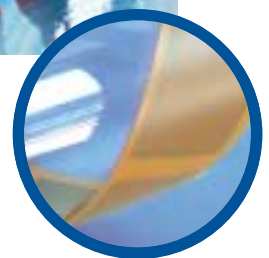


# DuraAct™ – Piezoelektrische Flächenwandler für Industrie und Forschung



# Schlüsseltechnologien unter einem Dach – das Plus für Kunden



Das Werk für die Entwicklung und Produktion von Piezokeramik: PI Ceramic in Thüringen

PI Ceramic (PIC) ist ein Tochterunternehmen der Firma Physik Instrumente (PI) GmbH & Co.KG, des weltweit führenden Unternehmens auf dem Gebiet hochpräziser piezoelektrischer Nanopositioniersysteme. Der ISO 9001-2000 zertifizierte Betrieb entwickelt und produziert seit 1992 eigene piezokeramische Materialien und Bauelemente. Dieses Know-how eröffnet Möglichkeiten der kunden- bzw. anwendungsspezifischen Entwicklung und Fertigung von aktorischen und sensorischen Piezoprodukten, die weit über

## Kooperation

DuraAct™ Flächenwandler basieren auf einer patentierten Entwicklung der Forschung der Deutschen Luft- und Raumfahrtgesellschaft (DLR). Die INVENT GmbH übernimmt die Fertigung, PI Ceramic liefert die Piezokeramiken und übernimmt den exklusiven Vertrieb.

das klassische piezokeramische Bauelement hinausgehen.

- State-of-the-Art Piezokomponenten, Ultraschallwandler, Aktoren und Systemlösungen.
- Entwicklung & Fertigung von hochzuverlässigen Bauelementen für die wichtigsten Zielmärkte unserer Zeit.
- Kundenspezifische und Standardlösungen verfügbar – Hohe Flexibilität im technologischen Prozess garantiert kurze Lieferzeiten.
- Kundenspezifische Keramikfertigung: Alle Schlüsseltechnologien und entsprechende Ausrüstungen im Haus verfügbar.

## Technologie für höchste Präzision – Jahre der Zeit voraus

Die Firma Physik Instrumente (PI) verfolgt die Strategie der vertikalen Integration, alle Schlüsseltechnologien werden im Hause entwickelt und gepflegt. Dadurch wird jeder Schritt vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert, zur Optimierung von Qualität und Kosten.

Profitieren auch Sie als Kunde von der über 30-jährigen Erfahrung in der Mikro- und Nanopositionierung. Für OEM Kunden ist PI in der Lage, schnell auf die Entwicklungs- und Produktionsanforderungen auch hochkomplexer spezifischer Produkte und Baugruppen zu reagieren.



PI-Zentrale in Karlsruhe

## Forschung für die Industrie



Die INVENT GmbH ist 1996 als „Spin-Off“ des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), Institut für Strukturmechanik, Braunschweig, aus gegründet worden. Als anerkannter Partner der Luft- und Raumfahrt liefert die INVENT GmbH qualifizierte Prozesse von der Auslegung über die Konstruktion bis zur Fertigung – die Grundlagen für erfolgreiche Produktentwicklung. Die INVENT GmbH ist ein renommierter Engineering-Spezialist für Faserverbundtechnologien, der Strukturkomponenten von der ersten Idee über die Kompetenzfelder Strukturanalyse,

Bauweisenentwicklung bis hin zur Serienfertigung entwickelt. Ein weiteres Kompetenzfeld ist der Bereich Forschung und Entwicklung. Hier fokussieren sich die Aktivitäten auf Material- und Verfahrenstechnik sowie auf die Nachbearbeitung und Beschichtung von Faserverbundstrukturen. Das Qualitätsmanagementsystem der INVENT GmbH wurde im Mai 2005 nach DIN EN 9100 zertifiziert.



## Adaptronik – Industrielle Anwendungen der Zukunft

Für die moderne Industrie nimmt die Entwicklung selbst-anpassender, adaptiver Systeme zunehmend größeren Raum ein. Immer wichtiger werden dabei intelligente Werkstoffe, so genannte „Smart Materials“, die sowohl sensorische als auch aktive Eigenschaften besitzen. Damit stellen sie geänderte Umfeldbedingungen wie zum Beispiel Stoß-, Druck- oder Biegebeanspruchungen fest und reagieren darauf.

Zu den adaptiven Werkstoffen gehören bereits seit längerer Zeit Piezoaktoren, die vor allem in der Überwachung und aktiven Dämpfung von hochfrequenten Schwingungen eingesetzt werden. Eine kompakte Lösung bieten die neuartigen piezoelektrischen DuraAct™ Flächenwandler.

Unmittelbar auf einem Substrat angebracht oder strukturell integriert, erkennen und erzeugen sie Vibrationen oder

Konturverformungen im Bauteil selbst. Die Größe der Verformung ist dabei stark von den Substrateigenschaften abhängig und geht bis in den Millimeterbereich.

## Piezoelektrische Multitalente: DuraAct™ Flächenwandler

Als piezoelektrische Bauelemente überführen die DuraAct™ Flächenwandler (auch Patch Wandler oder Patch Transducer) elektrische Spannung in mechanische Energie und umgekehrt. Sie können sowohl als Biegewandler, präzise Stellglieder, hochdynamische Sensoren oder auch als Energieerzeuger eingesetzt werden.

DuraAct™ Flächenwandler sind extrem kompakt. Grundlage ist eine dünne piezokeramische Folie, die mit elektrisch leitendem Material zur elektrischen Kontaktierung bedeckt und anschließend in einen duktilen Polymerverbundstoff eingebettet wird. Die an sich spröde

Piezokeramik wird dadurch mechanisch vorgespannt und elektrisch isoliert und ist so robust, dass sie sogar auf gekrümmten Oberflächen mit Biegeradien bis zu 20 mm aufgebracht werden kann. Die Wandler werden einfach auf das entsprechende Substrat aufgeklebt und können so für vielfältige Einsatzmöglichkeiten genutzt werden.

Auch bei hoher dynamischer Belastung stellt die Bauweise eine hohe Schadenstoleranz, Zuverlässigkeit und Lebensdauer von über  $10^9$  Zyklen sicher. Verschleiß und Störanfälligkeit sind sehr gering, da die Wandler als Festkörperak-



DuraAct™ Flächenwandler können auf gekrümmte Flächen mit Biegeradien bis 20 mm aufgeklebt werden

toren keine beweglichen Teile enthalten.

## Miniatur-Generator für energieautarke Systeme

Ein Anwendungsbereich für die DuraAct™ Flächenwandler ist das „Energy Harvesting“. Durch die Umsetzung mechanischer Schwingungen bis zu

einigen Kilohertz in elektrische Spannung können elektrische Leistungen bis in den Milliwattbereich erzeugt werden. Diese Leistung dient dann der Ener-

gieversorgung kleinster elektronischer Bauteile wie Dioden, Sensoren oder auch Mini-sendern zur Datenfernübertragung.

# Kundenspezifische Ausführungen für jede Anwendung

Die Konzeption der DuraAct™ Technologie erlaubt eine flexible Gestaltung der Wandler. Dadurch wird die DuraAct™ Technologie auch für Forschung und Prototyping interessant. Neben einem Angebot von Standardkomponenten können individuelle und maßgeschneiderte Bauformen nach Kundenwunsch realisiert werden. Die Wandler können so an geometrische Randbedingungen, Anforderungen an Flexibilität und Biegsamkeit oder verschiedene Umgebungstemperaturen angepasst werden.

DuraAct™ Flächenwandler werden in der Regel aus einer piezokeramischen Schicht auf-

gebaut. Alternativ können jedoch auch mehrlagige Elemente angeboten werden. Bei gleich bleibender Betriebsspannung wird so die Kraftwirkung beim Einsatz als Aktor gesteigert. Bei einer getrennten Kontaktierung der einzelnen Schichten bietet sich die

Möglichkeit, eine Schicht sensorisch und die andere aktorisch zu nutzen. In diesem Fall ist der Wandler zeitgleich als Aktor und Sensor einsetzbar. So ist es möglich, die Wandler gezielt an eine Aufgabe anzupassen oder ganze Modulfelder aus mehr als einer

Keramik herzustellen. Diese spezifischen Produkte sind schon bei einer geringen Stückzahl effektiv umsetzbar.



