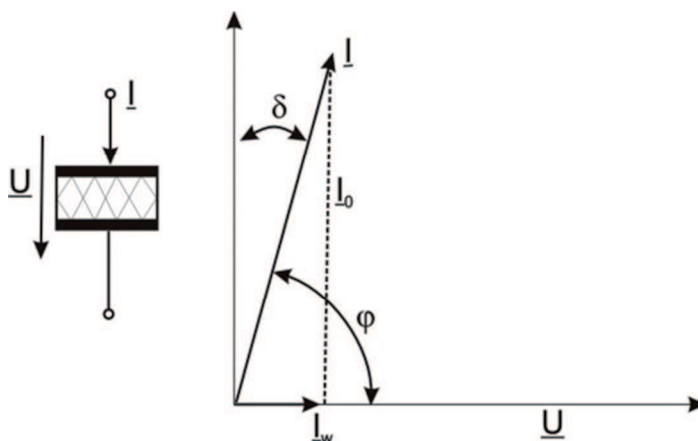


Bild 1 – Dielektrischer Verlustfaktor

Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ (Verlustfaktor) ist der Zahlenwert des Verhältnisses vom Imaginärteil zum Realteil der komplexwertigen relativen Permittivität.

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (5)$$

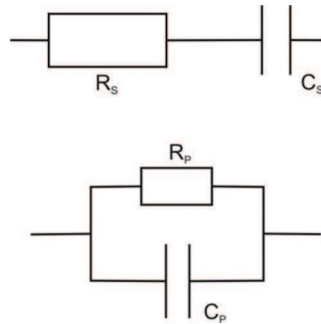


Bild 2 – Vereinfachtes Prinzip Schaltbild

Somit ist der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ des Isolierstoffes der Tangens des Winkels δ , um den die Phasenverschiebung φ zwischen angelegter Spannung und resultierendem Strom von $\pi/2$ rad abweicht, wenn das Dielektrikum eines kapazitiven Prüflings (Kondensators) ausschließlich aus dem festen Isolierstoff besteht (siehe Bild 1). Der dielektrische Verlustfaktor kann auch durch ein Ersatzschaltbild unter Verwendung eines idealen Kondensators mit einem Widerstand in Reihe oder Parallelschaltung ausgedrückt werden (siehe Bild 2)

$$\tan \delta = \omega C_s \cdot R_s = \frac{1}{\omega C_p \cdot R_p} \quad (6)$$

mit

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (7)$$

und

$$\frac{R_p}{R_s} = 1 + \frac{1}{\tan^2 \delta} \quad (8)$$

ANMERKUNG 3 R_s und R_p stehen nicht im direkten Zusammenhang mit dem Volumen und dem Oberflächenwiderstand eines Isolierstoffes, werden jedoch durch diese beeinflusst. Daher kann der dielektrische Verlustfaktor auch durch diese Widerstandseigenschaften des Isolierstoffes beeinträchtigt werden.

Die Kapazität C ist die Eigenschaft einer Anordnung von elektrischen Leitern und Dielektrika, die die Speicherung elektrischer Ladung ermöglicht, sofern Potentialdifferenzen zwischen diesen Leitern vorliegen.

C ist das Verhältnis von Ladungsmenge q zu Potentialdifferenz U . Der Kapazitätswert ist immer positiv. Die Einheit ist Farad, wenn die Ladung in Coulomb und das Potential in Volt ausgedrückt werden.

$$C = \frac{q}{U} \quad (9)$$

Dieses allgemeine Verfahren beschreibt die gemeinsamen Werte für allgemeine Messungen. Wenn ein Verfahren für eine bestimmte Art von Material in dieser Norm beschrieben wird, muss die spezielle Methode verwendet werden.

Die Messung der Dielektrizitätskonstante und des dielektrischen Verlustfaktors ist sorgfältig durchzuführen, unter Berücksichtigung der elektrischen Eigenschaften der Messschaltung sowie der spezifischen elektrischen Eigenschaften des Isolierstoffes.

