

Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen

Teil 4 Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften

VDE 0303

Teil 4/12.69

Dies sind VDE-Bestimmungen im Sinne von VDE 0022/1.64

Diese Bestimmungen sind eine Gemeinschaftsarbeit des Deutschen Normenausschusses (DNA) und des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) im Rahmen des DNA/VDE-Gemeinschaftsausschusses „Dielektrische Messungen“ und stimmen sachlich mit DIN 53483 überein.

Die Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen umfassen:

- Teil 1 Bestimmung der Kriechstromfestigkeit bei Betriebsspannungen bis 1000 V
- Teil 2 Bestimmung der elektrischen Durchschlagspannung und Durchschlagfestigkeit bei technischen Frequenzen
- Teil 3 Bestimmung der elektrischen Widerstandswerte
- Teil 4 Bestimmung der dielektrischen Eigenschaften
- Teil 5 Bestimmung der Lichtbogenfestigkeit
- Teil 6** Bestimmung der elektrolytischen Korrosionswirkung
- Teil 7 Bestimmung des Verhaltens unter Einwirkung von Glimmentladungen
- Teil 8 Beurteilung des elektrostatischen Verhaltens durch Messen des Oberflächenwiderstandes.

Inhalt

I. Gültigkeit	2
§ 1 Geltungsbeginn	2
§ 2 Geltungsbereich	2
II. Begriffe	3
§ 3 Begriffserklärungen	3
III. Prüfung	5
A. Allgemeines	5
§ 4 Probenahme	5
§ 5 Behandlung der Proben	6
§ 6 Durchführung der Prüfung	7
§ 7 Auswertung	7

Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V.

Die vorliegende Fassung gilt, bis eine Änderung oder Neufassung gemäß einer Bekanntmachung in der ETZ in Kraft tritt.

0303 Teil 4

§§ 1 · · · 2 Dielektrische Eigenschaften von Isolierstoffen

B. Prüfung bei den festgelegten Frequenzen 50 Hz, 1 kHz und 1 MHz		7
§ 8	Zweck und Anwendung	7
§ 9	Gerät	8
§ 10	Durchführung	19
§ 11	Auswertung	19
C. Meßzellen für Flüssigkeiten für Frequenzen bis 100 MHz		21
§ 12	Anforderungen	21
§ 13	Reinigen der Meßzellen	23
§ 14	Kontrolle der Meßzellen	24
§ 15	Auswertung	25
IV. Anhang		25
Meßeinrichtungen		25
§ 16	Hochspannungsbrücke nach Schering	25
§ 17	Tonfrequenzbrücke mit Wagnerschem Hilfszweig	27
§ 18	Niederspannungsbrücke nach Schering	29
§ 19	Spezielle Brückenschaltungen	30
§ 20	Schwingkreisschaltung für Hochfrequenz	30
§ 21	Resonanzschaltung, Kapazitätsverstimmungsmethode	31
§ 22	Meßleitung	33
Erläuterungen		35

Die Maße in den Bildern sind in mm angegeben.

I. Gültigkeit

§ 1

Geltungsbeginn

- Diese Bestimmungen gelten ab 1. Dezember 1969¹⁾.
- Die bisherigen Leitsätze für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen VDE 0303 Teil 4/10.55 werden am gleichen Tage ungültig.

§ 2

Geltungsbereich

- Diese Bestimmungen gelten für die Ermittlung.
 - der Dielektrizitätszahl (DZ) ϵ_r ,
 - des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$ und
 - der dielektrischen Verlustzahl (DV) ϵ_r''von Isolierstoffen bei sinusförmigen Wechselspannungen.

