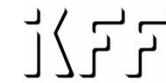


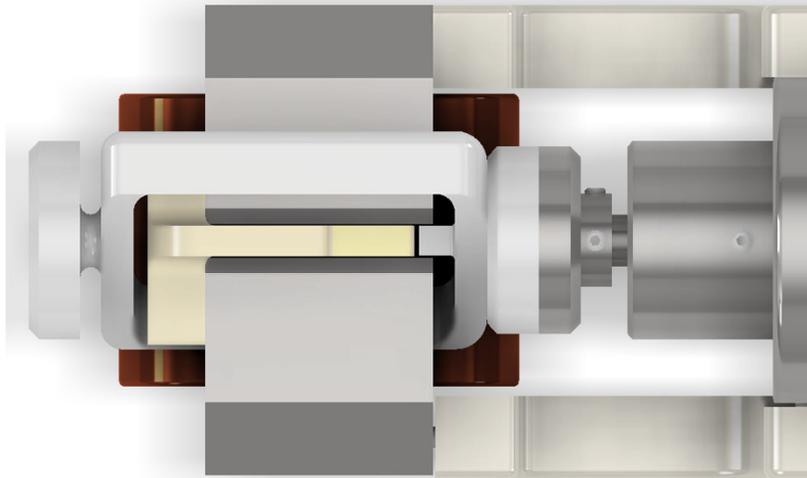


Universität Stuttgart



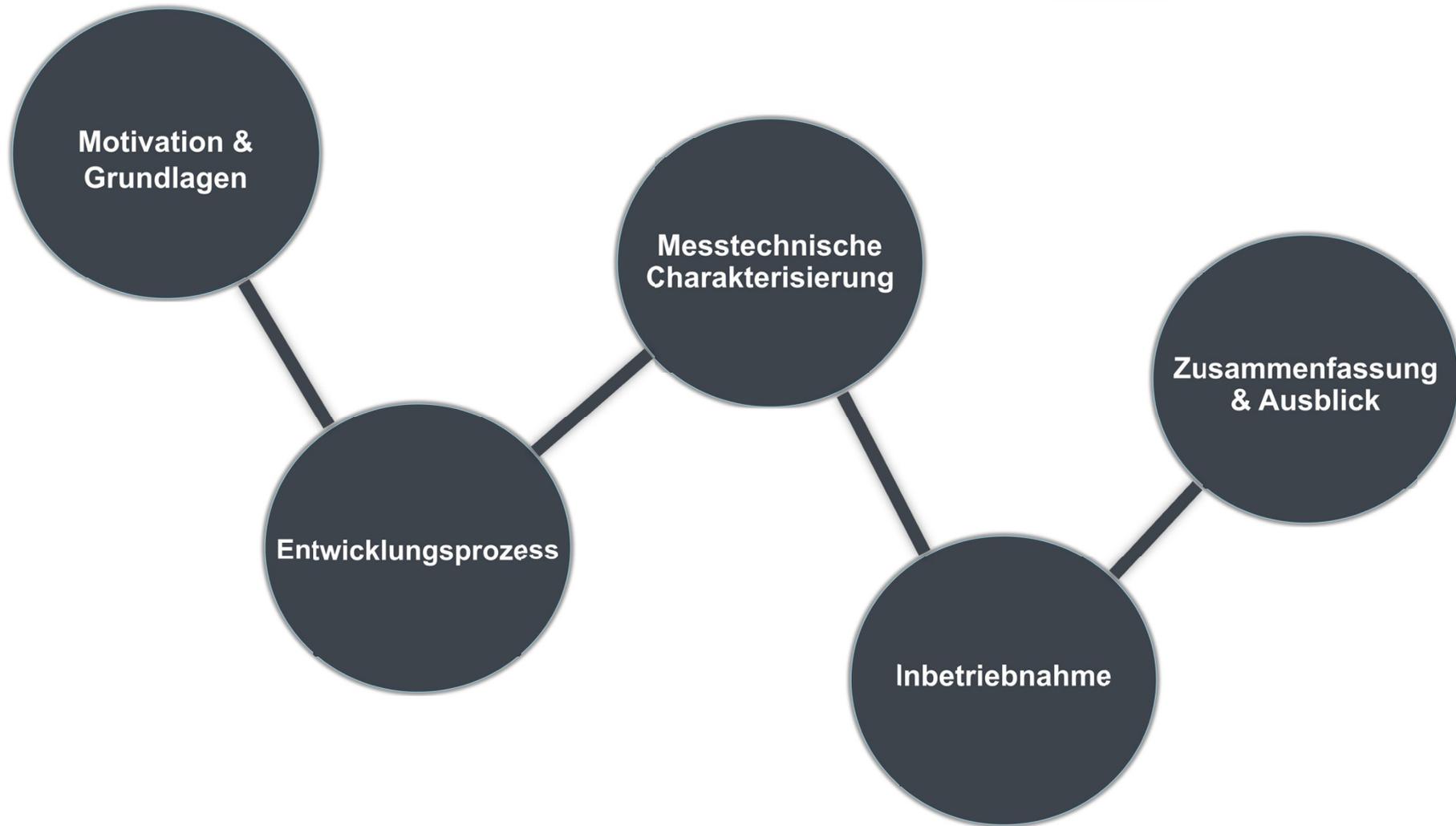
Universität Stuttgart

Institut für Konstruktion und Fertigung in der  
Feinwerktechnik



# Entwicklung eines Aktorsystems mit antagonistischen magnetischen Formgedächtnisaktoren

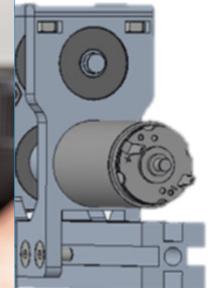
Masterarbeit  