ANMERKUNG 4 Um die Messung durchzuführen, ist in den meisten Fällen die Verwendung von Hochspannung erforderlich. Es müssen Maßnahmen zum Schutz gegen Stromschlag getroffen werden.

Grundlagen der Vorrichtungen und Verfahren werden hier nicht beschrieben. Einige Hinweise auf Literatur sind im Literaturverzeichnis angegeben.

4.2 Spannungsquelle

Die Spannungsquelle muss eine stabile Sinusspannung erzeugen. Für die Messdauer muss der Messwert der Versorgungsspannung innerhalb von $\pm 5\%$ gehalten werden.

Die Wellenform der Spannung muss annähernd einer Sinuswelle entsprechen, mit einer Differenz der Amplituden der positiven und negativen Spitzenwerte kleiner 2% .

Die Abweichung von der Sinusform (das Verhältnis von Spitzen- zu Effektiv-Werten ist gleich $\sqrt{2}$) muss innerhalb $\pm 5\%$ liegen.

Bevorzugte Spannungen sind 0,1 V; 0,5 V; 10 V; 100 V; 500 V; 1000 V; 2000 V; 10000 V.

ANMERKUNG 1 Andere Spannungsebenen sind möglich und müssen im Prüfbericht dokumentiert werden.

ANMERKUNG 2 Eine Teilentladung kann zu Fehlmessungen führen, wenn die Teilentladungseinsatzspannung überschritten wird. In Luft können unter 340 V keine Teilentladungen auftreten.

4.3 Messsysteme

4.3.1 Genauigkeit

Das Messsystem muss in der Lage sein, die unbekannte relative Dielektrizitätskonstante und den dielektrischen Verlustfaktor in Übereinstimmung mit den erwarteten Materialeigenschaften zu bestimmen. Die Genauigkeit der Messeinrichtung ist im Prüfbericht zu dokumentieren.

ANMERKUNG 1 Der Nutzer kann die Messeinrichtungsgenauigkeit entsprechend den Anforderungen an die Messergebnisse wählen.

4.3.2 Auswahl der Messmethoden

Methoden zur Messung der relativen Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- Nullmethoden
- Impedanz-Analysemethoden
- Digitale Phasenverschiebungsmethoden

4.3.2.1 Nullmethoden

Für Messungen der Dielektrizitätszahl und des Verlustfaktors können Substitutionstechniken verwendet werden. Das heißt, die Brücke ist durch die Einstellung in einem Stromkreis des Netzwerkes ausgeglichen und es sind beide Stromkreise mit und ohne den Prüfling angeschlossen. Die normalerweise verwendeten Netzwerke sind Schering-Brücke, Transformatorbrücke (d. h. eine Brücke mit dem Verhältnis der Stromkreise, gekoppelt durch gegenseitige Induktivität) und Parallel-T-Netzwerk. Die Transformatorbrücke hat den Vorteil, dass die Verwendung einer Schutzelektrode ohne zusätzliche Komponenten oder Operationen möglich ist; sie hat keine Nachteile im Vergleich mit den anderen Netzwerken.

4.3.2.2 Impedanz-Analyseverfahren

Es gibt eine Vielzahl von im Handel erhältlichen Messgeräten (Impedanz-Analysatoren oder LCR-Messgeräte). Diese Messgeräte bestimmen die Impedanz des Prüflings als Messvektorverhältnis von

Spannung und Strom. Der Vektor ist der Wert der Amplitude und einer Phase. Typischerweise wird die Impedanz bei einer oder mehreren festen Frequenzen oder als Durchlauf über einen Frequenzbereich (Spektroskopie) bestimmt.

Bei den meisten Messgeräten ist es möglich, die Impedanz als eine verlustbehaftete Kapazität (C , $\tan \delta$ oder D) nur über eine serielle oder eine parallele äquivalente Schaltung für eine gegebene Frequenz anzuzeigen. In dieser Norm wird die parallele Ersatzschaltung verwendet.

ANMERKUNG 1: Es muss darauf geachtet werden, dass der Einfluss der Messleitung auf richtige Weise kompensiert wird. Aus diesem Grund wird in der Regel eine OPEN und SHORT Kompensation des Messkreises empfohlen; in einigen Fällen auch ein Lastausgleich. Eine unregelmäßige Kompensation kann zu Fehlmessungen führen.