Die dielektrischen Eigenschaften der Isolierstoffe hängen von verschiedenen äußeren und inneren physikalischen Einflüssen ab,

¹⁾ Genehmigt durch den Vorstand des VDE im Oktober 1969, bekanntgegeben in ETZ-B (1968) Heft 6 und ETZ-B (1969) Heft 24

Entwicklungsgang:	Genehmigt:	Gültig ab:	Bekanntmachung in ETZ:
1. Fassung	8. 7. 1929	1. 7. 1929	1929 S. 364, 912, 1136, 1639
2. Fassung	Juli 1940	1. 9. 1940	1939 S. 1171; 1940 S. 457, 791
3. Fassung	August 1955	1. 10. 1955	1954 S. 567; 1955 S. 688
4. Fassung	Oktober 1969	1. 11. 1969	1968 Heft 6 und 1969 Heft 24

z. B. Frequenz, elektrischer Feldstärke, Temperatur, Feuchte, mechanischen Spannungen, ionisierender Strahlung, Homogenität bzw. Isotropie. Insbesondere bei inhomogenen oder anisotropen Stoffen kann eine unterschiedliche Orientierung der Vorzugsrichtung in Bezug auf die Richtung der elektrischen Meßfeldstärke zu verschiedenen Meßergebnissen führen. Aus diesen Gründen sollte die Prüfung der dielektrischen Eigenschaften der Isolierstoffe den Bedingungen bei deren Anwendung in elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln entsprechen. Darüber hinaus kann insbesondere die Aufnahme der Frequenz- oder Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätszahl und des dielektrischen Verlustfaktors bzw. der dielektrischen Verlustzahl Aufschlüsse über die chemische und physikalische Struktur des Isolierstoffes geben. Für die Prüfung der Einhaltung bestimmter dielektrischer Eigenschaften (z. B. Typwerte) können Messungen bei festgelegten Frequenzen und Behandlungen der Proben, die im Hinblick auf die Anwendung des Isolierstoffes in elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln auszuwählen sind, durchgeführt werden. Als Frequenzen sind zu bevorzugen 50 Hz, 1 kHz und 1 MHz.

- b) Soweit für die einzelnen Isolierstoffarten besondere VDE-Bestimmungen vorliegen, gelten deren Festlegungen mit Vorrang.

Diese Bestimmungen dürfen sinngemäß auch auf Messungen an Isolierstoffteilen von elektrischen Betriebsmitteln angewendet werden.

II. Begriffe

§ 3

Begriffserklärungen

- a) Als Dielektrizitätszahl ϵ_r (relative permittivity) eines Isolierstoffes gilt der Quotient aus der Kapazität C_x eines Kondensators – dessen Abmessungen klein sind gegenüber der Meß-Wellenlänge des elektromagnetischen Feldes innerhalb der Probe, bei der die Messung durchgeführt wird ($\lambda = c/f$; wobei c die Lichtgeschwindigkeit und f die Frequenz ist), und bei dem der Raum zwischen den Elektroden völlig mit dem betreffenden Isolierstoff ausgefüllt ist – und der Kapazität C_0 der leeren Elektrodenanordnung im Vakuum:

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \quad . \quad (1)$$

Anmerkung 1:

Die gegebene Definition läßt sich im Mikrowellengebiet durch folgende ersetzen: Die Dielektrizitätszahl ϵ_r eines (unendlich ausgedehnten verlustfreien) Isolierstoffes ist das Quadrat des Quotienten der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer ebenen elektromagnetischen Welle derselben Frequenz im Vakuum und derjenigen in dem betrachteten Isolierstoff:

$$\epsilon_r = \left(\frac{c_0}{c} \right)^2 = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_\epsilon} \right)^2 \quad . \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

- c_0 Ausbreitungsgeschwindigkeit der ebenen elektromagnetischen Welle im Vakuum (Wellenlänge λ_0),
- c Ausbreitungsgeschwindigkeit der ebenen elektromagnetischen Welle im Isolierstoff (Wellenlänge λ_ϵ).

Anmerkung 2:

Die Dielektrizitätszahl der umgebenden Luft beträgt bei Raumtemperatur unter normalem atmosphärischen Druck 1,00058, so daß mit genügender Genauigkeit für die Bestimmung der Dielektrizitätszahl von Isolierstoffen die Kapazität C_0 der in Luft befindlichen Elektrodenanordnung benutzt werden kann. Die Dielektrizitätszahl gibt also mit hinreichender Genauigkeit an, um welches Vielfache die Kapazität C_x eines Kondensators mit einem Dielektrikum größer ist als die Kapazität C_0 desselben Kondensators mit Luft.

