

	DIN EN IEC 62631-2-2 (VDE 0307-2-2)	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 29.035.01

Einsprüche bis 2021-08-04

Entwurf

**Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Elektroisolierstoffe –
Teil 2-2: Relative Permittivität und Verlustfaktor –
Hohe Frequenzen (1 MHz bis 300 MHz) – Wechselspannungsverfahren
(IEC 112/515/CD:2020);
Text Deutsch und Englisch**

Dielectric and resistive properties of solid insulating materials –
Part 2-2: Relative permittivity and dielectric dissipation factor –
High frequencies (1 MHz to 300 MHz) – AC Methods
(IEC 112/515/CD:2020);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-04 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 46 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 112/515/CD:2020-11 "Dielectric and resistive properties of solid insulating materials – Part 2-2: Relative permittivity and dielectric dissipation factor - High frequencies (1 MHz to 300 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 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom IEC/TC 112 "Evaluation and qualification of electrical insulating materials and systems" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde 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 DKE/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.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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.

Inhalt

Seite

Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prüfverfahren	7
4.1 Grundlegende Theorie	7
4.2 Besondere Faktoren für die Messung im Hochfrequenzbereich	10
4.3 Stromversorgung	11
4.4 Messgeräte	11
4.4.1 Genauigkeit	11
4.4.2 Besonderes Merkmal von Messgeräten für die Messung im Hochfrequenzbereich	11
4.4.3 Auswahl der Messverfahren	13
4.5 Kalibrierung	13
4.6 Probekörper	13
4.6.1 Allgemeines	13
4.6.2 Empfohlene Maße von Probekörpern und Elektrodenanordnungen	13
4.6.3 Anzahl der Probekörper	14
4.6.4 Konditionierung und Vorbehandlung der Probekörper	14
4.7 Verfahren für spezifische Werkstoffe	14
5 Prüfverfahren	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Berechnung der Permittivität und der relativen Permittivität	14
5.2.1 Relative Permittivität	14
5.2.2 Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$	15
6 Bericht	15
7 Wiederholpräzision und Vergleichspräzision	15
Anhang A (informativ) Kompensationsverfahren mit einer Reihenschaltung	16
Anhang B (informativ) Parallele Elektroden mit Schutzring	17
Anhang C (informativ) Geräte	18
C.1 Parallel-T-Brückenschaltung	18
C.2 Resonanzverfahren	19
C.3 Impedanz-Analysator-Verfahren für hohe Frequenzen	20
C.4 Verfahren mit automatisch abgleichender Messbrücke	20
Anhang D (informativ) Verfahren mit kontaktfreien Elektroden, mit durch Messschrauben gesteuerten, parallelen Elektroden in Luft	22
Literaturhinweise	23

Bilder

Bild 1 – Dielektrischer Verlustfaktor	8
Bild 2 – Ersatzschaltbilder	9
Bild 3 – Parallele Ersatzschaltung für eine Prüfvorrichtung mit Probe und Anschlussdrähten zum Messgerät	10
Bild 4 – Vorhandensein von Restimpedanz und Streukapazität in einem direkt verbundenen System	12
Bild A.1 – Kompensationsverfahren mit Reihenschaltung	16
Bild B.1 – Anordnung der parallelen Elektrode mit Schutzring	17
Bild C.1 – Parallel-T-Schaltung, Prinzipschaltbild	18
Bild C.2 – Parallel-T-Schaltung, praktisches Schaltbild	18
Bild C.3 – Prinzip des Resonanzverfahrens, Schaltbild. (ursprünglich vom Gütefaktormessgerät)	20
Bild C.4 – Schaltung einer automatisch abgleichenden Messbrücke	21
Bild D.1 – Verfahren mit kontaktfreien Elektroden	22

Tabellen

Tabelle 1 – Anwendbare Frequenzbereiche für die eingesetzten Geräte	13
---	----

Einleitung

Permittivität und Verlustfaktor ($\tan \delta$) sind grundlegende Parameter für die Qualität von Isolierstoffen. Der Verlustfaktor ist von mehreren Parametern abhängig, wie z. B. den Umwelteinflüssen, der Feuchtigkeit, der Temperatur und der angelegten Spannung. Er ist stark abhängig von Frequenzen, der Genauigkeit der Messeinrichtung und anderen Parametern, die auf den zu messenden Probekörper angewandt werden.

