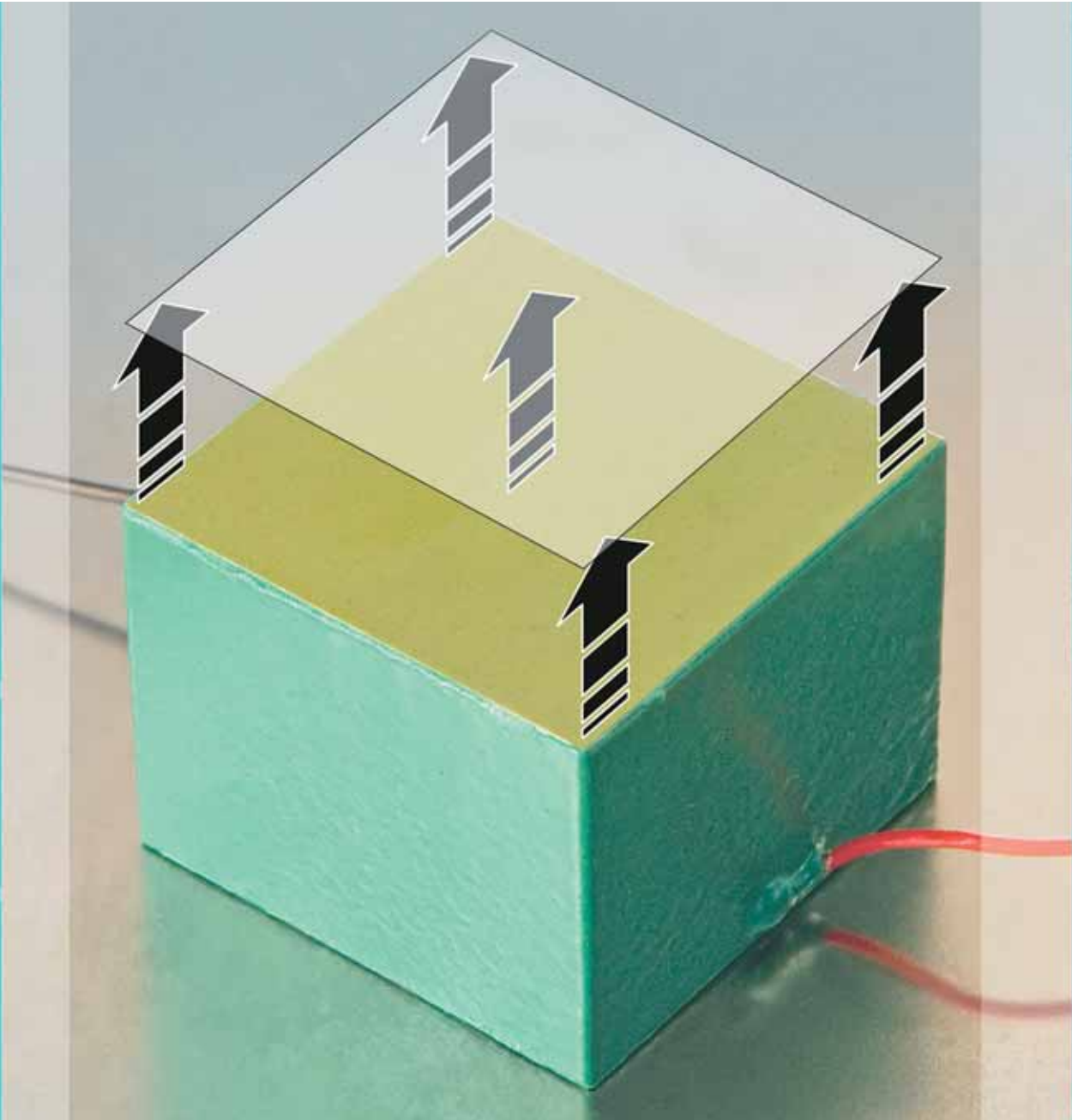


Monolithische Multilayer-Piezo-Aktoren

(ohne Gehäuse)



Niedervolt-Aktoren mit Gehäuse und Hochvolt-Aktoren *siehe Hauptkatalog*

Piezomechanik GmbH

Inhalt

1.	Stand der Piezo-Multilayer-Technik	3
1.1	Piezostapel mit „On-stack-Isolierung“ (osi)	5
1.2	Piezostapel mit „In-stack-Isolierung“ (isi)	7
2.	Anwendungsaspekte von Multilayer-Aktoren	11
2.1	Massive Stapel oder Ringstapel?	11
2.2	Mechanische Aspekte des Aktorbetriebs	12
2.3	Montagehinweise	14
2.4	Umwelteinflüsse	17
2.5	Elektrische Betriebsbedingungen	18
3.	Produkte, technische Daten	20
3.1	Piezostapelaktoren PSt 150/HPSt 150 (osi-Technik)	21
3.2	Piezostapelaktoren PSt 150hTc mit reduzierter Kapazität (osi-Technik)	24
3.3	Piezo-Chips PCh 150/HPCh 150 (isi-Technik)	26
3.4	Sonderausführungen	28

Stand der Piezo-Multilayer-Technik

1

Piezoaktoren sind elektrisch-mechanische Antriebselemente auf Festkörperbasis (*Piezokeramik, PZT=BleiZirkonatTitanat*), die sich durch unendlich hohe relative Einstell-Empfindlichkeit, hohe Belastbarkeit und Kraftentwicklung sowie höchste Stelldynamik mit Reaktionszeiten bis herab in den Mikrosekundenbereich auszeichnen. Erst dadurch sind mechatronische Spitzenleistungen in vielen Innovationsfeldern (z.B. Nanopositionierung, Dieseleinspritzung) möglich.



Abb. 1: Cofired-Multilayeraktoren in verschiedenen Ausführungen

Seit mehr als 20 Jahren sind die Niedervolt-Piezoaktoren auf dem Markt verfügbar, die in der sogenannten CoFiring-Technologie gefertigt werden. Es handelt sich dabei um monolithische Piezo-Vielschicht-(Multilayer)-Stapel, bei denen die wechsellagige Schichtstruktur aus PZT-Keramikfolie und internen Metallelektroden im weichen Zustand der Keramik gefügt wird. Erst danach wird der komplette Stapel der Hochtemperaturesinterung der Keramik unterzogen.

Bezüglich der elektrischen Kontaktierung der Aktorstapel werden zwei Struktur-Konzepte verfolgt:

Die „**On-stack-Isolierung (osi)**“ und die „**In-stack-Isolierung (isi)**“. Diese Techniken befassen sich mit dem elektrischen Aufbau der Bauelemente, insbesondere der Elektroden-gestaltung, um eine hochisolierte Kondensatorstruktur zu realisieren. Obwohl Isolationstechniken im ersten Moment scheinbar nur die elektrischen Eigenschaften der Aktoren betreffen, so ergeben sich wegen der elektro-mechanischen Kopplung des Piezoeffekts auch nachhaltige Konsequenzen für das mechanische Verhalten der Piezoelemente.

1. Stand der Piezo-Multilayer-Technik

Wegen verschiedener konzeptioneller Vorteile wurde in den letzten Jahrzehnten vorwiegend die „osi“-Technik eingesetzt. Diese sehr robusten und universellen Aktoren haben hinsichtlich der Anwendungsvielfalt und Stückzahlen gegenwärtig die größte Verbreitung. Aktoren auf der Basis der „osi“-Technologie werden bevorzugt bei Temperaturen $< 100\text{ °C}$ eingesetzt.

Seit einigen Jahren gewinnt die Piezoaktorkik zusätzliche Aktualität durch ihren Einsatz in der Einspritztechnik bei Verbrennungsmotoren. Wegen

der Einbausituation der piezogesteuerten Injektoren in der Nähe des Motors ist ein zuverlässiger Hochtemperaturbetrieb der Piezostapelaktoren bis zu 150 °C zwingend erforderlich. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden solche Aktoren mit spezieller Hochtemperaturpiezokeramik in der „isi“-Technik realisiert.

Ziel ist eine hohe Schaltdynamik der Aktoren (Anstiegszeiten $< 100\text{ }\mu\text{sec}$) mit industrietypischen hohen Schaltzyklenzahlen (bis 10^{10}). Die Entwicklung zur modernen Piezo-Einspritzung nahm ihren Ausgangspunkt im südbayrischen Raum.

1.1 Piezostapel mit „On-stack-Isolierung“ (osi)

Niedervolt-Piezoaktoren mit osi-Technik haben bisher die weiteste Verbreitung gefunden. Das Patent für die osi-Technik ist inzwischen ausgelaufen. Wesentliches Merkmal ist die elektrische Isolierung der internen Flächenelektroden des Stapels von der gegenpoligen Versorgungselektrode auf der Oberfläche der Aktorstapels: Hierzu wird ein dünner Glasfaden auf den jeweiligen Elektrodenrand aufgesintert.

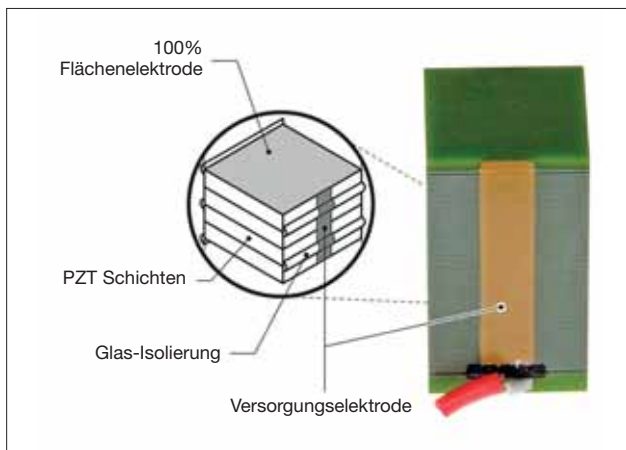


Abb. 2: On-stack-Isolierung (osi): Elektrodenisolierung durch aufgesinterte Glasfäden

Die Vorteile dieses Verfahren sind

- 100% Flächenbelegung der piezokeramischen Schichten mit Elektroden. Das piezokeramische Volumen des Aktors ist daher zu 100% aktiv für höchste Dehnungseffizienz und Kraftentwicklung.
- Die Dehnung der angesteuerten Piezokeramik erfolgt homogen über das ganze Volumen. Unterschiedliche Dehnraten innerhalb des Stapelquerschnitts werden vermieden und damit lokale mechanische Zugkräfte mit dem Risiko der Rissbildung in der Keramik und nachfolgendem Kurzschluss des Stapels verhindert.
- Die homogene Dehnung des Keramikvolumens reduziert das Verkippen der Endflächen (z.B. wichtig bei Verwendung von Ringaktoren in der Optik).
- Hohe elektrische Zuverlässigkeit: Osi-Aktoren weisen eine durchgehende Keramikoberfläche auf (keine Dehnungsfugen wie bei der isi-Technik).

Die auf den Stapeloberflächen aufpräparierten seitlichen Versorgungselektroden unterliegen damit nicht dem Risiko einer Rissbildung und elektrischen Unterbrechung z.B. im Bereich von Dehnungsfugen.

- Sofern keine externen Zugkräfte oder hohe Beschleunigungskräfte einwirken, können osi-Aktoren auch bei hoher Dehnung ohne mechanische Vorspannung betrieben werden.

Oberflächenschutz

Die osi-Aktoren sind mit einem Polymerüberzug aller Seitenflächen versehen.

Die Polymerbeschichtung schützt wirksam die sensiblen Keramikseitenflächen mit ihren Elektrodenstrukturen gegen mechanische und sonstige Umwelteinflüsse.