ANMERKUNG 2: Die Genauigkeit der Impedanz-Analysatoren hängt von ihrer Qualität ab und kann auch sehr stark von der Größe der gemessenen Impedanz (Kapazität) und Frequenz abhängen. Jedes Messgerät mit entsprechender Genauigkeit soll für das zu prüfende Material geeignet sein und im Prüfbericht angegeben werden.

4.3.2.3 Digitale Phasenverschiebungsverfahren

Das Messprinzip beruht auf der präzisen Erfassung der Ströme durch den Standard-Kondensator (Referenz) und dem Pfad vom Prüfling. Der Spannungsnulldurchgang dient als Referenzmarker für die Phasenbestimmung. Der dielektrische Verlustfaktor wird durch die Messung der Phasendifferenz zwischen diesen Strömen berechnet.

Die Messung von sinusförmigem Strom und Spannung werden in beiden Spannungspfaden die Amplituden- und Zeitgenauigkeit mit hochpräzisen Analog zu Digital Wandlern gleichzeitig erfasst. Oberschwingungen und Fremdspannungen bei sinusförmigem Strom und Spannung können mit digitaler Filterung, zum Beispiel durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) in der Zeit- oder Frequenzdomäne, unterdrückt werden. Der Verlustfaktor $\tan \delta$ und Kapazität C_x , werden basierend auf Phasendifferenz und Amplitudeninformation, die durch die digitale Strommessung extrahiert werden, berechnet.

ANMERKUNG 1 Um eine gewünschte Genauigkeit der Messergebnisse von $\tan \delta \leq 1.10^{-4}$ zu erreichen, sollte der A/D-Wandler eine Auflösung von ≥ 16 Bit besitzen.

ANMERKUNG 2 Aus Sicherheitsgründen sollen Messgeräte, die im spannungsführenden Bereich sind, von der Steuereinheit für den Bediener zu entkoppeln, zum Beispiel durch Glasfaser.

4.3.3 Messaufbau mit Elektrodenanbringung auf den zu prüfenden Isolierstoff

4.3.3.1 Allgemeines

Die Elektroden für den Isolierstoff sollen aus einem Material sein, das leicht aufgebracht werden kann, einen engen Kontakt mit der Prüflingsoberfläche ermöglicht und zu keinem merklichen Fehler aufgrund des Elektrodenwiderstands oder der Kontamination des Prüflings führt. Das Elektrodenmaterial sollte unter den Bedingungen der Prüfung korrosionsbeständig sein. Die Elektroden sollen mit geeigneten Trägerplatten gegebener Form und Abmessungen verwendet werden. Es kann vorteilhaft sein, zwei verschiedene Elektrodenmaterialien oder zwei verschiedene Verfahren anzuwenden, um signifikante Fehler im Isolierstoff festzustellen. Im Folgenden werden typische Elektrodenmaterialien aufgeführt, die verwendet werden können.

Die Messung der Elektrodenabmessungen soll entsprechend ISO 4593:1993-11, Kunststoffe – Folien und Bahnen – Bestimmung der Dicke durch mechanisches Abtasten, bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Die Genauigkeit der Elektrodenabmessungen steht in direkter Beziehung zur Genauigkeit des zu erwartenden Messergebnisses.

Die mechanische Kraft, die durch die Halterung auf die Elektrode angewendet wird, sollte ca. 1 N für druckempfindliche Prüflinge betragen. Andere Elektrodenkräfte sind möglich und müssen im Prüfbericht dokumentiert werden. Die mechanische Kraft der Elektrode sollte den Prüfling nicht überlasten.

4.3.3.2 Schutzringe

Die Isolation für den Messkreis besteht aus Materialien, die im besten Fall vergleichbare Eigenschaften haben, wie der zu prüfende Isolierstoff. Fehler bei der Messung der Prüflinge können durch folgende Faktoren verursacht werden:

- Randeffekte des elektrischen Feldes beeinflussen die gemessene Kapazität.
- Der Oberflächenwiderstand kann, insbesondere bei niedrigen Frequenzen, den dielektrischen Verlustfaktor stark beeinflussen.

