

10 Tonnen und 1 μ m

Die Entwicklung des Heavymovers –
Eine Justierplattform für Undulatoren

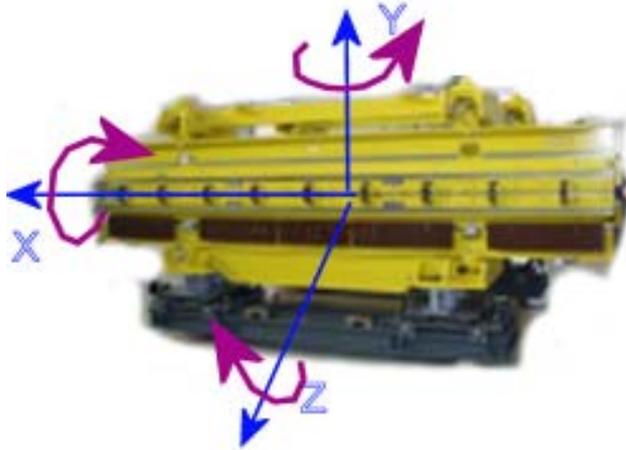
R. Heller, A. Kretzschmann, U. Schwendicke, M. Winde
DESY

10 Tonnen und 1 μ m

Gliederung:

- Wieviel sind 10 t? Was ist ein μ m?
- Historie der Micro Mover
- Aufbau, Wirkungsweise
- Mechanik
- Komponenten und Sensoren
- Ansteuerung, Elektrik
- CPU und Elektronik
- Bewegungsgleichungen
- Iteratives Fahren
- Übergabe

Aufgabe



10 t



10 t Kohle



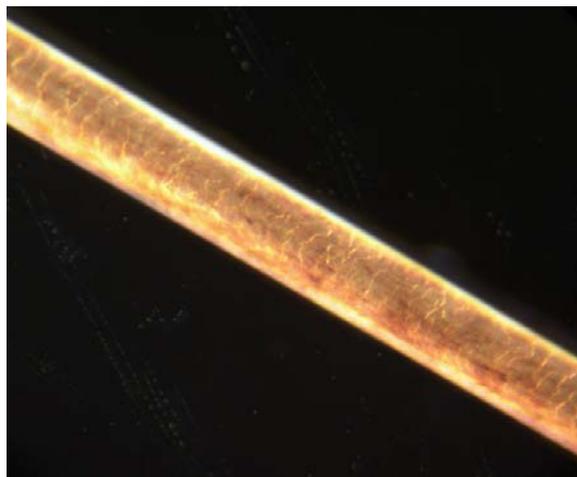
2.5 ... 5 t



Undulator



menschliches Haar: 40..120 μ m



Feinstaub (lungengängig)

- < ca. 10 μm

3.5 μm



Micro Mover im DESY

- 1994 : Voruntersuchungen für den
S-Band-Linac
Ausrichtung der Beam-Line
(Tragstruktur, ca. 200kg)
System im SLAC entwickelt, modifiziert, Prototyp gefertigt...
- 1996 : Mover für Solenoiden der Elektronenkanone
- damals im DESY Hamburg, Weiterentwicklung bei PITZ im Einsatz
- 1999 : XFEL
Ausrichtung von Undulatoren im Beam
200kg -> 3000kg: Neukonstruktion, Fertigung von 3 Prototypen
- 2004 : XFEL
Ausrichtung von Undulatoren zum Vermessen
neue Generation von Undulatoren,
3000kg -> 10000kg

10 Tonnen und 1 μ m

Forderungen:

-Verwendung der vorhandenen Einheiten

→ Modifizierung

Mechanik
Elektronik / Antrieb
Software

Prinzipieller Aufbau einer Mover Einheit



Schrittmotor (1600S/u)

Bremse

Encoder

Getriebe

Harmonic Drive (1:160)
spielfrei, geringe Hysterese

Antriebswelle

Exzentrizität 1,6mm (+/-... μ m)

Abtriebslager

Stützrolle NUTR 45/100
(ballige Lauffläche, Anlageflächen
gehärtet)

Nulllagegeber am Abtrieb

Encoder am Abtrieb

Messtaster Heidenhain

(8Stück)

