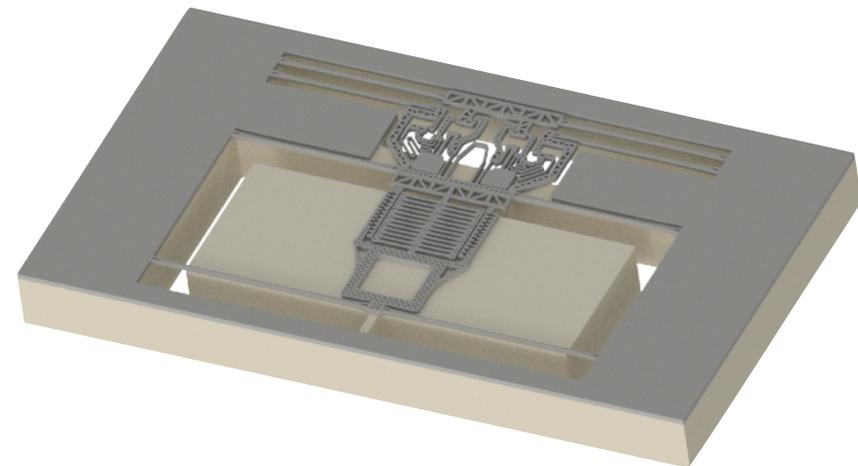


Energieautarker binärer Zähl- und Speichermechanismus auf Si-Basis

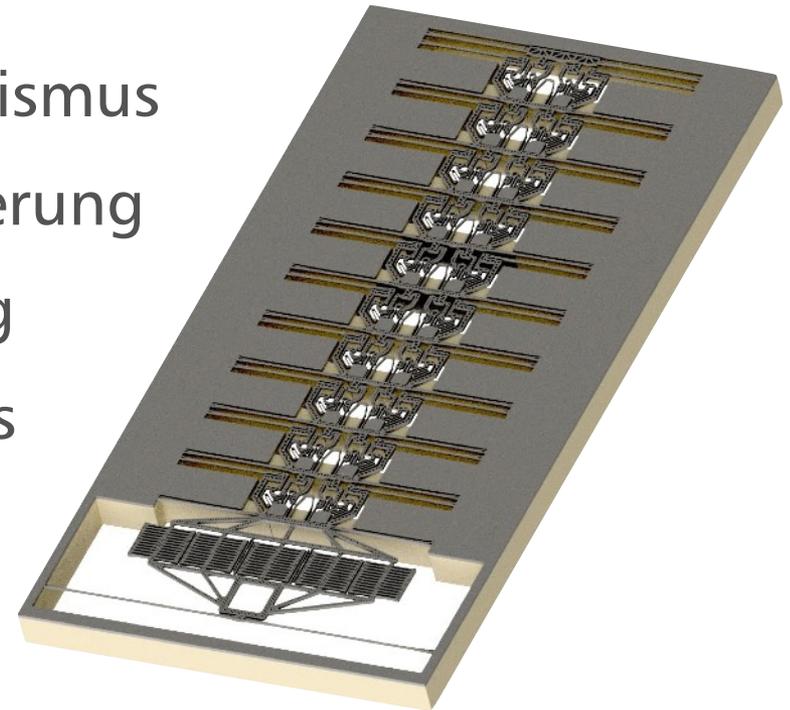
Philip Schmitt, Hannes Mehner, Martin Hoffmann
TU Ilmenau, FG Mikromechanische Systeme, IMN MacroNano®

11. Fachtagung Feinwerktechnische Konstruktion
21.-22. September 2017, Dresden



Gliederung

1. Motivation
2. Funktionsprinzip des Mechanismus
3. Optimierung und Miniaturisierung
4. Elektrische Zustandserfassung
5. Potentiale des binären Zählers



1. Motivation

Die wichtigste Frage beim Gebrauchtwagenkauf:

Kilometerzähler und Betriebsstundenzähler liefern Informationen zum Verschleißzustand von teuren Produkten.



... Und? Wie viele Kilometer? ...

1. Motivation

... und bei günstigeren Produkten? Wie viele:



Ladezyklen?

Für viele Produkte lohnt sich keine Entwicklung eines eigenen Zählers (Batterien, Lage, Motorbauelemente,...). Unsere Lösung: Ein universal einsetzbarer autonomer und energieautarker Zähler zum aufkleben.

Blockaden?

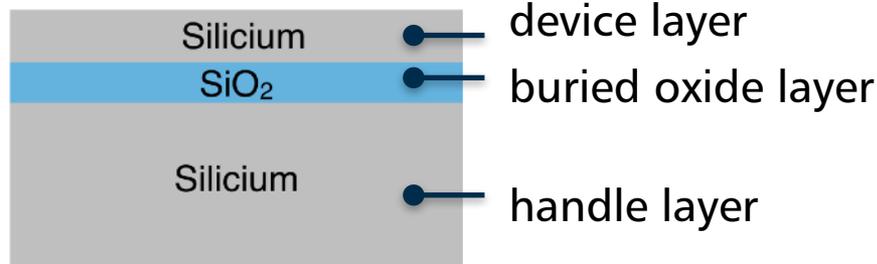
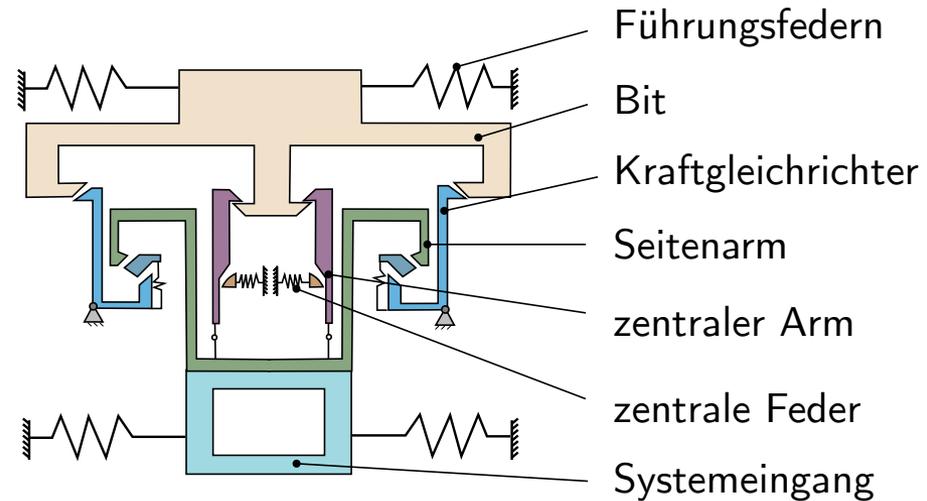
[3,4]

2. Funktionsprinzip des Mechanismus

Binärer Zählmechanismus nach H. Mehner [5]

