

**10. DGFT-Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“
Dresden, 22.-23. September 2016**

Monolytische Mechanismen zur Realisierung hochpräziser Bewegungen

**M. Sc. Felix Harfensteller
Technische Universität Ilmenau
Institut für Maschinen- und Gerätekonstruktion (IMGK)
E-Mail: felix.harfensteller@tu-ilmenau.de**

**Hochschullehrer: Univ. Prof. Dr.-Ing. René Theska
Betreuung: M. Sc. Philipp Gräser
Dr.-Ing. Sebastian Linß**

22.09.16

Gliederung

1. **Motivation und Anwendung**
2. **Problemstellung der Konstruktion**
3. **Vorgehensweise zur Problemlösung**
4. **Synthese von Starrkörpermechanismen**
5. **Gestaltung und Simulation eines nachgiebigen Mechanismus**
6. **Konstruktion eines Positioniersystems**
7. **Messtechnische Untersuchung**
8. **Ergebnisse und Zusammenfassung**
9. **Ausblick**

1. Motivation und Anwendung



Abb.: miniaturisierter XY-Tisch [1]

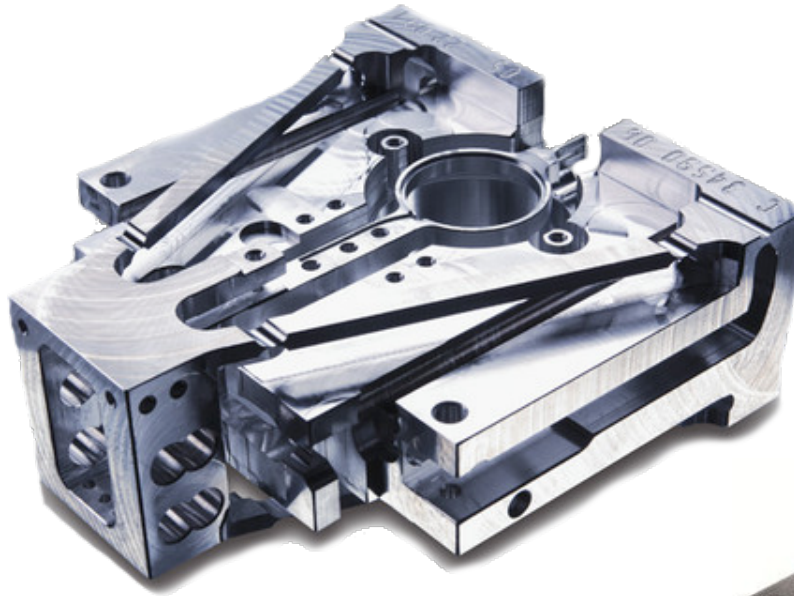


Abb.: Wäge-Einheit des Herstellers Sartorius AG [2]

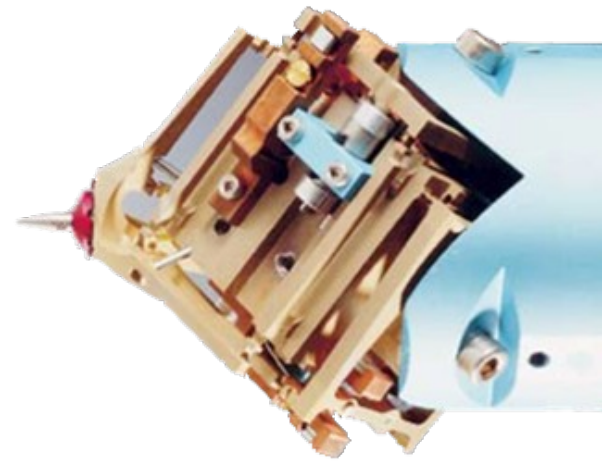


Abb.: 3D-Tastkopf eines Koordinatenmessgerätes [3]



Abb.: Lineartisch des Herstellers Physik Instrumente (PI) [4]

Vorteile nachgiebiger Mechanismen:

- Spiel- und Reibungsfreiheit
- Verschleiß- und Wartungsfreiheit
- Funktionsintegration, Miniaturisierung von Bauteilen, etc.

2. Problemstellung der Konstruktion

Herausforderungen:

- Begrenzung des Bewegungsbereiches durch stoffgepaarte Gelenke
- Drehachsenverlagerung der Festkörpergelenke
- Neigung zu Schwingungen

Ziel:

- Konstruktion eines XY-Positioniersystems
 - Bewegungsbereich von jeweils ± 10 mm
 - geringste Führungsabweichungen
 - höchste Wiederholbarkeit
- Messtechnische Untersuchung
- Ableitung von Erkenntnissen für die Synthese

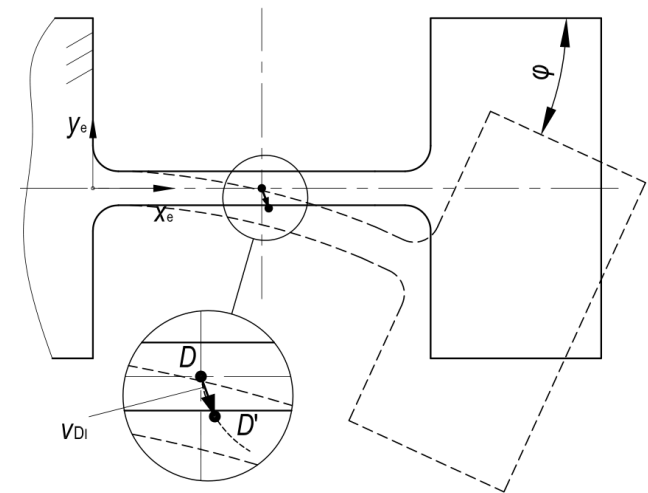
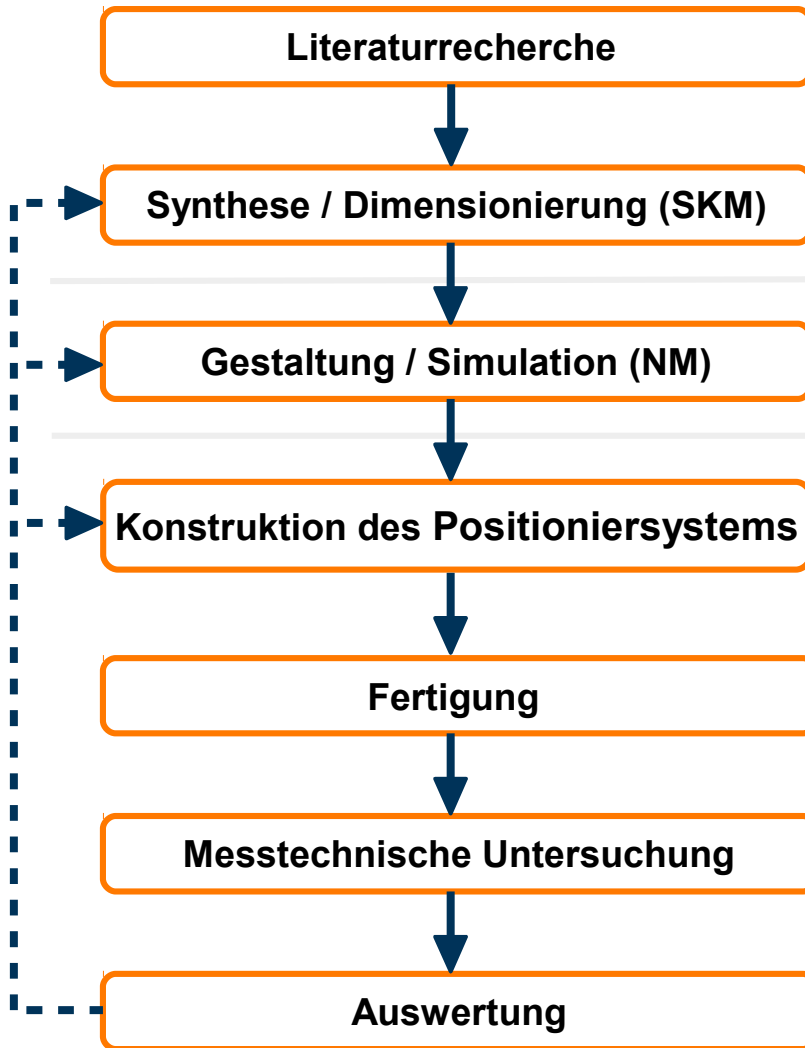
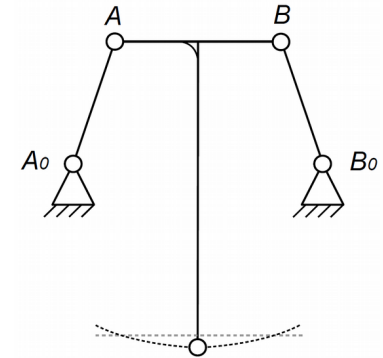


