



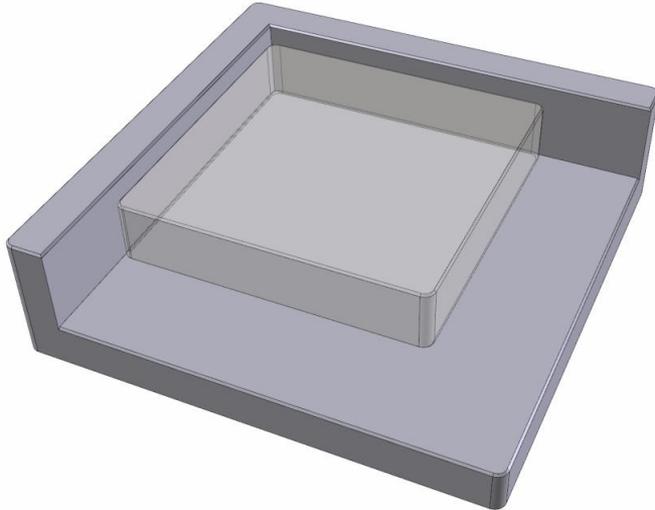
Steinmeyer Mechatronik

Entwicklung eines parallelkinematischen Positioniersystems

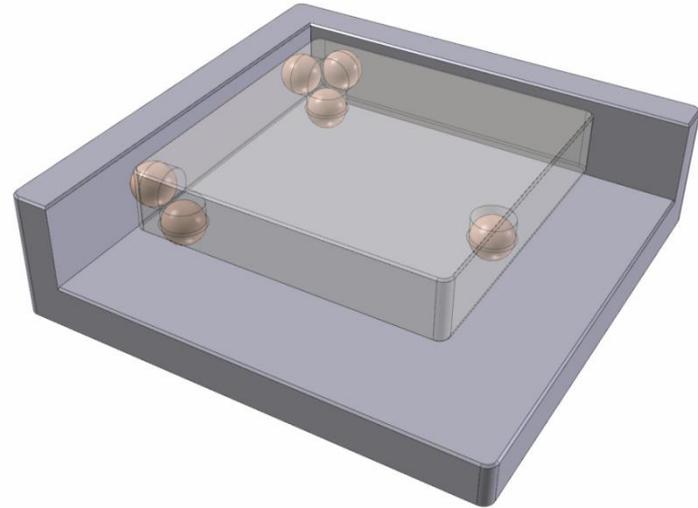
Dr. A.Bromme, Steinmeyer Mechatronik GmbH

Entwicklung eines parallelkinematischen Positioniersystems

1. Überlegungen zu Parallekinematiken auf Basis statisch bestimmter Systeme
2. Reale Anwendung - Praktische Umsetzung und Testergebnisse



Objekt auf drei Flächen – statisch bestimmt



Reale Objekte liegen immer nur punktuell auf

Ein System ist **statisch bestimmt**, wenn die Anzahl der Lagerreaktionen gleich der Anzahl der möglichen Bewegungsrichtungen („Freiheitsgrade“ /DOF) ist und jeder Bewegungsrichtung nur eine Lagerreaktion entgegenwirkt.

MX, MY, FZ: 3 Kugeln unten
MZ, FX: 2 Kugeln links
FY: 1 Kugel hinten

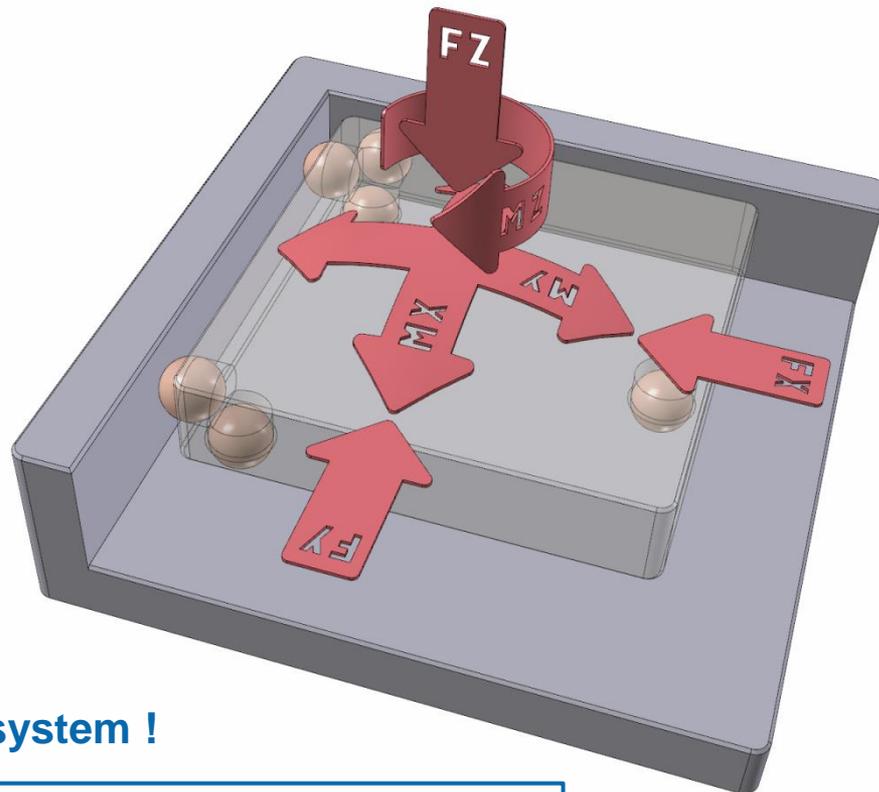
je Freiheitsgrad genau eine
Lagerreaktion

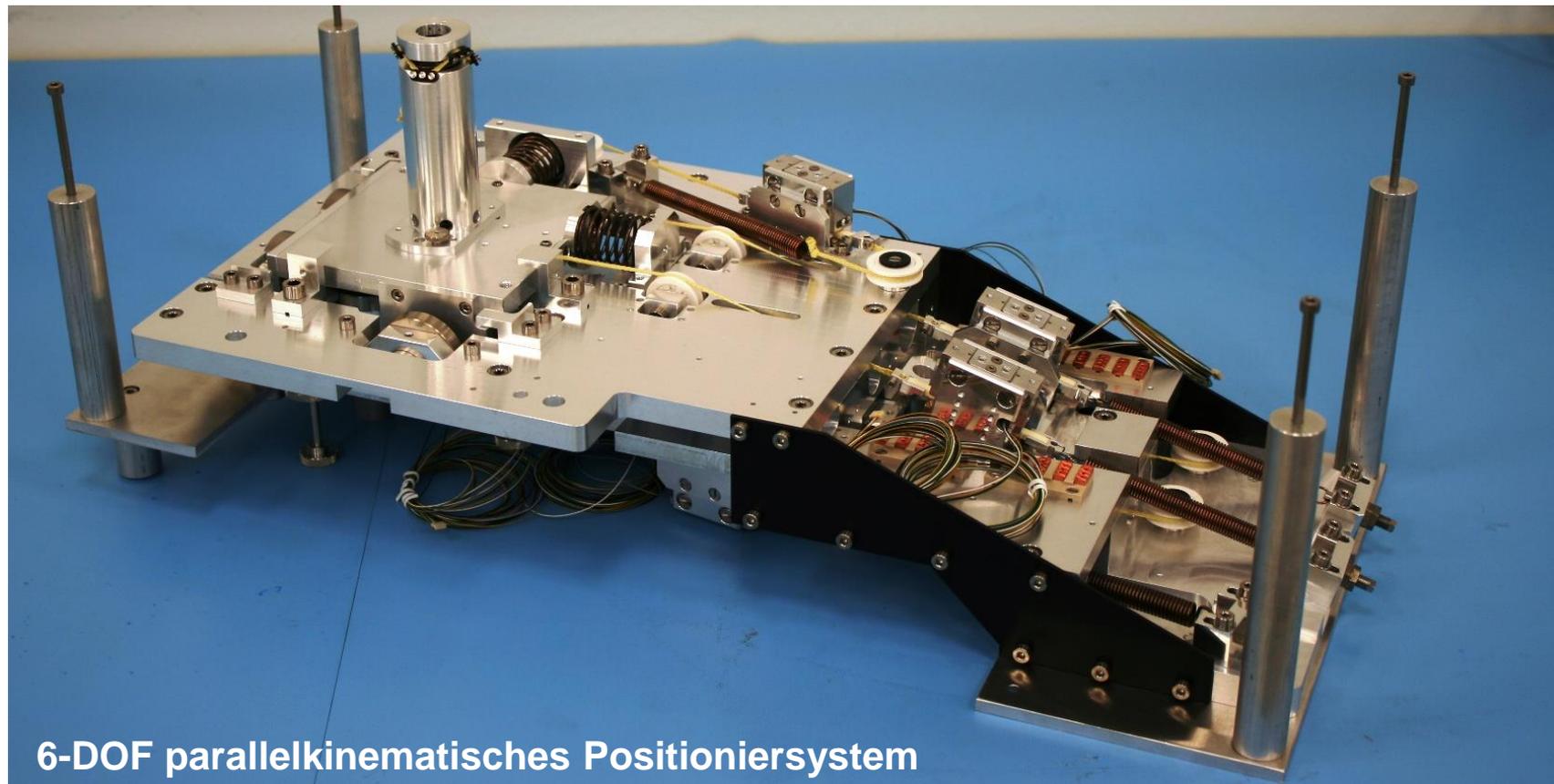
Was würde passieren, wenn jede
Kontaktstelle verstellbar wäre?