Eine zufriedenstellende Korrektur wird durch Verwendung der Schutzringtechnik erzielt.

Die Schutzleiter sind miteinander verbunden, bilden das Schutzringsystem und bilden mit den Messklemmen eine drei Terminal-Elektrode. Die grundlegenden Schaltungsanordnung der Schutzringelektrode zur Messung der Dielektrizitätskonstante und des Verlustfaktors, sind in Bild 3 dargestellt.

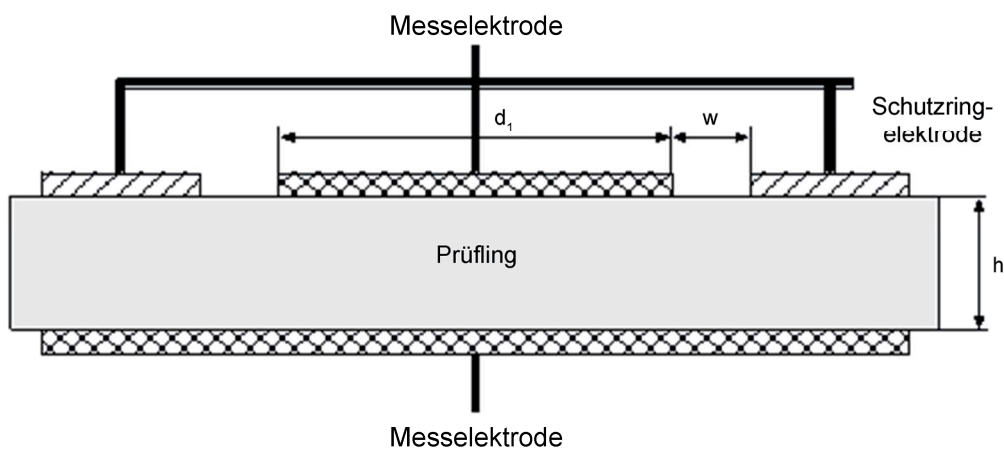


Bild 3 – Zylinderplattenelektrode mit Schutzring für plattenförmige Prüflinge

Die Fläche A [mm²], definiert in (14), ist $\pi/4$, multipliziert mit der Summe des Elektrodendurchmessers d_1 und des Spaltabstandes w .

$$A = \frac{\pi}{4} (d_1 + B \cdot w)^2 \quad (14)$$

$$e_{\%} = \frac{A_{B=1} - A_{B \neq 1}}{A_{B \neq 1}} \cdot 100\% \quad (15)$$

Der Faktor B ist eine Funktion des Verhältnisses vom Spalt, der Dicke des Prüflings und der Dielektrizitätskonstante. Die Formel (14) setzt eine relative Dielektrizitätskonstante von $\epsilon_r \rightarrow \infty$ voraus. Die Formel (15) zeigt mögliche Fehler der effektiven Fläche, bei Vernachlässigung des Faktors B .

Der Prüfling mit einer eigenen Elektrode soll zwischen den Metallträger Elektroden montiert werden, wobei diese geringfügig kleiner als die Prüflinge sind. Die Gleichungen zur Berechnung der Kapazität der verschiedenen Anordnungen von plattenförmigen oder zylindrischen Elektroden sowie die empirischen Gleichungen zur Berechnung der Randzonenkapazitätskorrektur sind im Anhang A Grundlagen aufgeführt.

