

PIEZOKERAMISCHE WERKSTOFFE

Allgemeine Beschreibung

PI Ceramic bietet eine breite Auswahl piezoelektrischer Keramikmaterialien auf der Basis von modifizierten Bleizirkonat-Titanat (PZT) und Bariumtitanat, zugeschnitten auf die verschiedenartigsten Anwendungen, an. Neben den nachstehend detailliert beschriebenen Standardtypen steht eine Vielzahl anwendungs- und kundenspezifischer Modifikationen zur Verfügung. PIC-Werkstoffe sind vergleichbar mit den international aktuellen Spitzenwerkstoffen. Die Eigenschaften sind in der Europäischen Norm EN 50324 klassifiziert.

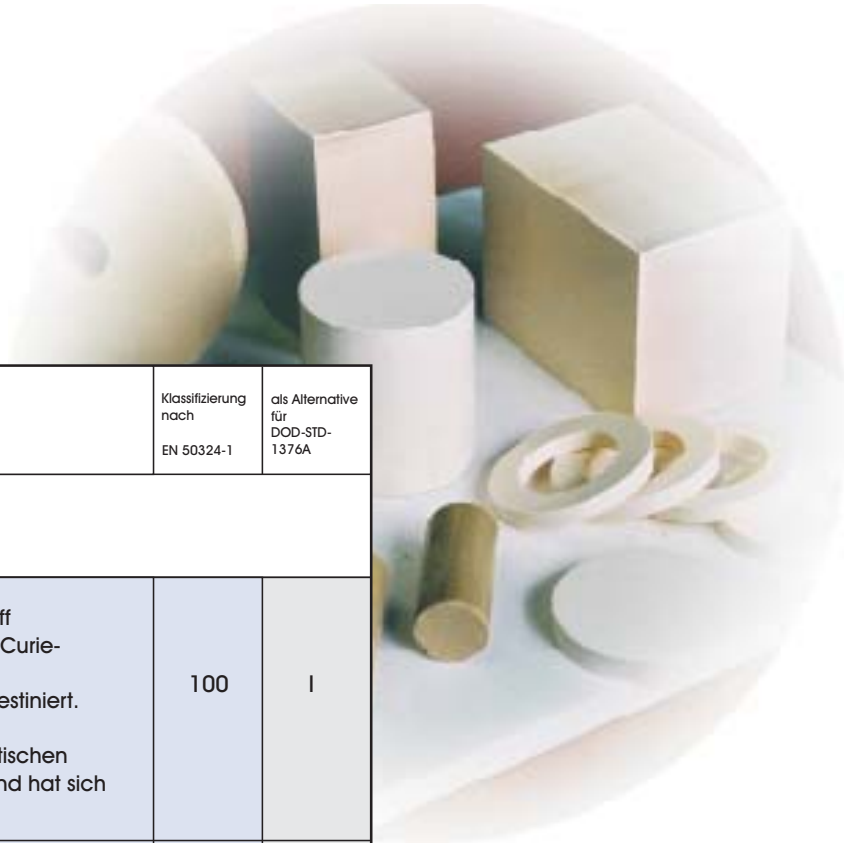
International gebräuchlich werden Piezokeramiken in zwei Gruppen eingeteilt. Die Synonyme „Weiche“ und „Harte“ PZT-Keramiken beziehen sich auf die Dipol- bzw. Domänenbeweglichkeit und damit auch das Polarisations- / Depolarisationsverhalten.

„Weiche“ Piezokeramiken sind gekennzeichnet durch eine vergleichsweise hohe Domänenbeweglichkeit und einem daraus resultierendem „ferroelektrisch weichem“ Verhalten, d.h. relativ leichte Polarisierbarkeit.

Im Gegensatz dazu können

ferroelektrische „Harte“-PZT-Materialien hohen elektrischen und mechanischen Belastungen ausgesetzt werden. Die dabei geringe Änderung ihrer Eigenschaften macht sie damit speziell für Leistungsanwendungen prädestiniert.