Ali Youssef



# Stellaktoren

## Anwendungen

- Medizintechnik
- Halbleitertechnik
- Feinwerktechnik

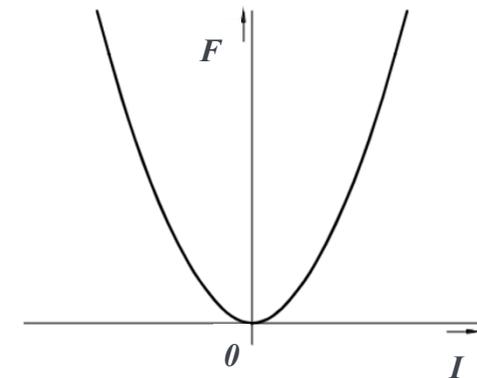
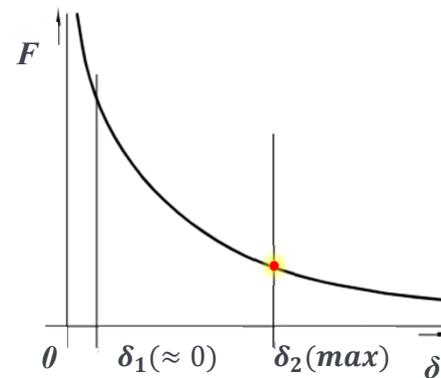
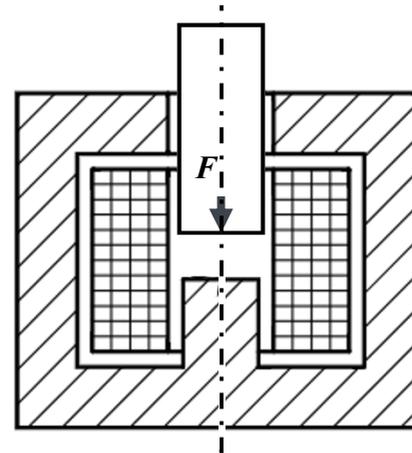


[3]

# Stellaktoren

## Beschränkungen

- ✓ Vorteile:
  - Hohe Kräfte
- ❖ Nachteile:
  - Nicht-lineare Kraftkennlinie
  - Dauerbestromung notwendig