Man erhält ein

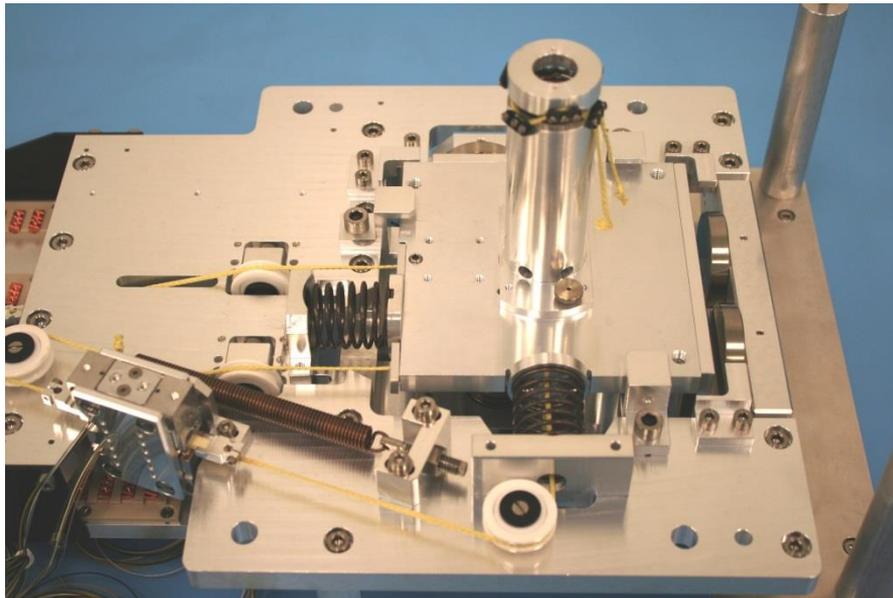
6-DOF parallelkinematisches Positioniersystem !

Ein System ist **statisch bestimmt**,
wenn die Anzahl der Lagerreaktionen gleich der Anzahl der möglichen Bewegungsrichtungen
(„Freiheitsgrade“ /DOF) ist und jeder Bewegungsrichtung nur eine Lagerreaktion entgegenwirkt.

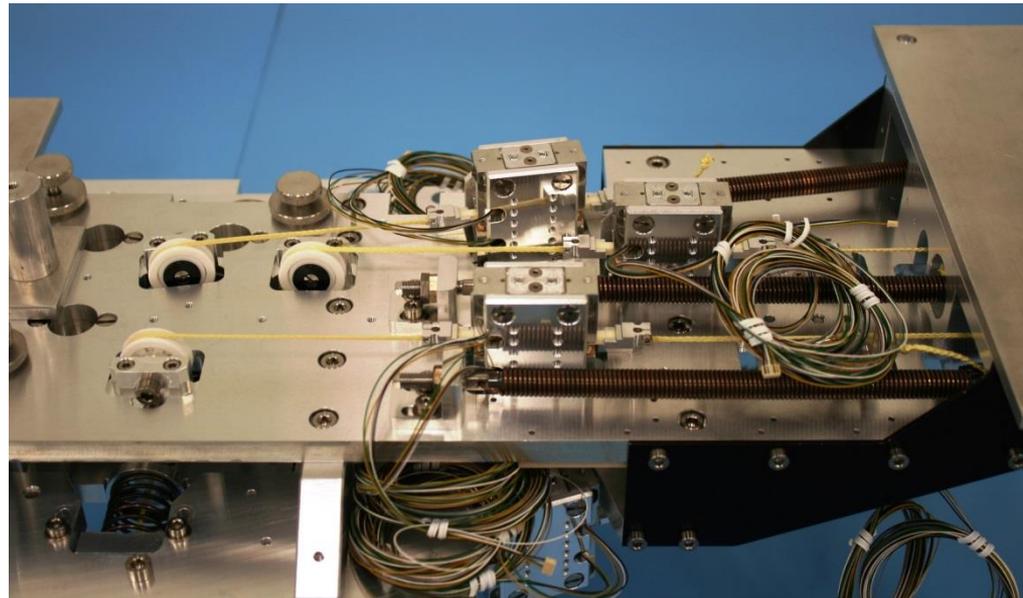




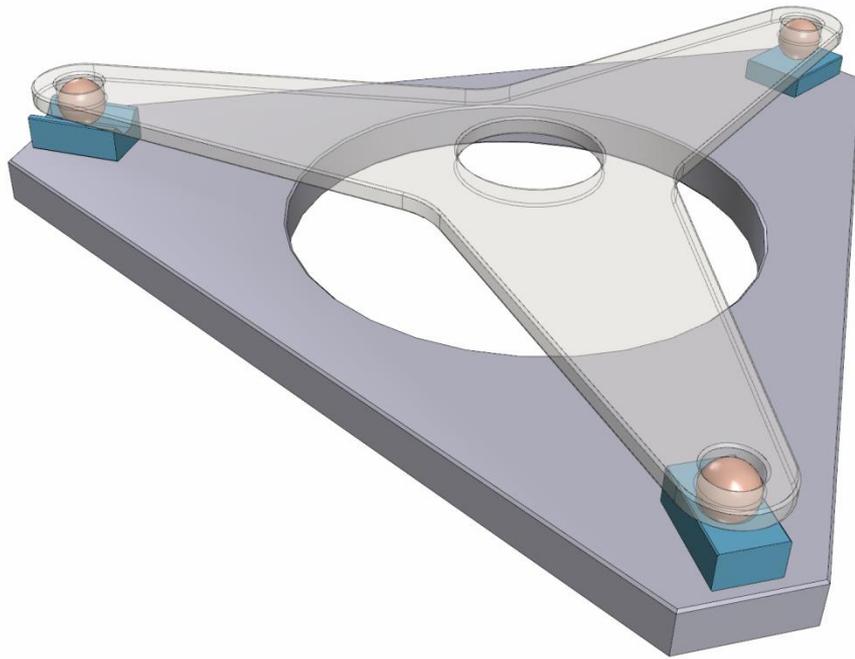
6-DOF parallelkinematisches Positioniersystem



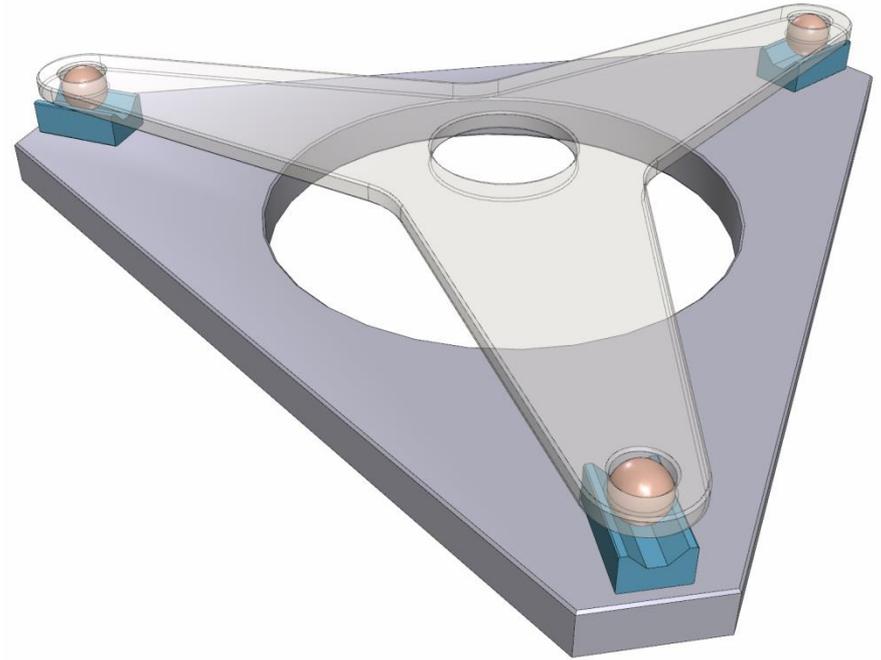
HV- Probenpositionierer – Ansicht von oben



HV-Probenpositionierer – Ansicht von unten



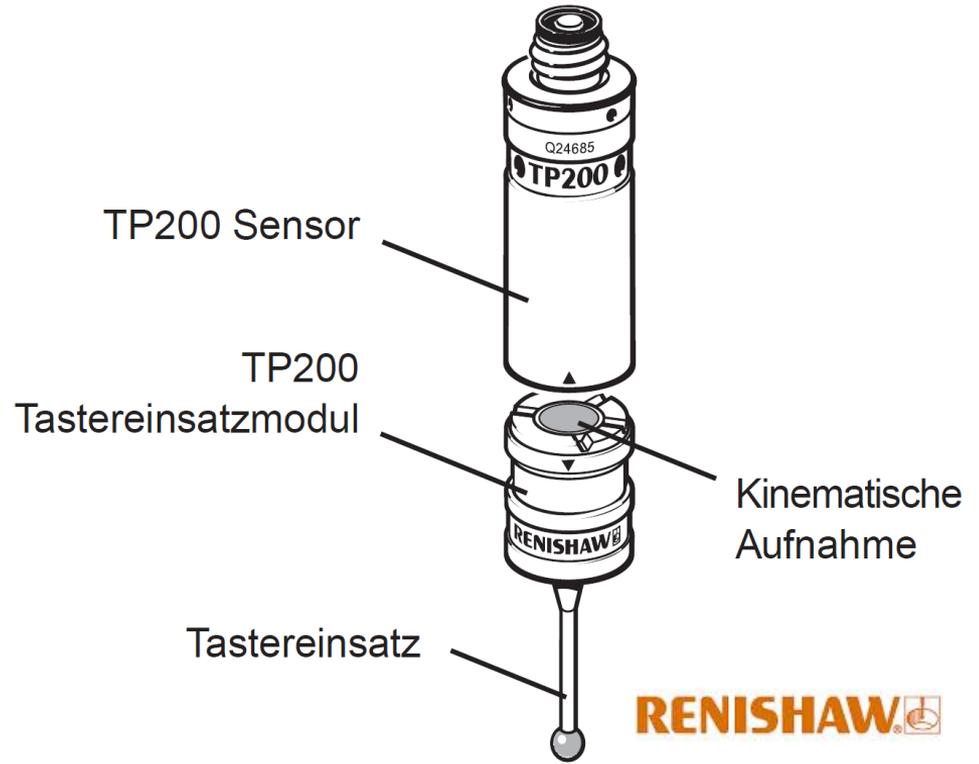
Objekt statisch eindeutig bestimmt-
Kegelsenkung, Prisma und Fläche