Werkstoffbezeichnung	Allgemeine Beschreibung der Werkstoffeigenschaften	Klassifizierung nach EN 50324-1	als Alternative für DOD-STD-1376A
„Weich“- PZT			
PIC 151	PIC 151 ist ein modifizierter Bleizirkonat-Bleititanat-Werkstoff mit hoher Permittivität, hohem Kopplungsfaktor und hoher piezoelektrischer Ladungskonstante. Dieser Werkstoff ist das Standardmaterial für Aktoren (PICA Serie) und geeignet für Ultraschallwandler geringer Leistung und niederfrequente Schallwandler.	600	II
PIC 255	PIC 255 ist ein modifiziertes PZT Material mit sehr hoher Curie-temperatur, hoher Permittivität, hohem Kopplungsfaktor und hoher Ladungskonstante. Der Werkstoff wurde für Aktoranwendungen bei dynamischen Einsatzbedingungen und hohen Umgebungstemperaturen optimiert. Infolge seines hohen Kopplungsfaktors, des niedrigen mechanischen Gütefaktors und des niedrigen Temperaturkoeffizienten ist der Werkstoff besonders für Ultraschallwandler geringer Leistung, nichtresonante Breitbandsysteme und für Kraft- und Schallsensoren geeignet.	200	II
PIC 155	PIC 155 ist eine Modifikation des PIC 255 Werkstoffes, ausgezeichnet durch hohe piezoelektrische Spannungskoeffizienten und niedrigere Frequenzkonstanten. Er findet dort Anwendung, wo eine hohe g-Konstante gefordert wird, wie z. B. in Mikrofonen und Schwingungsaufnehmern mit Vorverstärker.	200	II
PIC 153	PIC 153 ist ein modifizierter Bleizirkonat-Bleititanat-Werkstoff mit extrem hohen Werten von Permittivität, Kopplungsfaktor und hoher Ladungskonstante, bei einer Curietemperatur von ca. 185 °C. Der Werkstoff ist geeignet für Hydrophone, Wandler der medizinischen Diagnostik und Piezoaktoren.	600	VI
PIC 152	PIC 152 ist ein PZT-Werkstoff mit speziell niedrigem Temperaturkoeffizient der Permittivität.	200	II



Werkstoff- bezeich- nung	Allgemeine Beschreibung der Werkstoffeigenschaften	Klassifizierung nach EN 50324-1	als Alternative für DOD-STD- 1376A
"Hart"- PZT			
PIC 181	PIC 181 ist ein modifizierter Bleizirkonat-Bleittitanat-Werkstoff mit extrem hohem mechanischem Gütefaktor und hoher Curie-temperatur. Dieser Werkstoff ist für Leistungsschallanwendungen prädestiniert. Darüber hinaus eignet er sich auf Grund seiner guten Temperatur- und Zeitkonstanz der dielektrischen und elastischen Werte für Ultraschallanwendungen im Resonanzbetrieb und hat sich speziell in Piezomotor-Antrieben bewährt.	100	I
PIC 141	PIC 141 ist ein modifiziertes PZT-Material mit hohem mechanischem Gütefaktor und vergleichsweise moderater Permittivität. Dieser Werkstoff ist für Leistungsschallanwendungen vorgesehen und wird bei der Verneblung von Medikamenten eingesetzt.	100	I
PIC 241	Die PZT Keramik PIC 241 zeichnet sich durch eine hohe mechanische Güte und eine vergleichsweise hohe Permittivität aus. Die Anwendungsgebiete liegen im Leistungsschall und bei Antriebselementen für Piezomotoren.	100	I
PIC 300	PIC 300 ist ein modifizierter Bleizirkonat-Bleittitanat-Werkstoff mit sehr hoher Curietemperatur und ist für Anwendungen bei Temperaturen bis zu 250°C (kurzzeitig 300°C) geeignet.	100	I
Barium-Bleittitanat			
PIC 110	PIC 110 ist ein modifizierter Bariumtitanat-Werkstoff mit einer Curietemperatur von 150°C. Die niedrige akustische Impedanz macht diesen Werkstoff speziell für Sonar- und Hydrophonapplikationen geeignet.	400	IV