- b) Die Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes ϵ_0 (Elektrische Feldkonstante, electric constant) beträgt 0,08854 pF/cm (siehe DIN 1357; dort $8,85419 \cdot 10^{-12}$ F/m).

Die Dielektrizitätskonstante (permittivity) eines Isolierstoffes ist das Produkt aus der Dielektrizitätszahl ϵ_r und der Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes ϵ_0 :

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0. \quad (3)$$

- c) Als dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ (dissipation factor) eines Isolierstoffes gilt der Tangens des Fehlwinkels (= Verlustwinkel) δ , um den die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung im Kondensator von $\pi/2$ abweicht, wenn das Dielektrikum des Kondensators ausschließlich aus dem Isolierstoff besteht.

Anmerkung 1:

Bei der Messung des dielektrischen Verlustfaktors werden Strom und Spannung als sinusförmig vorausgesetzt. Ihr Oberwellengehalt darf 1 % nicht übersteigen.

Anmerkung 2:

In vielen Fällen und besonders bei höheren Frequenzen bereitet die Messung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung Schwierigkeiten. Die gegebene Definition des Verlustfaktors $\tan \delta$ läßt sich dann allgemein durch folgende ersetzen: Der Verlustfaktor eines Volumens (z. B. des Isolierstoffes) ist der 2π -fache Quotient aus der in diesem Volumen in einer Halbperiode in Wärme umgesetzten und der darin reversibel gespeicherten mittleren elektrischen Energie.

Der Kehrwert des Verlustfaktors $\tan \delta$ wird als „Güte“ oder „Gütefaktor Q “ (Quality-factor) bezeichnet.

$$\frac{1}{\tan \delta} = Q \quad (4)$$

Anmerkung 3:

Jeder verlustbehaftete Kondensator kann durch eine verlustfreie Kapazität und durch einen Widerstand dargestellt werden, der entweder als Parallel- oder als Reihenwiderstand aufgefaßt werden kann. Für beide Fälle ergeben sich verschiedene Werte der Kapazität und des Widerstandes:

$$C_p = C_s \cdot \frac{1}{1 + \tan^2 \delta} \quad (5)$$

$$R_p = R_s \cdot \frac{1 + \tan^2 \delta}{\tan^2 \delta} \quad (6)$$

Hierin bedeuten:

C_p und R_p Größen der Parallelersatzschaltung,

C_s und R_s Größen der Reihenersatzschaltung.

Der Verlustfaktor ist für beide Ersatzschaltpläne derselbe:

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \omega C_s R_s \quad (7)$$

wobei $\omega = 2 \pi f$ und f die Frequenz ist.

Der Berechnung der Dielektrizitätszahl ist der Parallelersatzschaltplan zugrunde zu legen.

Wenn ein Meßgerät die Ergebnisse als Reihenschaltung liefert und $\tan^2 \delta$ zu groß ist, um in Formel (5) vernachlässigt zu werden, ist vor der Berechnung der Dielektrizitätszahl die Kapazität auf den Parallelersatzschaltplan umzurechnen.

Die Kapazitätswerte C_p und C_s weichen voneinander ab:

um weniger als 1 % wenn $\tan \delta < 0,10$ und

um weniger als 0,1 % wenn $\tan \delta < 0,03$ ist.

- d) Als dielektrische Verlustzahl ε_r'' (loss index) eines Isolierstoffes gilt das Produkt aus Dielektrizitätszahl ε_r und dem Verlustfaktor $\tan \delta$:

$$\varepsilon_r'' = \varepsilon_r \cdot \tan \delta \quad (8)$$

- e) Die komplexe Dielektrizitätszahl ε_r^* ist mit der Dielektrizitätszahl und der dielektrischen Verlustzahl wie folgt verbunden:

$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r'' \quad (9)$$

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'} \quad (10)$$

$$\varepsilon_r' = \varepsilon_r \quad (11)$$

III. Prüfung

A. Allgemeines

§ 4

Pr o b e n a h m e

- a) Die E n t n a h m e und H e r s t e l l u n g der P r o b e n richtet sich nach den für den Isolierstoff gültigen Bestimmungen. Dabei darf der Zustand und die Zusammensetzung des Isolierstoffes nicht geändert und die entnommene Probe nicht beschädigt werden. Wird

0303 Teil 4

§§ 4 · · · 5 Dielektrische Eigenschaften von Isolierstoffen

die Oberfläche der Probe an den Auflageflächen der Elektroden bearbeitet, so ist die Art der Bearbeitung im Prüfbericht anzugeben.