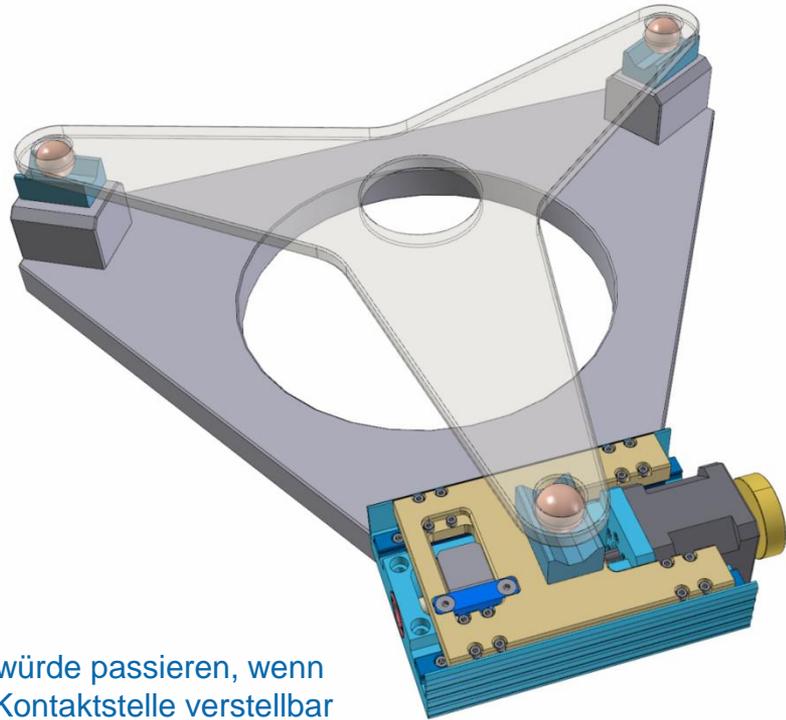


Objekt statisch eindeutig bestimmt-
drei Prismen

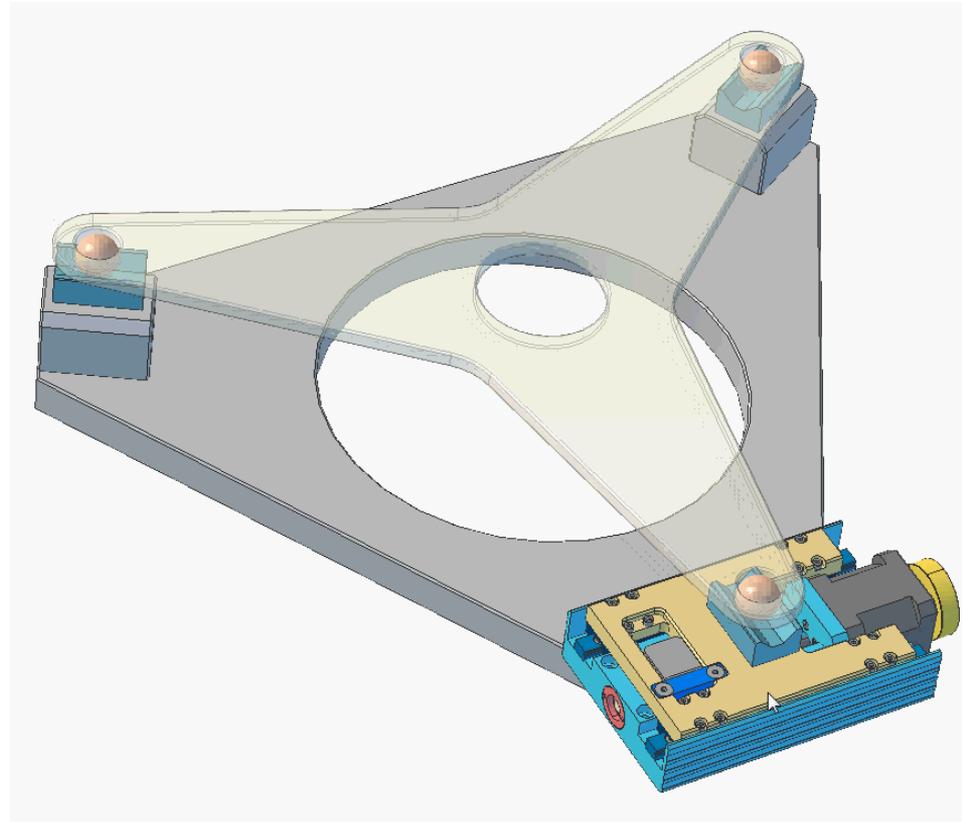


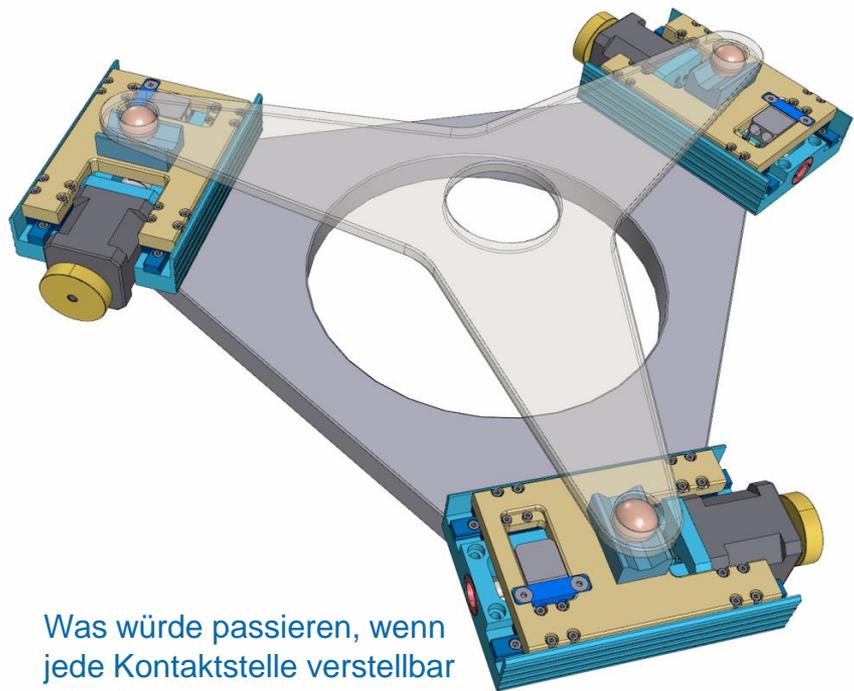
Objekt statisch eindeutig bestimmt-
= Kinematische Aufnahme
= kinematic mount



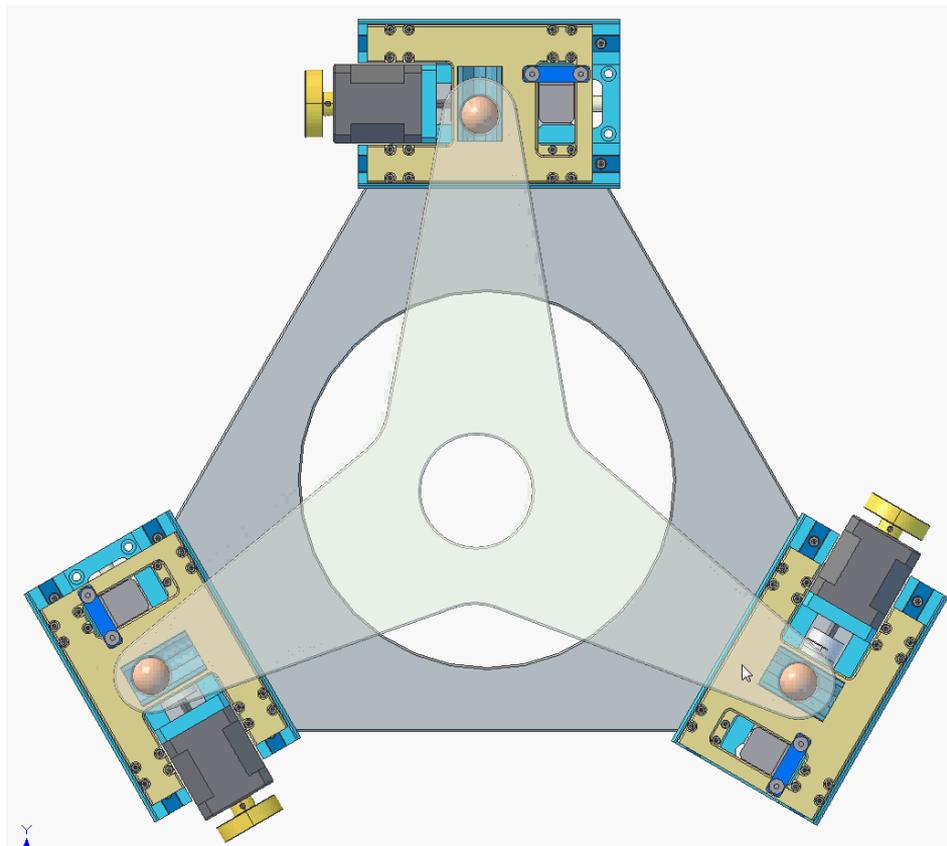


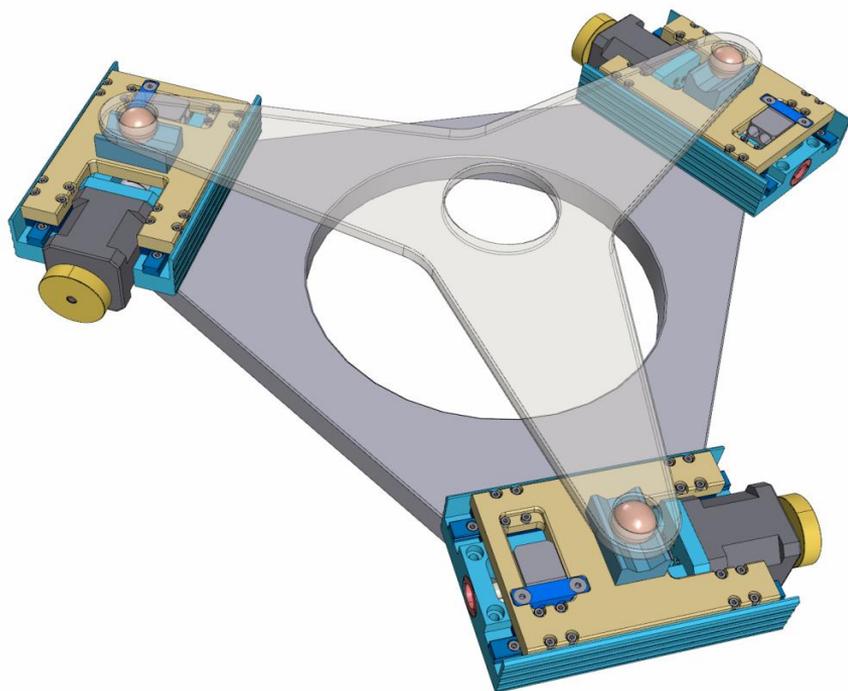
Was würde passieren, wenn
eine Kontaktstelle verstellbar
wäre?



