

Prüfung von Isolierstoffen

Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften

Prüfung bei den festgelegten Frequenzen 50 Hz, 1 kHz, 1 MHz

DIN
53483
Blatt 2

Testing of electrical insulating materials; determination of the dielectric properties; test methods at standard frequencies 50 Hz, 1 kHz, 1 MHz

Zusammenhang mit der IEC-Publikation 250-1968 siehe Erläuterungen.

Diese Norm ist eine Gemeinschaftsarbeit des Deutschen Normenausschusses (DNA) und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) im Rahmen des gemeinsamen DNA/VDE-Ausschusses „Dielektrische Messungen“ und stimmt sachlich überein mit der VDE-Bestimmung VDE 0303 Teil 4, zusammen mit DIN 53 483 Blatt 1 und Blatt 3.

Zu dieser Norm gehören:

DIN 53 483 Blatt 1 Prüfung von Isolierstoffen, Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften; Begriffe, Allgemeine Angaben

DIN 53 483 Blatt 3 —; Meßzellen für Flüssigkeiten für Frequenzen bis 1 MHz

Weitere Folgeblätter sind in Vorbereitung.

Inhalt

	Seite
1. Zweck und Anwendung	1
2. Gerät	1
3. Durchführung	4
4. Auswertung	4

1. Zweck und Anwendung

Die Prüfung der Einhaltung bestimmter dielektrischer Eigenschaften (z. B. Typwerte) von Isolierstoffen nach dieser Norm kann bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen erfolgen. Diese Messungen liefern zugleich an Stelle einer kontinuierlichen Ermittlung ihrer Frequenzabhängigkeit in kurzer Zeit einen qualitativen Überblick über die Eigenschaften des Isolierstoffes. Die Prüfung hat bei der Verwendung von speziell für diese Frequenzen gebauten Meßeinrichtungen den Vorteil, daß diese dem Zweck optimal angepaßt sind und deshalb die auf diese Weise gewonnenen Meßergebnisse für den betreffenden Meßpunkt u. U. höhere Genauigkeit ergeben als die mit breitbandigen Anlagen ermittelten.

Anmerkung: Die Prüfung von Bauelementen kann mit denselben Meßgeräten bei denselben Frequenzen erfolgen. Für die Prüfung sind die Angaben dieser Norm sinngemäß anzuwenden.

Als festgelegte Frequenzen gelten 50 Hz, 1 kHz und 1 MHz.

2. Gerät

Für die Prüfung werden benötigt:

2.1. Ein Wechselspannungserzeuger mit der für die Messung erforderlichen Frequenz. Er muß von der Meßschaltung genügend entkoppelt sein, damit durch den Abgleich der Meßschaltung keine Spannungs- oder Frequenzänderungen hervorgerufen werden. Die Ausgangs-

spannung soll regelbar sein. Die Meßfrequenz soll nicht mehr als $\pm 5\%$ vom Sollwert abweichen. Der Oberwellengehalt soll nicht höher als 1% sein.

2.2. Ein Anzeigegerät für den Abgleich der Meßeinrichtung. Dieses kann allein oder zusammen mit einem Verstärker zur Erhöhung der Empfindlichkeit verwendet werden.

Als Anzeigegeräte können beispielsweise benutzt werden: Kopfhörer mit Verstärker oder Frequenzumsetzer, elektronische Spannungsmesser, elektronische Nullindikatoren mit Sichtanzeige.

2.3. Eine Meßeinrichtung, die es ermöglicht, die Kapazität vom Betrage C_x mindestens auf $0,01 C_x \pm 0,5 \text{ pF}$ und den Betrag des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$ mindestens auf $0,05 |\tan \delta| + 0,1 \cdot 10^{-3}$ anzugeben.

Anmerkung: Durch die Aufteilung der Angaben über die Meßfehlergrenze in einen Teil, der vom Betrag der Meßgröße abhängig ist, und in einen konstanten Teil, der durch den Meßfehler der Meßeinrichtung bestimmt ist, kommt zum Ausdruck, daß die relative Meßfehlergrenze um so größer wird, je kleiner die Kapazität des Prüfkondensators oder der Verlustfaktor des Isolierstoffes wird.