Ausgangssituation

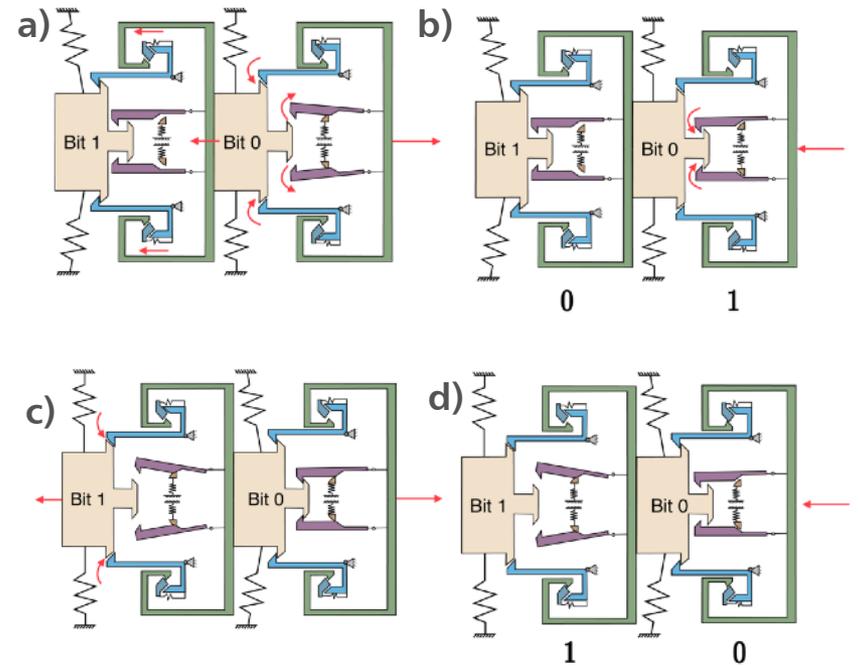
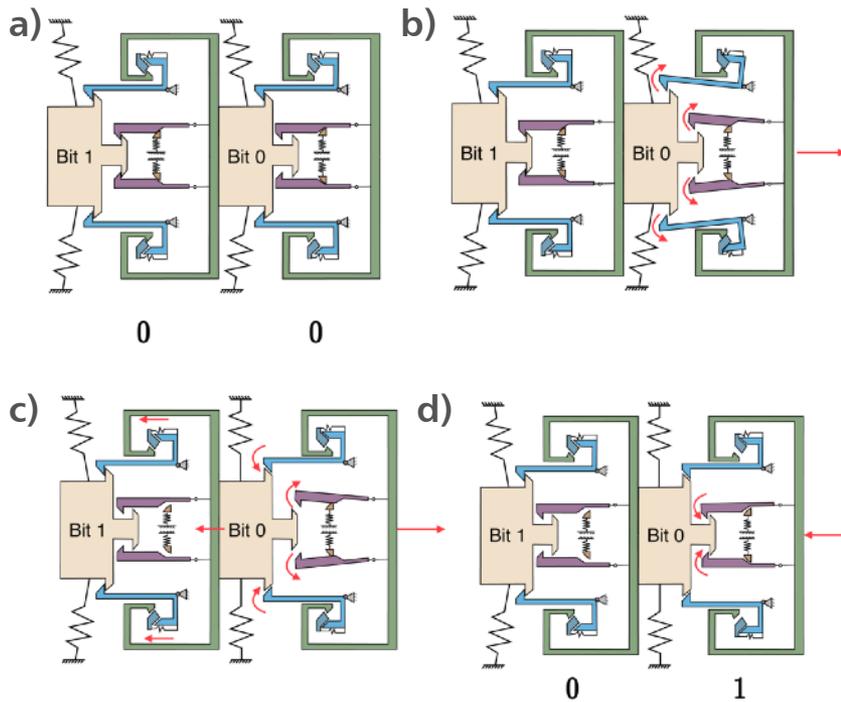
- 2D-Mechanismus auf SOI Basis
- Elemente: Federn, Hebel, Reibflächen