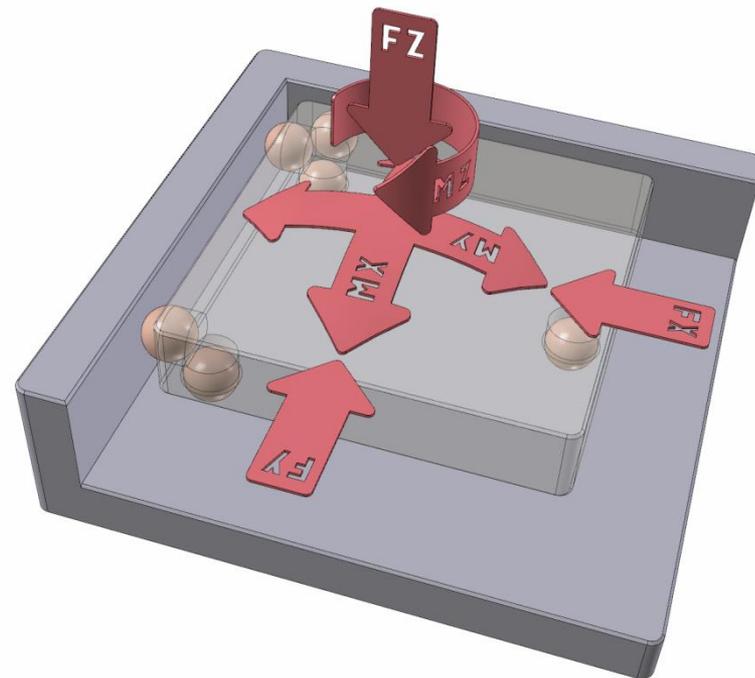


Was würde passieren, wenn jede Kontaktstelle verstellbar wäre?

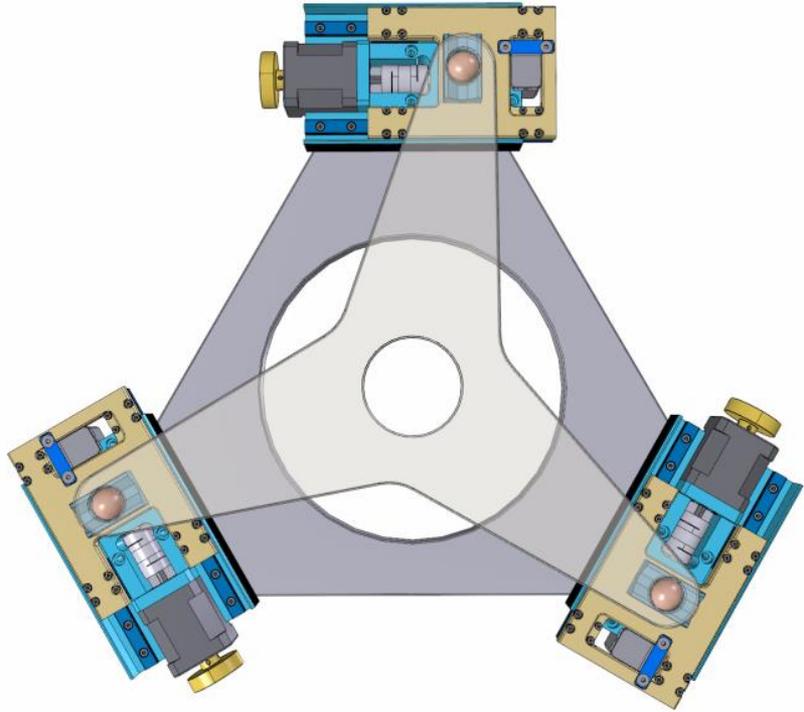




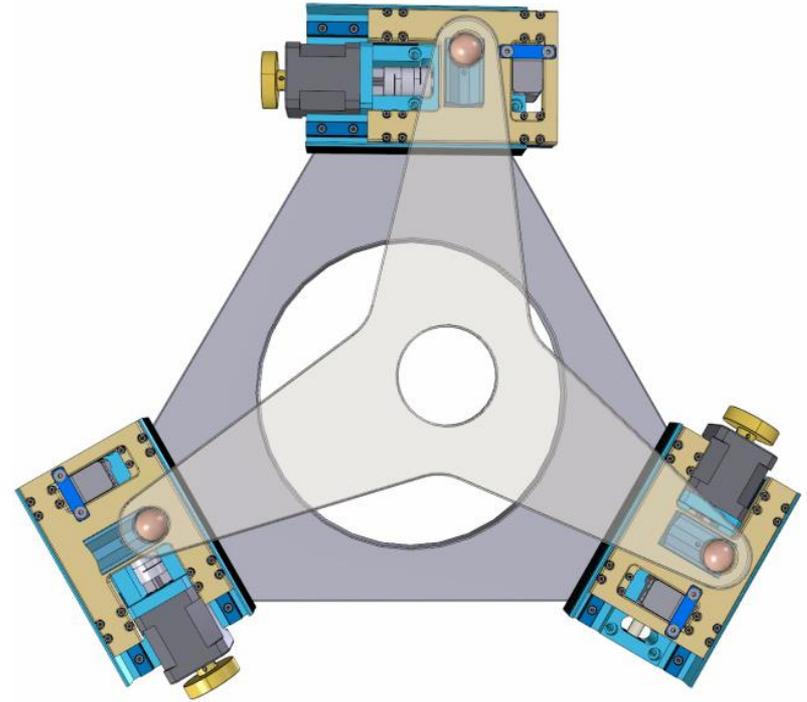
**3-DOF parallelkinematisches
Positioniersystem**



MX, MY, FZ sind gebunden durch 3 Kugeln unten
MZ, FX und FY sind durch Aktuatoren verstellbar



Alle Aktuatoren gleich ausgelekt-
= Rotation um Z-Achse MZ



Aktuatoren ungleich ausgelekt-
= Überlagerung von Rotation MZ, Linear FX und Linear FY

Transformationsmatrix für 3-Achs
Parallelkinematik

A1, A2, A3 = Verfahrswege Aktuator1, Aktuator2
und Aktuator3

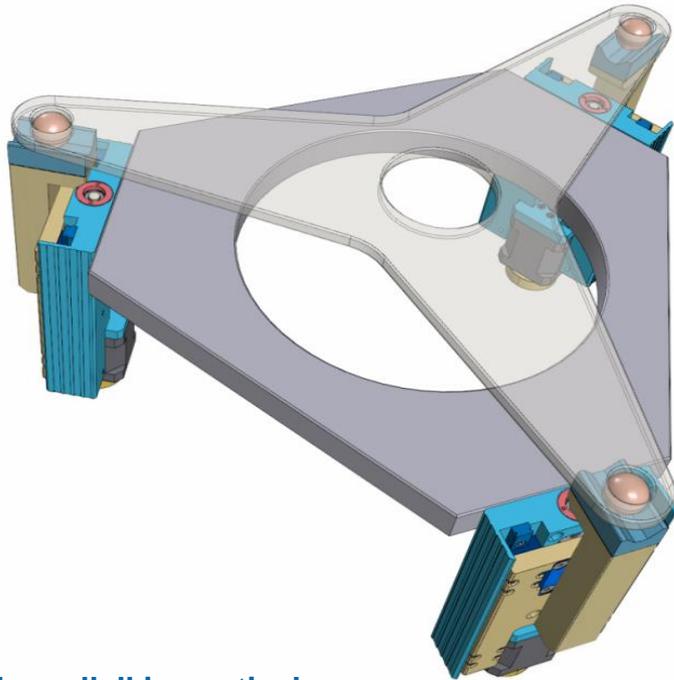
x, y, phi = Verfahrswege in X, in Y und in Phi-
Richtung

r = Radius der Aktuatoren unter 120°

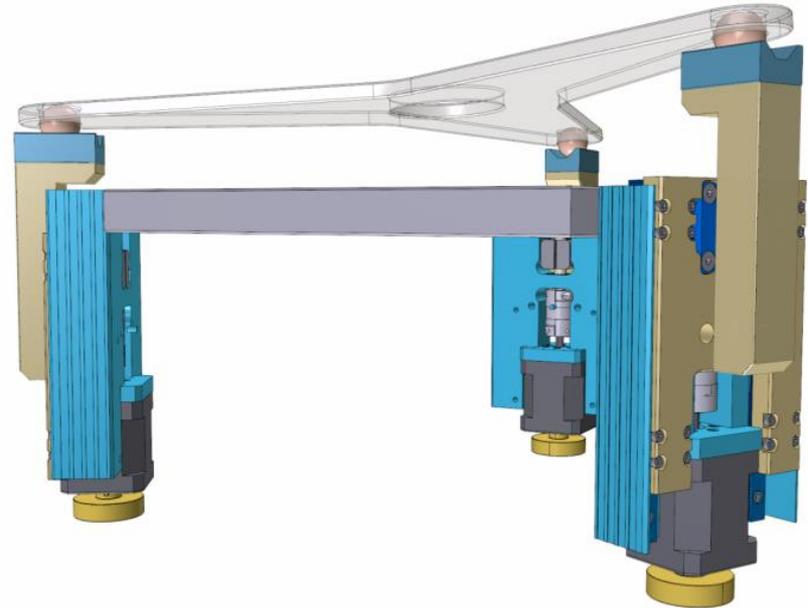
Mathematisch übersichtlich- aber nicht vollständig
intuitiv bedienbar

$$\begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & -\sqrt{3}/2 & r \\ 1/2 & \sqrt{3}/2 & r \\ -1 & 0 & r \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ \varphi \end{bmatrix}$$