Werkstoffdaten

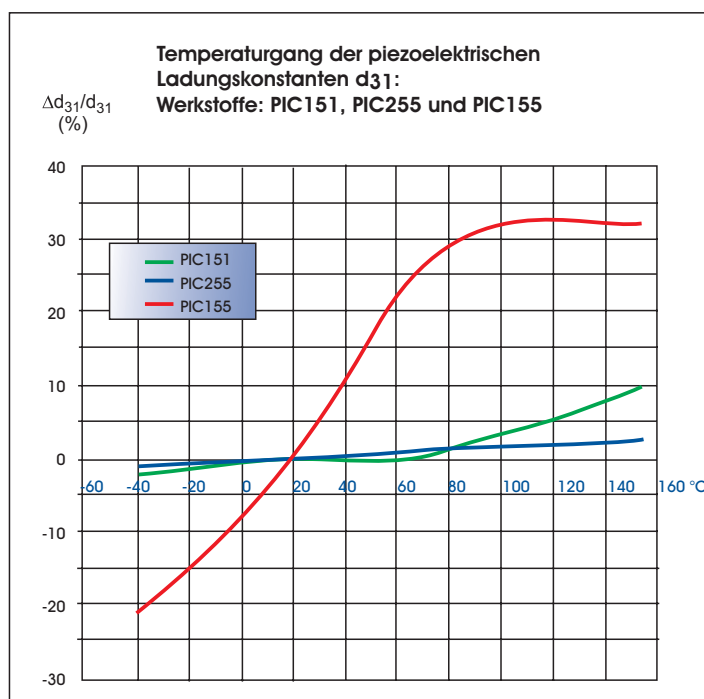
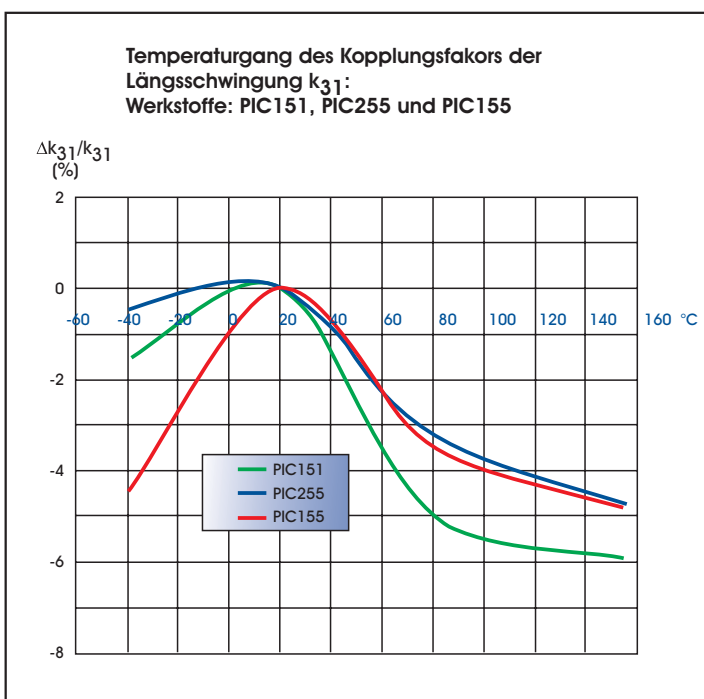
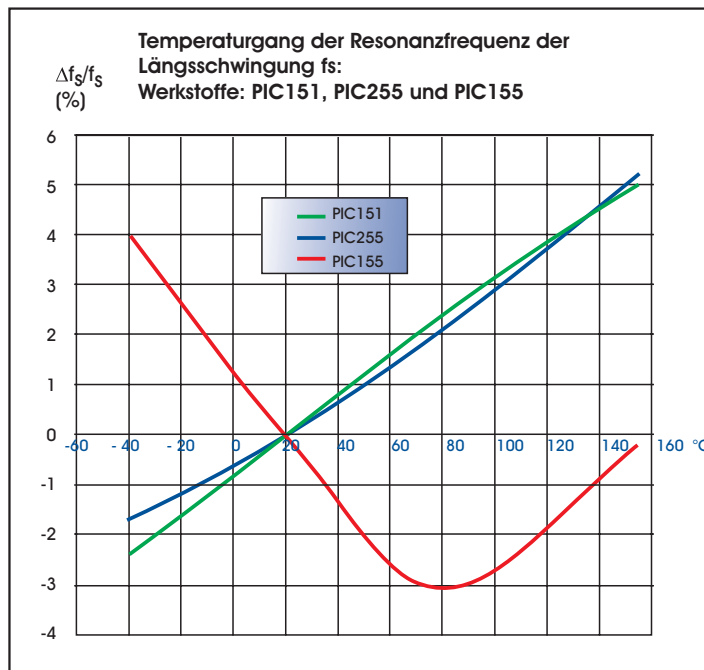
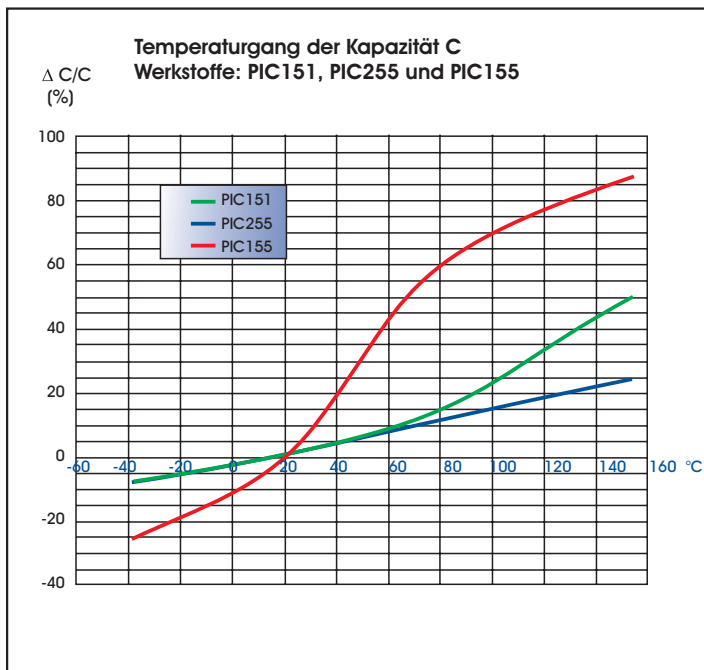
Materialtyp	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C	PI-C
Parameter														
Physikalische und dielektrische Eigenschaften														
Dichte	7,80	7,80	7,80	7,80	7,60	7,70	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	7,80	5,50
Cure-Temperatur	250	350	345	345	185	340	330	295	270	370	370	370	370	150
relative Permittivitätszahl	2400	1750	1450	1450	4200	1350	1200	1250	1450	1050	1050	1050	1050	950
	$\epsilon_{33}^{T/60}$	$\epsilon_{11}^{T/60}$	$\epsilon_{11}^{T/60}$	$\epsilon_{11}^{T/60}$										
dielektrischer Verlustfaktor	1980	1650	1400	1400	30	15	1500	1500	1550	1550	950	950	950	
	$\tan\delta$	(10^{-3})	(10^{-3})	(10^{-3})										
Elektronenmechanische Eigenschaften														
Kopplungsfaktor	k_p	0,62	0,62	0,62	0,62	0,48	0,56	0,55	0,50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,30
	k_l	0,53	0,47	0,48			0,46	0,48	0,46	0,43	0,43	0,43	0,42	0,42
	k_{31}	0,38	0,35	0,35			0,32	0,31	0,32	0,25	0,25	0,25	0,18	0,18
	k_{33}	0,69	0,69	0,69	0,58		0,66	0,66	0,64	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
	k_{15}		0,66				0,63	0,67	0,63	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
piezoelektrische Ladungskonstante	d_{31}	-210	-180	-165			-120	-140	-130	-80	-80	-80	-80	-50
	d_{33}	500	400	360	600	300	265	310	290	155	155	155	155	120
	d_{15}		550				475	475	265	155	155	155	155	155
piezoelektrische Spannungskonstante	g_{31}	-11,5	-11,3	-12,9			-11,2	-13,1	-9,8	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-11,9
	g_{33}	22	25	27	16	25	25	29	21	16	16	16	16	16
Akustomechanische Eigenschaften														
Frequenzkonstante	N_b	1950	2000	1960	1960	2250	2270	2250	2190	2350	2350	2350	2350	3150
	N_1	1500	1420	1500			1640	1610	1590	1700	1700	1700	1700	2300
	N_n	1750	2000	1780	1960	1920	2010	1925	1650	1700	1700	1700	1700	2500
	N_n	1950	2000	1990	1960	1920	2110	2060	2140	2100	2100	2100	2100	2500
elastische Nachgiebigkeitskonstante	S_{11}^E	15,0	16,1	15,6			11,8	12,4	12,6	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1
	S_{33}^E	19,0	20,7	19,7			14,2	13,0	14,3	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
	C_{33}^D	10,0	11,1	11,1			16,6	15,8	13,8	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4
mechanischer Gütefaktor	Q_m	100	80	80	50	100	2000	1500	1200	1400	1400	1400	1400	250
Temperaturstabilität														
Temperaturkoeffizient von $\epsilon^{T,33}$ (im Bereich -20°C bis +125°C)	$TK_{\epsilon_{33}}$	$(\times 10^{-3}/K)$	6	4	6	5	2							2
Zeitstabilität (relative Änderung des Parameters pro Zahlencode in %)	relative Dielektrizitätszahl	C_{33}	-1,0	-2,0										-5,0
	Kopplungsfaktor	C_k	-1,0	-2,0										-8,0