Abb. 3: Osi-Aktoren mit diversen Beschichtungen

Osi-Aktoren werden für exotische Betriebsbedingungen wie Einsätze bei tiefen Temperaturen, im Vakuum/UHV oder in (nichtwässrigen) Flüssigkeiten durch geeignete Beschichtungen optimiert.

1.1 Piezostapel mit „On-stack-Isolierung“ (osi)

Polymere sind deutlich dehnbarer als Piezokeramik und wirken sich daher in keiner Weise nachteilig auf die Performance der osi-Stapel aus.

Im Gegenteil: Insbesondere die dickere Standard-Pulverbeschichtung aus Epoxydharz (grün) führt zu einer deutlichen Erhöhung der Biege- und Torsionsfestigkeit im Vergleich zu unbeschichteten Keramikstapeln, wie der folgende Versuch (Abb. 4) zeigt.

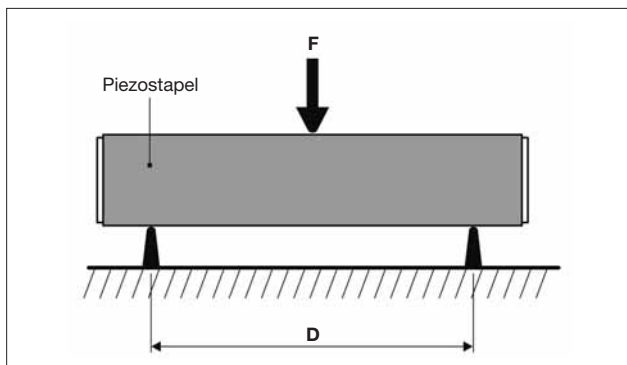


Abb. 4: Biegeversuch an piezokeramischem Stapel

Piezostapel PSt 150/2x3/20 mit Keramikquerschnitten 2x3 mm wurden bei einem Auflageabstand D von 15 mm mit einer Kraft F mittig zwischen den Auflagepunkten beaufschlagt (Biegedicke des Stapels: 2 mm)

Ein unbeschichteter Keramikstapel bricht typischerweise bei **38 Newton**, wohingegen ein Stapel mit Standardbeschichtung erst bei Kräften **> 80 Newton** nachgibt.

Beschichtete Stapel sind also wesentlich toleranter gegenüber einem „robusten“ Handling bzw. suboptimalen Designansätzen bzgl. der Ankopplung an die anzutreibende Mechanik. Die potentielle Anregung von Biegeschwingungen längerer Piezostapel bei externen Schwingungseinflüssen wird stark bedämpft.

PIEZOMECHANIK bietet die osi-Technik in Form der PSt 150 Stapelaktoren an.

1.2 Piezostapel mit „In-stack Isolierung“ (isi)

Diese einfachere Isolationstechnik ist ebenfalls seit mehr als 20 Jahren bekannt. Hierbei werden die piezokeramischen Schichten nicht vollständig metallisiert: **Innerhalb** des Aktorstapels bleibt ein schmaler Isolationsstreifen zwischen Flächenelektrode und der gegenpoligen Versorgungselektrode metallisierungsfrei. Das Aktorvolumen ist daher nicht zu 100% aktivierbar.

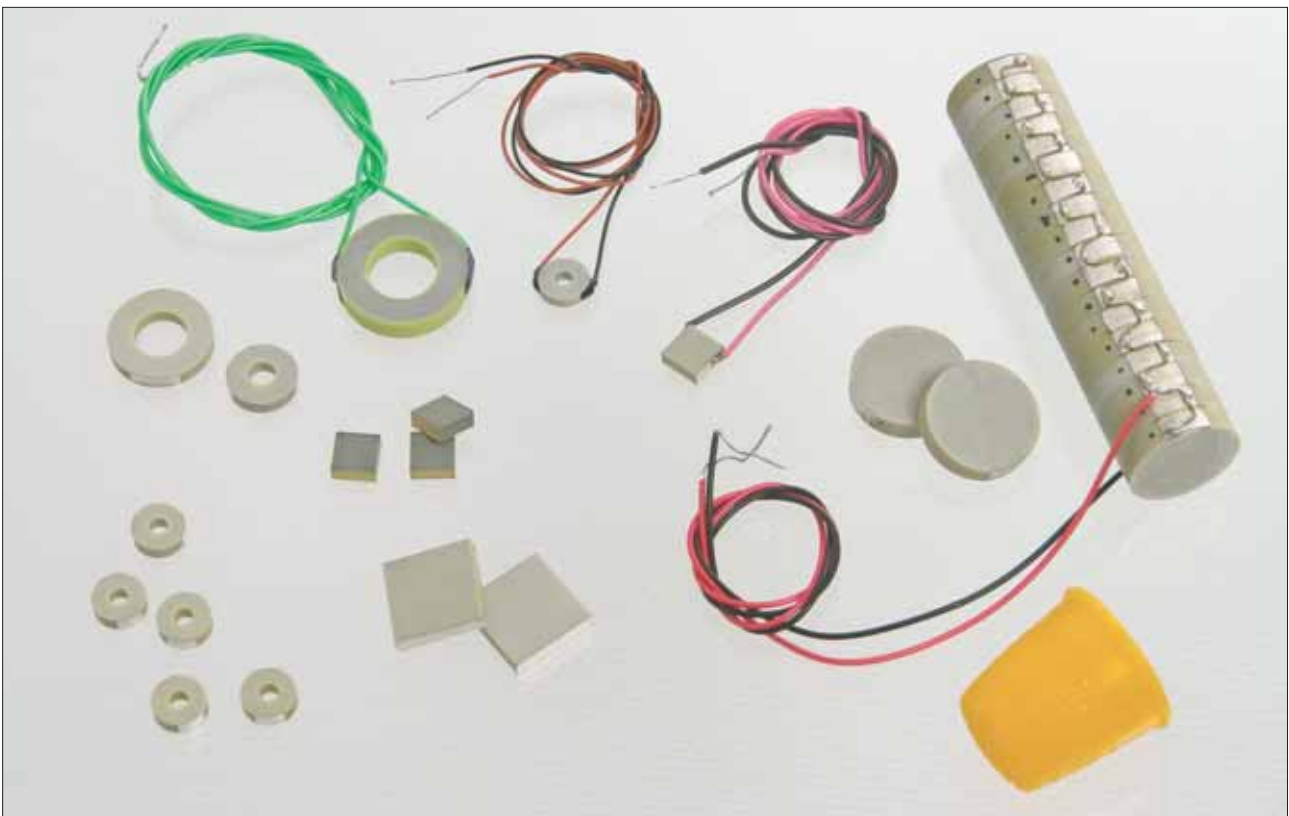
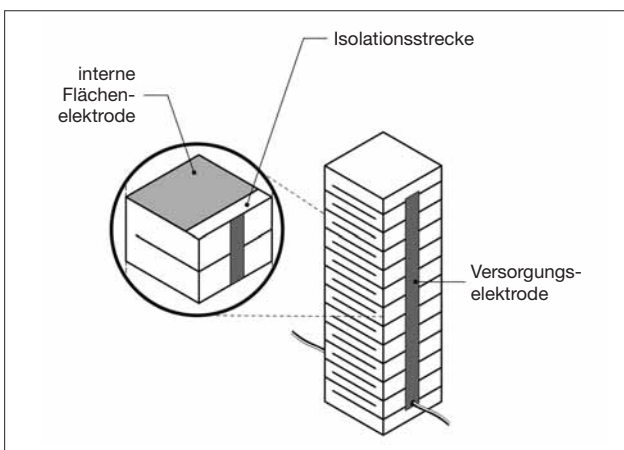


Abb. 5: Isi-Aktoren in verschiedenen Ausführungen



Im Randbereich des Stapels ergibt sich somit ein scharfer Übergang zwischen aktivierbarer und passiver PZT-Keramik.

Abb. 6: In-stack-Isolations(isi)-Technik

1.2 Piezostapel mit „In-stack Isolierung“ (isi)

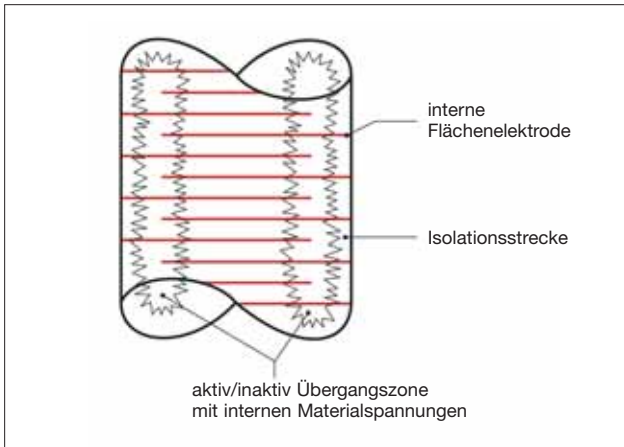


Abb. 7: Stress-Konzentration in Zone aktiv-inaktiv bei isi-Piezostapeln

Bei Ausdehnung des Stapels bauen sich hier hohe mechanische Zugspannungen auf, die zu Rissbildung in der Keramik führen und dadurch die elektrische Zuverlässigkeit beeinträchtigen können. Diese Rissproblematik durch strukturbedingte Eigenspannung ist über geeignete Maßnahmen zu kompensieren.

A Begrenzung der Stapelbauhöhe

Die mechanische Stresskonzentration mit Rissbildung wird erst bei größeren Stapelhöhen $> 2-3$ mm kritisch. Entsprechend kann man sich dann auf die Fertigung von sog. Piezo-Chips mit geringerer Bauhöhe beschränken. Längere Piezostapel erhält man durch Verkleben solcher Piezo-Chips (Abb. 7 und 8). Die Klebefugen wirken dann als Stress-Relaxatoren. Die mechanischen Eigenschaften solcher Stapel werden natürlich in gewissem Umfang von den Klebefugen beeinflusst.

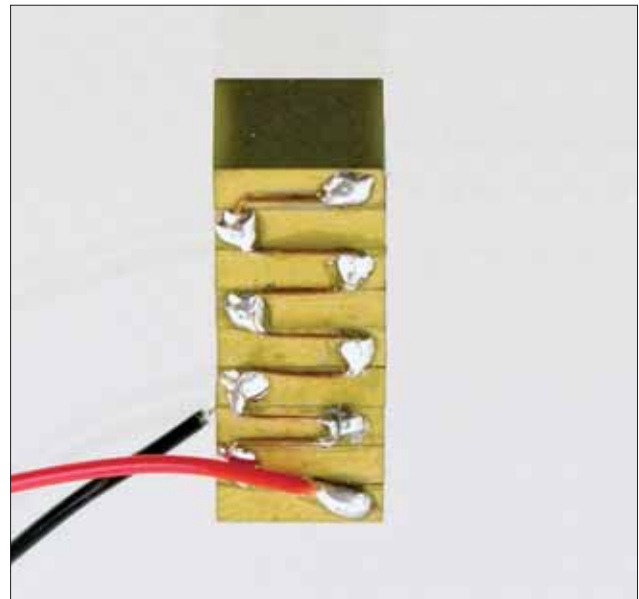


Abb. 8: Aktorstapel auf der Basis verklebter Piezo-Chips

1.2 Piezostapel mit „In-stack-Isolierung“ (isi)

B Struktur mit Dehnungsfugen

Bei längeren Stapeln werden definierte Lücken als Dehnungsfugen mit Abständen von wenigen Millimetern in der Keramik im Bereich aktiv/inaktiv präpariert. Damit kann die interne Stresskonzentration im Keramikbereich aktiv/inaktiv begrenzt werden (Abb. 9).