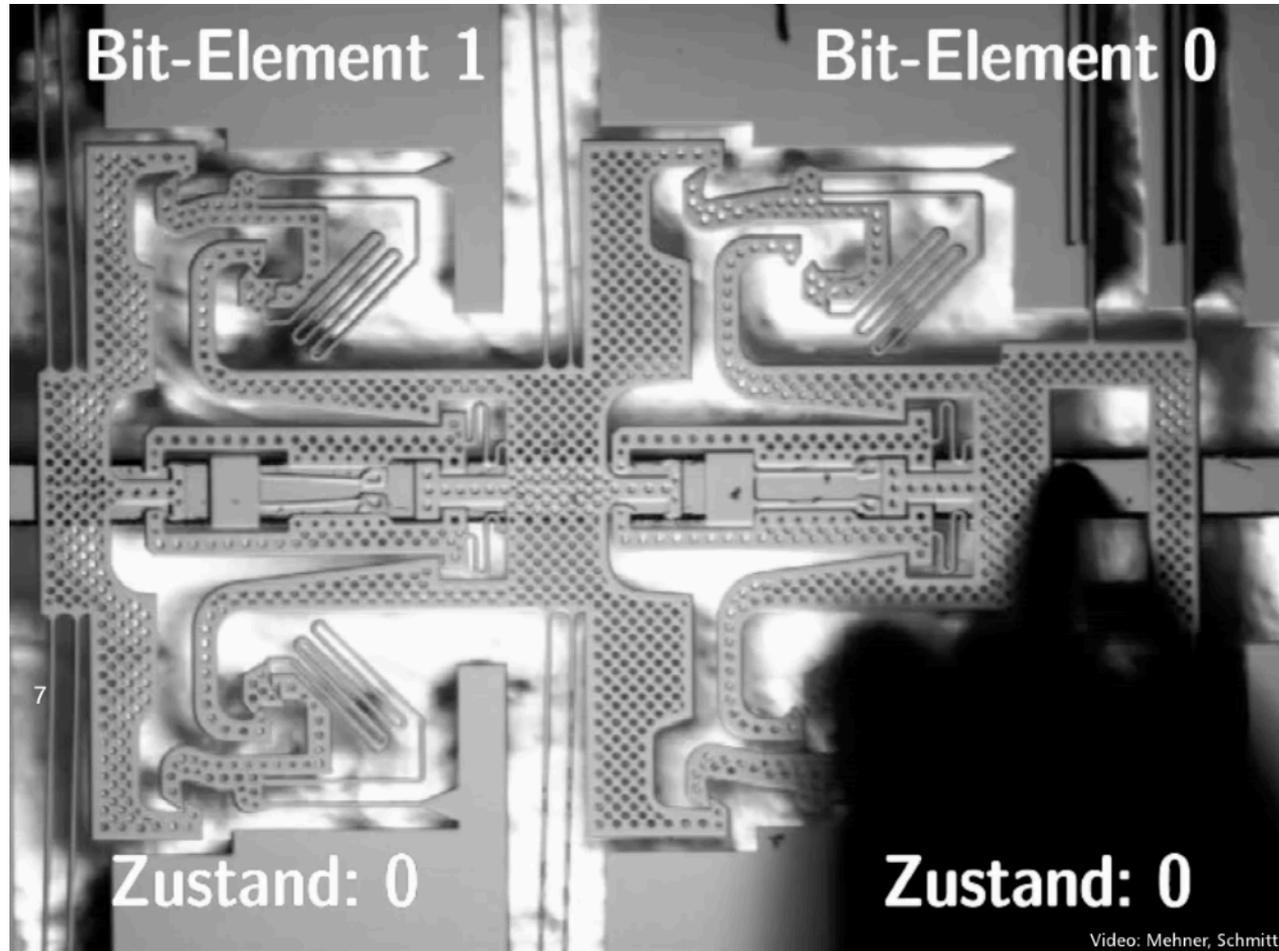
2. Funktionsprinzip des Mechanismus

Zustandswechsel 0b00 zu 0b01

Zustandswechsel 0b01 zu 0b10



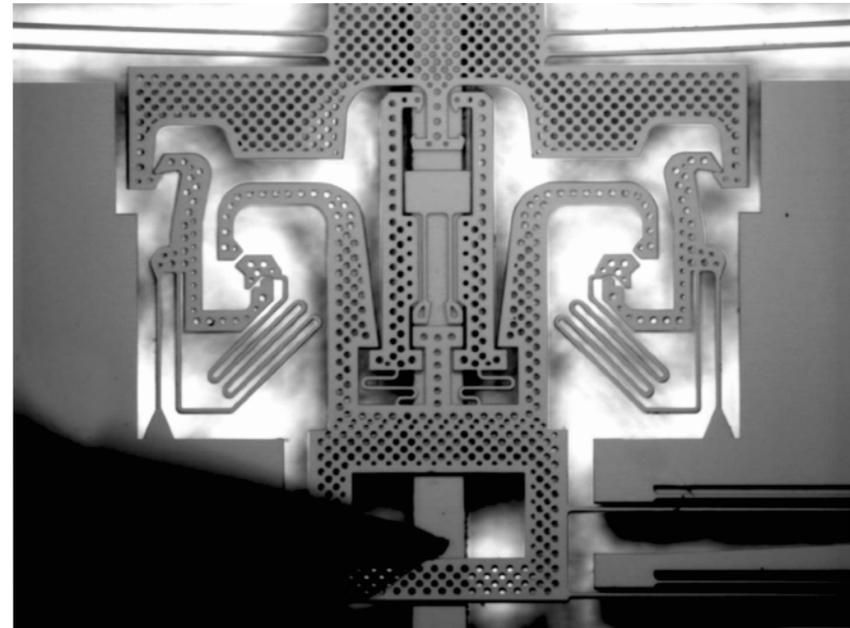
2. Funktionsprinzip des Mechanismus



3. Optimierung und Miniaturisierung

Optimierungsziele

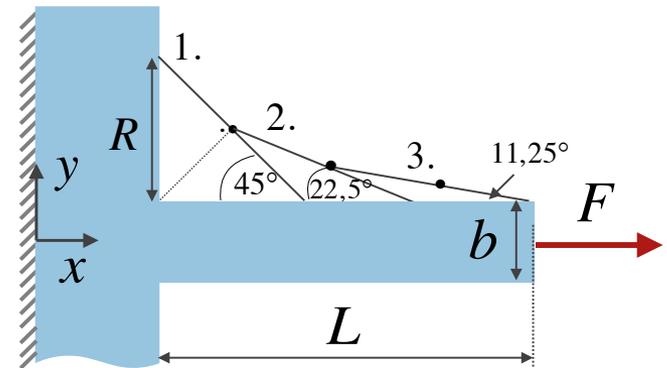
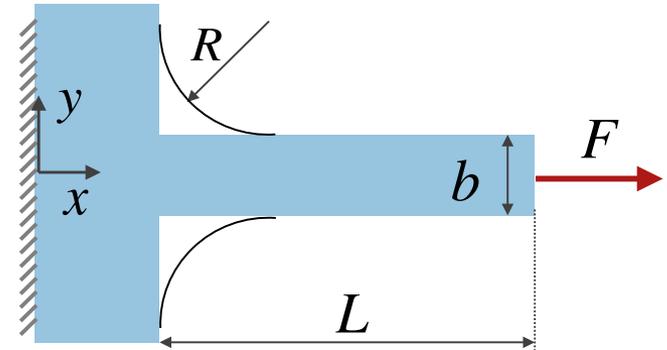
- Erhöhung der
 - Momentensteifigkeit
 - Schaltzuverlässigkeit bei schiefer Krafteinleitung
 - Anzahl der Bits
- Verringerung der
 - Schaltwege
 - Schaltkraft
 - Systemgröße



3. Optimierung und Miniaturisierung

Optimierungsschritte

1. Neuordnung des Mechanismus
2. Modellbildung für vernetzte Beziehungen
3. Design-Vorschrift zur Bestimmung einer optimalen Führungsfederabmessung
4. Kerbspannungsoptimierung nach C. Mattheck

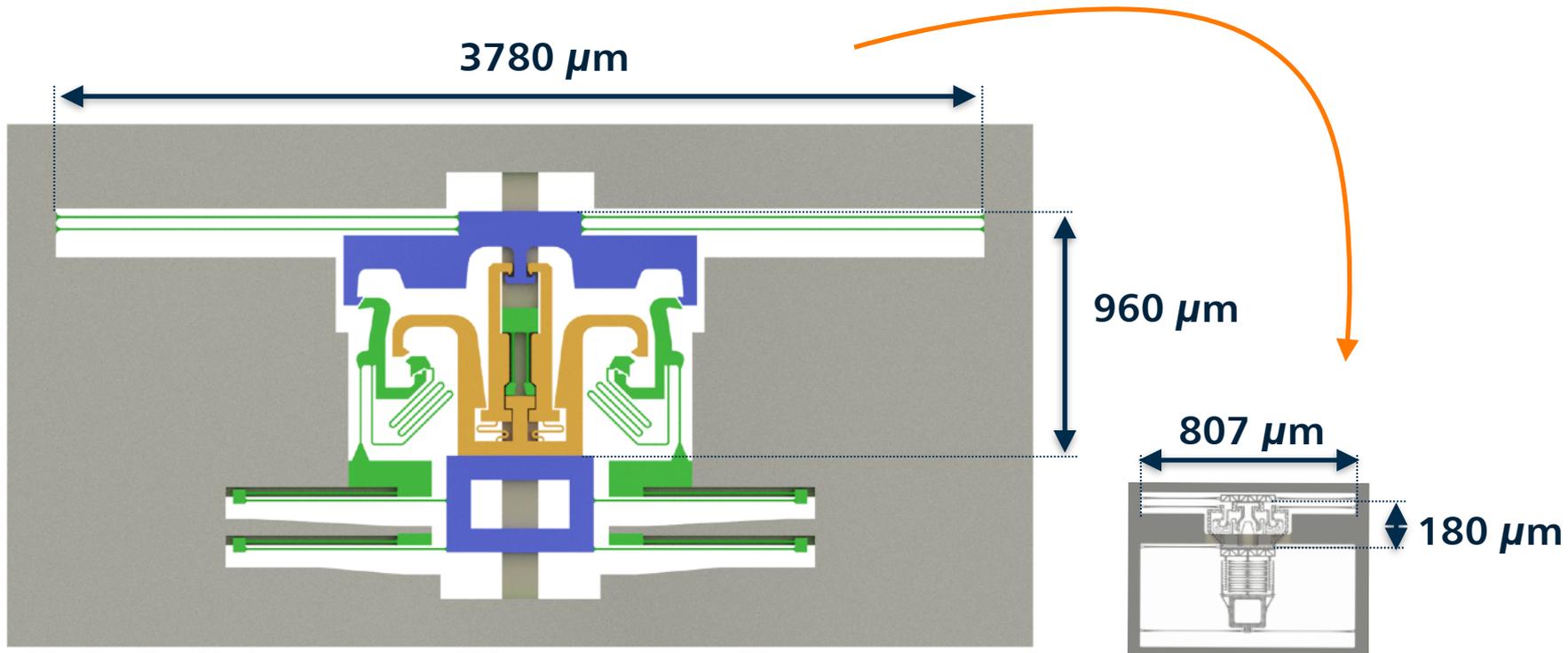


bis ca. 34 % geringere Kerbspannung durch Parabeleinspannung

3. Optimierung und Miniaturisierung

Ergebnis der Miniaturisierung

25x kleinere Fläche (pro Bit)