Beispiele für verschiedene anwendungsspezifische Module

# Maßgeschneiderte Steuerelektronik

Abhängig von der Applikation stellen sich unterschiedliche Anforderungen an die Elektronik. So ist beispielsweise für den Einsatz als hochdynamische und äußerst präzise Stellglieder eine rauscharme und breitbandige Verstärkerelek-

tronik nötig. Die aktive Vibrationsdämpfung wiederum erfordert eine schnelle Regelung mit angepassten Bandbreiten, damit in enger Kopplung mit der Masse der zu dämpfenden Konstruktion ein definierter zeitlicher Kraftverlauf erzeugt wird.

PI bietet die passenden hochauflösenden Verstärkermodule für DuraAct™ Flächenwandler, wobei eine Anpassung an die anwendungsspezifischen Erfordernisse jederzeit möglich ist.

## Die Vorteile der DuraAct™ Flächenwandler im Überblick

hohe Schadenstoleranz		individuelle Lösungen
flexible Wahl der Materialien und Geometrien		applizierbar auf gekrümmte Flächen
definierte mechanische und elektrische Randbedingung		kostengünstig
kurzfristige Verfügbarkeit		gleichbleibende geprüfte Qualität
kompakte Bauweise		einfache Handhabung
hohe Lebensdauer		Einsatz als Aktuator, Sensor oder Energieerzeuger
variable Einsatzfrequenz		Multilayermodule z.B. als Aktuator-Sensor-Kombination
		große Keramikverformung möglich

# Anwendungsbeispiele

## Sensorik

- Kombiniert man den piezoelektrischen Sensor mit einer Regelung, kann man beispielsweise in der Schwingungsdämpfung sehr gute Ergebnisse erzielen. Das Sensorsignal steuert dann eine Dämpfung (extern).
- DuraAct™ Flächenwandler können im Bereich der Strukturüberwachung, auch bekannt als „Structural Health Monitoring“ (SHM) eingesetzt werden. Hier wird die funktionale und strukturelle Integrität durch die Struktur selbst, bzw. in die Struktur eingebettete Module erfasst.
- DuraAct™ Flächenwandler sind ausgezeichnet geeignet für schnelle Schaltanwendungen. Die Hysterese der Piezoauslenkung ist in diesem Fall nebensächlich.

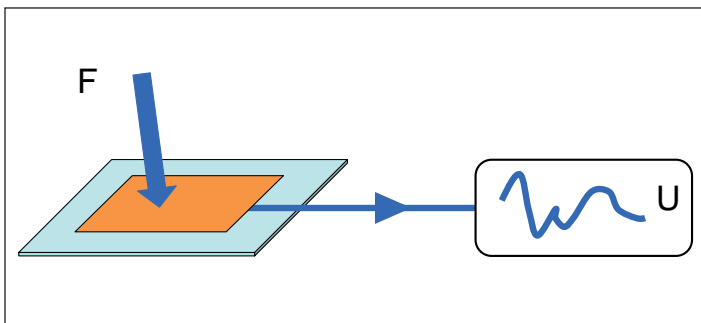


Abb. 1a: Dies ist die klassische Anwendung des direkten piezoelektrischen Effekts. Kleinste Verformungen des Substrats verursachen eine Bewegung des DuraAct™ Flächenwandlers und erzeugen ein elektrisches Signal, das der Auslenkung proportional ist. Damit können präzise und hochdynamisch Deformationen festgestellt werden, die beispielsweise durch Biege- oder Druckbeanspruchungen hervorgerufen werden.

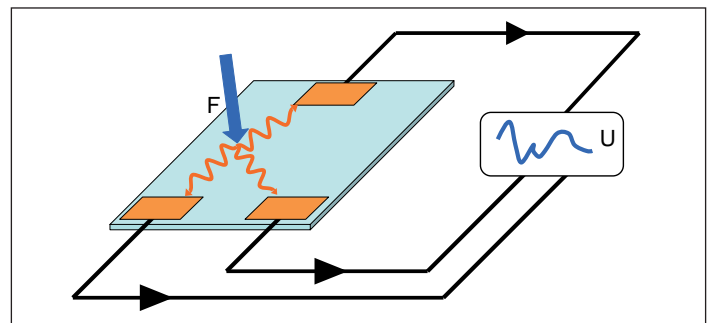


Abb. 1b: Dasselbe Prinzip kann auch auf ein Feld mehrerer Module angewendet werden.

## Aktorik

Durch die hohe Bandbreite der DuraAct™ Flächenwandler bis in den Kilohertzbereich eignen sie sich zusammen mit geeigneter Elektronik (z. B. E-413.D2 von PI) als hochdynamische präzise Stellelemente mit Sub-Mikrometergenauigkeit.

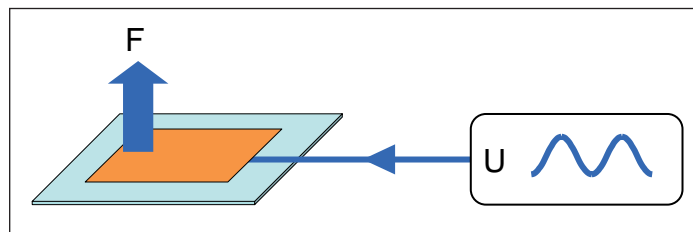


Abb. 2: Die Aktorik macht sich den inversen piezoelektrischen Effekt zunutze: Der DuraAct™ Flächenwandler kontrahiert beim Anlegen einer elektrischen Spannung. Durch die Aufbringung auf ein Substrat arbeitet der Piezoaktor hier als Biegewandler.

## Schaden-Strukturüberwachung (SHM)

Ganze Bauteilbereiche lassen sich aktiv überwachen, indem beispielsweise ein Feld von mehreren Modulen verteilt auf einer Oberfläche aufgebracht wird. Die Struktur kann – in Erweiterung der rein sensorischen Anwendung – auch aktiv überwacht werden, indem ein Teil der Wandler als Aktor wirkt, während andere Module als Sensor diese selbst erzeugten Wellen aufnehmen. Störungen

innerhalb des Strukturmaterials, wie zum Beispiel Mikrorisse, werden durch den Vergleich mit Referenzsignalen des ungeschädigten Systems erkannt.

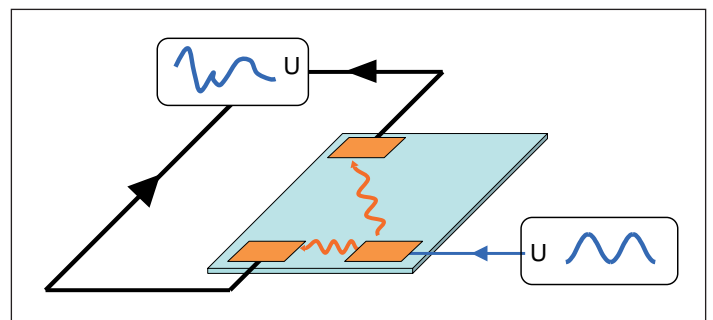


Abb. 3: Ein Beispiel zum Aufbau eines Health Monitoring Systems: Ein DuraAct™ Flächenwandler wird von einem elektronischen Verstärker angesteuert (aktorisches Funktion) und regt Schwingungen im Substrat an. Ein Feld weiterer Wandler überträgt die Signale an eine Kontrollelektronik. Der Vergleich mit Referenzsignalen des ungeschädigten Systems erlaubt dann Rückschlüsse auf den Zustand des Substrats.