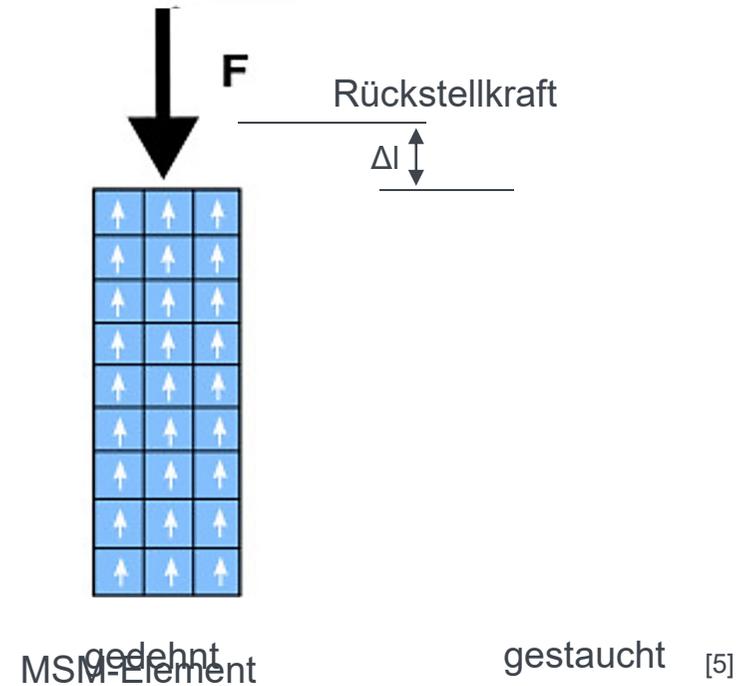


[4]

# Smart Materials

## Magnetische Formgedächtnislegierungen (MSM)

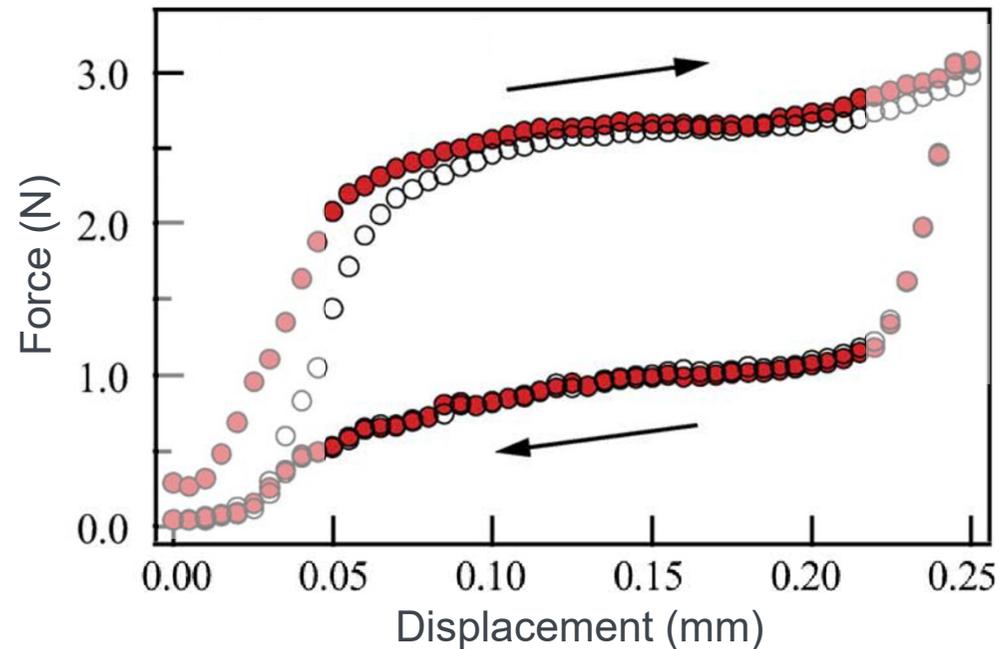
- ✓ Vorteile:
  - Stufenlose Ansteuerung
  - Stromloser Haltezustand
  - Quasilineare Kraftkennlinie
- ❖ Nachteile:
  - Begrenzte Krafterzeugung