Der für die Permittivität und den Verlustfaktor messbare Frequenzbereich ist stark beschränkt durch die Konstruktion des Elektrodensystems, die Maße der Probekörper und die Impedanz der Anschlussdrähte. Die Messung im Hochfrequenzbereich sollte besonders beachtet werden. Diese Internationale Norm konzentriert sich auf Messverfahren für Permittivität und Verlustfaktor im Hochfrequenzbereich von 1 MHz bis 300 MHz.

**Dielektrische und resistive Eigenschaften fester Elektroisolierstoffe –
Teil 2-2: Dielektrizitätszahl und Verlustfaktor –
Hohe Frequenzen (1 MHz bis 300 MHz) – Wechselspannungsverfahren**

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62631 beschreibt Prüfverfahren zur Bestimmung der Permittivität und der Verlustfaktoreigenschaften fester Isolierstoffe in einem Hochfrequenzbereich von 1 MHz bis 300 MHz.

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

IEC 62631-2-1, *Dielectric and Resistive Properties of Solid Insulating Materials – Part 2-1: Relative permittivity and dissipation factor – Technical frequencies (0,1 Hz to 10 MHz) – AC methods*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

elektrischer Isolierstoff

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „elektrischer Isolierstoff“ (en: electrical insulating material) wird mitunter in weiterem Sinne auch zur Bezeichnung von Isolierflüssigkeiten und isolierenden Gasen verwendet. Isolierflüssigkeiten werden durch **IEC 60247** abgedeckt.

3.2

dielektrische Eigenschaften

umfassendes Verhalten eines Isolierstoffs, das Kapazität, absolute Permittivität, relative Permittivität, komplexe relative Permittivität und dielektrischen Verlustfaktor umfasst und das mithilfe von Wechselspannungsverfahren gemessen wird

3.3

absolute Permittivität ϵ_0

elektrische Flussdichte dividiert durch die elektrische Feldstärke

3.4

relative Permittivität ϵ_r

Dielektrizitätszahl

Verhältnis der absoluten Permittivität zur Permittivität des Vakuums ϵ_r

3.5

komplexe relative Permittivität ϵ_r

Permittivität in der Darstellung als komplexe Zahl, unter eingeschwungenen sinusförmigen Feldbedingungen

3.6

dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ (Tangens des Verlustwinkels)

Zahlenwert des Verhältnisses vom Imaginärteil zum Realteil der komplexen 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

Anlegen der Spannung

Anlegen einer Spannung zwischen den Elektroden

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

3.9

Messelektroden

Leiter, die auf einen Werkstoff aufgebracht oder in einen Werkstoff eingebettet werden, um einen Kontakt damit herzustellen zur Messung von dessen dielektrischen oder resistiven Eigenschaften

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Aufbau der Messelektroden hängt von den Probekörpern und der Zielsetzung der Messung ab.

4 Prüfverfahren

4.1 Grundlegende Theorie

Die gemessene Permittivität ε (früher als Dielektrizitätskonstante bezeichnet) eines Isolierstoffs ist das Produkt aus seiner relativen Permittivität ε_r und der Permittivität des Vakuums ε_0 :

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (1)$$

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

$$\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \quad (2)$$

Relative Permittivität ist das Verhältnis der absoluten Permittivität zur Permittivität des Vakuums ε_0 .