# Anwendungsbeispiele

## Selbstanpassende Systeme kombinieren Sensorik und Aktorik

- **Aktive Schwingungsdämpfung:** Hier arbeitet der DuraAct™ Flächenwandler sowohl als hochpräziser Sensor als auch als leistungsstarker Aktor und detektiert und dämpft die Schwingungen wie sie unerwünscht z. B. bei rotierenden Bauteilen auftreten. Das DuraAct™ Sensorsignal kann dabei auch phasenverschoben als Spannungsversorgung desselben DuraAct™ Moduls verwendet werden. Mehrschichtige Keramikaufbauten ermöglichen höhere Effizienz.
- **Form-Stabilisierung:** Die Sensorfunktionalität ermöglicht die Erkennung einer Verformung, die Ansteuerung als Aktor wirkt ihr entgegen. Die Konturverformung ist dabei hochpräzise bis in den Sub-Mikrometerbereich.

### Adaptronik

Für den Einsatz in adaptiven Strukturen ist die sensorische und aktorische Verwendbarkeit der DuraAct™ Flächenwandler ein wichtiges Merkmal. Diese intelligenten Bauteile reagieren auf wechselnde Betriebs- und Umgebungsbedingungen wie Stoß, Biegung oder Druck. Insbesondere werden adaptive Bauelemente zur Schwingungskontrolle im Fahrzeugbau und zunehmend auch im Maschinenbau eingesetzt.

## Energieerzeugung – Energy Harvesting

- DuraAct™ Flächenwandler dienen als Energieerzeuger für elektronische Bauelemente mit geringem Energiebedarf, sowohl für aktive Elemente wie beispielsweise Sensoren, als auch für passive Bauelemente. Damit sind energieautarke Systeme entwickelbar. Ein Spezialgebiet der Strukturüberwachung (SHM) ist das „Wireless Health Monitoring“. Hier wird der DuraAct™ Flächenwandler als Sensor zur Deformationskontrolle eingesetzt und kann zusätzlich noch die Energieversorgung für einen Sender zur Fernüberwachung von Werkstoffen liefern.
- DuraAct™ Flächenwandler können als Energieerzeuger bestehende Lösungen zur Energieversorgung ersetzen.

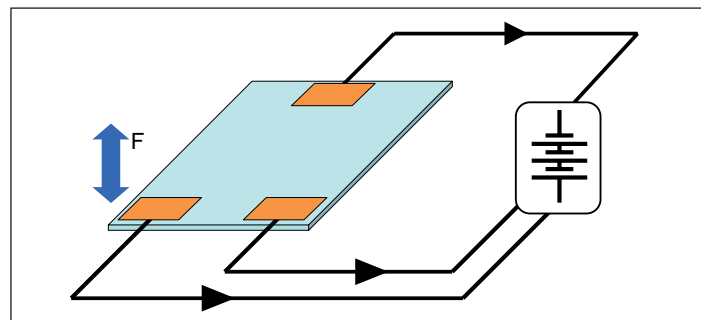
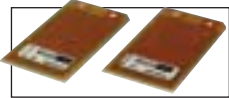


Abb. 4: Die Fähigkeit der DuraAct™ Wandler, die aufgenommene mechanische Energie in elektrische Spannung umzusetzen, macht sie auch ideal geeignet zur Spannungsversorgung für elektronische Bauteile und ermöglicht so den Aufbau energieautarker Systeme.

# Modellauswahl

## DuraAct™ Flächenwandler



Modell	Abmessung L x W x T [mm]	Masse [g]	Aktive Fläche [cm <sup>2</sup> ]	Kapazität [nF]	Min./Max. Ansteuer- spannung [V]	Laterale Kontraktion/ elektrische Spannung [μm/m/V]	Freie laterale Kontraktion S <sub>0</sub> [μm/m]	Max. Blockierkraft F <sub>B</sub> [N]	E-Modul [GPa]
P-876.A11	61 x 35 x 0,4	2,1	15	150	-50 bis 200	1,6	450	90	16,4
P-876.A12	61 x 35 x 0,5	3,5	15	90	-100 bis 400	1,3	650	265	23,3
P-876.A15	61 x 35 x 0,8	7,2	15	45	-250 bis 1.000	0,64	800	775	34,7

## In Vorbereitung

Modell	Abmessung L x W x T [mm]	Masse [g]	Aktive Fläche [cm <sup>2</sup> ]	Kapazität [nF]	Min./Max. Ansteuer- spannung [V]	Laterale Kontraktion/ elektrische Spannung [μm/m/V]	Freie laterale Kontraktion S <sub>0</sub> [μm/m]	Max. Blockierkraft F <sub>B</sub> [N]	E-Modul [GPa]
P-876.A22	113 x 35 x 0,5	6,5	30	180	-100 bis 400	1,3	650	265	23,3
P-876.A42	113 x 67 x 0,5	12,5	60	360	-100 bis 400	1,3	650	527	24,2
P-876.A25	113 x 35 x 0,8	13,5	30	90	-250 bis 1.000	0,64	800	775	34,7
P-876.A45	113 x 67 x 0,8	27,0	60	180	-250 bis 1.000	0,64	800	1.546	36,1
P-876.B12	61 x 55 x 0,5	5,5	25	150	-100 bis 400	1,3	650	438	24,5
P-876.B22	113 x 55 x 0,5	10,0	50	300	-100 bis 400	1,3	650	438	24,5
P-876.B42	113 x 107 x 0,5	20,0	100	600	-100 bis 400	1,3	650	873	25,1
P-876.B15	61 x 55 x 0,8	11,5	25	75	-250 bis 1.000	0,64	800	1.290	36,6
P-876.B25	113 x 55 x 0,8	21,5	50	150	-250 bis 1.000	0,64	800	1.290	36,6
P-876.B45	113 x 107 x 0,8	43,0	100	300	-250 bis 1.000	0,64	800	2.570	37,5
P-876.C12	81 x 30 x 0,5	4,0	17,5	10,5	-100 bis 400	1,3	650	220	22,7
P-876.C22	153 x 30 x 0,5	7,5	35	210	-100 bis 400	1,3	650	220	22,7
P-876.C42	153 x 57 x 0,5	15,0	70	420	-100 bis 400	1,3	650	440	23,8
P-876.C15	81 x 30 x 0,8	8,2	17,5	53	-250 bis 1.000	0,64	800	650	33,8
P-876.C25	153 x 30 x 0,8	16,0	35	105	-250 bis 1.000	0,64	800	650	33,8
P-876.C45	153 x 57 x 0,8	31,5	70	210	-250 bis 1.000	0,64	800	1.290	35,4
P-876.SP1	27 x 15 x 0,5	0,5	0,8	4,75	-	-	-	-	-

## Anwendungsspezifische Bauformen



Anwendungsspezifische Module

Dank des modularen Aufbaus der DuraAct™ Technologie ergibt sich eine Vielzahl von Optimierungsmöglichkeiten. Diese betreffen beispielsweise:

- Geometrie des Wandlers
- Flexibilität und Biegsamkeit
- Maximale Einsatztemperatur
- Isolationswerkstoff
- Gestaltung und Material der Elektroddierung
- Gestaltung der elektrischen Anschlüsse

# P-876

## DuraAct™ piezoelektrische Flächenwandler



P-876.A12 und P-876.A15 Wandler im Größenvergleich mit einem Golfball

- Einsatz als Aktor, Sensor oder Energieerzeuger
- Große Keramikverformung möglich
- Applizierbar auf gekrümmten Flächen
- Individuelle Lösungen
- Kostengünstig

P-876 DuraAct™ Flächenwandler vereinen die Funktionalität der Piezokeramik als Sensor- und Aktormaterial sowie als Ladungsgenerator und -speicher. Die aktorischen Eigenschaften ermöglichen beispielsweise die Verwendung von DuraAct™ als Biegeaktor oder sehr präzises Stellglied. Ebenso ist ein Einsatz als hochdynamischer Sensor oder als Energieerzeuger möglich.