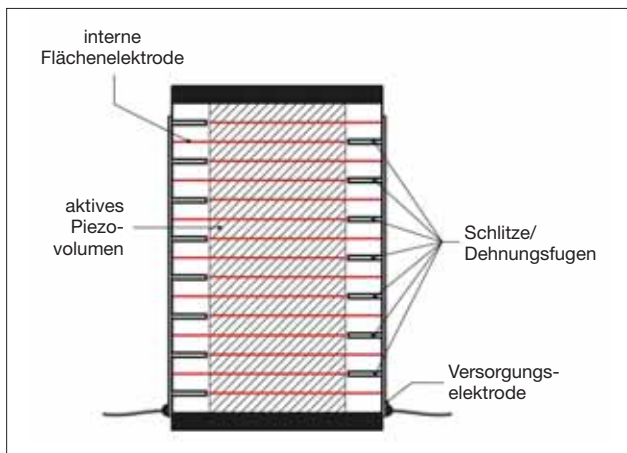


Abb. 9: Isi-Stapel mit internen Dehnungsfugen

Gegenüber Biegebelastungen sind solche Strukturen jedoch auf Grund der Dehnungsfugen, die Ausgangspunkt von Rissfortpflanzung werden können, empfindlicher als die osi-Technik (Abb. 10).

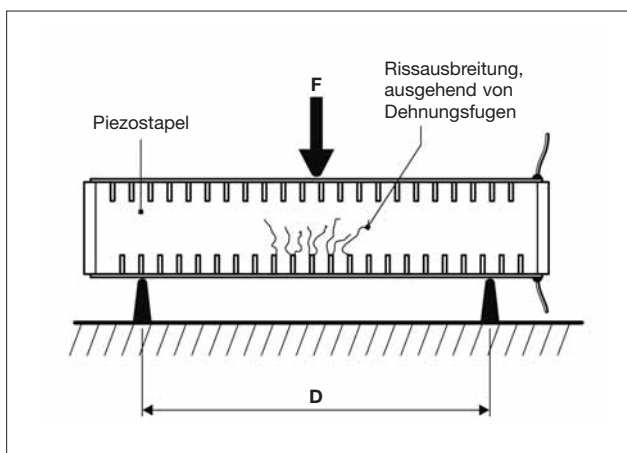


Abb. 10: Rissproblematik bei Biegebeanspruchung von isi-Piezostapeln

Aktor-Systeme auf der Basis von isi-Stapeln müssen daher konsequent auf die Vermeidung von Biegeeinflüssen hin ausgelegt werden.

C Mechanische Vorspannung

Bei isi-Aktoren ist generell eine mechanische Vorspannung auch bei statischen Einsätzen empfehlenswert, um die konfigurationsbedingten inneren Zugspannungen des freien isi-Stapels zu kompensieren. Bei dynamischen Anwendungen sind nochmals höhere Vorspannungen nötig, um die zusätzlichen beschleunigungsbedingten Zugbelastungen auszugleichen.

D Reißfeste Versorgungselektroden

Bei isi-Stapeln mit Dehnungsfugen müssen die mikroskopischen Fugen in der Stapeloberfläche durch die Versorgungselektroden des Stapels überbrückt werden.

Bei dynamischem Betrieb reißen jedoch einfache Metallisierungen bevorzugt an solchen Inhomogenitäten. Der Piezostapel wird dadurch ganz oder teilweise deaktiviert.

Die Entwicklung geeigneter Kontaktierverfahren mit ausreichender Standfestigkeit war eines der Schlüsselprobleme bei der Entwicklung von isi-Aktoren für die diversen Einspritzverfahren im Automobilbereich. Als besonders geeignet erwiesen sich Metall-Gewebe.

1.2 Piezostapel mit „In-stack Isolierung“ (isi)

Oberflächenschutz, buried-electrode Design

Isi-Aktoren können ebenfalls mit einem Polymer-Coating versehen werden, um insbesondere Umwelteinflüsse abzublocken.

Eine modifizierte Variante der isi-Technologie stellt das sog. buried-electrode Design („vergrabene Elektrode“) dar, um die Stapelstruktur gegenüber Umwelteinflüssen zu „härten“: Der isi-typische Isolationsstreifen wird dabei am gesamten Stapelrand bis auf eine kleine Kontaktstelle zur Versorgungselektrode herumgeführt (Abb. 11). Eine zusätzliche Polymerbeschichtung als Oberflächenschutz ist nicht mehr nötig. Auch dieses Verfahren ist bereits seit Jahrzehnten aus den Anfängen der Niedervolt-Aktorik bekannt.

Der Nachteil dieser Strategie liegt in einer Vergrößerung der aktiv/inaktiv-Übergangsbereiche innerhalb des Aktorstapels mit weiterer Reduktion seiner Piezoaktivität und der Zunahme der Problematik der Stress-Konzentration.

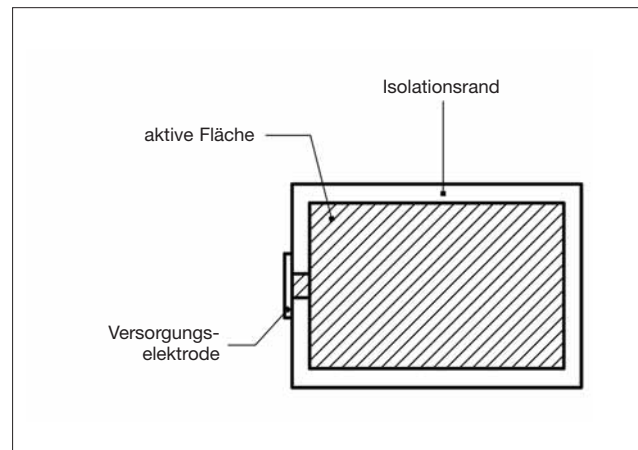


Abb. 11: „Buried-electrode“ Stapelisolierung

Anwendungsaspekte von Multilayer-Aktoren

2

2.1 Massive Stapel oder Ringstapel?

Ringaktoren sind Aktorstapel, die zusätzlich eine Durchgangsbohrung aufweisen. Ringaktoren werden nahe liegender Weise verwendet, wenn aus irgendwelchen technischen Notwendigkeiten heraus die Systemachse zugänglich sein muss, z.B. für elektrische, mechanische oder optische Durchführungen.



Abb. 12: Massiver Aktorstapel und Ringaktor

Darüber hinaus weisen Ringaktoren aber auch einige piezomechanische Vorteile gegenüber massiven Piezostacks auf.

Bei gleicher Baulänge und gleichem aktivem Keramik-Querschnitt weisen Ringaktoren gegenüber massiven Stapeln eine

- wesentlich größere Biegesteifigkeit auf Grund des größeren Durchmessers sowie
- wesentlich geringere Eigenerwärmung im dynamischen Betrieb

auf.

Wegen des gleichen aktiven piezoelektrischen Volumens sind die Kapazität, die Leistungsaufnahme und Verlustleistung der obigen Aktoren gleich. Der Ringaktor hat allerdings eine wesentlich größere spezifische Oberfläche, über die die Verlustwärme an die Umgebung abgegeben werden kann.

Beispiel

Ein massiver Stapelaktor PSt 150/7x7/20 weist ein ähnliches Keramikvolumen auf wie ein Ringaktor HPSt 150/14-10/12.

Es wird verglichen, bei welcher Dynamik / Schwingungsfrequenz und maximaler Dehnung (0 V/150 V-Betrieb) sich die Aktoren auf 80° aufheizen (Kühlung nur durch Luftkonvektion, keine forcierte Kühlung).

Resultat

Aktor PSt 150/7x7/20: **240 Hz**
Ringaktor HPSt 150/14-10/12: **440 Hz**

Der Ringaktor kann wegen der wesentlich größeren Oberfläche mehr Wärme abgeben, sodass der 80° Pegel erst bei deutlich höheren Frequenzen erreicht wird.

Mit zusätzlichen Kühlmaßnahmen wie Kühlfinger-Anordnung (Abb. 13) oder Betrieb in Isolationsölen können Frequenzen bis in den Kilohertz-Bereich wärmebelastmäßig sicher gehandhabt werden.

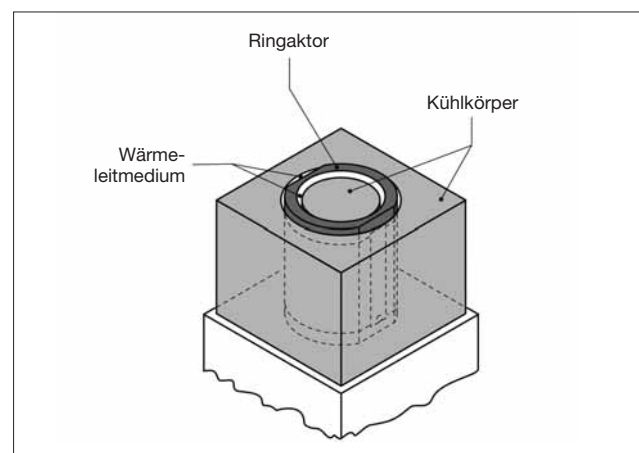


Abb. 13: Ringaktor mit Innen- und Außenkühlung

2.2 Mechanische Aspekte des Aktorbetriebs

Die Handhabungsvorschriften von Piezoaktoren ergeben sich aus den speziellen mechanischen Eigenschaften von Keramik (z.B. Sprödigkeit, geringe Zugbelastbarkeit) in Verbindung mit der elektrischen Funktionsstruktur der Aktoren.

Mechanische Beschädigungen / Rissbildungen in der Aktorstruktur führen bei den angelegten hohen elektrischen Spannungen / Feldstärken rasch zum elektrischen Durchschlag und Kurzschluss.

Piezostapel werden ausschließlich über die beiden Stirnflächen, z.B. durch Kleben oder Klemmen, an externe Mechaniken gekoppelt. Mechanische Einwirkungen auf die Seitenflächen sind strikt zu vermeiden.

Die Stirnflächen eines Aktorstapels bestehen aus inaktiver PZT-Keramik ausreichender Dicke, die als elektrische Isolation zwischen dem Elektrodensystem des Stapels und den angekoppelten Mechaniken dient.

Auf zwei gegenüberliegenden Seitenflächen laufen die Versorgungs- oder Verteilerelektroden, die die einzelnen Flächenelektroden des PZT-Schichtsystems kontaktieren.

Die Verteilerelektroden werden meist durch Litze im Sockelbereich kontaktiert (Abb. 14).

Piezostapel können hohe axiale Kompressionskräfte/ Drücke tragen, sind aber empfindlich gegen Biege-, Scher-, Torsionskräfte und insbesondere Zugbelastungen. In einem geringen Umfang sind zwar solche Einflüsse tolerierbar, allerdings sollte die Auslegung von Anschlussmechaniken hiermit nicht kalkulieren, sondern kompromisslos eine rein axiale Druckbelastung der Aktorkörper anstreben. Die Erfahrung zeigt, dass in dieser Hinsicht nicht ausgereifte Konstruktionen zwar nicht unmittelbar zum Ausfall der Aktoren führen müssen, aber eben auch keine Langzeitstabilität erreicht wird. Diese Überlegungen gelten natürlich für jeden Handhabungsschritt der Aktoren, insbesondere auch bei der Montage der Aktoren.

Neben statischen Krafteinwirkungen sind auch dynamische Effekte (Beschleunigungskräfte) wie z.B. externe Schwingungsanregung von Biegemomenten zu berücksichtigen.

