Entwicklung von Hexapoden für die Mikropositionierung

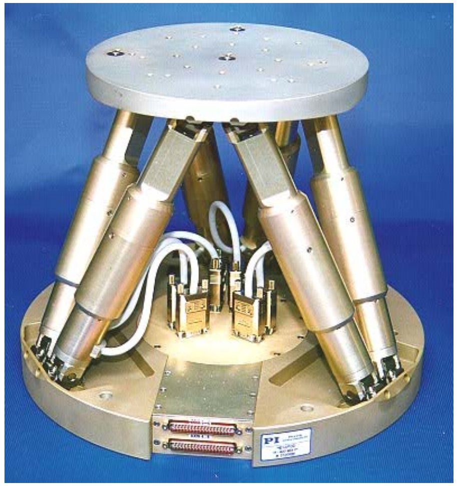
Autor: Dr. Christian Rudolf | Seite: 1

PI

Übersicht

- Einleitung – Was sind Hexapoden?
- Parallelkinematiken vs. Serielle Kinematiken
- Anforderungen an Hexapoden
- Arbeitsraum
- Aufbau von Hexapoden
- Kinematik
- Simulation
- Anwendungsbeispiele

Einleitung – Was sind Hexapoden?

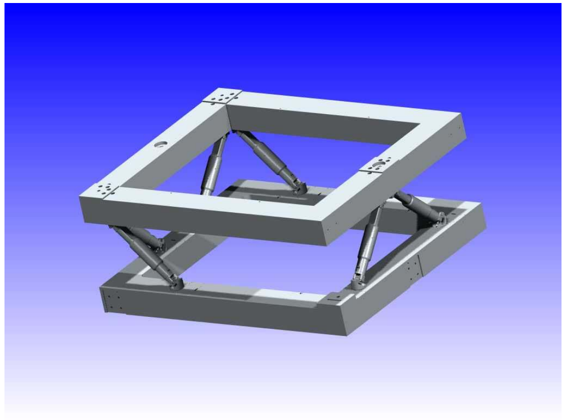


Hexa (griech.) = sechs

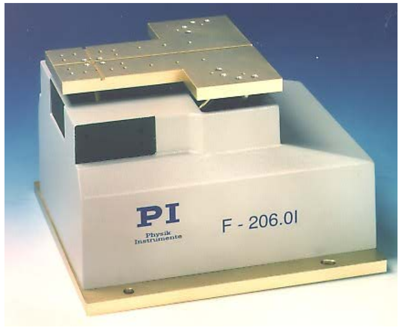
Pod (griech.) = Fuß

→ Hexapod = ‚Sechsfüßer'