### Optimale Integrierbarkeit, adaptive Systeme

Die kompakte Bauweise ermöglicht hierbei eine bauraumoptimierte Integration in die-

#### Anwendungsbeispiele

- Hochdynamische Aktorik
- Adaptive Systeme
- Aktive Schwingungs- und Schallisolierung
- Deformationskontrolle und Stabilisierung
- Schadensüberwachung
- Energieerzeugung
- Energieautarke Systeme

jenigen Bereiche einer Struktur, wo Verformungen effektiv erzeugt oder erfasst werden müssen. Dabei können die Wandler sowohl an Oberflächen von Strukturen angebracht oder als fester Bestandteil innerhalb von Bauteilen integriert werden. Ganze Bauteilbereiche lassen sich aktiv überwachen, indem beispielsweise ein Feld von mehreren Modulen verteilt auf der Oberfläche aufgebracht wird.

In idealer Weise eignen sich DuraAct™ Flächenwandler für den Aufbau aktiver und adaptiver Systeme. Eingebettet in einem Regelkreis werden Schwingungen wirkungsvoll reduziert und Konturen bis in den Nanometer-Bereich kontrolliert.

### Robuster, kostengünstiger Aufbau für industrielle Anwendungen

Der laminare Aufbau aus piezokeramischer Platte und Polymermaterialien ermöglicht eine universelle Handhabung und wirkt als mechanische Vorspannung des PZT-Flächen-

aktors und gleichzeitig als elektrische Isolation. Die P-876 besitzen die Robustheit und hohe mechanische Stabilität eines Strukturmaterials.

### Energy Harvesting: Energieautarke Systeme auf kleinstem Raum

Ein Anwendungsbereich für die DuraAct™ Flächenwandler ist das „Energy Harvesting“. Durch die Umsetzung mechanischer Schwingungen bis zu einigen Kilohertz in elektrische Spannungen können elektrische Leistungen bis in den Milliwattbereich erreicht werden. Diese Leistung dient dann der Energieversorgung kleinster elektronischer Bauteile wie Dioden, Sensoren oder auch Minisender zur Datenfernüberwachung. DuraAct™ Flächenwandler können in einem hohen Maße individualisiert werden:

#### Bestellinformation

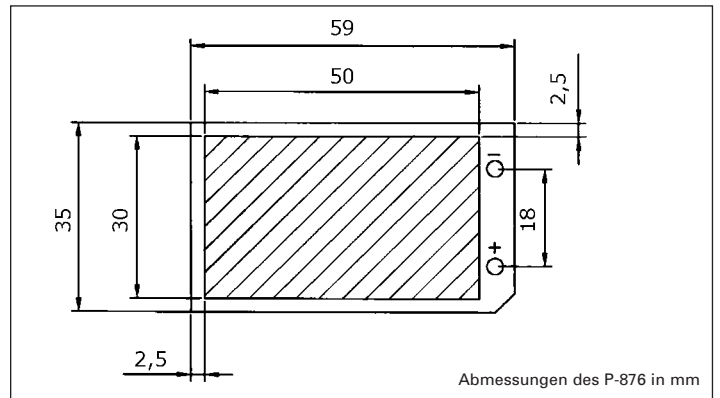
**P-876.A11**  
DuraAct™ Flächenwandler, 61 x 35 x 0,4 mm

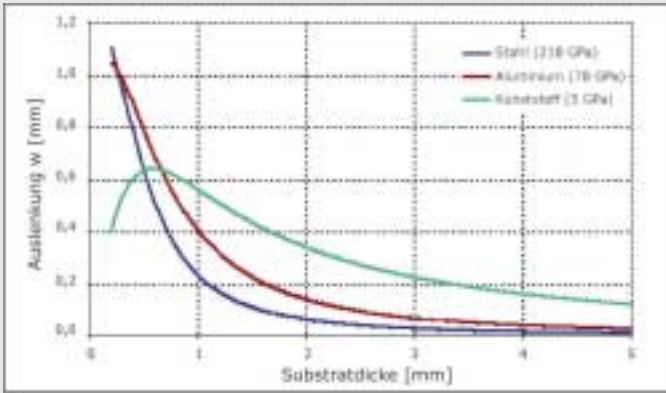
**P-876.A12**  
DuraAct™ Flächenwandler, 61 x 35 x 0,5 mm

**P-876.A15**  
DuraAct™ Flächenwandler, 61 x 35 x 0,8 mm

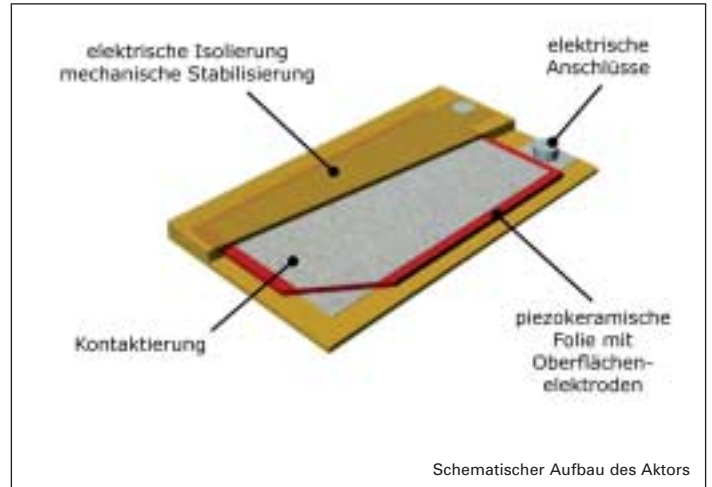
**Sonderausführungen auf Anfrage!**

- Flexible Wahl der Größe
- Flexible Wahl der Dicke und damit der Biegsamkeit
- Flexible Wahl des piezokeramischen Materials und damit der Einsatztemperatur
- Die Gestaltung der elektrischen Anschlüsse
- Kombinierte Aktor/Sensor-Applikationen, auch mit mehreren Piezokeramikschieben.





Auslenkung  $w$  eines P-876.A15 Biegewandlers über der Substratdicke für unterschiedliche Materialien. Ein Biegewandler besteht aus einem einseitig auf einem Substrat applizierten Aktor. Bei Kontraktion des Aktors kommt es zu einer Auslenkung  $w$



Schematischer Aufbau des Aktors

**Technische Daten**

	P-876.A11	P-876.A12	P-876.A15	Toleranzen
Betriebsspannungsbereich	-50 bis +200 V	-100 bis +400 V	-250 bis +1000 V	
<b>Bewegung und Positionieren</b>				
Laterale Kontraktion, unregelt	400 $\mu\text{m}/\text{m}$ 1,6 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{V}$	650 $\mu\text{m}/\text{m}$ 1,3 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{V}$	800 $\mu\text{m}/\text{m}$ 0,64 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{V}$	min.
<b>Mechanische Eigenschaften</b>				
Blockierkraft	90 N	265 N	775 N	
Länge	61 mm	61 mm	61 mm	$\pm 0,5$ mm
Breite	35 mm	35 mm	35 mm	$\pm 0,5$ mm
Dicke/Höhe	0,4 mm	0,5 mm	0,8 mm	$\pm 0,05$ mm
Biegeradius	12 mm	20 mm	70 mm	max.
<b>Antriebseigenschaften</b>				
Keramiktyp	PIC 252 Dicke: 100 $\mu\text{m}$	PIC 255 Dicke: 200 $\mu\text{m}$	PIC 255 Dicke: 500 $\mu\text{m}$	
Elektrische Kapazität	150 nF	90 nF	45 nF	$\pm 20\%$
<b>Anschlüsse und Umgebung</b>				
Betriebstemperaturbereich	-20 bis +150 (180) °C	-20 bis +150 (180) °C	-20 bis +150 (180) °C	
Masse	2,1 g	3,5 g	7,2 g	$\pm 5\%$
Spannungsanschluss	Lötpunkte	Lötpunkte	Lötpunkte	
Empfohlene Controller/Verstärker	E-413.D2	E-413.D2	E-508	

# E-413

## Kompakte Piezoverstärker für DuraAct™ Flächenwandler und PICA™ Shear Aktoren



OEM-Verstärkermodul E-413.D2 für piezokeramische DuraAct™ Flächenwandler

- Spitzenleistung bis 50 W
- OEM-Modul und Tischgerät für PICA™ Shear Scherpiezoaktoren
- OEM-Modul für piezoelektrische DuraAct™ Flächenwandler

Die rauscharmen E-413 Verstärkermodule sind für den Betrieb von Piezoaktoren mit bipolarer Spannungsversorgung ausgelegt und werden in verschiedenen Ausführungen angeboten. Die Version E-413.D2 ist für den Betrieb der piezoelektrischen DuraAct™ Wandler P-876.A12 konzipiert und bietet eine Spitzenleistung von 50 W im Spannungsbereich von -100 bis +400 V. Das Tischgerät E-413.00 sowie das baugleiche OEM-Modul E-413.OE können Spitzenströme bis zu 100 mA abgeben und aufnehmen, was dem Standardbereich für PICA™ Shear Aktoren von PI bei -250 bis +250 V entspricht.

