

WHITEPAPER

# Hexapoden für die hochpräzise Positionierung

PARALLELKINEMATIK – DER IDEALE LÖSUNGSANSATZ BEI DER MIKROPOSITIONIERUNG



Einleitung	3
Prinzip „Flugsimulator“ und frei definierbarer Drehpunkt	4
Miniatur-Hexapod mit viel Bewegungsfreiheit	4
Drei Freiheitsgrade in der Ebene	5
Hexapoden in der Anwendung	5
Parallel- und Seriell-Kinematik im Vergleich	6
Fazit	6
Autor	6
Firmenprofil	7
Kontakt	7

## Einleitung

In zahlreichen Branchen der Automatisierungstechnik muss heute auf den Mikrometer genau positioniert werden. Typische Beispiele finden sich in der Elektronikfertigung ebenso wie in der Medizintechnik, der Metrologie oder der Biotechnologie. Die Stellwege reichen von wenigen bis zu einigen hundert Millimetern. Müssen auf diese Weise große Lasten präzise positioniert werden, oder steht nur ein begrenzter Bauraum zur Verfügung, so ist das eine technische Herausforderung.

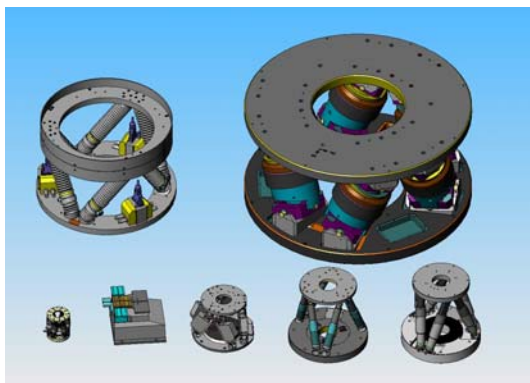
Die Karlsruher Firma Physik Instrumente (PI) bietet in diesem Bereich leistungsfähige Mikrostellsysteme wie beispielsweise sechssachsige Parallelkinematik-Mikroroboter, sogenannte Hexapoden (vgl. Parallel- und Seriell-Kinematik im Vergleich, S. 6). Diese eignen sich in unterschiedlichen Ausführungen für eine Vielzahl von Anwendungen, angefangen von Handlingsystemen in der Elektronikfertigung und der Werkzeugkontrolle in Präzisionswerkzeugmaschinen über die Medizintechnik bis hin zu optischen Systemen, z.B. bei Weltraumteleskopen (Abb. 1) und Satellitenempfangsanlagen. Dabei können die verschiedenen Hexapoden ohne weiteres Lasten von bis zu 50, 200 oder sogar 1000 kg auf den Mikrometer genau positionieren.



**Abb. 1** 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 (Vertex Antennentechnik GmbH)

## Prinzip „Flugsimulator“ und frei definierbarer Drehpunkt

Hexapod-Systeme (Abb. 2) basieren auf sechs hochauflösenden Aktoren, die auf eine gemeinsame Plattform wirken. Prinzipiell ist dies die gleiche Arbeitsweise wie bei einem Flugsimulator, nur sind Hexapoden wesentlich genauer. Statt von Hydraulikantrieben werden die Hexapoden von hochgenauen Antriebsspindeln und präzise ansteuerbaren Elektromotoren oder direkt von Linearmotoren angetrieben.



**Abb. 2** Hexapoden für die hochpräzise Positionierung vom Mini-System mit gerade 10 cm Durchmesser bis zum Schwerlastmodell für Lasten bis zu einer Tonne (Physik Instrumente (PI))

Je nach Anwendung sind dabei verschiedene Antriebstechnologien nutzbar. So stehen mit den NEXLINE® Hexapoden (Abb. 3) Positioniersysteme zur Verfügung, die sich sowohl für Vakuumanwendungen eignen als auch völlig unmagnetisch sind, sich also auch in starken Magnetfeldern bewegen können. Positioniert wird mit bis zu sechs Freiheitsgraden: drei linearen und drei rotatorischen Bewegungen. Dabei sind abhängig von der Geometrie Bewegungen von einigen Grad bis zu 60 Grad und linear von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern möglich.