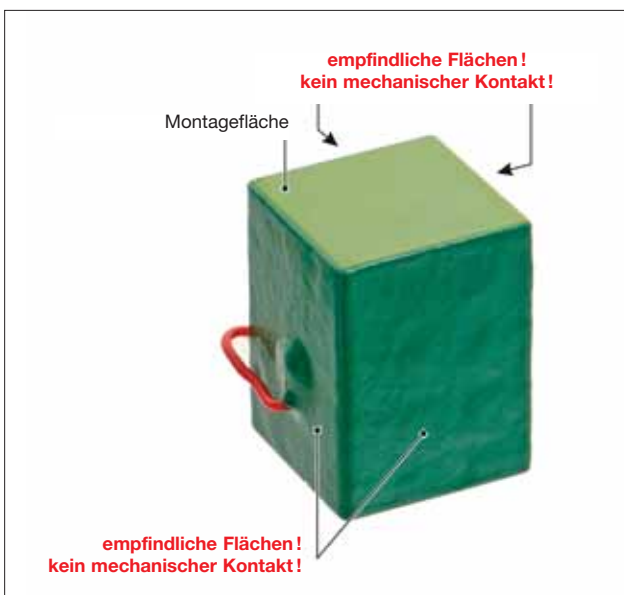


Abb. 14: Montagehinweis für Piezoaktoren

2.2 Mechanische Aspekte des Aktorbetriebs

Mechanische Vorspannung

Mechanische Vorspannung wird meist durch eine permanente Federdruckbelastung des Aktors parallel zum eigentlichen Antriebskraftfluss realisiert.

Über eine geeignete Vorspannung werden externe Zugkräfte kompensiert, die auf den Aktorstapel einwirken. Dies gilt sowohl für statischen als auch dynamischen Betrieb. Bei isi-Aktoren wird durch eine Vorspannung zusätzlich die interne Stress-Problematik entschärft.

Eine mechanische Vorspannung reduziert auch ein potentiell Verkippen der Endflächen. Dies kann insbesondere bei kohärent-optischen Anordnungen (Resonatoren, tunable Etalons) angewendet werden. Bei kleinen Verstellwegen (Bereich einige μm) ist dann keine separate Linearführung nötig.

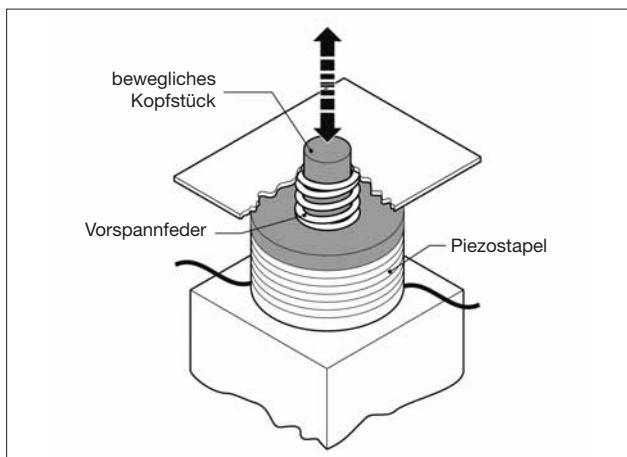


Abb. 15: Prinzip der Federvorspannung von Aktorstapeln

Je nach Anwendung können Vorspannkräfte bis über 50 % der Blockierkraft eines Aktors sinnvoll sein.

Eine optimale Vorspannung wird mit möglichst niedrigen Steifigkeiten der Vorspannfedern erreicht:

Die Steifigkeit der Vorspannung sollte nur wenige Prozent der Aktorsteifigkeit betragen.

Der Stellweg des Aktors wird dann selbst bei sehr hohen Vorspannkräften nicht verringert!

(Siehe auch Hauptkatalog)

Betrieb von Aktoren mit reduzierter Dehnung

Vielfach werden Aktoren mehr oder weniger instinktiv so ausgewählt, dass ein geforderter Aktorstellweg dem jeweiligen Maximalweg des gewählten Aktors entspricht. Diese Aktoren müssen dazu aber zwangsläufig immer mit maximaler Spannung und Dehnung betrieben werden. Im statischen Langzeitbetrieb kann dies die Lebensdauer beeinträchtigen.

Im dynamischen Betrieb ist dies zwar weniger kritisch, allerdings ergibt sich hieraus ein maximaler elektrischer Leistungsbedarf mit der Konsequenz einer deutlichen Eigenerwärmung der Aktorstapel.

Demgegenüber kann die Verwendung „überdimensionierter“ längerer Aktoren Vorteile aufweisen:

- Wegen der geringeren Feldstärken (Betriebsspannung $<$ max. zulässiger Spannung) erhöht sich die Lebensdauer der Aktoren insbesondere im statischen Langzeitbetrieb.
- Wegen der geringeren Dehnung ist die Eigenerwärmung im dynamischen Betrieb geringer. Es können höhere Betriebsfrequenzen bei gleicher Verstärkerleistung erreicht werden.
- Es können kostengünstigere Ansteuerungen (für niedrigere Spannungen) eingesetzt werden.

Die Strategie eines Aktorbetriebs mit reduzierter Dehnung findet natürlich ihre Grenzen da, wo hohe Steifigkeiten, Resonanzfrequenzen gefordert sind oder der Einbauraum beschränkt ist.

2.3 Montagehinweise

Fragen der Aktor-Performance und -Lebensdauer müssen immer im Zusammenhang mit den jeweiligen Montage- und Betriebsbedingungen der Piezostapel gesehen werden.

Ein unzureichendes Systemdesign, z.B. durch eine Aktor/Mechanik-Kopplung zu geringer Steifigkeit, nicht kompensierte Fluchtungsfehler zwischen Aktor und Mechanik, Reibungsbeiträge, falsche Vorspannmechanismen oder inhomogene Stapelbelastungen kann Stellwege, Positioniergenauigkeit, Kraftentwicklung und die Zuverlässigkeit von Piezoaktoren sehr nachteilig beeinflussen oder ihren Einsatz schlichtweg sinnlos machen.

Abb. 16 zeigt ein typisches Schadensbild infolge übermäßiger Kantenbelastung des Stapels. Diese wurde durch Kippkräfte aus einer nicht sachgemäß konzipierten Anschlussmechanik verursacht. Die Keramikstruktur wurde hier im zyklischen Dauerbetrieb im Randbereich lokal mit nachfolgendem elektrischen Durchbruch und Abbrand des Aktors zermürbt.

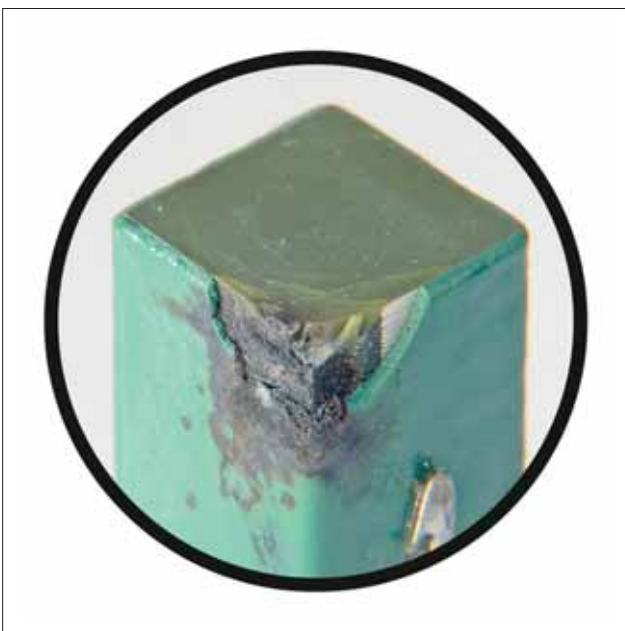


Abb. 16: Defekter Stapelaktor aus Hochlastbetrieb. Ausfallursache war eine konstruktionsbedingte Kantenbelastung der Keramik. Der Ausfall erfolgte nach ca. 800 Betriebsstunden.

Ankopplung von Mechaniken

Für die einwandfreie Funktion von Piezoaktoren und optimale Nutzung ihrer Eigenschaften bei Ankopplung externer Mechaniken/Komponenten sind folgende Aspekte von zentraler Wichtigkeit:

- Die Kopplungsflächen der Aktorstapel (Stirnflächen) sind vollflächig und mit homogener Druckverteilung zu belasten. Nur dadurch lassen sich die spezifizierten Belastungen, Steifigkeiten und Blockierkräfte der Aktorstapel realisieren.
- Bei hohen Aktorbelastungen ist eine hohe Planität der mechanischen Gegenstücke sicherzustellen. Die Planitätstoleranzen sollten im Mikrometerbereich liegen. Gewöhnliche Drehflächen sind erfahrungsgemäß meist nicht ausreichend plan (=> Fläche planschleifen).
- Der aus der Druckverteilung resultierende Kraftvektor hat den Aktorstapel weitestgehend achsennah und achsenparallel zu durchlaufen (Abb. 17a). Die Durchtrittspunkte des Kraftvektors an den Endflächen sollen innerhalb eines Toleranzfeldes von ca. +/- 10% des Aktorgesamtquerschnitts um die Aktorachse liegen.

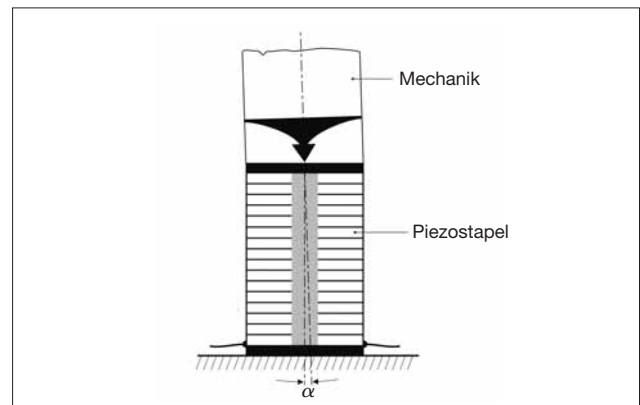


Abb. 17 a: Resultierender Kraftverlauf aus einer vollflächigen homogenen Belastung der Kontaktfläche Piezoaktor-Mechanik, zulässiger Fluchtungsfehler α .

2.3 Montagehinweise

Unzulässige Biegekräfte und Kantenbelastungen am Aktor werden so vermieden. Der akzeptable Toleranzwinkel α hängt also vom Längen / Durchmesser Verhältnis der Aktoren ab: Je länger der Aktor und je höher die Belastung ist, um so genauer muss die Krafteinleitung ausgelegt sein, um Biege- und Knickkräfte zu vermeiden. Im dynamischen Betrieb hat auch der Schwerpunkt des angetriebenen Elements auf der Aktorachse zu liegen, um Drehmomente in der Beschleunigungsphase zu vermeiden.

- **Plan-plan Kopplungen von Aktor und Mechanik**

Plan-plan-Kopplungen zwischen Aktorstapel und Mechanik sind zulässig und unproblematisch, wenn sich mindestens einer der Fügepartner beim Fügevorgang und im Betrieb **frei ausrichten** kann. Geringe Fluchtungsfehler sind dabei tolerierbar (Abb. 17a). Einer der beliebtesten Konstruktionsfehler ist jedoch die Plan-plan-Kopplung zwischen

Stapelaktor und **zwangsgeführten** Mechaniken. Hier kann bereits ein kleiner Fluchtungsfehler zwischen der normalen Aktorfrontfläche und Führungssachse der Mechanik zu unzulässig hohen Kantenbelastungen an der Frontfläche des Piezostapels und zu Biegemomenten im Aktormaterial führen, weil sich die Kontaktflächen zueinander nicht ausrichten können (Abb. 17 b, c). Wegen der mehr oder weniger punktuellen Belastung des Aktors können dann die spezifizierten Steifigkeits-, Last- und Kraftwerte in keiner Weise mehr realisiert werden. Bei hohen Betriebskräften wird darüber hinaus die Piezo-Keramik lokal zerstört werden (siehe Abb. 16). Konstruktive Gegenmaßnahmen wie z.B. Paarung von Kugel/Planflächen oder Biegegeelenke sind also zwingend notwendig (Abb. 17 b, c).