# Smart Materials

## Magnetische Formgedächtnislegierungen (MSM)

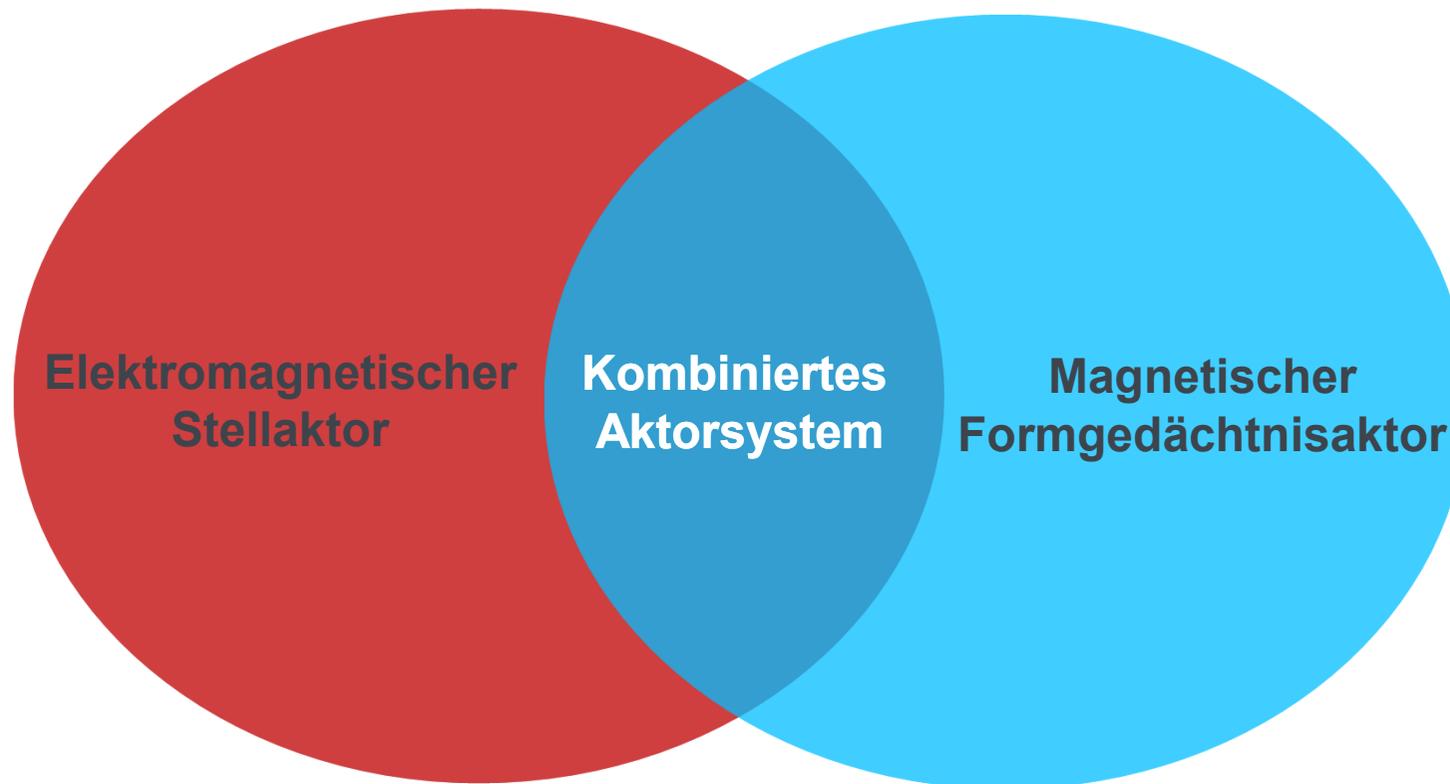
- ✓ Vorteile:
  - Stufenlose Ansteuerung
  - Stromloser Haltezustand
  - Quasilineare Kraftkennlinie
- ❖ Nachteile:
  - Begrenzte Krafterzeugung



[6]

