

marco bietet piezokeramische Stapelaktoren kundenspezifisch an.

Basis ist die hausinterne Fertigung *piezokeramischer Werkstoffe* und das technologische know-how der Oberflächenbearbeitung, des Trennschleifens, der strukturierenden Vakuummetallisierung und des Fügens metallisierter Keramiken.

Funktionsbestimmende Parameter der Stapelaktoren sind:

- **Relative Ausdehnung bei maximaler Betriebsfeldstärke von 2 kV/mm**
 Entscheidend ist hier die Auswahl des geeigneten Werkstoffs, ob z.B. piezoelektrisch oder elektrostriktiv. Auch die mechanische Vorspannung beeinflusst die relative Längenausdehnung.
 Der verwendete Werkstoff bestimmt auch das Temperaturverhalten, das Hysterese- und Linearitätsverhalten des Aktors.
- **Ausdehnung des Stapels**
 Diese ist gegeben durch die relative Dehnung des verwendeten Werkstoffs und die Baulänge des Stapels. Sie liegt in der Größenordnung 0,11 ... 0,18 %. Die Länge des Stapels sollte maximal ca. das 10fache seines Durchmessers bzw. der kleineren Kantenlänge bei rechteckigem Querschnitt betragen.
- **Blockierkraft**
 Die Blockierkraft eines Stapелеlements ist proportional zu seiner Querschnittsfläche. Marco bietet runde Querschnitte von 10 mm, 15 mm, 25 mm, 30 mm und 35 mm Durchmesser an. Andere Durchmesser sind auf Kundenwunsch realisierbar.
 Vielfältiger und deshalb mit größeren gestalterischen Möglichkeiten sind die rechteckigen Querschnitte.
 Die kleinsten möglichen Querschnitte sind 3 mm x 3 mm, die größten 50 mm x 50 mm. Die Wahl der Querschnittsfläche und -form wird letztlich von den Lasten/Kräften und den Einbaubedingungen bestimmt.
- **Betriebsspannung**
 Bei gegebener maximaler Betriebsfeldstärke von 2 kV/mm bestimmt die Dicke der Einzelschichten die Betriebsspannung. Marco fertigt Aktorstapel mit Plattendicken ab 0,15 mm. Das bedeutet Betriebsspannungen ab 300 V bis 1000 V.
- **Elektrische Kapazität**
 Die Kapazität eines Stapелеlements wird bestimmt durch Werkstoff, Plattendicke und Querschnitt sowie die Baulänge selbst. Entscheidende Bedeutung erlangt die Aktorkapazität bei dynamischem Betrieb von Systemen. Hier sind die gestalterischen Freiheiten bezüglich Kapazität und Betriebsspannung durch Variation der Plattendicke von Bedeutung.
 Die Kapazitätsangaben sind Kleinsignal-Messwerte. Sie können unter Betriebsbedingungen (Betriebsfeldstärke und mechanische Belastung) bis um den Faktor 2 ansteigen.

□ **Zulässige Last**

Wir unterscheiden mechanische Druck- und Zugbelastung.

Die Druckbelastbarkeit ist abhängig von der Querschnittsfläche und führt zur Stauchung des elastischen Systems Stapel in Abhängigkeit von dessen mechanischer Steifigkeit. Der Nullpunkt einer piezoaktorischen Dehnung wird dadurch verschoben.

Die maximal zulässige Drucklast errechnet sich aus der maximal zulässigen Druckspannung von 40 N/mm^2 und der Querschnittsfläche des Aktors.