Da Durchgangswiderstand und Verlustfaktor oft an denselben Proben gemessen werden, ist auch VDE 0303 Teil 3 (sachlich übereinstimmend mit DIN 53482) zu beachten.

- b) Die F o r m der P r o b e richtet sich nach den für das anzuwendende Meßverfahren und die Elektrodenanordnungen gültigen Bestimmungen. Bei Untersuchungen in einem weiten Frequenzbereich kann es erforderlich sein, verschiedene Probenformen herzustellen.

Die A n z a h l der Proben richtet sich nach den für den Isolierstoff gültigen Bestimmungen. Liegen keine Bestimmungen vor, so sind zur Mittelwertbildung der Prüfergebnisse (siehe § 7) für jede der vorgeschriebenen Behandlungen und jede Probenform mindestens 3 Proben zu prüfen.

§ 5

B e h a n d l u n g d e r P r o b e n

Die Behandlung der Proben richtet sich nach den für den Isolierstoff gültigen Bestimmungen oder nach der in Aussicht genommenen Anwendung des Isolierstoffes im elektrischen Betriebsmittel. Die Prüfung kann durchgeführt werden:

- a) Ohne Vorbehandlung der Proben unter Angabe der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Prüfraum.

Die Prüfergebnisse hängen in diesem Fall vom zufälligen, nicht definierten Zustand der Probe ab.

- b) Nach Vorbehandlung der Proben, um einen definierten Zustand und damit für den betreffenden Isolierstoff vergleichbare Meßergebnisse zu erhalten.

- c) Nach Behandlung der Proben, um Einflüsse verschiedener, für die Anwendung des Isolierstoffes in elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln wichtiger Faktoren auf das Prüfergebnis vergleichbar zu ermitteln, wie z. B. den Einfluß von mechanischen Beanspruchungen und Einwirkungen von Wärme, Feuchtigkeit, Chemikalien (siehe DIN 50010, 50013, 50015 und 50016), und energiereicher Strahlung (siehe DIN 53750, z.Z. Entwurf).

- d) Die D a u e r d e r B e h a n d l u n g soll aus folgender Stufung gewählt werden:

2 Stunden, 4 Stunden, 16 Stunden,

1 Tag, 2 Tage, 4 Tage, 7 Tage und

ganzzahlige Vielfache von 7 Tagen.

In besonderen Fällen dürfen auch andere Behandlungszeiten gewählt werden, z. B. 10 Tage.

§ 6

Durchführung der Prüfung

- a) Die Proben werden nach § 5 behandelt.
- b) Die Prüfung wird nach den für das jeweilige Meßverfahren gültigen Festlegungen dieser Bestimmungen durchgeführt.

§ 7

Auswertung

- a) Die Meßergebnisse werden nach den für das angewendete Meßverfahren gültigen Bestimmungen unter Beachtung von § 3 ausgewertet.
- b) Im Prüfbericht ist unter Hinweis auf diese Bestimmungen anzugeben:
 - Art, Bezeichnung und Lieferform des Isolierstoffes;
 - Herstellung, Form, Abmessung und Herstelldatum der Proben;
 - Art und Dauer der Behandlung der Proben;
 - Elektrodenanordnung, gegebenenfalls Art der Haftelektrode;
 - Meßeinrichtung;
 - Wesentlich sind dabei die Angaben der Elektrodenabmessungen und gegebenenfalls Angaben über die Art der Bearbeitung der Proben an den Auflageflächen der Elektroden.
 - Prüfklima;
 - Meßspannung;
 - Meßfrequenz;
 - Dielektrizitätszahl ϵ_r (Mittelwert);
 - Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$
 - oder dielektrische Verlustzahl ϵ_r'' (Mittelwert);
 - Prüfdatum.