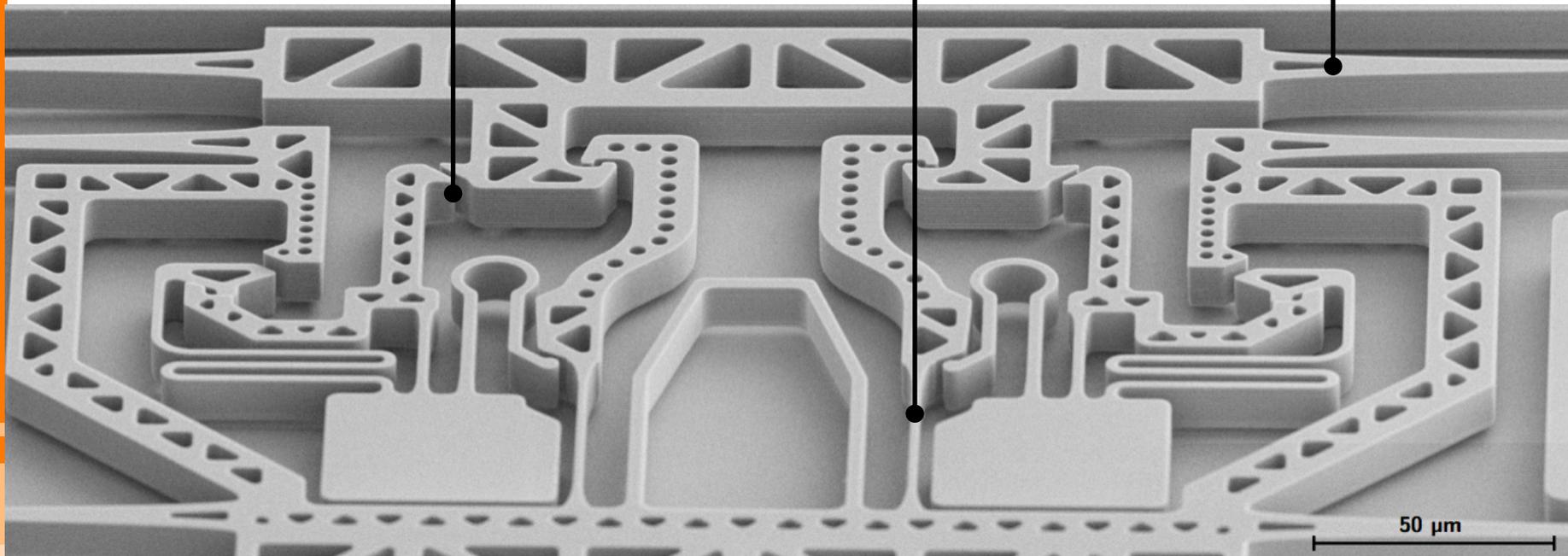
3. Optimierung und Miniaturisierung

Ergebnis der Miniaturisierung

kleinster Abstand: $1\ \mu\text{m}$

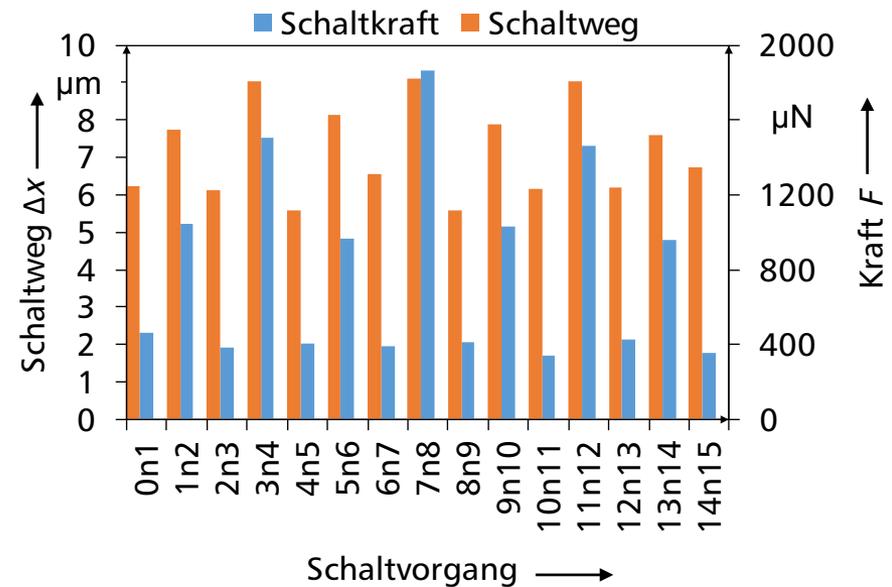
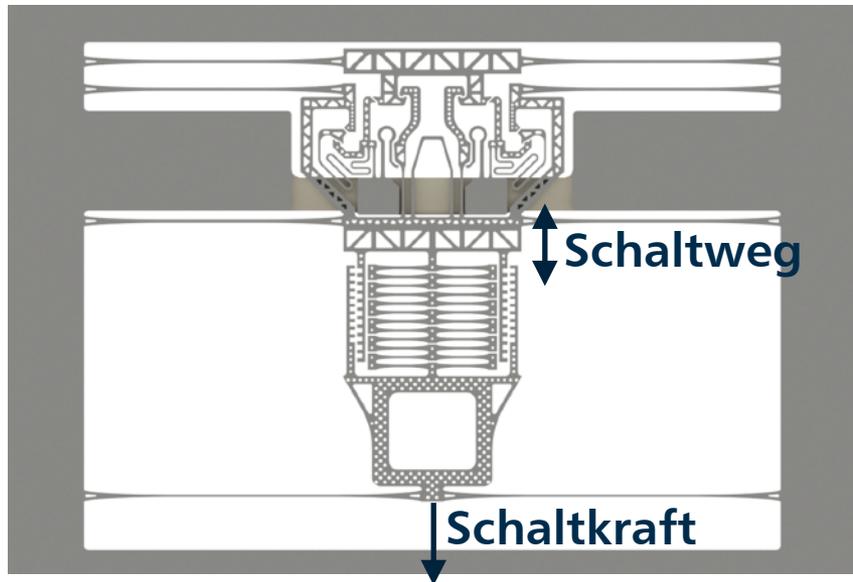
dünnste Federbreite: $2,5\ \mu\text{m}$