Diese obigen Vorschriften sind zu jedem Zeitpunkt während Montage, Handling und Betrieb des Aktorsystems zu gewährleisten (dynamische Kräfte beachten).

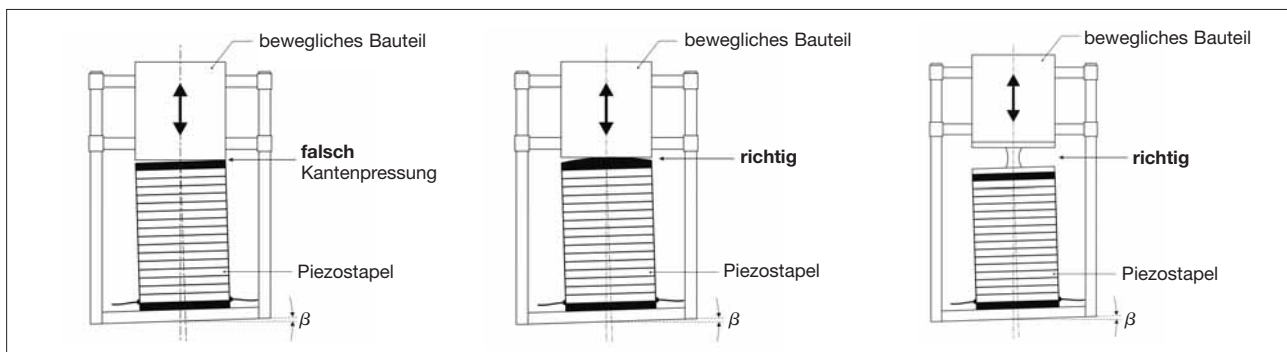


Abb. 17 b: Kopplung bei linearen Zwangsführungen: Gefahr der Kantenbelastung durch toleranzbedingte Fluchtungsfehler

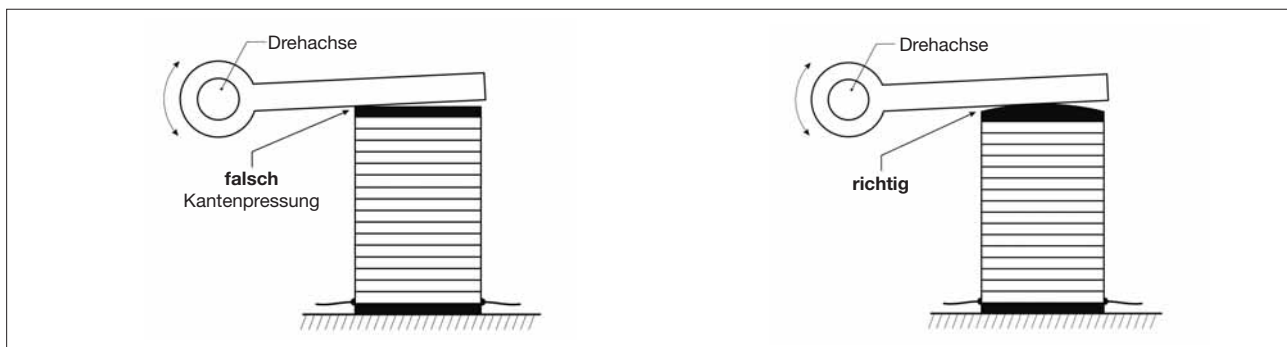


Abb. 17 c: Kopplung bei Rotationsbewegung: Gefahr einer konstruktionsbedingten Kantenbelastung

2.3 Montagehinweise

Verklebungen

Bei Verklebung von Aktor und Mechanik oder anderen Füge-techniken sind nach wie vor die grundsätzlichen Überlegungen aus Abschnitt 2 zu berücksichtigen.

Die Anforderungen an die Planitäten der Füge-flächen sind wegen der Füllwirkung des Klebers allerdings geringer. Im Sinne einer guten Kopplungssteifigkeit sollten Klebefugen dennoch eher dünn gehalten werden ($< 50 \mu\text{m}$).

Für Einsätze im Temperaturbereich $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ können handelsübliche Epoxykleber verwendet werden.

Bei höheren Anforderungen bzgl. des Temperaturbereichs, der Vakuumtauglichkeit oder anderer spezieller Betriebsbedingungen berät Sie PIEZOMECHANIK gerne.

Piezo-Chips

Zu harte Klebungen durch sehr dünne Klebefugen in Verbindung mit inflexiblen Klebern können insbesondere bei größeren Aktorquerschnitten die prinzipbedingt notwendige d_{31} -Querkontraktion der Aktorkeramik hemmen.

Damit wird auch die angestrebte axiale Aktor-dehnung (d_{33} -Dehnung) behindert oder unterdrückt (Abb. 18 b, c).

Deutliche Stellwegverluste oder eine Verbiegung der Piezostruktur sind die Folge.

Eine saubere Parallel-Verschiebung z.B. von aufgeklebten Optiken ist dann nicht mehr möglich.

Es gibt verschiedene Lösungsansätze bezüglich dieser Problematik.

PIEZOMECHANIK übersendet Ihnen auf Wunsch eine einschlägige Broschüre.

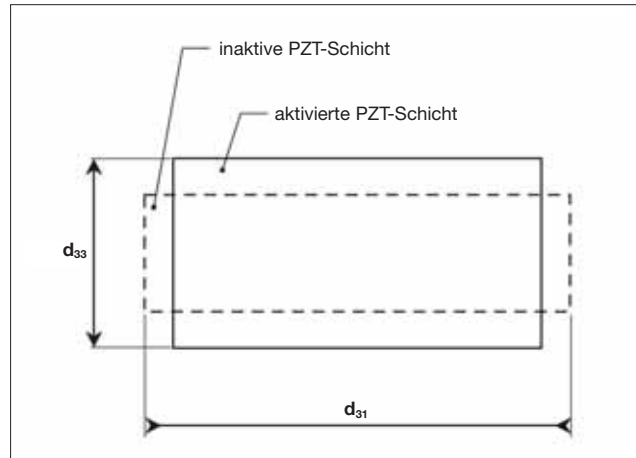


Abb. 18 a: Kopplung der Längsdehnung einer freien Piezoschicht (d_{33} -Effekt) mit gleichzeitiger Querkontraktion (d_{31} -Effekt)

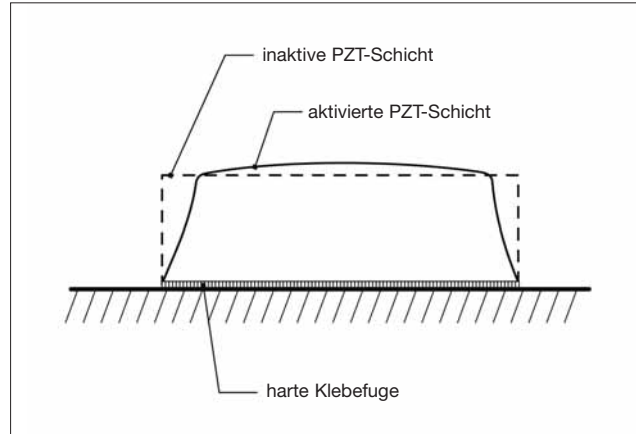


Abb. 18 b: Eine Blockade von d_{31} durch eine zu harte Verklebung mit einem starren Substrat führt zur Hemmung der axialen (d_{33}) Dehnung

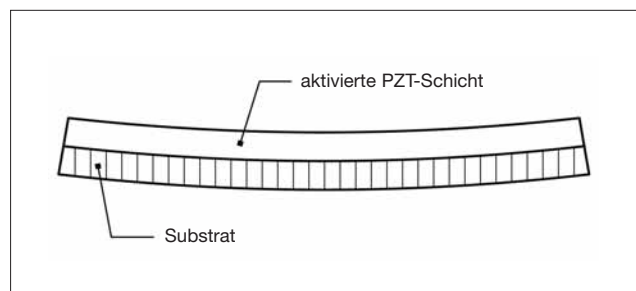


Abb. 18 c: Eine harte Verklebung mit dünnen Substraten führt zu Biegestrukturen

2.4 Umwelteinflüsse

Piezoaktoren sind elektrische Bauelemente, bei denen oberflächennah hohe elektrische Spannungen und Feldstärken auftreten.

Achten Sie in Ihren Konstruktionen immer für ausreichende Isolationsabstände zwischen den Aktorseitenflächen und der umgebenden Mechanik.

Jegliche Kontamination mit leitfähigen Flüssigkeiten, Elektrolyten führt zu Kriechströmen, die im Lauf der Zeit zu Korrosion und Kurzschluss des Aktors führen. Solche Einflüsse sind von vornherein durch den Anwender auszuschließen. Piezoaktoren laufen dagegen in nicht leitfähigen Flüssigkeiten bis hin zu Dieseltreibstoff stabil, solange dafür gesorgt wird, dass keine Spuren von Wasser enthalten sind.

Berühren Sie niemals elektrisch aktive Piezostapel mit bloßen Fingern.

(Im Falle eines Falles: Reinigen Sie Aktoren nur mit 100% Iso-Propanol, niemals mit Aceton).

PSt 150 osi-Aktoren mit Polymerbeschichtung werden seit Jahrzehnten erfolgreich in den unterschiedlichsten Anwendungen mit direktem Kontakt zur Umgebungsatmosphäre eingesetzt. Bei extremen Betriebsbedingungen mit einem Langzeitbetrieb der Aktoren bei maximalen Spannungspegeln in Verbindung mit extremer

Luftfeuchtigkeit (tropische Verhältnisse) kann aber die reine Polymerisolierung nicht mehr ausreichen. Feuchtigkeit diffundiert in die Polymerbeschichtung ein und schwächt die Isolationsverhältnisse. Durch zusätzliches Aufbringen von Metallfolien auf den Aktoroberflächen kann allerdings der Zutritt von Luftfeuchtigkeit bei freiliegenden Aktoren verhindert werden. Testaktoren laufen in dieser Version seit 2 Jahren bei permanenter 150 VDC-Ansteuerung/ 85% rel. Feuchtigkeit bei 20 °C ohne jegliche Degradationserscheinungen. Ein hermetisch gekapselter Einbau der osi-Aktoren schafft hier ebenfalls Abhilfe.