Als Meßeinrichtungen können beispielsweise benutzt werden:

Hochspannungsbrücke nach Schering (50 Hz), Niederspannungsbrücke mit oder ohne Wagnerschen Hilfszweig (50 Hz, 1 kHz und 1 MHz), Leitwertmesser (1 MHz).

Fortsetzung Seite 2 bis 7
Erläuterungen Seite 8

Fachnormenausschuß Kunststoffe (FNK) im Deutschen Normenausschuß (DNA)
Fachnormenausschuß Elektrotechnik im DNA
Fachnormenausschuß Materialprüfung im DNA

2.4. Eine Elektrodenanordnung, bei der die Probe zwischen den Elektroden in einem möglichst homogenen oder anderweitig definierten elektrischen Feld liegt.

2.4.1. Für feste Isolierstoffe werden als Probenform vorzugsweise Platten verwendet. Wenn der Isolierstoff in Form von Rohren vorliegt, können auch diese verwendet werden. Als Richtlinie für die Bemessung der Elektrodenfläche gilt, daß die Kapazität C_x der Elektrodenanordnung nicht kleiner als 20 pF werden soll.

Für feste Stoffe sind damit zwei verschiedene Meßanordnungen möglich:

- Unmittelbar auf die Probenoberfläche aufgebrachte Elektroden (vorzugsweise Haftelektroden),
- Immersionskondensator.

2.4.1.1. Unmittelbar auf die Probenoberfläche aufgebrachte Elektroden.

Als Elektroden werden kreisförmige Plattenelektroden (siehe Bild 1) und Zylinderelektroden (siehe Bild 2) mit Schutzring angewendet. Die Breite des Schutzspaltes soll möglichst klein, keinesfalls aber größer als 1 mm sein. Die Breite des Schutzringes soll mindestens gleich dem doppelten Elektrodenabstand (Dicke der Probe) sein. Empfohlene Maße für Elektroden nach Bild 1 sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Das elektrische Feld zwischen den Elektroden ist dann praktisch homogen, wenn die Schutzspaltbreite klein gegenüber dem Elektrodenabstand ist, wenn der Schutzring

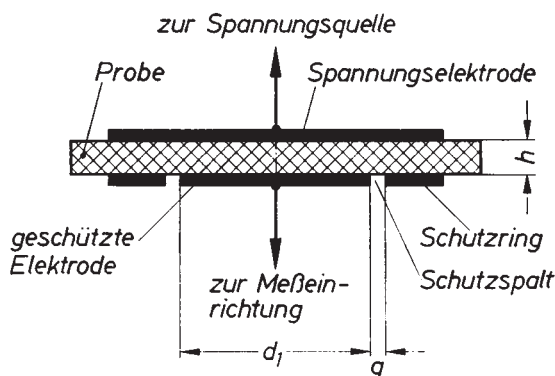


Bild 1. Kreisförmige Plattenelektrode mit Schutzring für plattenförmige Proben (Prinzipdarstellung)

$$\text{Meßfläche} = (d_1 + g)^2 \frac{\pi}{4}$$

Tabelle 1. Maße für Elektroden nach Bild 1

1	2	3	4	5
Meßfläche Nennwert A für Proben- dicken über 1 mm cm ²	Proben- dicken bis 1 mm cm ²	d_1 mm	Schutz- spalt	Schutz- ring
			Breite g mm	mm
5	4,6	24,2	1	10
20	19,2	49,5		
80	78,1	99,9		

Anmerkung: Die Meßfläche ist die Fläche, die durch die Schutzspaltmittellinie begrenzt ist (gilt nur für Spalte 1 der Tabelle 1).