max. Beanspr.: $1,5\ \text{GPa}$



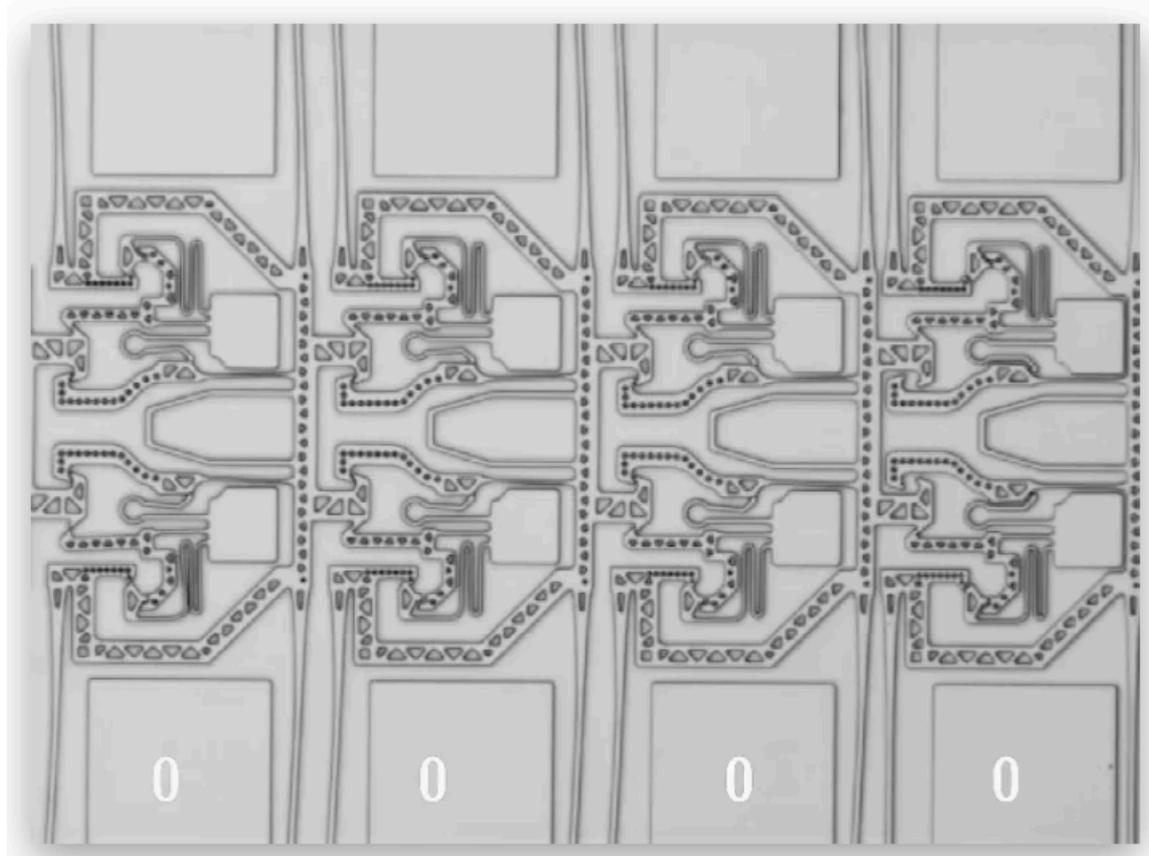
3. Optimierung und Miniaturisierung

Ermittelte Schaltkräfte und Schaltwege



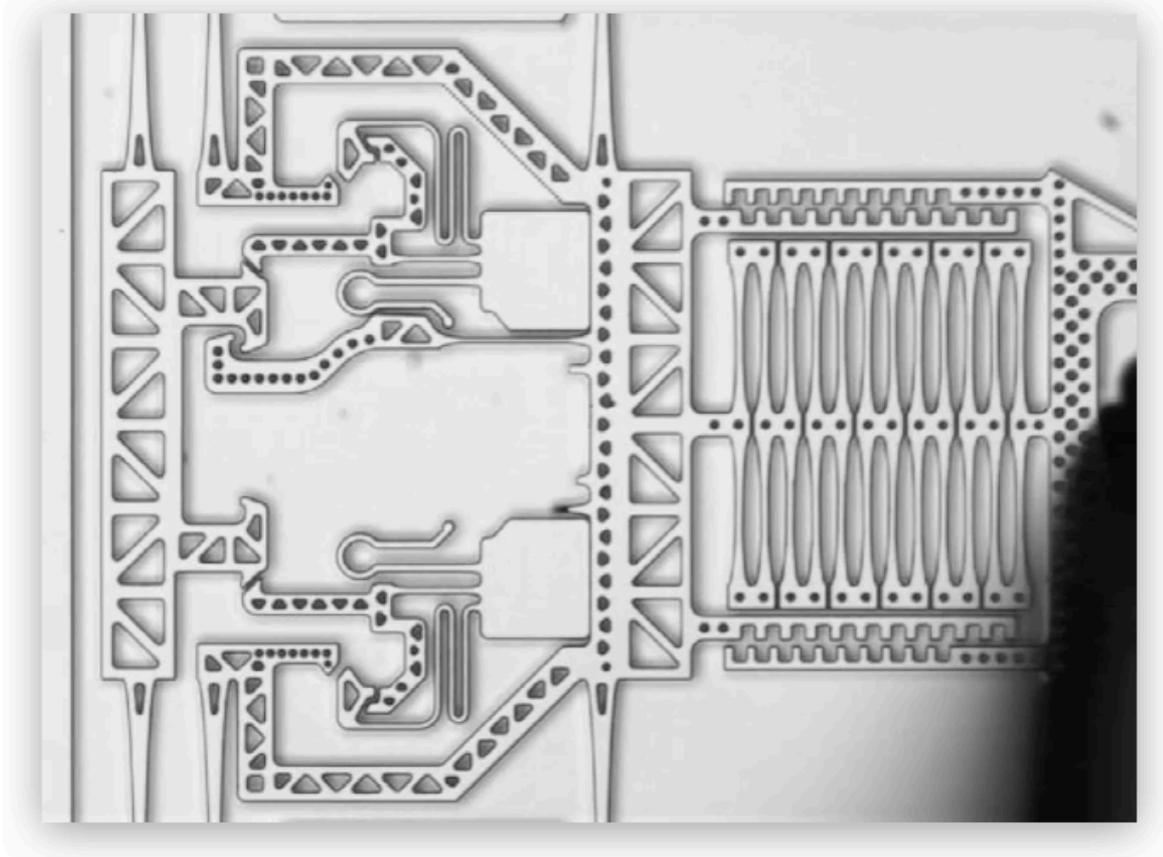
3. Optimierung und Miniaturisierung

Schaltablauf eines 4-Bit Zählers



3. Optimierung und Miniaturisierung

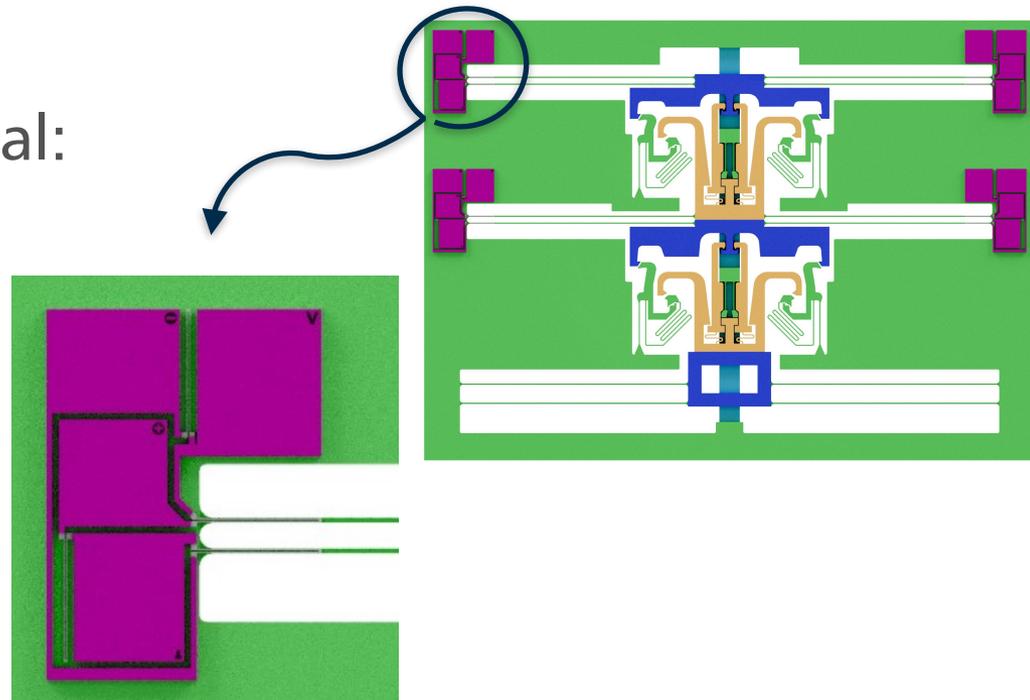
Rotationssteifigkeit eines defekten Mechanismus



4. Elektrische Zustandserfassung

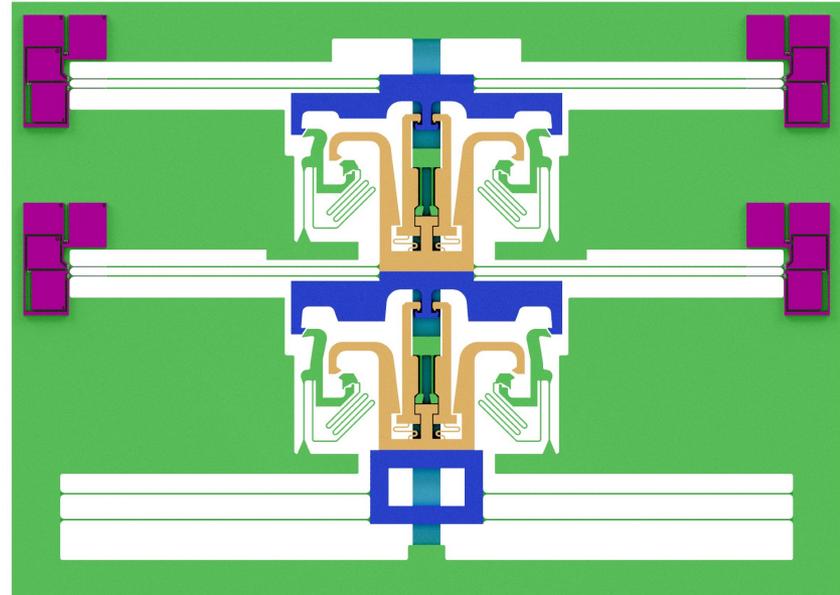
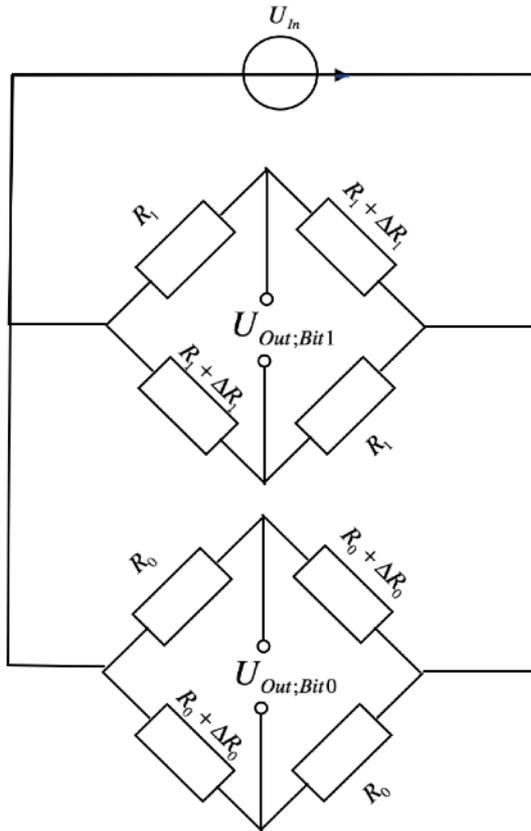
Piezoresistive Auswertung

- Nutzung der Dehnung an den Führungsfedern
- Piezoresistives Material: dotiertes poly. Si