Abb.: Drehachsenverlagerung eines Festkörpergelenkes [5]

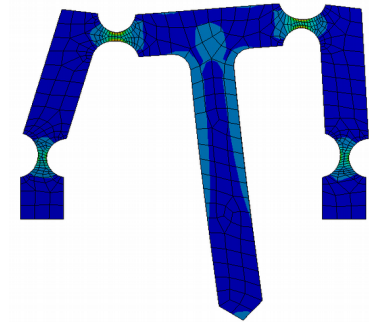
3. Vorgehensweise zur Problemlösung



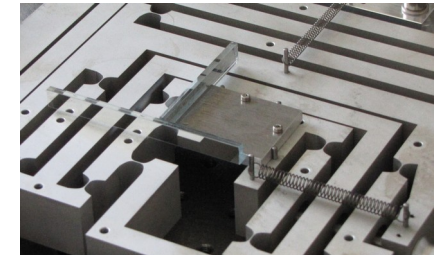
Starrkörper-Mechanismus (SKM)



nachgiebiger Mechanismus (NM)

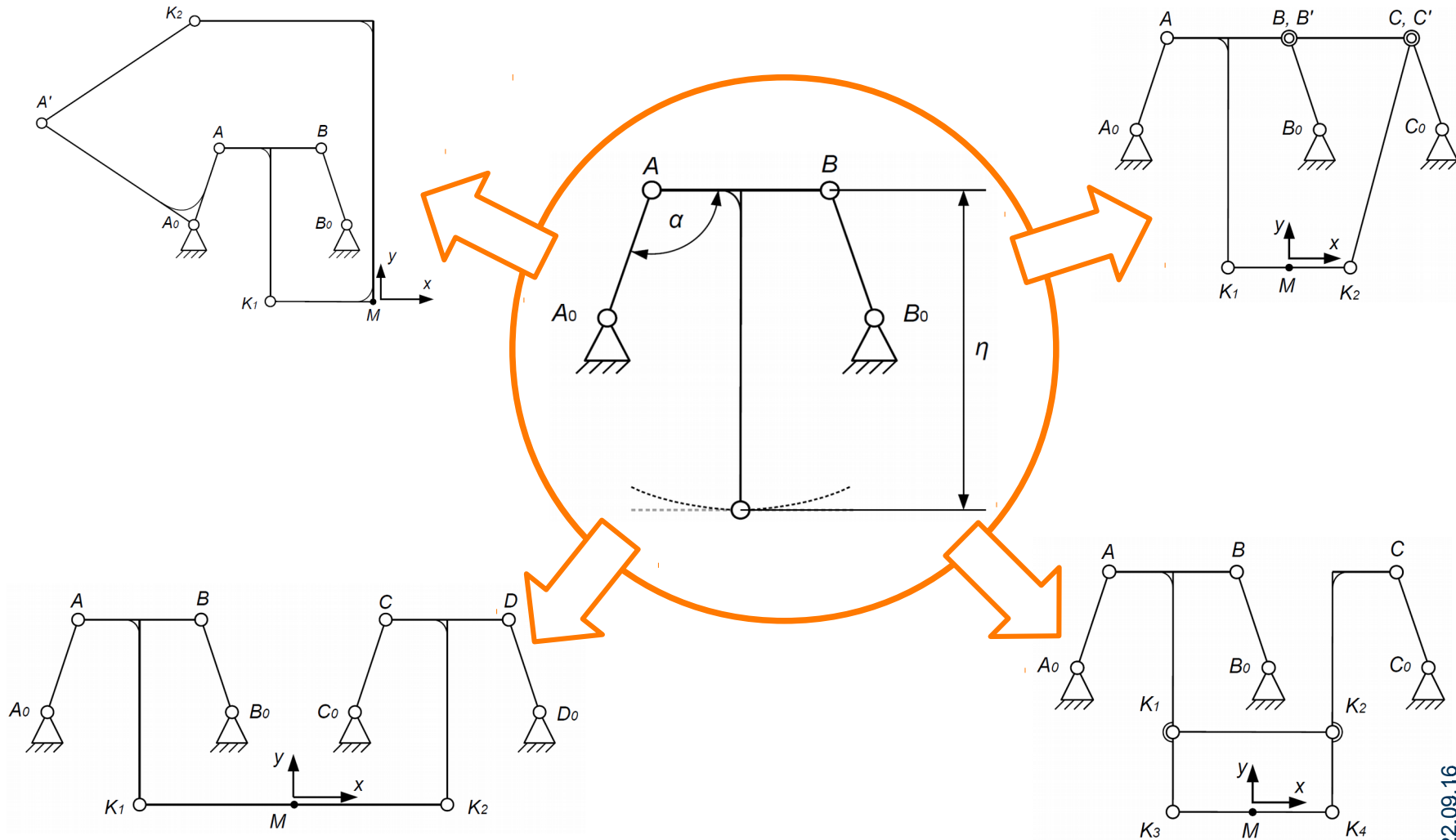


Positioniersystem



4. Synthese von Starrkörpermechanismen

Ansatz I: Geradführung auf Basis von Punktgeradführungen (SKM)



22.09.16

4. Synthese von Starrkörpermechanismen

Ansatz II: Geradführung auf Basis von Parallelkurbeln (SKM)