Zusätzliche Angaben:

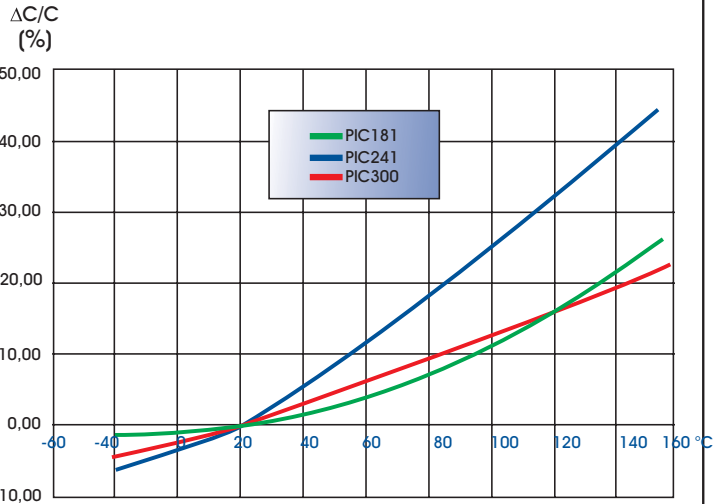
Nachstehende Werte sind Orientierungswerte und gelten näherungsweise für alle PZT-Materialien von PI Ceramic:

- Spezifische Wärmekapazität $WK = ca. 350 \text{ J/kg} \cdot K$
- spezifische Wärmeleitfähigkeit $WL = ca. 1,1 \text{ Wm}^{-1}K^{-1}$
- Polisonische Querkontraktion $\sigma = ca. 0,34$
- thermische Ausdehnungskoeffizienten $\alpha_3 = ca. -4 \text{ bis } -6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (im Polungsrichtung, kurzgeschlossen)
- $\alpha_1 = ca. 4 \text{ bis } 8 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (L-zu Polungsrichtung, kurzgeschlossen)
- statische Druckfestigkeit größer 600 MPa

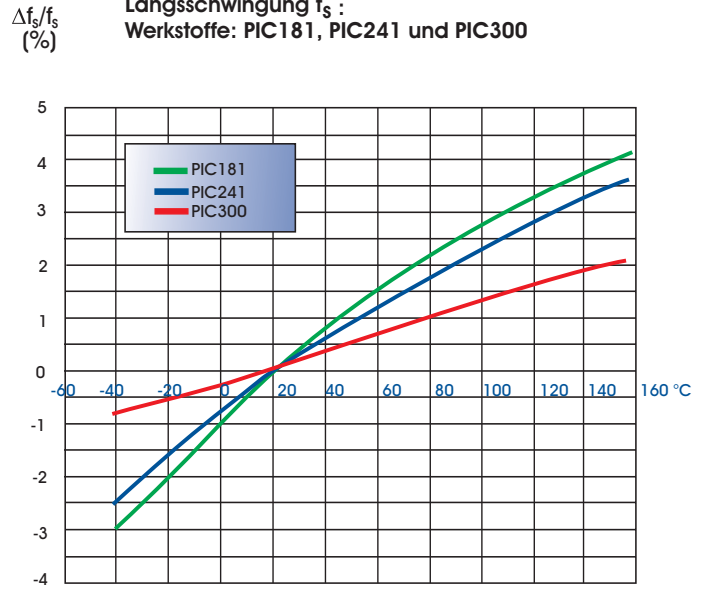
- Die Daten in den nachfolgenden Tabellen wurden an Prüfkörpern mit den nach der Europäischen Norm EN 50324-2 festgelegten geometrischen Abmessungen bestimmt und sind typische Werte
- Die angegebenen Daten sind Nennwerte die 24 h - 48 h nach dem Zeitpunkt der Polarisierung und bei einer Umgebungstemperatur von $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ an diesen Prüfkörpern bestimmt wurden.
- Die Einheiten dieser typischen Kennwerte wird durch ständige Freigabeprüfungen der einzelnen Werkstoffchargen dokumentiert
- Die Eigenschaften am Produkt werden abhängig von Geometrie, Variationen in den Herstellungsverfahren und Mess- bzw. Ansteuerbedingungen bestimmt.
- Fragen die sich aus der Interpretation der Materialkennwerte am Produkt ergeben, sind zweckmäßigerweise mit den Spezialisten von PI Ceramic zu klären.
- Eine komplette Koeffizientenmatrix der Werkstoffe ist auf Anfrage erhältlich



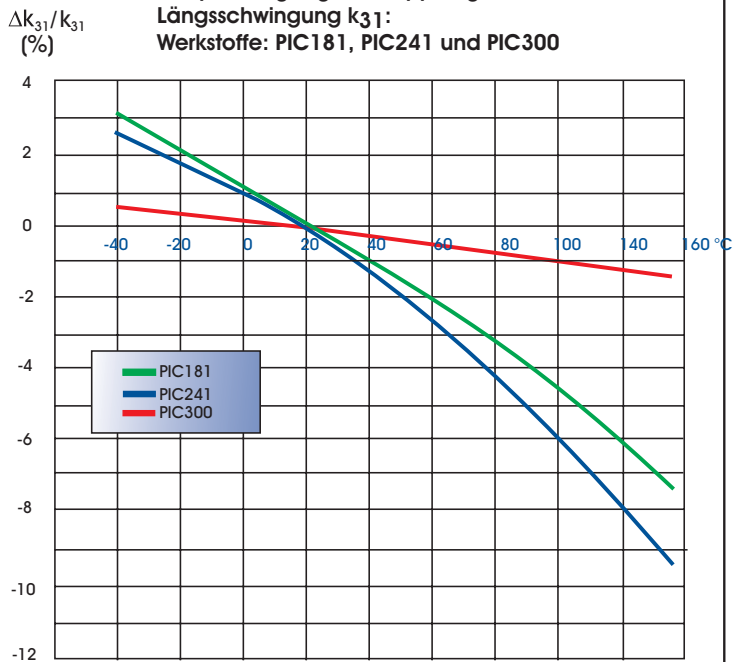
Temperaturgang der Kapazität C:
Werkstoffe: PIC181, PI 241 und PIC300