4.3.3.3 Leitende Silberfarben

Bestimmte Arten von kommerziell erhältlichen hochleitfähigen Silberfarben, entweder lufttrocknend oder Niedertemperatur-Einbrennsorten, sind ausreichend porös, um eine Diffusion von Feuchtigkeit zu ermöglichen um dadurch die Prüflinge nach dem Aufbringen der Elektroden zu konditionieren. Bei der Untersuchung der Beständigkeit von Feuchtigkeitseffekten und der Temperatur ist dies ein besonders nützliches Merkmal. Bevor jedoch die leitfähige Farbe als Elektrode verwendet wird, sollte sichergestellt werden, dass das in der Farbe enthaltene Lösungsmittel nicht die elektrischen Eigenschaften des Prüflings beeinflusst. Um möglichst gleichmäßige Kanten von Schutzelektroden zu erhalten, können diese mit einer feinen Bürste behandelt werden. Um schärfere Kanten bei kreisförmigen Elektroden zu erhalten, sind die Verwendung eines Zirkels zum Zeichnen der Umrisskreise der Elektroden und das Ausfüllen der geschlossenen Räume mit einem Pinsel möglich. Aufspannvorrichtungen können verwendet werden, wenn der Elektrodenlack aufgesprüht wird.

4.3.3.4 Aufgedampftes oder aufgestäubtes Metall

Aufgedampftes oder aufgestäubtes Metall kann dann verwendet werden, wenn es nachgewiesen ist, dass das Material nicht durch Ionenbeschuss, Temperaturstress oder Vakuumbehandlung beeinflusst wird.

4.3.3.5 Flüssig-Metall-Elektroden

Flüssig-Metall-Elektroden können verwendet werden und bringen zufriedenstellende Ergebnisse. Die Flüssigkeit, welche die obere Elektrode bildet, sollte auf einen engen Raum beschränkt sein, beispielsweise durch Edelstahlringe, wobei deren unterer Rand eine Abschrägung auf der von der Flüssigkeit entfernten Seite haben sollte, die dadurch eine scharfe Kante bildet. Bild 4 zeigt die Elektrodenanordnung. Legierungen, die z. B. Gallium, Indium und Zinn enthalten und bei Raumtemperatur flüssig sind, haben sich als geeignet erwiesen. Quecksilber wird nicht empfohlen.

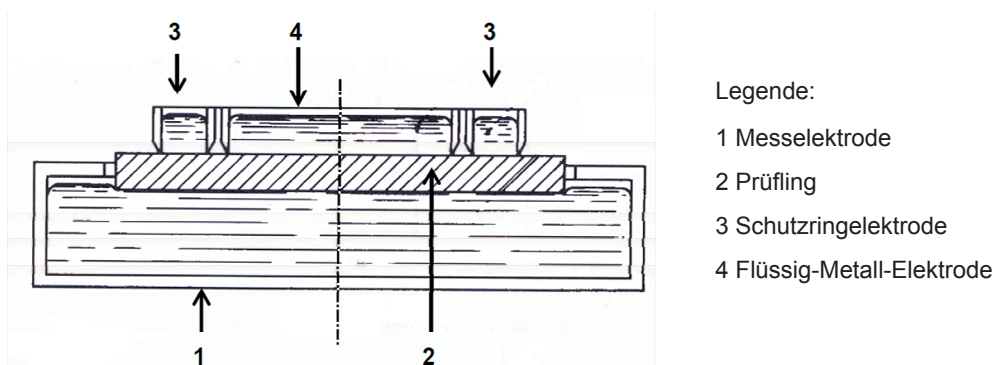


Bild 4 – Prüfling mit Flüssig-Metall-Elektroden

4.3.3.6 Metallfolien

Aluminium und Aluminiumfolien sind im allgemeinen Gebrauch. Sie werden üblicherweise an den Prüfling mit einer Mindestmenge an Vaseline, Silikonfett, Öl oder anderen geeigneten Materialien als Klebstoff befestigt.

ANMERKUNG 1 Alle Klebematerialien können Einfluss auf die Messergebnisse haben und sollten so gering wie möglich verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Silikonfette mit ausreichend geringem dielektrischen Verlust haben sich als geeignet erwiesen.

4.3.3.7 Rohrprüflinge

Das am besten geeignete Elektrodensystem für einen Rohrprüfling hängt von seiner relativen Dielektrizitätskonstante, der Wanddicke, dem Durchmesser und von der erforderlichen Genauigkeit der Messung ab. Im Allgemeinen besteht das Elektrodensystem aus einer inneren Elektrode und einer etwas schmaleren Außenelektrode, mit einer Schutzelektrode an beiden Enden. Der Spalt zwischen der