Durchmesser > 1m



Länge > 1m

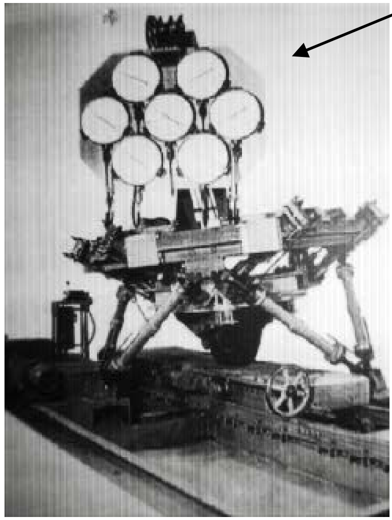


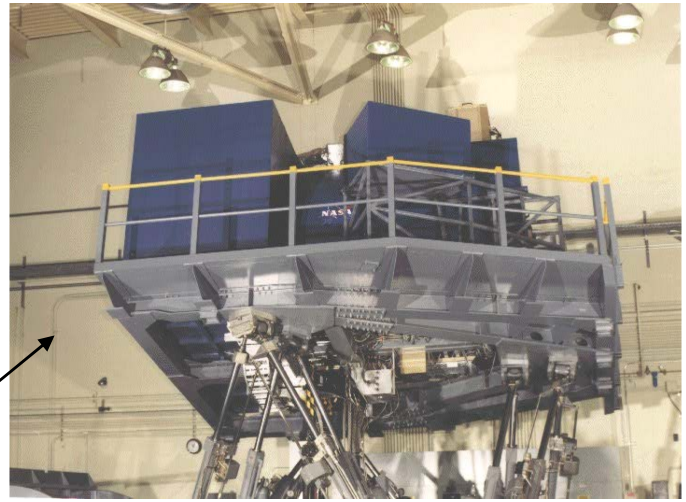
Höhe < 150mm

Geschichtliches

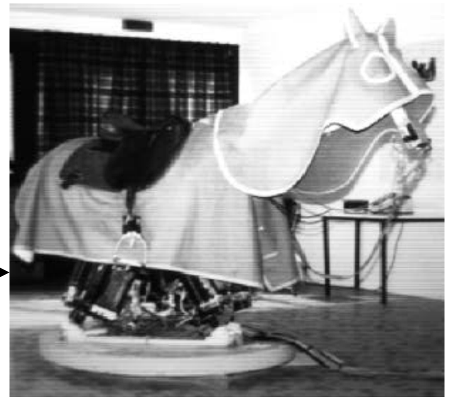
Erste Erwähnung in der Literatur 1890

Erste Hexapodanwendung:
1947-49: Reifenprüfstand



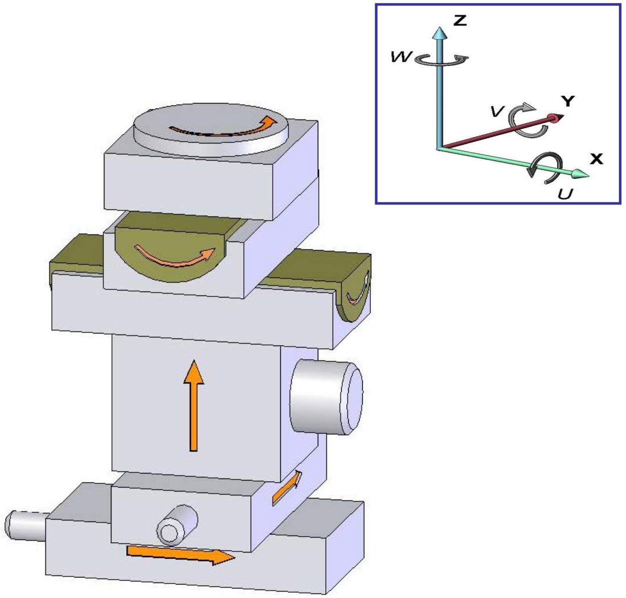


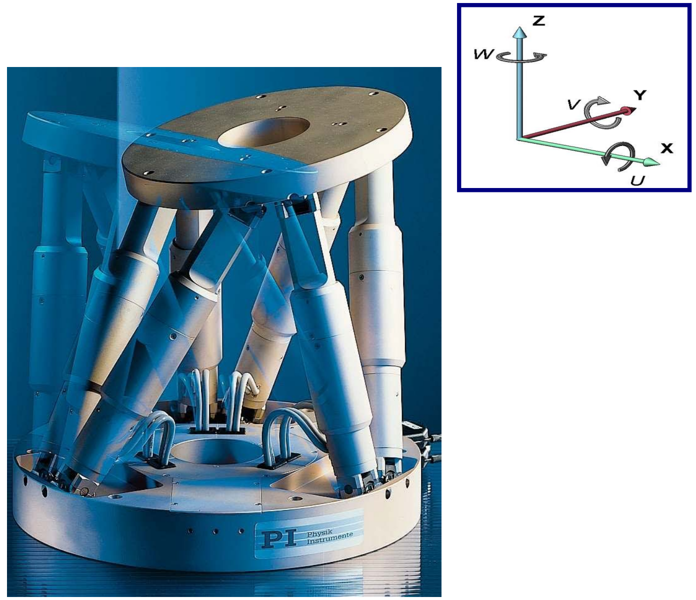
um 1960:
Flugsimulator (Stewart-Plattform)



Entwicklung für die
“National horse riding school”

Serielle vs. Parallele Kinematiken



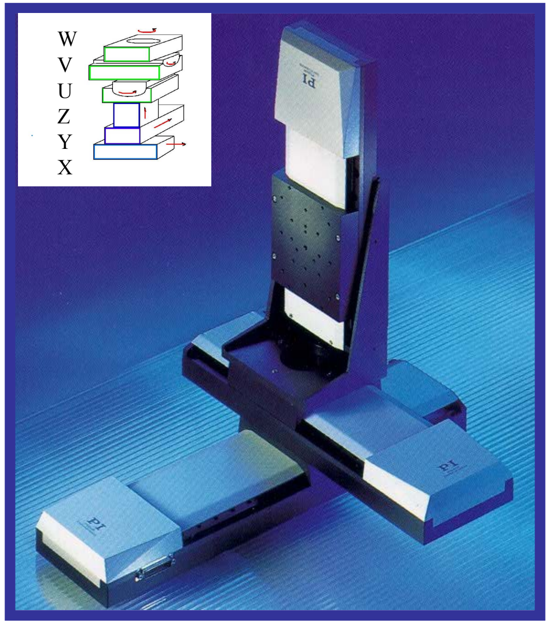


Seriell

Parallel

Serielle vs. parallele Kinematiken

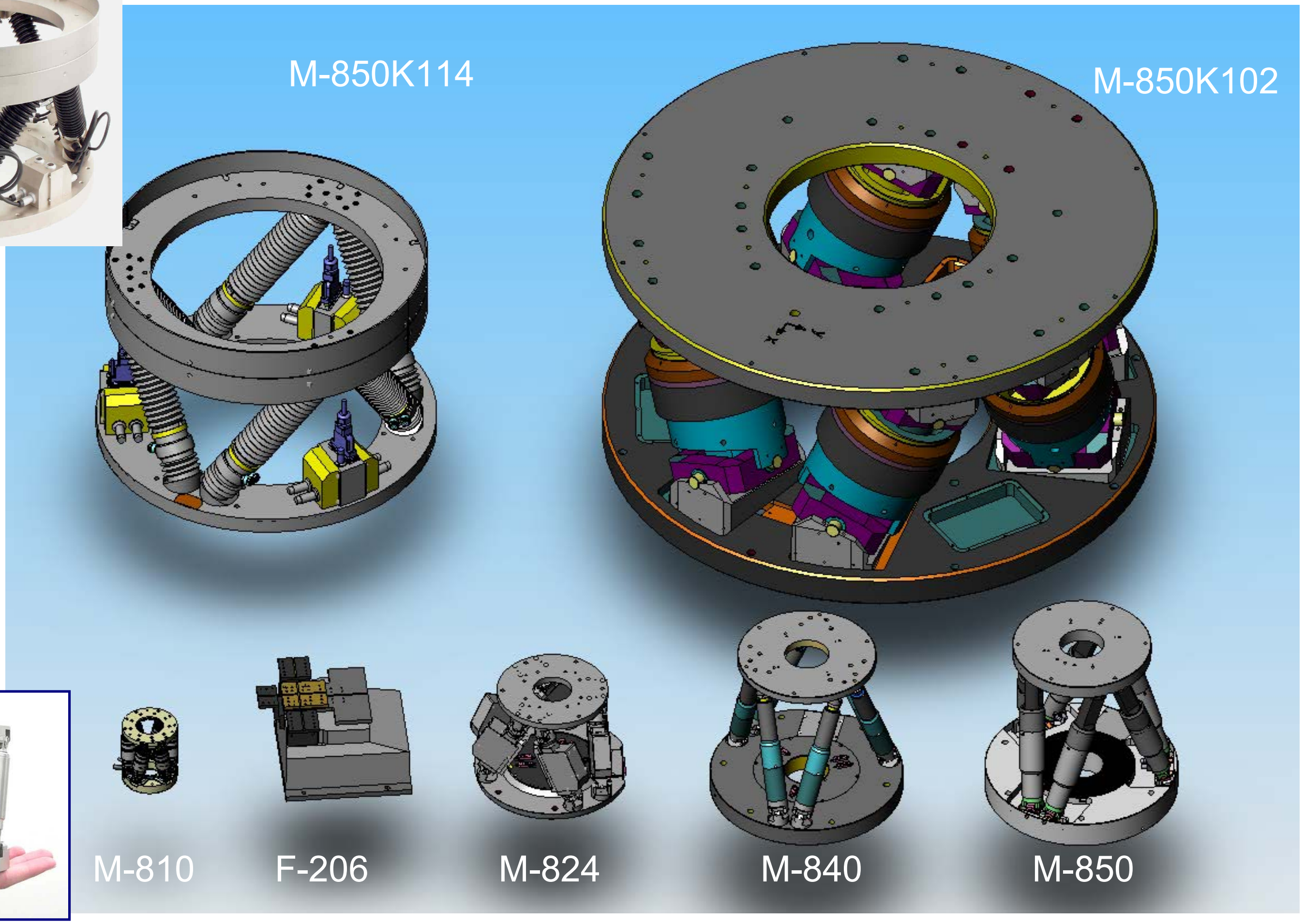
Einzelantriebe: Serielles System



Einzelantriebe		Hexapod
-	Baugröße	+
-	Steifigkeit	+
-	Summierung von Positionsfehlern	+
-	Dynamisches Verhalten	+
-	Fehler aufgrund von Rotation oder Kippen	+
+	Einzelachssteuerung	-
-	Mehrachssteuerung	+
-	Wahl des Drehpunkts	+