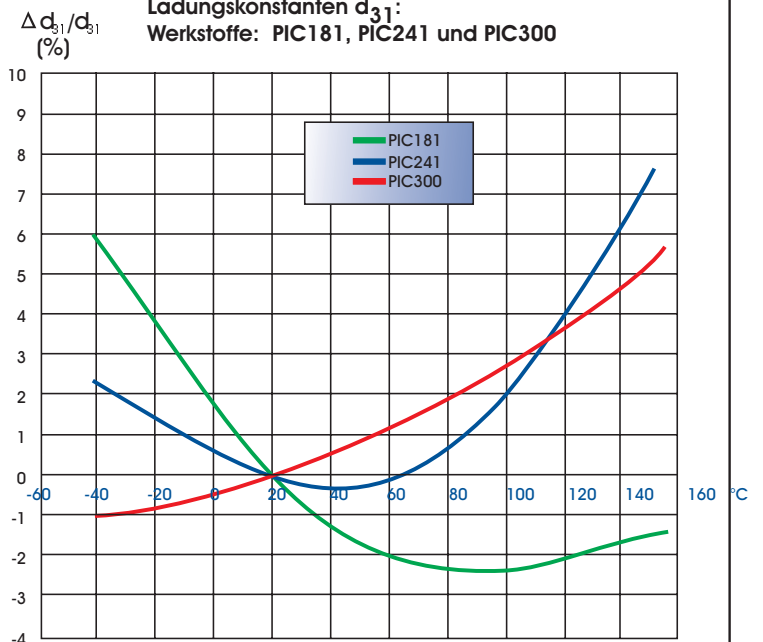
Temperaturgang der Resonanzfrequenz der Längsschwingung f_s :
Werkstoffe: PIC181, PIC241 und PIC300



Temperaturgang des Kopplungsfaktors der Längsschwingung k_{31} :
Werkstoffe: PIC181, PIC241 und PIC300



Temperaturgang der piezoelektrischen Ladungskonstanten d_{31} :
Werkstoffe: PIC181, PIC241 und PIC300