### Spannungsgeregelter Betrieb

E-413 Verstärkermodule bieten eine sehr präzise Steuerung von Scher- und Biege-Piezoaktoren im statischen und dynamischen Betrieb.

Die Ausgangsspannung wird wahlweise manuell mit einem externen Offset-Potentiometer (nicht im Lieferumfang) exakt

eingestellt oder über ein analoges Eingangssignal gesteuert, das um den Faktor 50 verstärkt wird.

### Steuerung über PC

Optional ist die analoge Steuerung vom PC aus über D/A-Wandler möglich. Für bestimmte D/A-Wandlertypen von National Instruments bietet PI einen vollständigen LabVIEW™ Treibersatz an. Dieser ist kompatibel zum PI General Command Set (GCS), der für alle neuen Controller von PI verfügbar ist. Der Treibersatz beinhaltet als weitere Option die patentierte HyperBit™ Funktionalität, mit der eine Auflösung höher als die der D/A-Karte erreicht werden kann.

### Betrieb / Lieferumfang

Zum Betrieb des E-413 genügt eine unipolare stabilisierte Spannung von 24 V. Ein integrierter DC/DC-Wandler erzeugt die Piezo-Betriebsspannung und alle anderen intern benötigten Versorgungsspan-

nungen. Alle Eingänge und Ausgänge werden über die 32-polige Steckerleiste geführt. Ein passendes Gegenstück ist im Lieferumfang enthalten.

Beachten Sie die Hinweise zu Piezoverstärkern, Seite 6-52 im PI Hauptkatalog.

**Bestellinformation**

**E-413.D2**  
Piezoverstärker für DuraAct™ Flächenwandler, -100 bis +400 V

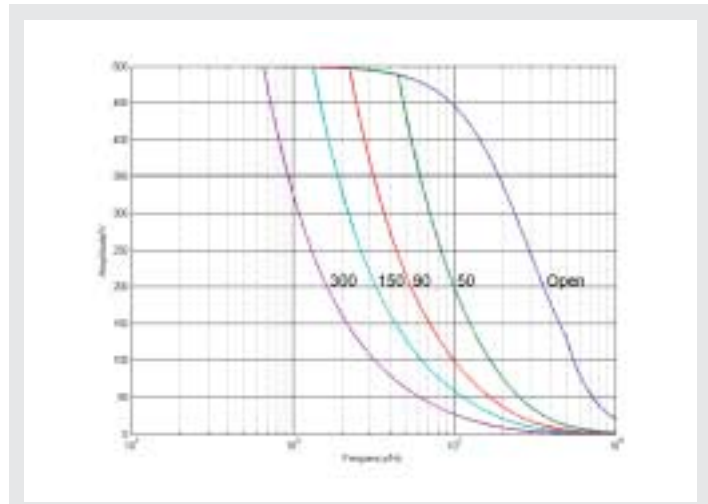
**E-413.00**  
Piezoverstärker für PICA™ Shear Aktoren, -250 bis +250 V, Tischgerät

**E-413.OE**  
Piezoverstärker für PICA™ Shear Aktoren, -250 bis +250 V, OEM-Modul

**Zubehör:**

**E-500.ACD**  
CD mit Treibersatz für analoge Controller

**E-500.HCD**  
HyperBit™ Funktionalität zur Erhöhung der Auflösung



E-413: Aussteuergrenzen mit verschiedenen Piezolasten, Kapazitätswerte in nF



OEM-Verstärkermodul E-413.00 (mit Kühlkörper) für PICA™ Shear Piezoaktoren



### Technische Daten

	E-413.00	E-413.OE	E-413.D2
Funktion	Leistungsverstärker für PICA™ Shear Piezoaktoren, Tischgerät	Leistungsverstärker für PICA™ Shear Piezoaktoren, OEM-Modul	Leistungsverstärker für piezokeramische DuraAct™ Flächenwandler
<b>Verstärker</b>			
Eingangsspannungsbereich	-5 bis +5 V	-5 bis +5 V	-2 bis 8 V
Ausgangsspannungsbereich	-250 bis 250 V	-250 bis 250 V	-100 bis 400 V
Verstärkerkanäle	1	1	1
Spitzenausgangsleistung	50 VA	50 VA	50 VA
Dauerausgangsleistung	<12 VA	<12 VA	<6 VA
Spitzenstrom	100 mA	100 mA	100 mA
Dauerausgangsstrom	24 mA	24 mA	12 mA
Strombegrenzung	kurzschlussfest	kurzschlussfest	kurzschlussfest
Spannungsverstärkung	50 ±0,1	50 ±0,1	50 ±0,1
Welligkeit, Rauschen, <10 kHz	100 mV <sub>p,p</sub> (100 nF Last)	100 mV <sub>p,p</sub> (100 nF Last)	100 mV <sub>p,p</sub> (100 nF Last)
Verstärkerauflösung	<10 mV	<10 mV	<10 mV
Eingangsimpedanz	100 kΩ	100 kΩ	100 kΩ
<b>Schnittstellen und Bedienung</b>			
Piezoanschluss	Conec Sub-D 5W1 mit HV-Kontakt (Rückseite)	DIN 41612, 32-pol. (Rückseite)	DIN 41612, 32-pol. (Rückseite)
Analogeingang	SMB-Stecker (Rückseite)	DIN 41612, 32-pol. (Rückseite)	DIN 41612, 32-pol. (Rückseite)
<b>Umgebung</b>			
Betriebstemperaturbereich	+5°C bis +50°C (10% Leistungsverlust über 40°C)	+5°C bis +50°C (10% Leistungsverlust über 40°C)	+5°C bis +50°C (10% Leistungsverlust über 40°C)
Abmessungen	220 x 105 x 54 mm	14TE / 3HE	7TE / 3HE
Masse	1,14 kg	0,8 kg	0,4 kg
Betriebsspannung	24 V / 2 A	24 V / 2 A	24 V / 1 A
Leistungsaufnahme	48 W	48 W	24 W

# Tutorium

## Funktionsprinzip

Das Wort „Piezo“ ist vom griechischen Wort für „Druck/Pressen“ abgeleitet. 1880 entdeckten Jacques und Pierre Curie, dass mechanischer Druck in Quarzkristallen eine Trennung der elektrischen Ladungen erzeugt; sie nannten dieses Phänomen den „Piezoeffekt“. Später stellten sie fest, dass elektrische Felder piezoelektrische Materialien verformen können. Dieser Effekt wird der „inverse Piezoeffekt“ genannt.

Der direkte Piezoeffekt wird für die Sensorik angewendet, während der inverse Piezoeffekt die aktorische Anwendung beschreibt.

Piezokeramische Platten, die in DuraAct™ Flächenwandlern zum Einsatz kommen, gleichen in ihrem Aufbau einem Kondensator. Die Keramik wirkt dabei als Dielektrikum zwischen den beiden metallisierten Oberflächen der Keramik, welche die Elektroden darstellen. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung bildet sich ein elektrisches Feld, dessen Feldlinien senkrecht durch die Keramik verlaufen. Dies bewirkt eine um 90° zu den Feldlinien versetzte Kontraktion der Keramik, sodass sich der Aktor gleichmäßig in der Ebene zusammenzieht (Abb. 1). Dieses Verhalten wird als piezoelektrischer Quereffekt ( $d_{31}$ -Effekt; Abb. 2) bezeichnet.