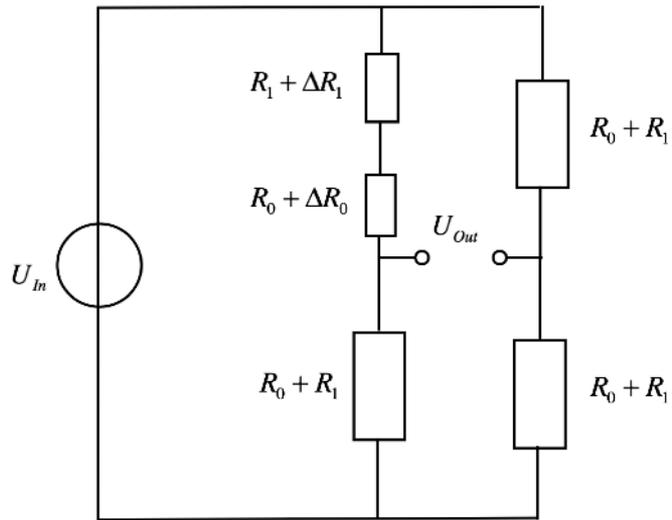
4. Elektrische Zustandserfassung

Paralleler Spannungsabgriff = Digitale Auswertung



4. Elektrische Zustandserfassung

Mechatronischer Digital-Analog Wandler

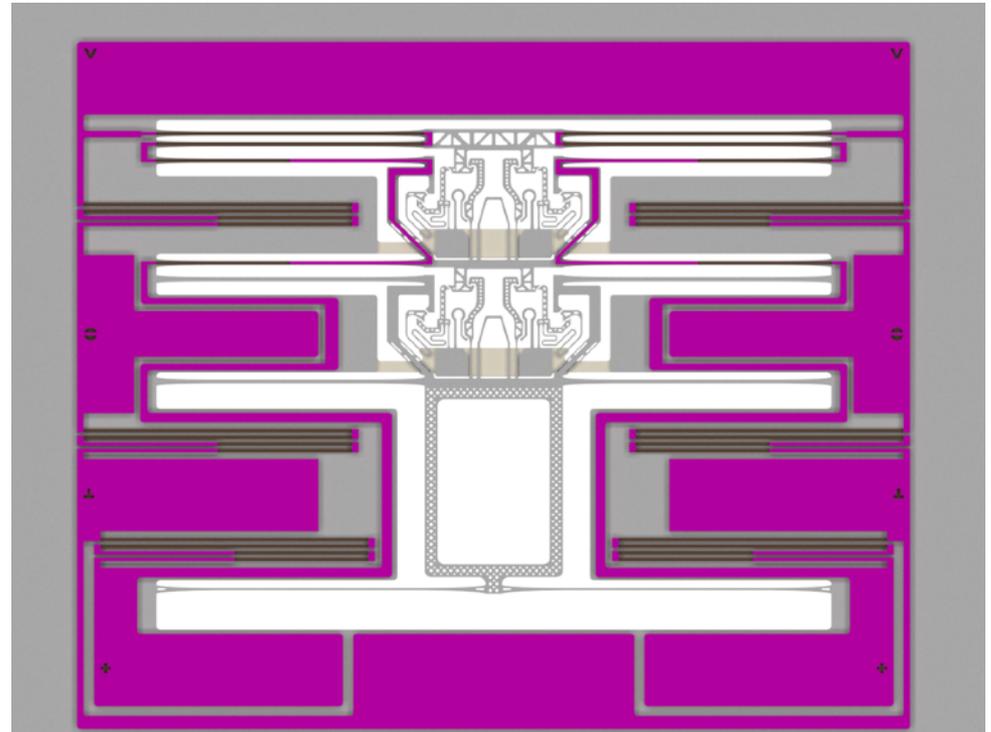


$$R_1 = 2R_0$$

$$R_2 = 4R_0$$

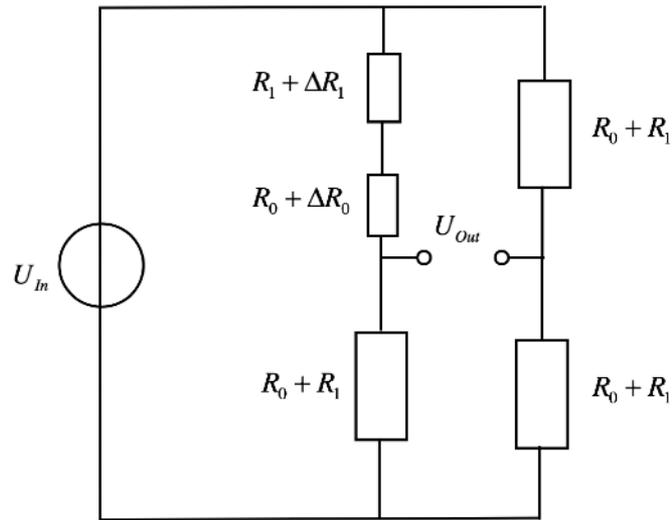
$$R_3 = 8R_0$$

...



4. Elektrische Zustandserfassung

Mechatronischer Digital-Analog Wandler



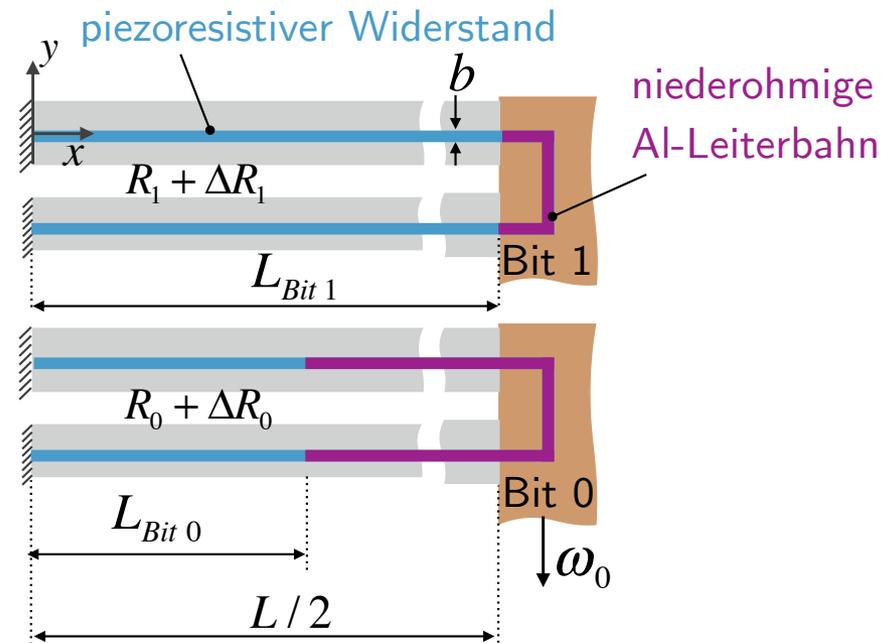
$$R_1 = 2R_0$$

$$R_2 = 4R_0$$

$$R_3 = 8R_0$$

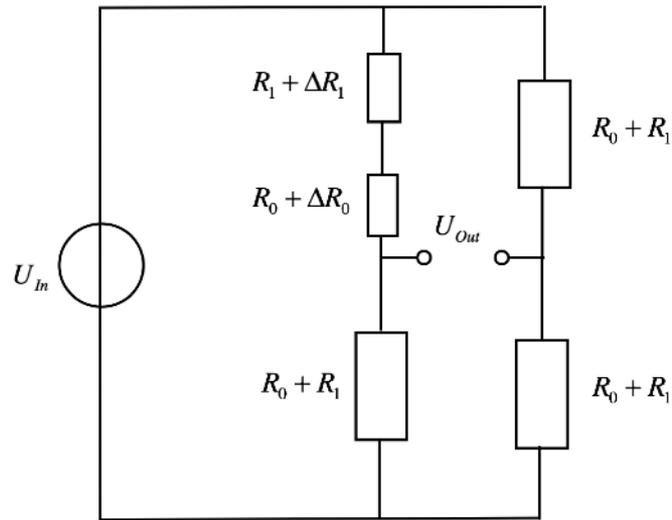
...