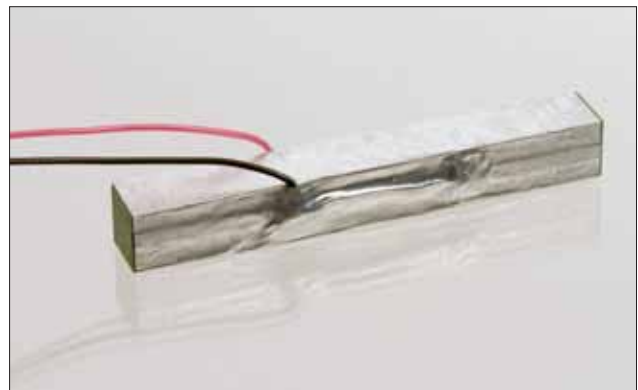


Abb. 19: Aktor mit Metallfolienkapselung

2.5 Elektrische Betriebsbedingungen

Spannungsbereiche, Polaritäten:

Piezoaktoren sind gepolte elektrische Komponenten. Der positive Anschluss ist markiert

- A** durch rote Anschlussdrähte
- B** sonstige Markierungen wie Punkte, Aufdrucke etc.
- C** durch längeren Anschlussdraht

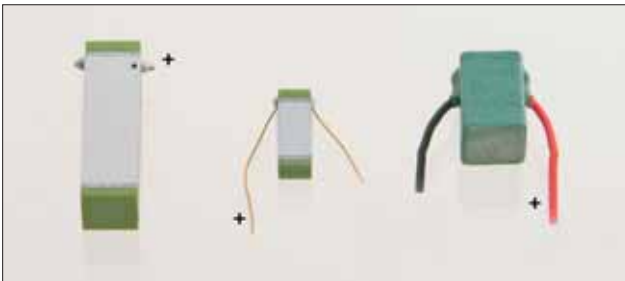


Abb. 20: Polaritätskennzeichnung an Aktoren

Im Folgenden gelten Spannungswerte mit „(+)“ Kennzeichnung für polungstreuen Betrieb, „(-)“ bedeutet eine Spannungspolarität entgegen der originalen Polungsrichtung des Aktors.

Die piezomechanischen Daten wie **maximaler Hub** und **maximale Krafterzeugung/Blockierkraft** werden meist für zwei Spannungsbereiche spezifiziert:

- **Unipolarer Betrieb** 0 V / (+) U_{max}
z.B. 0 V / (+)150 V bei Aktoren PSt 150
- **Semi-bipolarer Betrieb** z.B. (-)30 V / (+)150 V
für Aktoren PSt 150.

Piezomechanik bietet mit der Baureihe SVR semi-bipolare Verstärker an, die größte Stellwege und Kraftentwicklung der jeweiligen Aktoren ermöglichen.

Die Aktorhübe und Kräfte sind im semi-bipolaren Betrieb naturgemäß größer als im unipolaren Betrieb. Allerdings sind bei höheren Betriebstemperaturen Depolarisierungsrisiken der Keramik zu berücksichtigen. Der unipolare Betrieb kann uneingeschränkt angewendet werden.

Ein kurzfristiges Überschreiten der **oberen** Spannungsgrenze (+) U_{max} um bis zu 20% führt zwar zu keinem unmittelbaren Ausfall des Aktors, setzt aber bei häufigerer Anwendung die Gesamtlebensdauer der Aktoren deutlich herab. Noch größere Überspannungen können zu einem unmittelbaren Ausfall durch Überschlag und Kurzschluss führen. Ein Unterschreiten der **unteren** Spannungsgrenze über den semi-bipolaren Bereich hinaus kann zu Depolarisierung der Piezokeramik führen. Die osi-Aktoren PSt 150 sind bezüglich Depolarisierung unproblematisch: Diese Aktoren können ohne Veränderung ihrer Eigenschaften depolarisiert oder auch umgepolt werden. Durch ein einmaliges Anlegen einer Spannung von > 100 V werden sie wieder ohne Einbußen in der neuen Polungsrichtung reaktiviert.

2.5 Elektrische Betriebsbedingungen

Eine Depolarisierung der härteren Piezokeramik von Piezo-Chips und PSt-HD-Aktoren hingegen kann zu irreversiblen Veränderungen der Aktorcharakteristik führen und ist daher zu vermeiden.

1. Faustregel: Betreiben Sie Aktoren nur mit elektrischen Versorgungen, die keine höheren Spannungen abgeben können, als sie für die jeweiligen Aktoren angegeben sind.

Stromaufnahme, elektrische Leistungen:

Piezoaktoren verhalten sich bei subresonanter Anregung im Wesentlichen wie Kondensatoren. Ströme werden nur benötigt, um eine Positionsänderung des Aktors vorzunehmen. Je schneller ein Aktor arbeiten soll, umso höher ist der benötigte Ansteuerstrom.

2. Faustregel: Schätzen Sie die für Ihre Anwendung nötige Stelldynamik des Aktors (Anstiegs-/Abfallzeiten) und die dafür benötigten Umladeströme ab.

(Siehe Einführung: elektronische Ansteuerungen für die Piezomechanik).

Die gewählte Ansteuerung sollte nicht wesentlich größere Ströme liefern als für die jeweilige Anwendung benötigt werden.

Das Risiko besteht darin, dass leistungsmäßig überdimensionierte Ansteuerungen bei externen Störsignalen eine stark beschleunigte Bewegung des Aktors auslösen können, für die der mechanische Aufbau möglicherweise nicht ausgelegt ist und dadurch den Aktor beschädigen. (siehe auch „mechanische Vorspannung“). Überdimensionierte Ansteuerungen sind außerdem teuer und haben möglicherweise an anderer Stelle Nachteile (z.B. Rauschverhalten).

Kontaktieren Sie bitte PIEZOMECHANIK bei entsprechenden Fragestellungen.

Piezo-Stapel und Ringe PSt 150 / HPSt 150 in der überlegenen osi-Technologie:

- Decken alle gängigen Aktoranwendungen im Temperaturbereich bis ca. 100 °C ab.
- Vom statischen bis hin zum hochdynamischem Betrieb hohe Stabilität und Zuverlässigkeit, einfache Handhabung.
- Enge Toleranzen der piezomechanischen Eigenschaften und Dimensionen.

Piezo-Stapel und Ringe PSt-HD 200 in spezieller isi-Technologie

- Für hochdynamische Anwendungen bei potentiell hohen Temperaturen > 100 °C.

Piezo-Chips PSt 150 Stapel und Ringe mit Bauhöhen bis 3 mm in isi-Technologie (z.T. mit buried-electrode design)

- Hohe Eigenresonanz.
- Auch geeignet für Sensorik:
- energy harvesting.
 - 50 V-Typen mit sehr hoher Ladungserzeugung.

Allgemeiner Hinweis zu technischen Daten:

Spannungsbereiche

- (+) U_{\max} Maximale Betriebsspannung mit Spannungspolarität = Aktorpolung
- (-) U Betriebsspannung entgegen der Aktorpolung, bis zu (-)20% U_{\max} können angelegt werden (sog. semi-bipolarer Betrieb), z.B. (-)30 V/ (+)150 V

Stellwege

Angaben A/B für semi-bipolaren / unipolaren Betrieb z.B. (-)30 V/ (+)150 V bzw. 0 V/ (+)150 V

Kapazitäten

- gemessen als Kleinsignalkapazitäten bei Zimmertemperatur
- Aktorkapazitäten weisen fertigungsbedingt Toleranzen bis zu +/- 20% auf
- Aktorkapazitäten sind spannungsabhängig und temperaturabhängig

Resonanzfrequenzen

- bei einseitiger Fixierung des Aktors
- Angaben für axiale Resonanz in Nutzrichtung (andere Moden wie Durchmesser- und Biege- resonanzen sind je nach Anwendung zu beachten)

Steifigkeiten

- gemessen an
- kurzgeschlossenen Aktoren bzw. bei Spannungssteuerung der Aktoren,
 - bei Vorspannkraften von ca. 10% der Maximallast

Blockierkräfte

maximale Krafterzeugung unter Klemmbedingung bei Auslenkung 0 μm gemessen bei maximaler semi-bipolarer Aussteuerung (bei maximaler unipolarer Aussteuerung sind die Blockierkräfte ca. 30% kleiner).

Maximale Belastung

Lastbereich, innerhalb dessen sich die piezomechanischen Eigenschaften des Aktors nicht verschlechtern (reversibel). Eine irreversible Beschädigung des Aktors oder Materials tritt erst bei deutlich größeren Drücken auf. (Problem von Kantenbelastung und Biegefestigkeit beachten).

3.1 Piezostapelaktoren PSt 150 / HPSt 150 (osi-Technik)

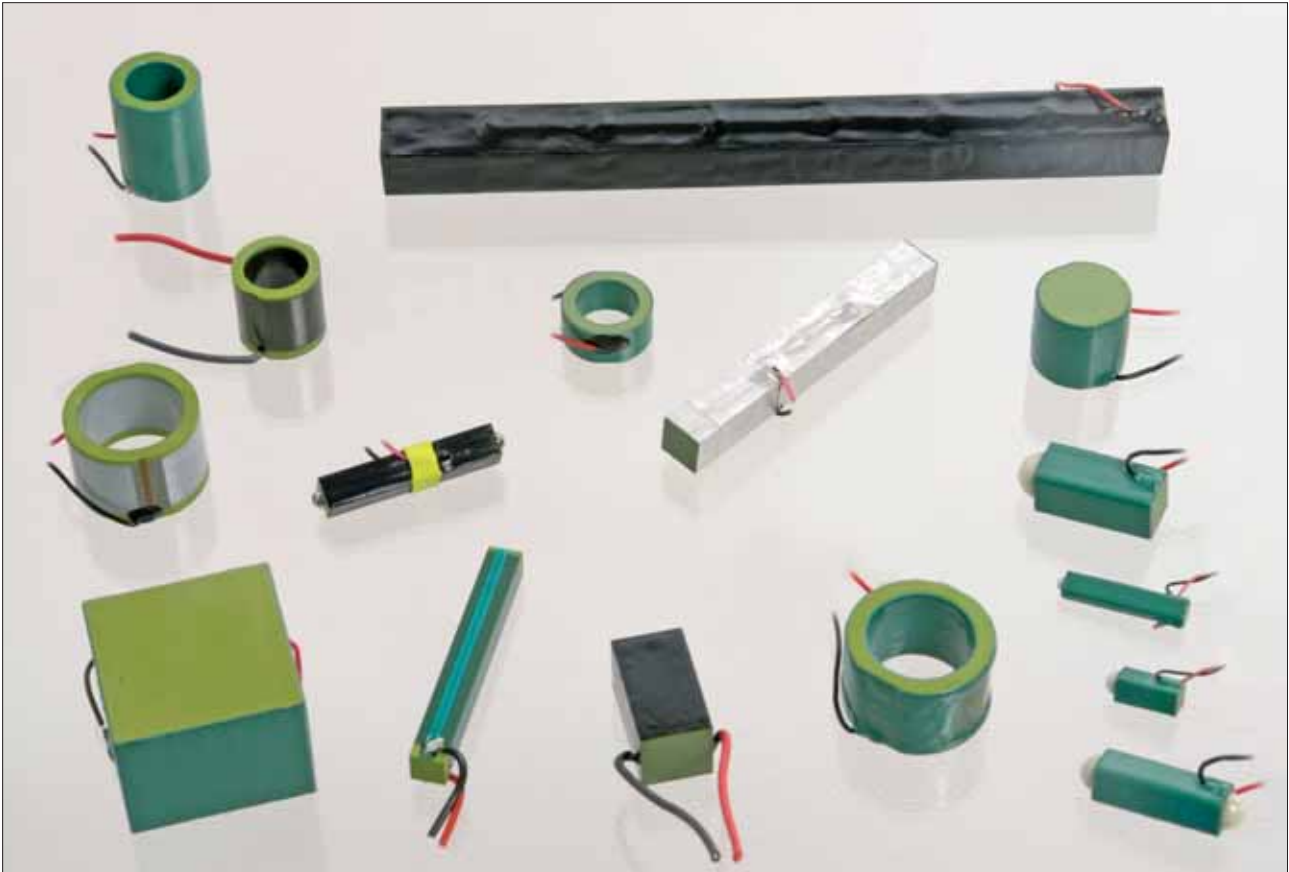


Abb. 21: Piezostapelaktoren PSt 150 und Ringe HPSt 150 in überlegener osi-Stapel-Technik

- Piezokeramikvolumen zu 100 % aktiv: für maximale Stellwege und Kräfte, auch bei sehr kleinen Aktorquerschnitten.
- Zuverlässiger Betrieb durch stressfreie Keramikstruktur.
- Sehr geringe Verkipfung der Endflächen durch stressfreie Keramikstruktur.
- Hohe Biegefestigkeit der Keramik durch geschlossene Stapeloberfläche (keine Dehnungsfugen).
- Große monolithische Aktor-Querschnitte möglich (25 x 25 mm).
- Großer Einsatztemperaturbereich -273 °C => +120 °C.
- Robuste Ausführung durch hochwertige Beschichtung, Oberflächenschutz gegen mechanische Einflüsse, Kratzer, Beschädigungen.