B. Prüfungen bei den festgelegten Frequenzen**50 Hz, 1 kHz und 1 MHz**

§ 8

Zweck und Anwendung

Ob bestimmte dielektrische Eigenschaften (z. B. Typwerte) von Isolierstoffen eingehalten werden, kann man nach diesen Bestimmungen bei einer oder mehreren festgelegten Frequenzen prüfen. Diese Messungen liefern zugleich an Stelle einer kontinuierlichen Ermittlung ihrer Frequenzabhängigkeit in kurzer Zeit einen qualitativen Überblick über die Eigenschaften des Isolierstoffes. Die Prüfung mit

0303 Teil 4

§§ 8 . . . 9 Dielektrische Eigenschaften von Isolierstoffen

speziell für diese Frequenzen gebauten Meßeinrichtungen hat den Vorteil, daß diese dem Zweck optimal angepaßt sind. Daher können die auf diese Weise gewonnenen Meßergebnisse für den betreffenden Meßpunkt unter Umständen eine höhere Genauigkeit ergeben als die mit breitbandigen Anlagen ermittelten.

Bauelemente können mit denselben Meßgeräten bei denselben Frequenzen geprüft werden. Für die Prüfung sind die Angaben dieser Bestimmungen sinngemäß anzuwenden.

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

§ 9

G e r ä t

Für die Prüfung werden benötigt:

- a) Ein W e c h s e l s p a n n u n g s e r z e u g e r 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 Ausgangsspannung soll einstellbar sein. Die Meßfrequenz soll nicht mehr als $\pm 5\%$ vom Sollwert abweichen. Der Oberwellengehalt soll nicht höher als 1 % sein.
- b) Ein A n z e i g e g e r ä t für den Abgleich der Meßeinrichtung. Dieses kann allein verwendet werden, oder mit einem Verstärker zum Erhöhen der Empfindlichkeit.

Als Anzeigegeräte können z. B. benutzt werden:

Kopfhörer mit Verstärker oder Frequenzumsetzer, elektronische Spannungsmesser, elektronische Nullindikatoren mit Sichtanzeige.

- c) Eine M e ß e i n r i c h t u n g , die es ermöglicht, die Kapazität vom Betrag C_x mindestens auf $0,01 C_x + 0,5 \text{ pF}$ und den Betrag des dielektrischen Verlustfaktors $\tan \delta$ mindestens auf $0,05 |\tan \delta| + 0,1 \cdot 10^{-3}$ anzugeben.

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 größer wird, je kleiner die Kapazität des Prüfkondensators oder der Verlustfaktor des Isolierstoffes wird.

Als Meßeinrichtungen können z. B. benutzt werden:

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

- d) Eine E l e k t r o d e n a n o r d n u n g , bei der die Probe zwischen den Elektroden in einem möglichst homogenen oder anderweitig definierten elektrischen Feld liegt.

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:

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

Als Elektroden werden kreisförmige Plattenelektroden (Bild 1) und Zylinderelektroden (Bild 2) mit Schutzring angewendet. Die Breite des Schutzspaltes soll keinesfalls 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 Tafel 1 zusammengestellt.

Anmerkung 1

Das elektrische Feld zwischen den Elektroden ist praktisch dann homogen, wenn die Schutzspaltbreite gegenüber dem Elektrodenabstand klein ist, wenn der Schutzring 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.

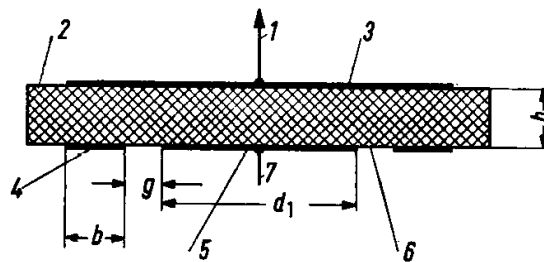


Bild 1

Kreisförmige Plattenelektrode mit Schutzring für plattenförmige Proben
(prinzipielle Darstellung)

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

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1 Zum Spannungserzeuger | 5 geschützte Elektrode |
| 2 Probe | 6 Schutzspalt |
| 3 Spannungselektrode | 7 Zur Meßeinrichtung |
| 4 Schutzring | |

Tafel 1

Maße für Elektroden nach Bild 1

1	2	3	4	5
Meßfläche Nennwert A für Probendicken über 1 mm cm ²		d_1 mm	Schutzspalt Breite g mm	Schutzring Breite b mm
bis 1 mm cm ²				
5	4,6	24,2		
20	19,2	49,5	1	10
80	78,1	99,9		

Anmerkung 2

Die Meßfläche ist die Fläche, die von der Mittellinie des Schutzspalts begrenzt ist (gilt nur für Spalte 1 der Tafel 1).