Viertelbrücke mit Führungsfedern



4. Elektrische Zustandserfassung

Mechatronischer Digital-Analog Wandler



$$R_1 = 2R_0$$

$$R_2 = 4R_0$$

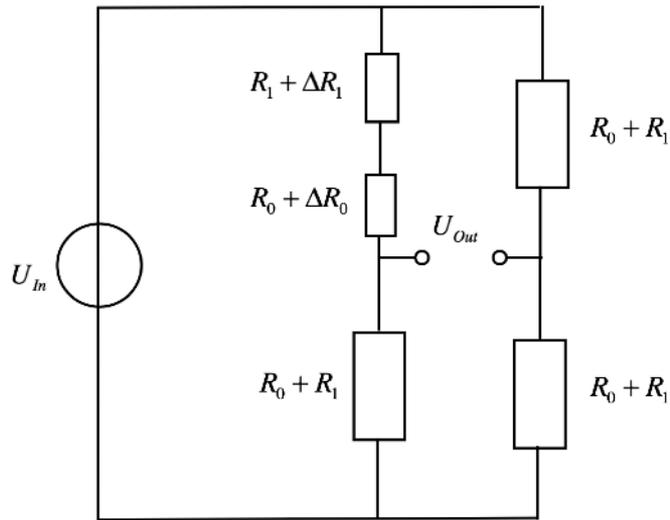
$$R_3 = 8R_0$$

...

Zustand		Widerstand		ΔR_{gesamt}	$U_{\text{Out}} / U_{\text{in}}$
Bit 1	Bit 0	ΔR_1	ΔR_0		
0	0	$2 \Delta R_0$	ΔR_0	$3 \Delta R_0$	$\frac{3\Delta R_0}{12R_0}$
0	1	$2 \Delta R_0$	0	$2 \Delta R_0$	$\frac{2\Delta R_0}{12R_0}$
1	0	0	ΔR_0	$1 \Delta R_0$	$\frac{1\Delta R_0}{12R_0}$
1	1	0	0	0	0

4. Elektrische Zustandserfassung

Ergebnis der elektrischen Zustandserfassung

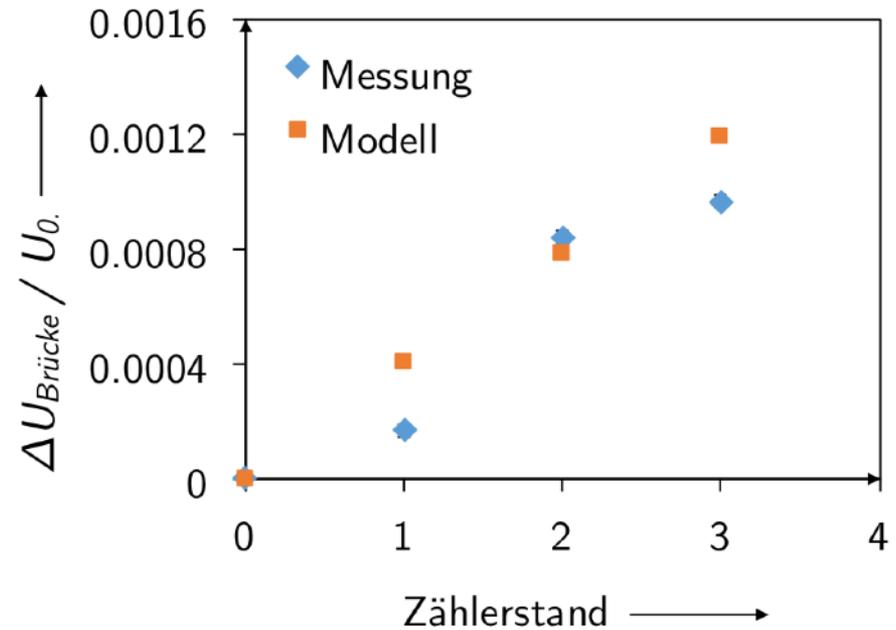


$$R_1 = 2R_0$$

$$R_2 = 4R_0$$

$$R_3 = 8R_0$$

...



5. Potentiale des binären Zählers

Zusammenfassung

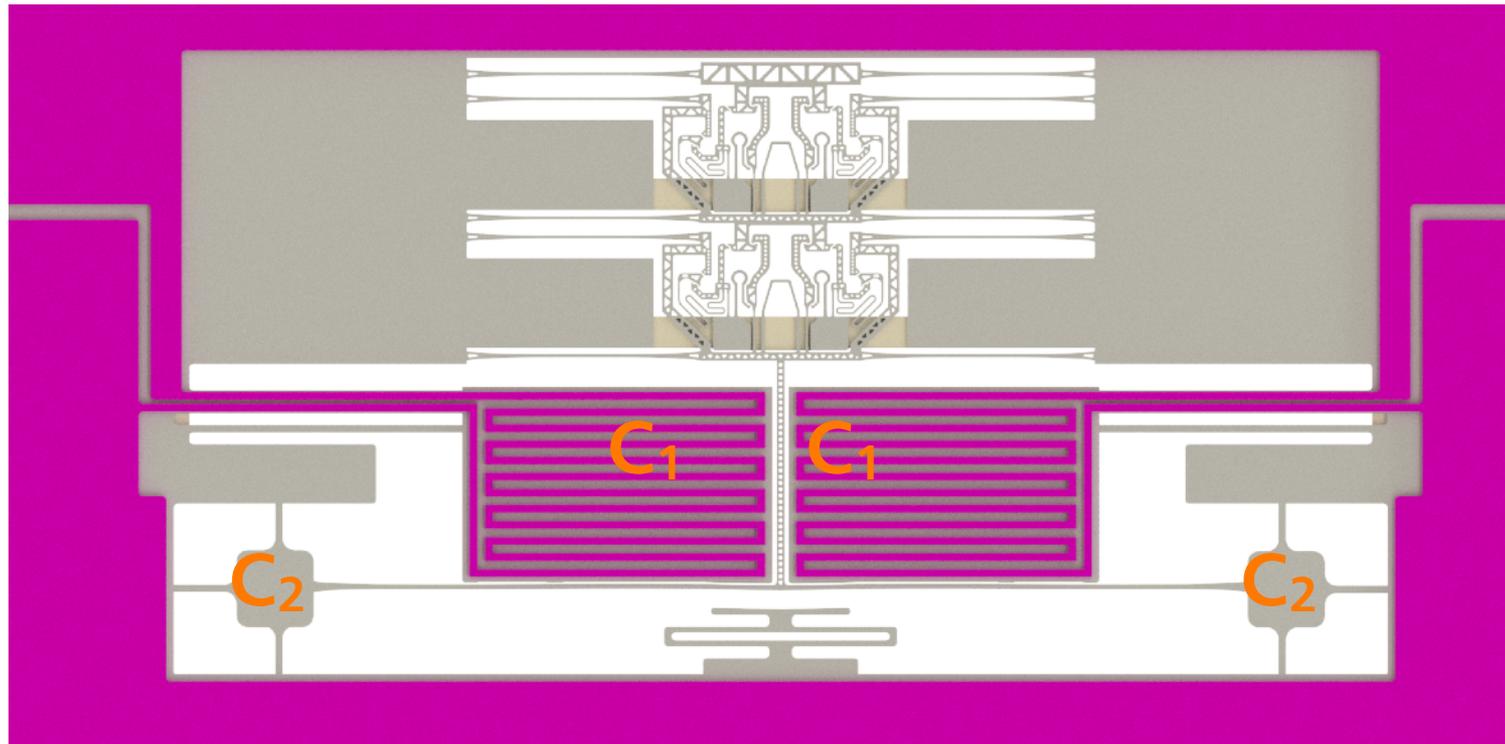
- Zählergröße: $180\ \mu\text{m} \times 800\ \mu\text{m}$
- max. Schaltkraft: $1.5 \dots 10\ \text{mN}$
- max. Schaltweg: $10\ \mu\text{m}$
- analoge und digitale Zustandserfassung