Hexapod: Parallelsystem

PI – Standardhexapoden

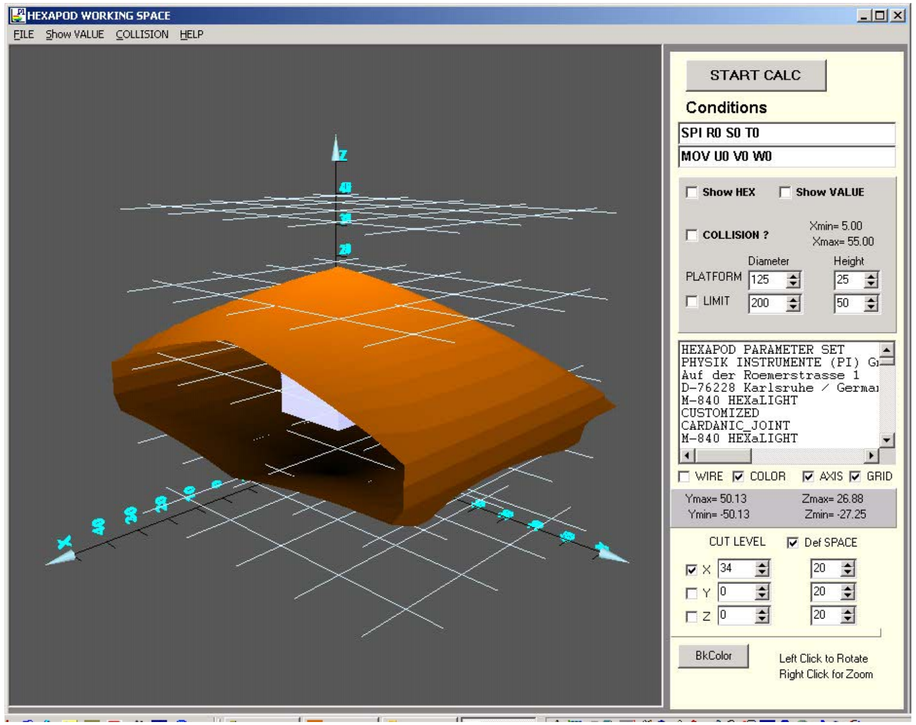


Anforderungen – Auswahl von Hexapoden

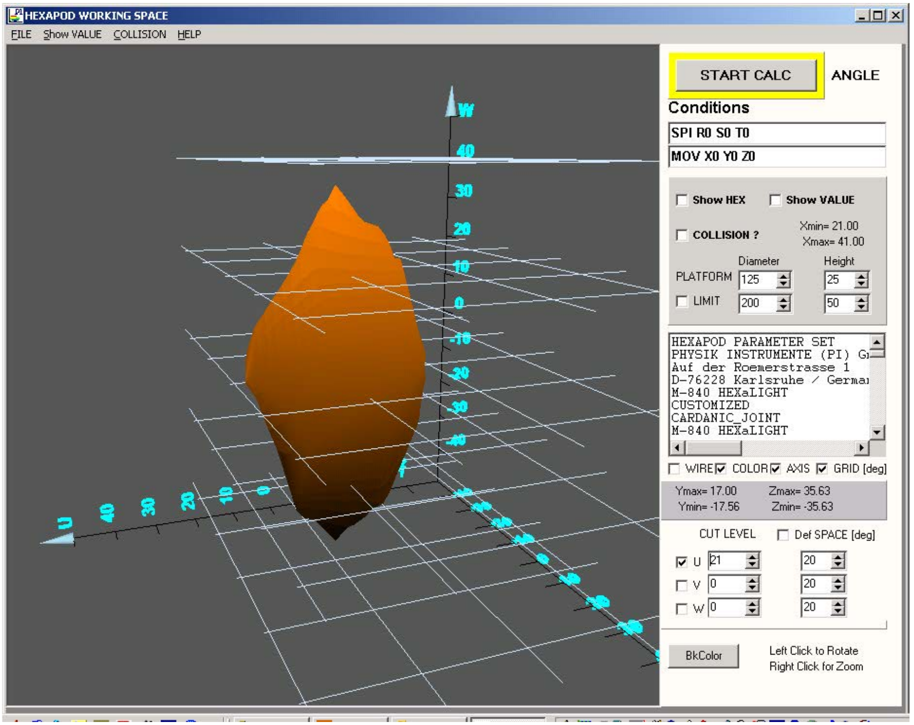
- Last (1, 10, 100, 1000, … kg)
  - Antrieb, Gelenke, Geometrie
- Präzision (µm, nm – Absolutgenauigkeit, Wiederholbarkeit, …)
  - Antrieb, Gelenke, Sensorik
- Stellweg (µm, mm) // Arbeitsraum
  - Antrieb, Geometrie
- Steifigkeit
  - Gelenke, Antrieb, Geometrie
- Bauraum (Kollisionsgefahr?)
  - Geometrie // Abmessungen
- Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Vakuum,…)
  - Antrieb, Materialauswahl