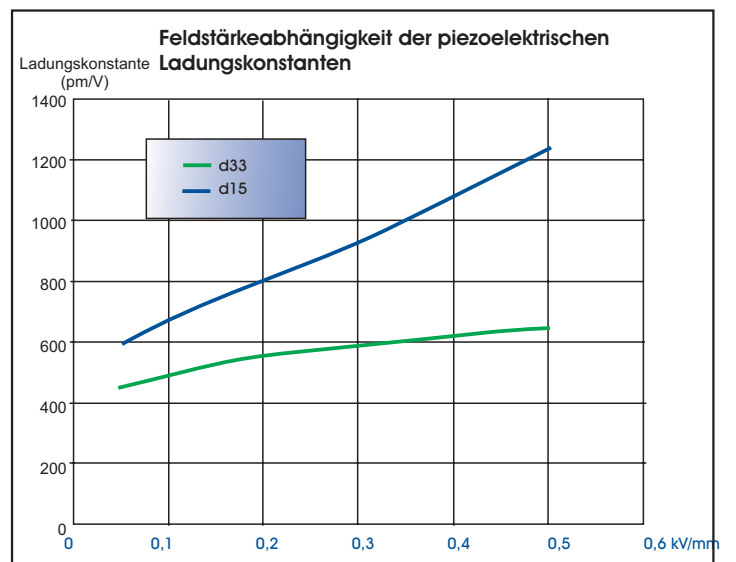
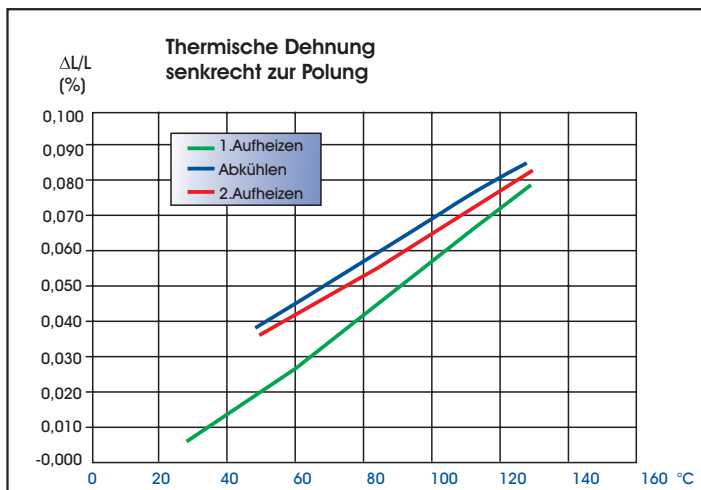
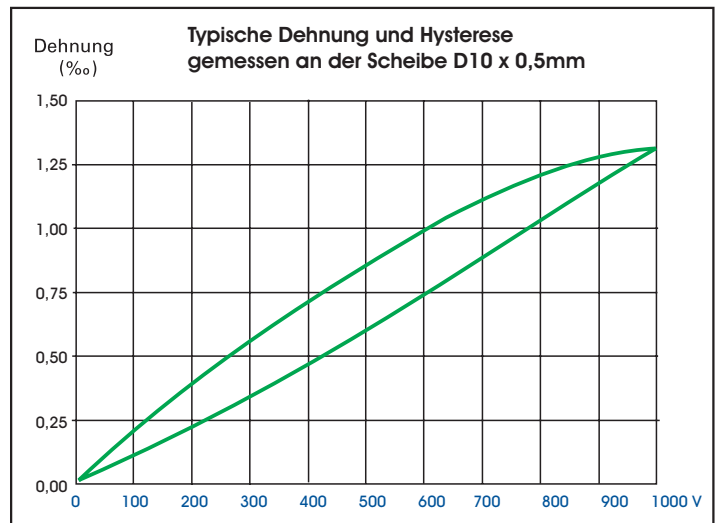
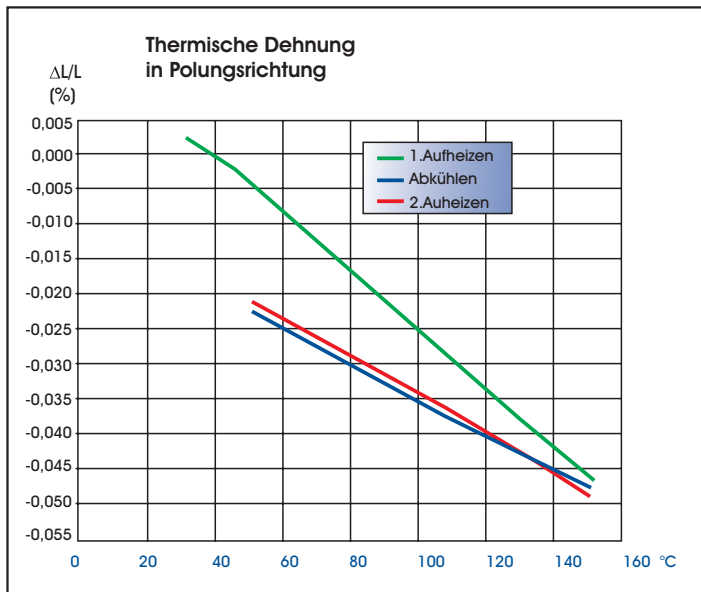
Spezifische Eigenschaften

Thermische Ausdehnung am Beispiel der PZT-Keramik PIC 255

- Die thermische Dehnung zeigt in Polungsrichtung und senkrecht zur Polungsachse unterschiedliches Verhalten.
- Die Vorzugsorientierung der Domänen in einem gepolten PZT-Körper führt zur Anisotropie und ist Ursache für das unterschiedliche Wärme-Ausdehnungsverhalten
- Nicht gepolte Piezokeramik ist isotrop. Der Ausdehnungskoeffizient ist annähernd linear mit einem TK von ca. $2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.
- Der Einfluss von aufeinander folgenden Temperatureinwirkungen ist insbesondere in der Anwendung zu beachten. Speziell im ersten Temperaturzyklus können große Änderungen im Verlauf auftreten.
- Abhängig vom Werkstoff können die Verläufe stark von den dargestellten abweichen.