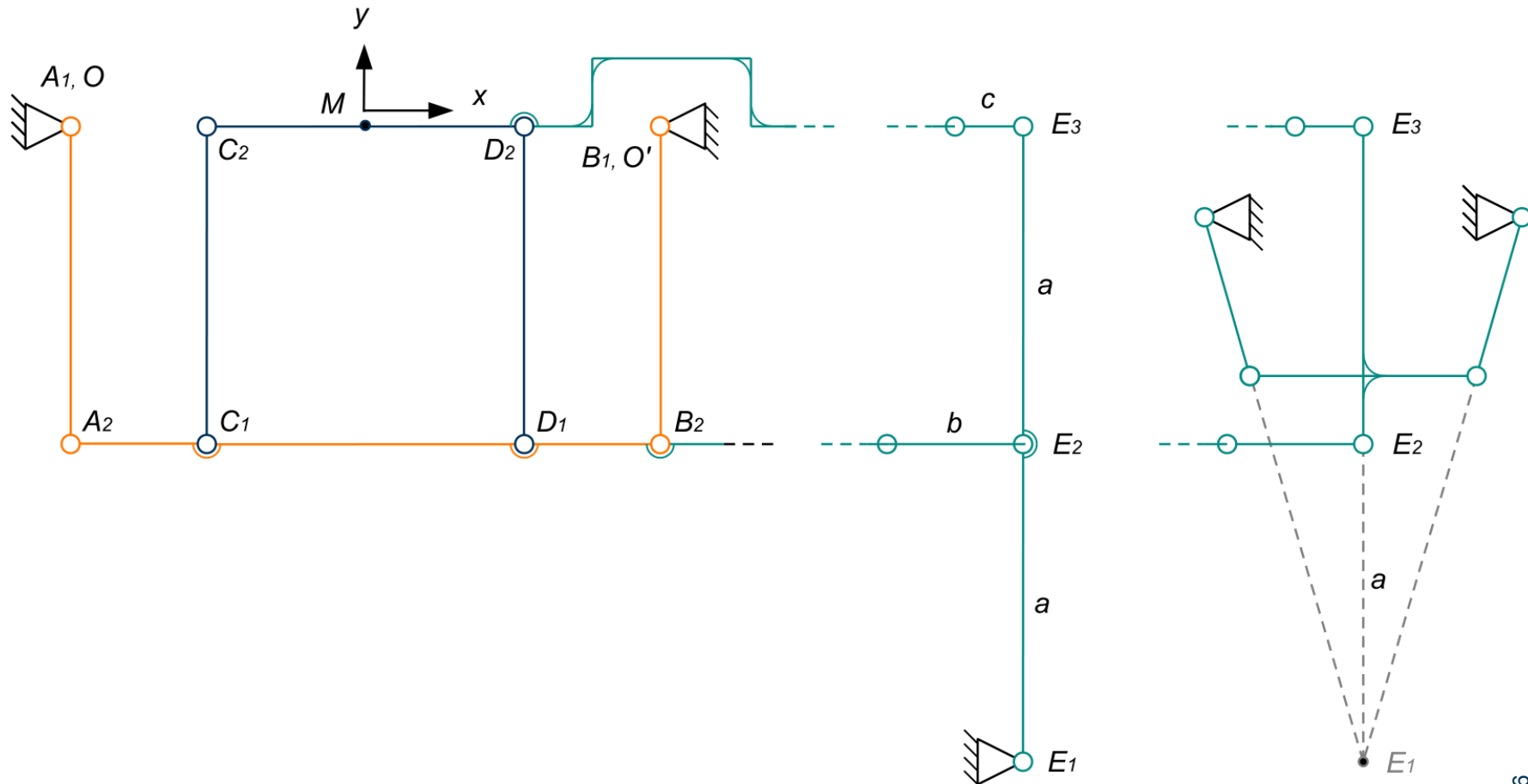
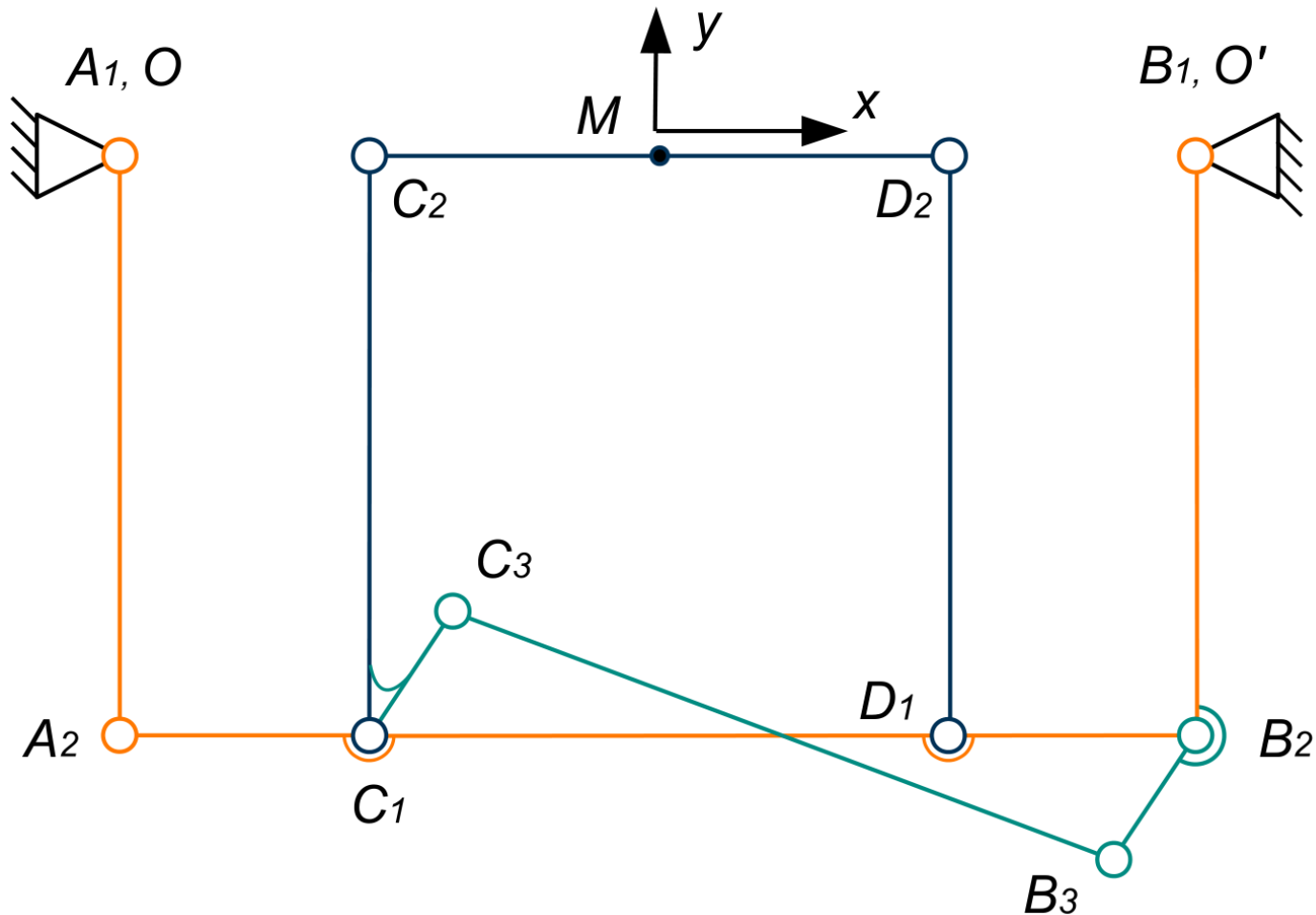


Abb.: bestehende Ansätze nach [1], [6], [7]

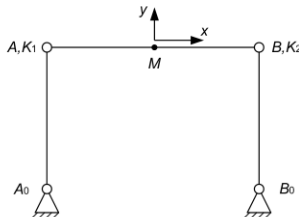
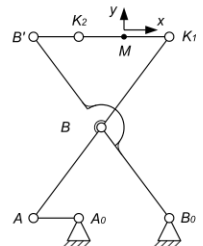
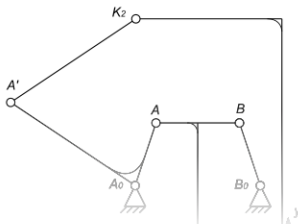
4. Synthese von Starrkörpermechanismen

Ansatz II: Geradführung auf Basis von Parallelkurbeln (SKM)



4. Synthese von Starrkörpermechanismen

Skalierung und Vergleich

Nr.	Bezeichnung	Abbildung (nicht maßstäblich)	n_G	g	Δy_M^* in μm	$\Delta y_{K_1}^*$ in μm	$\Delta y_{K_2}^*$ in μm	$\Delta \vartheta_M^*$ in $''$	$L_{\max}$ in mm	$L_{\min}$ in mm	$\sum L$ in mm	$A_R(b \cdot h)$ in mm^2	krit. Gelenk
1	Parallel- kurbel		4	4	-435,608	-435,608	-435,608	0	$\frac{115}{(A_0 A, B_0 B)}$	$\frac{20}{(AB)}$	250	$\frac{2300}{(20 \cdot 115)}$	A_0, A, B_0, B
2	Kombination gekreuzte Doppelschwinge u. Hoecken- Lenker		6	7	+18,048	+18,048	+18,048	0	$\frac{430}{(AK_1, B_0 B')}$	$\frac{86}{(A_0 A, B' K_2)}$	1204	$\frac{88752}{(258 \cdot 344)}$	A_0, K_2
3	Roberts- Lenker erweitert nach Satz von Roberts		6	7	-29,390	-29,390	-29,390	0	$\frac{289,1}{(K_1 K_2)}$	$\frac{87}{(A_0 A, B_0 B)}$	1060,8	$\frac{80103,2}{(286 \cdot 8 \cdot 279,3)}$	A

➔ 13 Mechanismen

...

22.09.16

4. Synthese von Starrkörpermechanismen

Lösungsauswahl und Optimierung des Teilmechanismus

Dimensionierung durch
Optimierung (GNU Octave):