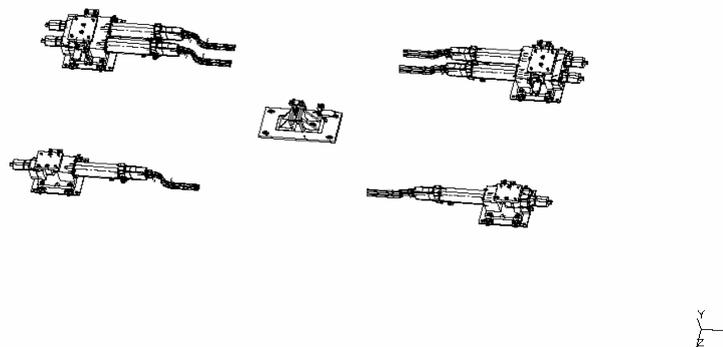
Mover - Einheit



Harmonic Drive Getriebe

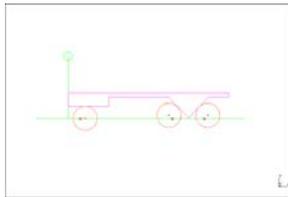


Schema der Aufstellung

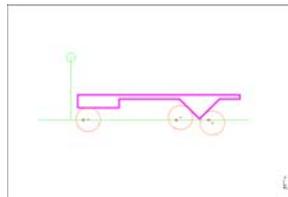




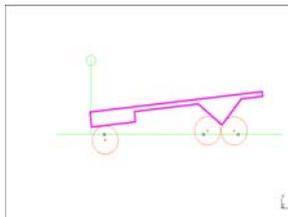
Wirkungsweise der Positionierung



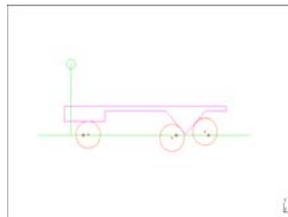
Null - Position



- X - Position

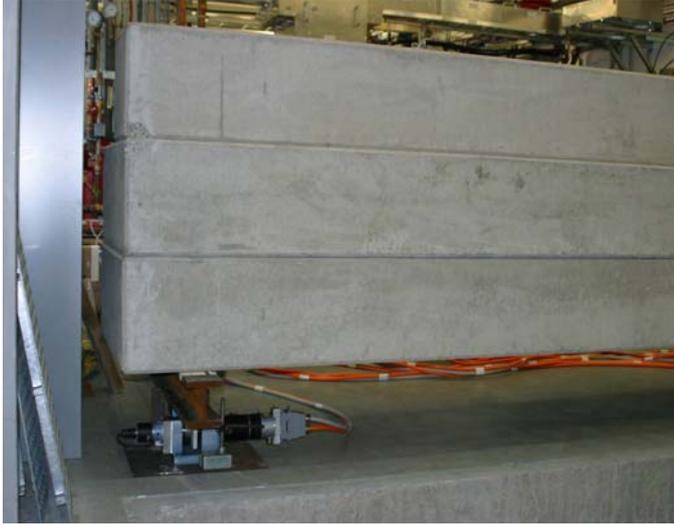


Max. Winkel



+ X - Position

Lasttest der Komponenten



ZIEL:

Belastbarkeit
der Mechanik

Motordimen-
sionierung

Positionier-
genauigkeit

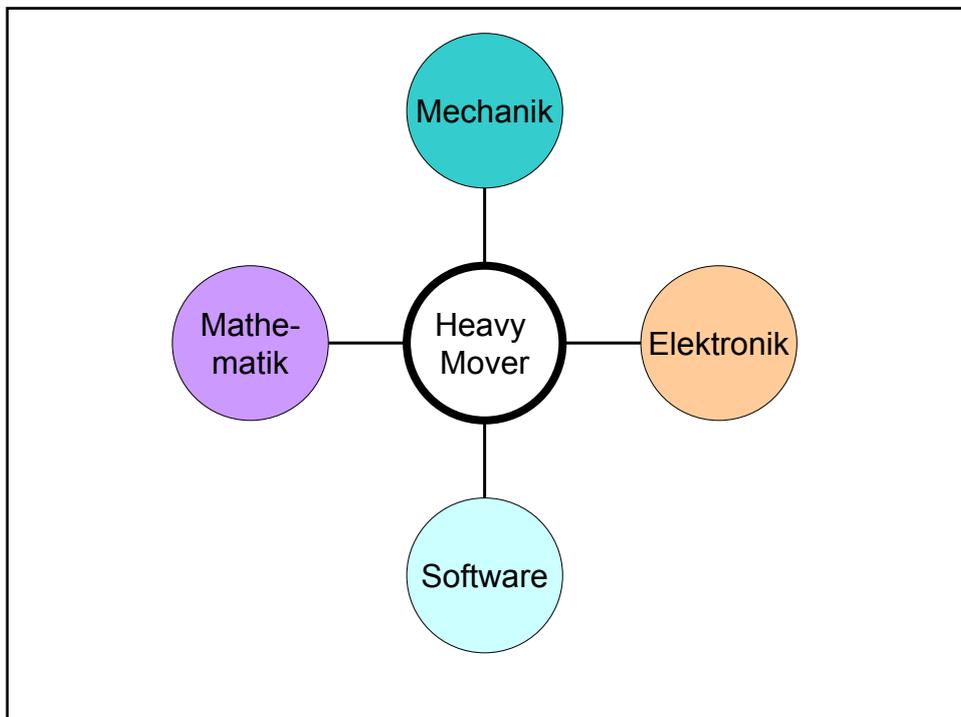
Parameter:

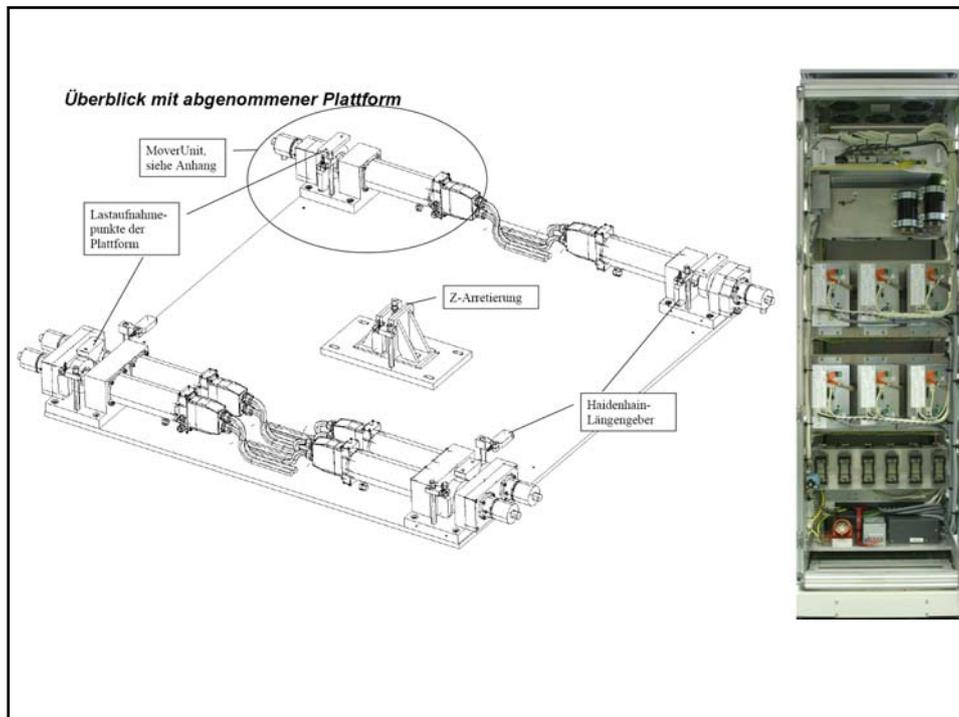
Maximale
Last **8t**,

Dauertest mit
3,8t



Test des Gesamtsystems



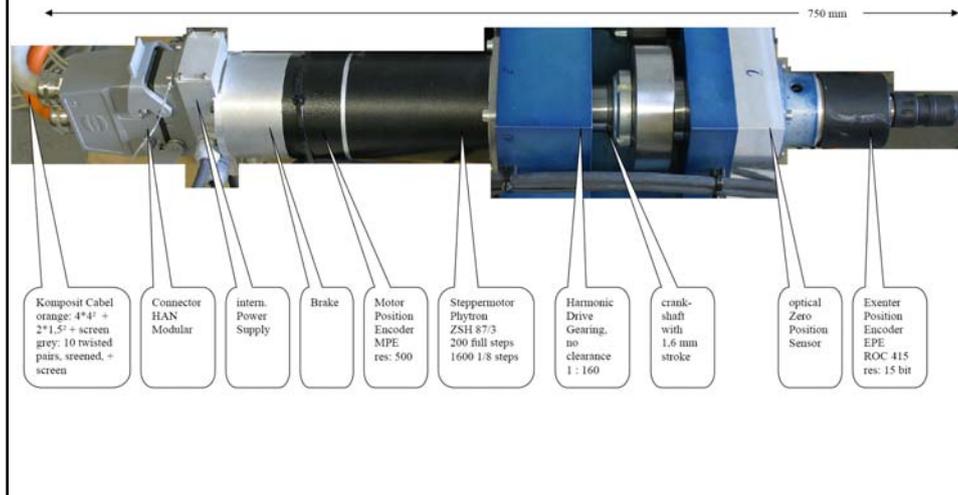


Test der Komponenten unter wirklichem Gewicht

- Klystronhalle, Last: Deckensteine des PITZ Tunnels
- erstmals volle Nutzlast
- Motorcontroller, Kabel und Motor funktionieren
- korrekte Parameter des Motorcontroller gefunden, unzureichend dokumentierte Eigenschaften gemessen
- Datenblatt des Motors richtig interpretiert
- Voraussetzungen für Betrieb ohne Verlust von Motorschritten

Komponenten

Mover Unit: Details of Components



verschiedene Positionssensoren

- 6* Schritte der Motoren, 256000 Schritte / U
- 6 * Motor Position Encoder „MPE“ 320000 Schritte / U
- 6* Exenter Position Encoder „EPE“, 32768 Positionen / U
- 6* Optischer Nullagegeber
- 8 Lineartaster, angesteuert über Meßrechner „GageCheck“

Lineartaster und GageCheck

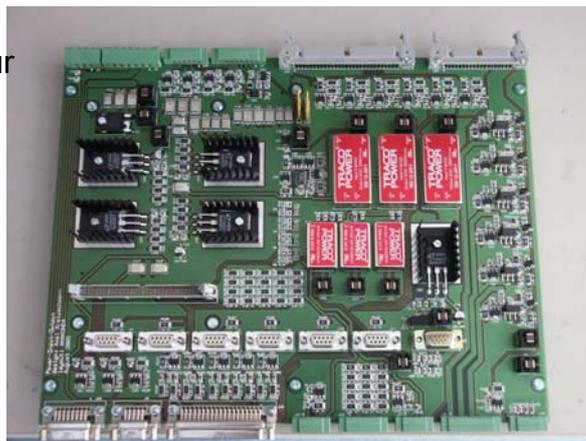


MT1281 Heidenhain
+/- 0,2 μm
12 mm Meßweg



PowerIO

- Pufferung der Betriebsspannung für 3 Sekunden,
- Ansteuerung von Bremsen und Auslesen der Nulllagegeber
- Interlocksystem schaltet Betriebsspannung der Motorcontroller, trennt, entlädt und erdet



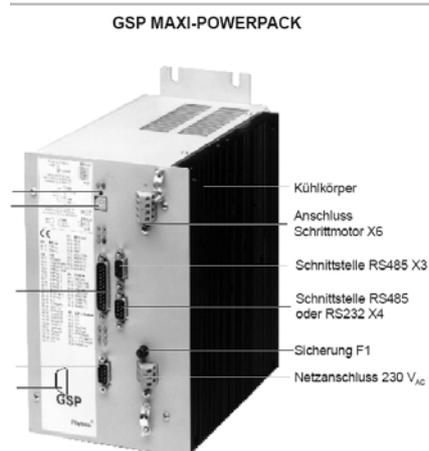
MoverControllerBoard

- FPGA: Altera Cyclone
- 32 bit CPU, u.a. nichtflüchtiger Speicher
- 22 serielle Schnittstellen, aller galvanisch getrennt
- 100 Mbit Ethernet