Im Falle konstanter Felder sowie von Wechselfeldern hinreichend niedriger Frequenz ist die relative Permittivität eines isotropen oder quasiisotropen Dielektrikums gleich dem Verhältnis der Kapazität eines Kondensators, in dem der Raum zwischen den Elektroden und um diese herum ausschließlich und gänzlich mit dem Dielektrikum gefüllt ist, zur Kapazität der gleichen Elektrodenanordnung im Vakuum.

Die relative Permittivität ε_r eines Isolierstoffs ist der Quotient aus der Kapazität C_X einer kapazitiven Probe (Kondensator), in der der Raum zwischen den beiden Elektroden ausschließlich und gänzlich mit dem betrachteten Isolierstoff gefüllt ist, und der Kapazität C_0 derselben Elektrodenanordnung im Vakuum:

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

Die relative Permittivität ε_r trockener Luft, unter normalem atmosphärischem Druck in Pa, ist gleich 100053 Pa, so dass in der Praxis die Kapazität C_a dieser Elektrodenanordnung in Luft anstatt C_0 üblicherweise verwendet werden kann, um die relative Permittivität ε_r mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Die komplexe relative Permittivität ist die Permittivität in der Darstellung als komplexe Zahl unter eingeschwungenen sinusförmigen Feldbedingungen, dargestellt als

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

Dabei haben ε_r' und ε_r'' positive Werte.

ANMERKUNG 1 Die komplexe relative Permittivität $\underline{\varepsilon}_r$ wird üblicherweise entweder in Form von ε_r' und ε_r'' oder in Form von ε_r und $\tan \delta$ angegeben.

ANMERKUNG 2 ε_r'' wird als Permittivitäts-Verlustzahl bezeichnet.

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

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

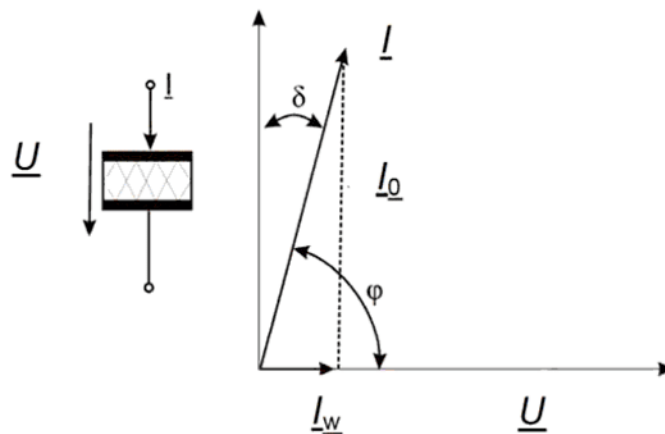


Bild 1 – Dielektrischer Verlustfaktor

Somit ist der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ eines Isolierstoffs der Tangens des Winkels δ , von dem die Phasenverschiebung φ zwischen angelegter Spannung und dem daraus resultierenden Strom von $\pi/2$ rad abweicht, sofern ausschließlich der feste Isolierstoff als Dielektrikum in einem kapazitiven Probekörper (Kondensator) verwendet wird (vergleiche mit Bild 1). Der dielektrische Verlustfaktor kann ferner als Ersatzschaltbild mit einem idealen Kondensator und einem Widerstand in Reihen- oder Parallelschaltung dargestellt 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 bzw. R_r stehen nicht im direkten Zusammenhang mit dem Volumen und Oberflächenwiderstand eines Isolierstoffs, werden jedoch von diesen beeinflusst. Daher wird unter Umständen auch der dielektrische Verlustfaktor durch diese resistiven Werkstoffeigenschaften beeinflusst.

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

C ist das Verhältnis der Menge q zu einer Potentialdifferenz U . Ein Kapazitätswert ist stets positiv. Die Einheit ist Farad, wenn die Ladung in Coulomb und das Potential in Volt angegeben sind.