## Neuartiges Aktorsystem

Kombination aus zwei Aktorarten



Motivation

Entwicklungsprozess

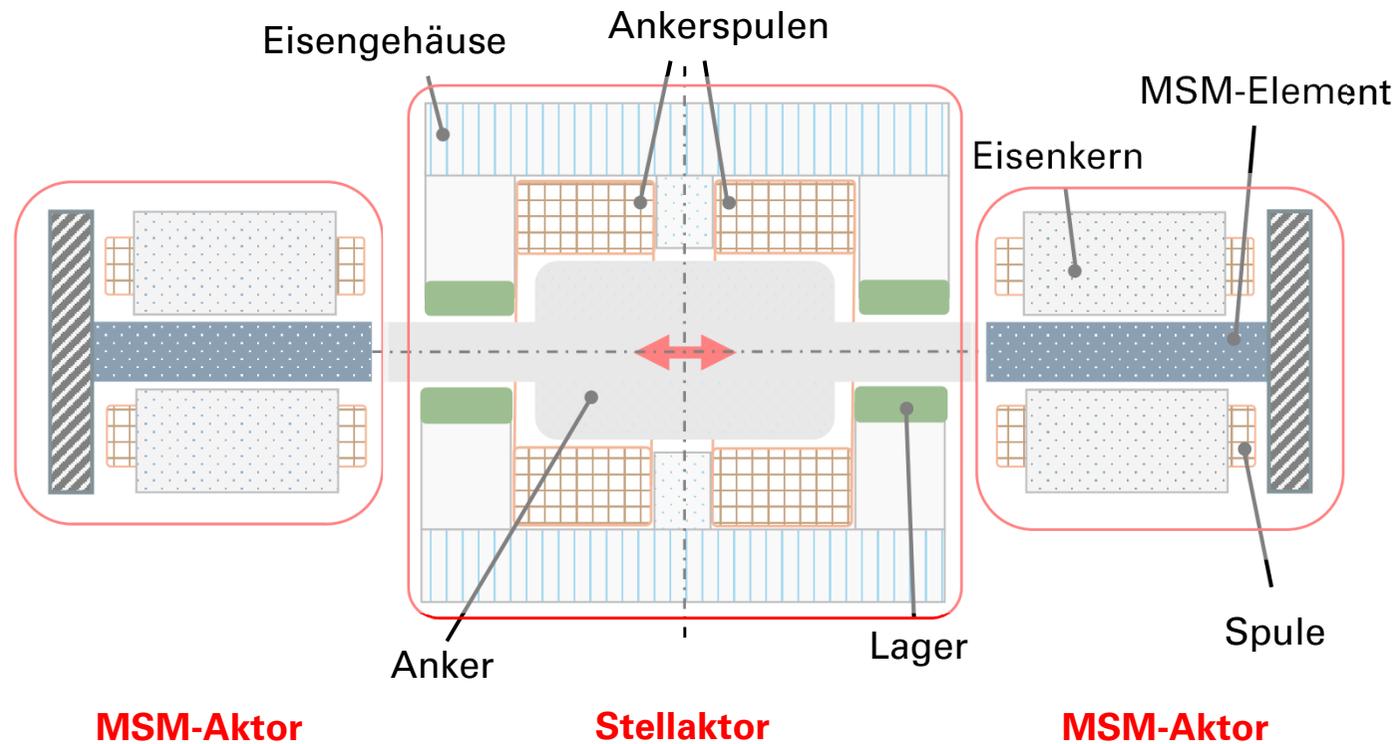
Messungen

Inbetriebnahme

Zusammenfassung

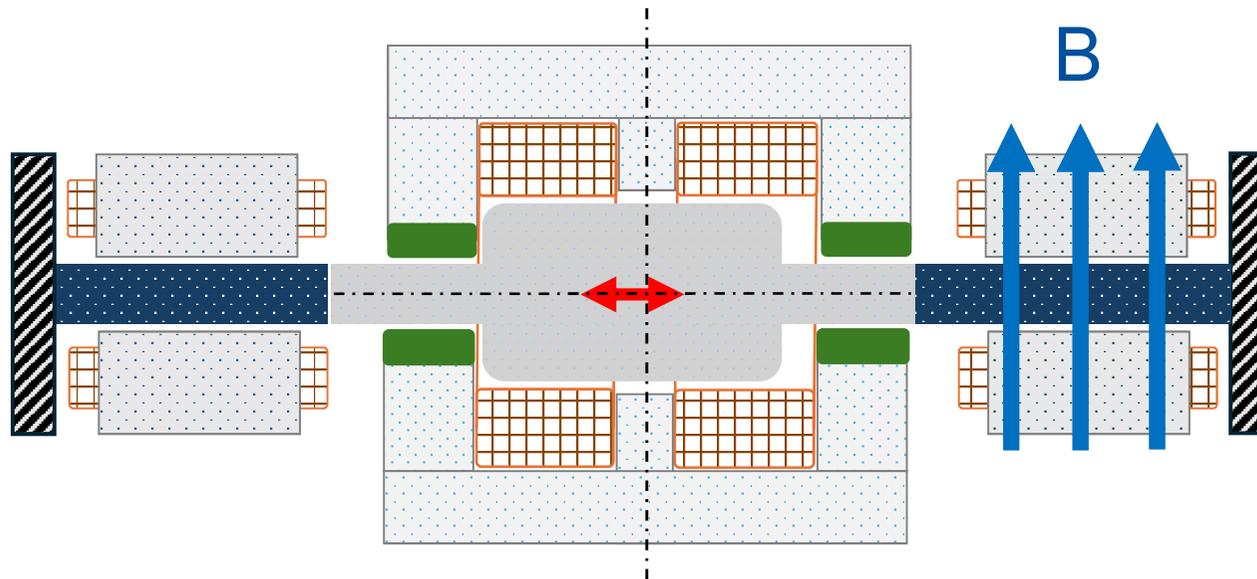