Arbeitsraum von Hexapoden

Translatorisch

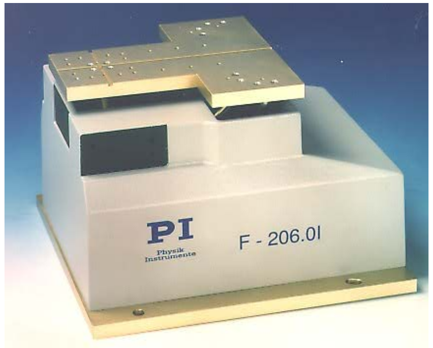


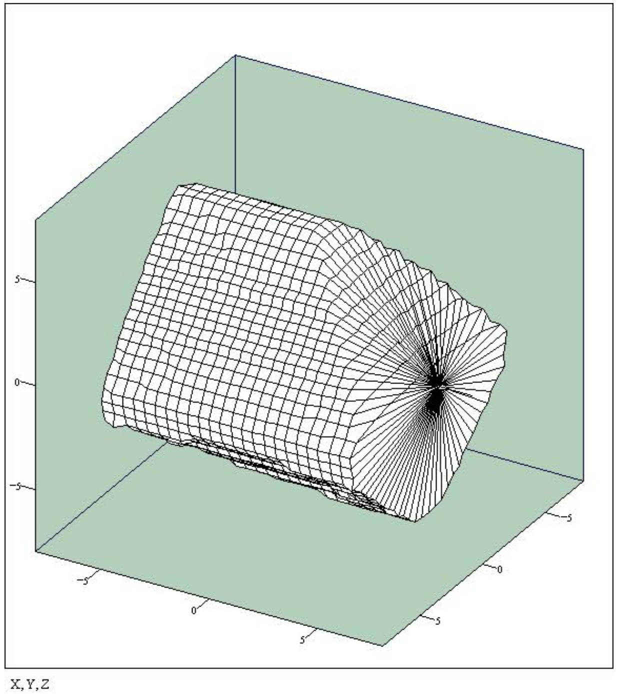
Rotatorisch

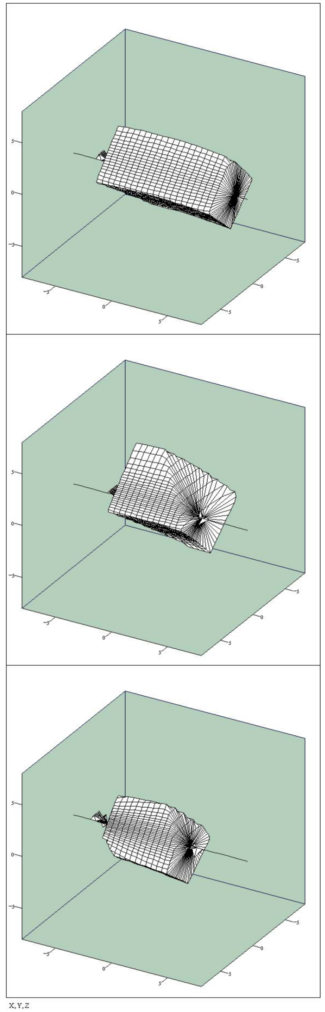


Arbeitsraum von Hexapoden

Der verfügbare Arbeitsraum hängt von der Position der einzelnen Achsen ab:







U= 4 deg

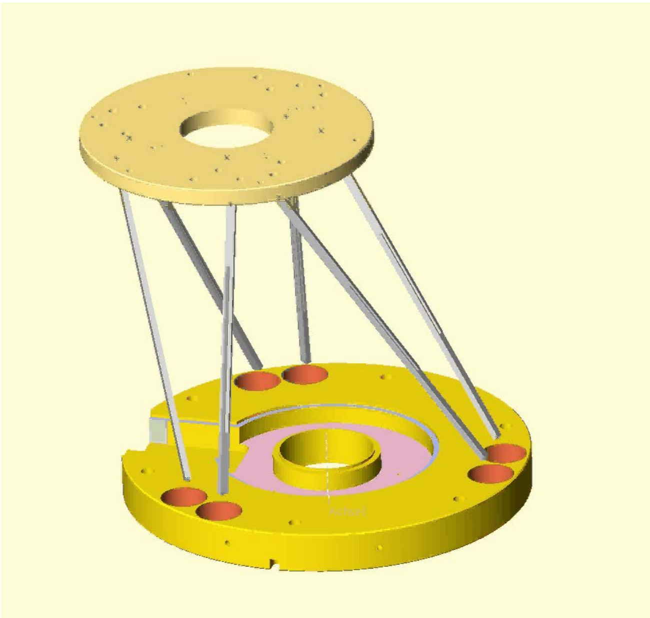
V= 4 deg

W= 4 deg

Aufbau von Hexapoden – Antriebssystem

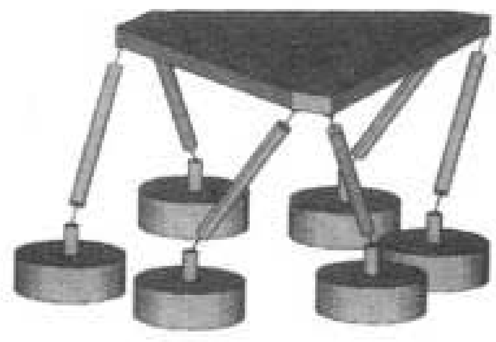
Gough-Stewart Plattform

Längenveränderliche Beine



Hexapod mit konstanter Beinlänge

Fußpunktbewegung



Aufbau von Hexapoden – Gelenke

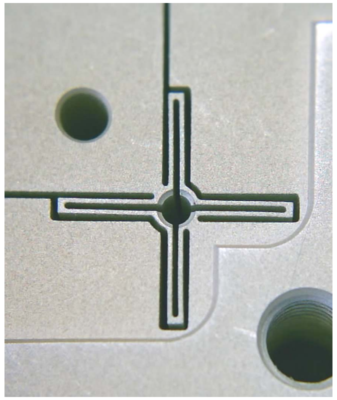
Kardangelenk

Kugelgelenk

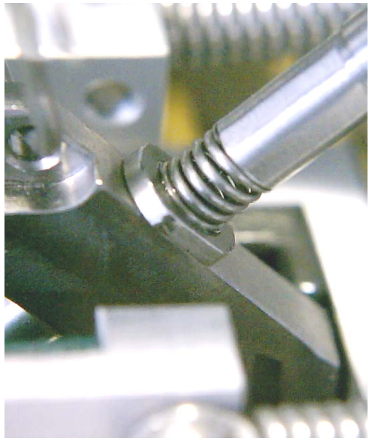
2D Festkörpergelenk

in Piezosystemen

ohne
Achsversatz



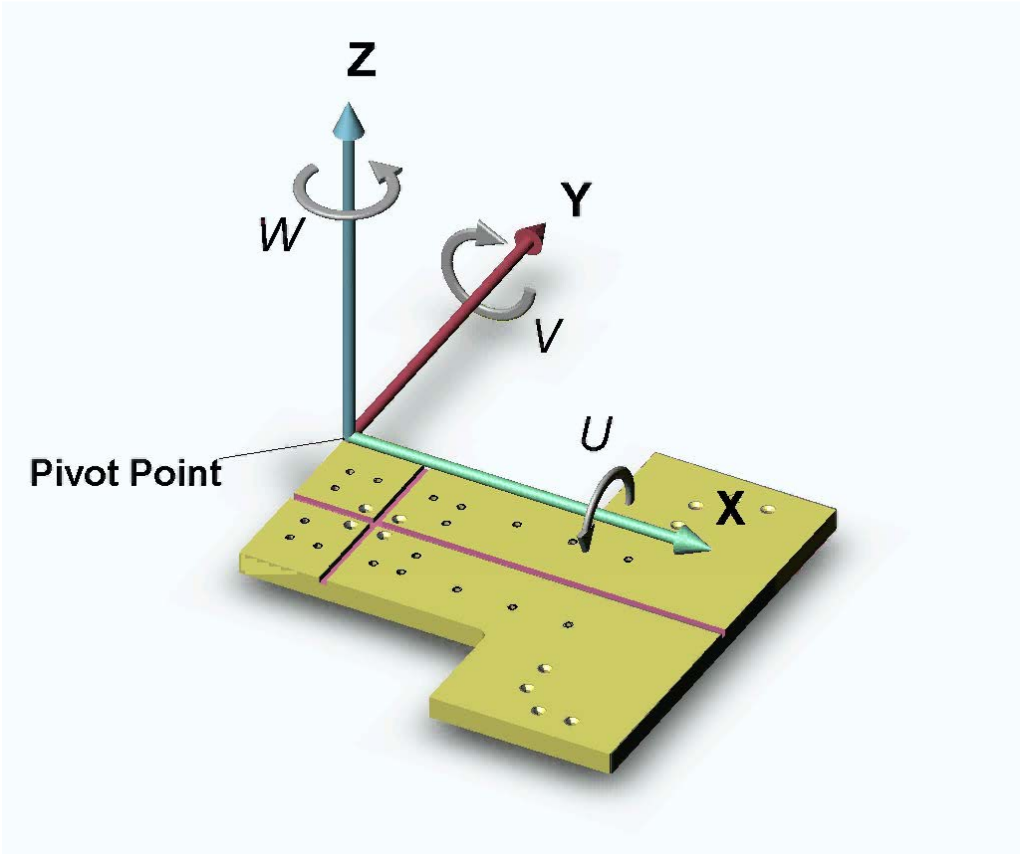
mit
Achsversatz



Flexures –

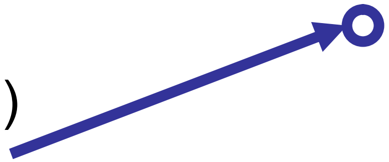
Drahtgelenk

Hexapodkinematik – Festlegen des Drehpunkts



Hexapodkinematik – Koordinatentransformation

(0)



$$a_1 = \begin{pmatrix} a_1 x \\ a_1 y \\ a_1 z \end{pmatrix}$$

Drehung um

X → U

Y → V

Z → W

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(u) & -\sin(u) \\ 0 & \sin(u) & \cos(u) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(v) & 0 & \sin(v) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(v) & 0 & \cos(v) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos(w) & -\sin(w) & 0 \\ \sin(w) & \cos(w) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = Wh$$

$$\begin{bmatrix} a_1 x \\ a_1 y \\ a_1 z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(v)\cos(w) & -\cos(v)\sin(w) & \sin(v) \\ \sin(u)\sin(v)\cos(w) + \cos(u)\sin(w) & \cos(u)\cos(w) - \sin(u)\sin(v)\sin(w) & -\sin(u)\cos(v) \\ -\sin(v)\cos(u)\cos(w) + \sin(u)\sin(w) & \sin(v)\cos(u)\sin(w) + \sin(u)\cos(w) & \cos(u)\cos(v) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a_0 x \\ a_0 y \\ a_0 z \end{bmatrix}$$

Hexapodkinematik – Antriebsberechnung

- Beine variabler Länge mit Kugel- oder Kardangelenken

$$l = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2 + (a_z - b_z)^2}$$

- Beine variabler Länge mit Kardangelenken mit Achsversatz

$$(qps + svb\cos\beta + swb\sin\beta)\sin\alpha = (qpt + tvb\cos\beta + twb\sin\beta)\cos\alpha$$

$$(pqv + sva\cos\alpha + tva\sin\alpha)\sin\beta = (pqw + swa\cos\alpha + twa\sin\alpha)\cos\beta$$

PI

Hexapodkinematik – Antriebsberechnung

- Bindungsgleichungen

$$
\begin{aligned}
F_1(\alpha,\beta) = {} & (qps + svb\cos\beta + swb\sin\beta)\sin\alpha - \\
& (qpt + tvb\cos\beta + twb\sin\beta)\cos\alpha && = 0 \\
F_2(\alpha,\beta) = {} & (pqv + sva\cos\alpha + tva\sin\alpha)\sin\beta - \\
& (pqw + swa\cos\alpha + twa\sin\alpha)\cos\beta && = 0
\end{aligned}
$$

- Lösung durch iteratives Newton-Raphson-Verfahren

$$
\begin{pmatrix} \alpha_{n+1} \\ \beta_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_n \\ \beta_n \end{pmatrix} - J^{-1}(\alpha_n,\beta_n) \begin{pmatrix} F_1(\alpha_n,\beta_n) \\ F_2(\alpha_n,\beta_n) \end{pmatrix}
$$