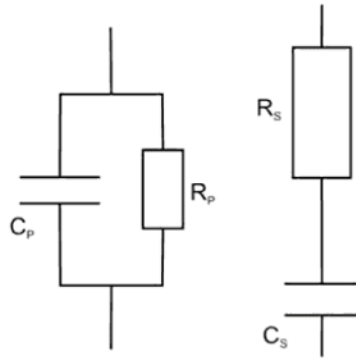


Bild 2 – Ersatzschaltbilder

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

Dieses allgemeine Verfahren beschreibt übliche Werte für allgemeine Messungen. Wenn in dieser Norm ein Verfahren für eine bestimmte Art von Werkstoff beschrieben wird, muss das spezielle Verfahren angewendet werden.

Die Messungen der Permittivität und des dielektrischen Verlustfaktors sind gründlich und unter Berücksichtigung der elektrischen Eigenschaften der Messschaltung sowie der spezifischen elektrischen Eigenschaften des Werkstoffes durchzuführen.

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

Die Grundprinzipien für Vorrichtungen und Verfahren werden hier nicht beschrieben. Einige Verweisungen auf die Literatur sind in den Literaturhinweisen angegeben.

4.2 Besondere Faktoren für die Messung im Hochfrequenzbereich

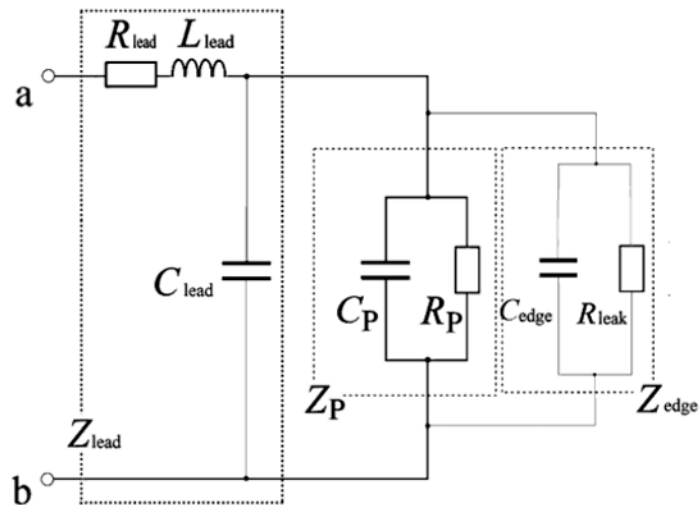


Bild 3 – Parallele Ersatzschaltung für eine Prüfvorrichtung mit Probe und Anschlussdrähten zum Messgerät

In Bild 3 wird eine parallele Ersatzschaltung mit einem Elektrodensystem mit Probekörper und Anschlussdrähten zwischen Anschluss a und Anschluss b dargestellt. C_P und R_P sind die Kapazität und der Widerstand der Komponenten aus den parallelen Ersatzschaltbildern in Bild 2. Z_{lead} ist die Impedanz aufgrund des Restwiderstands R_{lead} und der Restinduktivität L_{lead} bei Anschlussdrähten vom Messgerät zur Prüfvorrichtung. Die Streukapazität C_{lead} hat ebenfalls Einfluss auf Z_{lead} . Z_{edge} ist die Impedanz aufgrund der Randzonenkapazität der Elektrode und des Isolationswiderstands bei Probekörper und Isolatoren der Elektrodenaufnahme.

Die Impedanz von C_P , $\frac{1}{j\omega C_P}$, nimmt mit steigender Frequenz ab, was zu der Erhöhung des Stroms durch C_P im Hochfrequenzbereich führt. Wenn die Frequenz von 100 kHz auf 100 MHz erhöht wird, wird der Strom durch C_P 1 000 mal höher als der Strom bei 100 kHz. Dies führt zu einer geringeren Genauigkeit der erhaltenen Ergebnisse.