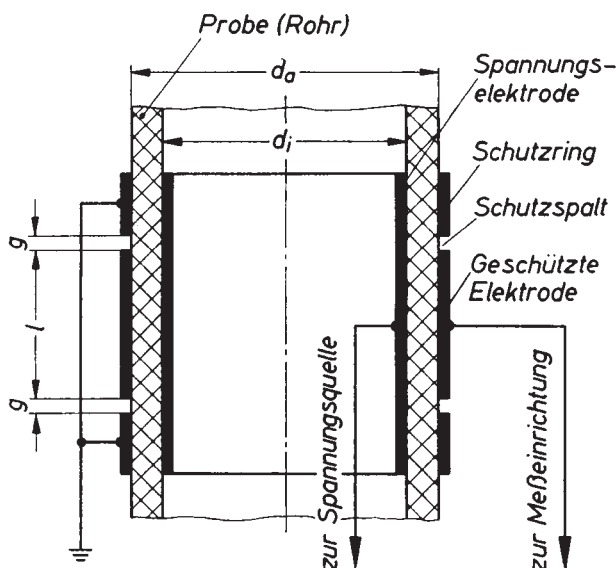


Bild 2. Zylinderelektrode mit Schutzring für rohrförmige Proben

$$\text{Meßfläche} = \pi \cdot d_a \cdot (l + g)$$

ausreichend breit ist und wenn die geschützte Elektrode und der Schutzring annähernd gleiche Spannung gegen Erde haben. Wenn der Elektrodenabstand kleiner als 1 mm ist, kann auf einen Schutzring verzichtet werden.

Kann ein Schutzring nicht angewendet werden, muß in der Regel die Korrektur des Randfeldes rechnerisch durchgeführt werden. Formeln für verschiedene Elektrodenanordnungen sind in Tabelle 2 angegeben. Anordnung b) bzw. e) der Tabelle 2 ergibt die einfachste Berechnung der Randkorrektur. Reichen die Elektroden nicht bis zum Rand der Probe, so ist Form c) bzw. f) zu verwenden. In diesem Fall braucht die Bedingung, daß die Dicke der Elektrode sehr klein gegenüber der Probendicke ist, nur für die kleinere der beiden Elektroden erfüllt zu sein.

Die Berechnung der Dielektrizitätszahl aus der gemessenen Kapazität der Elektrodenanordnung und ihren geometrischen Abmessungen setzt u. a. voraus, daß die Elektroden über ihre gesamte Meßfläche satt, d. h. ohne jeden Luftspalt, auf der Probenoberfläche aufsitzen. Diese Bedingung wird am besten durch das unmittelbare Aufbringen eines dünnen elektrisch leitenden Überzugs auf die Probenoberfläche erfüllt (Haftel Elektroden). Verschiedene Kontaktierungsverfahren werden nachfolgend angegeben. Bei der Auswahl des Verfahrens ist darauf zu achten, daß es die Probe in keiner Weise bleibend verändert oder daß gegebenenfalls eingetretene Änderungen rückgängig gemacht werden können.

Üblich sind folgende Elektrodenarten:

- Elektroden aus kolloidalen Suspensionen von Silber oder aus lackförmigen Flüssigkeiten, die feinverteiltes Silber als elektrisch leitenden Bestandteil enthalten (sog. Leitsilber-Präparate).
- Elektroden aus stabilisierten, kolloidalen, wäßrigen Suspensionen von Graphit.

Anmerkung zu a) und b): Die genannten Elektrodenarten eignen sich nicht für poröse Isolierstoffe. Auf gute Trocknung nach dem Auftrag ist zu achten. Beide Elektrodenarten sind feuchtedurchlässig und bei Temperaturen bis etwa 100 °C — unter Umständen bis 200 °C — zu verwenden. Bei Elektrodenart a) ist darauf zu achten, daß der Isolierstoff nicht durch das Lösungsmittel angegriffen wird. Elektrodenart b) eignet sich nur für Messungen bei 50 Hz und 1 kHz.

- c) Metallelektroden, die durch Kathodenzerstäubung oder Aufdampfen im Hochvakuum aufgetragen werden. Sie sind überall dort anwendbar, wo die dabei auftretenden Beanspruchungen den Isolierstoff nicht bleibend verändern oder beschädigen.