# Funktionsprinzip

Kombination aus MSM-Elementen und elektromagnetischen Stellaktor



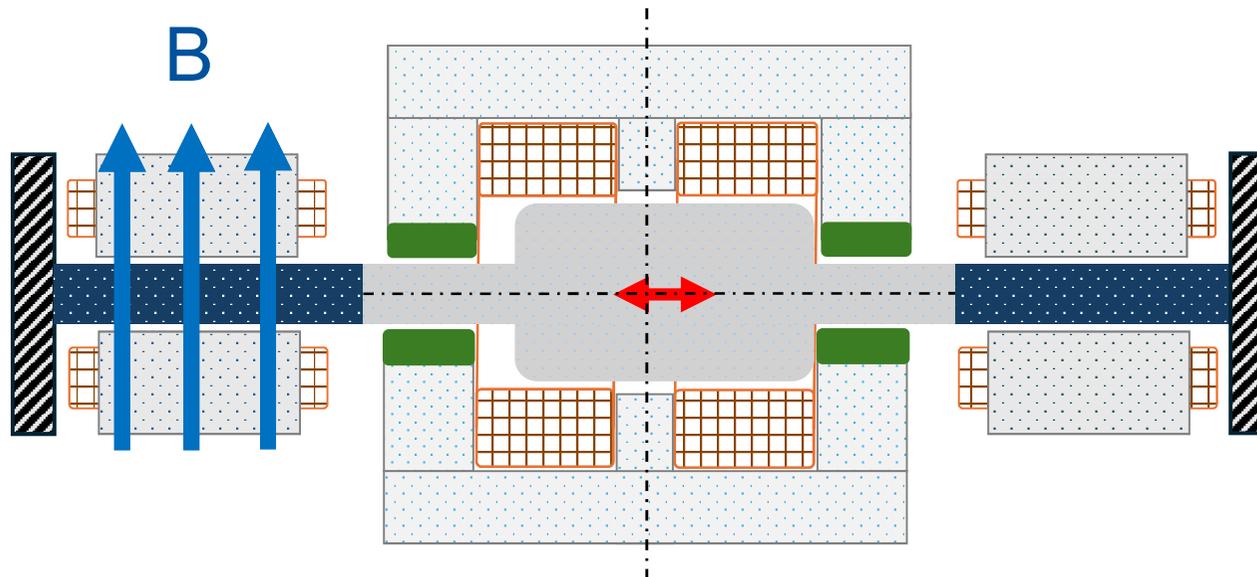
# Funktionsprinzip

Kombination aus MSM-Elementen und elektromagnetischen Stellaktor



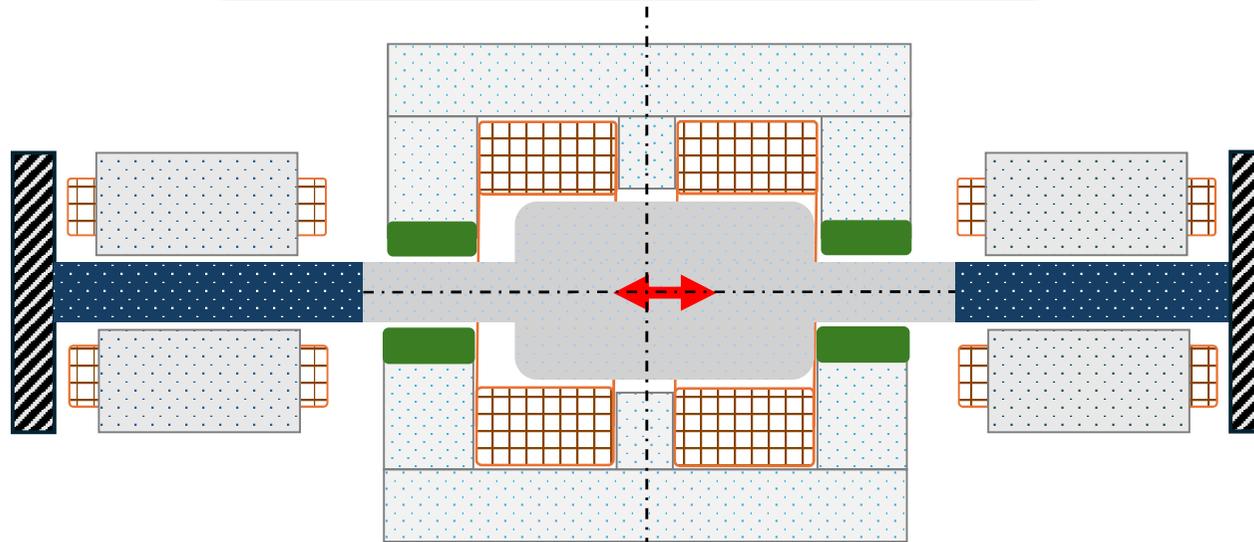