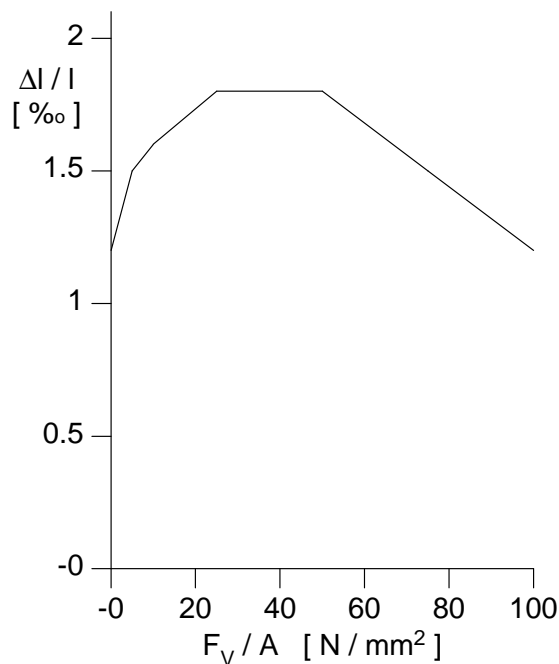
Die tatsächliche Drucklast in der Anwendung setzt sich zusammen aus der Vorspannung und der statischen und dynamischen Last. Die Summe sollte den maximal zulässigen Wert nicht überschreiten.

Zugbelastungen sollten auf maximal 80 % der Vorspannkraft beschränkt sein.

□ **Vorspannung**

Das Vorspannen von Stapelaktoren wirkt sich positiv auf eine Reihe von Eigenschaften, insbesondere bei dynamischem Betrieb, aus:

- höhere äußere Zugbelastbarkeit von 80 % der Vorspannkraft
- höhere Eigensteifigkeit
- Kompensation der Trägheitskräfte im dynamischen Betrieb
- Erhöhung der Dehnung bei den Werkstoffen FPM231 und FPM203.



spez. Dehnung als Funktion der mechanischen Druckspannung

Wir empfehlen eine Vorspannungskraft (F_v) mit 25 N/mm^2 Aktor-Querschnittsfläche bzw. 62,5 % der zulässigen Drucklast ($F_{zul.}$).

Die Steifigkeit der Vorspannfeder sollte 10 % der Aktorsteifigkeit nicht übersteigen.

□ **Resonanzfrequenz**

Es wurde ermittelt bei Kleinsignalansteuerung und frei schwingendem Aktorkörper.

Bezeichnungsschlüssel:

pa/ps<A>/<C>x<D>x<E>/<F>

pa =	Piezoaktor
ps =	Stapelausführung
<A> =	maximale Betriebsspannung und Polarisationsspannung in 100 V 3 = 300 V 5 = 500 V 10 = 1000 V
 =	Werkstoffschlüssel 1 = FPM 220* 2 = FPM 202 3 = FPM 231 4 = FPM 110 5 = FPM 225 Elektrostriktor RT 6 = FPM 226 Elektrostriktor 50°C 7 = FPM 203 * wird durch FPM 231 abgelöst!
<C>x<D>x<E> =	Abmessungen Höhe x Breite x Tiefe für runde Teile: Höhe x Durchmesser
<F> =	Ausführung a, b, c, ... für Spezifik Drahtlänge, Art des Kabels, Endscheibengestaltung usw. ersichtlich in der spezifischen Produktzeichnung

Einsatz von Stapelaktoren

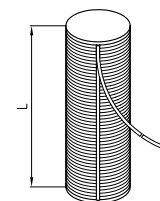
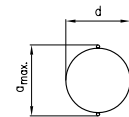
marco bietet komplette Systemlösungen auf der Basis kundenspezifischer Forderungen an:

- Stapel im Gehäuse mit mechanischer Vorspannung und integriertem Wegmesssystem für positionsgeregelten Betrieb
- Hochintegrierte geregelte Positioniersysteme für 12 V - Ansteuerspannung
- Wegübersetzte Systeme
- Ansteuerelektroniken für analogen und Schaltbetrieb, für statische bis hochdynamische Stellbewegungen, für gesteuerte und geregelte Positionieraufgaben

Für hochdynamische Anwendungen werden Torque-Blöcke[®] eingesetzt. Gegenüber Stapelaktoren bieten sie den Vorteil einer größeren Lebensdauer wegen Stressminimierung an den Kontaktbahnen und der Möglichkeit des Aufbaus temperaturkompensierter Systeme.