PI

Hexapodkinematik – Antriebsberechnung

- Beine konstanter Länge mit Kugel- oder Kardangelenken

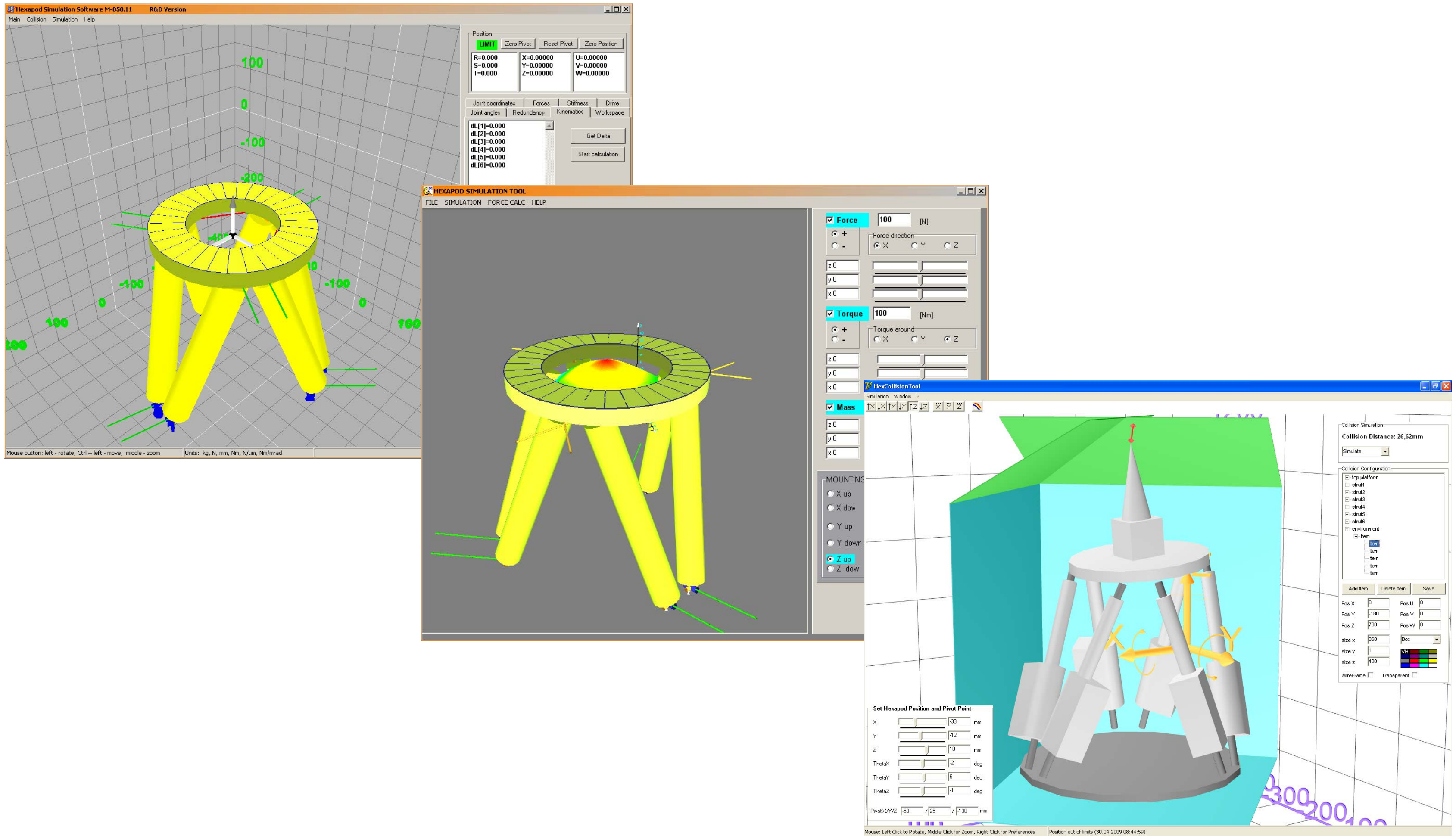
$$\Delta S_i = -\left[v_x(b_{0x}-a_x)+v_y(b_{0y}-b_y)+v_z(b_{0z}-a_z)\right]$$
$$\pm\sqrt{\left[v_x(b_{0x}-a_x)+v_y(b_{0y}-b_y)+v_z(b_{0z}-a_z)\right]^2+L^2-(b_{0x}-a_x)^2-(b_{0y}-a_y)^2-(b_{0z}-a_z)^2}$$

- Beine konstanter Länge mit Kugel- oder Kardangelenken

$$F_1(\alpha,\beta,s)=0$$
$$F_2(\alpha,\beta,s)=0$$
$$F_3(\alpha,\beta,s)=0$$

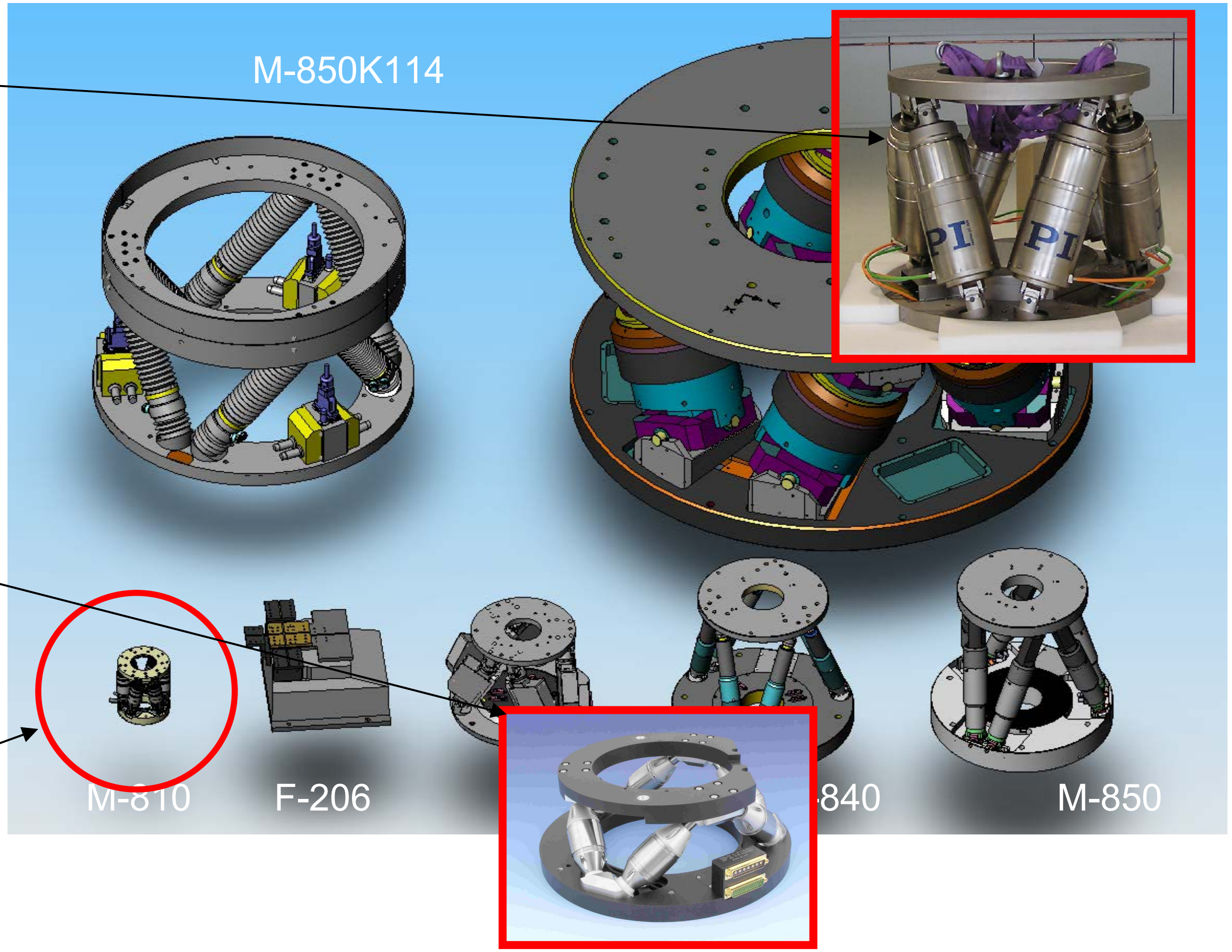
$$\begin{pmatrix}\alpha_{n+1}\\ \beta_{n+1}\\ s_{n+1}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\alpha_n\\ \beta_n\\ s_n\end{pmatrix}-J_2^{-1}(\alpha_n,\beta_n,s_n)\begin{pmatrix}F_1(\alpha_n,\beta_n,s_n)\\ F_2(\alpha_n,\beta_n,s_n)\\ F_3(\alpha_n,\beta_n,s_n)\end{pmatrix}$$