Die Reproduzierbarkeit erreicht ebenso wie die kleinste Schrittweite Werte bis unter einem Mikrometer. Durch die geringe Masse der bewegten Plattform (vgl. Parallel- und Seriell-Kinematik im Vergleich, S. 6) sind bei den Hexapoden die Einschwingzeiten beim Positionieren deutlich kürzer als bei konventionellen gestapelten Mehrachssystemen.

Für den Anwender sehr einfach ist die Kommandierung des Hexapod-Systems. 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 kartesi-

schen Koordinaten ein und der leistungsfähige Controller auf PC-Basis setzt diese mit den entsprechenden Algorithmen in vektorisierte Bewegungskommandos für die einzelnen Antriebe um.



**Abb. 3** Der nicht magnetische NEXLINE® Hexapod basiert auf sehr genauen Hochlast-Piezoschrittantrieben. Seine Belastbarkeit liegt bei 500 N ("umgangssprachlich" 50 kg) (Physik Instrumente (PI))

## Miniatur-Hexapod mit viel Bewegungsfreiheit

Die Komprimierung des Hexapod-Prinzips auf kleinstem Bauraum zeigt die jüngste Entwicklung der Karlsruher Präzisionsspezialisten:

Mit einem Durchmesser von nur 10 cm und einer Höhe von 118 mm bietet der Miniatur-Hexapod M-810 (Abb. 4) Stellwege bis zu 40 mm in der XY-Ebene und bis zu 13 mm in Z-Richtung. Die Positionsauflösung des Einzelbeins liegt durch die verwendeten hochgenauen bürstenlosen Spezial-DC-Motoren und die hochauflösenden Encoder bei nur 40 nm. Der Mini-Hexapod positioniert zuverlässig Lasten bis 5 kg und erreicht dabei Geschwindigkeiten bis zu 10 mm/s.

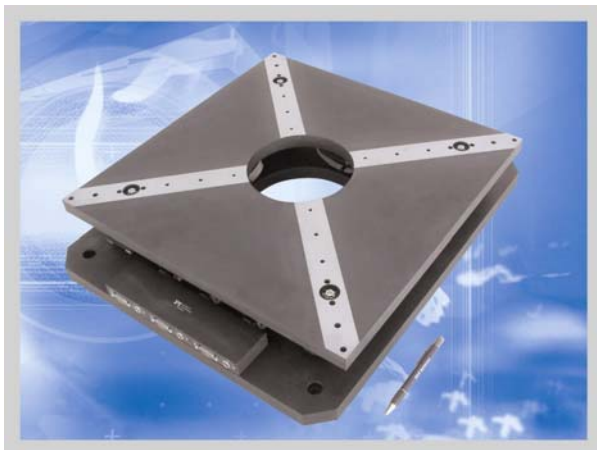


**Abb. 4** Der kompakte M-810 ist kleiner im Durchmesser als eine CD, bietet aber große Stellwege in 6 Achsen und exzellente Positionsauflösung (Physik Instrumente (PI))

## Drei Freiheitsgrade in der Ebene

Das beim Hexapoden verwendete parallelkinematische Prinzip lässt sich jedoch auch noch anderweitig nutzen. Mit dem M-880.PD wurde ein mit einer Bauhöhe von nur 10,5 cm sehr flacher XY-Rotationsversteller entwickelt, der sich für viele Automatisierungsaufgaben eignet, beispielsweise in der LCD- und Halbleiter-Inspektion (Abb. 5).

Die große Plattform mit 50 x 50 cm positioniert bis zu 20 kg in der Ebene und hält gleichzeitig statisch hohen Lasten bis 150 kg stand. Dadurch können Fertigungsschritte direkt nach der Inspektion ohne weiteres Umlagern ausgeführt werden. Für parallelkinematische Systeme aus Karlsruhe erschließen sich damit auch im Bereich der Automatisierungstechnik interessante Einsatzmöglichkeiten.