Anmerkung: Der Metallbelag ist bei Dicken bis zu etwa 5 µm genügend feuchtedurchlässig, so daß eine entsprechende Behandlung der Proben auch nach Aufbringen der Haftelektrode möglich ist.

Die Elektroden nach a) bis c) werden zweckmäßig durch Spritzverfahren auf die Proben aufgebracht, wobei unter Verwendung einer geeigneten Maske eine Schutzringanordnung erzeugt werden kann. Auf eine scharfe und saubere Begrenzung der Ränder ist zu achten.

- d) Metalleinbrennelektroden, die durch Einbrennen eines Metallsalzes auf der Isolierstoffoberfläche erhalten werden. Sie eignen sich hauptsächlich für Glas und keramische Isolierstoffe.

Anmerkung: Metallelektroden aus Indiumamalgam oder einem Indium-Gallium-Eutektikum haben sich als sperrschichtfreie Kontaktierungsmittel bei keramischen Isolierstoffen bewährt. Indium-Gallium-Schichten behalten diese Eigenschaft selbst unter eingebrannten Silberelektroden nach d).

Ist die Anwendung der Elektrodenarten nach a) bis d) nicht möglich, können auch folgende Elektrodenarten verwendet werden:

- e) Elektroden aus dünnen Metallfolien aus Zinn, Blei oder einer Legierung aus beiden, aus Aluminium, Silber oder Gold, die mit Spuren von Siliconfett oder einem ähnlichen verlustfreien Haftmittel auf die Probe aufgerieben werden.

Als Abnahmeelektroden für die Haftelektroden nach a) bis e) werden für ebene Proben Metallplatten verwendet; für rohrförmige Proben sind Metallbänder geeignet. Durchmesser und Breite der Abnahmeelektroden sollen kleiner als die der Haftelektroden sein. Wird kein Schutzring verwendet, sollten — da in diesen Fällen die Berechnung des Randfeldes im allgemeinen sehr dünne Elektrodendicken voraussetzt — Abnahmeelektroden verwendet werden, deren Durchmesser und Breite etwa 10 mm kleiner als die der verwendeten Haftelektroden sind (siehe Bild 4).

- f) Einfache scharfrandige Aufsetzelektroden ohne Schutzring oder Aufsetzelektroden mit Schutzring (z. B. Meßkondensatoren), die sorgfältig plan aufeinander eingeschliffen sein müssen.

Anmerkung 1: Bei der Anwendung dieser Elektroden ist auf ein sattes Aufsitzen der Elektroden auf der Probenoberfläche besonders zu achten. Dies kann durch Anwendung eines geeigneten Siliconöls als Haftmittel erreicht werden.

Anmerkung 2: Die Anwendung der Randkorrekturen in Tabelle 2 für Elektroden ohne Schutzring setzt im allgemeinen voraus, daß die Dicke der Elektroden am Rand klein gegenüber der Probendicke ist.

2.4.1.2. Immersionskondensator

Das Immersionsverfahren vermeidet weitgehend die Fehler in der Bestimmung der Dielektrizitätszahl, die auf einer ungenauen Kenntnis der Probendicke beruhen, wenn in einer Flüssigkeit, deren Dielektrizitätszahl nahezu gleich der der Probe ist, gemessen wird. Das Meßverfahren beruht auf der Bestimmung der Differenz ΔC der gemessenen Kapazitäten C_1 , wobei der Raum zwischen den Elektroden des Meßkondensators völlig und ausschließlich von der Immersionsflüssigkeit eingenommen wird, und C_2 , wobei die Immersionsflüssigkeit aus dem Raum zwischen den Elektroden teilweise durch die Probe verdrängt ist. Die beobachtete Kapazitätsdifferenz kann positiv oder negativ sein, je nachdem ϵ_{rx} , größer oder kleiner als ϵ_{rf} ist und ist um so kleiner, je kleiner $|\epsilon_{rx} - \epsilon_{rf}|$ ist.