Die elektrische Feldstärke bestimmt dabei die Kontraktion der Keramik. Dies ermöglicht eine einfache Ansteuerung der Module. Durch eine unkomplizierte Klebung wird diese Verformung effektiv auf Strukturbauteile übertragen. Dabei erfolgt die Kraftübertragung flächig durch Schub und nicht

an diskreten Punkten wie bei konventionellen Aktoren. Massive Krafteinleitungsstellen werden somit überflüssig. Umgekehrt werden Deformationen der Struktur durch den Wandler in elektrische Ladung umgesetzt, wodurch das Element als Sensor oder Energieerzeuger verwendet werden kann.

Die Reaktion auf eine Änderung des elektrischen Feldes oder auf eine Verformung erfolgt extrem schnell. Dadurch können Schwingungen bis in den Kilohertzbereich erzeugt oder aber gemessen werden. Je nach verwendeter Keramik und deren Abmessung ergeben sich für verschiedene Aktoren andere Werte in Bezug auf die Ansteuerspannung und Kontraktion. Der Zusammenhang zwischen Verformung und Ansteuerspannung ist nicht linear. Eine typische hysteresebehaftete Spannungs-Dehnungskurve ist in Abbildung 3 dargestellt.

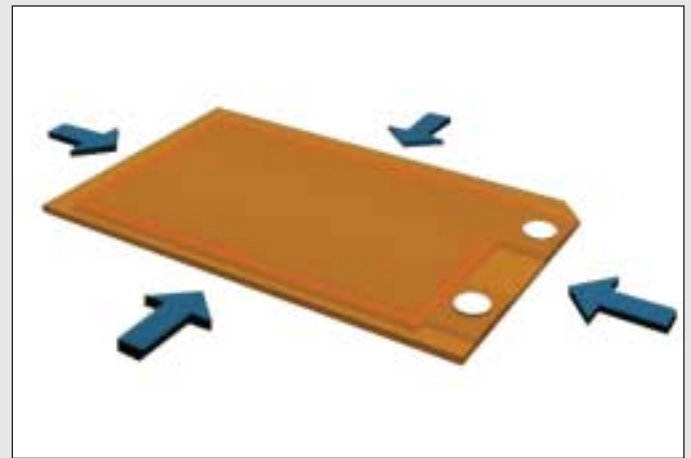


Abb. 1: Kontraktion in der Ebene

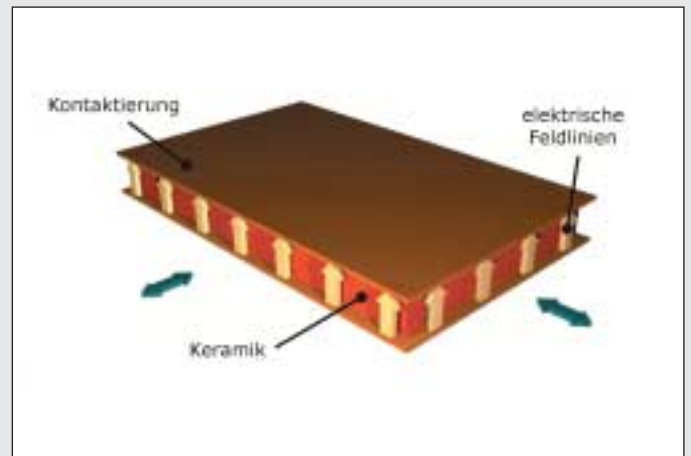


Abb. 2:  $d_{31}$ -Effekt

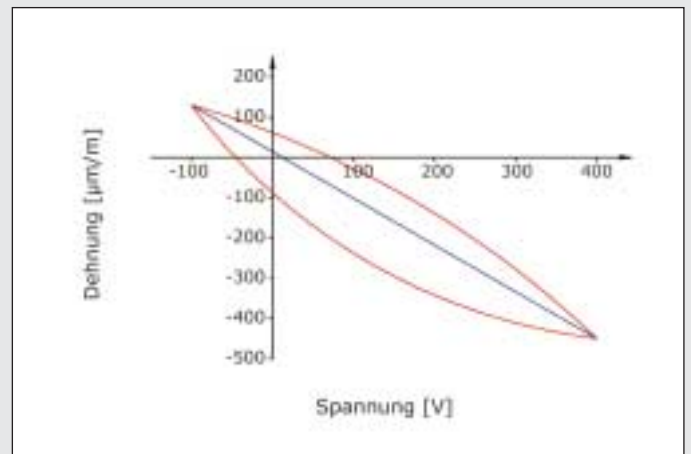


Abb. 3: Hysteresekurve

## Technologie

DuraAct™ Flächenwandler wirken sowohl als Sensoren mit variabler Bandbreite, die auf mechanische Verformung wie Stoß, Biegung oder Druck reagieren, als auch als hochpräzise Stellglieder / Biegeaktoren.

In der Regel besteht der Aufbau aus einer piezokeramischen Schicht mit metallisierten Oberflächen zur elektrischen Kontaktierung (Abb. 4). Die piezokeramischen Folien haben eine Dicke von typischerweise 200 bis 500 µm, wobei auch noch dünnere Schichten möglich sind. Ohne weitere Bearbeitungsschritte sind diese Platten sehr bruchempfindlich und nur schwer zu handhaben. Das Einbetten in einen Polymerwerkstoff dient sowohl der elektrischen Isolierung als auch der mechanischen Stabilisierung. Das Ergebnis ist ein extrem robustes Modul, das dehnbar und verformbar ist.

## Das Arbeitsdiagramm

Die aktorischen Eigenschaften piezokeramischer Wandler werden im Wesentlichen durch zwei Kenngrößen beschrieben: Die Blockierkraft ( $F_B$ ) und die freie Auslenkung ( $S_0$ ). Wird der unbehinderte (freie) Aktor mit einer Spannung  $U$  angesteuert, so erreicht er seine maximale Auslenkung  $S_0$ . Die Kraft, die notwendig ist, den maximal ausgelenkten Aktor wieder auf seine ursprüngliche Länge zurückzudrücken, wird als Blockierkraft  $F_B$  bezeichnet (Abb. 5).

Werden beide Kennwerte in ein Diagramm eingetragen und mit einer Linie verbunden ergibt sich das Arbeitsdiagramm des Aktors (Abb. 7). Die Verbindungslinie wird als

Alternativ können die DuraAct™ Flächenwandler auch aus mehreren Keramiksichten aufgebaut werden, wodurch sich eine bessere Kraftwirkung (Effektivität) bei gleicher Betriebsspannung ergibt.

DuraAct™ Flächenwandler sind Festkörperaktoren und besitzen keine beweglichen Teile. Verschleiß und Störanfälligkeit der Wandler sind somit gering. Der elektrische Anschluss wird über zwei Kontaktstellen realisiert, an denen je nach Anwendung Leitungen gelötet, geklebt oder geklemmt werden können. Eine Trennung der Sensor/Aktor Funktionalität wird durch eine getrennte Kontaktierung mehrerer Schichten erreicht. In diesem Fall ist der Wandler gleichzeitig als Sensor und Aktor einsetzbar.

Arbeitsgerade bezeichnet. Aus dem Diagramm kann das Verhältnis der äußeren Kraft zur Auslenkung abgelesen werden. In den meisten Anwendungsfällen arbeitet der Aktor gegen eine elastische Struktur, etwa bei der Verformung einer Feder oder beim Verbiegen eines Bleches (Abb. 6). Soll der Aktor beispielsweise eine Feder verformen, wird die Kennlinie der Feder mit der Steifigkeit  $c_F$  in das Arbeitsdiagramm eingetragen. Der Schnittpunkt der Arbeitsgeraden mit der Kennlinie bezeichnet den Arbeitspunkt (Abb. 7). Am effektivsten arbeitet der Aktor, wenn der Arbeitspunkt auf der Mitte der Arbeitsgeraden liegt.

