

	Piezoelektrische Eigenschaften von keramischen Werkstoffen und Komponenten Teil 2: Messverfahren – Kleinsignal Deutsche Fassung EN 50324-2:2002	DIN EN 50324-2
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation VDE 0336 Teil 2
ICS 31.140 Piezoelectric properties of ceramic materials and components Part 2: Methods of measurement – Low power; German version EN 50324-2:2002 Propriétés piézoélectriques des matériaux et composants en céramique Partie 2: Méthodes de mesure – Faible puissance; Version allemande EN 50324-2:2002 Die Europäische Norm EN 50324-2:2002 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 50324-2 wurde am 2001-12-01 angenommen. Nationales Vorwort Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium UK 181.2 „Anforderungen an feste Isolierstoffe“ (AK 181.2.01 „Isolierstoffe aus Keramik und Glas“) der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig. Norm-Inhalt war veröffentlicht als E DIN VDE 0336-2 (VDE 0336 Teil 2):1999-07. Fortsetzung Seite 2 und 26 Seiten EN DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE		

– Leerseite –

**Piezelektrische Eigenschaften von keramischen
Werkstoffen und Komponenten
Teil 2: Messverfahren – Kleinsignal**

Piezoelectric properties of ceramic materials
and components
Part 2: Methods of measurement – Low power

Propriétés piézoélectriques des matériaux et
composants en céramique
Partie 2: Méthodes de mesure – Faible
puissance

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2001-12-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, der Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

EN 50324-2:2002

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde von dem CENELEC BTTF 63-2 „Advanced technical ceramics“ ausgearbeitet.

Der Text des Entwurfs wurde der formellen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2001-12-01 als EN 50324-2 angenommen

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2002-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2004-12-01

Dieser Teil 2 muss in Verbindung mit der EN 50324-1 angewendet werden.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	4
2 Formelzeichen und Einheiten	4
3 Abmessungen und Beschaffenheit von Normprüfkörpern	5
4 Elektroden	6
5 Umgebungsbedingungen	6
6 Kleinsignaldaten, Zeitpunkt der Messungen	6
7 Anzahl der Prüfkörper	6
8 Messverfahren	6
9 Bestimmung eines kompletten Satzes von Werkstoffkenngrößen, systematische Vorgehensweise	15
10 Fehler für die berechneten Konstanten	23
11 Bestimmung des Temperaturkoeffizienten der Kenngrößen	23
12 Temperaturkoeffizienten von berechneten Kenngrößen	25
13 Berechnung von Alterungsraten	25

1 Anwendungsbereich

Die in dieser Norm beschriebenen Messverfahren gelten für piezoelektrische Bauelemente, die aus den in [EN 50324-1](#) „Begriffe“ beschriebenen keramischen Werkstoffen hergestellt wurden. Die spezifischen Messverfahren für dielektrische, piezoelektrische und elastische Koeffizienten sind allgemein für piezoelektrische Keramiken anwendbar.

Die polykristalline Natur der Keramiken, statistische Schwankungen der Zusammensetzung und der Einfluss des Herstellungsprozesses ergeben spezifische Werkstoffkenngrößen als typische Mittelwerte. Diese Werte dienen nur zur Information.

Piezoelektrische Wandler können sehr unterschiedliche Form aufweisen und in unterschiedlichen Schwingungsformen angewendet werden. Werkstoffkenngrößen werden jedoch an einfachen Prüfkörpern (Scheiben, Stäbe usw., siehe [EN 50324-1, Bild 2](#)) unter Berücksichtigung der spezifischen geometrischen und elektrischen Randbedingungen gemessen. Dementsprechend liefern die Prüfergebnisse nur Werkstoffkenngrößen, und sie dürfen nur als Anhaltspunkt für die tatsächlichen Eigenschaften der kommerziell hergestellten Bauelemente angesehen werden.

2 Formelzeichen und Einheiten

Alle in dieser Norm auftretenden Werkstoffkenngrößen und Gleichungen werden entsprechend dem Internationalen Einheitensystem (SI-Einheiten) angegeben.

In Tabelle 1 sind die Formelzeichen und wo zutreffend die zugehörigen gekennzeichneten Einheiten aufgeführt.

Tabelle 1 – Liste der Formelzeichen und ihrer Maßeinheiten

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A	Fläche	m^2
c	Alterungsrate	siehe Anmerkung
c_{ij}	Elastische Steifigkeit	N/m^2
C	Kapazität	F
C^T	freie Kapazität	F
d	Durchmesser	m
d_{ij}	piezoelektrische Ladungs-(Deformations-)konstante	C/N oder m/V
e_{ij}	piezoelektrische Spannungskonstante	C/m^2 oder N/Vm
E_i	Komponente der elektrischen Feldstärke	V/m
E_m	Messfeldstärke	V/m
f	Frequenz	Hz
f_a	Antiresonanzfrequenz (Blindwiderstand null)	Hz
f_m	Frequenz der minimalen Impedanz	Hz
f_n	Frequenz der maximalen Impedanz	Hz
f_p	Parallelresonanzfrequenz (maximaler Widerstand)	Hz
f_r	Resonanzfrequenz	Hz
f_s	(Serien-)Resonanzfrequenz (maximaler Leitwert)	Hz
f_1	Frequenz beim ersten Oberton	Hz
f_3	Frequenz beim dritten Oberton	Hz
g_{ij}	Piezoelektrische Spannungskonstante	m^2/C oder Vm/N
$J_0(z)$	Besselfunktion erster Art und nullter Ordnung	
$J_1(z)$	Besselfunktion erster Art und erster Ordnung	