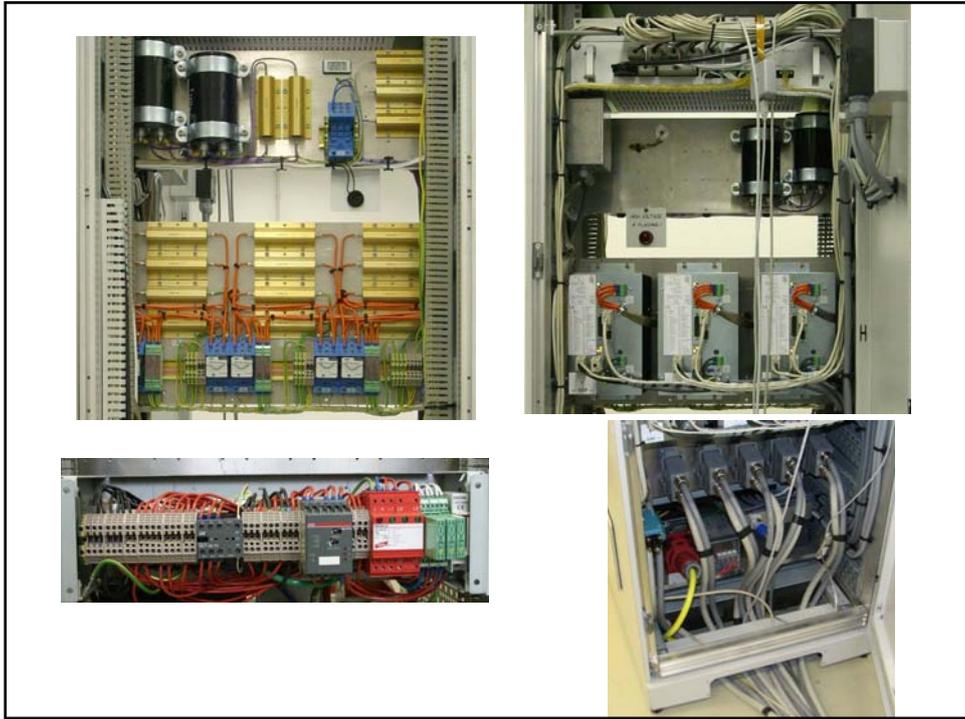
Motorcontroller „GSP“

- 140 V Motorspannung
- peak: 17 A
- 10 kg
- Schrittauflösung wird dynamisch an die Motordrehzahl angepasst: bis 1/8 Schritt
- drehfeldsynchronisierte Stromregelung
- automatische "Nullfahrt" möglich

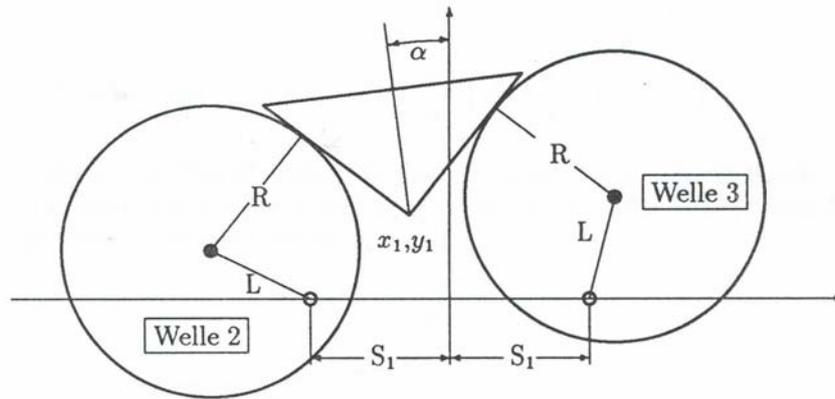


Parameter	Einheit	Voreinstellung	Wertebereich
Start-/Stopfrequenz	Hz	400	1 .. 1250
Lauffrequenz	Hz	2000	1 .. 10000
Rampensteilheit	Hz/s	5000	1700 .. 164000
Notstoprampe	Faktor	0	0 .. 255
Stopstrom	A	STUFE 2	0 .. 6,3
Laufstrom	A	STUFE 4	0,1 .. 6,3
Booststrom	A	0	0 .. 6,3
Laufstromhaltezeit	ms	20	0 .. 4000
Achsenbegrenzung	1/8-Step	1000000	0 .. $2 \cdot 10^9$
Offset vom +Initiator	1/8-Step	0	0 .. $2 \cdot 10^9$
Offset vom -Initiator	1/8-Step	0	0 .. $2 \cdot 10^9$
Spielausgleich	1/8-Step	0	$-2 \cdot 10^9$.. $2 \cdot 10^9$
Linearbetrieb	-	0	0 / 1
SPS Modus	-	0	0 / 1
Baudrate	Bit/s	28800	9600 / 28800