Voraussetzung für die Anwendung des Immersionsverfahrens ist, daß Flüssigkeiten mit genügend genau bekannter Dielektrizitätszahl und vernachlässigbar kleinem Verlustfaktor existieren und daß diese weder die Probe noch die für die

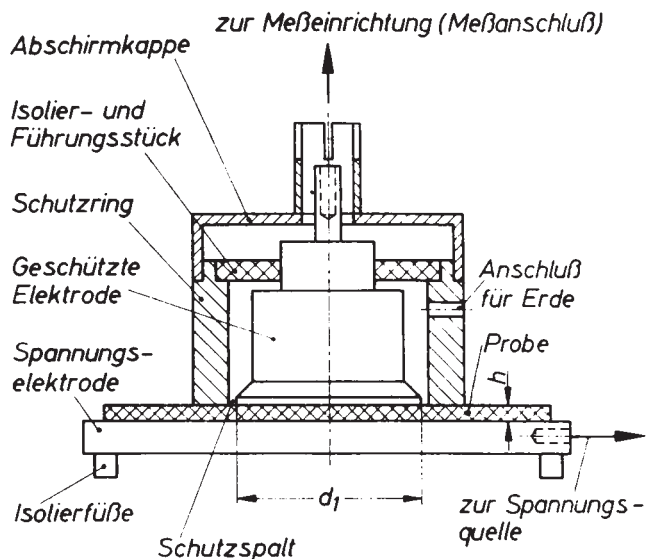


Bild 3. Kreisförmige Plattenelektrode mit Schutzring für plattenförmige Isolierstoff-Proben (Ausführungsbeispiel)
zur Meßeinrichtung (Meßanschluß)

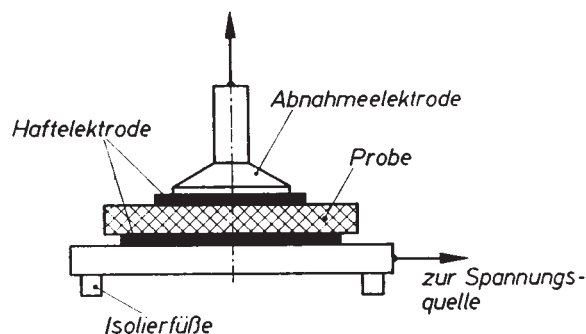


Bild 4. Ausführungsbeispiel einer Elektrodenanordnung mit Abnahmeelektrode ohne Schutzring (Ausführungsbeispiel)

Elektrodenanordnung verwendeten Materialien verändern. Siliconöle haben sich hierfür sehr gut bewährt.

Anmerkung 1: Angaben über die Dielektrizitätszahlen verschiedener Flüssigkeiten siehe z. B. Kohlrausch „Praktische Physik“ Bd. 3 (1968).

Anmerkung 2: Vor der Verwendung im Immersionskondensator sind die Immersionsflüssigkeiten nach DIN 53 483 Blatt 3 bei den vorgesehenen Meßfrequenzen und Meßtemperaturen zu prüfen.

Es sind zwei Meßverfahren anwendbar:

- a) Die Bestimmung von ε_{rx} (bzw. $\tan \delta_x$) unter Verwendung einer einzigen Immersionsflüssigkeit ε_{rf} (bzw. $\tan \delta_f$). In diesem Falle sind in den entsprechenden Auswerteformeln der Tabelle 3 die Eigenwerte des Kondensators (C_0 und s) sowie die mittlere Dicke der Probe einzusetzen. Falls die Bedingung $|\varepsilon_{rx} - \varepsilon_{rf}| \leq 0,1$ nicht eingehalten werden kann, muß statt C_0 , der Leerkapazität der Probenanordnung, eine Eigenkapazität des Kondensators angesetzt werden, die mit Hilfe mehrerer Immersionsflüssigkeiten ermittelt werden muß¹⁾.

1) F. Würstlin: „Messungen der dielektrischen Eigenschaften von Hochpolymeren mit einer Immersionsmethode“, Kolloid-Zeitschrift Bd. 213 (1966), S. 79—88.