**Abb. 5** Drei Freiheitsgrade in der Ebene: Flacher XY-Rotationsversteller, der sich für viele Automatisierungsaufgaben eignet, beispielsweise in der LCD- und Halbleiter-Inspektion (Physik Instrumente (PI))

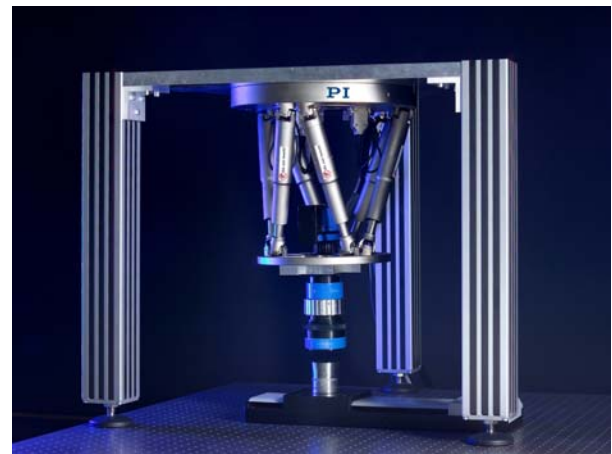
## Hexapoden in der Anwendung

Anwendungsbeispiele für die parallelkinematischen Sechs-Achs-Systeme gibt es viele. In der modernen Medizintechnik kann ein Hexapod (Abb. 6) beispielsweise die Tumorbehandlung unterstützen: Der Hexapod übernimmt dabei die extrem genaue Positionierung der Patienten. Dadurch kann mit niedriger Dosierung bestrahlt werden und umliegendes Gewebe wird nicht so hoch belastet.



**Abb. 6** 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. (Physik Instrumente (PI))

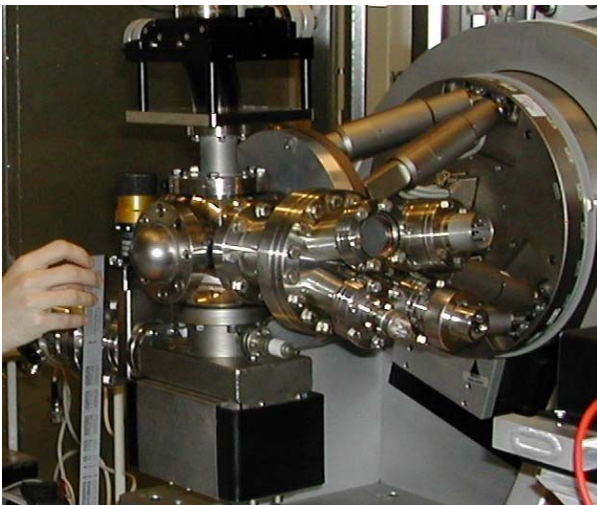
Ein weiteres typisches Beispiel sind interferometrische Messverfahren, mit denen sich bei der Fertigung von Kunststoff- oder Glaslinsen die Oberflächenqualität der Formeinsätze heute direkt in der Fertigungslinie prüfen lässt (Abb. 7).



**Abb. 7** Bei diesem automatisierten Prüfsystem 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 ( Physik Instrumente (PI) / Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT)

Bei diesen Messverfahren muss das Interferometer äußerst präzise zur optischen Oberfläche positioniert sein, eine Aufgabe, für die sich der Hexapod der Serie M-840 als besonders geeignet erwies. Er bietet die Möglichkeit, die Plattform in z-Richtung um +/-25 mm und in x- und y-Richtung jeweils um +/- 50 mm zu bewegen. Dieser Arbeitsraum reicht aus, um sphärische Oberflächen mit einem Radius von 100 mm zu vermessen.

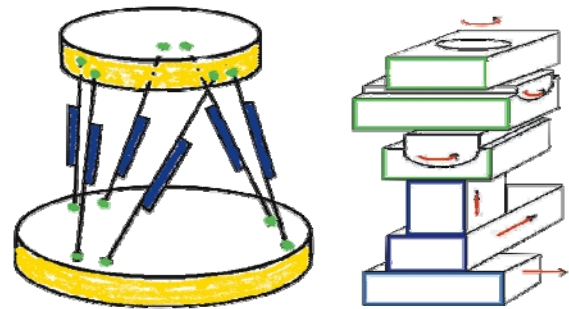
Der frei definierbare Drehpunkt kommt auch bei so genannten Beamline-Experimenten zum Tragen: Der Strahl eines Beschleuniger (Teilchen oder Röntgenstrahlung) muss hier an einer bestimmten Stelle die eigentliche Experimentierkammer mit der Probe treffen. Eine entsprechende Ablenkung des Strahls wäre technisch sehr aufwändig. Mit Hilfe eines Hexapoden lässt sich dagegen die Probe exakt im Strahl positionieren und auch drehen, ohne die Strahllinie zu verlassen (Abb. 8). Dabei kann der Hexapod beispielsweise auch ohne weiteres die komplette Kälte- oder Druckkammer tragen. Entsprechend ausgelegt lassen sich Hexapoden bei Bedarf sogar direkt in die Kammer integrieren.