- Zusätzliche hohe Biege- und Torsionsfestigkeit bei kleinen Durchmessern durch hochfeste Polymer-Beschichtung.
- Anpassung an exotische Betriebsbedingungen (UHV, cryo etc.).
- Enge Fertigungstoleranzen des Keramikstapels.

Mit diesen Aktoren PSt 150 können die meisten statischen und hochdynamischen Anwendungen bis hin zum Pulsbetrieb abgedeckt werden. Mit geeignetem Wärmemanagement können große Zykluswiederholraten realisiert werden.

Fragen Sie an, wir beraten Sie gerne.

3.1 Piezostapelaktoren PSt 150/HPSt 150 (osi-Technik)

Aktortyp osi-Stapel (+) U_{max} 150 V	Keramik- querschnitt $a \times b$ / mm^2	Länge L ¹⁾ mm	Stellweg ²⁾ μm	Kapazität nF	Resonanz- frequenz kHz	Steifigkeit N/ μm	Blockierkraft ³⁾ N	Maximale Belastbarkeit N
PSt 150/2x3/5	2 x 3	5	6,5/5	70	> 150	45	300	300
PSt 150/2x3/7	2 x 3	9	13/9	170	100	25	300	300
PSt 150/2x3/20	2 x 3	18	28/20	340	50	12	300	300
PSt 150/3.5x3.5/7	3,5 x 3,5	9	13/9	350	100	50	800	800
PSt 150/3.5x3.5/20	3,5 x 3,5	18	28/20	800	50	25	800	800
PSt 150/5x5/7	5 x 5	9	13/9	800	100	120	1600	2000
PSt 150/5x5/20	5 x 5	18	28/20	1800	50	60	1600	2000
PSt 150/7x7/7	7 x 7	9	13/9	1800	100	240	3500	4000
PSt 150/7x7/20	7 x 7	18	28/20	3600	50	120	3500	4000
PSt 150/10x10/7	10 x 10	9	13/9	3600	100	500	7000	8000
PSt 150/10x10/20	10 x 10	18	28/20	7200	50	250	7000	8000
PSt 150/14x14/20	14 x 14	18	28/20	14500	47	500	15000	16000
Ringaktoren (+) U_{max} 150 V	Durchmesser $a \times b$							
HPSt 150/14-10/12	14 x 10	13.5	16/12	2600	75	250	4500	7000
HPSt 150/20-15/12	20 x 15	13.5	16/12	5000	75	450	8000	12000

¹⁾ Länge des Aktors in Arbeitsrichtung

²⁾ Stellwege (-)30 V bis (+)150 V / (+/-)0 V bis (+)150 V

³⁾ Blockierkraft = maximale Kräfteerzeugung bei max. semi-bipolarem Betrieb

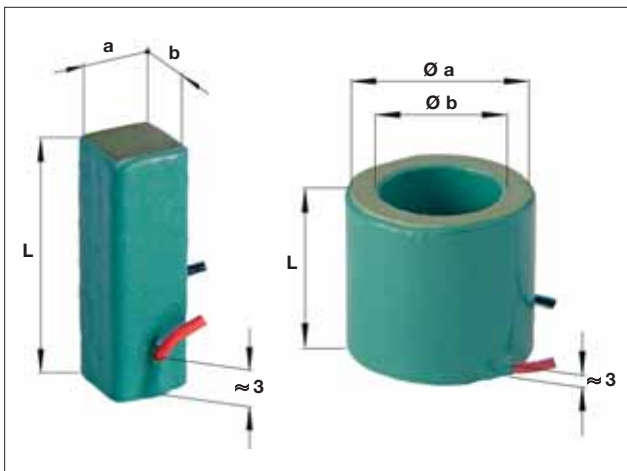


Abb. 22: Piezostapelaktoren PSt 150 und Ringaktor HPSt 150

Abmessungen

a, b, L: Abmessungen der Keramik

Toleranzen: a, b, L +/- 0,03 mm

Maximaler Spannungsbereich

(-)30 V bis (+)150 V bei Raumtemperatur

3.1 Piezostapelaktoren PSt 150/HPSt 150 (osi-Technik)

Optionen

Positionssensoren (DMS)

Sphärische Endstücke

(für Aktoren mit Querschnitten bis 10 x 10 mm)
(Abb. 23)

Ausführungen für Tieftemperaturanwendung

- Option a: Sonderbeschichtung
(Arbeitsbereich - 273 °C bis +100 °C)
Option b: Anschluss über kapton-isolierte
Manganin-Drähte zur Reduktion der
Wärmeleitung

Temperatureinsatzbereich

-273 °C bis ca. 120 °C (abhängig von der
Oberflächenbeschichtung)
oberhalb 100 °C reduzieren sich die Aktoreigen-
schaften (reversibel)

Beschichtungen

Standard: Beschichtung auf Epoxy-Basis
Dicke ca. 0,5 mm für hohe mechanische Stabilität,
Vakuum- und UHV-geeignet
Temperaturbereich -50 °C bis +120 °C
Dünnere Beschichtungen (< 50 µm) auf Anfrage

Längere Aktoren z. B. PSt. 150/axa/40 auf Anfrage.

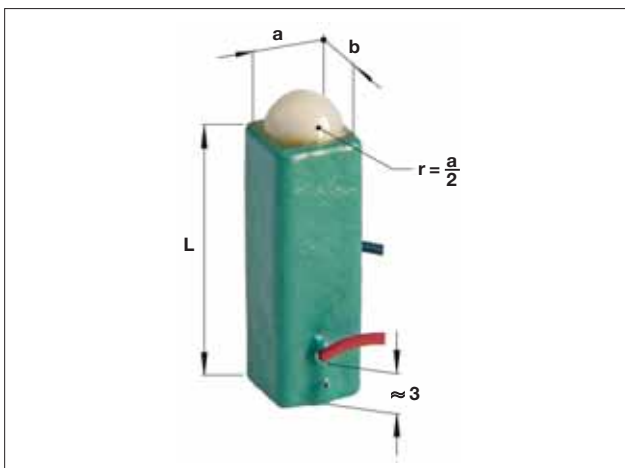


Abb. 23: Aktor mit sphärischem Endstück

3.2 Piezostapelaktoren PSt 150 hTc mit reduzierter Kapazität (osi-Technik)

Die neu eingeführte osi-Aktorbaureihe PSt 150 hTc zeichnet sich gegenüber der Standardbaureihe durch reduzierte Kapazität und Verlustleistung aus. Der Schwerpunkt der Anwendungen liegt im dynamischen Positionierbetrieb, wo eher hohe Dehnungen im Vordergrund stehen und weniger die Krafterzeugung. Typische Beispiele sind Schwingungserzeugung und Scannerantriebe z. B. in der Optik mit hoher Dynamik bei möglichst geringem elektrischen Leistungseinsatz und Eigenerwärmung.

Bei gleicher Auslenkung ist der Strombedarf von PSt 150 hTc-Aktoren um ca. 1/3 niedriger als bei den Standardaktoren PSt 150 gleicher Baugröße. Die Verlustleistung = Eigenerwärmung ist entsprechend reduziert. Wegen der höheren Curietemperatur der Piezokeramik sind höhere Aktortemperaturen im dynamischen Betrieb tolerierbar.

Vergleich der Aktorbaureihen PSt 150 hTc und PSt 150 Standard (Betriebsspannung -30V/+150V)

	PSt 150	PSt 150 hTc
Stromaufnahme I <i>im dynamischen sin-Betrieb 80 Hz bei gleicher Auslenkung, ohne Kraftänderung im System</i>	100%	65% !
Eigenerwärmung <i>eines Aktorstapels 10x10xL=18 mm/Auslenkung 18 µm bei 80 Hz/freie Luftkonvektion</i>	60°	45° !
Curietemperatur	150 °C	200 °C
Kapazität bei Raumtemperatur <i>Beispiel:-Stack 5x5xL = 18 mm</i>	100% 1,8 µF	60% 1,05 µF
Kapazität bei 70 °C	135%	80%
Ausdehnung <i>bei gleichem Spannungshub</i>	100%	90%
Blockierkraft <i>bei gleichem Spannungshub</i>	100%	75%

Einsatztemperatur von PSt 150 hTc:

mit Standardbeschichtung (grün):
-50 °C bis +125 °C (Dauerbetrieb)/kurzfristig 140 °C
mit Sonderbeschichtung:
-273 °C bis +125 °C/140 °C

3.2 Piezostapelaktoren PSt 150 hTc mit reduzierter Kapazität (osi-Technik)

Lieferprogramm osi-Stapelaktoren PSt 150hTc

PSt 150hTc/5x5/7	⇔	PSt 150/5x5/7
PSt 150hTc/3.5x3.5/18	⇔	PSt 150/3.5x3.5/20
PSt 150hTc/5x5/18	⇔	PSt 150/5x5/20
PSt 150hTc/7x7/18	⇔	PSt 150/7x7/20
PSt 150hTc/10x10/18	⇔	PSt 150/10x10/20
PSt 150hTc/14x14/18	⇔	PSt 150/14x14/20

Spannungsbereich -30 V/+150 V

⇔ 100% Kompatibilität mit Standardbaureihe PSt 150 hinsichtlich Abmessungen, Betriebsspannungen, Beschichtungen, Optionen!

Längere Stapel auf Anfrage.

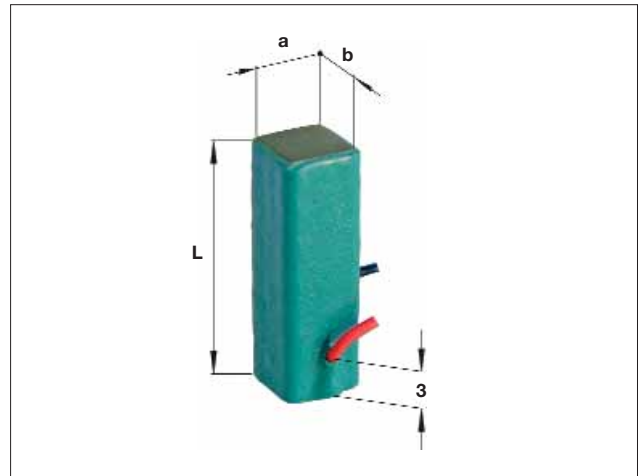


Abb. 24: Stapelaktor PSt 150hTc (siehe auch Seite 22)

Piezoaktoren mit Gehäuse PSt 150hTc/.../... VS... (siehe auch Hauptkatalog)

Typen:

PSt 150hTc/5/... VS10
PSt 150hTc/7/... VS12
PSt 150hTc/10/... VS15
PSt 150hTc/14/... VS20
PSt 150hTc/20/... VS25

Spannungsbereich -30V/+150V

⇔ 100% Kompatibilität mit Standardbaureihe PSt 150 hinsichtlich Abmessungen, Betriebsspannungen, Optionen!