Die Impedanzen aufgrund der Induktivität des Anschlussdrahts (L_{lead}) und die Streukapazität (C_{lead}) sind ebenfalls abhängig von der Frequenz. Diese Art von Impedanz kann bei Messungen im Niederfrequenzbereich ignoriert werden. Im Hochfrequenzbereich sind die Auswirkungen der Impedanz von Z_{lead} auf die Messwerte jedoch ein wesentlicher Faktor und sie führen zu Fehlern in den Messergebnissen.

Die Impedanz aufgrund von Z_{edge} ist ebenfalls ein signifikanter Faktor im Hochfrequenzbereich. Der Widerstand R_{lead} , der unabhängig von der Frequenz ist, könnte vernachlässigbar sein, wenn die Oberflächenwiderstände des Probekörpers und der Prüfvorrichtung auf einen Wert geregelt werden, der hoch genug.

Im Niederfrequenzbereich, wie in IEC 62631-2-1 beschrieben, sollten ein effektiver Schutz und eine effektive Abschirmung eingesetzt werden, um Messfehler aufgrund der Streukapazität und der Restimpedanz zu verhindern. Im Hochfrequenzbereich über 100 kHz ist der Strom durch Schutz und Abschirmung jedoch signifikant im Vergleich zum Strom durch den Probekörper im Niederfrequenzbereich. Darüber hinaus sollte besonders darauf geachtet werden, dass bei der Messung im Hochfrequenzbereich EMI verhindert werden.

ANMERKUNG 1 STREUKAPAZITÄT: Die Streukapazität ist die Kapazität, die zusätzlich parallel zur Kapazität des Probekörpers existiert. Streukapazität ist auch zwischen Masse und einer Anschlussleitung vorhanden, die einen Messgeräteanschluss mit einer Elektrode verbindet.

ANMERKUNG 2 RESTIMPEDANZ: Die Restimpedanz ist die Impedanz, die in Reihe mit der Impedanz des Probekörpers existiert. Die Restimpedanz umfasst die Impedanz einer Elektrode, die auf der Oberfläche des Probekörpers erzeugt wird (z. B. durch Bedampfen), einer Anschlussleitung zur Verbindung eines Geräteanschlusses und einer Elektrode.

4.3 Stromversorgung

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

Die Wellenform der Spannung muss annähernd sinusförmig sein, wobei die Differenz der Amplituden der positiven und negativen Spitzenwerte kleiner als 2% sein muss.

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

Bevorzugte Spannungen sind 0,1 V; 0,5 V; 10 V; 100 V; 500 V; 1 000 V; 2 000 V.

ANMERKUNG 1 Höhere Spannungen dürfen verwendet werden, um Prüfungen bei Betriebsfeldstärke durchzuführen. Andere Spannungspegel müssen im Prüfbericht dokumentiert werden.

ANMERKUNG 2 Eine Teilentladung kann zu Fehlmessungen führen, wenn eine spezifische Einsatzspannung überschritten wird. In Luft treten unterhalb von 340 V keine Teilentladungen auf.

4.4 Messgeräte

4.4.1 Genauigkeit

Die Messeinrichtung sollte in der Lage sein, die unbekannte Permittivität und den dielektrischen Verlustfaktor in Übereinstimmung mit den erwarteten Werkstoffeigenschaften zu bestimmen. Die Genauigkeit des Messsystems muss im Prüfbericht dokumentiert werden.

ANMERKUNG Der Nutzer kann die Genauigkeit des Messsystems entsprechend den Anforderungen der Messergebnisse wählen.