**Abb. 8** Der PI Hexapod trägt hier eine UHV-Kammer für kristallographische Experimente mit hochenergetischen Röntgenstrahlen (Beamline I811, MAX-lab, Lund, Schweden / UHV-Kammer: Dr. J. Alvarez, Universidad Autonoma de Madrid, Spanien / Physik Instrumente (PI))

## Parallel- und Seriell-Kinematik im Vergleich

Für mehrachsige Anwendungen unterscheidet man prinzipiell zwischen Seriell- und Parallel-Kinematik (Abb. 9). Bei seriellen Systemen wirkt jeder Aktor auf eine eigene Stellplattform, ist also eindeutig einer Achse zugeordnet. Dadurch vereinfachen sich zwar der mechanische Aufbau und die Achsenkommandierung. Da sich Führungsfehler bei den „gestapelten“ Systemen jedoch summieren, ist die Genauigkeit geringer als bei den so genannten parallelkinematischen Systemen. Im Gegensatz zur seriellen Kinematik wirken hier 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.



**Abb. 9** Vergleich zwischen Parallel-Kinematik und Seriell-Kinematik (Physik Instrumente (PI))

## Fazit

Parallelkinematische Systeme ermöglichen präzise Positionierung in bis zu sechs Freiheitsgraden. Ihre Funktionsweise basiert auf hochauflösenden Aktoren, die auf eine gemeinsame Plattform wirken. Durch ihren kompakten Aufbau, ihre hohe Dynamik und die Genauigkeit eignen sich parallelkinematische Systeme für eine Vielzahl von Anwendungen. Die Nutzung verschiedener Antriebstechnologien ermöglicht auch Vakuumanwendungen oder Bewegungen in starken Magnetfeldern.

Häufige Einsatzgebiete der Positioniersysteme sind in der Medizintechnik, der Metrologie, der Biotechnologie sowie in der Automatisierungstechnik zu finden. Die Karlsruher Firma Physik Instrumente (PI) bietet eine Vielzahl leistungsfähiger auf die jeweilige Applikation abgestimmter Mikrostellsysteme.

Weitere Informationen zum Thema hochpräzise Positionierung finden Sie unter:

<http://www.pi.ws>

## Autor

Dipl.-Phys. Birgit Schulze, Produktmanagerin, Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG.

## Firmenprofil

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG ist Markt- und Technologieführer für Präzisions-Positioniersysteme, deren Genauigkeit bis weit unter einen Nanometer reicht. Als PI vor über 30 Jahren piezoelektrische Nanopositioniertechnik auf den Markt brachte, waren die typischen Kunden Wissenschaftler und Forscher, die sich mit Lasern und Interferometrie beschäftigten. Nur wenige konnten damals vorhersehen, wie sehr die Fortschritte in der Nanostelltechnik ganze Industriezweige beeinflussen würden.

Heute entwickelt und fertigt PI Präzisions-Positioniersysteme für alle wichtigen High-Tech-Märkte, wie z.B. Halbleitertechnologie, optische Messtechnik, Biotechnologie und Medizingerätetechnik.

PIs Strategie ist die vertikale Integration, d. h. alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt und gepflegt. Dadurch kann jeder Schritt von der Designphase bis zur Auslieferung folgender Produktbereiche kontrolliert werden: Präzisionsmechanik, Digital- und Analogelektronik, sub-nanometergenaue kapazitive Positionssensoren, Piezokeramik und -aktoren. Dies gewährleistet höchste Qualität bei geringen Kosten. Als privat geführtes Unternehmen mit gesundem Wachstum, über 500 Angestellten und einer flexiblen, vertikal integrierten Organisation, kann PI fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisions-Positioniertechnik erfüllen und Kunden in aller Welt mit herausragenden Produkten versorgen. Hierfür stehen in den wichtigsten lokalen Märkten eigene Vertriebs- und Serviceniederlassungen zur Verfügung.

## Kontakt

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Auf der Römerstraße 1

76228 Karlsruhe

Phone +49 721 / 48 46 – 232

Fax +49 721 / 48 46 – 100

Mailto: b.schulze @pi.ws

<http://www.pi.ws>