$$A_1 A_2 = B_1 B_2 = C_1 C_2 =$$

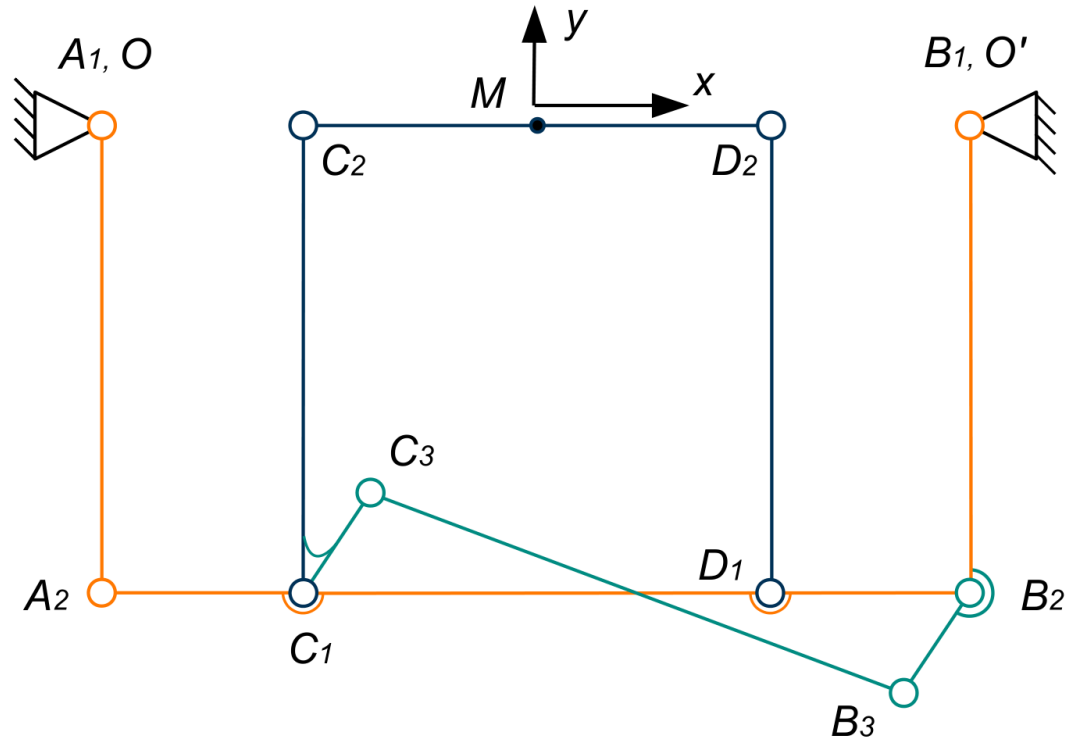
$$D_1 D_2 = 60\text{mm}$$

$$A_2 C_1 = B_2 D_1 = 35\text{mm}$$

$$B_2 B_3 = C_1 C_3 = 30\text{mm}$$

$$C_1 D_1 = C_2 D_2 = 65\text{mm}$$

$$C_3 B_3 = 80\text{mm}$$

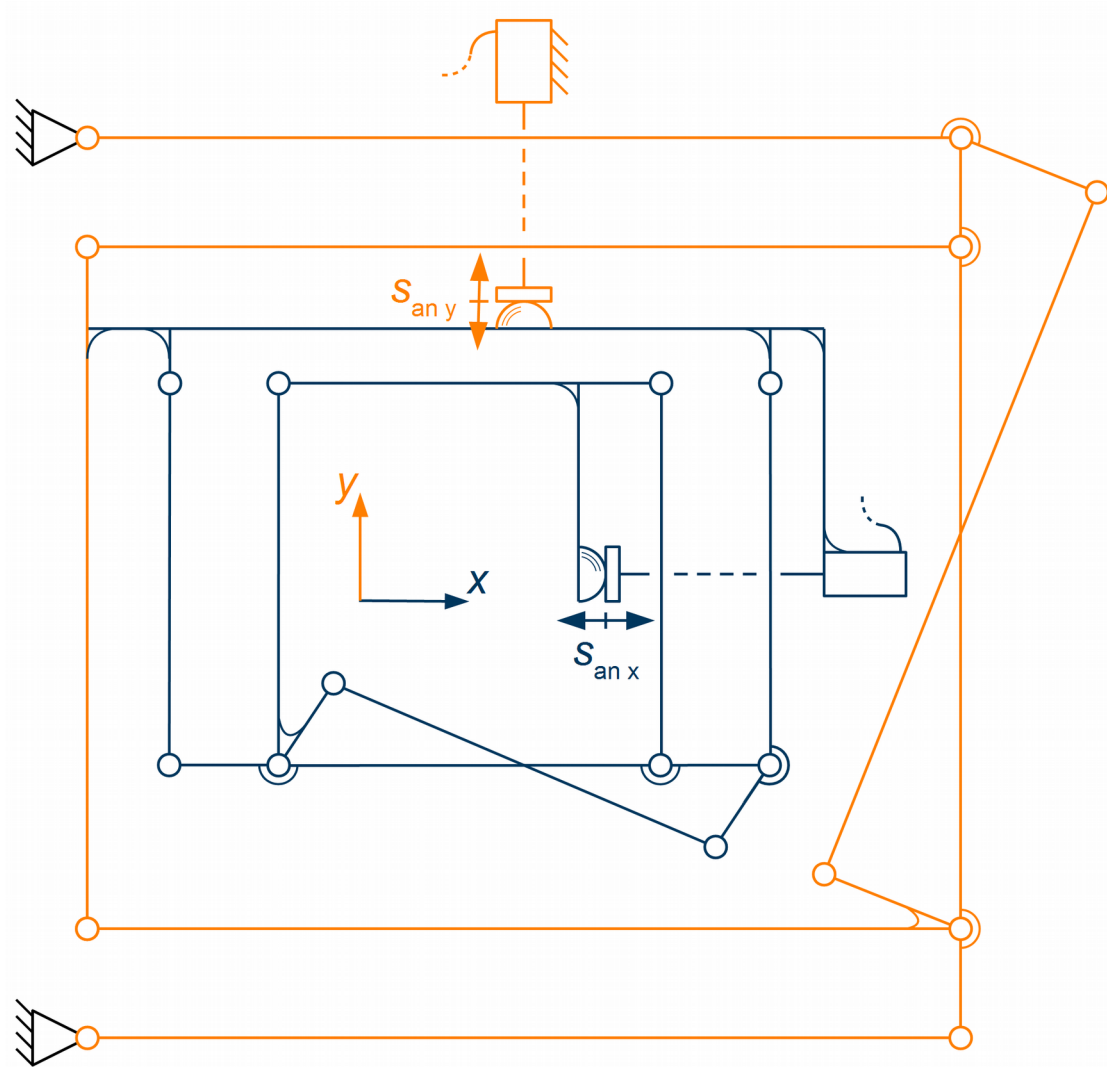


Geradführungsabweichungen:

$$\begin{aligned} |\Delta y (\Delta x = -5\text{mm})| + |\Delta y (\Delta x = 5\text{mm})| &= 2,8 \text{ nm} \\ |\Delta y (\Delta x = -10\text{mm})| + |\Delta y (\Delta x = 10\text{mm})| &= 91,1 \text{ nm} \end{aligned}$$

5. Gestaltung und Simulation (NM)

Serielle Kopplung der Teilmechanismen

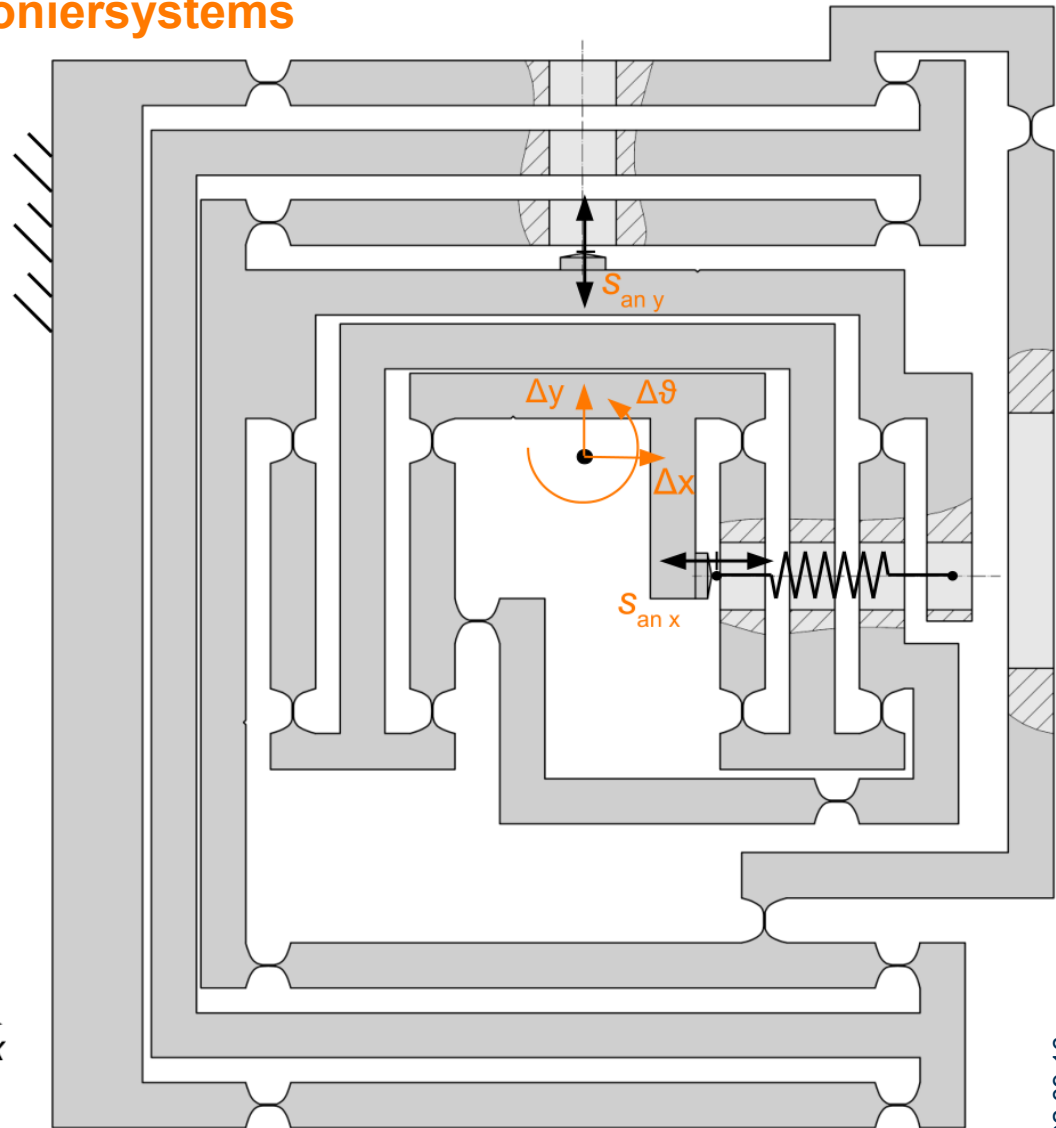
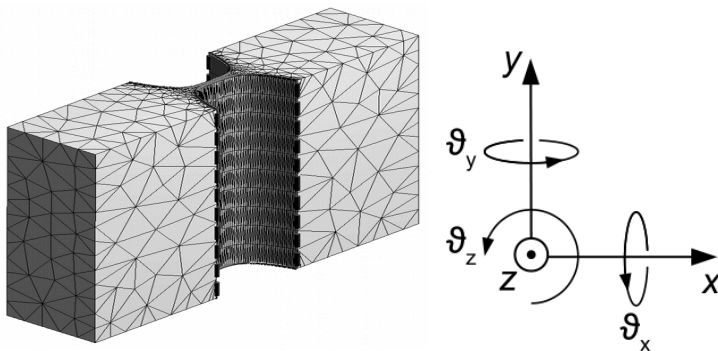