4.4.2 Besonderes Merkmal von Messgeräten für die Messung im Hochfrequenzbereich

4.4.2.1 Allgemeines

Wie in 4.2 beschrieben, haben die Impedanzen Z_{lead} und Z_{edge} in Bild 2 signifikante Auswirkungen auf die Genauigkeit der Messdaten im Frequenzbereich über 1 MHz. Um zu verhindern, dass die Genauigkeit signifikant abnimmt, sollten folgende Vermerke berücksichtigt werden:

- ein scheibenförmiger Probekörper mit einem besonders dicken und kleinen ebenen Oberflächenbereich;
- geringe Restimpedanz der Messschaltung;
- geringe Restimpedanz des Zweipol-Elektrodensystems;
- Nutzung einer Kapazität und eines Leitwerts mit hoher Zuverlässigkeit als Referenz.

Die Impedanz Z_p in Bild 3 nimmt im Hochfrequenzbereich ab, so dass selbst bei einer Niederspannungsanwendung ein ausreichender Strom durch Z_p erhalten werden könnte. Die Dreipol-Elektrode mit dem Schutzring (Bild 3 in IEC 62631-2-1) führt zur Erhöhung der Randzonenkapazität (C_{edge} in Bild 3). C_{edge} wird im Vergleich zur Kapazität des Probekörpers (C_p) signifikant hoch, wenn die Oberfläche der zylindrischen Elektrode verringert wird. Dementsprechend sollte bei Messungen im Hochfrequenzbereich eine Elektrode ohne Schutzring verwendet werden. Der Ableitstrom auf der Probekörperoberfläche R_{leak} ist unabhängig von der Frequenz und bekommt aufgrund der Niederspannungsanwendung einen niedrigen Wert, so dass sich R_{leak} der Zweipol-Elektrode selbst im Hochfrequenzbereich nicht signifikant auf die Genauigkeit des Messwerts auswirkt.

Zur Beseitigung der Streukapazität und Restimpedanz sollte ein Kompensationsverfahren eingesetzt werden, für das die Kapazität und der Leitwert mit hoher Zuverlässigkeit als Referenz benötigt werden. Das Verfahren wird in der nächsten Sitzung beschrieben.

4.4.2.2 Zweipol-Elektrodensystem

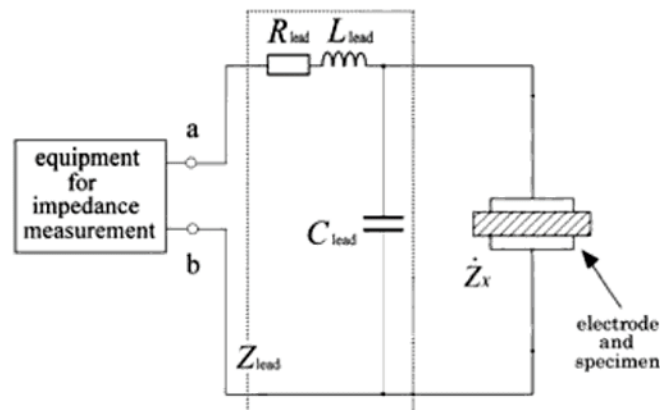
Wie in 4.4.2.1 beschrieben, wird bei Messungen im Hochspannungsbereich im Allgemeinen das Elektrodensystem ohne Schutzring-Elektrode (d. h. ein Zweipol-Elektrodensystem) verwendet. Die Dicke der Elektrode sollte ausreichend geringer sein als die des Probekörpers, um eine Erhöhung der Streukapazität um die Elektrode zu verhindern.

Wenn die Kapazität des Probekörpers mit dem Zweipol-Elektrodensystem gemessen wird, sollte die gemessene Kapazität durch die Berechnung des Randeffects kompensiert werden (siehe Anhang A in IEC 62631-2-1:2018).

Die parallelen Elektroden mit Schutzring stellen eine effektive Elektrodenanordnung zur Verringerung des Randeffects bei Messungen im Hochfrequenzbereich dar, auf die sich in Anhang A bezogen wird.