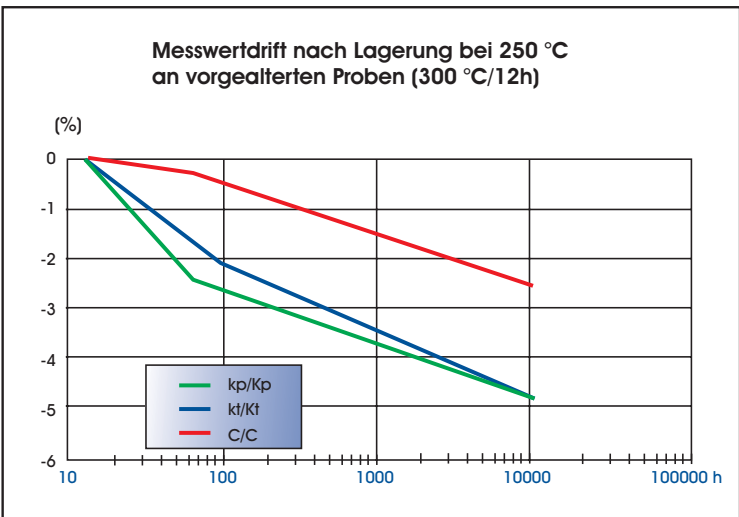
Deformationsverhalten am Beispiel der PZT-Keramik PIC 255

- Die Dehnung einer Piezokeramik ist bei Großsignalfeldstärken (max. 2kV/mm) mit reversiblen und irreversiblen Domänen-Umorientierungsprozessen verbunden.
- Die Domänen-Umorientierungen bedingen größere Deformationen an den Keramikelementen, als sich aus den Piezoeffizienten gemäß Tabelle errechnen lässt.
- Die irreversiblen Domänen-Umorientierungen führen zu einer Hysterese in der Dehnung.

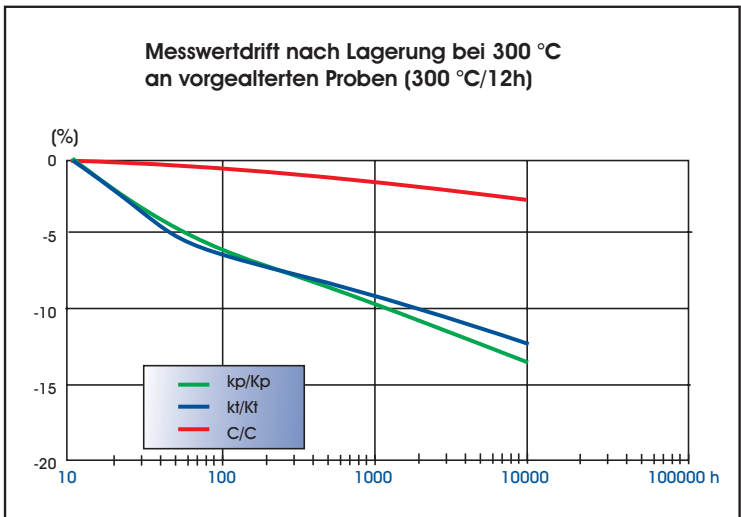


Stabilität der Parameter bei hohen Temperaturen am Beispiel PIC 300

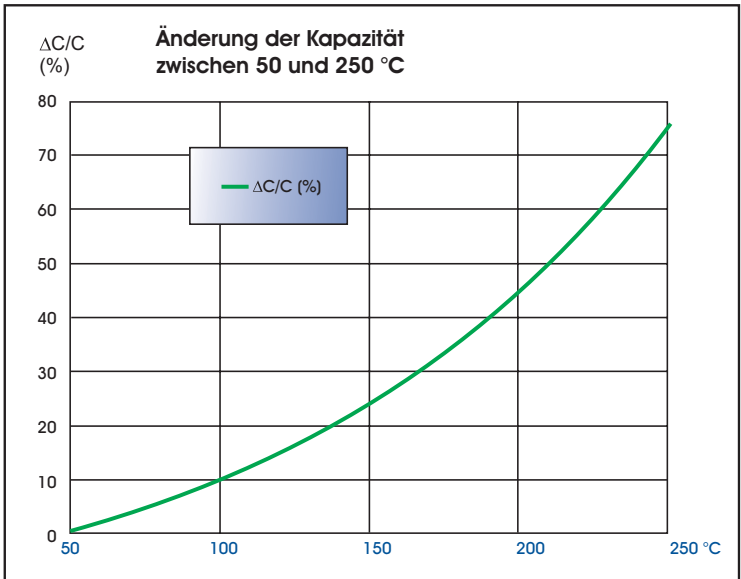
- PIC 300 ist zum Einsatz bei Temperaturen bis zu 250 °C (kurzzeitig bis zu 300 °C) geeignet.
- Die Messwertdrift für Kopplungsfaktor und Kapazität kann drastisch verringert werden, wenn eine Voralterung über 12 h bei 300 °C erfolgt.
- Die zu erwartenden prozentualen Änderungen sind in den Diagrammen A und B dargestellt.
- PIC 300 zeigt eine geringe Temperaturabhängigkeit der Kapazität im Einsatztemperaturbereich bis 250 °C (Diagramm C).



A



B



C