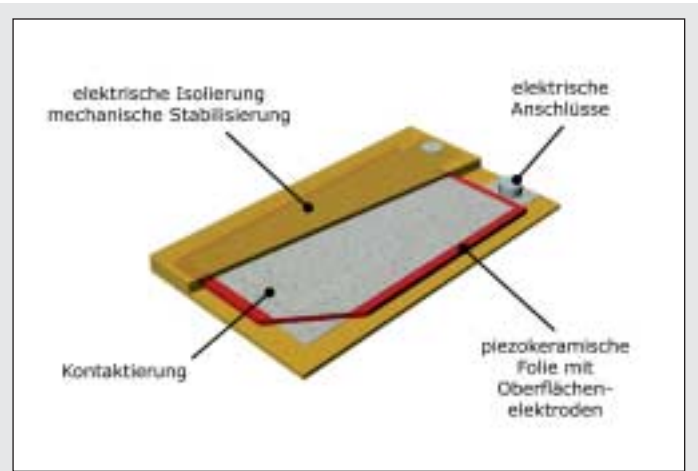


Abb. 4: Schematischer Aufbau eines DuraAct™ Flächenwandlers

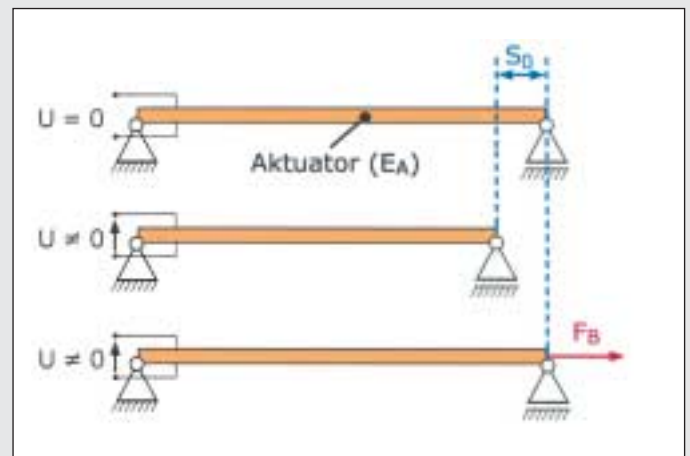


Abb. 5: Schematische Darstellung der Kenngrößenermittlung

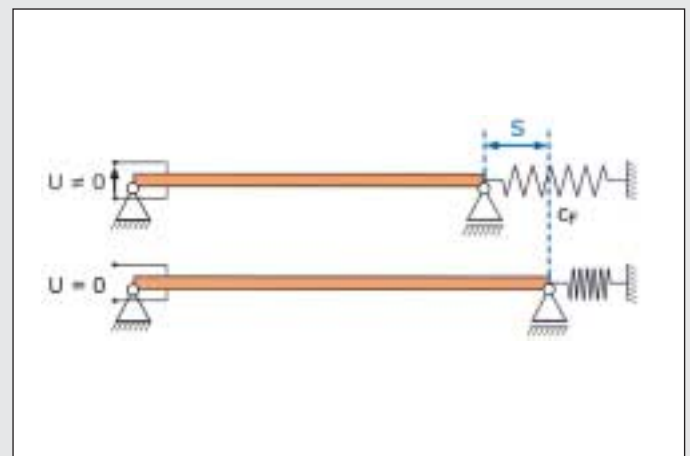


Abb. 6: Wirkung eines Aktors gegen eine Federkraft

## Biegewandler – Kenngrößen

Aktoren der DuraAct™ Familie werden in der Regel auf eine Struktur aufgeklebt und übertragen die Dehnung nicht punktuell, sondern flächig über eine Klebeschicht. In einer solchen Konfiguration arbeitet der Aktor als Biegewandler. Biegewandler werden in vielen Bereichen der Technik eingesetzt, bei denen es auf eine schnelle, präzise und reproduzierbare Hubbewegung ankommt. Beispiele dafür sind Textilmaschinen, Drucker oder Ventile. Da DuraAct™ Flächenwandler den piezoelektrischen Quereffekt nutzen, ziehen sie sich beim Anlegen eines elektrischen Feldes gleichmäßig zusammen. Dadurch krümmt sich der Biegewandler, wie in der Grafik dargestellt (Abb. 8). Die Krümmung des ungehinderten, freien Biegewandlers wird als freie Auslenkung  $W_0$  bezeichnet. Die Kraft, die benötigt wird, um die freie Auslenkung auf null zu reduzieren, ist die Blockierkraft des Biegewandlers  $F_{BW}$ . Diese Kraft  $F_{BW}$  ist deutlich geringer als die Blockierkraft  $F_B$  des freien

Wandlers. Analog zu den zuvor beschriebenen Zusammenhängen kann mit diesen beiden Kennwerten das Arbeitsdiagramm des Biegewandlers erstellt werden. Um die freie Dehnung  $W_0$  und die Blockierkraft  $F_{BW}$  abzuschätzen, können Diagramme verwendet werden, wie sie die Abbildung 9 und 10 zeigen. Die Diagramme zeigen beispielhaft die erreichbaren Auslenkungen und Kräfte in Abhängigkeit von der Dicke und Steifigkeit des verwendeten Substrats. Zur Erstellung der beiden Diagramme wurden Substrate mit einer Länge von 50 mm aus unterschiedlichen Materialien zugrunde gelegt, welche mit einem DuraAct™ Flächenwandler des Typs P-876.A15 bestückt sind. Zusammen mit dem Arbeitsdiagramm bilden die Biegewandlerdiagramme eine effektive Grundlage, um die Leistung und das Verhalten eines Aktors für einen spezifischen Einsatzfall abzuschätzen. Sie werden daher auf jedem Datenblatt angegeben.