4.4.2.3 Schutzringtechnik

Ein Schutzring ist eine effektive Technik zur Beseitigung von Fehlern aufgrund von Streu-Ableitstrom bei der Messung im Niederfrequenzbereich, wie in IEC 62631-2-1:2017 angegeben. Jedoch erhöht der Schutz des Anschlussdrahts vom Messgerät zum Elektrodensystem die Kapazität C_{lead} in Bild 3. Die Impedanz aufgrund von L_{lead} und die Admittanz aufgrund von C_{lead} erhöhen sich mit steigender Frequenz, was dazu führt, dass die an das Elektrodensystem angelegte Spannung abnimmt.



Englisch	Deutsch
equipment for impedance measurement	Messgerät zur Impedanzmessung
electrode and specimen	Elektrode und Probekörper

Bild 4 – Vorhandensein von Restimpedanz und Streukapazität in einem direkt verbundenen System

Der unzureichende Strom durch das Elektrodensystem verringert die Genauigkeit der Ergebnisse. Aus diesem Grund sollte der Schutzring in den meisten Fällen nicht bei Messungen im Hochfrequenzbereich verwendet werden.

4.4.2.4 Kompensationsverfahren zur Beseitigung von Streukapazität und Restimpedanz

Im Niederfrequenzbereich ist das Messgerät für die Impedanzmessung häufig direkt mit dem Elektrodensystem mit Probekörper verbunden, wie in Bild 4 dargestellt. Die Restimpedanz in der Anschlussleitung zwischen Elektrodensystem und Anschluss (zwischen a und b) beeinflusst den Messwert, wenn das direkt verbundene

System verwendet wird. Die Streukapazität hat in diesem Fall ebenfalls einen Einfluss. Im Hochfrequenzbereich sind die Rest- und Streuimpedanzen bei der Messung jedoch nicht unerheblich. Das Kompensationsverfahren sollte angewendet werden, um die Auswirkungen der Streukapazität und Restimpedanz im Hochfrequenzbereich zu beseitigen. Ein Beispiel für das Kompensationsverfahren mit einer Reihenschaltung ist in [Anhang A](#) gegeben.

4.4.3 Auswahl der Messverfahren

Messverfahren im Hochfrequenzbereich können in drei Gruppen eingeteilt werden:

- a) Nullabgleich (Nullpunktmethode);
- b) Resonanzverfahren;
- c) Impedanz-Analysator-Verfahren.

Das Resonanzverfahren kann im Bereich von 10 kHz bis zu mehreren 100 MHz angewendet werden. Es basiert auf der Messung der Spannung in einem Resonanzkreis, wenn eine geringe bekannte Spannung darin induziert wird. Mit dem Verfahren kann die Messung in Kombination mit dem Verfahren mit kontaktfreien Elektroden bis zu einer Frequenz von fast 300 MHz durchgeführt werden. Diese Verfahren können nicht einfach auf die Messung mit Schutzring-Elektroden übertragen werden.

Der Nullabgleich und das Impedanz-Analysator-Verfahren werden in IEC 62631-2-1, 4.3.2.2 und 4.3.2.3, beschrieben.

Die für die Messungen bei Frequenzen über 10 MHz verwendeten Geräte sind in Tabelle 1 angegeben. Es muss das Zweipol-Elektrodensystem verwendet werden. Die Geräte werden in [Anhang B](#) beschrieben.

Tabelle 1 – Anwendbare Frequenzbereiche für die eingesetzten Geräte

Eingesetztes Gerät	Messgruppe	Anwendbarer Frequenzbereich
Verfahren mit Parallel-T-Schaltungen	Nullabgleich	1 MHz bis 150 MHz
Resonanzkreis	Resonanzverfahren	10 kHz bis 300 MHz
Impedanz-Analysator	Impedanz-Analysator (I-V)-Verfahren	20 Hz bis 300 MHz ^{a)}
Automatisch abgleichende Messbrücke	Nullabgleich	20 Hz bis 120 MHz
^{a)} Speziell ausgelegt für eine Messung im Hochfrequenzbereich (Anhang C.3).		