Simulationsprogramme – Designwerkzeuge



Erweiterung von PI's Standardhexapoden

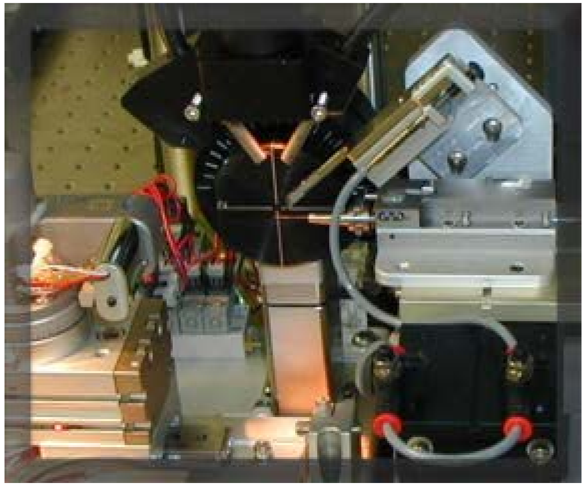
- Hochlasthexapod
- Hochvakuumhexapod
- Nichtmagnetischer Hexapod
- Miniaturhexapod

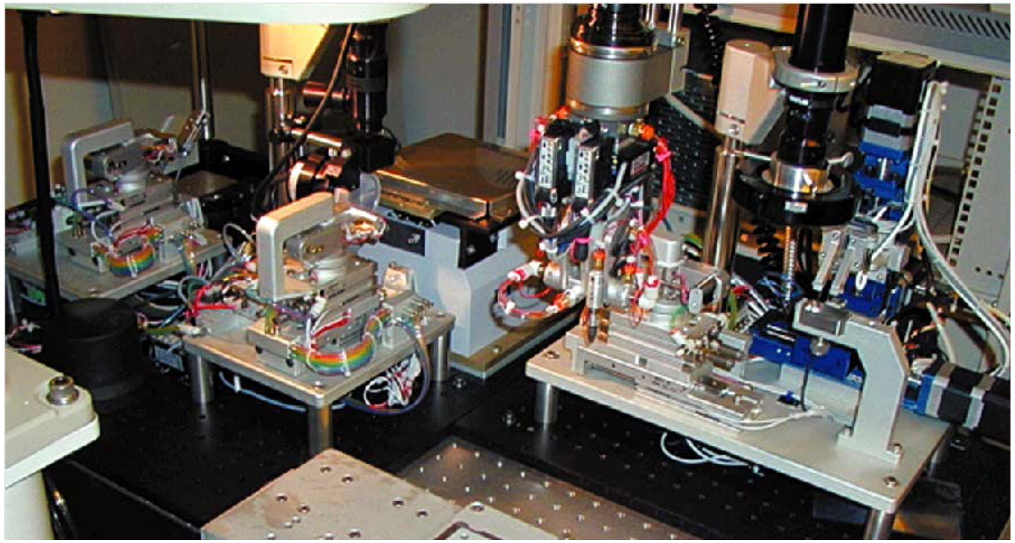


Einsatzgebiete von PI-Hexapoden

Telekommunikation:

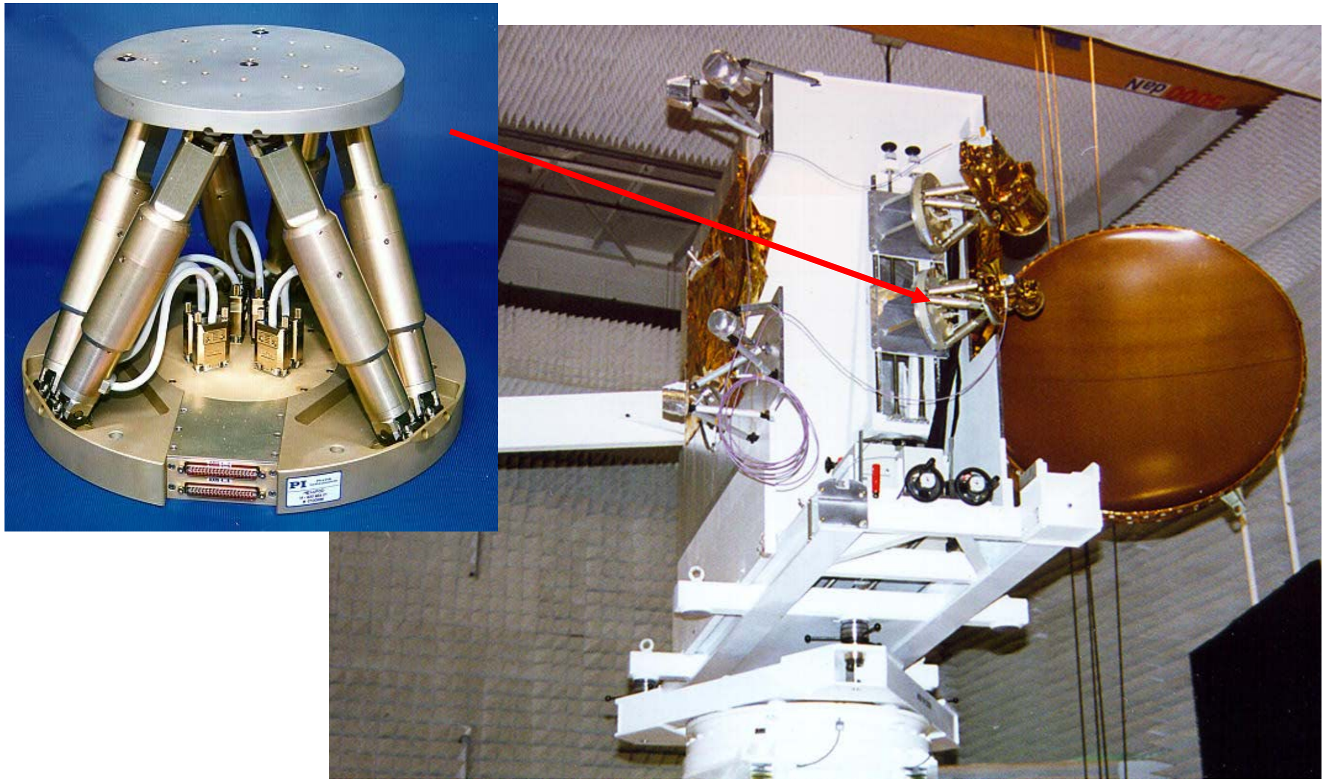
- Zufuhr optischer Fasern mit
  - 100nm Auflösung und
  - 180nm Wiederholbarkeit