Kann ein Schutzring nicht angewendet werden, muß die Korrektur des Randfeldes meist rechnerisch durchgeführt werden. Gleichungen für verschiedene Elektrodenanordnungen sind in Tafel 2 angegeben. Anordnung b) oder e) der Tafel 2 ergibt die einfachste Berechnung der Randkorrektur. Reichen die Elektroden nicht bis zum Rand der Probe, so ist Form c) oder f) zu verwenden. In diesem Fall braucht die Bedingung, daß die Dicke der Elektrode gegenüber der Probendicke sehr klein 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 unter anderem 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 Aufbrin-

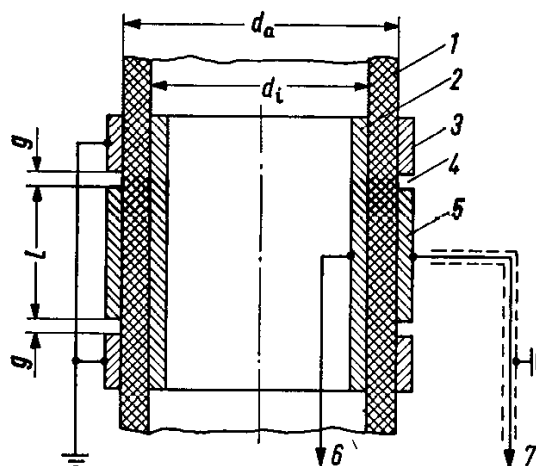


Bild 2

Zylinderelektrode mit Schutzring für rohrförmige Proben

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

1 Probe

2 Spannungselektrode

3 Schutzring

4 Schutzspalt

5 Geschützte Elektrode

6 Zum Spannungserzeuger

7 Zur Meßeinrichtung

gen eines dünnen elektrisch leitenden Überzugs auf die Probenoberfläche erfüllt (Haftelektroden). Verschiedene Kontaktierungsverfahren werden nun angegeben. Bei der Auswahl des Verfahrens ist darauf zu achten, daß es die Probe in keiner Weise bleibend verändert oder daß eingetretene Änderungen gegebenenfalls rückgängig gemacht werden können.

Üblich sind folgende Elektrodenarten:

1.1.1. Elektroden aus kolloidalen Suspensionen von Silber oder aus lackförmigen Flüssigkeiten, die feinverteiltes Silber als elektrisch leitenden Bestandteil enthalten (sogenannte Leitsilber-Präparate).

1.1.2. Elektroden aus stabilisierten, kolloidalen, wäßrigen Suspensionen von Graphit.

Anmerkung zu 1.1.1 und 1.1.2:

Die genannten Elektroden eignen sich nicht für poröse Isolierstoffe. Auf gute Trocknung nach dem Auftragen ist zu achten. Beide Elektrodenarten sind feuchtedurchlässig und die Temperaturen bis etwa 100 °C – unter Umständen bis 200 °C – zu verwenden. Bei den Elektroden nach 1.1.1 ist darauf zu achten, daß der Isolierstoff nicht durch das Lösungsmittel angegriffen wird. Die Elektroden nach 1.1.2 eignen sich nur für Messungen bei 50 Hz und 1 kHz.

1.1.3. 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.

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

Die Elektroden nach 1.1.1 bis 1.1.3 werden zweckmäßig durch Spritzverfahren auf die Proben aufgebracht. Dabei kann eine Schutzringanordnung unter Verwendung einer geeigneten Maske erzeugt werden. Auf eine scharfe und saubere Begrenzung der Ränder ist zu achten.

1.1.4. 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.

Ist die Anwendung der Elektrodenarten nach 1.1.1 bis 1.1.4 nicht möglich, können auch folgende Elektrodenanordnungen verwendet werden: