

## Hexapoden, Parallelkinematiken



# Modellübersicht: Parallel-kinematische Systeme, Hexapoden

## Mikro- und Nanopositionierer mit drei und sechs Achsen

Parallelkinematische Positionssysteme von PI bieten gegenüber seriell gestapelten Aufbauten eine Reihe von Vorteilen, wie geringere bewegte Masse, dadurch verbesserte

Dynamik, geringeren Platzbedarf und höhere Steifigkeit.

Heute, nach vielen Jahrzehnten an Erfahrung in Entwurf und Fertigung von Hexapoden,

gehören elektromechanische und piezogetriebene Hexapoden von PI zu den höchstentwickelten Mehrachsen-Präzisionssystemen weltweit. Es gibt sie in verschiedensten Größen

und Auslegungen für Lasten von 2 kg bis zu mehr als einer Tonne, wobei die meisten selbsthemmend sind, und somit ohne Bremsen auskommen.

Modelle	Beschreibung	Stellweg [mm]	Belastbarkeit [kg]	Seite
M-810	Besonders kompakter elektro-mechanischer 6-Achsen Hexapod	bis 40 mm / 60°	5	4-14
M-824	Vakuumgeeigneter 6-Achsen Hexapod	bis 45 mm / 25°	10	4-10
M-840	HexaLight™ 6-Achsen Hexapod, schnell, mit mittlerer Belastbarkeit, optional mit Photometer, bis 50 mm/s	bis 100 mm / 60°	10	4-8
M-850	6-Achsen Hochlast-Hexapod, optional mit Photometer	bis 100 mm / 60°	200	4-6
F-206	HexAlign™ 6-Achsen Mikrojustiersystem. Höchste Präzision, optional mit Photometer	bis 12 mm / 6°	2	4-12
M-850KWAH	Kundenspezifischer 6-Achsen Hexapod zur Justage eines Sekundär-Teleskopspiegels, wassergeschützt	bis 16 mm	100	4-15
M-850KHLH	6-Achsen Hexapod für höchste Lasten	bis 24 / 8°	1000	4-15
N-515KNPH	Piezo Hexapod mit leistungsstarken, nichtmagnetischen PiezoWalk® Linearmotoren	bis 10 mm / 6°	50	1-17
M-880.PD	3-Achsen Hochlast-XYθ <sub>Z</sub> -Positioniersystem für LCD- und Halbleiterinspektion, Tripod-Design	20 x 20 mm / 8°	150	4-16
M-833	3-Achsen Positionierer für X, Z, und Goniometer (θ <sub>γ</sub> ), Tripod-Design	±25 mm (X, Z), ±30° (θ <sub>γ</sub> )	4	4-16
M-850KLAH	Hochlast-Hexapod mit großer freier Apertur, für Inspektionssysteme	bis 50 mm / 10°	200	4-15
N-510	Z-Kipp-Plattform für Nanopositionierung, Tripod-Design	1.3 / 10 mrad	20	1-17



M-810 Miniatur-Hexapod

M-824 Vakuumgeeigneter Kompakt-Hexapod

M-840 HexaLight™ Hexapod, schnell, für mittlere Lasten

M-850 Hochlast-Hexapod, optional mit Photometer

F-206 Justiersystem für die Photonik

M-850KWAH Wassergeschützt für die Astronomie



M-850KHLH Hexapod für höchste Lasten

M-850KLAH Kundenspezifisch für Inspektionssysteme

N-515KNPH Nichtmagnetischer Piezo Hexapod

M-880 Hochlast-XYθ<sub>Z</sub>-Verstelltisch

M-833 Tripod: X, Z, Goniometer (θ<sub>γ</sub>)

M-850KWAH Wassergeschützt für die Astronomie

Hinweise zu den technischen Daten S. 4-17 ff

# Parallel-Kinematische Positioniersysteme

## Hochpräzise Positionierung in bis zu sechs Bewegungsachsen

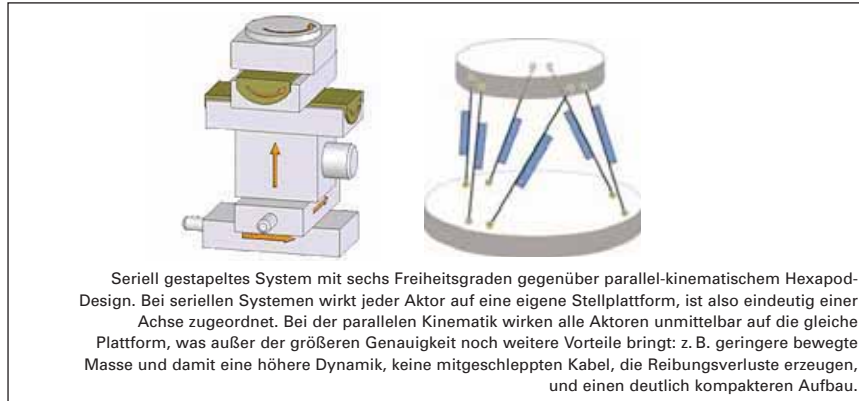


Beim ALMA-Projekt in der Atacama-Wüste in Chile werden bis zu 64 Antennen zu einem riesigen Radioteleskop zusammengefasst. Hexapod-Systeme von PI positionieren die Sekundärreflektoren der Teleskope. Die auch gegen extreme Umgebungsbedingungen unempfindlichen Systeme der Serie M-850K können Massen bis zu 75 kg bewegen (Foto: Vertex Antennentechnik GmbH)

PI ist führender Hersteller von äußerst leistungsfähigen Hexapoden, sechsachsigen Mikro- und Nanopositioniersystemen. Unterschiedliche Ausführungen des parallelkinematischen Designs kommen in vielen Bereichen zum Einsatz: angefangen von Handlingsystemen in der Elektronikfertigung und der Werkzeugkontrolle in Präzi-

### Vorteile der Parallelkinematik

- Geringe bewegte Masse, geringe Trägheit
- Verbessertes dynamisches Verhalten, kurze Settlingzeiten
- Geringer Bauraum
- Hohe Steifigkeit
- Kein Aufsummieren von Positionierfehlern, dadurch verbesserte Genauigkeit
- Frei definierbarer Drehpunkt
- Minimiertes Achsübersprechen
- Verbesserte Wiederholbarkeit
- Keine geschleppten Kabel

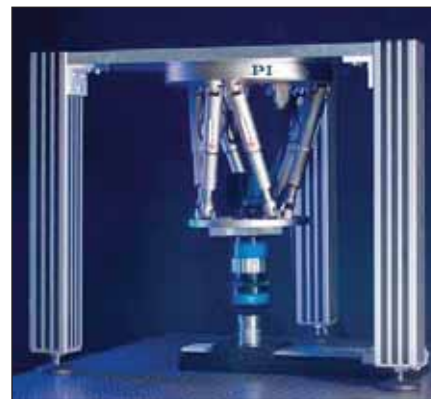


Seriell gestapeltes System mit sechs Freiheitsgraden gegenüber parallel-kinematischem Hexapod-Design. Bei seriellen Systemen wirkt jeder Aktor auf eine eigene Stellplattform, ist also eindeutig einer Achse zugeordnet. Bei der parallelen Kinematik wirken alle Aktoren unmittelbar auf die gleiche Plattform, was außer der größeren Genauigkeit noch weitere Vorteile bringt: z. B. geringere bewegte Masse und damit eine höhere Dynamik, keine mitgeschleppten Kabel, die Reibungsverluste erzeugen, und einen deutlich kompakteren Aufbau.

sionswerkzeugmaschinen über die Medizintechnik bis hin zu optischen Systemen, z. B. bei Weltraumteleskopen und Satellitenempfangsanlagen. Dabei können die Mikroroboter je nach Ausführung ohne weiteres Lasten von bis zu 50, 200 oder sogar 1000 kg auf den Mikrometer genau positionieren.

Die Hexapod-Systeme basieren auf sechs hochauflösenden Aktoren, die auf eine gemeinsame Plattform wirken. Vom Prinzip her ist das die gleiche Arbeitsweise wie bei einem Flugsimulator, nur wesentlich genauer; statt von Hydraulikantrieben werden die Hexapoden von hochgenauen Antriebsspindeln und präzise ansteuerbaren Elektromotoren oder direkt von Linearmotoren angetrieben. Je nach Anwendung sind dabei verschiedene Antriebstechnologien nutzbar. So stehen mit den NEXLINE® Hexapoden Positioniersysteme zur Verfügung, die sich sowohl für Vakuumanwendungen eignen als auch völlig unmagnetisch sind, sich also auch in starken Magnetfeldern bewegen können (s. S. 1-3 ff).

Ein hochentwickelter Controller ist im Lieferumfang der PI Hexapoden bereits enthalten. Der Hexapod-Controller ermöglicht per Softwarebefehl die Festlegung eines beliebigen Punktes im Raum als Rotationszentrum. Dieser frei definierbare Drehpunkt bleibt unabhängig von der Bewegung erhalten, eine Eigenschaft, die in vielen Anwendungen zum Tragen kommt, z. B. bei der optischen Justage. Der Benutzer gibt die Bewegung in kartesischen Koordinaten ein und der leistungsfähige Controller auf PC-Basis setzt diese mit den entsprechenden Algorithmen in vektorisierte Bewegungskommandos für die einzelnen Antriebe um. Die jüngste Generation von Controllern hat flexible Bediener-schnittstellen: schnelle Kommunikation nach RS-232 Standard und ein TCP/IP Interface für Vernetzung und Ansteuerung über weitere Distanzen oder über Internet.



Mit diesem automatisierten Prüfsystem lassen sich optische Formensätze direkt in der Fertigungslinie prüfen. Hier ist der Hexapod kopfüber an einer 20 mm dicken Aluminiumplatte befestigt. Das Interferometer für die Formprüfung im Innern des Hexapoden beeinträchtigt seine Bewegungsmöglichkeiten nicht. Die Ansteuerung ist in einem MatLab-Programm integriert, das auch die Bildverarbeitung für die Messung übernimmt (Foto: Physik Instrumente (PI) / Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT)



Linearantriebe &amp; Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden, Parallelkinematiken

Linearversteller

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippversteller

Zubehör

Servo- &amp; Schrittmotorsteuerungen

Einkanalig

Hybrid

Mehrkanalig

Grundlagen der Mikrostelltechnik

Index

## M-850 6-Achsen-Hexapod

### Parallelkinematik-System für hohe Lasten bis 2000 N, mit Controller



M-850 Hexapod Mikroroboter

- Sechs Freiheitsgrade
- Arbeitet in jeder Orientierung
- Keine geschleppten Kabel: Höhere Zuverlässigkeit, reduzierte Reibung
- Vertikale Belastbarkeit 200 kg
- Hochbelastbare Präzisionslager für 24 / 7 Anwendungen
- Wiederholbarkeit bis  $\pm 1 \mu\text{m}$
- Encoderauflösung bis 0,005  $\mu\text{m}$
- Wesentlich kompakter und steifer als Seriellkinematiken, höhere Dynamik
- Vakuumkompatible Versionen erhältlich
- Für Mehrachsen-Linear- und Rotations-Scans
- Virtueller Pivotpunkt
- Leistungsfähiger Controller mit Vektorsteuerung
- MTBF 20.000 h

Das M-850 ist das ideale Mikrostellensystem für alle komplexen Positionieraufgaben, bei denen es auf hohe Belastbarkeit und Genauigkeit in sechs unab-

hängigen Achsen ankommt. Die Verwendung extrem steifer und präziser Komponenten für den M-850 Hexapoden ermöglicht eine sehr hohe Resonanzfrequenz von 500 Hz bei 10 kg Last. Dabei wird eine Belastbarkeit von 200 kg senkrecht und 50 kg in beliebiger Orientierung erreicht. Zusätzlich zur individuellen Positionierung jeder Achse mit Auflösungen im Sub-Mikrometer- und Bogensekunden-Bereich erlaubt es die freie Wahl des Drehpunktes im Raum per Softwarebefehl.

Zwei Modelle werden angeboten: Das direktgetriebene, schnellere M-850.50 und das höherübersetzte M-850.11, das auch bei größeren Lasten selbsthemmend ist.

#### Vorteile der Parallelkinematik

Der Hexapod basiert auf sechs hochauflösenden Aktoren, die gleichzeitig auf eine gemeinsame Plattform wirken. Dieser Aufbau vereint eine hohe Systemsteifigkeit mit einer großen zentralen Apertur.

Durch die geringe Masse der bewegten Plattform können Positioniervorgänge in allen Achsen mit deutlich kürzeren Einschwingzeiten durchgeführt werden als mit konventionellen, seriell gestapelten Mehrachsensystemen. Während sich bei solchen Systemen Verkippung und Führungsfehler einzelner Achsen addieren und die dynamischen Eigenschaften der einzelnen Achsen beeinflussen sowie Reibung und Momente geschleppter Kabel die Genauigkeit und Zuverlässigkeit begrenzen, ist die Parallelkinematik des Hexapoden hiervon nicht betroffen.

#### Stabiler virtueller Pivotpunkt

Für Justageaufgaben ist es wichtig einen feststehenden Drehpunkt definieren zu können. Der im Lieferumfang enthaltene leistungsfähige Hexapodcontroller ermöglicht die Festlegung jedes beliebigen Punktes im Raum als Rotationszentrum per Softwarebefehl. Dieser Drehpunkt bleibt unabhängig von der Bewegung erhalten.

Darüber hinaus können alle Positionen im 6D-Raum direkt in kartesischen Koordinaten vorgegeben und über vektorisierte Bewegungen erreicht werden.

#### Offene Softwarearchitektur

Die Ansteuerung des Hexapoden wird durch die bedienerfreundliche offene Softwarearchitektur erleichtert, die eine Vielzahl von Hochsprachenbefehlen und die Makroprogram-

#### Bestellinformation

- M-850.11**  
Hexapod Mikroroboter mit Controller, getriebeübersetzt
- M-850.V11**  
Hexapod Mikroroboter mit Controller, getriebeübersetzt, vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa
- M-850.50**  
Hexapod Mikroroboter mit Controller, Direktantrieb
- M-850.V50**  
Hexapod Mikroroboter mit Controller, Direktantrieb, vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa
- Optionale Photometer**
- F-206.iIU**  
Photometerkarte, IR-Bereich, 2 Kanäle
- F-206.VVU**  
Photometerkarte, sichtbarer Bereich, 2 Kanäle



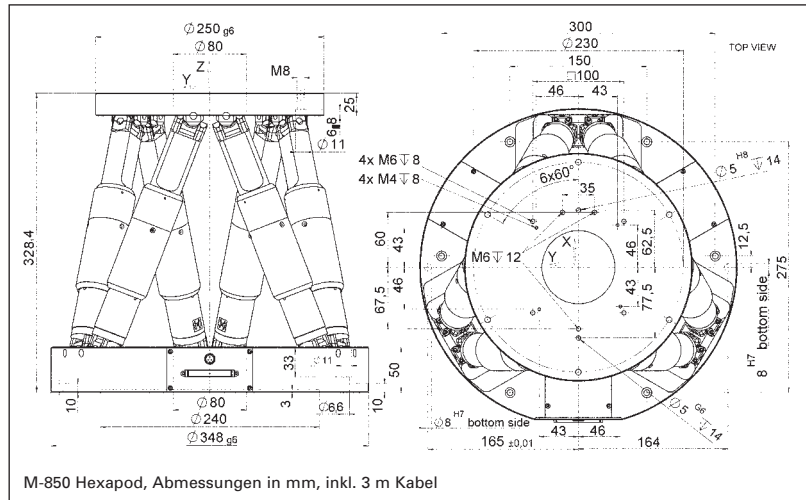
Sonderhexapod für die Chirurgie. Photo: IPA

mierung von Bewegungssequenzen zulässt.

#### Automatische optische Justage

Als Option stehen interne oder externe Photometer sowie integrierte Routinen für die automatische Justage optischer Komponenten zur Verfügung. Weitere Informationen zu den Photometern siehe: [www.pi.ws](http://www.pi.ws).

Ein kleinerer, hochgenauer Hexapod, der speziell für die Ausrichtung von Kollimatoren, Faserbündeln und I/O-Chips entwickelt wurde, ist unter der Produktnummer F-206 erhältlich (s. S. 4-12).



### Technische Daten

Modell	M-850.11	M-850.50	Einheit
Aktive Achsen	X, Y, Z, $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	X, Y, Z, $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	
<b>Bewegung und Positionieren</b>			
*Stellweg X, Y	±50	±50	mm
*Stellweg Z	±25	±25	mm
*Stellweg $\theta_x$ , $\theta_y$	±15	±15	°
*Stellweg $\theta_z$	±30	±30	°
Aktorantrieb	DC-Motor	DC-Motor	
Aktorhub	±25	±25	mm
Integrierter Sensor	Rotationsencoder	Rotationsencoder	
Sensorauflösung	2048	2048	
Rechnerische Aktorauflösung	0,005	0,05	µm
**Kleinste Schrittweite X, Y, Z	1 (XY), 0,5 (Z)	1 (XY), 0,5 (Z)	µm (6-Achsenbewegung!)
**Kleinste Schrittweite $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	5	5	µrad (6-Achsenbewegung!)
Wiederholgenauigkeit X, Y	±2	±2	µm
Wiederholgenauigkeit Z	±1	±1	µm
Wiederholgenauigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	±10	±10	µrad
Max. Geschwindigkeit X, Y, Z	0,5	8	mm/s
Max. Geschwindigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	6	100	mrads
Typ. Geschwindigkeit X, Y, Z	0,3	5	mm/s
Typ. Geschwindigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	3	50	mrads
<b>Mechanische Eigenschaften</b>			
Steifigkeit ( $k_x$ , $k_y$ )	3	3	N/µm
Steifigkeit ( $k_z$ )	100	100	N/µm
Max. Belastbarkeit (Grundplatte horizontal/beliebig)	200 / 50	200 / 50	kg
Max. Selbsthemmung (Grundplatte horizontal/beliebig)	2000 / 500	250 / 85	N
Resonanzfrequenz*** $F_x$ , $F_y$	90	90	Hz
Resonanzfrequenz*** $F_z$	500	500	Hz
<b>Anschlüsse und Umgebung</b>			
Betriebstemperaturbereich	-10 bis +50	-10 bis +50	°C
Material	Aluminium	Aluminium	
Masse	17	17	kg
<b>Controller</b>			
Mitgelieferter Controller	M-850.502	M-850.502	
Betriebsspannung	100–240 VAC, 50/60 Hz	100–240 VAC, 50/60 Hz	

Technische Daten werden bei 20 ±3 °C spezifiziert. Die Daten für Vakuumversionen können abweichen.



Wassergeschützter Hexapod



HexControl™ Software mit Scan eines faseroptischen Bauteils

\*Die maximalen Stellwege der einzelnen Koordinaten (X, Y, Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ ) sind voneinander abhängig. Die genannten Daten geben den maximalen Stellweg einzelner Achsen an, bei denen alle anderen Achsen auf Nullposition stehen. Andernfalls kann je nach Winkel oder Linearposition der Stellweg geringer ausfallen.

\*\*Bewegung aller 6 Aktoren. Keine geschleppten Kabel wie bei serieller Kinematik („gestapelter Aufbau“). Dadurch werden Biege-, Drehmomente und Reibung eliminiert und die Positionsgenauigkeit verbessert.

Beispiel: Die folgende Kombination einzelner Achsen ist möglich:

X: +20 mm  $\theta_x$ : +10°

Y: +20 mm  $\theta_y$ : +10°

Z: +5 mm  $\theta_z$ : -2°

\*\*\*Aufbau mit horizontaler Grundplatte und 10 kg Last

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden,  
Parallelkinematiken

Linearversteller

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippversteller

Zubehör

Servo- & Schrittmotor-  
steuerungen

Einkanalig

Hybrid

Mehrkanalig

Grundlagen der  
Mikrostelltechnik

Index

# M-840 HexaLight™ 6-Achsen-Hexapod

## Parallelkinematik-System für hohe Geschwindigkeit bis 50 mm/s, mit Controller



M-840 HexaLight™ 6D-Mikropositioniersystem

- Sechs Freiheitsgrade, Stellwege bis 100 mm/60°
- Schnelles Ansprechverhalten
- Keine geschleppten Kabel: Höhere Zuverlässigkeit, reduzierte Reibung
- Belastbarkeit 10 kg, selbsthemmende Version M-840.DG
- Geschwindigkeit bis 50 mm/s
- Wiederholbarkeit bis zu  $\pm 2 \mu\text{m}$
- Encoderauflösung bis 0,016  $\mu\text{m}$
- Wesentlich kompakter und steifer als Seriellkinematiken, höhere Dynamik
- Vakuumkompatible Versionen erhältlich
- Virtueller Pivotpunkt
- Leistungsfähiger Controller mit Vektorsteuerung
- MTBF 20.000 h

Das M-840 ist das ideale Mikrostellsystem für alle komplexen Positionieraufgaben, bei denen es auf hohe Geschwindigkeit und Genauigkeit

in sechs unabhängigen Achsen ankommt.

### Schnellere Positionierung im Raum

Der Hexapod M-840 ist im Gegensatz zum M-850 Hexapod (s. S. 4-6 ff) für höhere Geschwindigkeiten und geringere Lasten ausgelegt. Massen bis zu 10 kg können in beliebiger Orientierung mit bis zu 50 mm/s und 600 mrad/s mikrometergenau positioniert werden. Zusätzlich zur individuellen Positionierung jeder Achse erlaubt es die freie Wahl

des Drehpunktes im Raum per Softwarebefehl.

Zwei Modelle werden angeboten: Das direkt getriebene, schnellere M-840.5PD und das höher übersetzte, selbsthemmende M-840.5DG.

### Vorteile der Parallelkinematik

Der Hexapod basiert auf sechs hochauflösenden Aktoren, die gleichzeitig auf eine gemeinsame Plattform wirken. Dieser Aufbau vereint eine hohe Systemsteifigkeit mit einer großen zentralen Apertur.

Durch die geringe Masse der bewegten Plattform können Positioniervorgänge in allen Achsen mit deutlich kürzeren Einschwingzeiten durchgeführt werden als mit konventionellen, seriell gestapelten Mehrachsensystemen. Während sich bei solchen Systemen Verkippung und Führungsfehler einzelner Achsen addieren und die dynamischen Eigenschaften der einzelnen Achsen beeinflussen sowie Reibung und Momente geschleppter Kabel die Genauigkeit und Zuverlässigkeit begrenzen, ist die Parallelkinematik des Hexapoden hiervon nicht betroffen.

### Stabiler virtueller Pivotpunkt

Für Justageaufgaben ist es wichtig einen feststehenden Drehpunkt definieren zu können. Der im Lieferumfang enthaltene leistungsfähige Hexapodcontroller ermöglicht die Festlegung jedes beliebigen Punktes im Raum als Rotationszentrum per Softwarebefehl. Dieser Drehpunkt bleibt unabhängig von der Bewegung erhalten.

Darüber hinaus können alle Positionen im 6D-Raum direkt in kartesischen Koordinaten

### Bestellinformation

#### M-840.5PD

Hexapod Mikroroboter mit Controller, Direktantrieb

#### M-840.5DG

Hexapod Mikroroboter mit Controller, getriebeübersetzt

### Optionale Photometer

#### F-206.iiU

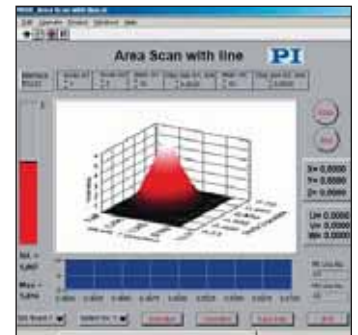
Photometerkarte, IR-Bereich, 2 Kanäle

#### F-206.VVU

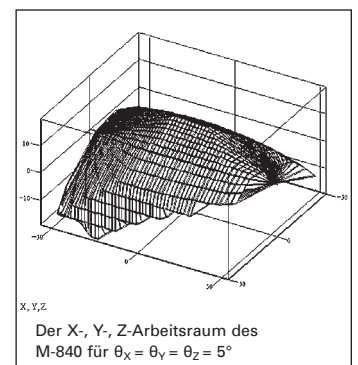
Photometerkarte, sichtbarer Bereich, 2 Kanäle

#### F-361.10

Absolut messendes Photometer, 1.000 bis 1.600 nm



HexControl™ Software mit Scan eines faseroptischen Bauteils



X, Y, Z

Der X-, Y-, Z-Arbeitsraum des M-840 für  $\theta_x = \theta_y = \theta_z = 5^\circ$

vorgegeben und über vektorierte Bewegungen erreicht werden.

**Offene Softwarearchitektur**

Die Ansteuerung des Hexapoden wird durch die bedienerfreundliche offene Softwarearchitektur erleichtert, die eine Vielzahl von Hochsprachenbefehlen und die Makroprogrammierung von Bewegungssequenzen zulässt.

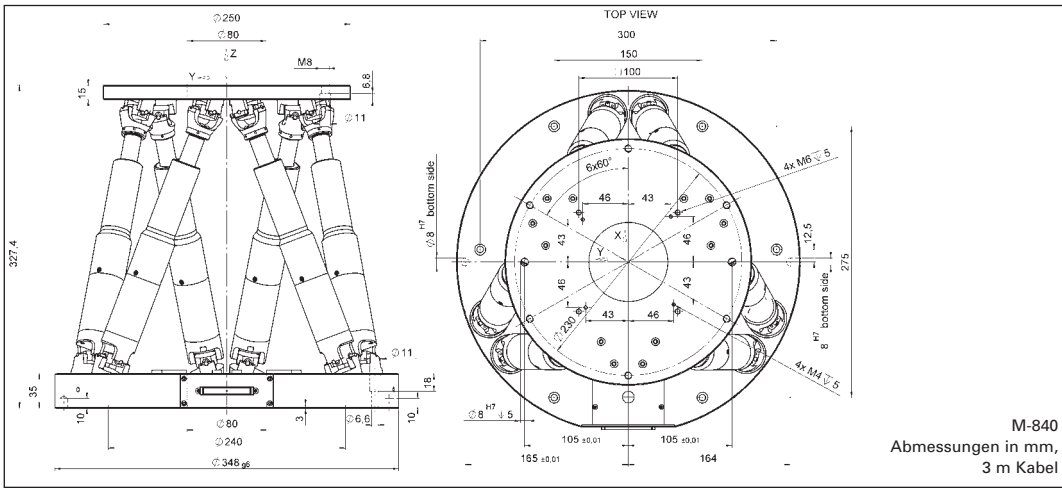
**Automatische optische Justage**

Als Option stehen interne oder externe Photometer sowie integrierte Routinen für die automatische Justage optischer Komponenten zur Verfügung. Weitere Informationen zu den Photometern siehe: [www.pi.ws](http://www.pi.ws).

Ein kleinerer, hochgenauer Hexapod, der speziell für die

Ausrichtung von Kollimatoren, Faserbündeln und I/O-Chips entwickelt wurde, ist unter der Produktnummer F-206 erhältlich (s. S. 4-12 ff).

Eine kompakte, vakuumkompatible Ausführung wird unter der Produktnummer M-824 (s. S. 4-10 ff) angeboten.



Hexapodcontroller mit optionalem Display und Tastatur



Hochgeschwindigkeits-Photometer F-361

**Technische Daten**

Modell	M-840.5PD	M-840.5DG	Einheit
Aktive Achsen	X, Y, Z, $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	X, Y, Z, $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	
<b>Bewegung und Positionieren</b>			
*Stellweg X, Y	±50	±50	mm
*Stellweg Z	±25	±25	mm
*Stellweg $\theta_x$ , $\theta_y$	±15	±15	°
*Stellweg $\theta_z$	±30	±30	°
Aktorantrieb	DC Motor	DC Motor	
Aktorhub	±25	±25	mm
Integrierter Sensor	Rotationsencoder	Rotationsencoder	
Sensoraufösung	2048	2048	
Rechnerische Aktoraufösung	0,5	0,017	µm
**Kleinste Schrittweite X, Y	3	1	µm
**Kleinste Schrittweite Z	1	0,5	µm
**Kleinste Schrittweite $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	5	5	µrad
Wiederholgenauigkeit X, Y	±2	±2	µm
Wiederholgenauigkeit Z	±1	±1	µm
Wiederholgenauigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	±20	±20	µrad
Max. Geschwindigkeit X, Y, Z	50	2,5	mm/s
Max. Geschwindigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	600	30	mrad/s
Typ. Geschwindigkeit X, Y, Z	30	2	mm/s
Typ. Geschwindigkeit $\theta_x$ , $\theta_y$ , $\theta_z$	300	20	mrad/s
<b>Mechanische Eigenschaften</b>			
Max. Belastbarkeit (Grundplatte horizontal/beliebig)	10 / 3	10 / 3	kg
Max. Selbsthemmung (Grundplatte horizontal/beliebig)	15 / 5	100 / 25	N
Resonanzfrequenz*** $F_x$ , $F_y$	100	100	Hz
Resonanzfrequenz*** $F_z$	300	300	Hz
<b>Anschlüsse und Umgebung</b>			
Betriebstemperaturbereich	-10 bis +50	-10 bis +50	°C
Material	Aluminium	Aluminium	
Masse	12	12	kg
<b>Controller</b>			
Mitgelieferter Controller	M-850.502	M-850.502	
Betriebsspannung	100-240 VAC, 50/60 Hz	100-240 VAC, 50/60 Hz	

Technische Daten werden bei 20 ± 3 °C spezifiziert. Die Daten für Vakuumversionen können abweichen.

\*Die maximalen Stellwege der einzelnen Koordinaten (X, Y, Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ ) sind voneinander abhängig. Die genannten Daten geben den maximalen Stellweg einzelner Achsen an, bei denen alle anderen Achsen auf Nullposition stehen. Andernfalls kann je nach Winkel oder Linearposition der Stellweg geringer ausfallen.

\*\*Bewegung aller 6 Aktoren. Keine geschleppten Kabel wie bei serieller Kinematik („gestapelter Aufbau“). Dadurch werden Biege-, Drehmomente und Reibung eliminiert und die Positionsgenauigkeit verbessert.

\*\*\*Aufbau mit horizontaler Grundplatte ohne Last

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden, Parallelkinematiken

Linearversteller

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippversteller

Zubehör

Servo- & Schrittmotorsteuerungen

Einkanalig

Hybrid

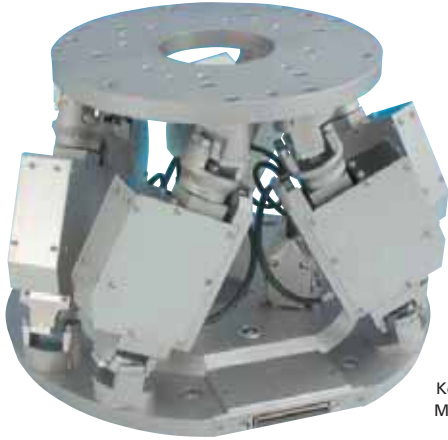
Mehrkanalig

Grundlagen der Mikrostelltechnik

Index

# M-824 Kompakter 6-Achsen-Hexapod

## Präzisions-Parallelkinematik-System auch für Vakuum, mit Controller



Kompakter  
M-824.3DG  
Hexapod

- Äußerst kompakte Bauform
- Stellwege bis 45 mm, Rotation bis 25 Grad
- Belastbarkeit bis 10 kg, selbsthemmende Version
- Auflösung bis 7 nm
- Kleinste Schrittweite bis 300 nm
- Wiederholbarkeit bis zu  $\pm 0,5 \mu\text{m}$
- Geschwindigkeit bis 25 mm/s
- Vakuumkompatible Versionen erhältlich

Das M-824 ist das ideale Mikrostellsystem für alle komplexen Positionieraufgaben, bei denen es auf hohe Genauigkeit und Schrittauflösung in sechs unabhängigen Achsen ankommt. Zusätzlich zur individuellen Positionierung jeder Achse erlaubt es die freie Wahl des Drehpunktes (Pivotpunkt) im Raum per Softwarebefehl.

### Besonders kompakter Aufbau, zwei Motorversionen

Bei den gefalteten Antrieben des M-824 liegen Motor und Spindel nebeneinander, wodurch die Bauhöhe von 188 mm in Nullposition deutlich niedriger als bei den Hexapoden der Serie M-850, (s. S. 4-6) und M-840, (s. S. 4-8), ist. Zwei Modelle mit verschiedenen Antrieben sind erhältlich: Der M-824.3DG mit DC-Getriebemotor positioniert Massen bis zu 5 kg in beliebiger Orientierung (10 kg bei horizontaler Grundplatte) mit Sub-Mikrometerpräzision und dabei selbsthemmend. Der M-824.3PD mit ActiveDrive™ System mit integriertem PWM-Servoverstärker erlaubt eine deutlich höhere Geschwindigkeit von 25 mm/s für mittlere Lasten bis 5 kg.

### Anwendungsbeispiele

- Biotechnologie
- Halbleiterfertigung
- Mikrofertigung
- Mikromanipulation
- Röntgen-Diffraktometrie
- Werkzeugkontrolle

### Vorteile der Parallelkinematik

Der Hexapod basiert auf sechs hochauflösenden Aktoren, die gleichzeitig auf eine gemeinsame Plattform wirken. Dieser Aufbau vereint eine hohe Systemsteifigkeit mit einer großen zentralen Apertur.

Durch die geringe Masse der bewegten Plattform können Positioniervorgänge in allen Achsen mit deutlich kürzeren Einschwingzeiten durchgeführt werden als mit konventionellen, seriell gestapelten Mehrachsensystemen. Während sich bei solchen Systemen Verkipfung und Führungsfehler einzelner Achsen addieren und die dynamischen Eigenschaften der einzelnen Achsen beeinflussen sowie Reibung und Momente geschleppter Kabel die Genauigkeit und Zuverlässigkeit begrenzen, ist die

### Bestellinformation

#### M-824.3PD

Kompakter Hexapod Mikroroboter mit Controller, Direktantrieb

#### M-824.3DG

Kompakter Hexapod Mikroroboter mit Controller, getriebeübersetzt

#### M-824.3VP

Kompakter Hexapod Mikroroboter mit Controller, Direktantrieb, vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa

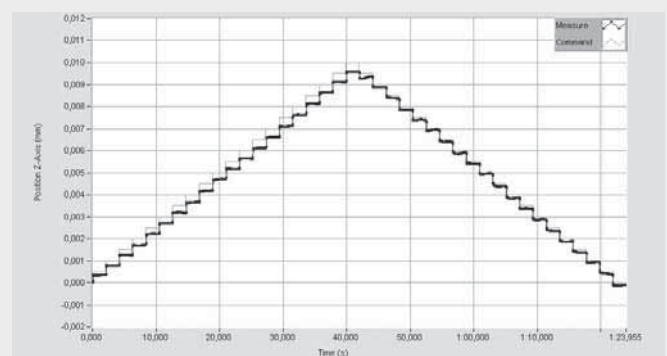
#### M-824.3VG

Kompakter Hexapod Mikroroboter mit Controller, getriebeübersetzt, vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa

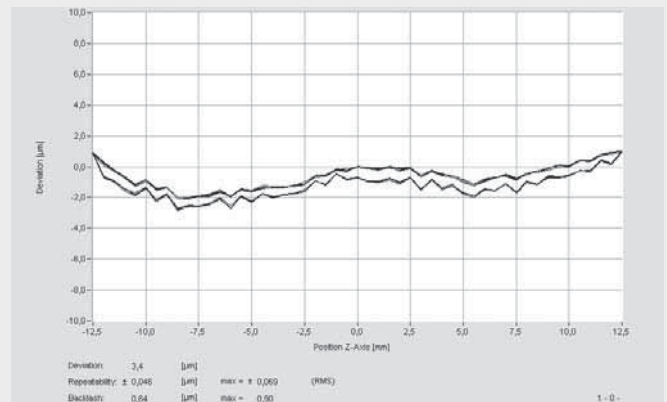
Parallelkinematik des Hexapoden hiervon nicht betroffen.

### Stabiler virtueller Pivotpunkt

Für Justageaufgaben ist es wichtig einen feststehenden Drehpunkt definieren zu können. Der im Lieferumfang enthaltene leistungsfähige



Der Interferometertest zeigt die gute Wiederholbarkeit von 500 nm Schritten



Der Interferometertest zeigt die Positioniergenauigkeit über den vollen Stellbereich von 25 mm in Z-Richtung und die extrem gute Wiederholbarkeit von  $\pm 0,046 \mu\text{m}$



## F-206.S HexAlign™ 6 Achsen-Hexapod Parallelkinematik-Mikrojustiersystem / Mikromanipulator, mit Controller



Der F-206.S Hexapod wird mit einem digitalen 6D-Controller und umfangreicher Software ausgeliefert

- **Parallelkinematik mit sechs Freiheitsgraden**
- **Aktorauflösung 0,033 µm**
- **Wiederholbarkeit 0,3 µm**
- **Keine bewegten Kabel: Höhere Zuverlässigkeit, reduzierte Reibung**
- **Wesentlich kompakter und steifer als Seriellkinematik-Systeme, höhere Dynamik**
- **Zum Scannen und Justieren**
- **Vektorsteuerung mit virtuellem Pivotpunkt**
- **Leistungsfähiger Controller mit Open-Source LabVIEW-Treibern und DLL-Bibliotheken**
- **Integrierte Faserkoppelroutinen**

Der F-206.S HexAlign™ Hexapod ist ein hochpräzises Mikrostellensystem für komplexe Mehrachsen-Justageaufgaben und basiert auf PI's langjähriger Erfahrung mit hochauflösenden

Parallelkinematik-Mechanismen. Im Gegensatz zu klassischen Hexapoden mit variabler Beinlänge, ist der F-206 mit Streben konstanter Länge und Flexureführungen ausgerüstet. Dadurch erreicht er eine noch bessere Auflösung und Wiederholbarkeit als andere Hexapodkonstruktionen.

### Kompakt, Plug & Play

Der F-206.S Hexapod ist wesentlich kleiner und genauer als vergleichbare 6-Achsen-systeme serieller Kinematik (gestapelter Aufbau einzelner Achsen).

Während sich bei seriellen Systemen Verkippung und Führungsfehler einzelner Achsen addieren sowie Reibung und

Momente geschleppter Kabel die Genauigkeit begrenzen können, ist die Parallelkinematik des Hexapoden hiervon nicht betroffen. Darüber hinaus bleibt der frei definierbare Drehpunkt unabhängig von der Bewegung erhalten. Der leistungsfähige Controller übernimmt automatisch die Koordination aller 6 Antriebe. Weil alle Aktoren auf die gleiche Plattform wirken, wird ein aufwändiger Servoabgleich der einzelnen Achsen durch unterschiedliche Belastungen (wie bei seriellen Systemen möglich) ausgeschlossen.

### Virtueller Pivotpunkt

Für Justageaufgaben, besonders bei Faseroptiken, ist es wichtig, einen feststehenden Drehpunkt definieren zu können. Der leistungsfähige Hexapodcontroller ermöglicht die Festlegung jedes beliebigen Punktes im Raum als Rotationszentrum. Darüber hinaus können alle Positionen im 6D-Raum direkt in kartesischen Koordinaten vorgegeben und über vektorisierte Bewegungen erreicht werden.

### 6 Freiheitsgrade, keine bewegte Kabel

Das Parallelkinematik-Konzept des F-206 kommt völlig ohne bewegte und geschleppte Kabel aus. Dadurch werden Reibung und Drehmomente auf die Stellplattform vermieden und höhere Auflösungen und Reproduzierbarkeiten ermöglicht. Weitere Vorteile des Systems sind:

- **Keine Kabelführungssysteme notwendig**
- **Reduzierte Größe und Massenträgheit**
- **Höhere Dynamik und besseres Einschwingverhalten**

### Bestellinformation

- F-206.S0**  
Hexapod 6-Achsen- Mikrojustiersystem / -Mikromanipulator mit 6D-Hexapodcontroller
  - F-206.SD**  
Hexapod 6-Achsen- Mikrojustiersystem / -Mikromanipulator mit 6D-Hexapodcontroller, Display und Tastatur
  - Optionen**
  - F-206.AC8**  
Zwei zusätzliche Steuerkanäle für Servomotoren im F-206 Controller
  - F-206.i3E**  
GPIB/IEEE 488 Interface für F-206 Controller
  - F-206.MHU**  
Kraft begrenzendes Montageplattform (enthalten in F-206.S)
  - F-206.NCU**  
Aufrüstung: Schnelles Piezo-Nanopositioniersystem für F-206.S. Besteht aus P-611.3SF NanoCube® und E-760 Controllerkarte
  - F-206.MC6**  
Interaktive manuelle 6D-Bedieneinheit
  - F-206.VVU**  
Photometerkarte (sichtbarer Bereich)
  - F-206.iIU**  
Photometerkarte (IR-Bereich)
  - F-361.10**  
Absolut messendes Photometer, 1.000 bis 1.600 nm
- Weiteres Zubehör siehe [www.pi.ws](http://www.pi.ws).

### Offene Architektur, einfache Programmierung

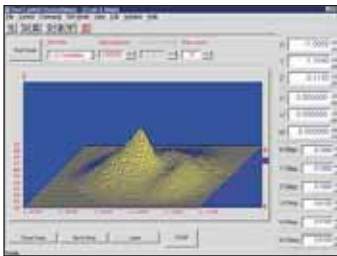
Die Einbindung des F-206 in komplexe Anwendungen wird durch die offene Softwarearchitektur und den umfangreichen Befehlssatz erleichtert. Der Controller erlaubt u.a. auch die interne Abspeicherung und Ausführung von Makroprogrammen und den Stand-Alone- Betrieb mit Monitor und Keyboard.

### Anwendungsbeispiele

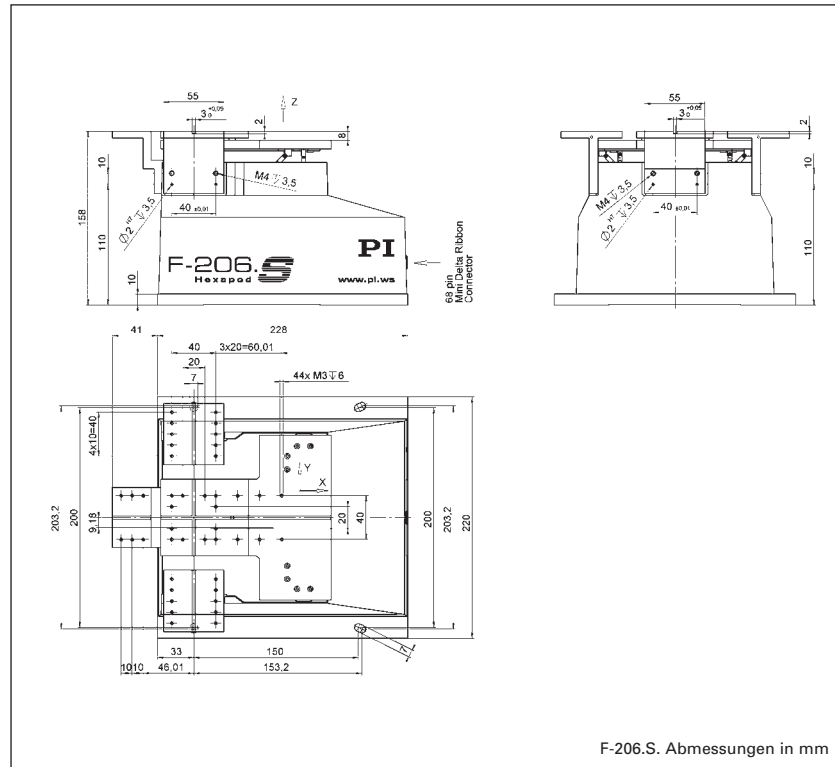
- Mikrobearbeitung
- Photonik
- Faserkopplung
- Halbleiter-Testsysteme
- Mikromanipulation (Life-Science)
- Optische Testaufbauten
- Justage von Kollimatoren und Faserbündeln
- MEMS-Justage

## Automatische optische Justage

Als Option stehen interne oder externe Photometer zur Verfügung. Sie arbeiten nahtlos mit den im Controller integrierten Routinen zusammen, die speziell für die automatische Ausrichtung von Kollimatoren, Faserbündeln und I/O-Chips entwickelt wurden. Weitere Informationen zu den Photometern siehe: [www.pi.ws](http://www.pi.ws).



HexControl™ Software mit Scan eines faseroptischen Bauteils



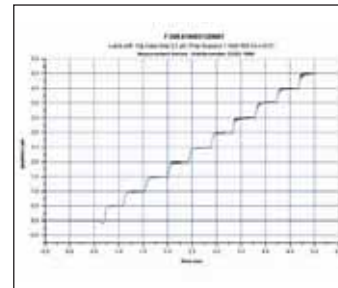
F-206.S. Abmessungen in mm

## Technische Daten

Modell	F-206.S0 / F-206.SD
* Stellweg X	-8 bis +5,7 mm
* Stellweg Y	±5,7 mm
* Stellweg Z	±6,7 mm
* Stellweg $\theta_x$	±5,7°
* Stellweg $\theta_y$	±6,6°
* Stellweg $\theta_z$	±5,5°
Aktorauflösung	33 nm
** Kleinste Schrittweite X, Y, Z	0,1 $\mu\text{m}$ (6-Achsenbewegung!)
** Kleinste Schrittweite $\theta_x, \theta_y, \theta_z$	2 $\mu\text{rad}$ (0,4") (6-Achsenbewegung!)
Bidirektionale Wiederholbarkeit X, Y, Z	0,3 $\mu\text{m}$
Bidirektionale Wiederholbarkeit $\theta_x, \theta_y, \theta_z$	3,6 $\mu\text{rad}$
Geschwindigkeit X, Y, Z	0,01 bis 10 mm/s
Belastbarkeit (vertikal)	2 kg, horizontale Montage, im Zentrum der Montageplattform
Masse	5,8 kg
Controller	Digitaler Hexapodcontroller mit optionaler Photometerkarte und internen Scan- und Koppelroutinen
Betriebsspannung	100-240 VAC, 50/60 Hz
Software	LabView™-Treiber, Software zur Array-Justage, DLL-Bibliotheken, HexControl™ „Scan & Alignment“ Software, Terminalsoftware

\*Die maximalen Stellwege der einzelnen Koordinaten (X, Y, Z,  $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ ) sind voneinander abhängig. Die genannten Daten geben den maximalen Stellweg einzelner Achsen an, bei denen alle anderen Achsen auf Nullposition stehen. Andernfalls kann je nach Winkel oder Linearposition der Stellweg geringer ausfallen.

\*\*Bewegung aller 6 Aktoren. Keine geschleppten Kabel wie bei serieller Kinematik („gestapelter Aufbau“)! Dadurch werden Biege-, Drehmomente und Reibung eliminiert und die Positionsgenauigkeit verbessert.



Der Interferometertest eines F-206.S Systems zeigt die extrem gute Wiederholbarkeit kleiner Schritte, hier 0,5  $\mu\text{m}$ , im Zeitraster von 100 ms

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden,  
Parallelkinematiken

Linearversteller

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippversteller

Zubehör

Servo- & Schrittmotor-  
steuerungen

Einkanalig

Hybrid

Mehrkanalig

Grundlagen der  
Mikrostelltechnik

Index

## M-850K 6-Achsen Vakuum Hexapod

### Parallelkinematik System für große Temperaturbereiche



Dieses Sondermodell ist für den Einsatz in einer Thermo-Vakuumkammer ausgelegt

- Sechs Freiheitsgrade, Arbeitet in jeder Orientierung
- Vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa
- Vertikale Belastbarkeit 200 kg
- Wiederholbarkeit bis  $\pm 1 \mu\text{m}$
- Encoderauflösung bis 5 nm

Modell	Betriebs-temperaturbereich	Lager-temperatur	Stellwege	Abmessungen
M-850KTVH Vakuum Hexapod	-10 bis +25 °C	-20 bis +40 °C	$\pm 50$ mm (X,Y), $\pm 25$ mm (Z), $\pm 15^\circ$ ( $\theta_x, \theta_y$ ), $\pm 30^\circ$ ( $\theta_z$ )	$\varnothing$ 350 mm 330 mm hoch

## M-850K Wetterbeständiger Hexapod

### Präzisions-Hexapod für den Außeneinsatz in der Astronomie



Dieses Hexapod Sondermodell M-850KWAH kann in Höhen bis 5000 m ü.NN im Freien betrieben werden

- Belastbarkeit bis 750 N
- Unidirektionale Wiederholbarkeit 5  $\mu\text{m}$
- Freie Apertur  $\varnothing$  420 mm
- Hohe Lebensdauer: 2 Mio. Zyklen
- Antrieb: Bürstenlose Motoren
- Entspricht Schutzklasse IP 64
- Korrosionsschutz

Modell	Stellweg X / Y / Z	Max. Belastbarkeit	Masse	Abmessungen
M-850KWAH Wetterbeständiger Hexapod	$\pm 10 / \pm 11 / \pm 16$ mm	750 N	46 kg	$\varnothing$ außen 580 mm Höhe 357 mm

## M-810 Miniatur-Hexapod

### Hohe Präzision auf kleinstem Raum



Der Miniatur-Hexapod M-810 bietet große Stellwege bei kleinsten Abmessungen

- Kompaktester Hexapod im PI-Programm
- Stellweg 40 x 40 x 13 mm
- Auflösung des Einzelantriebs <100 nm
- Integrierte Treiberelektronik

Modell	Belastbarkeit	Stellweg X / Y / Z	Stellweg $\theta_x / \theta_y / \theta_z$	Max. Geschwindigkeit	Abmessungen
M-810.00	5 kg	$\pm 20$ mm $\pm 20$ mm $\pm 6,5$ mm	$\pm 11^\circ$ $\pm 11^\circ$ $\pm 30^\circ$	10 mm/s	$\varnothing$ außen 100 mm Höhe 118 mm

## M-850K Hochlast Hexapod

### Präzisions-Hexapod für allerhöchste Lasten bis zu 1 Tonne



Dieser vakuumkompatible Hexapod M-850KHLH bietet sechs Freiheitsgrade für Lasten bis zu einer Tonne, hier Größenvergleich mit einem M-840 Standardhexapod

- 6 Freiheitsgrade
- Maximale Belastbarkeit bis 1000 kg
- Wiederholbarkeit bis 2  $\mu\text{m}$
- Antrieb: Bürstenlose Motoren mit Bremse
- Vakuumkompatibel bis  $10^{-6}$  hPa

Modell	Stellweg X / Y / Z	Rotationsbereich $\theta_x / \theta_y / \theta_z$	Max. Geschwindigkeit	Abmessungen
M-850KHLH Hochlast Hexapod	$\pm 12$ mm	$\pm 3^\circ / \pm 3^\circ / \pm 4^\circ$	0,5 mm/s	$\varnothing$ außen 1 m Höhe 0,5 m

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden,  
Parallelkinematiken

Linearversteller

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippversteller

Zubehör

Servo- & Schrittmotor-  
steuerungen

Einkanalig

Hybrid

Mehrkanalig

Grundlagen der  
Mikrostelltechnik

Index

## M-850K Hochlast Hexapod mit großer Apertur

### 6-Achsen Präzisionspositionier- und Justagesystem für Inspektionssysteme



Mit Abmessungen von 100 x 84 x 40 cm und einer Belastbarkeit bis zu 200 kg ist dieses Sondermodell für alle Arten von Feinpositionieraufgaben geeignet, klassisch in der Inspektion von TV-Bildschirmen

- Vertikale Belastbarkeit 200 kg
- Große Apertur mit 640 x 820 mm
- Sechs Freiheitsgrade
- Keine geschleppten Kabel:  
Höhere Zuverlässigkeit, reduzierte Reibung
- Parallelkinematischer Aufbau: Wesentlich kompakter und steifer als Seriellkinematiken, höhere Dynamik
- Virtueller Pivotpunkt
- Leistungsfähiger Controller mit Vektorsteuerung

Modell	Max. Belastbarkeit (Grundplatte horizontal beliebig)	Stellweg X / Z / Z	Stellweg $\theta_x / \theta_y / \theta_z$	Typ. Geschwindigkeit	Abmessungen
M-850KLAH Großer Hexapod	200 / 50 kg	$\pm 25$ mm	$\pm 5^\circ$	2 mm/s lin. 25 mrad/s rot.	100 x 84 x 40 cm

## M-850K Hexapod für tonnenschwere Lasten

### 6 Achsen, lange Stellwege, Mikrometer Genauigkeit



Dieses parallelkinematische Sondermodell bietet mikrometeregenaue Positionierung für Lasten bis zu einer Tonne in jeder Orientierung

- Belastbarkeit bis 1000 kg in jeder Orientierung
- 6 Freiheitsgrade
- Stellwege bis  $\pm 200$  mm, bis  $\pm 20^\circ$
- Auflösung bis 0,8  $\mu\text{m}$ , bis 0,5  $\mu\text{rad}$
- Antrieb: Bürstenlose Motoren mit Bremse
- Leistungsfähiger Controller mit Vektorsteuerung

Modell	Stellwege	Druck-/ Zugkraft	Max. Geschwindigkeit	Unid. Wiederholbarkeit	Abmessungen
M-850KHTH Hochlast Hexapod m. langem Stellweg	$\pm 200$ mm (X, Y), $\pm 100$ mm (Z) $\pm 20^\circ$ ( $\theta_x, \theta_y$ ), $\pm 5^\circ$ ( $\theta_z$ )	10.000 N	1 mm/s	$\pm 1 \mu\text{m}; \pm 3 \mu\text{rad}$	Grundplattform: 900 mm $\varnothing$ Obere Plattform: 800 mm $\varnothing$ Höhe 714 mm Apertur: $\varnothing$ 500 mm

# M-833 Tripod-Parallelkinematik / Goniometer

## Präzise Positionierung in X, Z und $\theta_Y$



Der parallelkinematische M-833 Tripod führt präzise Hub- und Translationsbewegungen, sowie Verkippungen um die Y-Achse aus, wobei der Drehpunkt frei wählbar ist

- Goniometer-Hubtisch mit frei wählbarem Pivotpunkt
- Stellwege  $\pm 25$  mm /  $\pm 25$  mm /  $\pm 30^\circ$
- Belastbar bis 4 kg
- Kleinste Schrittweite bis  $0,1 \mu\text{m}$
- ActiveDrive™ Servoantriebe
- Kompakte Bauweise durch Parallelkinematik

Modell	Stellwege	Max. Geschwindigkeit	Steifigkeit in Z	Abmessungen
M-833.00 Tripod Goniometer-Hubtisch	$\pm 25$ mm (X, Z), $\pm 30^\circ$ ( $\theta_Y$ )	10 mm/s (linear)	50 N/ $\mu\text{m}$	223,2 x 110 x 192 mm

# M-880 3-Achsen-Präzisions-Positioniersystem

## Parallelkinematik in XY-Theta-Z mit besonders hoher Haltekraft



M-880.PD positioniert Lasten bis 20 kg in der Ebene mit Sub-Mikrometer-Genauigkeit

- Stellwege 20 mm / 20 mm /  $8^\circ$
- Statisch belastbar bis 150 kg
- ActiveDrive™ Servoantriebe
- Flache Bauweise durch Parallelkinematik
- Kleinste Schrittweite bis  $0,75 \mu\text{m}$
- Große Apertur für Durchlichtanwendungen
- Controller im Lieferumfang enthalten

Modell	Aktive Achsen	Stellweg	Max. Geschwindigkeit	Steifigkeit, linear	Belastbarkeit	Haltekraft in Z
M-880.PD	X, Y, $\theta_Z$	$\pm 10$ mm, $\pm 4^\circ$	20 mm/s	5 N/ $\mu\text{m}$	200 N	1500 N

# Hinweise zu den technischen Daten für Mikrostellsysteme

## Aktive Achsen

Die Spezifikationen in den Datenblättern beziehen sich auf die angegebene Bewegungsachse, typ. horizontal (X).

## Bewegung und Positionieren

### Stellweg

Der maximal mögliche Stellweg wird durch die Länge der Antriebsspindel begrenzt. Falls vorhanden, bestimmt der Abstand der Endschalter den Stellbereich.

### Integrierter Sensor

Rotations- oder Linearencoder

### Encoderauflösung

*Rotationsencoder:*

Impulse pro Spindeldrehung

*Linearencoder:*

Kleinste Bewegung, die vom verwendeten Sensorsystem noch detektiert wird

### Rechnerische Auflösung

Die theoretisch kleinste Bewegung, die ein Positioniersystem durchführen kann. Entspricht der Encoderauflösung beim direkt messenden System (Linearencoder). Beim indirekten Messsystem sind Faktoren wie Spindelsteigung, Getriebeübersetzung und Auflösung des Motors bzw. Encoders berücksichtigt.

### Kleinste Schrittweite

Die kleinste Bewegung, die wiederholbar durchgeführt werden kann, wird kleinste Schrittweite genannt. Sie unterscheidet sich meist stark von der rechnerischen Auflösung, die wesentlich besser ausfallen kann (s. a. Rechnerische Auflösung) und wird durch Messungen ermittelt. Die Datenta-

belle enthält typische Messwerte.

Optional kann bei einigen Verstärkern ein zusätzlicher Piezofintrieb eingesetzt werden, der dann wiederholbare Bewegungen mit Nanometergenauigkeit und schneller Ansprechzeit erlaubt.

Lösungen für Nanometer- und Subnanometerauflösung finden Sie in den Kapiteln „Piezo Systeme / Schnelle Scantische“ (S. 2-3 ff) und „Piezoaktoren / Piezokomponenten“ (S. 1-61 ff).

### Umkehrspiel

Der Positionierfehler, der bei einer Richtungsänderung auftritt aufgrund von mechanischem Spiel im Antriebsstrang (s. S. 4-128). Die Datentabelle enthält typische Messwerte. Daten für Vakuumversionen können abweichen.

### Drehwinkel / Linearvorschub

Die Winkelauslenkung pro Linearhub des Antriebes. Gilt für Drehtische mit Tangentialantrieben (s. S. 4-82).

### Uni- / Bidirektionale Wiederholbarkeit

Angegeben sind typische Messwerte (RMS, 1 Sigma)

### Neigen / Gieren

Über den gesamten Stellweg gesehene maximale Abweich-

ung um die Y- (Neigen) und Z-Achse (Gieren), wobei die Bewegung in X-Richtung erfolgt (rechtwinkliges Koordinatensystem). Die Datentabelle enthält typische Messwerte als  $\pm$  Werte. Weiteres bei „Definition der Achsen und Winkel“ (s. S. 4-128 ff).

### Max. Geschwindigkeit

Angegeben ist der kurzzeitige Spitzenwert bei horizontaler Montage, ohne zusätzliche Last. Dieser Wert ist nicht für den kontinuierlichen Betrieb geeignet. Durchschnitts- und Dauergeschwindigkeit sind niedriger als der Spitzenwert und hängen von den Randbedingungen der Anwendung ab. Daten für Vakuumversionen können abweichen.

### Referenzschalter Wiederholgenauigkeit

Wiederholgenauigkeit für den Referenzschalter (falls vorhanden).

Linearantriebe & Aktoren

Nanostelltechnik / Piezoelektronik

Nanomesstechnik

Mikrostelltechnik

Hexapoden,  
Parallelkinematiken

Linearverstärker

Horizontalachsen (X)

Vertikalachsen (Z)

Mehrachsig

Rotations- u. Kippverstärker

Zubehör

Servo- & Schrittmotor-  
steuerungen

Einkanlig

Hybrid

Mehrkanlig

Grundlagen der  
Mikrostelltechnik

Index

## Mechanische Eigenschaften

### Motorauflösung

Auflösung eines Schrittmotors, eingerechnet ist die Mikroschrittuntersetzung mit PI Schrittmotorcontrollern.

### Steifigkeit in Stellrichtung

Typische Toleranz:  $\pm 20\%$

### Max. Druck-/Zugbelastbarkeit

Obergrenze für aktive und passive Kraft in Stellrichtung, mäßig. Höhere Kräfte sind evtl. möglich, beeinflussen aber die Lebensdauer. Daten für Vakuumversionen können abweichen.

## Antriebs-eigen-schaften

### Motortyp / Betriebsspannung

*ActiveDrive™*: Die Betriebsspannung (meist 24 V) für *ActiveDrive™* Motoren wird von einem separaten Netzteil bereitgestellt (im Lieferumfang enthalten).

*DC Motor*: DC Servomotoren benötigen eine Betriebsspannung bis zu 12 VDC. Der Wert ist differentiell, die Größe bestimmt die Geschwindigkeit, das Vorzeichen die Stellrichtung.

*Schrittmotor*: Schrittmotoren von PI werden im Chopper Modus betrieben.

### Motorleistung

Angaben des Motorherstellers

### Drehmoment

Angaben des Motorherstellers

## Anschlüsse und Umgebung

### Betriebstemperaturbereich

Sicherer Betrieb, ohne Schaden für den Antrieb. Alle technischen Daten im Datenblatt beziehen sich auf Zimmertemperatur ( $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ ).

### Material

Mikropositioniertische sind normalerweise aus eloxiertem Aluminium oder rostfreiem Stahl gefertigt. Geringe Mengen anderer Materialien können enthalten sein (für Lager, Vorspannung, Kupplung, Montage, etc). Für Sonderanwendungen können andere Materialien, wie z. B. Invar verwendet werden.

Al: Aluminium

N-S: Unmagnetischer, rostfreier Stahl

St: Stahl

I: Invar

### Masse

Typische Toleranz:  $\pm 5\%$

### Kabellänge

Typische Toleranz:  $\pm 10\text{ mm}$

### Empfohlene Controller

Geeignete Motorcontroller sind im Kapitel „Servo- & Schrittmotorsteuerungen“ beschrieben (s. S. 4-109 ff)

Weitere Informationen in „Grundlagen der Mikrosteuertechnik“ (s. S. 4-127 ff)

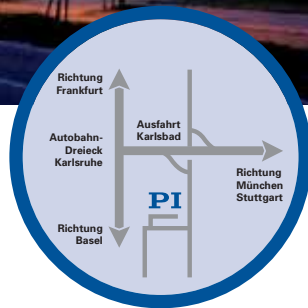
## Alle Wege führen zu PI

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

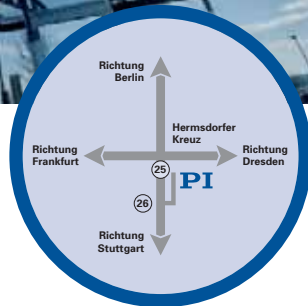


### PI Ceramic Lederhose



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)



### 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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://www.pionline.it)