4.5 Kalibrierung

Das Messgerät muss im gemessenen dielektrischen Verlustfaktor kalibriert werden.

4.6 Probekörper

4.6.1 Allgemeines

Zur Messung der Permittivität und des Verlustfaktors eines Werkstoffs wird vorzugsweise ein Probekörper aus Blech verwendet.

4.6.2 Empfohlene Maße von Probekörpern und Elektrodenanordnungen

Bei der Messung im Hochfrequenzbereich ist die Impedanz aufgrund der Kapazität des Elektrodensystems mit Probekörper so gering, dass eine kleine Elektrodenoberfläche und eine große Dicke des Probekörpers

empfohlen werden. Ein angemessener Durchmesser der Elektrode ist etwa 30 mm und die Dicke des Probekörpers sollte zwischen 0,3 mm bis 5,0 mm betragen. Unter Umständen ist bei Zweipol-Elektrodensystemen eine Randzonenkorrektur erforderlich (siehe IEC 62631-2-1:2018, Anhang A). Bei einer Dünnschicht wird der Probekörper durch mehrere Lagen der Schicht gebildet.

Die Zweipol-Elektrode mit Schutzring bedarf unter Umständen keiner Randzonenkorrektur, wenn der Durchmesser des Probekörpers größer ist als der Durchmesser der Elektrode multipliziert mit der doppelten Probekörperdicke oder mehr. Der Schutzring wird in [Anhang B](#) beschrieben.

Eine Elektrode mit leitfähiger Dünnschicht (wie Silberfarbe, aufgedampftem Metallfilm und Metallfolie) am Probekörper sollte im Hochfrequenzbereich nicht verwendet werden, da diese Art leitfähiger Dünnschichten induktive Komponenten umfasst. Stattdessen sollte das Verfahren mit kontaktfreien Elektroden angewendet werden. Dieses Verfahren erfordert keine Dünnschicht-Elektroden, dennoch wird der Luftspalteffekt eliminiert. Das Verfahren mit kontaktfreien Elektroden und das Flüssigkeitsverdrängungsverfahren werden in [Anhang D](#) beschrieben.

4.6.3 Anzahl der Probekörper

Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper muss mithilfe der relevanten Produktnormen festgelegt werden. Sofern derartige Angaben nicht vorliegen, müssen mindestens drei Probekörper geprüft werden.

4.6.4 Konditionierung und Vorbehandlung der Probekörper

Konditionierung und jegliche andere Vorbehandlung der Probekörper müssen nach den relevanten Produktnormen erfolgen. Wenn keine Produktnorm existiert, muss die Konditionierung nach [IEC 60212](#) für mindestens 4 Tage bei 23 °C und 50 % r. F. (Normalklima B) durchgeführt werden.

4.7 Verfahren für spezifische Werkstoffe

Verfahren für spezifische Werkstoffe sind in den Werkstoffspezifikationen beschrieben. Wenn ein spezifisches Verfahren für einen bestimmten Werkstoff existiert, muss diese Spezifikation verwendet werden. Das Messverfahren, einschließlich der Vorbereitung der Probekörper, muss im Prüfbericht beschrieben werden.

5 Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Allgemeine Empfehlungen zur Vorbereitung des Probekörpers im Prüfverfahren werden in IEC 62631-2-1:2018, 5.1, beschrieben.

5.2 Berechnung der Permittivität und der relativen Permittivität

5.2.1 Relative Permittivität

Nach der Messung von C_x und C_0 kann die relative Permittivität ϵ_r nach [Gleichung \(2\)](#) berechnet werden.

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad (2)$$

Dabei ist C_x eine Kapazität des Probekörpers, in dem der Raum zwischen den beiden Elektroden ausschließlich und gänzlich mit dem betrachteten Isolierstoff gefüllt ist, und C_0 ist die gleiche Elektrodenanordnung im Vakuum.