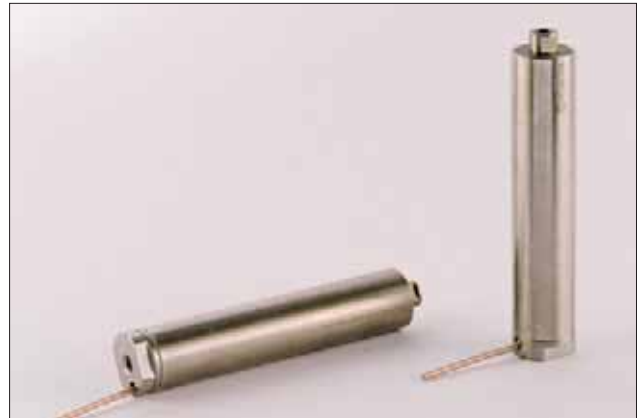


Abb. 25: Gehäuseversion von Aktoren PSt 150hTc (siehe auch Hauptkatalog)

3.3 Piezo-Chips PCh 150/HPCh 150 (isi-Technik)

- Flächige Multilayer-Elemente mit kleiner Bauhöhe < 3 mm für kompakte Anordnungen.
- Hohe axiale Resonanzfrequenzen.
- Auch für Sensorik / Generatoranwendungen geeignet.
- 50 V-Sondertypen mit sehr hoher Ladungserzeugung (Energy harvesting).

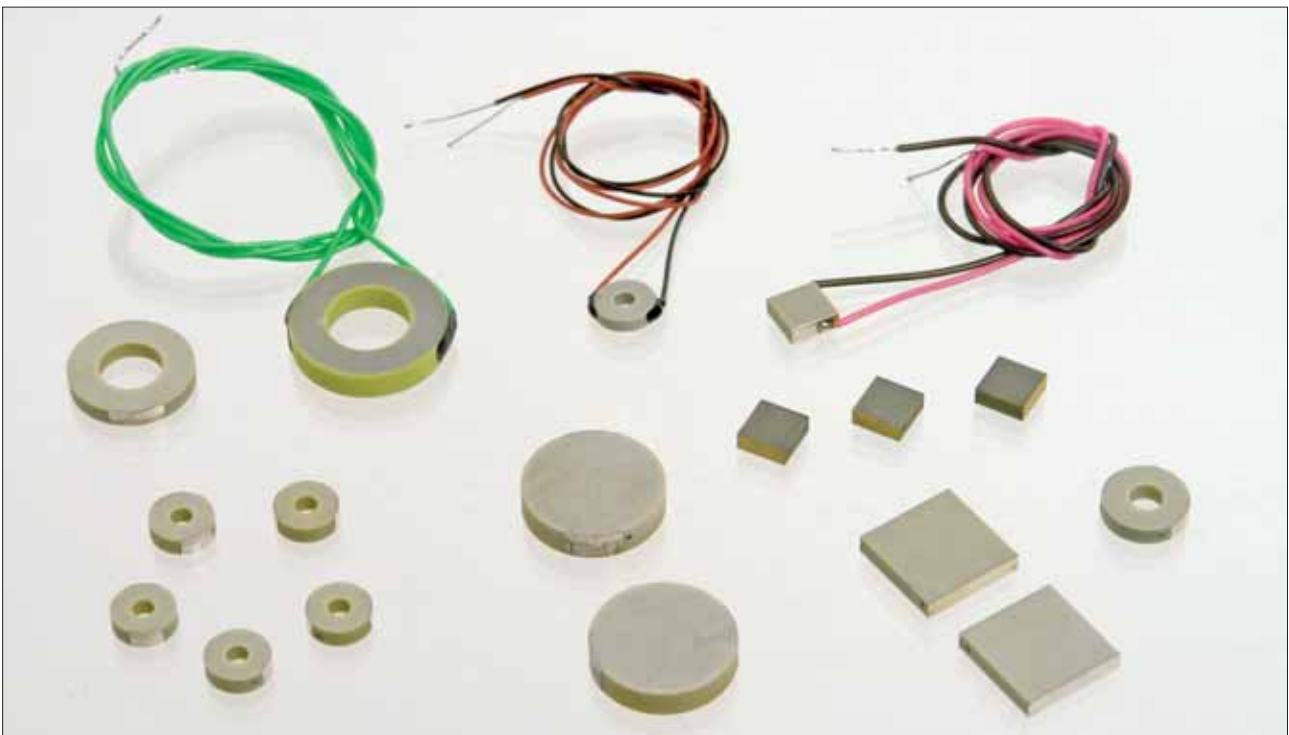


Abb. 26: Piezo-Chips

Aktortyp isi-Stapel	Keramik- querschnitt $a \times b / \text{mm}^2$	Länge L ¹⁾ mm	Stellweg ²⁾ μm	Kapazität nF	Resonanz- frequenz kHz	Steifigkeit N/ μm	Blockierkraft ³⁾ N	Maximale Belastbarkeit N
(+) U_{max} 50 V								
PCh 50/5x5/2	5x5	2	>3/>2	1250	> 500 kHz	500	1500	2000
(+) U_{max} 150 V								
PCh 150/3x3/2	3x3	2	>3/>2	30	>500 kHz	190	500	500
PCh 150/5x5/2	5x5	2	>3/>2	110	>500 kHz	500	1500	2000
PCh 150/7x7/2	7x7	2	>3/>2	240	>500 kHz	1000	3000	5000
PCh 150/10x10/2	10x10	2	>3/>2	480	>500 kHz	1900	6000	10000
Ringaktoren								
(+) U_{max} 150 V		Durchmesser $a \times b$						
HPCh 150/6-2/2	6x2	2	>3/>2	110	>500 kHz	400	1500	2000
HPCh 150/8-3/2	8x3	2	>3/>2	200	>500 kHz	900	2500	4000
HPCh 150/10-5/3	10x5	3	>4/>3	375	>300 kHz	900	3000	4500
HPCh 150/12-6/2	12x6	2	>3/>2	500	>500 kHz	1400	5000	5000
HPCh 150/15-8/3	15x8	3	>4/>3	790	>300 kHz	1800	7000	10000

¹⁾ Länge des Aktors in Arbeitsrichtung (Dicke des Chips)

²⁾ Stellwege semi-bipolar/unipolar

³⁾ Blockierkraft = maximale Kräfteerzeugung bei max. semi-bipolarem Betrieb

3.3 Piezo-Chips: PCh 150/HPCh 150 (isi-Technik)

Abmessungen der Keramik

a, b, L

Toleranzen:

a, b +/- 0,3 mm

L +/- 0,1 mm

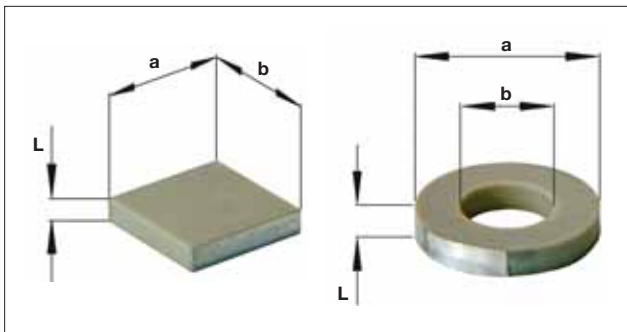


Abb. 27: Piezo-Chips PCh, PHCh

Achtung: Piezo-Chips weisen wegen der geringen aktiven Bauhöhe nur sehr kleine Stellwege auf.

Die Qualität der Montage von Piezo-Chips kann daher den tatsächlich verfügbaren Stellweg nachhaltig beeinflussen. (Siehe Abschnitt 2.3/3).

Maximale Spannungsbereiche

PCh 50: (-)10 V / (+)50 V

PCh 150: (-)30 V / (+)150 V bei Raumtemperatur

Temperatureinsatzbereich

-273 °C bis +150 °C

Beschichtungen

Keine

3.4 Sonderausführungen

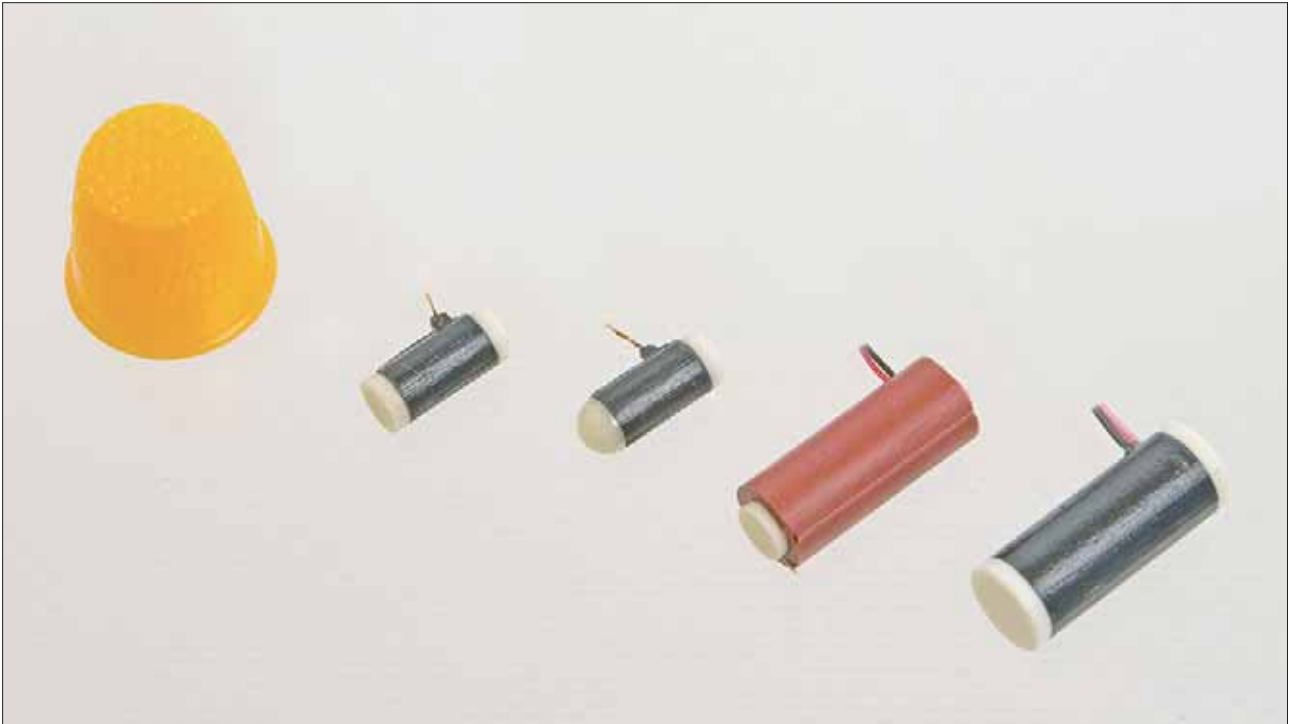


Abb. 28: Sonderausführungen von Niedervoltaktoren

Piezomechanik liefert Ihnen auf Anfrage auch Sonderversionen von Aktorstapeln hinsichtlich

- Bauform (Länge, Querschnittsform der Keramik)

- Betriebsspannungsbereiche
- Konfektionierung (Beschichtung, Endstücke, Kontaktierung) (siehe auch Optionen)

Piezomechanik · Dr. Lutz Pickelmann GmbH

Berg-am-Laim-Straße 64 · D-81673 München · Telefon ++ 49/89/46 14 67 96 · Fax ++ 49/89/4 31 64 12
E-Mail: info@piezomechanik.com · <http://www.piezomechanik.com>