5. Gestaltung und Simulation (NM)

FEM-Simulation des Positioniersystems

Untersuchung der Auswirkung
des Ortes der Kraft- bzw.
Wegeinprägung auf:

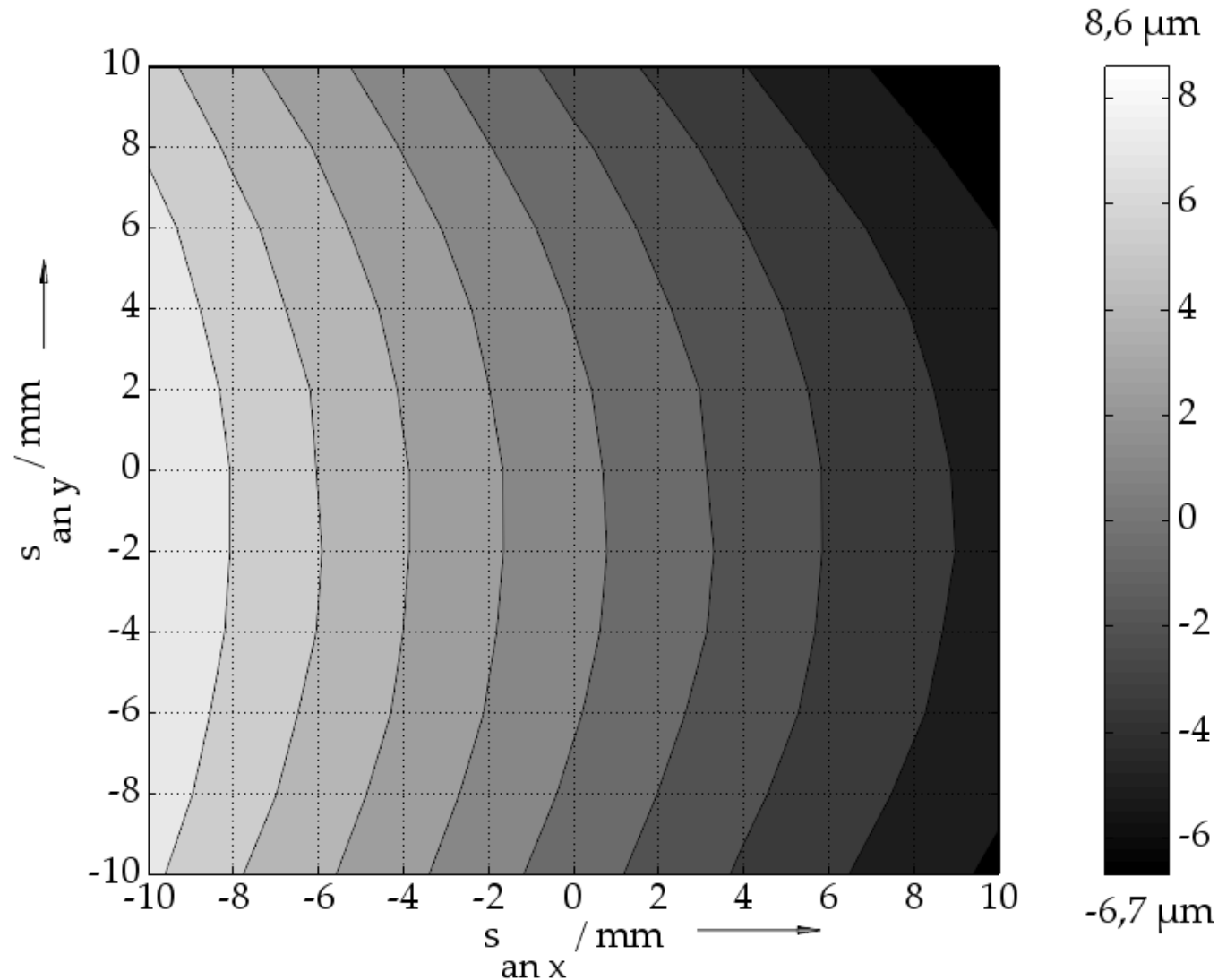
- Verkippabweichung
- Geradföhrungsabweichung



22.09.16

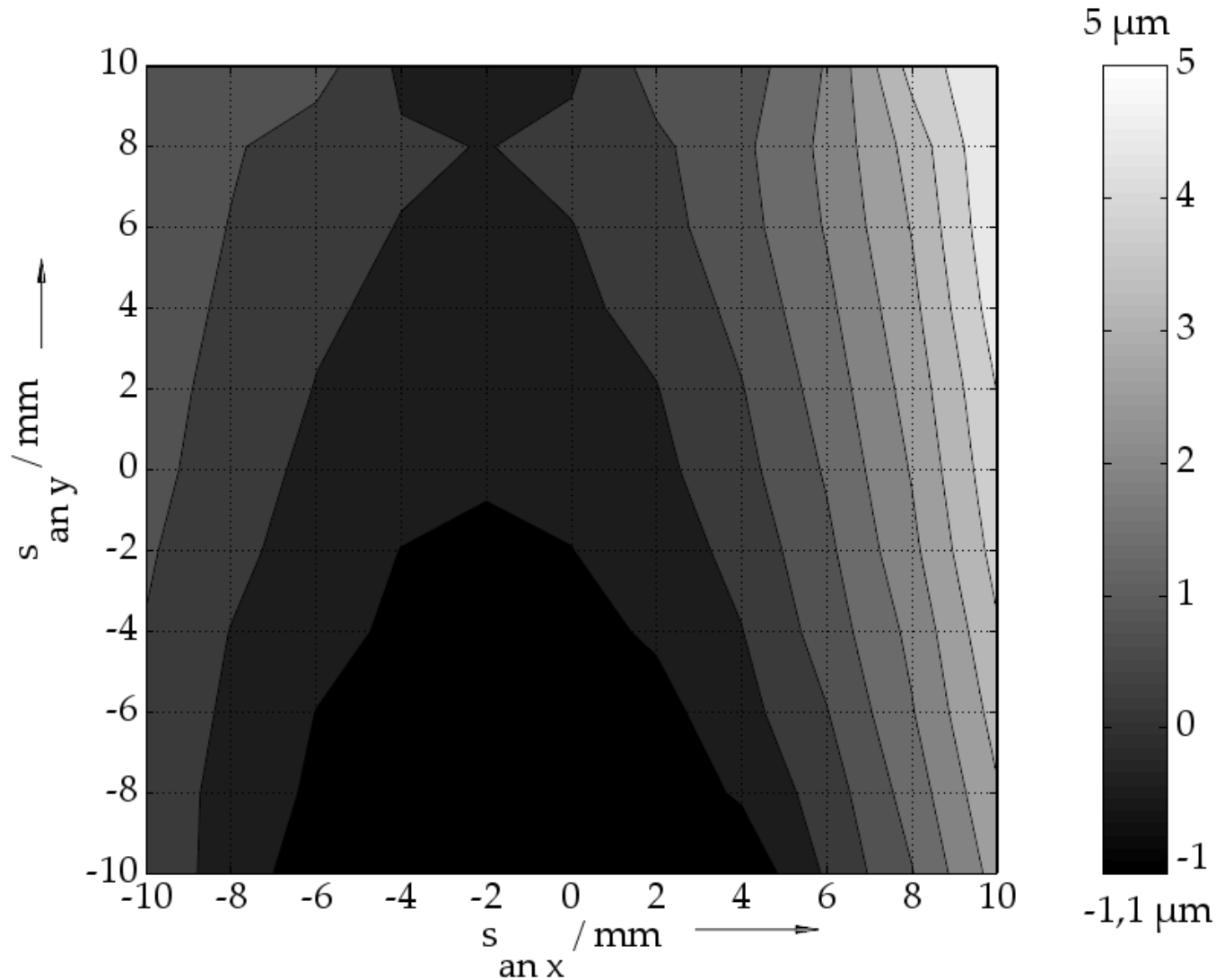
5. Gestaltung und Simulation (NM)