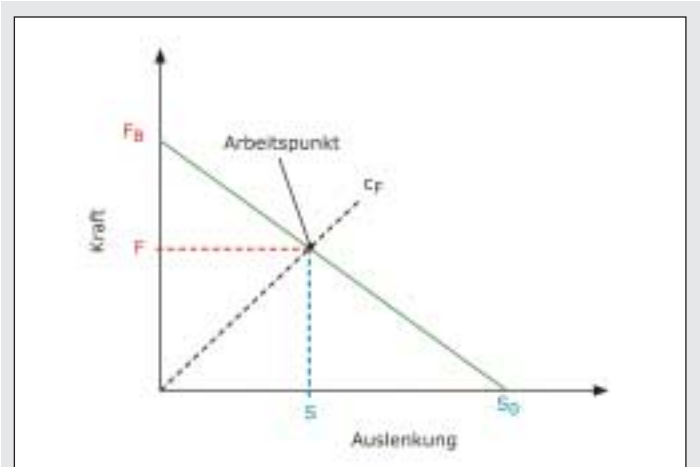


Abb. 7: Arbeitsdiagramm mit Federsteifigkeit

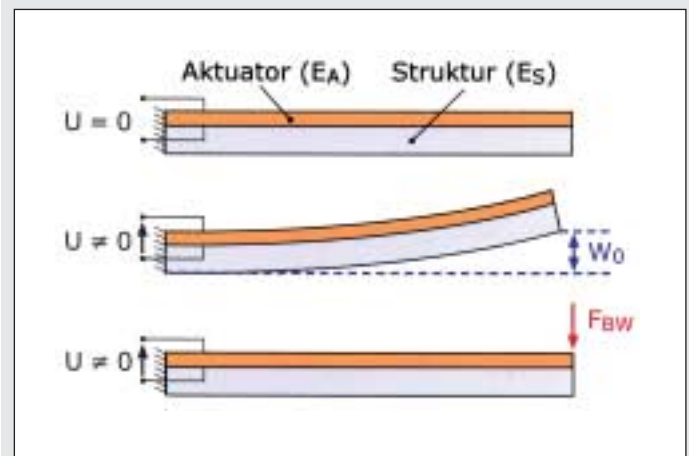


Abb. 8: Kennwerte des Biegewandlers

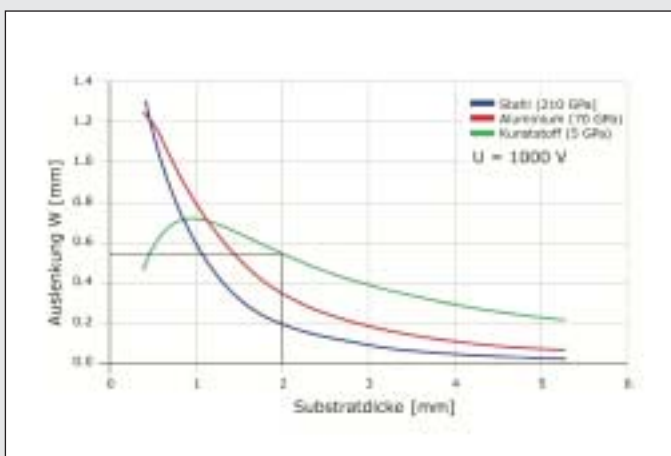


Abb. 9: Freie Durchbiegung eines Biegewandlers

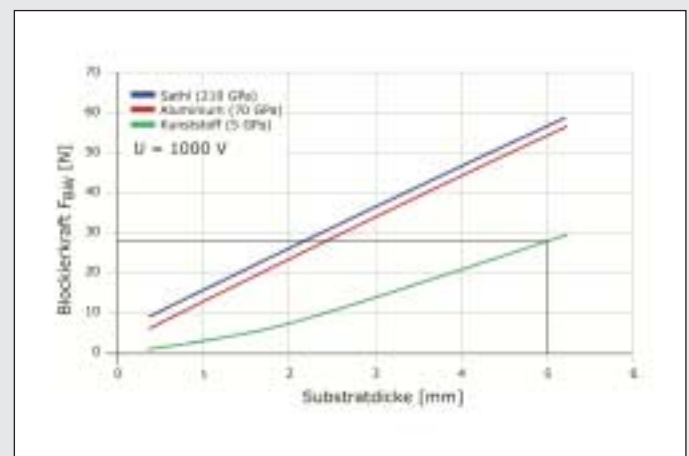


Abb. 10: Blockierkraft eines Biegewandlers

## Leistungsbedarf

Zur Abschätzung der zum Betrieb eines Aktors notwendigen elektrischen Leistung spielt die Kapazität des Wandlers eine wesentliche Rolle. Typische Kapazitätswerte von DuraAct™ Flächenwandlern liegen im Nanofarad-Bereich und werden jeweils in den Datenblättern angegeben.

Die Kapazität C ist dabei abhängig von Typ, Dicke und Fläche der verwendeten Piezokeramik. Zur Abschätzung der mittleren elektrischen Leistung  $P_m$  wird neben der Kapazität des Wandlers die der Spannungshub und die Ansteuerfrequenz benötigt.

$$P_m = C \cdot f \cdot U_h^2$$

f: Frequenz

$U_h$ : Spannungshub

Der maximale Leistungsbedarf  $P_{max}$  ergibt sich aus der Multiplikation mit der Kreiszahl:

$$P_{max} = P_m \cdot \pi$$

$\pi$ : Kreiszahl



Weitere Informationen zu piezokeramischen Materialien und Komponenten finden Sie in den PI Ceramic Katalogen oder im Internet ([www.piceramic.de](http://www.piceramic.de)). Weitere Informationen zu den Produktlinien von Physik Instrumente (PI) zur Mikro- und Nanopositionierung finden Sie im Hauptkatalog oder im Internet ([www.pi.ws](http://www.pi.ws)).

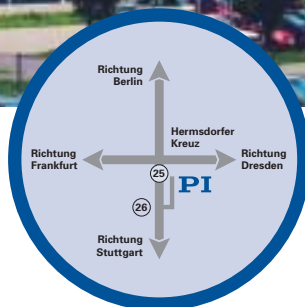
# Alle Wege führen zu PI

## PI Ceramic Lederhose



Einfach und schnell erreichbar liegt PI Ceramic direkt am Verkehrsknotenpunkt „Hermisdorfer Kreuz“ der A9 und der A4. Nur wenige Minuten von den Anschlussstellen Nr. 25 und Nr. 26 entfernt.

[www.piceramic.de](http://www.piceramic.de)

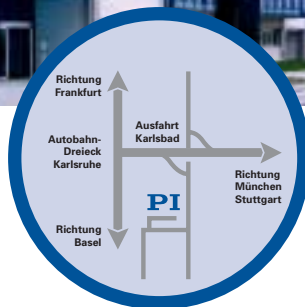


## PI Karlsruhe



Im Einzugsbereich der Flughäfen Frankfurt, Stuttgart und Straßburg, liegt PI verkehrsgünstig, nahe dem Autobahndreieck Karlsruhe, direkt an der A8, Ausfahrt Karlsbad.

[www.pi.ws](http://www.pi.ws)



## Stammsitz

### DEUTSCHLAND

**PI Ceramic GmbH**  
Lindenstr.  
D-07589 Lederhose  
Tel: +49 (36604) 882-0  
Fax: +49 (36604) 882-25  
info@piceramic.de  
www.piceramic.de

**Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG**  
Auf der Römerstr. 1  
D-76228 Karlsruhe/Palmbach  
Tel: +49 (721) 4846-0  
Fax: +49 (721) 4846-100  
info@pi.ws · www.pi.ws

## Niederlassungen

### USA (Ost) & KANADA

**PI (Physik Instrumente) L.P.**  
16 Albert St.  
Auburn, MA 01501  
Tel: +1 (508) 832 3456  
Fax: +1 (508) 832 0506  
info@pi-usa.us  
www.pi-usa.us

### USA (West) & MEXIKO

**PI (Physik Instrumente) L.P.**  
5420 Trabuco Rd., Suite 100  
Irvine, CA 92620  
Tel: +1 (949) 679 9191  
Fax: +1 (949) 679 9292  
info@pi-usa.us  
www.pi-usa.us

### JAPAN

**PI Japan Co., Ltd.**  
Akebono-cho 2-38-5  
Tachikawa-shi  
J-Tokio 190  
Tel: +81 (42) 526 7300  
Fax: +81 (42) 526 7301  
info@pi-japan.jp  
www.pi-japan.jp

**PI Japan Co., Ltd.**  
Hanahara Dai-ni Building, #703  
4-11-27 Nishinakajima,  
Yodogawa-ku, Osaka-shi  
J-Osaka 532  
Tel: +81 (6) 6304 5605  
Fax: +81 (6) 6304 5606  
info@pi-japan.jp  
www.pi-japan.jp

### CHINA

**Physik Instrumente (PI Shanghai) Co., Ltd.**  
Building No. 7-301  
Longdong Avenue 3000  
201203 Shanghai, China  
Tel: +86 (21) 687 900 08  
Fax: +86 (21) 687 900 98  
info@pi-china.cn  
www.pi-china.cn

### GROSSBRITANNIEN

**Lambda Photometrics Ltd.**  
Lambda House  
Batford Mill  
GB-Harpenden, Hertfordshire  
AL5 5BZ  
Tel: +44 (1582) 764 334  
Fax: +44 (1582) 712 084  
pi@lambdaphoto.co.uk  
www.lambdaphoto.co.uk

### FRANKREICH

**PI France S.A.S.**  
32 rue Delizy  
F-93694 Pantin Cedex  
Tel: +33 (1) 481 039 30  
Fax: +33 (1) 481 008 03  
pi.pic@polytec-pi.fr  
www.polytec-pi.fr

### ITALIEN

**Physik Instrumente (PI) S.r.l.**  
Via G. Marconi, 28  
I-20091 Bresso (MI)  
Tel: +39 (02) 665 011 01  
Fax: +39 (02) 665 014 56  
info@pionline.it  
www.pionline.it