

# Aufbau und Eigenschaften piezokeramischer Stapelaktoren

## Mechanische Eigenschaften von Stapelaktoren

Stapelaktoren sind elastische Gebilde mit einer endlichen mechanischen Eigensteifigkeit  $c_T$ . Aufgrund des optimierten Aufbaus der Plattenstapel kommt diese den elastischen Eigenschaften des kompakten Keramikmaterials nahe.

Folgende Betriebsfälle des Aktors können beschrieben werden:

### 1) Ausdehnung gegen eine wegunabhängige und zeitlich konstante Last

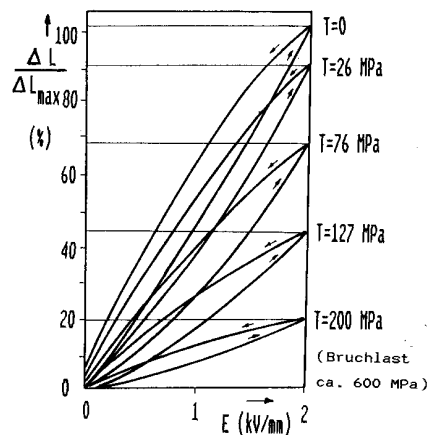
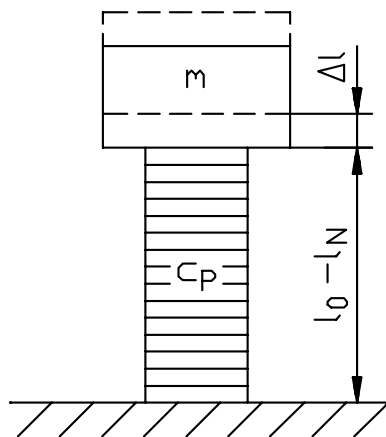


Bild 4

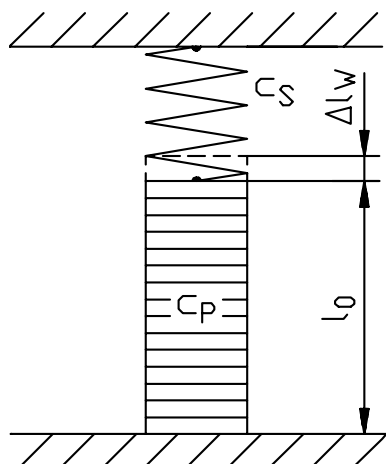
Hysteresekurvenverläufe für Aktuatorstapel bei Lastbeanspruchung (Dehnung bezogen auf Nenndehnung im lastfreien Zustand) Werkstoff: PK51

Die Länge  $L$  des Stapels reduziert sich um die Stauchung  $S$ :

$$S = \frac{F}{c_T} \quad (3)$$

Es kommt zu einer Nullpunktverschiebung der zu bewegenden Last  $F$ ; die Ausdehnung  $\Delta L$  bleibt bis zur Grenzlast von ca. 25 MPa unverändert. bei höheren Lasten ist ein Rückgang des Hubes entsprechend Bild 4 zu verzeichnen.