Geradführungsabweichung Δx



5. Gestaltung und Simulation (NM)

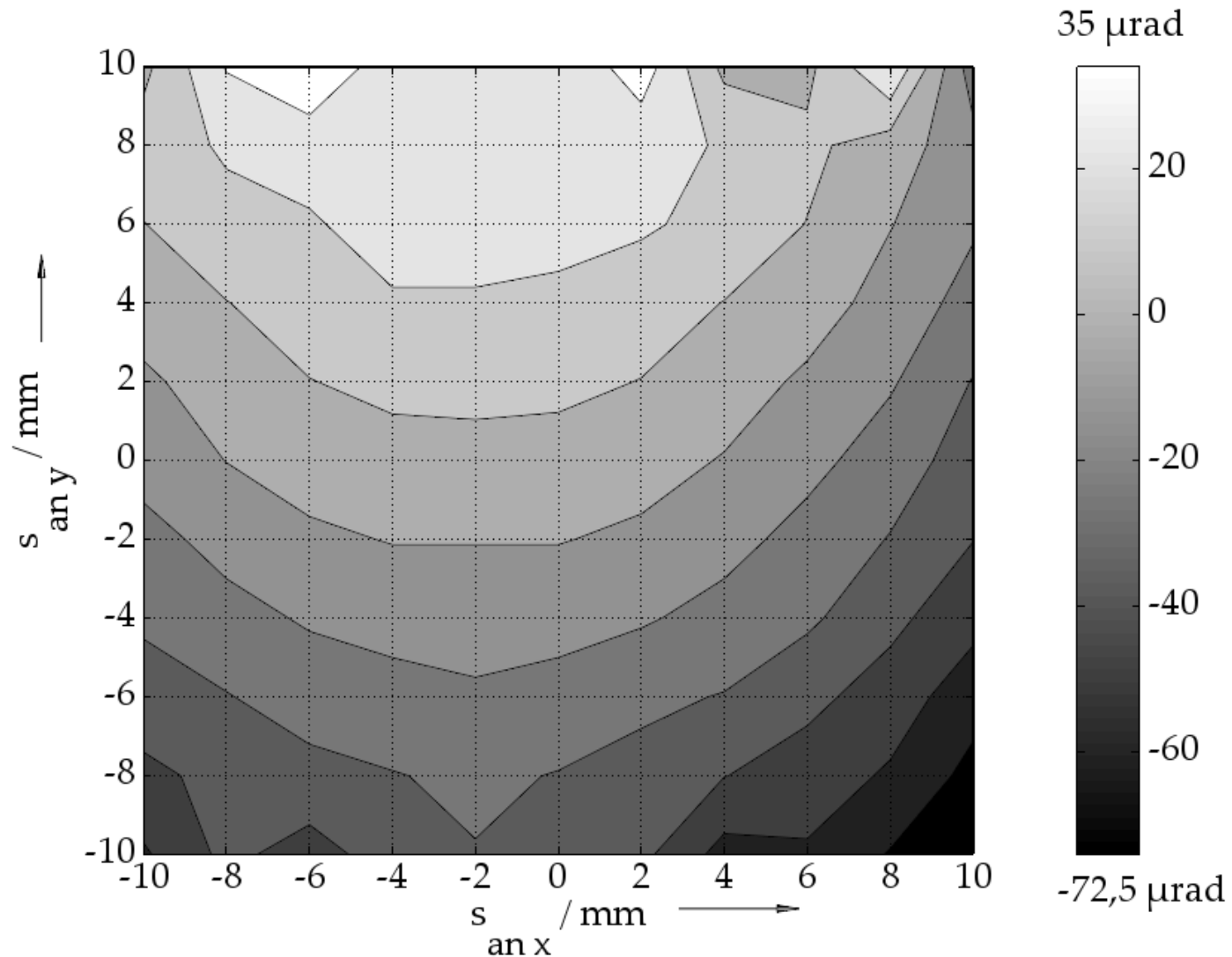
Geradführungsabweichung Δy



22.09.16

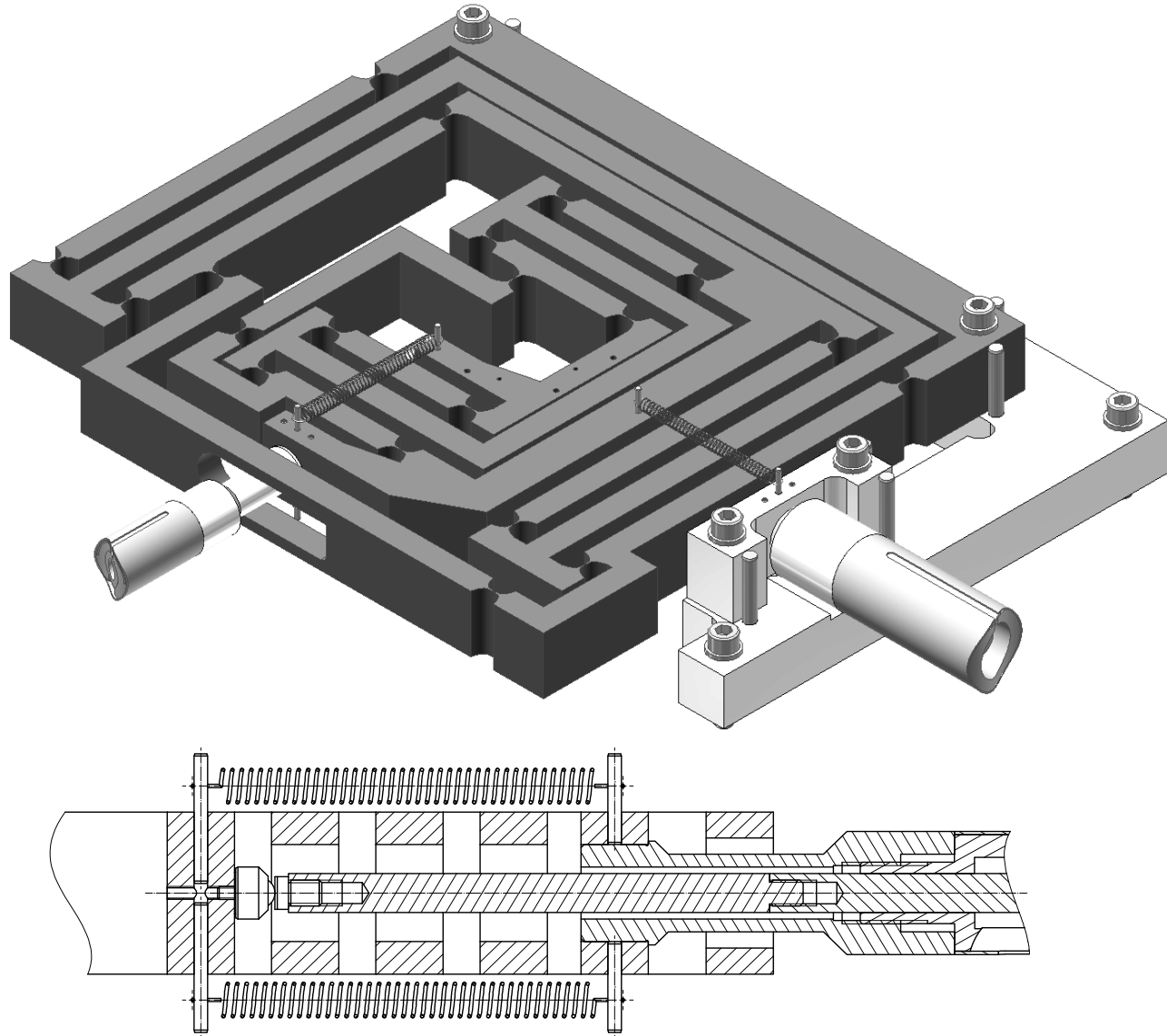
5. Gestaltung und Simulation (NM)