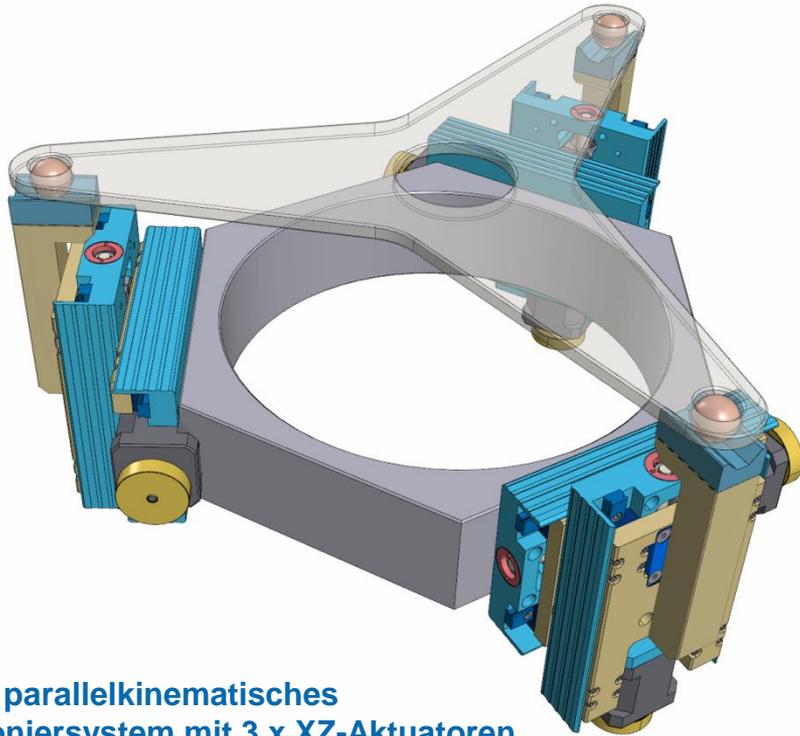




**3-DOF parallelkinematisches
Positioniersystem –
komplementäre Freiheitsgrade**



MX, MY und FZ sind durch Aktuatoren verstellbar
MZ, FX und FY sind durch Prismenanlagen gebunden
(Lösung für 3DOF- Hub-Kipp-Tischsystem)



**6-DOF parallelkinematisches
Positioniersystem mit 3 x XZ-Aktuatoren**
Aktuatorrichtungen bleiben kartesisch und linear



Klassischer Hexapod



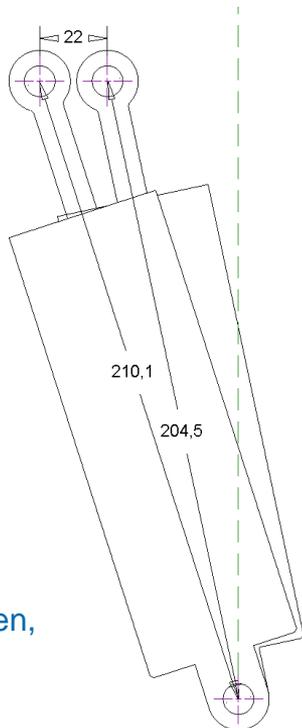
WIKIPEDIA

Klassische Hexapod Transformation: Nichtlineares Quadratisches Gleichungssystem

Beispiel:

22 mm linearer
Verfahrweg werden
durch 5,6mm
Verfahrweg am
Aktuator erzeugt

Steifigkeit und
Eigenfrequenz sinken,
Auflösung sinkt



$$(\text{StrutLength}_0)^2 = (a_x - \text{BaseRingCoordinates}_0)^2 + (a_y - \text{BaseRingCoordinates}_1)^2 + (a_z - \text{BaseRingCoordinates}_2)^2$$

$$(\text{StrutLength}_1)^2 = (a_x - \text{BaseRingCoordinates}_3)^2 + (a_y - \text{BaseRingCoordinates}_4)^2 + (a_z - \text{BaseRingCoordinates}_5)^2$$

$$(\text{StrutLength}_2)^2 = (b_x - \text{BaseRingCoordinates}_3)^2 + (b_y - \text{BaseRingCoordinates}_4)^2 + (b_z - \text{BaseRingCoordinates}_5)^2$$

$$(\text{StrutLength}_3)^2 = (b_x - \text{BaseRingCoordinates}_6)^2 + (b_y - \text{BaseRingCoordinates}_7)^2 + (b_z - \text{BaseRingCoordinates}_8)^2$$

$$(\text{StrutLength}_4)^2 = (c_x - \text{BaseRingCoordinates}_6)^2 + (c_y - \text{BaseRingCoordinates}_7)^2 + (c_z - \text{BaseRingCoordinates}_8)^2$$

$$(\text{StrutLength}_5)^2 = (c_x - \text{BaseRingCoordinates}_0)^2 + (c_y - \text{BaseRingCoordinates}_1)^2 + (c_z - \text{BaseRingCoordinates}_2)^2$$

$$(\text{RingCordLength}_1)^2 = (a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2 + (a_z - b_z)^2$$

$$(\text{RingCordLength}_1)^2 = (a_x - c_x)^2 + (a_y - c_y)^2 + (a_z - c_z)^2$$

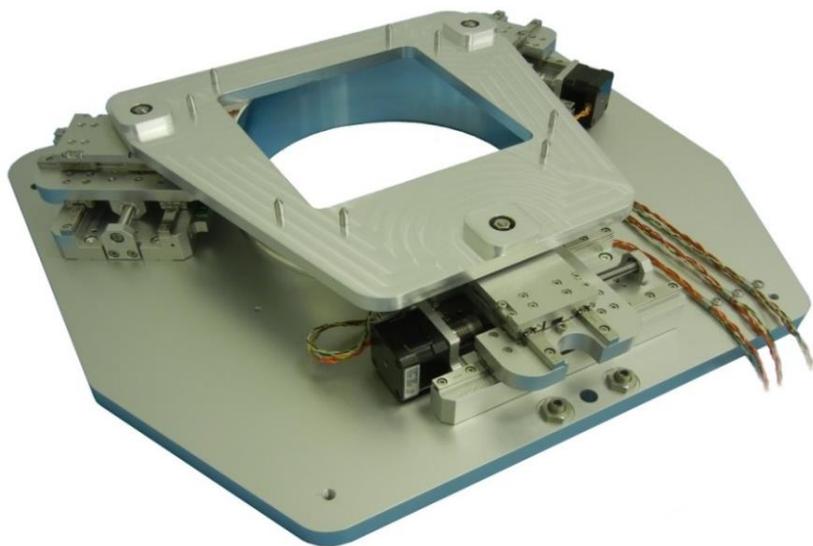
$$(\text{RingCordLength}_1)^2 = (c_x - b_x)^2 + (c_y - b_y)^2 + (c_z - b_z)^2$$



PCT

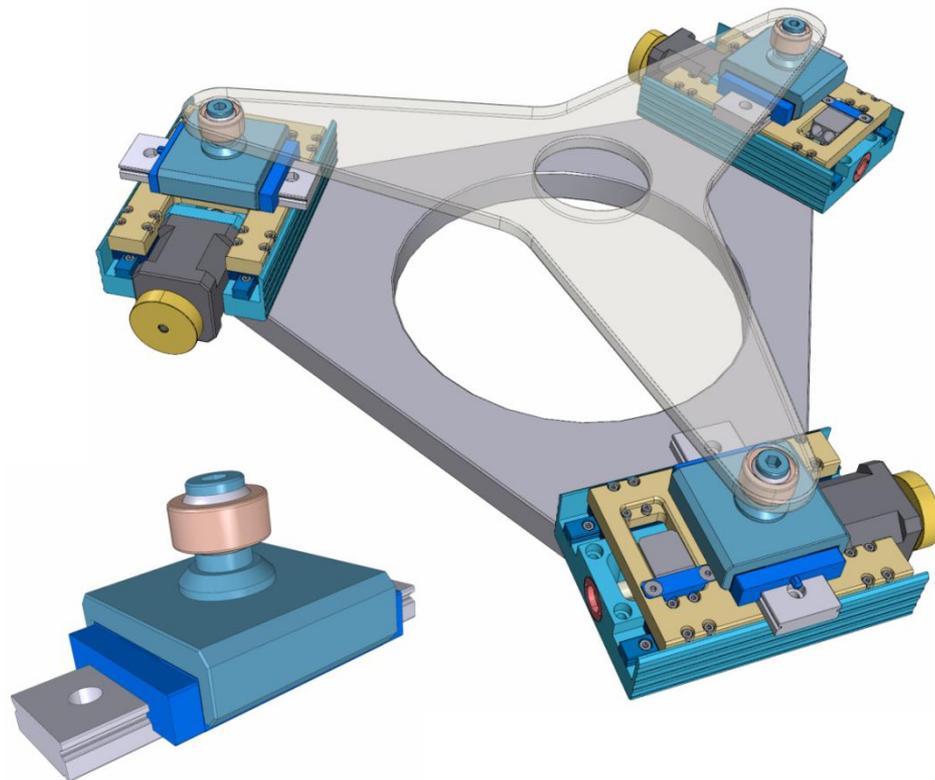


(10) International Publication Number
WO 2010/042619 A1



Reales HV-Tischsystem

Entkopplung mit Linearführung und
Kugelgelenklager



2. Reale Anwendung - Praktische Umsetzung und Testergebnisse

Aufgabe:

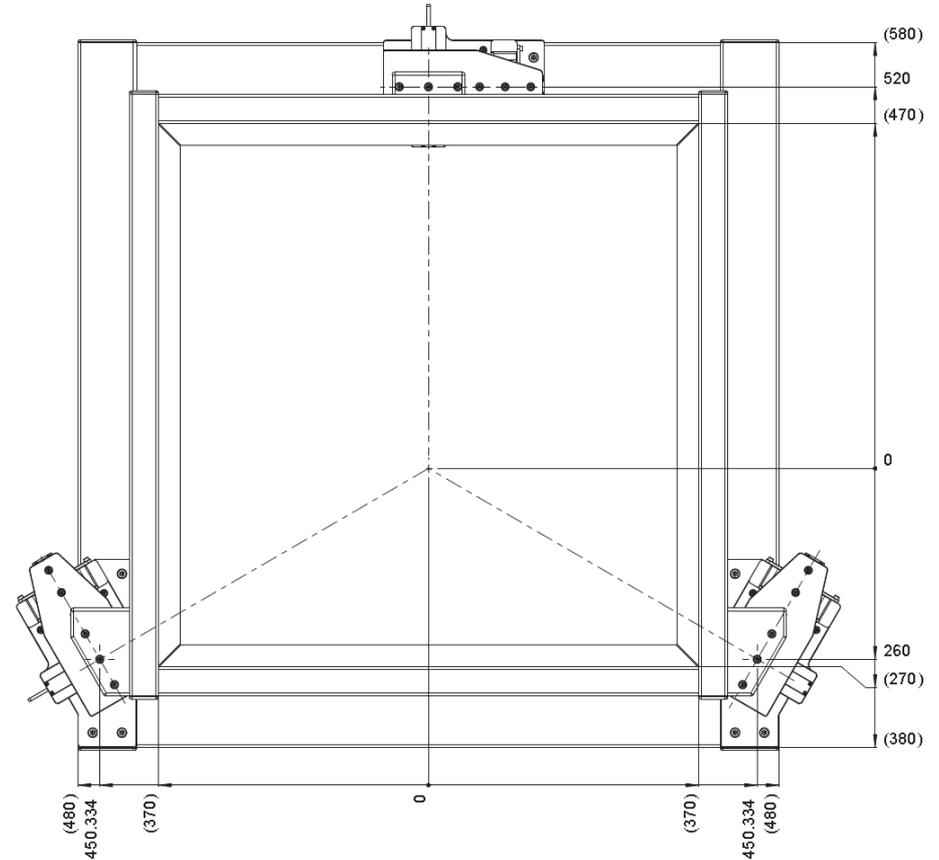
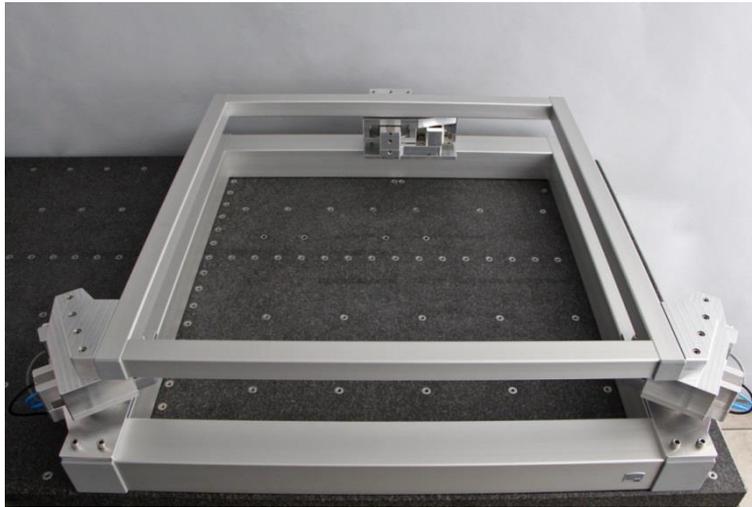
- Objekt: Platte 740mm x 740mm x 25mm, max. 50kg
- XY Verstellbereich: +/- 10mm
- Phi Verstellbereich: +/- 1°
- Wiederholbarkeit: besser +/- 2µm
- Verfahrzeit: kürzer 1 Sekunde
- Lebensdauer: 10 Mio Zyklen in 10 Jahren
- Wartung: keine
- Zusatzfunktionen: Klemmung in XY-Ebene, Prozesskraft 150N in Y

Lösung:

Parallelkinematisches 3-DOF-Positioniersystem mit Luftlagern und Direktantrieben

Aufgabe:

- Objekt (740mm x 740mm x 25mm, max. 50kg) um
- XY +/- 10mm und
- Phi +/- 1,5°
- mit Wiederholbarkeit besser als +/- 2µm
- in < 1 Sekunde positionieren.



Demonstrator mit Direktantrieben und Luftlagern

20mm (X) x 20mm (Y) x +/- 1,5 deg (Theta)

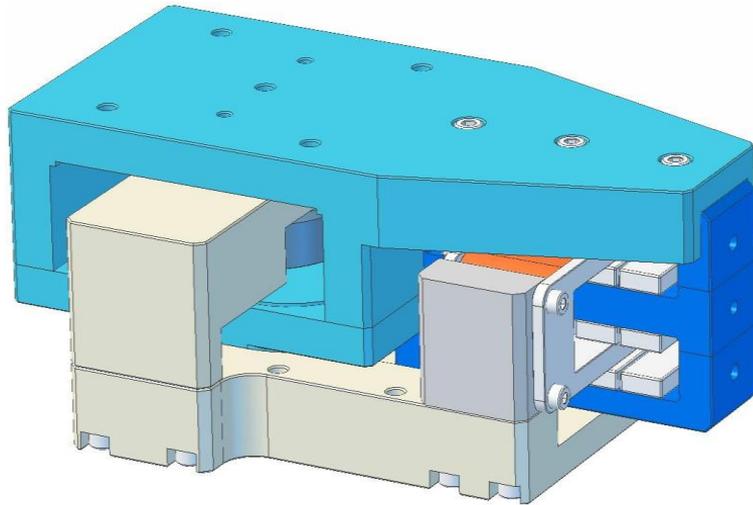


Demonstrator mit Direktantrieben und Luftlagern – X,Y und Phi- Bewegungen

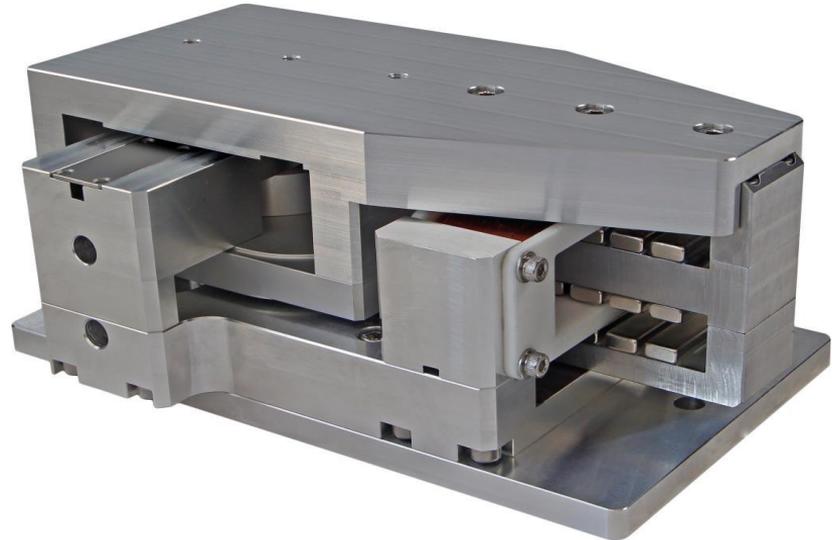
Funktionen des Aktuators:

- Erzeugen der Verfahrbewegung in F_x
- Aufnehmen von Kräften in F_z
- Tolerieren von F_y und M_z als Bewegungsfreiheitsgrad sowie M_x und M_y als Justagefreiheitsgrad

ACHTUNG: Meßsystem wird quer zur Meßrichtung verschoben und senkrecht verdreht- ohne dass sich der Messwert ändern darf!