Einsatzgebiete von PI-Hexapoden

- Vermessung von Satellitenantennen



Einsatzgebiete von PI-Hexapoden

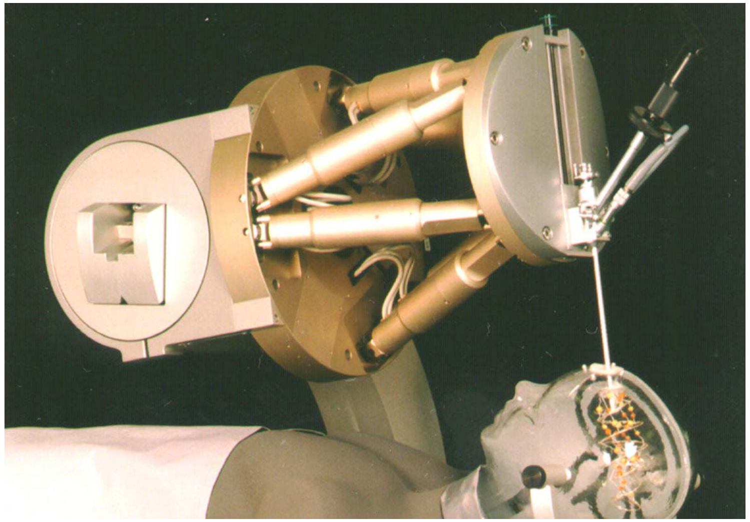
- ALMA (Atakama Large Millimeter Array)

- Ausrichtung des Sekundärspiegels
- Hexapoddurchmesser: 500 mm
- wasserdicht
- Gewicht des Spiegels: 100 kg

Einsatzgebiete von PI-Hexapoden

- Medizintechnologie –

  Gehirnchirurgie



Einsatzgebiete von PI-Hexapoden

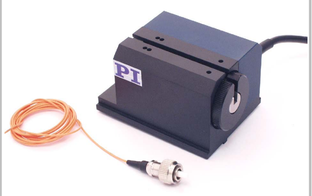
- Hochlasthexapoden
  (aktuell bis 1t Last)

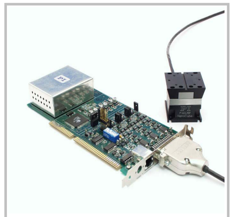
- Halbleiterindustrie

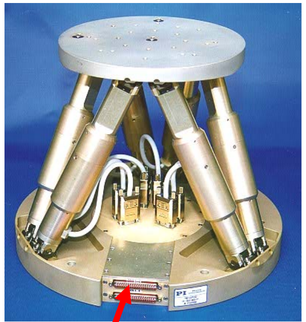
- Astronomie

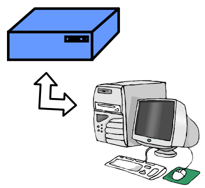
- …

Hexapod-Controller – vielfältig einsetzbar

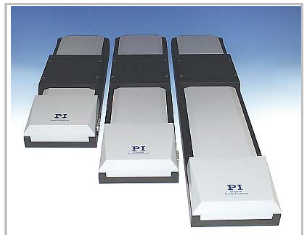

Fiber Rotator

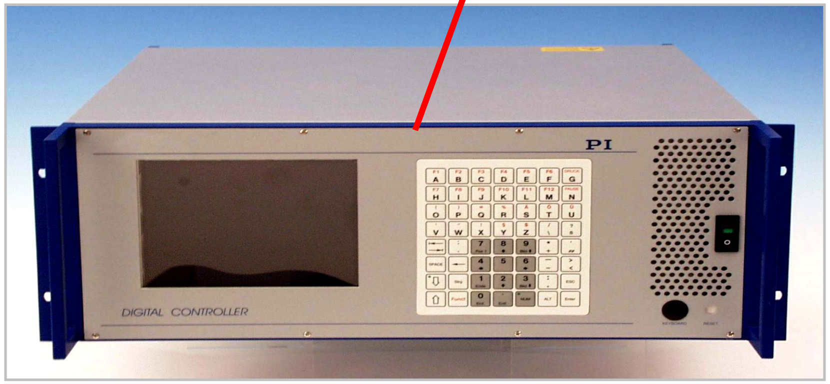

NanoCube




RS232/GPIB

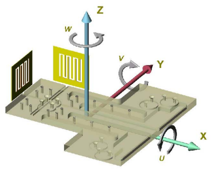

Separate Axes

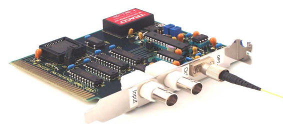

M-500/600




Manual Pad


Mon./keyb.


Fast S&A


Optical Powermeter

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG
Auf der Römerstraße 1
76228 Karlsruhe, Germany
Tel. +49 721 4846-0
Fax +49 721 4846-299