Verkipfabweichung $\Delta\vartheta_z$



22.09.16

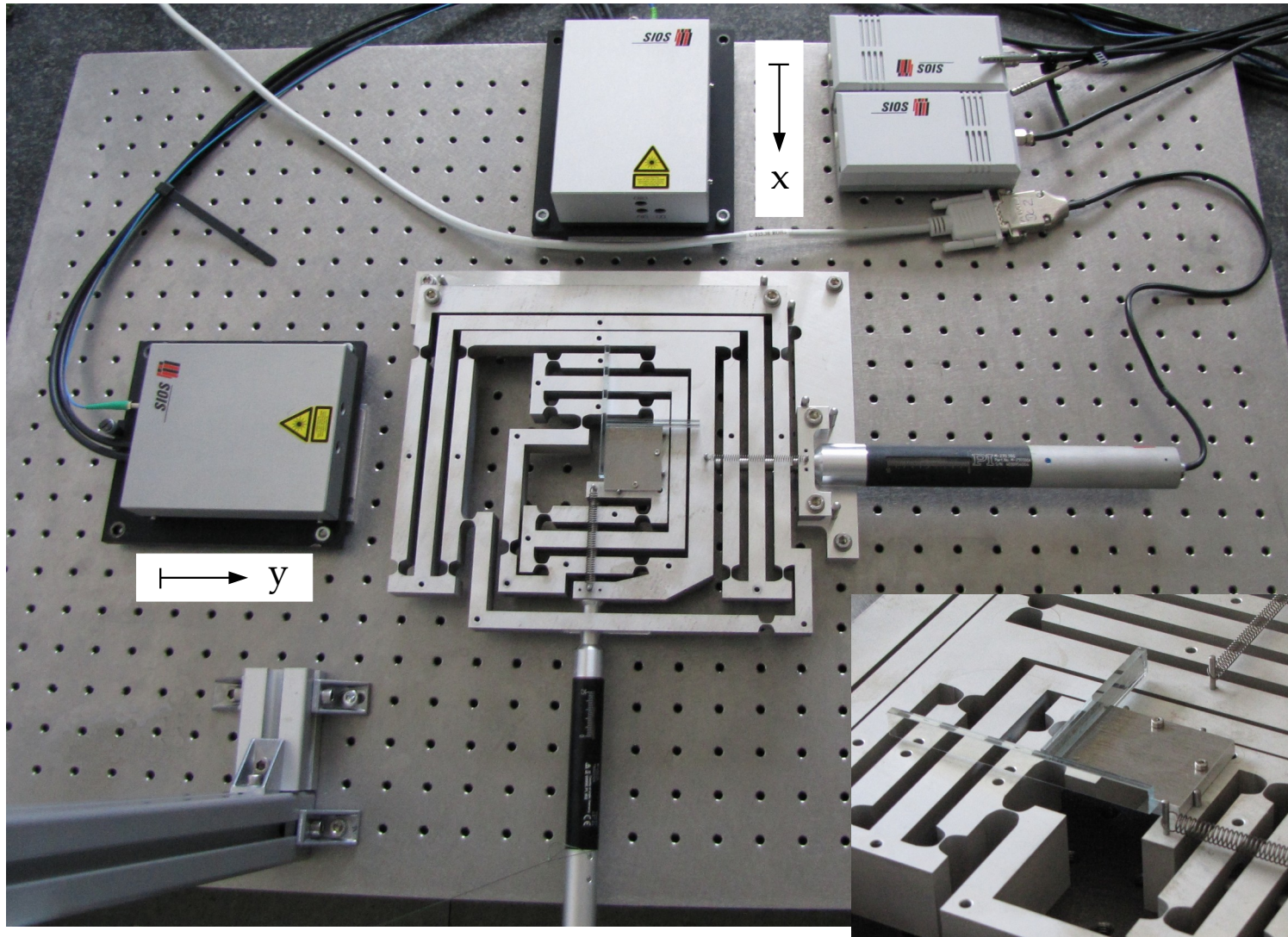
6. Konstruktion eines Positioniersystems