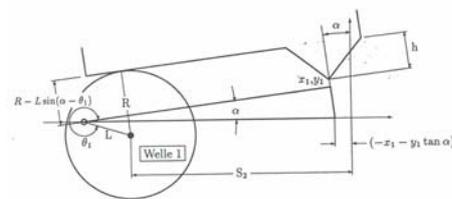
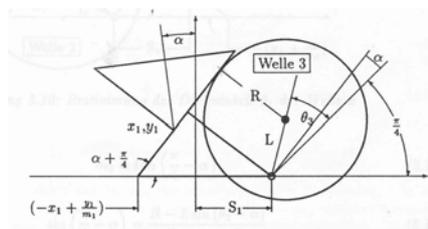




Es rollt



Bewegungsgleichungen



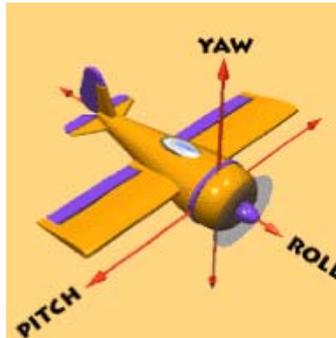
$$\theta_3 = \alpha + \arcsin\left(\frac{1}{L}\left(S_1 - x_1 + \frac{y_1}{m_1}\right)\sin\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) - \frac{R}{L}\right)$$

$$\theta_2 = \alpha - \arcsin\left(\frac{1}{L}\left(S_1 + x_1 + \frac{y_1}{m_1}\right)\sin\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right) - \frac{R}{L}\right)$$

$$\theta_1 = \alpha - \arcsin\left(\frac{1}{L}\left[(S_2 + x_1 + y_1 \tan \alpha)\sin(\alpha) + R - h - \frac{y_1}{\cos \alpha}\right]\right)$$

Heimlinger 1993, Hukelmann 1995

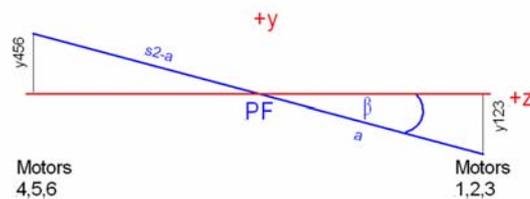
Roll, pitch, yaw



Pitch (Nicken)

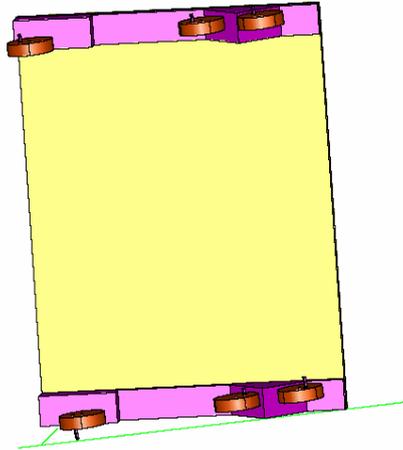
Pitch-angle (β) rotation

To pitch-rotate the platform around the fix point PF by a positive angle β , we have to increase y_{456} at motors (4,5,6) and to decrease y_{123} at motors (1,2,3):



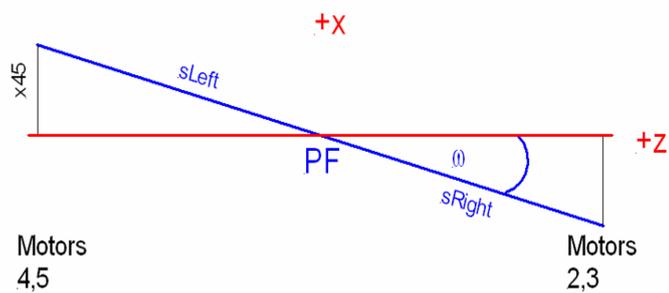
$$y_{123} = -a * \sin \beta$$
$$y_{456} = (s2-a) * \sin \beta$$

Yaw – Rotation (Gieren)



Es rollt nicht, es rutscht (hoffentlich!)