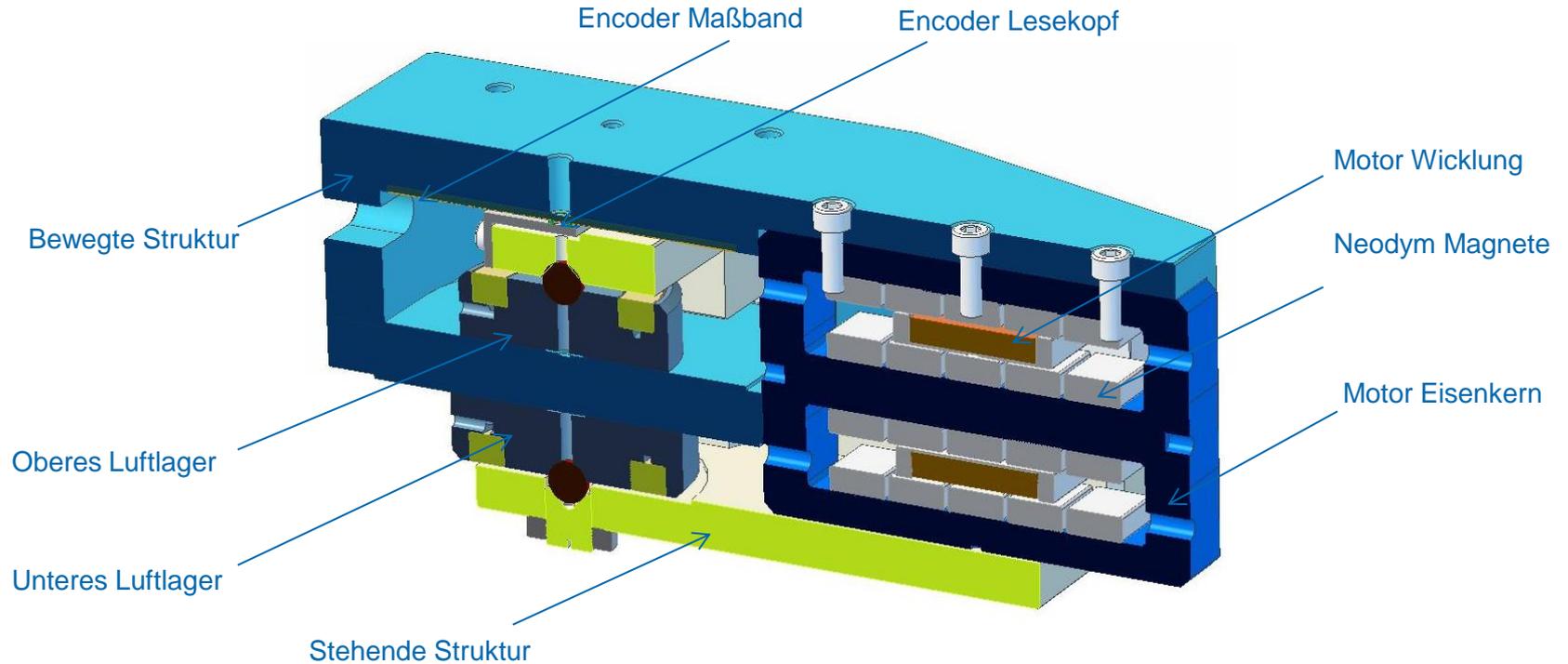


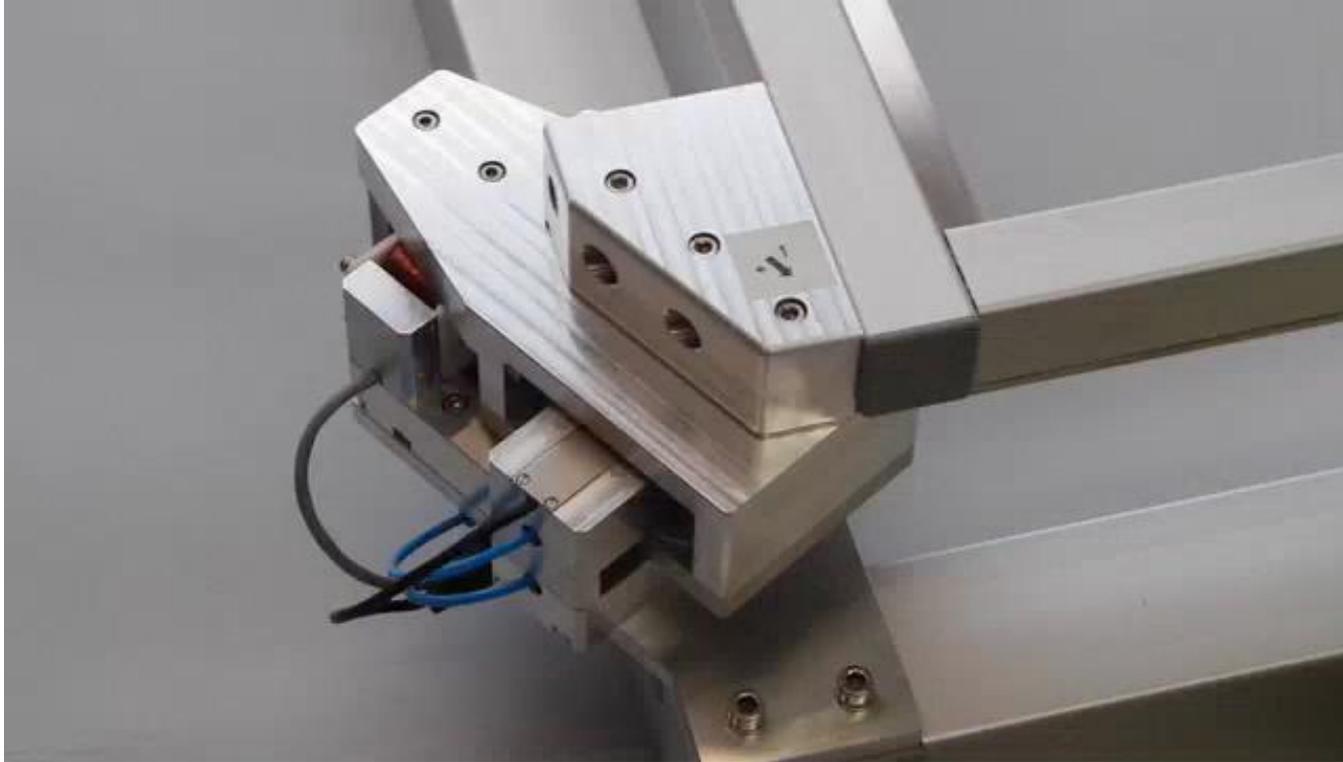
CAD-Model des Einzelaktuators



Engineering Model des Einzelaktuators – 6 Wochen später

Schnittansicht des Aktuators





Einzelaktuator- Kraftherzeuger in Pfeilrichtung, Querbewegungen und Rotationen frei / werden von anderen Aktuatoren bestimmt

3-Axis Aligner Stage Steinmeyer FMD - 4/2014

Save Sequence Load Sequence Close

Actuator Position

Actuator 1 mm

Actuator 2 mm

Actuator 3 mm

Target Position

delta X mm

delta Y mm

delta Theta deg

center X mm

center Y mm

The diagram shows a triangular arrangement of three actuators (A1, A2, A3) and their corresponding target positions (A1', A2', A3'). Blue lines represent the current positions, and red lines represent the target positions. A vertical line passes through the center of the triangle.

Pressure OFF
Define Zero
Go To Pos

Motor OFF
Reference
Run Sequence

	delta X [mm]	delta Y [mm]	delta T [deg]	center X [mm]	center Y [mm]	wait [ms]
T1	8	8	0	0	0	0
T2	8	-8	0	0	0	0
T3	-8	-8	0	0	0	0
T4	-8	8	0	0	0	0
T5	0	0	0	0	0	0
T6	0	0	1,5	0	0	0
T7	0	0	0	0	0	0
T8	0	0	-1,5	0	0	0
T9	0	0	0	0	0	0
T10						

Repeat Sequence

Act 1 +
Act 2 +
Act 3 +

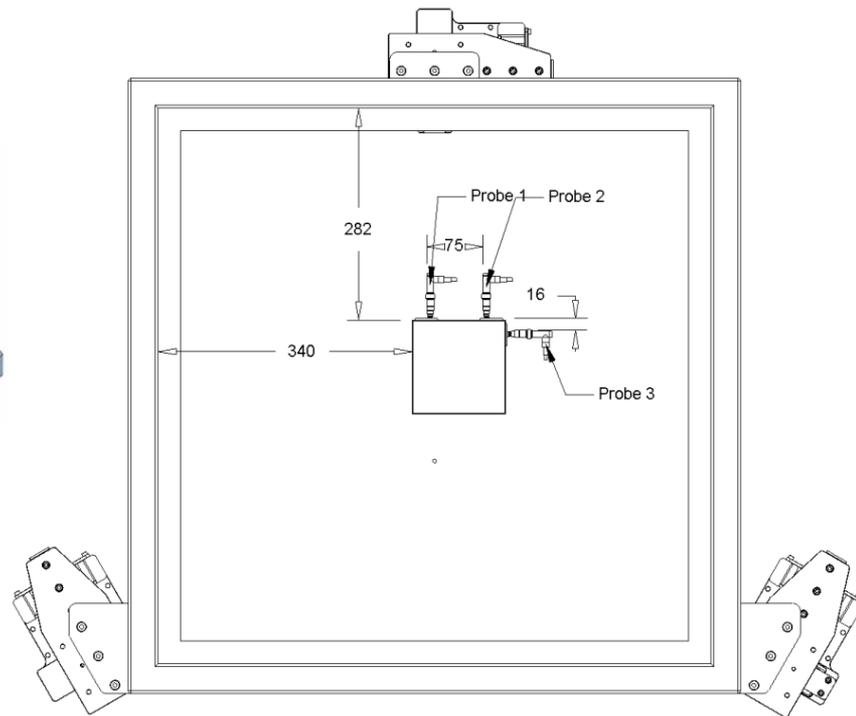
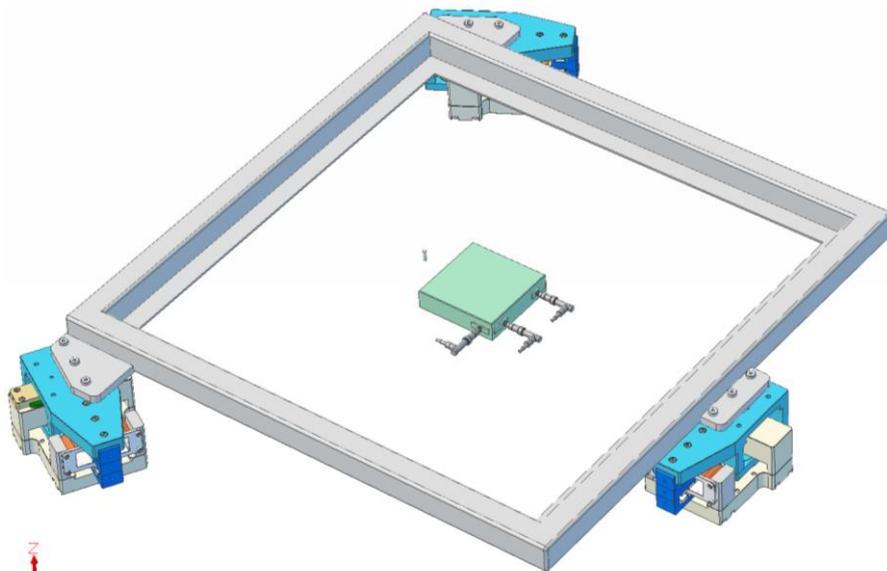
/ V1 36,29

Act 1 -
Act 2 -
Act 3 -

MoveAbs OK Actuator1 t= 0,25 Sekunden

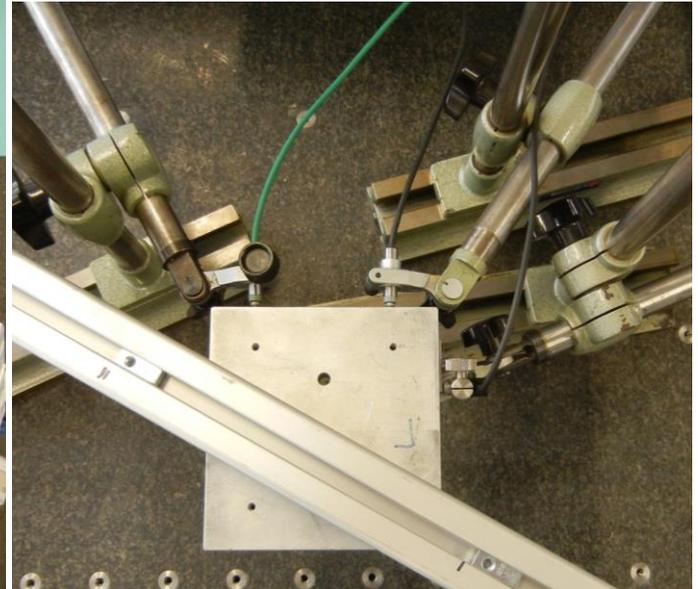
Messung Wiederholbarkeit Position

- 3 Induktive Feinzeiger mit 8nm Auflösung
- Messort in Rahmenmitte, Antastung auf Parallelendmaßen