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
$J_m(z)$	modifizierte Besselfunktion erster Ordnung	
k_{eff}	effektiver elektromechanischer Kopplungsfaktor	
k_{31}	transversaler Kopplungsfaktor	
k_{33}	longitudinaler Kopplungsfaktor	
k_{15}	Scherkopplungsfaktor	
k_p	planarer Kopplungsfaktor	
k_t	Dickenkopplungsfaktor	
l	Länge	m
M	Gütezahl	
n	Obertonordnung	
N_t	Frequenzkonstante der Dickenschwingung	Hz·m
N_p	Frequenzkonstante der Radialschwingung	Hz·m
Q_m	mechanischer Gütefaktor	
R_i	Isolationswiderstand	Ω
S_i	Deformationskomponente	
s_{ij}	elastische Nachgiebigkeit	m^2/N
t	Dicke	m
TK	Temperaturkoeffizient	K^{-1}
T_i	Spannungskomponente	N/m^2
$\tan \delta_d$	dielektrischer Verlustfaktor	
$\tan \delta_m$	mechanischer Verlustfaktor	
v	Schallgeschwindigkeit	m/s
w	Breite	m
Z	Impedanz	Ω
δ_r	relativer Frequenzabstand	
ϵ_{ij}	Permittivität	
ϵ_0	elektrische Feldkonstante	F/m
ϑ	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
ϑ_C	Curietemperatur	$^{\circ}\text{C}$
φ	Phasenwinkel	$^{\circ}$
ρ	Dichte	Mg/m^3
ρ_e	spezifischer Widerstand	Ωm
σ^E	planare Poissonzahl	
ω	Kreisfrequenz	rad/s
ANMERKUNG Die Alterungsrate wird im Allgemeinen in Prozent je Dekade angegeben.		

3 Abmessungen und Beschaffenheit von Normprüfkörpern

Die Oberfläche von Normprüfkörpern zur Charakterisierung von Piezokeramiken für Wandler sollte vor der Metallisierung eine mittlere Rauhtiefe $R_a < 1 \mu\text{m}$ aufweisen, und die Abweichungen der Ebenheit und Parallelität der Oberflächen sollten $50 \mu\text{m}$ je Länge nicht überschreiten.

Die geometrischen Abmessungen von Normprüfkörpern sollten denen in **Bild 2 von EN 50324-1** entsprechen.

EN 50324-2:2002

Bei geringeren Verhältnissen der geometrischen Abmessungen der piezokeramischen Bauteile treten Abweichungen der entsprechenden Schwingungsformen auf, die nur eine ungenaue Charakterisierung der Piezokeramik erlauben.

Dickenscherschwinger mit rechteckigen Elektrodenflächen sind in Richtung der langen Kante zu polarisieren.

4 Elektroden

Die Elektroden für die Messung (oder für den Betrieb) werden abgeschieden durch

- Einbrennen von Edelmetallpasten (z. B. Ag, AgPd, Au),
- stromlose Metallisierung (z. B. Ni, NiAu),
- Vakuumbeschichtung: Aufdampfen, Sputtern (z. B. Ni, CuNi, Au).

5 Umgebungsbedingungen

Die elektrischen Messungen müssen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 25 °C erfolgen. Vor jeder elektrischen Messung (nach der Metallisierung) müssen die Prüfkörper wenigstens 24 h bei diesen Temperaturen gelagert werden. Die Prüfkörper müssen sauber und trocken sein.

Während der Messung muss die relative Luftfeuchte im Prüflabor unter 65 % liegen.

6 Kleinsignaldaten, Zeitpunkt der Messungen

Die für die piezoelektrischen Keramiken spezifizierten Werkstoffkenngrößen (dielektrische und elektromechanische Eigenschaften) erfordern unbedingt lineare Beziehungen zwischen den Komponenten von mechanischer Spannung und Deformation auf der einen Seite und von elektrischer Feldstärke und dielektrischer Verschiebung oder Polarisation auf der anderen Seite. Die Werkstoffkenngrößen gelten daher nur für einen begrenzten Bereich von Eingangssignalen (unter Mess- und Betriebsbedingungen).

Die Grenzen eines linearen Verhaltens können sich für piezoelektrische Keramiken unterschiedlicher Zusammensetzung deutlich unterscheiden.

Die dielektrischen und elektromechanischen Kenngrößen piezoelektrischer Keramiken unterliegen auf der Basis der physikalischen Erscheinungen einer natürlichen Alterung. Daher sind die Kenngrößen zu einer definierten Zeit, nicht früher als 24 h nach der Polarisation, zu messen. Bei Messungen in größeren Zeitabständen nach der Polarisation sind die Kenngrößen unter Berücksichtigung der entsprechend [Abschnitt 11](#) bestimmtem Alterungsrate zu korrigieren.