### 2) Ausdehnung gegen eine wegabhängige Last (Feder)

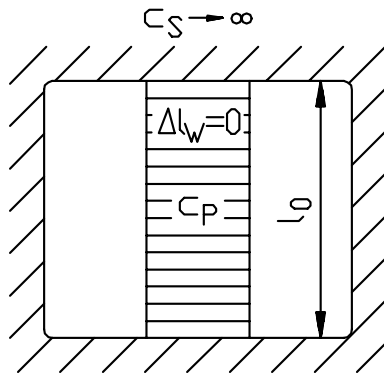


Die wirksame Ausdehnung reduziert sich auf

$$\Delta L_W = \Delta L_{F=0} \cdot \frac{c_T}{(c_T + c_F)} \quad (4)$$

# Aufbau und Eigenschaften piezokeramischer Stapelaktoren

## 3) Ausdehnung gegen eine unendlich steife Wand (Spezialfall von 2)



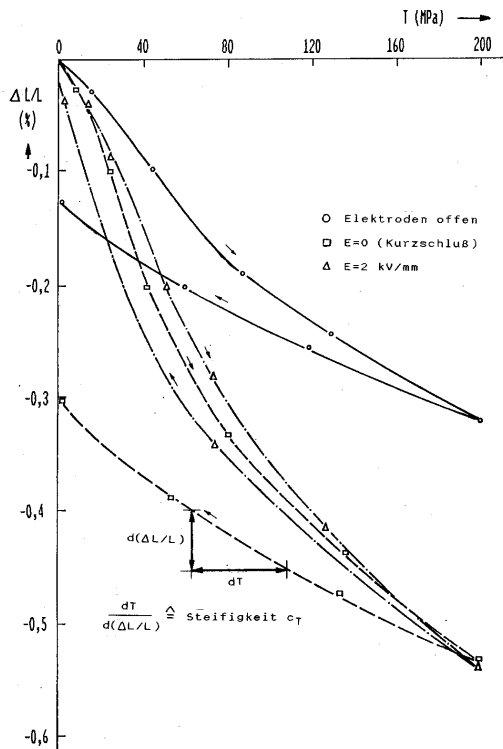
$$\Delta L_W = \lim_{c_F \rightarrow \infty} \cdot \Delta L_{F=0} \cdot \frac{c_T}{(c_F + c_T)}$$

$$\Delta L_W = 0 \quad (5)$$

Der Aktor kann keine nach außen wirksame Dehnung ausführen. Wegen seiner endlichen Eigensteifigkeit  $c_T$  erhöht sich jedoch die mechanische Spannung im Aktorkörper, welche als Blockierkraft nach außen wirksam wird:

$$F_{Block} = \Delta L_{max} \cdot c_T \quad (6)$$

die Steifigkeit  $c_T$  in jedem Fall nicht linear und abhängig von elektrischer Feldstärke und Laständerung. Bild 5 veranschaulicht das Spannungs-Stauchungs-Verhalten von Stapeln bei verschiedener elektrischer Beschaltung.



Die mechanischen Deformationen bei Piezoaktoren basieren ausschließlich auf Festkörpereffekten. Sie sind daher spiel- und ruckfrei und zeigen eine theoretisch unendlich hohe Empfindlichkeit bzw. Auflösung. Praktisch wird die Auflösung begrenzt durch die Spannungsstabilität und das Rauschen der Spannungsversorgung.

Bild 5

Spannungs-Stauchungs-Kurven von Aktuatorstapeln bei verschiedener elektrischer Beschaltung (Werkstoff: PK51)

# Aufbau und Eigenschaften piezokeramischer Stapelaktoren

---

## Resonanzverhalten von Stapelaktoren

Stapelaktoren zeigen Resonanzfrequenzen eines piezoelektrischen Resonators, vergleichbar mit denen kompakter piezoelektrischer Elemente gleicher Geometrie.

Sie beträgt bei Kleinsignalansteuerung und freischwingendem Aktor beispielsweise für einen Stapel von  $\varnothing$  10 mm bei  $l_0 = 16$  mm etwa 78 kHz. Beim Einbau in mechanische Systeme (Dämpfung durch Zusatzmassen) sowie höheren Feldstärken werden sich die Resonanzfrequenzen wesentlich verringern.

Die Resonanzfrequenz  $f_s$  des Systems errechnet sich nach:

$$f_s \approx \frac{1}{2 \Pi} \sqrt{\frac{c_T}{M}} \quad (7)$$

$c_T$  - Steifigkeit

$M$  - effektive Masse des Systems

## Positionsgeregelter Betrieb von Aktoren

Die Hysterese- und Drifterscheinungen bei Stapelaktoren sind physikalischer Natur und lassen sich durch geschlossene Regelkreise kompensieren. Ein Wegmeßsystem, welches entweder direkt mit dem Stapel oder mit dem zu bewegenden Objekt gekoppelt ist, gibt ein der Dehnung proportionales elektrisches Signal an eine Regelelektronik. Diese verändert die Betriebsspannung des Aktors entsprechend einem Soll-/Istwert-Vergleich.

Vorteile geregelter Systeme sind:

- hysteresefreie und lineare Abhängigkeit des Stellweges von der Steuerspannung,
- absolute Stellgenauigkeiten von kleiner 100 nm, Linearitätsabweichungen kleiner 0,5 %,
- keine Driftbewegungen,
- hohe virtuelle Steifigkeit,

da Eigendeformationen des Aktorsystems gleichfalls ausgeregelt werden.