Gieren



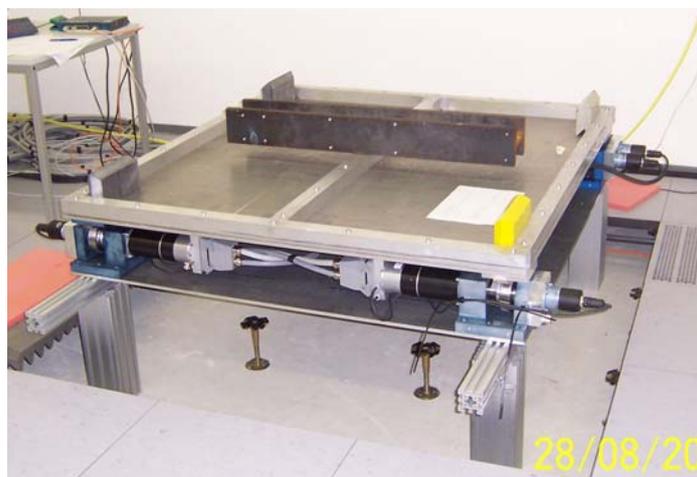
$$x_{23} = -s_{Right} * \sin \omega$$

$$x_{45} = s_{Left} * \sin \omega$$

Wo ist oben?



Testplattform



Auslastung des PITZ-Tunnels



Speziallineal



Heidenhain Messtaster



Messen vertikal



Iteratives Fahren

- Motore (Θ -Winkel) entsprechend Formeln anfahren
- an 6 Stellen wirkliche Position messen
- Abweichung (noch) zu groß?
- Korrekturwinkel berechnen, anfahren
- erneut messen
- usw. ...

y nahe Exzenter 1

$$y = -L * \sin(\theta) \quad \theta = \arcsin\left(-\frac{y}{L}\right)$$

$$\frac{d\theta}{dy} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{y^2}{L^2}}} * \left(-\frac{1}{L}\right) = -\frac{1}{\sqrt{L^2 - y^2}}$$

$$\Delta\theta = -\frac{\Delta y}{\sqrt{L^2 - y^2}}$$

x,y nahe Exzenterpaar 2,3

$$x = \frac{L}{\sqrt{2}} * (\sin \theta_2 + \sin \theta_3)$$

$$y = \frac{L}{\sqrt{2}} * (\sin \theta_2 - \sin \theta_3)$$

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{x+y}{L * \sqrt{2}}\right)$$

$$\theta_3 = \arcsin\left(\frac{x-y}{L * \sqrt{2}}\right)$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial x} = \frac{1}{\sqrt{2L^2 - (x+y)^2}}$$

$$\frac{\partial \theta_2}{\partial y} = \frac{1}{\sqrt{2L^2 - (x+y)^2}}$$

$$\Delta \theta_2 = \frac{\Delta x + \Delta y}{\sqrt{2L^2 - (x+y)^2}}$$

$$\Delta \theta_3 = \frac{\Delta x - \Delta y}{\sqrt{2L^2 - (x-y)^2}}$$

Alle Probleme gelöst?



Schiefe von

- Grundfläche zum Boden
- Ständer zur Grundfläche
- Messtaster zum Ständer
- Messfläche zum Messtaster

Staub?

Gleiten oder Verdrillen?
z-Rutschen

Endtest und Übergabe



Prüfen



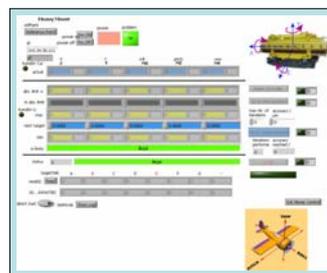
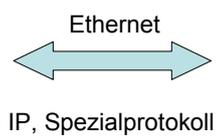
Prüfer



Software



Server läuft im Altera-
Prozessor des MoCoBo:
C++, multithreaded



Client war nicht im
Lieferumfang,
Beispielprogramm in
Labview auf PC

Summary

- 10 t sind mit 1 μm Genauigkeit re-positionierbar
- Positioniergenauigkeit von 3-5 μm bei genauer Ausrichtung der Motoreinheiten möglich
- mechanische Komponenten werden an Grenze der Belastbarkeit betrieben
- System für Yaw-Bewegung nicht optimal
- Konzept des elektrischen Aufbaus erfolgreich
- Erfahrungen sind auf Solenoid-Micromover (PITZ) übertragbar