22.09.16

7. Messtechnische Untersuchung

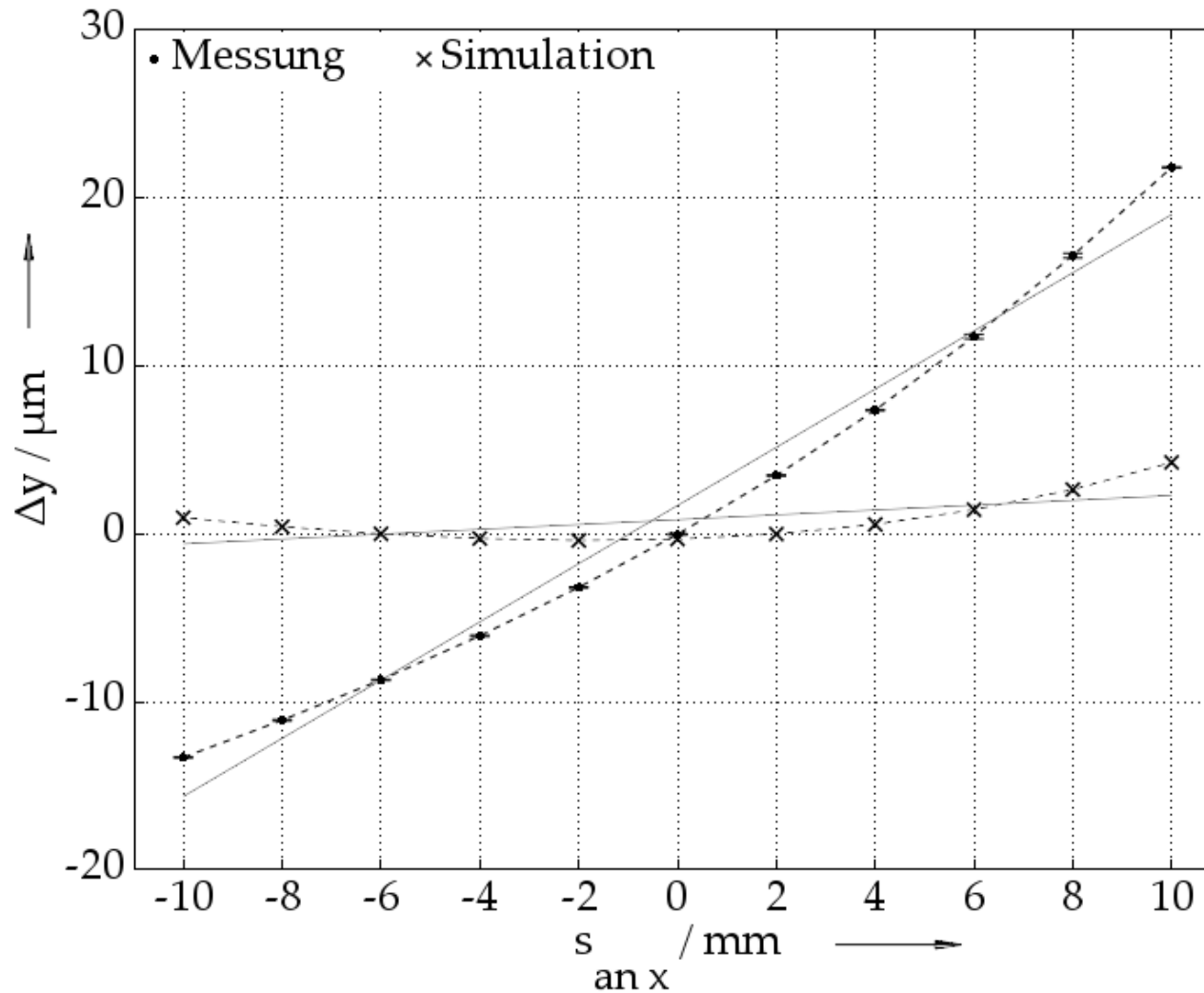
Messaufbau



22.09.16

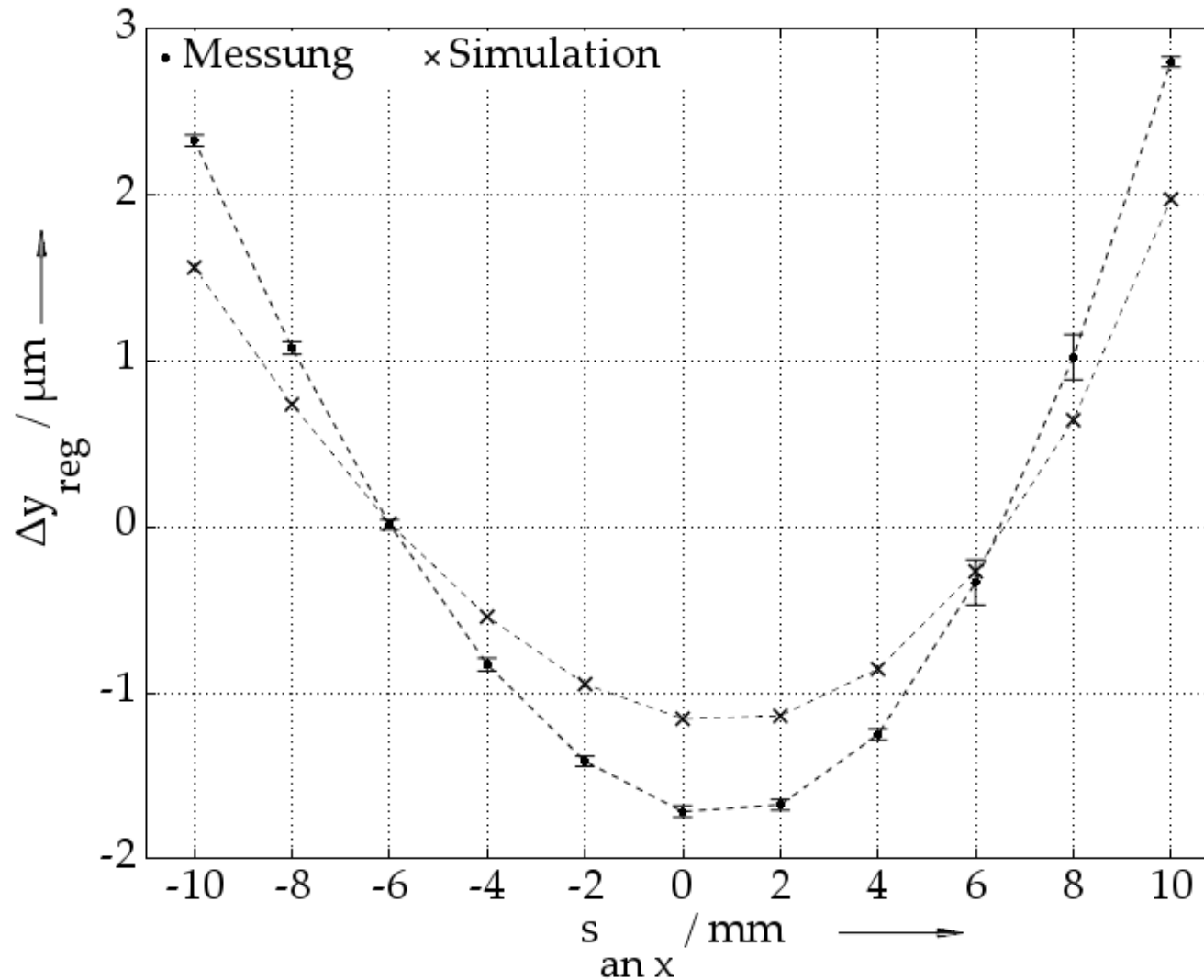
7. Messtechnische Untersuchung

Geradführungsabweichung Δy



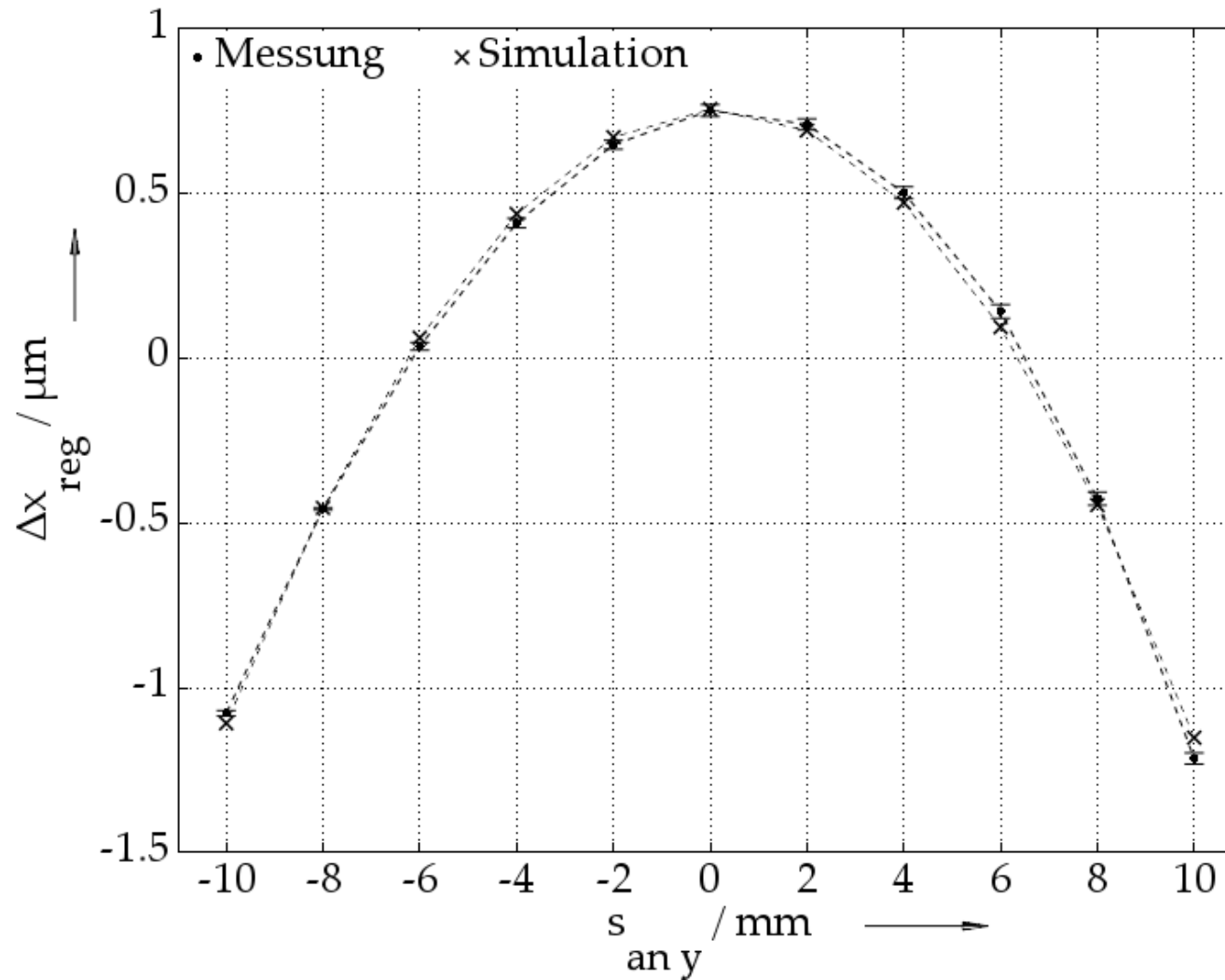
7. Messtechnische Untersuchung

Geradführungsabweichung Δy_{reg}



7. Messtechnische Untersuchung

Geradführungsabweichung Δx_{reg}



22.09.16

8. Ergebnisse und Zusammenfassung

- **Vergleichsmethode** zur Bewertung von Starrkörpermechanismen für die Synthese von nachgiebigen Führungsmechanismen
- **Übersicht von 13 Starrkörpermechanismen** zur Realisierung eines nachgiebigen Mechanismus zur Ebenengeradführung
- Erarbeitung eines neuartigen **10-Gelenk-Mechanismus** zur Ebenengeradführung und Optimierung
- Entwicklung eines **monolithischen Positioniersystems** mit zwei translatorischen Bewegungsachsen (10-Gelenk-Mechanismen)
- **Versuchsstand** und **erste Messungen** zur Verifizierung der Simulationsergebnisse

9. Ausblick

- **Weitere messtechnische Untersuchung** des Positioniersystems und Weiterentwicklung des Messaufbaus
- Untersuchen von weiteren **Variationen des 10-Gelenk-Mechanismus**
- Erarbeitung **weiterer Mechanismen** zur Realisierung von zwei zusätzlichen **rotatorischen Bewegungsachsen**
- Erarbeitung von **Optimierungsmethoden und Werkzeugen** (z.B. Softwarepakete) **zur Synthese** von nachgiebigen Mechanismen

Bildquellen und Verweise

- [1] Henein, Simon: *Conception des structures articulées à guidages flexibles de haute Précision*. Lausanne, EPFL, Diss, 2000
- [2] Sartorius AG: *monolithischen Wägesystemtechnologie*
<https://www.sartorius.de/de/konzern/ueber-sartorius/geschichte/1971-2000/> (01.09.2016)
- [3] Meli, Küng, Thalmann: *Ultrapräzises Koordinatenmessgerät für Mikroteile*. In: *METinfo* 12, 2005, Nr. 3
- [4] Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG: *Piezo Flexure Linear Stages*
<https://www.physikinstrumente.com/en/products/linear-stages-and-actuators/piezo-stages/> (01.09.2016)
- [5] Linß, S.: *Ein Beitrag zur geometrischen Gestaltung und Optimierung prismatischer Festkörpergelenke in nachgiebigen Koppelmechanismen*. Ilmenau, TU Ilmenau, Diss., 2015
- [6] Cosandier, F ; Eichenberger, A ; Baumann, H: *Development and integration of high straightness flexure guiding mechanisms dedicated to the METAS watt balance Mark II*. In: *Metrologia* 51, 2014, Nr. 2
- [7] Panas, Robert M. ; Hopkins, Jonathan B.: *Eliminating Underconstraint in Double Parallelogram Flexure Mechanisms*. In: *Journal of Mechanical Design* 137, 2015, Nr. 9