Die Kenngrößen von piezoelektrischen Keramikbauteilen, die als Wandler für die praktische Anwendung vorgesehen sind, müssen innerhalb der zweiten Dekade der Alterung, üblicherweise 30 Tage nach der Polung, gemessen werden.

7 Anzahl der Prüfkörper

Die charakteristischen Werkstoffkenngrößen müssen an wenigstens zehn Prüfkörpern gemessen werden.

8 Messverfahren

8.1 Bestimmung von relativer Permittivität und dielektrischem Verlustfaktor

Die relative Permittivität piezokeramischer Werkstoffe wird bestimmt durch Messung der Kapazität mittels eines Kapazitätsmessgerätes bei $f = (1\,000 \pm 200)$ Hz und $E_m < 1$ V/mm.

Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ ergibt sich aus dem gleichen Messvorgang.

Die Curietemperatur ϑ_C ergibt sich aus dem Maximum der temperaturabhängigen Kapazität. Dieses Maximum liegt im Allgemeinen weit oberhalb des Betriebstemperaturbereiches (siehe 9.2.2 und Abschnitt 11).

8.2 Bestimmung der elektromechanischen Eigenschaften

8.2.1 Dynamisches Messverfahren

Die Bestimmung der elektromechanischen Kopplungsfaktoren, Frequenzkonstanten und des mechanischen Gütefaktors erfolgt im Prinzip durch dynamische Messverfahren, d. h. durch Anregung von piezoelektrischen Schwingern zu Schwingungsformen bei mechanischer Resonanz.

Die Größe der Anregungsspannung muss im Allgemeinen einer maximalen Feldstärke von 0,01 V/mm entsprechen. Die dynamischen Messverfahren beruhen auf dem Impedanzdiagramm (siehe Bild 1) bzw. dem Admittanzdiagramm des Ersatzschaltbildes eines piezoelektrischen Resonators.

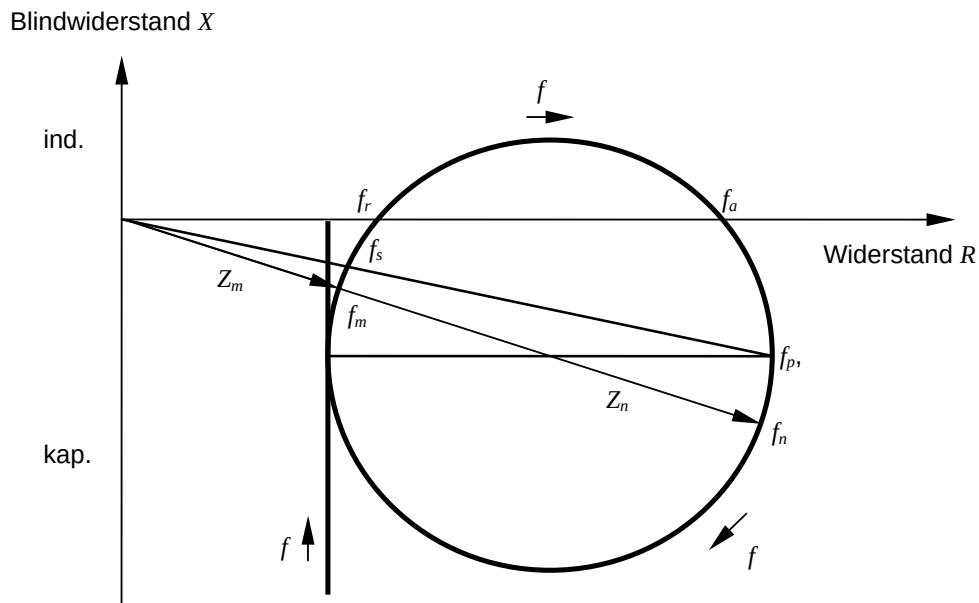


Bild 1 – Vektor-Impedanzdiagramm eines piezokeramischen Resonators

Die drei Paare von charakteristischen Frequenzen, die für die Bestimmung der piezoelektrischen Aktivität bedeutsam sind, werden in Bild 1 dargestellt.

Die Frequenzen f_m , f_s , f_r bzw. f_n , f_p , f_a fallen (in erster Näherung) für einen piezoelektrischen Resonator mit niedrigen Verlusten zusammen, also für einen solchen mit einer Gütezahl

$$M = Q_m \frac{k_{\text{eff}}^2}{1 - k_{\text{eff}}^2} > 20 \quad (1)$$

Dies gilt für alle Piezokeramiken mit $k_{\text{eff}} > 0,4$ und $Q_m > 80$ oder $k_{\text{eff}} > 0,2$ und $Q_m > 500$ (alle Werkstoffgruppen außer Typ 800). Die Bestimmung des Frequenzpaares f_s , f_p , ist nur durch komplizierte Messungen möglich.

Die typische Abhängigkeit der gemessenen Impedanz eines piezokeramischen Wandlers von der Frequenz ist in Bild 2 dargestellt.