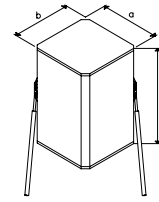
Auf Wunsch können die Lotbahnen bei Stapelaktoren auch verstärkt und damit strombelastbarer gestaltet werden sowie mit Inlays zur Verbesserung der mechanischen Stabilität des spröden Lotmaterials ausgeführt sein.

Beispielhaft sind nachfolgend technische Kennwerte für ausgewählte Stapel aus dem Werkstoff FPM 220 mit runden Querschnitten der Durchmesser 10 mm, 15 mm, 25 mm und 35 mm aufgeführt:



Typ	Abmessungen			Hub bei $U_{\max}=1000\text{ V}$ [μm]	Betriebs- steifigkeit [N/ μm]	zulässige Last [kN]	Resonanz- frequenz [kHz]	Kapazität (typisch) [nF]
	$d^{+0,5}$ [mm]	a_{\max} [mm]	l [mm]					
pa/ps101/16x10/a	10	12	16	20	79	2,4	78	75
pa/ps101/31x10/a	10	12	31	40	41	2,4	41	150
pa/ps101/46x10/a	10	12	46	60	27	2,4	26	225
pa/ps101/16x15/a	15	17	16	20	177	5,4	73	165
pa/ps101/31x15/a	15	17	31	40	91	5,4	39	330
pa/ps101/46x15/a	15	17	46	60	62	5,4	24	495
pa/ps101/16x25/a	25	27	16	20	491	15,0	65	460
pa/ps101/31x25/a	25	27	31	40	253	15,0	34	930
pa/ps101/46x25/a	25	27	46	60	171	15,0	21	1395
pa/ps101/16x35/a	35	37	16	20	962	30,0	49	915
pa/ps101/31x35/a	35	37	31	40	497	30,0	25	1830
pa/ps101/46x35/a	35	37	46	60	335	30,0	16	2745

Für eine Auswahl Stapel mit rechteckigen Querschnitten 3 mm x 3 mm, 4 mm x 5 mm und 8 mm x 8 mm aus dem Werkstoff FPM 231 werden folgende Kennwerte angegeben:



	Hub Δl bei F_v und $U=300\text{ V}$ [μm]	Hub Δl_{nenn} bei $F=0$ und $U=300\text{ V}$ [μm]	Bauhöhe l [mm]	Steifigkeit [N/ μm]	zulässige Drucklast $F_{\text{zul.}}$ [kN]	Vor- spann- kraft F_v [kN]	Kapazität [μF]	Resonanz- frequenz [kHz]
<i>pa/ps33/5x8x8/a</i>	7	5	5	225	2,5	1,56	0,26	178
<i>pa/ps33/9x8x8/a</i>	14	10	9	125	2,5	1,56	0,52	117
<i>pa/ps33/18x8x8/a</i>	28	20	18	62	2,5	1,56	1,03	63
<i>pa/ps33/26x8x8/a</i>	42	30	26	43	2,5	1,56	1,50	45
<i>pa/ps33/5x4x5/a</i>	7	5	5	80	0,8	0,5	0,10	253
<i>pa/ps33/9x4x5/a</i>	14	10	9	45	0,8	0,5	0,19	125
<i>pa/ps33/18x4x5/a</i>	28	20	18	22	0,8	0,5	0,38	68
<i>pa/ps33/26x4x5/a</i>	42	30	26	15	0,8	0,5	0,52	47
<i>pa/ps33/5x3x3/a</i>	7	5	5	40	0,4	0,25	0,05	260
<i>pa/ps33/9x3x3/a</i>	14	10	9	22	0,4	0,25	0,10	130
<i>pa/ps33/18x3x3/a</i>	28	20	18	11	0,4	0,25	0,19	70

Bestellnummer	Release	Bezeichnung
<i>pa/ps</i>		Piezokeramische Stapelaktoren