

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken



Modellübersicht: Piezokippspiegel

Schnelle Kippspiegel / Plattformen, Aktive Optiken

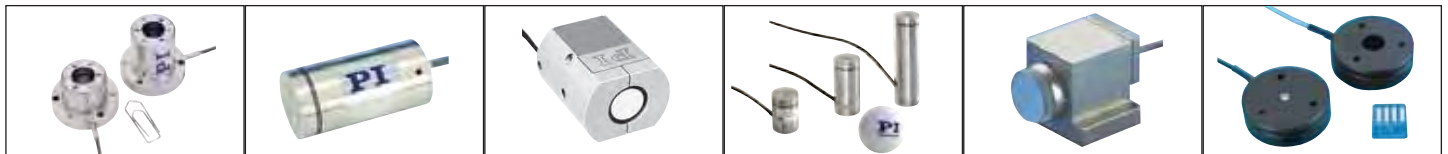
Piezogetriebene Kipp-Plattformen und Scanner (Kippspiegel, Strahlableiter, Phasenschieber) bieten eine größere Beschleunigung und dynamische Bandbreite als ähnliche Aktoren wie z.B. Voicecoil oder Galvoscaner. Alle Modelle verfügen über Festkörperführungen für rei-

bungsfreie Bewegung und bieten hervorragende Führungsgenauigkeit. Die Mehrachsen-Modelle sind parallelkinematisch aufgebaut mit Kippachsen in einer gemeinsamen Ebene. Ungeregelte und geregelte Versionen mit kapazitiven oder Dehnmessensoren sind verfügbar.

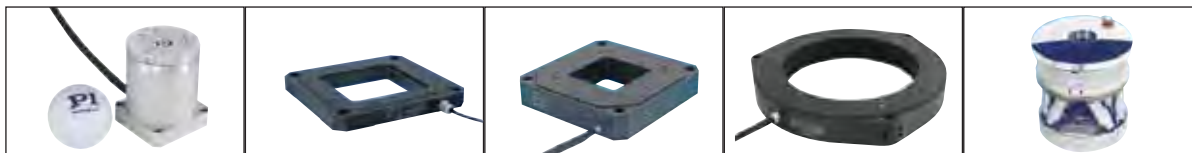
Kippspiegelsysteme von PI bieten eine Auflösung bis in den Nanoradianbereich und hervorragende Positionsstabilität. Optische Ablenkwinkel bis zu 120 mrad sind realisierbar mit sehr niedrigen Einschwingzeiten (Milli- bis zu Mikrosekunden). Sie sind ideal für den dynami-

schen Betrieb (z. B. für Scanning, Tracking, Drift- und Schwingungsunterdrückung) als auch für die quasistatische Positionierung von Proben oder Optiken.

Modelle	Beschreibung	Achsen	Kippwinkel / opt. Ablenkwinkel [mrad]	Linearer Stellweg [µm]	Sensor	Seite
S-310, S-316	Offene Apertur, 5 Varianten, geregelt/ungeregelt, Z-Aktoren und kombinierte Ausführungen, für Optiken bis zu 1 Zoll Ø	1 & 3	0,6 / 1,2 oder 1,2 / 2,4	6 / 12	DMS	2-94
S-325	3-Achs-System (Tripod), Z-Kipptisch für Optiken bis zu 1 Zoll Ø	3	5 / 10	30	DMS	2-92
S-334	Besonders kompakter 2-Achsen Kippspiegel, optischer Ablenkwinkel bis 120 mrad. 10 mm Spiegel inkl.	2	60 / 120 (~3,4° / 6,8°)		DMS	2-90
S-330	Hochdynamisches Kippsystem mit orthogonalen Achsen, für Optiken bis zu 2 Zoll Ø, drei Varianten	2	2 / 4, 5 / 10, 10 / 20	–	DMS	2-88
S-224, S-226	Spiegel inkl., kompakt, hochdynamisch, geregelt/ungeregelt	1	bis 2,2 / 4,4	–	DMS	2-96
S-303	Phasenschieber, hochpräzise, 25 kHz Resonanzfrequenz, optional mit Sensoren	1 (Z)	–	3	Kapazitiv	2-96
S-323	Z-Kipptisch, hochdynamisch	2	3 / 6	30	Kapazitiv	2-96
P-541.Z	Flache Z- und Z-Kipp-Plattform, 80 x 80 mm freie Apertur	3	1	100	Kapazitiv / DMS	2-44
P-528	Z- und Kipp-Piezotische, 66 x 66 mm freie Apertur	3	4	200	Kapazitiv	2-46
N-510	Z-Kipp-Nanopositionierplattform mit NEXLINE® Piezolinearantrieben, Tripod-Design	3	10 / 20	1300	Linearencoder	1-17



S-310, S-316 Z-Kipp-Plattformen mit Apertur S-325 Z-Kipp-Plattform S-334 2-Achsen Kippspiegelsystem, sehr große optische Ablenkung S-330 Kippspiegelsysteme, hochdynamisch, 1 Zoll Ø S-224, S-226 Kompakt, schnell, inkl. Spiegel S-303 Phasenschieber, 3 µm, Pikometer-Auflösung



S-323 Z-Kipp-Plattform mit kapazitiven Sensoren P-541.Z P-541.Z Flache Z-Kipp-Plattform mit großer Apertur P-528 P-541.Z Flacher Z-Kipp-Piezoversteller N-510 Z-Kipp Tripod Nanopositionierplattform Astronomie: Kipp-Plattform für den Sekundärspiegel, hohe Bandbreite, 8 Zoll Ø, plus 6-Achsen System mit langen Stellwegen

Weitere Kipp-Piezopositionierer S. 2-25 ff
Hinweise zu den technischen Daten S. 2-97 ff

Piezokippspiegel / Scanner: Grundlagen

Einachskipssysteme / Scanner

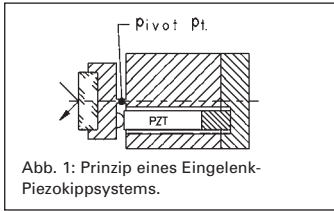


Abb. 1: Prinzip eines Eingelenk-Piezokippsystems.

Einachskipssysteme (θ_x) sind in zwei Ausführungen verfügbar:

I. Eingelenkkippsystem mit einem Piezoaktor

Beispiele: S-224 und S-226.

Die Plattform wird von einem Festkörpergelenk geführt und von einem Piezoaktor angetrieben (s. Abb. 1). Das Festkörpergelenk bildet den Drehpunkt und stellt gleichzeitig die Vorspannung zur Verfügung.

Vorteile der Eingelenkbauform sind einfache Konstruktion,

geringe Kosten und Baugröße. Für Anwendungen, die hohe Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich erfordern, wird ein differenzieller Piezoantrieb empfohlen.

II. Kippsystem mit differenziellem Piezoantrieb

Diese Konstruktion basiert auf zwei Piezoaktoren, die im Druck-/Zug-Betrieb die Plattform antreiben (s. Abb. 2). Dazu werden beide Aktoren elektrisch in einer Brücke betrieben, die mit einer festen Spannung versorgt ist und mit einer variablen Spannung gesteuert wird. Im Gehäuse sind reibungsfreie Festkörpergelenke integriert, die die Führung übernehmen.

Die differenzielle Bauform ermöglicht höchste Winkelstabi-

lität in einem breiten Temperaturbereich, weil Temperaturänderungen nur eine lineare Verschiebung der Plattform bewirken können. Bei positionsgeregelten Ausführungen ermöglicht die differenzielle Auswertung zweier Sensoren eine verbesserte Linearität und Auflösung.

Verschiedene Ein- und Mehrachsenbauformen sind möglich.

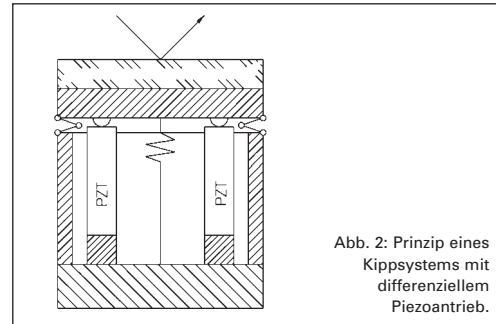


Abb. 2: Prinzip eines Kippsystems mit differenziellem Piezoantrieb.

Mehrachsenkippsysteme / Scanner

PI bietet zwei Standardbauformen an, beides Parallelkinematik-Konstruktionen. Diese Bauform hat gegenüber seriellen Systemen verschiedene Vorteile: Nur eine bewegte Plattform mit gemeinsamem Drehpunkt, höhere Dynamik sowie geringere Baugröße. Außerdem erreichen die Systeme eine höhere Linearität als durch Hintereinanderschalten von zwei Einachssystemen – z.B. Galvoscantern – realisierbar ist.

I. Kippsystem mit Dreibein-Piezoantrieb (Tripod)

Beispiele: S-316 und S-325. Die Plattform wird von drei in 120°-Abständen angeordneten Piezoaktoren angetrieben. Die Steuerung ist komplizierter als bei II, weil die Auslenkung jedes Piezoaktors sowohl die Achsen θ_x als auch θ_y beeinflusst. Durch Koordinatentransformation kann die Be-

wegung auf die einzelnen Aktoren aufgeteilt werden (s. Abb. 3).

Der Antrieb mit drei unabhängigen Piezoaktoren hat einen Vorteil gegenüber dem differenziellen Antrieb: Zusätzlich zur Kippung kann die Plattform auch linear bewegt werden, was z. B. zur Korrektur optischer Laufzeitunterschiede (Phasenschieber) wichtig ist. Der mögliche zentrale Durchgang ist ideal für Durchlichtanwendungen.

II. Kippsystem mit differenziellem Piezoantrieb

Beispiele: S-334 und S-330.

Die Plattform wird von zwei Paaren in 90° Abständen angeordneter Piezoaktoren angetrieben. Jedes Paar arbeitet im Druck- / Zug-Betrieb. Dazu werden die Aktoren elektrisch in einer Brücke betrieben, die mit einer festen Spannung versorgt ist und mit zwei variablen Spannungen gesteuert wird. Weil die Kippachsen θ_x und θ_y orthogonal ausgerichtet sind, ist keine Koordinatentransformation notwendig.

Die differenzielle Bauform bietet wie die Dreibeinkonstruktion eine optimale Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich. Bei positionsgeregelten Ausführungen ermöglicht die differenzielle Auswertung von je zwei Sensoren pro Achse eine verbesserte Linearität und Auflösung.

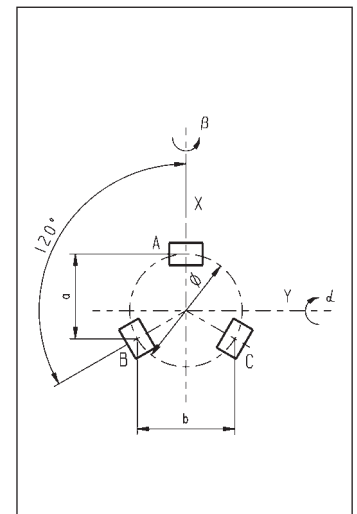


Abb. 3: Dreibein-Piezoantrieb: A, B, C ist die lineare Auslenkung der entsprechenden Aktoren.

$$\alpha = \frac{2A - (B+C)}{2a}$$

$$\beta = (B-C) / b$$

$$z = (A+B+C) / 3$$

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme / Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Dynamisches Verhalten

Die maximale Arbeitsfrequenz eines Piezokippsystems hängt stark von seiner mechanischen Resonanzfrequenz ab. Auch den Eigenschaften des Verstärkers, Reglers und Sensors kommt eine hohe Bedeutung zu. Um die effektive Resonanzfrequenz des Systems aus Plattform und Spiegel abzuschätzen, muss zuerst das Trägheitsmoment des Spiegelsubstrats berechnet werden.

Trägheitsmoment eines rotationssymmetrischen Spiegels:

$$I_M = m \left[\frac{3R^2 + H^2}{12} + \left(\frac{H}{2} + T \right)^2 \right]$$

Trägheitsmoment eines rechteckigen Spiegels:

$$I_M = m \left[\frac{L^2 + H^2}{12} + \left(\frac{H}{2} + T \right)^2 \right]$$

mit:

m = Spiegelmasse [g]

I_M = Trägheitsmoment des Spiegels [$g \cdot mm^2$]

L = Länge des Spiegels orthogonal zur Kippachse [mm]

H = Spiegeldicke [mm]

T = Abstand Drehpunkt Plattformoberfläche (s. technische Daten der einzelnen Modelle) [mm]

R = Spiegelradius [mm]

Mit der Resonanzfrequenz der Plattform (s. technische Daten) und dem Trägheitsmoment des Spiegelsubstrats ergibt sich die Systemresonanzfrequenz entsprechend folgender Gleichung:

Resonanzfrequenz eines Piezokippsystems mit Spiegel

$$f' = \frac{f_0}{\sqrt{1 + I_M/I_0}}$$

mit:

f' = Resonanzfrequenz der Plattform mit Spiegel [Hz]

f_0 = Resonanzfrequenz der Plattform ohne Spiegel [Hz]

I_0 = Trägheitsmoment der Plattform (siehe technische Daten) [$g \cdot mm^2$]

I_M = Trägheitsmoment des Spiegels [$g \cdot mm^2$]

Weitere Informationen zum statischen und dynamischen Verhalten von Piezoaktoren finden Sie im Kapitel „Tutorium: Grundlagen der Nanostechnik“ (S. 2-196 ff).



Kompletter PI Katalog:
<http://www.pi.de>

Spezialsysteme für die Astronomie

Teleskope verwenden Kippspiegel und Justiersysteme von PI



PI hat über die letzten Jahrzehnte hinweg verschiedene aktive Spiegel zur Bildstabilisierung in astronomischen Teleskopen entwickelt. Die Auflösung in erdgebundenen Teleskopen wird u. a. durch atmosphärische Turbulenzen und Vibrationen begrenzt. Piezotriebene Sekundärspiegel können durch aktives „Gegenhalten“ die effektive Auflösung eines Teleskopes um bis zu 1000% verbessern, besonders bei Langzeitaufnahmen schwacher Lichtquellen.

Momentenkompensation

Durch die Massenträgheit großer Spiegel und die hohen Beschleunigungen, die zur Bildkorrektur benötigt werden, können erhebliche Kräfte in die Teleskopstruktur eingeleitet werden und dort Vibrationen anregen. PI hat deshalb Spiegelsysteme mit integrierter aktiver Momentenkompensation entwickelt, die solche unerwünschten Vibrationen verhindern und damit einen deutlich besseren Stabilisierungseffekt erzielen als unkompensierte Systeme.



- ← Spiegeldurchmesser: 244 mm
- ← Piezotriebene Hub-Kipp-Plattform, $\mu\text{m}/\mu\text{rad}$
Reichweiten, nm/nrad
Auflösung
- ← Momentenkompensation
- ← Hexapod-Stellbereich: mm/deg,
Auflösung: $\mu\text{m}/\mu\text{rad}$
- ← Grundplattform

Aktiver Sekundärspiegel für NASA Infrared Teleskop Facility (IRTF) auf Mauna Kea, Hawaii, mit Hexapod 6-D-Justiersystem



Aktives Spiegelsystem für das Keck Outrigger Teleskop in Hawaii. Die Systeme werden von einem Hochleistungs-Digitalcontroller mit einem faseroptischen Interface (nicht gezeigt) gesteuert.
Spiegeldurchmesser: 250 mm
Kippbereich: $\pm 150 \mu\text{rad}$
Auflösung: Nanoradian-Bereich
Positionsmessung: kapazitiv



Hochauflösende Linearaktoren

273 Aktoren von PI steuern die Kipp- und Hubbewegungen der segmentierten Spiegelflächen im SALT Teleskop.

Rechnerische Auflösung 16 Nanometer, kleinste Schrittweite $0,15 \mu\text{m}$, nicht-drehendes Kopfstück, kompakter Aufbau.

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel /
Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalgig

Mehrkanalgig

Modular

Zubehör

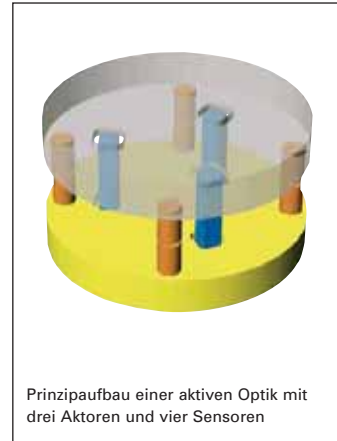
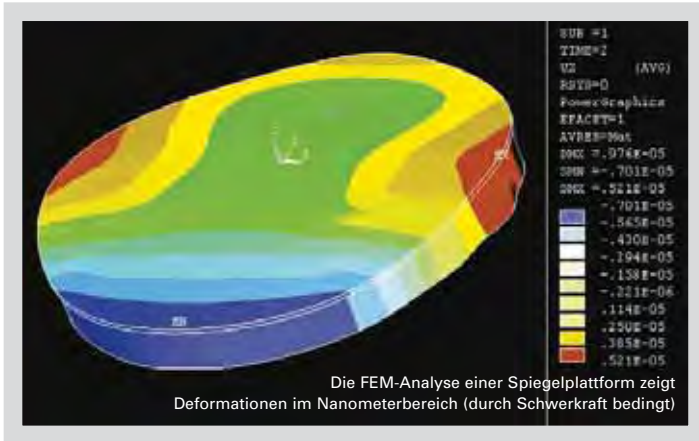
Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Aktive Optiken / Kippspiegelsysteme

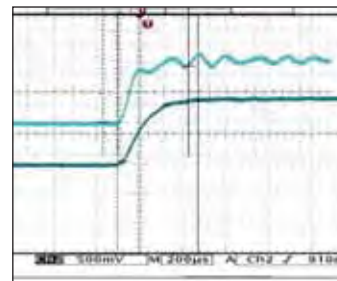


Warum Piezoantriebe für schnelle Kippspiegel?

- Schneller und präziser als konventionelle Antriebe
- Bessere Stabilität durch differentiellen Aufbau
- Steife mechanische Anbringung, nur ein Freiheitsgrad
- Kipp- und Hubbewegung
- Bis zu 50 cm im Durchmesser

Anwendungen schneller Kippsysteme

- Schnelle Strahlsteuerung, -korrektur, Schalten
- Erhöhung der Bildauflösung (Pixelmultiplikation, Dithering)
- Stabilisierung der optischen Weglängen
- Schwingungsunterdrückung (Lasersysteme, Bildverarbeitung)
- Bildstabilisierung
- Laserstrahl-Stabilisierung (Resonatoren, optische Aufbauten)
- Laserstrahl-Scanning (Lithographie, optische Aufbauten)
- Laserstrahl-Steuerung und -Tracking (Telekommunikation, Satelliten, etc.)
- Zieleinrichtungen
- Dynamische Fehlerkorrektur z. B. von Polygon-Scannern
- Massenspeichertest und Fertigung



Sehr schnelles Ansprechverhalten: nur 200 μ s für einen 0,2 μ rad Schritt, mit Standardverstärker (oben), optimiertem Verstärker (unten)



Kompletter PI Katalog:
<http://www.pi.de>

Messprotokolle für Piezosysteme

Das gute Gefühl, zu bekommen, was man erwartet



und thermisch isoliert, die Temperaturstabilität ist besser als 0,25 °C in 24 Stunden. Damit setzt PI die Standards in der Vermessung und Beschreibung von Nanopositionierprodukten.

Nanopositioniersysteme stellen in Anwendungen eine wesentliche und kostenintensive Komponente dar. Die Philosophie von PI ist daher, dass jedes System individuell getestet und auf die statistischen und dynamischen Parameter hin optimiert wird. Das Messprotokoll wird dem System zur Auslieferung beigelegt. Daher kann kundenseitig jederzeit nachvollzogen werden, wie die Leistungsfähigkeit des Systems bei der Auslieferung war und welche Systemkomponenten zusammen gehören. Für PI ist jeder einzelne Test und dessen Aufzeichnung ein Instrument der

Qualitätssicherung, so dass nur Nanopositioniersysteme das Haus verlassen, die innerhalb der zugesicherten Spezifikationen liegen.

PI investiert fortlaufend in die Verbesserung der Nachweismethoden und Testmittel um so noch höherwertige Systeme ausliefern zu können.

Da das Positioniersystem nicht genauer sein kann als das Testmittel, werden geregelte Nanopositioniersysteme ausschließlich mit hochwertigen kalibrierten Interferometern vermessen. Die Testlabore sind seismisch, elektromagnetisch

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel /
Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

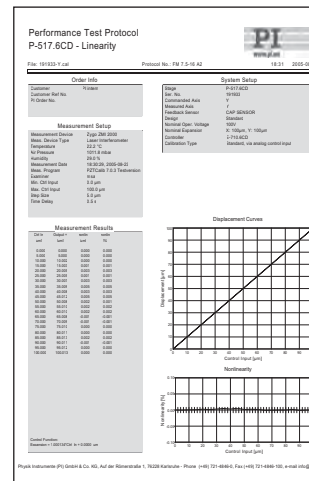
Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index



PI Nanopositioniersysteme werden vor der Auslieferung getestet, das Protokoll hierüber ist Teil des Lieferumfangs



Ein S-334 Piezokippspiegel mit langem Stellweg wird mit einem Moeller-Wedel Autokollimator vermessen



Test eines S-340 Kippspiegels mit einem Zygo Interferometer

S-330 Piezo Kipp-Plattform

Hochdynamisch, mit großen Ablenkwinkeln, für Spiegel und Optiken



S-330 Kippsysteme mit Ablenkwinkeln von 4, 10 und 20 mrad

- Auflösung bis 20 nrad, hervorragende Positionsstabilität
- Optischer Ablenkwinkel bis 20 mrad ($>1^\circ$)
- Höhere Genauigkeit und Dynamik durch Parallelkinematik
- Nur eine bewegte Plattform mit festem Pivorpunkt verhindert Änderung der Polarisationsrichtung
- Sub-Millisekunden Ansprechzeit
- Für Spiegel bis 50 mm Durchmesser
- Positionsgeregelte Versionen für bessere Linearität
- Hervorragende Temperaturstabilität

S-330 Kippssysteme/-Scanner erlauben hochdynamische und präzise Kippbewegungen der Deckplattform in zwei orthogonalen Achsen mit einem gemeinsamen Drehpunkt. Die reibungsfreien Piezoantriebe und

Festkörperführungen ermöglichen höhere Beschleunigungen als konventionelle Aktoren, und bieten dabei Ansprechzeiten im Millisekundenbereich. Es stehen drei Längenvarianten mit Kippwinkeln von bis zu 10 mrad (optischer Ablenkwinkel 20 mrad) zur Verfügung, die jeweils mit Positionssensoren für den geregelten Betrieb oder ohne Sensor als schnelle Scanner angeboten werden.

Parallelkinematischer Aufbau für bessere Stabilität, Linearität und Dynamik

Kippspiegelsysteme von PI basieren auf einer parallelen Kinematik mit nur einer beweg-

ten Plattform für alle Bewegungsrichtungen. Die 4 Aktoren werden dabei je nach Kipprichtung differenziell paarweise angesteuert. Das Resultat ist eine hervorragende Positions-/Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich. Im Vergleich zu Systemen mit je einem unabhängigen Versteller pro Kippachse, bietet die parallele Kinematik den Vorteil symmetrischer dynamischer Bewegungseigenschaften für alle Achsen, kürzerer Ansprechzeiten und besserer Linearität auf kompaktem Bauraum. Bei diesem Design tritt außerdem keine Änderung der Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts auf, anders als bei gestapelten einachsigen Systemen, z. B. Galvo-Scannern.

Schnelle piezokeramische Antriebe

Durch die Verwendung piezokeramischer Antriebe besitzen die über präzise gefertigte Festkörpergelenke geführten Kippssysteme höhere Beschleunigungen als andere Aktoren und ermöglichen Ansprechzeiten im Millisekundenbereich und darunter. Im Ruhezustand wird auch keine elektrische Energie in Wärme umgewandelt, was ein großer Vorteil für bildgebende Verfahren im Infrarotbereich ist.

Positionsgeregelter Betrieb

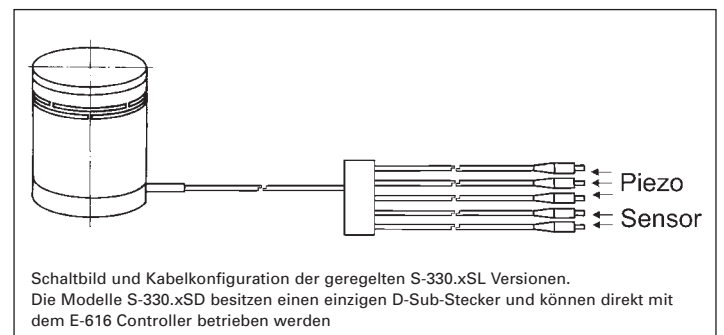
Hochauflösende, breitbandige Dehnmessstreifen-Sensoren

Bestellinformation	
S-330.2SL	Hochdynamisches Piezokippsystem, 2 mrad, DMS, LEMO Stecker
S-330.2SD	Hochdynamisches Piezokippsystem, 2 mrad, DMS, D-Sub Stecker
S-330.20L	Hochdynamisches Piezokippsystem, 2 mrad, unregelt, LEMO Stecker
S-330.4SL	Hochdynamisches Piezokippsystem, 5 mrad, DMS, LEMO Stecker
S-330.4SD	Hochdynamisches Piezokippsystem, 5 mrad, DMS, D-Sub Stecker
S-330.40L	Hochdynamisches Piezokippsystem, 5 mrad, unregelt, LEMO Stecker
S-330.8SL	Hochdynamisches Piezokippsystem, 10 mrad, DMS, LEMO Stecker
S-330.8SD	Hochdynamisches Piezokippsystem, 10 mrad, DMS, D-Sub Stecker
S-330.80L	Hochdynamisches Piezokippsystem, 10 mrad, unregelt, LEMO Stecker

(DMS) sind an einer geeigneten Stelle im Antriebsstrang integriert. Sie messen die Auslenkung des bewegten Verstellerteils und ermöglichen Auflösungen im Nanometerbereich. DMS-Sensoren sorgen für größtmögliche Positionsstabilität und schnelles Ansprechverhalten.

Anwendungsbeispiele

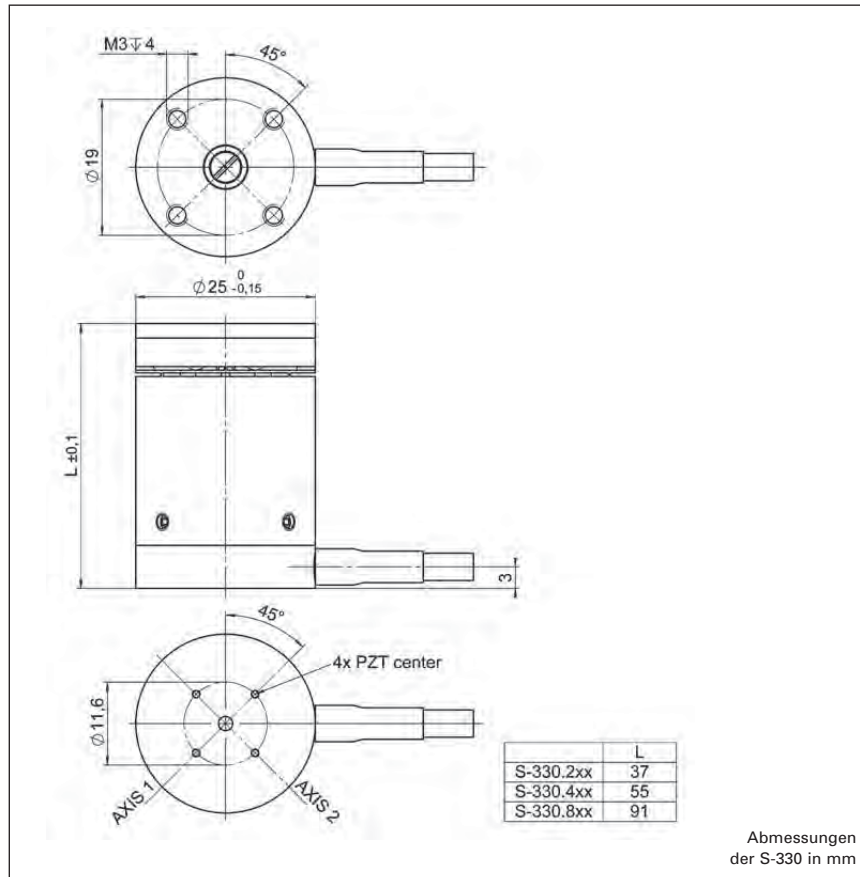
- Bildverarbeitung / -stabilisierung
- Interlacing, Dithering
- Laserscanning / -strahlsteuerung
- Optik
- Optische Filter / Schalter
- Strahlstabilisierung



© Physik-Instrumente (PI) GmbH & Co. KG 2009. Änderungen vorbehalten. Dieses Datenblatt verliert seine Gültigkeit mit Erscheinen einer neuen Revision. Die jeweils aktuelle Revision ist unter www.pi.ws zum Herunterladen verfügbar. Cat120D Inspirationen2009 09/02.10

Keramisch isolierte Piezoaktoren bieten überlegene Lebensdauer

Eine höchstmögliche Zuverlässigkeit ist durch die Verwendung der prämierten PICMA® Multilayer Piezoaktoren gesichert. PICMA® Aktoren sind als einzige vollkeramisch isoliert und somit vor Luftfeuchtigkeit und gegen Ausfälle durch erhöhten Leckstrom geschützt. Sie sind dadurch konventionellen Piezoaktoren in Zuverlässigkeit und Lebensdauer weit überlegen.



Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Technische Daten

Modell	S-330.2SL	S-330.4SL	S-330.8SL	S-330.2SD S-330.4SD S-330.8SD	S-330.20L S-330.40L S-330.80L	Einheit	Toleranz
Aktive Achsen	O_x, O_y	O_x, O_y	O_x, O_y	O_x, O_y	O_x, O_y		
Bewegung und Positionieren							
Integrierter Sensor	DMS	DMS	DMS	DMS	-		
Kippwinkel in O_x, O_y bei -20 bis +120 V, ungeregelt	3,5	7	15	wie SL Version	wie SL Version	mrad	min.
Kippwinkel in O_x, O_y , geregelt	2	5	10	wie SL Version	-	mrad	
Auflösung in O_x, O_y , ungeregelt	0,02	0,1	0,2	wie SL Version	wie SL Version	μ rad	typ.
Auflösung in O_x, O_y , geregelt	0,05	0,25	0,5	wie SL Version	-	μ rad	typ.
Linearität in O_x, O_y	0,1	0,2	0,25	wie SL Version	-	%	typ.
Wiederholgenauigkeit in O_x, O_y	0,15	0,5	1	wie SL Version	-	μ rad	typ.
Mechanische Eigenschaften							
Resonanzfrequenz unbelastet in O_x, O_y	3,7	3,3	3,1	wie SL Version	wie SL Version	kHz	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz belastet in O_x, O_y (mit Glasspiegel, Durchm. 25 mm, Dicke 8 mm)	2,6	1,6	1,0	wie SL Version	wie SL Version	kHz	$\pm 20\%$
Abstand Drehpunkt-Plattformoberfläche	6	6	6	6	6	mm	± 1 mm
Trägheitsmoment der Plattform	1530	1530	1530	1530	1530	$g \cdot mm^2$	$\pm 20\%$
Antriebseigenschaften							
Keramiktyp	PICMA®	PICMA®	PICMA®	PICMA®	PICMA®		
Elektrische Kapazität	3/Achse	6/Achse	12,5/Achse	wie SL	wie SL	μ F	$\pm 20\%$
Dynamischer Stromkoeffizient	0,22/Achse	0,4/Achse	0,8/Achse	wie SL	wie SL	μ A/(Hz \cdot mrad)	$\pm 20\%$
Anschlüsse und Umgebung							
Betriebstemperaturbereich	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	$^{\circ}$ C	
Material Gehäuse	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl		
Material Plattform	Invar	Invar	Invar	Invar	Invar		
Masse	0,2	0,38	0,7	wie SL Version	wie SL Version	kg	$\pm 5\%$
Kabellänge	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	m	± 10 mm
Sensor-/Spannungsanschluss	LEMO	LEMO	LEMO	D-Sub Stecker	LEMO		

Empfohlene Controller / Verstärker

Versionen mit LEMO Stecker: Modulares Piezocontroller-System E-500 (S. 2-142) mit Verstärkermodul E-503.00S (dreikanalig) (S. 2-146) oder 1 x E-505.00S und 2 x E-505 (hochdynamische Anwendungen) (S. 2-147) und E-509 Regler (S. 2-152) (optional)

Spannungsgeregelte: E-663 Dreikanalverstärker (S. 2-136)

Versionen mit D-Sub Stecker: E-616 Controller für Kippspiegelsysteme (S. 1-132)

S-334 Miniatur-Piezokippspiegel

Schneller Kippspiegel mit bis zu 120 mrad Ablenkwinkel



Schnelles S-334 Kippspiegelsystem/Scanner bietet optische Ablenkwinkel bis 120 mrad für zwei Achsen

- **Äußerst kompaktes Design**
- **Optischer Ablenkwinkel bis 120 mrad (ca. 6,8°)**
- **Nur eine bewegte Plattform mit festem Pivotpunkt verhindert Änderung der Polarisationsrichtung**
- **Spiegel bereits montiert**
- **Millisekunden Ansprechzeit, Auflösung bis 0,5 µrad**
- **Positionsregelung für hohe Genauigkeit**
- **Für Spiegel bis 12,5 mm (0,5") Durchmesser**
- **Spiefreie und hochgenaue Festkörperführungen**
- **Höhere Genauigkeit und Dynamik durch Parallelkinematik**

Die S-334 Kippspiegelsysteme/Scanner sind hochdynamische Kippspiegelsysteme mit kompaktem Parallelkinematik-Aufbau, bei dem zwei orthogonale

Achsen um einen festen gemeinsamen Pivotpunkt drehen. Dadurch sind sehr große Ablenkwinkel bei einer Auflösung im Sub-Mikroradianbereich möglich.

Hohe Dynamik bei großem Stellbereich

Ein neuartiges Antriebsdesign mit verringerter Trägheit ermöglicht trotz des außergewöhnlich großen mechanischen Kippbereiches von 60 mrad (50 mrad im positionsgeregelten Betrieb, das entspricht 100 mrad optischer Strahlablenkung) eine sehr geringe Ansprechzeit im Millisekundenbereich. Dies ist einzigartig für piezogetriebene Kippspiegelsysteme.

Sub-Mikroradian Auflösung

Neben dem großen Kippwinkel und der hohen Dynamik ermöglicht der S-334 Auflösungen im Sub-µrad Bereich. Durch integrierte hochauflösende DMS-Positionssensoren werden absolute Positionierungen mit hoher Linearität – typisch besser als 0,25% über den vollen Stellbereich – und hervorragender Wiederholbarkeit erreicht.

Differentieller Antrieb für erhöhte Stabilität und Dynamik

Die Kippspiegelsysteme S-334 basieren auf einer parallelen Kinematik mit nur einer bewegten Plattform für alle Bewegungsrichtungen. Die 4 Akto-

Bestellinformation

S-334.2SD

Hochdynamisches Piezokippsystem, 50 mrad, DMS, D-Sub Stecker, inkl. Spiegel

S-334.2SL

Hochdynamisches Piezokippsystem, 50 mrad, DMS, LEMO Stecker, inkl. Spiegel

ren werden dabei je nach Kipprichtung differenziell paarweise angesteuert. Das Resultat ist eine hervorragende Positions-/Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich.

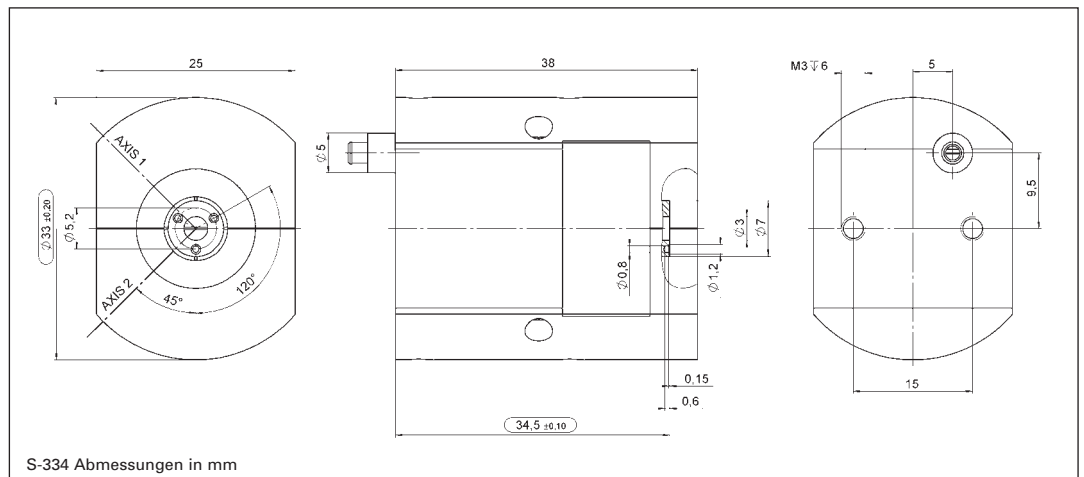
Im Vergleich zu Systemen mit je einem unabhängigen Versteller pro Kippachse, bietet die parallele Kinematik den Vorteil symmetrischer dynamischer Bewegungseigenschaften für alle Achsen, schnellerer Ansprechzeiten und besserer Linearität auf kompaktem Bau- raum. Bei diesem Design tritt außerdem keine Änderung der Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts auf, anders als bei gestapelten einachsigen Systemen, z.B. Galvo-Scannern.

Hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer

S-334 Systeme sind mit vorgespannten PICMA® Hochleistungs piezoaktoren ausgerüstet,

Anwendungsbeispiele

- **Bildverarbeitung / -stabilisierung**
- **Interlacing, Dithering**
- **Laserscanning / -strahlsteuerung**
- **Optik**
- **Optische Filter / Schalter**
- **Scanning Mikroskopie (SPM)**
- **Strahlstabilisierung**



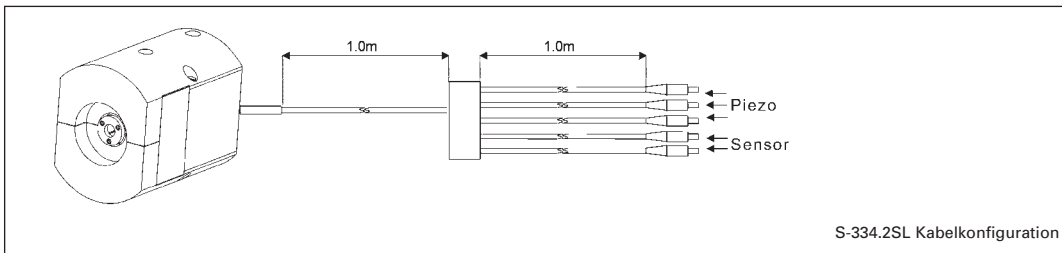
die in ein reibungsfreies Flexure-Führungssystem mit FEM-optimierten Festkörpergelenken integriert sind. Die vollkeramisch isolierten Aktoren übertreffen die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit konventioneller Piezokeramiken in dynamischen und statischen Anwendungen deutlich. Da Ak-

toren, Führung und Sensoren reibungs-, wartungs- und verschleißfrei sind, besitzen diese Systeme eine außergewöhnliche Zuverlässigkeit.

Spiegel bereits montiert

Der S-334 wird mit einem $\varnothing 10 \times 2$ mm Spiegel ausgeliefert (Ebenheit $\lambda/5$, $>98\%$ Reflek-

tivität von 500 nm bis 2 μm). Sonderbeschichtungen und Spiegel bis 12,5 mm Durchmesser sind auf Anfrage erhältlich.



Technische Daten

Modell	S-334.2SL	S-334.2SD	Einheit	Toleranz
Aktive Achsen	θ_x, θ_y	θ_x, θ_y		
Bewegung und Positionieren				
Integrierter Sensor	DMS	DMS		
Kippwinkel* bei -20 bis +120 V, unregelt	60	60	mrad	min. (+20%/-0%)
Kippwinkel*, geregelt	50	50	mrad	
Auflösung, unregelt	0,5	0,5	μrad	typ.
Auflösung, geregelt	5	5	μrad	typ.
Linearität	0,05	0,05	%	typ.
Wiederholgenauigkeit	5	5	μrad	typ.
Mechanische Eigenschaften				
Resonanzfrequenz belastet (mit Standardspiegel)	1,0	1,0	kHz	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz belastet (mit Glasspiegel, $\varnothing 12,5$ mm, Dicke 2 mm)	0,8	0,8	kHz	$\pm 20\%$
Belastbarkeit	0,2	0,2	N	Max.
Abstand Drehpunkt-Plattformoberfläche	6	6	mm	± 1 mm
Trägheitsmoment der Plattform	1530	1530	$\text{g} \cdot \text{mm}^2$	$\pm 20\%$
Standardspiegel (montiert)	$\varnothing 10$ mm, Dicke 2 mm; BK7, $\lambda/5$, R $>98\%$ ($\lambda = 500$ nm bis 2 μm)	$\varnothing 10$ mm, Dicke 2 mm; BK7, $\lambda/5$, R $>98\%$ ($\lambda = 500$ nm bis 2 μm)		
Antriebseigenschaften				
Keramiktyp	PICMA® P-885	PICMA® P-885		
Elektrische Kapazität	6	6	μF	$\pm 20\%$
Anschlüsse und Umgebung				
Betriebstemperaturbereich	-20 bis 80	-20 bis 80	$^{\circ}\text{C}$	
Material Gehäuse	Titan	Titan		
Masse	0,065	0,065	kg	$\pm 5\%$
Kabellänge	2	2	m	± 10 mm
Sensor- / Spannungsanschluss	LEMO Stecker	D-Sub Stecker 25-pol.		
Empfohlene Controller/ Verstärker	Modulares Piezocontroller-System E-500 (S. 2-144) mit Verstärkermodul E-503.00S (dreikanalig) (S. 2-146) oder 1 x E-505.00S und 2 x E-505 (hochdynamische Anwendungen) (S. 2-147) und E-509 Regler (S. 2-152) Spannungsgeregelt: E-663 Dreikanalverstärker (S. 2-136)	E-616 Controller für Kippspiegelsysteme (S. 2-132)		

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Die Auflösung von PI-Piezo-scannern ist nicht durch Reibung begrenzt. Angabe als Positionsauschen mit E-503 Verstärker. (S. 2-146)

*Mechanischer Winkel, die optische Strahlableitung beträgt 120 mrad für das geregelte System bzw. 100 mrad für das unregelte System.

S-325 Piezo Hub- und Kipp-Plattform Hochdynamisches Dreiachs-System für Spiegel und Optiken



S-325.30L Piezokippspiegel/Scanner

- **Optischer Ablenkwinkel bis 10 mrad, Auflösung bis 50 nrad**
- **Linearstellwege bis 30 µm (für Laufzeitanpassung)**
- **Kompaktes Dreibein Design: Parallelkinematik mit einer gemeinsamen Plattform erhält die Polarisationsrichtung**
- **Sub-Millisekunden Ansprechzeit**
- **Positionsgeregelte Versionen für erhöhte Präzision**
- **Für Optiken bis 25 mm (1") Durchmesser**
- **Spießfreie und hochgenaue Festkörperführungen**
- **Höhere Genauigkeit und Dynamik durch Parallelkinematik**

Die Kippssysteme / Aktoren der Serie S-325 ermöglichen hochdynamische und präzise Bewegungen der Plattform in zwei Kippachsen sowie hochauflösende Linearbewegungen mit Sub-Millisekunden Ansprech-

zeit. Sie basieren auf einem Parallelkinematik-Dreibein-Piezoantrieb (s. S. 2-83) und sind speziell für industrielle Anwendungen optimiert, bei denen mehr als 1.000.000.000 Zyklen ohne Leistungseinbußen er-

reicht werden müssen. Die Systeme sind für Spiegel und Optiken bis 25 mm Durchmesser ausgelegt und arbeiten in jeder Orientierung.

Der Dreibein-Antrieb ermöglicht optimale Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich. Im Vergleich zu Systemen mit je einem unabhängigen Versteller pro Kippachse, bietet die parallele Kinematik den Vorteil symmetrischer dynamischer Bewegungseigenschaften für alle Achsen, schnellerer Ansprechzeiten und besserer Linearität auf kompaktem Bauraum. Bei diesem Design tritt außerdem keine Änderung der Polarisationsrichtung des reflektierten Lichts auf, anders als bei gestapelten einachsigen Systemen, z. B. Galvo-Scannern.

Alle drei Piezoaktoren können individuell (für Hub-/Kipp-Bewegungen) oder parallel (für reine Hubbewegung) mit einer Dreikanalelektronik betrieben werden.

Hohe Auflösung, Stabilität und Dynamik

S-325 Systeme bieten einen mechanischen Kippbereich bis 5 mrad, was einer optischen Strahlablenkung von 10 mrad entspricht. Der Linearhub von 30 µm ist ideal für die Laufzeitanpassung optischer Signale.

Bestellinformation

S-325.3SD

Hochdynamisches Dreiachsen-Piezokippsystem, 5 mrad, 30 µm, DMS-Sensoren, D-Sub Stecker

S-325.3SL

Hochdynamisches Dreiachsen-Piezokippsystem, 5 mrad, 30 µm, DMS-Sensoren, LEMO Stecker

S-325.30L

Hochdynamisches Dreiachsen-Piezokippsystem, 5 mrad, 30 µm, ohne Sensoren, LEMO Stecker

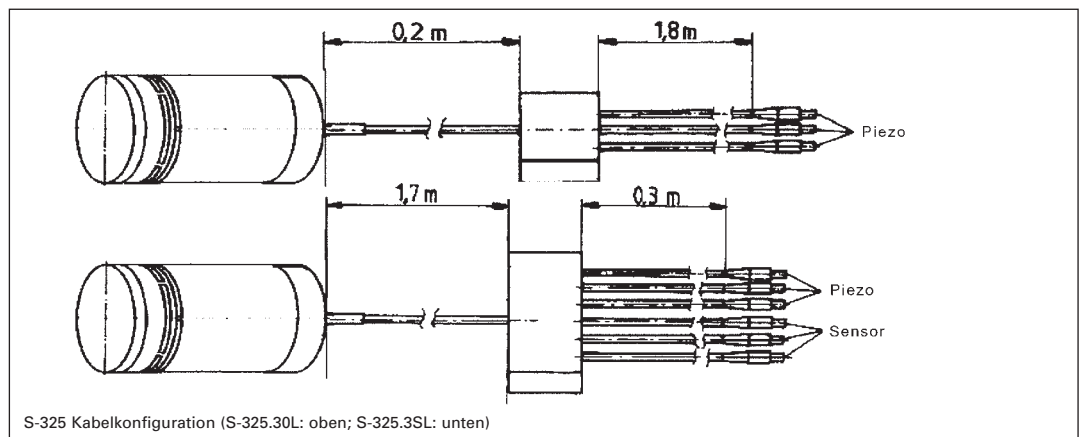
Die reibungsfreien Piezoantriebe und Festkörperführungen ermöglichen Linearauflösungen im Sub-nm Bereich und Winkelauflösungen im Sub-µrad Bereich.

Betrieb im offenen und geschlossenen Regelkreis

Im offenen Regelkreis verhält sich der Kippwinkel ungefähr proportional zur Piezospannung. Der S-325.30L ist daher ideal für hochauflösende Anwendungen geeignet, bei denen die absolute Winkelposition von untergeordneter Bedeutung ist (z. B. Tracking) oder durch einen externen Sensor (z. B. CCD) ermittelt wird. Das Modell S-325.3SL verfügt über integrierte hochauflösende DMS-Positionssensoren und ermöglicht absolute Positionierungen mit hoher Linearität

Anwendungsbeispiele

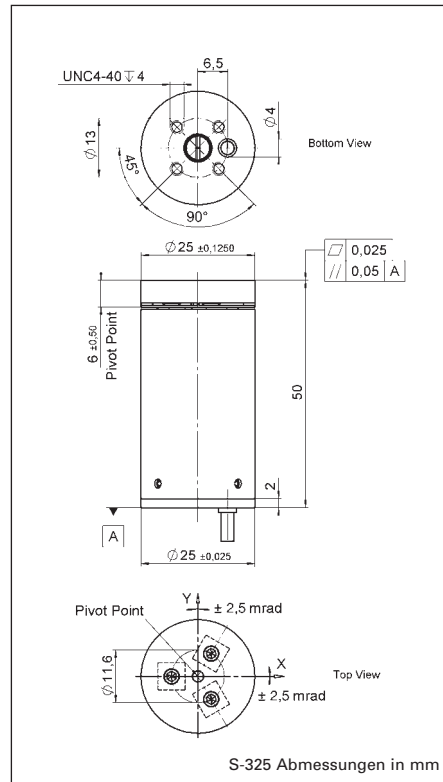
- Bildverarbeitung/-stabilisierung
- Optische Nano-Manipulation
- Laserscanning/-strahlsteuerung
- Lasertuning
- Optische Filter/Schalter
- Optik
- Strahlstabilisierung



und Wiederholbarkeit. Das neue E-616 Controller/Verstärker-Modul (s. S. 2-132) ist ideal geeignet zur Ansteuerung von Kippbewegungen bei OEM-Applikationen.

Hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer

Die S-325 Systeme sind mit vorgespannten PICMA® Hochleistungspiezoaktoren ausgerüstet, die in ein reibungsfreies Flexure-Führungssystem mit FEM-optimierten Festkörpergelenken integriert sind. Die vollkeramisch isolierten Aktoren übertreffen die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit konventioneller Piezokeramiken in dynamischen und statischen Anwendungen deutlich. Da Aktoren, Führung und Sensoren reibungs-, wartungs- und verschleißfrei sind, besitzen diese Systeme eine außergewöhnliche Zuverlässigkeit.



Technische Daten

Modell	S-325.30L	S-325.3SL	S-325.3SD	Einheit	Toleranz
Aktive Achsen	Z, θ_x , θ_y	Z, θ_x , θ_y	Z, θ_x , θ_y		
Bewegung und Positionieren					
Integrierter Sensor	–	DMS	DMS		
Stellweg in Z bei 0 bis +100V, ungerregelt	30	30	30	μm	min. (+20 %/0 %)
Kippwinkel bei 0 bis +100V, ungerregelt	5	5	5	mrad	min. (+20 %/0 %)
Stellweg in Z, geregelt	–	30	30	μm	
Kippwinkel θ_x , θ_y , geregelt	–	4	4	mrad	
Auflösung in Z, ungerregelt	0,5	0,5	0,5	nm	typ.
Auflösung θ_x , θ_y , ungerregelt	0,05	0,05	0,05	μrad	typ.
Auflösung in Z, geregelt	–	0,6	0,6	nm	typ.
Auflösung θ_x , θ_y , geregelt	–	0,1	0,1	μrad	typ.
Mechanische Eigenschaften					
Resonanzfrequenz unbelastet in Z	2	2	2	kHz	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz belastet in Z (25 x 8 mm Glasspiegel)	1	1	1	kHz	$\pm 20\%$
Abstand Drehpunkt-Plattformoberfläche	6	6	6	mm	$\pm 0,5$ mm
Trägheitsmoment der Plattform	515	515	515	$\text{g} \cdot \text{mm}^2$	$\pm 20\%$
Antriebs Eigenschaften					
Keramiktyp	PICMA® P-885	PICMA® P-885	PICMA® P-885		
Elektrische Kapazität	9,3	9,3	9,3	μF	$\pm 20\%$
Dynamischer Stromkoeffizient	39	39	39	$\mu\text{A}/(\text{Hz} \cdot \text{mrad})$	$\pm 20\%$
Anschlüsse und Umgebung					
Betriebstemperaturbereich	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	$^{\circ}\text{C}$	
Material Gehäuse	Aluminium	Aluminium	Aluminium		
Masse	0,065	0,065	0,065	kg	$\pm 5\%$
Kabellänge	2	2	1,5	m	± 10 mm
Sensor- / Spannungsanschluss	LEMO	LEMO	D-Sub		

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Für maximale Kippwinkel müssen alle drei Piezotranslatoren mit 50 V vorgespannt sein. Durch den Parallelkinematik-Aufbau sind der lineare Stellbereich und die Kippwinkel voneinander abhängig. Die angegebenen Werte sind Maxima für reine Linear- bzw. Kippbewegungen (Gleichungen S. 2-84).

Empfohlene Controller/Verstärker
Versionen mit LEMO Stecker:
Modulares Piezocontroller-System E-500 (S. 2-142) mit Verstärkermodul E-503.00S (dreikanalig) (S. 2-146) oder 1 x E-505.00S und 2 x E-505 (hochdynamische Anwendungen) (S. 2-147) und E-509 Regler (S. 2-152) (optional) Einkanalig (1 pro Achse):
E-610 OEM Controller/Verstärker (S. 2-110),
E-625 Controller Tischgerät (S. 2-114)
Versionen mit D-Sub Stecker:
E-616 Controller für Kippspiegelsysteme (S. 2-132), unterstützt beide Kippachsen, nicht aber die Z-Bewegung

S-310 – S-316 Piezo Hub- und Kippscanner Hochdynamisches System mit Apertur



S-310.10, S-316.10
Piezosysteme zum
Scannen und für die
Optik- und Spiegeljustage

- 10 mm freier Durchgang
- Dreibein-Piezoantrieb
- Optischer Ablenkwinkel bis 2,4 mrad
- Linearstellwege bis 12 μm (Phasenschieber)
- Sub-ms Ansprechzeit sowie Sub- μrad Auflösung
- Positionsgeregelte Versionen für erhöhte Präzision
- Für Optiken, Spiegel oder andere Komponenten
- Spielfreie und hochgenaue Festkörperführungen
- Höhere Genauigkeit und Dynamik durch Parallelkinematik

S-310 bis S-316 sind hochdynamische und präzise Linearaktoren und Scanner, die Sub-Mikroradian Auflösung und Sub-Millisekunden Ansprechzeit ermöglichen. Sie basieren auf einem Parallelkinematik Dreibein-Piezoantrieb und erlauben mechanische Kippwinkel bis 1,2 mrad, was einer opti-

schen Strahlablenkung von 2,4 mrad entspricht. Der Linearhub von bis zu 12 μm ist ideal für die Laufzeitanpassung optischer Signale. Der Dreibein-Antrieb ermöglicht optimale Winkelstabilität in einem breiten Temperaturbereich.

Die Systeme sind für Spiegel und Optiken bis 25 mm Durchmesser ausgelegt und arbeiten in jeder Orientierung. Durch den freien Durchgang sind sie auch hervorragend für Durchlichtanwendungen (z.B. optische Filter) geeignet.

Betrieb im offenen und geschlossenen Regelkreis

Im spannungsgesteuerten Modus (offener Regelkreis) verhält sich der Stellweg ungefähr proportional zur Piezospan-

nung. Die Modelle S-310 bis S-315 sind daher ideal für hochauflösende Anwendungen geeignet, bei denen die absolute Position von untergeordneter Bedeutung ist (z.B. Tracking) oder durch einen externen Sensor (z.B. CCD, PSD) ermittelt wird. Der S-316.10 verfügt über integrierte hochauflösende DMS-Positionssensoren und ermöglicht absolute Positionierungen mit hoher Linearität und Wiederholbarkeit.

Bedarfsgerechte Auswahl

■ S-310.10, S-314.10

Spannungsgesteuerte Linearaktoren; alle drei Piezoantriebe sind für mechanisch gleiches Verhalten selektiert und elektrisch parallel geschaltet. Sie ermöglichen die lineare Positionierung der Ringplattform, wobei nur ein Steuerkanal benötigt wird.

■ S-311.10, S-315.10

Spannungsgesteuerte Linear- und Kippssysteme; alle drei Piezoantriebe können individuell (oder parallel) mit einem Dreikanalverstärker gesteuert werden. Dadurch sind Linear- und Kippbewegungen möglich.

Bestellinformation

S-310.10

Piezoaktor, freie Apertur, 6 μm , LEMO Stecker

S-311.10

Dreiaachsen-Piezokippsystem, freie Apertur, 600 μrad , 6 μm , LEMO Stecker

S-314.10

Piezoaktor, freie Apertur, 12 μm , LEMO Stecker

S-315.10

Dreiaachsen-Piezokippsystem, freie Apertur, 1,2 mrad, 12 μm , LEMO Stecker

S-316.10

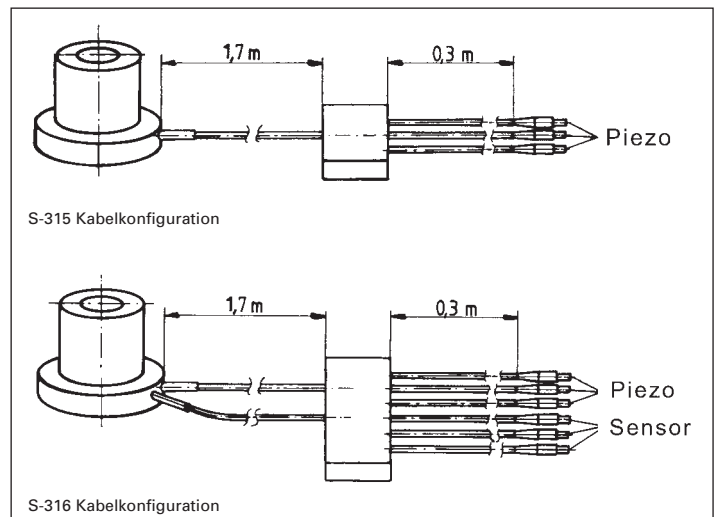
Dreiaachsen-Piezokippsystem, freie Apertur, 1,2 mrad, 12 μm , DMS-Sensoren, LEMO Stecker

S-316.10D

Dreiaachsen-Piezokippsystem, freie Apertur, 1,2 mrad, 12 μm , DMS-Sensoren, D-Sub Stecker

■ S-316.10

Positionsgeregelte Linear- und Kippssysteme; alle drei Piezoantriebe sind mit hochauflösenden Positionssensoren (DMS) ausgerüstet und können individuell (oder parallel) mit einem Dreikanalverstärker / Servocontroller betrieben werden. Linear- und Kippbewegungen mit Sub-Mikroradian Auflösung und Wiederholbarkeit sind möglich.



S-315 Kabelkonfiguration

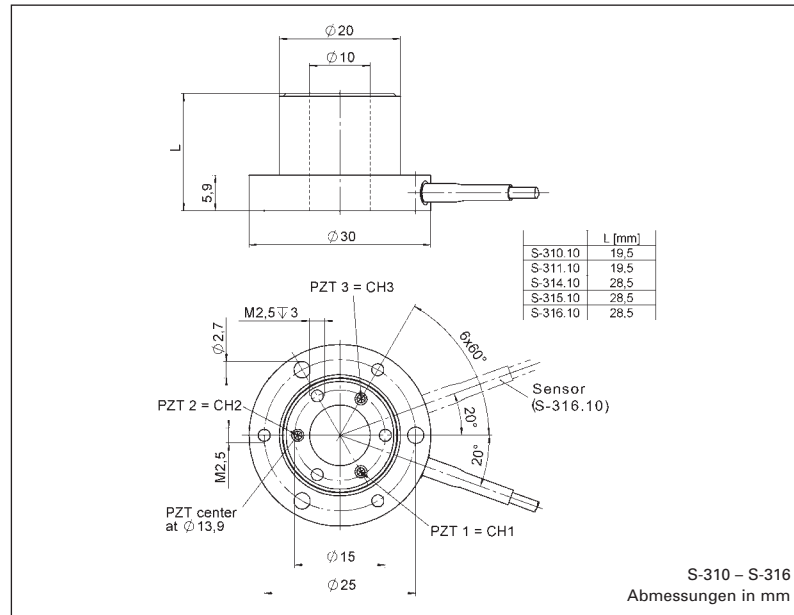
S-316 Kabelkonfiguration

Anwendungsbeispiele

- Bildverarbeitung/-stabilisierung
- Interferometrie
- Laserscanning/-strahlsteuerung
- Lasertuning
- Optische Filter/Schalter
- Strahlstabilisierung

Hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer

S-310–S-316 Systeme sind mit vorgespannten PICMA® Hochleistungspiezoaktoren ausgerüstet, die in ein reibungsfreies Flexure-Führungssystem mit FEM-optimierten Festkörpergelenken integriert sind. Die vollkeramisch isolierten Aktoren übertreffen die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit konventioneller Piezokeramiken in dynamischen und statischen Anwendungen deutlich. Da Aktoren, Führung und Sensoren reibungs-, wartungs- und verschleißfrei sind, besitzen diese Systeme eine außergewöhnliche Zuverlässigkeit.



Technische Daten

Modell	S-310.10	S-314.10	S-311.10	S-315.10	S-316.10	Einheit	Toleranz
Aktive Achsen	Z	Z	Z, θ_x , θ_y	Z, θ_x , θ_y	Z, θ_x , θ_y		
Bewegung und Positionieren							
Integrierter Sensor	–	–	–	–	DMS		
Stellweg in Z bei 0 bis +100 V, ungergelt	6 / –	12 / –	6 / –	12 / –	12 / 12	μm	min. (+20%/–0%)
Kippwinkel bei 0 bis +100 V, ungergelt	–	–	600	1200	1200	μrad	min. (+20%/–0%)
Stellweg in Z, geregelt	–	–	–	–	12	μm	
Kippwinkel, geregelt	–	–	–	–	1200	mrad	
Auflösung in Z, ungergelt	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	nm	typ.
Auflösung in θ_x , θ_y , ungergelt	–	–	0,02	0,05	0,05	μrad	typ.
Auflösung in Z, geregelt	–	–	–	–	0,4	nm	typ.
Auflösung in θ_x , θ_y , geregelt	–	–	–	–	0,1	μrad	typ.
Linearität	–	–	–	–	0,2	%	typ.
Mechanische Eigenschaften							
Steifigkeit in Z	20	10	20	10	10	N/ μm	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz unbelastet in Z	9,5	5,5	9,5	5,5	5,5	kHz	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz belastet in Z (15 x 4 mm Glasspiegel)	6,5	4,4	6,5	4,1	4,1	kHz	$\pm 20\%$
Resonanzfrequenz belastet in Z (20 x 4 mm Glasspiegel)	6,1	4,2	6,1	3,4	3,4	kHz	$\pm 20\%$
Abstand Drehpunkt-Plattformoberfläche	–	–	5	5	5	mm	± 1 mm
Trägheitsmoment der Plattform	–	–	150	150	150	$\text{g} \cdot \text{mm}^2$	$\pm 20\%$
Antriebs-eigenschaften							
Keramiktyp	PICMA® P-882	PICMA® P-882	PICMA® P-882	PICMA® P-882	PICMA® P-882		
Elektrische Kapazität	0,39	0,93	0,39	0,93	0,93	μF	$\pm 20\%$
Dynamischer Stromkoeffizient	8	10	8	10	10	$\mu\text{A}/(\text{Hz} \cdot \text{mrad})$	$\pm 20\%$
Anschlüsse und Umgebung							
Betriebstemperaturbereich	–20 bis 80	–20 bis 80	–20 bis 80	–20 bis 80	–20 bis 80	°C	
Material	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl		
Masse	0,053	0,055	0,045	0,055	0,055	kg	$\pm 5\%$
Kabellänge	2	2	2	2	2	m	± 10 mm
Sensoranschluss	–	–	–	–	LEMO		
Spannungsanschluss	LEMO	LEMO	LEMO	LEMO	LEMO		

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Die Auflösung von PI-Piezo-scannern ist nicht durch Reibung begrenzt. Angabe als Positionsrauschen mit E-503 Verstärker (S. 2-146).

Mechanischer Winkel, die optische Strahlableitung ist doppelt so groß. Für maximale Kippwinkel müssen alle drei Piezo-translatoren mit 50 V vorgespannt sein. Durch den Parallelkinematik-Aufbau sind der lineare Stellbereich und die Kippwinkel voneinander abhängig. Die angegebenen Werte sind Maxima für reine Linear- bzw. Kippbewegungen (Gleichungen S. 2-84).

Empfohlene Controller/Verstärker Einkanalig (1 pro Achse): E-610 Controller/Verstärker (S. 2-110), E-625 Controller Tischgerät mit Regler (S. 2-114).

Mehrkanalig: Modulares Piezocontroller-System E-500 (S. 2-142) mit Verstärkermodul E-503 (dreikanalig) (S. 2-146) oder E-505 (1 je Achse, hohe Leistung) (S. 2-147) und E-509 Regler (S. 2-152) (optional), E-517 Interfacemodul (S. 2-156) (optional).

S-323 Piezo Hub- und Kipp-Plattform

Dynamisches Präzisions-Nanopositioniersystem mit direkter Positionsmessung



Das Hub- und Kippsystem S-323 mit integrierten kapazitiven Sensoren für beste Positionsauflösung und -stabilität

- Optischer Ablenkwinkel bis 6 mrad
- Sub- μ rad Auflösung bei hoher Positionsstabilität
- Positionsregelung mit kapazitiven Sensoren
- Spielfreie und hochgenaue Festkörperführungen
- Systemkombination mit Digitalcontrollern für beste Linearität

Modell	Aktive Achsen	Stellweg	Auflösung	Resonanzfrequenz unbelastet
S-323.3CD	Z, θ_x , θ_y	30 μ m, $\pm 1,5$ mrad	0,1 nm, $\pm 0,05$ μ rad	1,7 kHz

S-303 Piezo Phasenschieber

Höchste Dynamik und Stabilität mit kapazitivem Sensor



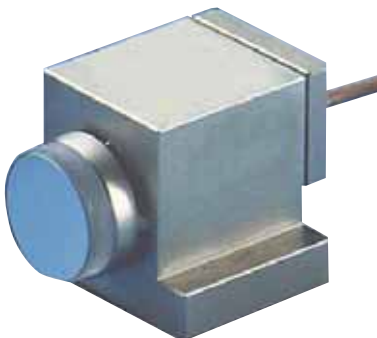
S-303 Piezo-Phasenschieber mit Sensor (links) und mit Apertur, ohne Sensor (rechts). DIP-Schalter zum Größenvergleich

- 25 kHz Resonanzfrequenz für höchste Dynamik
- Geregelter Version mit kapazitivem Sensor für Sub-Nanometer-Genauigkeit und Stabilität
- Bis zu 3 μ m Linearstellweg
- Geringe Abmessungen: 30 mm Durchmesser x 10 mm
- Ungeregelter Versionen mit Apertur
- Invar-Option

Modell	Aktive Achsen	Stellweg geregelt / ungeregelt (bei -20 bis +120 V)	Auflösung geregelt/ ungeregelt	Resonanzfrequenz unbelastet
S-303.CD (geregelt)	Z	2 / 3 μ m	0,03 nm	25 kHz
S-302.0L (ungeregelt)				

S-224 · S-226 Piezo Kippspiegel

Hochdynamischer kompakter Kippspiegel



S-224 Piezokippspiegel für schnelle Aufgaben in der Optik

- Optischer Ablenkwinkel bis 4,4 mrad
- Sub-Mikroradian Auflösung, Sub-Millisekunden Ansprechzeit
- Spielfreie und hochgenaue Festkörperführungen
- BK7-Spiegel inklusive
- Optionaler Positionssensor
- Übertroffene Lebensdauer dank PICMA® Piezoaktoren

Modell	Aktive Achsen	Kippwinkel ungeregelt (bei 0 bis +120 V)/geregelt	Auflösung ungeregelt/ geregelt	Resonanzfrequenz unbelastet
S-224.00 (ungeregelt)/ S-226.00 (geregelt)	θ_x	2,0 / 2,2 mrad	0,05 / 0,1 μ rad	9 kHz

© Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG 2009. Änderungen vorbehalten. Dieses Datenblatt verliert seine Gültigkeit mit Erscheinen einer neuen Revision. Die jeweils aktuelle Revision ist unter www.pi.ws zum Herunterladen verfügbar. Cat120D Inspirationen2009 09/02.10

Technische Daten für schnelle Kippspiegel und aktive Optiken

Bewegung und Positionieren

Alle Angaben beziehen sich auf Raumtemperatur ($22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$), geregelte Systeme werden bei dieser Temperatur vermessen (Spezifikationen für andere Betriebstemperaturen auf Anfrage). Ein Neuabgleich des Systems wird empfohlen, wenn die Betriebstemperatur deutlich über oder unter Raumtemperatur liegt. Spezifische Anpassungen für extrem niedrige oder extrem hohe Temperaturen auf Anfrage.

Integrierter Sensor

Absolutmessende kapazitive und Dehnmessstreifenensoren (DMS) liefern die Positionsinformation an den Controller. Näheres dazu im Tutorium „Grundlagen der Nanostelltechnik“ (s. S. 2-187 ff).

Stellweg, ungerregelt

Typischer Stellweg im offenen Regelkreis bei 0 bis +100 V Betriebsspannung. Der maximal empfohlene Spannungsbereich beträgt, falls nicht anders angegeben, -20 bis +120 V, wobei die Extremwerte nur für kurze Zeit anliegen sollten.

Stellweg, geregelt

Positionsgeregelte Aktoren und Versteller werden zusammen mit dem Controller für einen bestimmten Stellweg voreingestellt. Die dafür erforderliche

Spannung bewegt sich im empfohlenen Spannungsbereich, die Verstärker bieten zusätzlich genügend Regelreserve, z. B. für wechselnde Lasten.

Kippwinkel, ungerregelt

Typischer Kippwinkel im offenen Regelkreis bei 0 bis +100 V Betriebsspannung. Der maximal empfohlene Spannungsbereich beträgt, falls nicht anders angegeben, -20 bis +120 V, wobei die Extremwerte nur für kurze Zeit anliegen sollten. Bei differenziell getriebenen Kippsystemen wird die Nullposition bei 50 V Betriebsspannung erreicht, der maximale negative Winkel bei 0 V und der maximale positive Winkel bei 100 V.

Kippwinkel, geregelt

Kippwinkel im geschlossenen Regelkreis. Positionsgeregelte Aktoren und Versteller werden zusammen mit dem Controller für einen bestimmten Stellweg voreingestellt. Die dafür erforderliche Spannung bewegt sich im empfohlenen Spannungsbereich, die Verstärker bieten zusätzlich genügend Regelreserve, z. B. für wechselnde Lasten.

Auflösung, ungerregelt / geregelt

Die Auflösung von Piezopositionierern und Piezoaktoren

ist im Prinzip unbegrenzt, weil sie nicht durch Haft- oder Gleitreibung limitiert wird. Stattdessen ist das Äquivalent zum Elektronikrauschen spezifiziert. Gegeben sind typische Werte (RMS, 1σ) mit E-503 Verstärkermodul im E-500/E-501 Gehäuse, bei geregelten Systemen zusätzlich mit E-509 Servomodul.

Wiederholbarkeit

Typische Werte im geschlossenen Regelkreis (RMS, 1σ). Die Wiederholbarkeit der Positionierung ist abhängig von der tatsächlichen Auslenkung. Bei kleinen Stellwegen ist die Wiederholbarkeit bedeutend besser.

Rollen / Neigen / Gieren / Verkippung

Typischer Verkippungsfehler (ohne Last), Angabe zum Teil mit der betreffenden Bewegungsachse.

Geradheit / Ebenheit / Übersprechen

Typische lineare Seitenabweichung von der gewünschten Stellrichtung ohne Last, Angabe zum Teil mit der betreffenden Bewegungsachse.

Resonanzfrequenz, belastet

Beispiel wie ein eine Last (Spiegel) auf der Plattform die Dynamik verändert (berechnete Werte). Mehr zum dynamischen Verhalten von Kippsystemen siehe Seite 2-84.

unterscheiden. Näheres dazu im Tutorium „Grundlagen der Nanostelltechnik“ (s. S. 2-189 ff).

Resonanzfrequenz, unbelastet

Typische Toleranz $\pm 20\%$. Erste Resonanzfrequenz in Stellrichtung (nicht gleichbedeutend mit der maximalen Betriebsfrequenz). Näheres dazu im Tutorium „Grundlagen der Nanostelltechnik“ (s. S. 2-192 ff).

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel / Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Mechanische Eigenschaften

Steifigkeit in Stellrichtung

Statische Großsignalsteifigkeit des Verstellers bei Raumtemperatur in Stellrichtung. Die Kleinsignalsteifigkeit und dynamische Steifigkeit können sich, bedingt durch die Kombination verschiedener Materialien im Stellsystem und durch Effekte, die durch die aktive Natur des Piezomaterials hervorgerufen werden, deutlich

E-616 Controller für Piezo Mehrachsen-Kippspiegel und -Plattformen Flexible mehrkanalige OEM Elektronik mit Koordinatentransformation



- **Drei integrierte Verstärker liefern bis zu 10 W Spitzenleistung**
- **Geregelte und ungeregelte Versionen**
- **Interne Koordinatentransformation erleichtert die Regelung der parallelkinematischen Designs (Drei- und Vierbeine)**
- **Kompaktes, kostengünstiges OEM-Design oder Tischgerät**

Servocontroller, Verstärker und Sensorkanäle in einem kompakten Gerät. Hochauflösende DMS-Positionssensoren in der Piezomechanik sorgen für optimale Positionsstabilität und schnelles Ansprechverhalten im Nanometer- bzw. Mikroradianbereich. Die hohe Ausgangsleistung von 10 W pro Kanal erlaubt einen dynamischen Betrieb der Kippspiegel für Anwendungen wie (Laser-) Strahlführung oder -Stabilisierung.

Dreibein? Vierbein? Einer für Alle!

Alle mehrachsigen Piezokippspiegel von PI sind parallel kinematisch aufgebaut: Die einzelnen Piezoaktoren wirken auf dieselbe bewegte Plattform. Dabei unterscheidet PI grundsätzlich zwei Aufbauten für Piezokippspiegel, für die der E-616 Controller gleichermaßen geeignet ist. Beim dreibeinigen Design (z.B. S-325, s. S. 2-92) wird die Plattform von drei in 120°-Abständen angeordneten Piezoaktoren angetrieben. Beim vierbeinigen Design (S-330, s. S. 2-88 oder S-334, s. S. 2-94)

arbeiten die Aktoren paarweise im Druck- / Zug-Betrieb. Zwei orthogonale Achsen drehen dabei um einen gemeinsamen Punkt. Bei positionsgeregelten Kippspiegeln ermöglicht die differenzielle Auswertung von je zwei Sensoren pro Achse eine verbesserte Linearität und Auflösung.

Interne Koordinatentransformation vereinfacht die Regelung

Bei Parallelkinematiken ist eine Transformation des Kippwinkels auf die Bewegung der einzelnen Aktoren erforderlich. Diese wird durch eine im E-616.S0 eingebaute Elektronikbaugruppe übernommen. Darüber hinaus können beim E-616.S0 über eine Offset-Spannung alle Aktoren gleichzeitig angesteuert werden. Dieses hat eine Hubbewegung zur Folge, z.B. zur Anpassung der optischen Weglänge in einem Strahlengang.

Einfache Inbetriebnahme

Sowohl beim kostengünstigen OEM Modul wie auch bei der gehauerten Variante des E-616

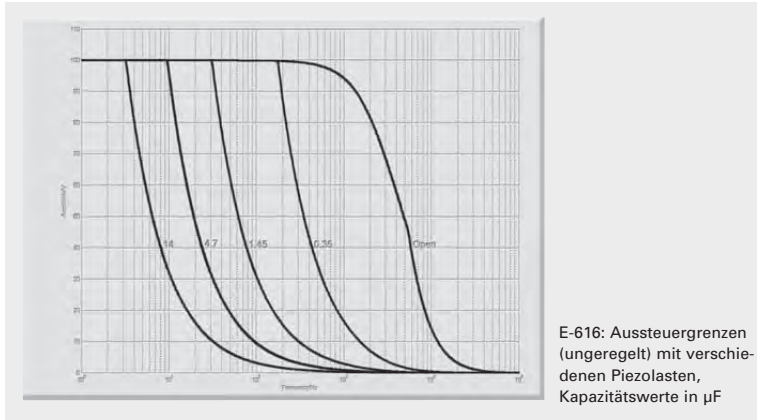
Bestellinformation

- E-616.S0**
Mehrkanalservocontroller für Piezo-Kippspiegel / Plattformen mit DMS und Dreibein-Antrieb
- E-616.S0G**
Mehrkanalservocontroller für Piezo-Kippspiegel / Plattformen mit DMS und Dreibein-Antrieb, Tischgerät
- E-616.SS0**
Mehrkanalservocontroller für Piezo-Kippspiegel / Plattformen mit DMS, für Kippachsen mit differentiellem Antrieb
- E-616.SS0G**
Mehrkanalservocontroller für Piezo-Kippspiegel / Plattformen mit DMS, für Kippachsen mit differentiellem Antrieb, Tischgerät

sind alle erforderlichen Bedienelemente und Steueranschlüsse leicht zugänglich nach außen geführt. Die Kippplattformen werden über einen 25-poligen Sub-D Stecker mit dem Controller verbunden. LEDs für Power und Overflow informieren über den Betriebszustand des Gerätes, die Ansteuerung sowie die Abfrage der Monitorausgänge erfolgen über eine 32-polige Leiste (DIN 61612, OEM Version) oder über SMB Stecker und einen D-Sub 15 Anschluss (gehaute Variante).



Die Varianten des E-616 mit Gehäuse erleichtern die Inbetriebnahme und ermöglichen den Betrieb als Einzelgerät.



E-616: Aussteuergrenzen (ungeregelt) mit verschiedenen Piezolasten, Kapazitätswerte in μF

Technische Daten

Modell	E-616.S0	E-616.SS0
Funktion	Controller für Piezo-Parallelkinematik-Kippspiegelsysteme mit Dehnmessstreifen Sensoren, Dreibeintrieb E-616.S0G: Gehauste Variante des E-616.S0	Controller für Piezo-Parallelkinematik-Kippspiegelsysteme mit Dehnmessstreifen Sensoren, differentieller Antrieb E-616.SS0G: Gehauste Variante des E-616.SS0
Kippachsen	2	2
Sensor		
Reglertyp	P-I (analog) + Notchfilter	P-I (analog) + Notchfilter
Sensortyp	DMS	DMS
Sensorkanäle	3	2
Externe Synchronisierbarkeit	200 kHz TTL	200 kHz TTL
Verstärker		
Eingangsspannungsbereich	-7 V bis +7 V	-2 V bis +12 V
Ausgangsspannung	-20 V bis +120 V	-20 V bis +120 V
Verstärkerkanäle	3	3
Spitzenleistung / Kanal (Ausgangsleistung)	10 W	10 W
Dauerausgangsleistung / Kanal	5 W	5 W
Spitzenstrom / Kanal	100 mA	100 mA
Dauerausgangsstrom /Kanal	50 mA	50 mA
Strombegrenzung	Kurzschlussfest	Kurzschlussfest
Spannungsverstärkung	10	10
Bandbreite Kleinsignal	3 kHz	3 kHz
Welligkeit, Rauschen, 0 bis 100 kHz	<20 mV _{pp}	<20 mV _{pp}
Verstärkerauflösung	<1 mV	<1 mV
Schnittstellen und Bedienung		
Piezo- und Sensoranschluss	D-Sub Stecker 25-pol.	D-Sub Stecker 25-pol.
Analogeingang / Steuereingangsbuchse	E-616.S0: 32-polige VG-Leiste E-616.S0G: SMB Stecker	E-616.SS0: 32-polige VG-Leiste E-616.SS0G: SMB Stecker
Sensormonitoring	0 bis +10 V für nominale Auslenkung	0 bis +10 V für nominale Auslenkung
Sensormonitorausgang	E-616.S0: 32-polige VG-Leiste E-616.S0G: D-Sub 15 Stecker	E-616.SS0: 32-polige VG-Leiste E-616.SS0G: D-Sub 15 Stecker
Display und Anzeigen	Power-LED u. Sensor OFL-Anzeige	Power-LED u. Sensor OFL-Anzeige
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	5 °C bis 50 °C	5 °C bis 50 °C
Überhitzungsschutz	Max. 75 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs	Max. 75 °C, Abschaltung des Spannungsausgangs
Abmessungen	E-616.S0: 186 mm x 128,4 mm x 10 TE E-616.S0G: 205 mm x 105 mm x 54,1 mm	E-616.SS0: 186 mm x 128,4 mm x 10 TE E-616.SS0G: 205 mm x 105 mm x 54,1 mm
Masse	E-616.S0: 700 g E-616.S0G: 1150 g	E-616.SS0: 700 g E-616.SS0G: 1150 g
Betriebsspannung	12 bis 30 V DC	12 bis 30 V DC
Leistungsaufnahme (max.)	30 W	30 W

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Piezo Systeme /
Schnelle Scantische

Linearachsen

Vertikal- / Kippachsen

2- und 3-achsig

6-achsig

Schnelle Kippspiegel /
Aktive Optiken

Piezoverstärker und Controller

Einkanalig

Mehrkanalig

Modular

Zubehör

Grundlagen der
Nanostelltechnik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Index

Antriebseigenschaften

Elektrische Kapazität

Die Kapazitätswerte in den technischen Daten sind Kleinsignalwerte (gemessen bei 1 V Anstevenspannung, 1000 Hz, 20 °C, lastfrei; Großsignalwerte bei Raumtemperatur liegen 30–50 % höher). Die Kapazität von Piezokeramik ändert sich mit Amplitude, Temperatur und Last bis zu 200 % des unbelasteten Kleinsignalwertes bei Raumtemperatur. Weitere Informationen zum

elektrischen Leistungsbedarf sind in den Aussteuerkurven der einzelnen Verstärker im Kapitel „Piezoverstärker und Controller“ (S. 2-99 ff) enthalten.

Dynamischer Stromkoeffizient (DSK)

Durchschnittlicher elektrischer Strom (vom Verstärker), der benötigt wird, um einen Piezoaktor pro Einheit Frequenz [Hz] und Hub [μm] zu betreiben

(Sinusbetrieb, offener Regelkreis; bis zu 50 % mehr im geschlossenen Regelkreis). Beispiel: Um herauszufinden, ob ein gewählter Verstärker einen Piezoaktor bei 100 Hz mit 5 μm Amplitude betreiben kann, muss der DSK mit 100 und 5 multipliziert werden. Wenn das Resultat kleiner oder gleich dem Dauerstrom des gewählten Verstärkers ist, eignet sich dieser für die Anwendung. Näheres

dazu im Tutorium: „Grundlagen der Nanostelltechnik“ (s. S. 2-195 ff).

Anschlüsse und Umgebung

Betriebstemperaturbereich

Typisch -20 °C bis +80 °C, in diesem Bereich kann der Piezoversteller gefahrlos betrieben werden. Ein Neuabgleich ist empfehlenswert, wenn der Betrieb bei einer deutlich höheren oder tieferen Temperatur stattfinden soll. Sonderbauformen für extreme Temperaturbereiche auf Anfrage.

Material

PI Piezo-Nanopositioniersysteme werden typisch aus Edelstahl oder Aluminium gefertigt. Geringe Anteile anderer Materialien können

intern verwendet werden. Sonderbauformen aus Invar, Superinvar oder Titan (nichtmagnetisch / nichtmagnetisierbar, hochvakuumkompatibel, tief- oder hochtemperaturbeständig etc.) sind auf Anfrage erhältlich.

- Al: Aluminium
- N-S: unmagnetischer Edelstahl
- S: Ferromagnetischer Edelstahl
- I: Invar
- T: Titan

Spannungsanschluss

Standardstecker für die Betriebsspannung sind LEMO oder D-Sub Stecker in verschiedenen Ausführungen.

LEMO FFA.00.250, männl., Koaxialkabel, RG 178, Teflonisolation, 1 m.

D-Sub-Spezialstecker übermitteln Kalibrier- und Regelparameter an Digitalcontroller mit AutoCalibration Funktion.

Sensoranschluss

Standardstecker für die Positionssensoren sind LEMO oder

D-Sub Stecker in verschiedenen Ausführungen.

D-Sub Stecker beinhalten Spannungs- und Sensoranschlüsse.

Verlängerungskabel und Adapter finden Sie im Abschnitt „Zubehör“ am Ende des Kapitels „Piezoverstärker und Controller“ (s. S. 2-168 ff).



Kompletter PI Katalog:
<http://www.pi.de>

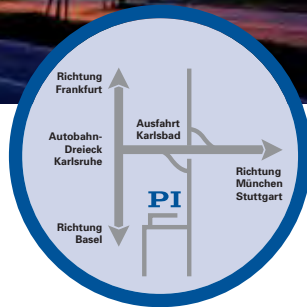
Alle Wege führen zu PI

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

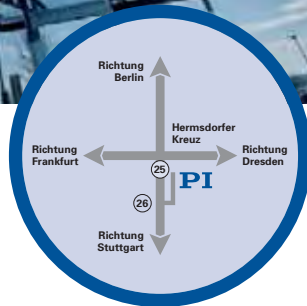


PI Ceramic Lederhose



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

www.piceramic.de



Hauptsitze

DEUTSCHLAND

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

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

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
Tokyo 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
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

UK & IRLAND

PI (Physik Instrumente) Ltd.
Lambda House
Batford Mill
Harpenden, Hertfordshire
AL5 5BZ
Tel: +44 (1582) 711 650
Fax: +44 (1582) 712 084
uk@pi.ws
www.physikinstrumente.co.uk

FRANKREICH

PI France S.A.S.
32 rue Delizy
93694 Pantin Cedex
Tel: +33 (1) 57 14 07 10
Fax: +33 (1) 41 71 18 98
info@pifrance.fr
www.pifrance.fr

ITALIEN

Physik Instrumente (PI) S.r.l.
Via G. Marconi, 28
20091 Bresso (MI)
Tel: +39 (02) 665 011 01
Fax: +39 (02) 873 859 16
info@pionline.it
www.pionline.it