REM Aufnahme des Zählers

5. Potentiale des binären Zählers

Exemplarischer Systemeingang

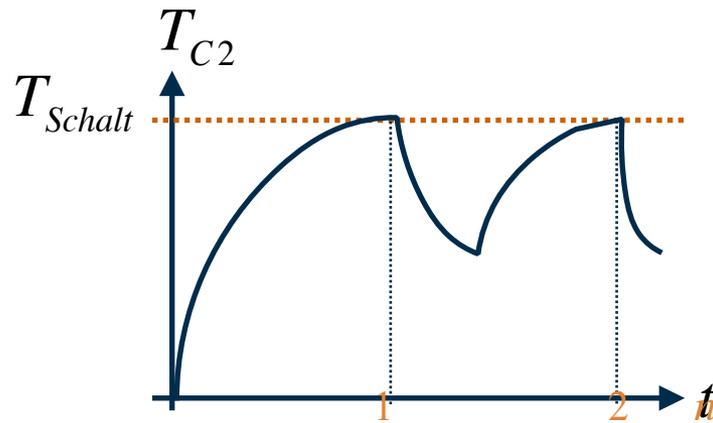
Wärmemenge-Zähler



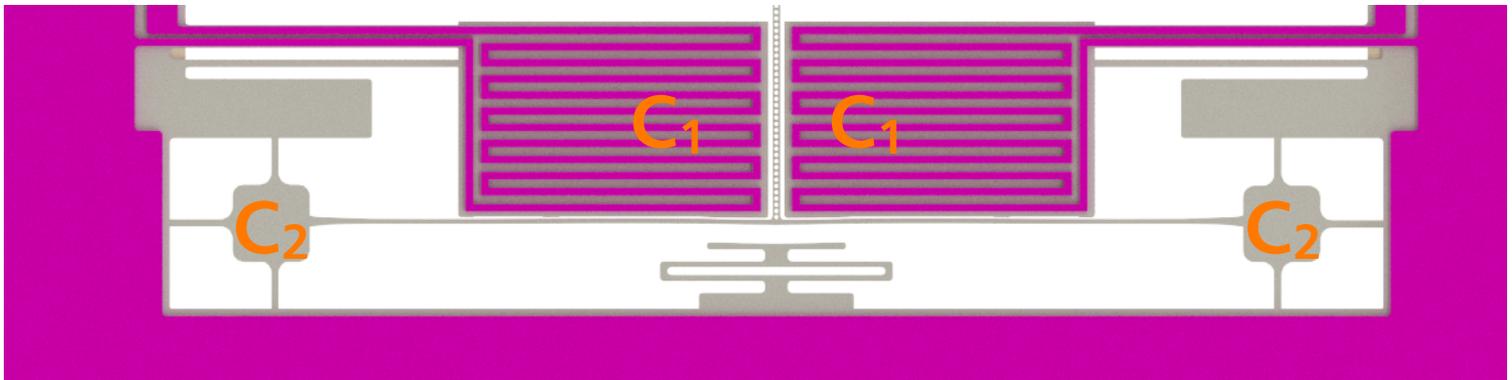
5. Potentiale des binären Zählers

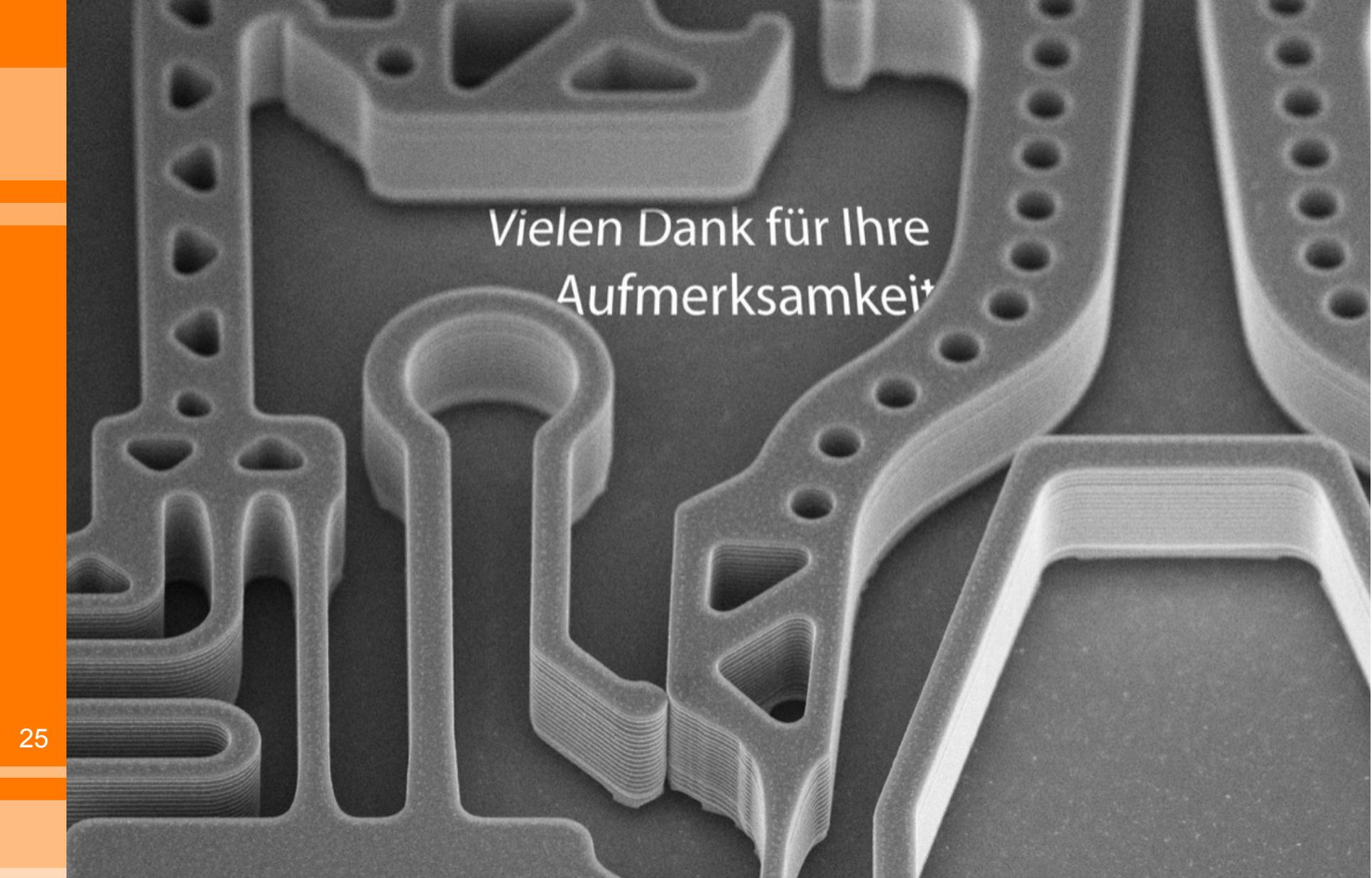
Exemplarischer Systemeingang

Wärmemenge-Zähler



$$Q \approx n m_{C2} c_{Si} (T_{Schalt,C2} - T_{Umgebung})$$



A grayscale scanning electron microscope (SEM) image showing several stacks of 3D-printed parts. The parts have various complex shapes, including one with a circular top and a long stem, another with a triangular cutout, and others with multiple small holes. The parts are arranged on a dark surface, and the lighting highlights their layered structure.

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Bild-Quellen

- [1] o.A., *Golf 1 GTI*, Hahn-Onlineshop, Internetquelle: www.hahn-onlineshop.de/documents/image/61/6130/RS18572-173099300B9A-Golf-1-GTI-1976-weiss-43-3viert.JPG, abgerufen am 30.08.16
- [2] o.A. *Businessman*, www.freepik.com/free-vector/businessman-say-okey_834481.htm, abgerufen am 30.08.16
- [3] o.A. *Haibike*, Fahrrad-Center Zell am See Austria, Internetquelle: www.fahrrad-center.at, abgerufen: 30.08.16
- [4] o.A. *Husqvarna Motorsäge Kettensäge 555*, parske-shop.de, Internetquelle: www.parske-shop.de/out/pictures/master/product/1/hus_555.jpg, abgerufen am 29.08.16
- [5] Mehner, H., et al., *Autonomer binärer Zähler für die Erfassung von Grenzwertereignissen*. MikroSystemTechnik 2015, 2015.