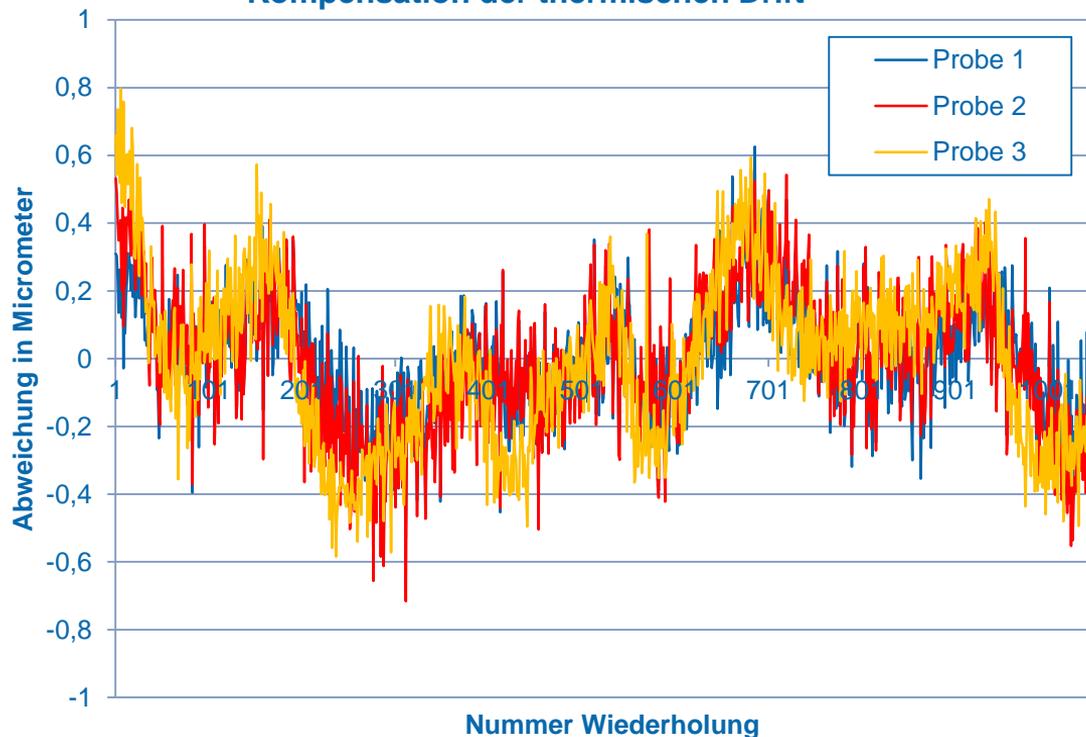




Abbildungen vom Meßaufbau

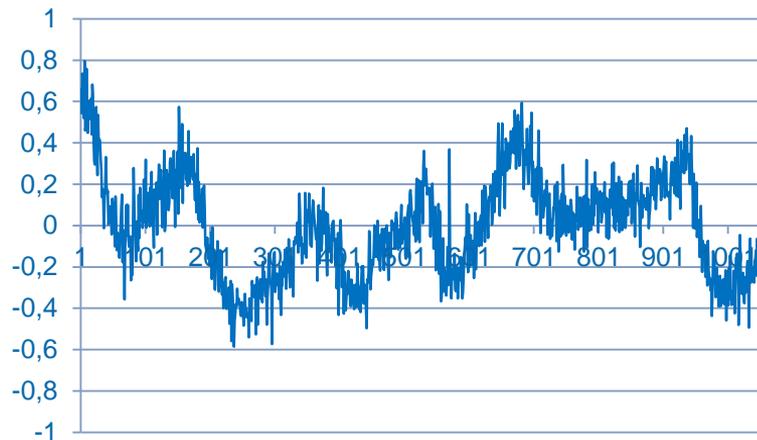


Wiederholbarkeit Position – Kompensation der thermischen Drift



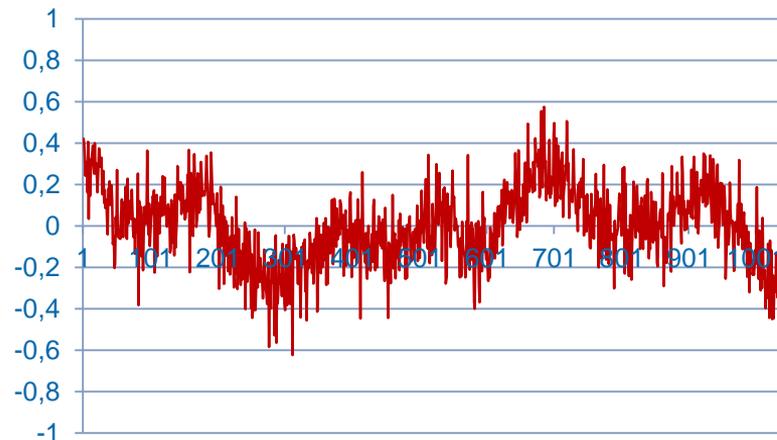
- Kompensation der thermischen Drift durch Subtraktion der individuellen Ausgleichsgerade
- Peak/Peak Werte aller Daten innerhalb +/- 0.75 μ m
- Restwelligkeit mit Periodenlänge ca. 10 Minuten
- Vermutung: Regelverhalten der Klimaanlage
- Kurzzeit-Wiederholbarkeit besser +/- 0.2 μ m

Wiederholbarkeit X [μm]



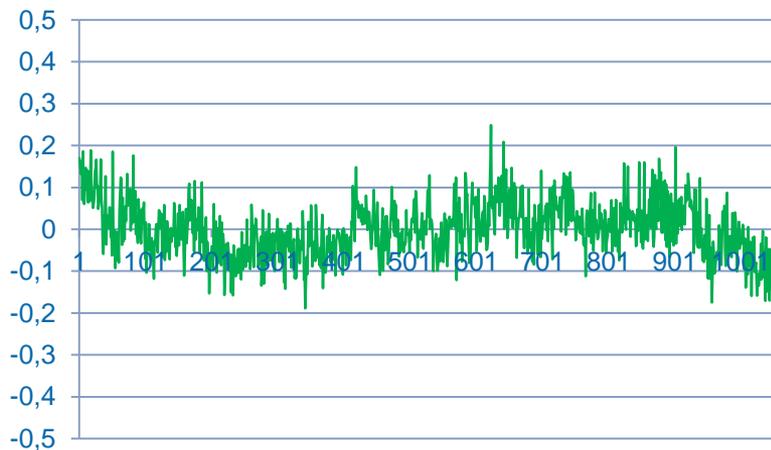
- 1050 Wiederholungen
- X entspricht Messungen Taster 3
- Welligkeit durch Temperatureinfluss
- Wiederholbarkeit: $\pm 0.729\mu\text{m}$ (± 3 Sigma)

Wiederholbarkeit Y [μm]



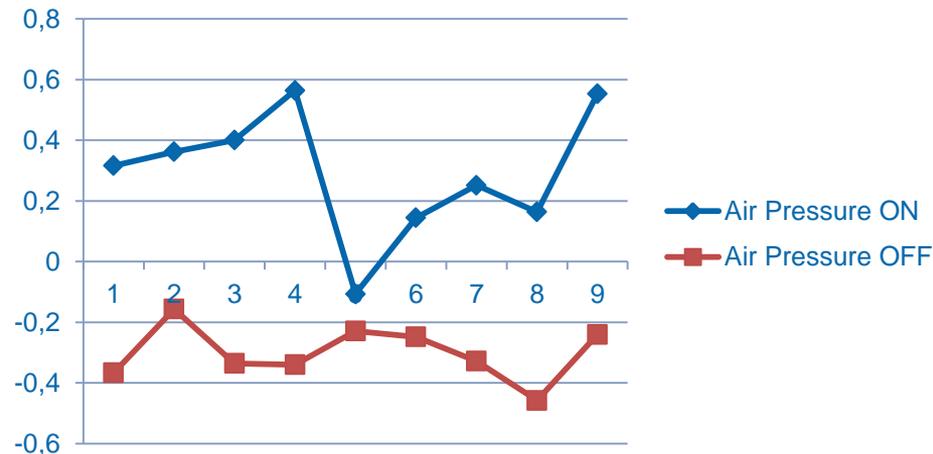
- 1050 Wiederholungen
- Y entspricht (Taster 1 + Taster 2)/ 2
- Welligkeit durch Temperatureinfluss
- Wiederholbarkeit: $\pm 0.558\mu\text{m}$ (± 3 Sigma)

Wiederholbarkeit in Phi (Mz) in deg/1000



- 1050 Wiederholungen
- Phi entspricht $\text{ArcTan}((\text{Taster 2} - \text{Taster 1})/75\text{mm})$
- Für bessere Sichtbarkeit wurde Einheit deg/1000 gewählt
- Wiederholbarkeit: $\pm 0.198 \times 10^{-3} \text{ deg}$ ($\pm 3 \text{ Sigma}$)
- $\pm 0.7128 \text{ arcsec}$ ($\pm 3 \text{ Sigma}$)
- $\pm 3.45 \text{ }\mu\text{Rad}$ ($\pm 3 \text{ Sigma}$)

Einfluss der Luftlagerklemmung [μm]



- Die Wiederholbarkeit der Position verbessert sich im geklemmten Zustand.
- Es tritt ein weitgehend systematischer Positionsversatz um ca. $0.6\mu\text{m}$ auf.

Zusammenfassung:

- Ausgehend vom Konzept der statisch bestimmten Systeme (kinematic mounts) lassen sich verschiedene Formen von parallelkinematischen Positioniersystemen ableiten.
- Besonders effizient lassen sich 3- und 6-DOF-Systeme erzeugen.
- Die Lösungen eignen sich vorrangig für relativ kleine Verfahrswege und hohe Genauigkeiten.
- Die kinematischen Entkopplungen können über klassische Gelenke, Festkörpergelenke, Dreh- und Linearführungen sowie -sehr vorteilhaft- über Luftlager erfolgen.
- Am Demonstrator wurde eine Wiederholbarkeit der Position von $\pm 0.75\mu\text{m}$ (± 3 Sigma) bei einem Test über 1050 Wiederholungen nachgewiesen. Unter idealen Umweltbedingungen sind $\pm 0.25\mu\text{m}$ (± 3 Sigma) erreichbar.

Vielen Dank!