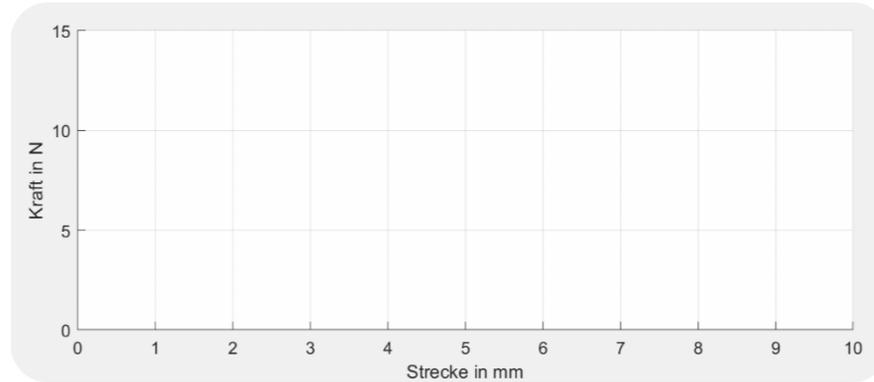
# Funktionsprinzip

Kombination aus MSM-Elementen und elektromagnetischen Stellaktor



# Funktionsprinzip

Kombination aus MSM-Elementen und elektromagnetischen Stellaktor



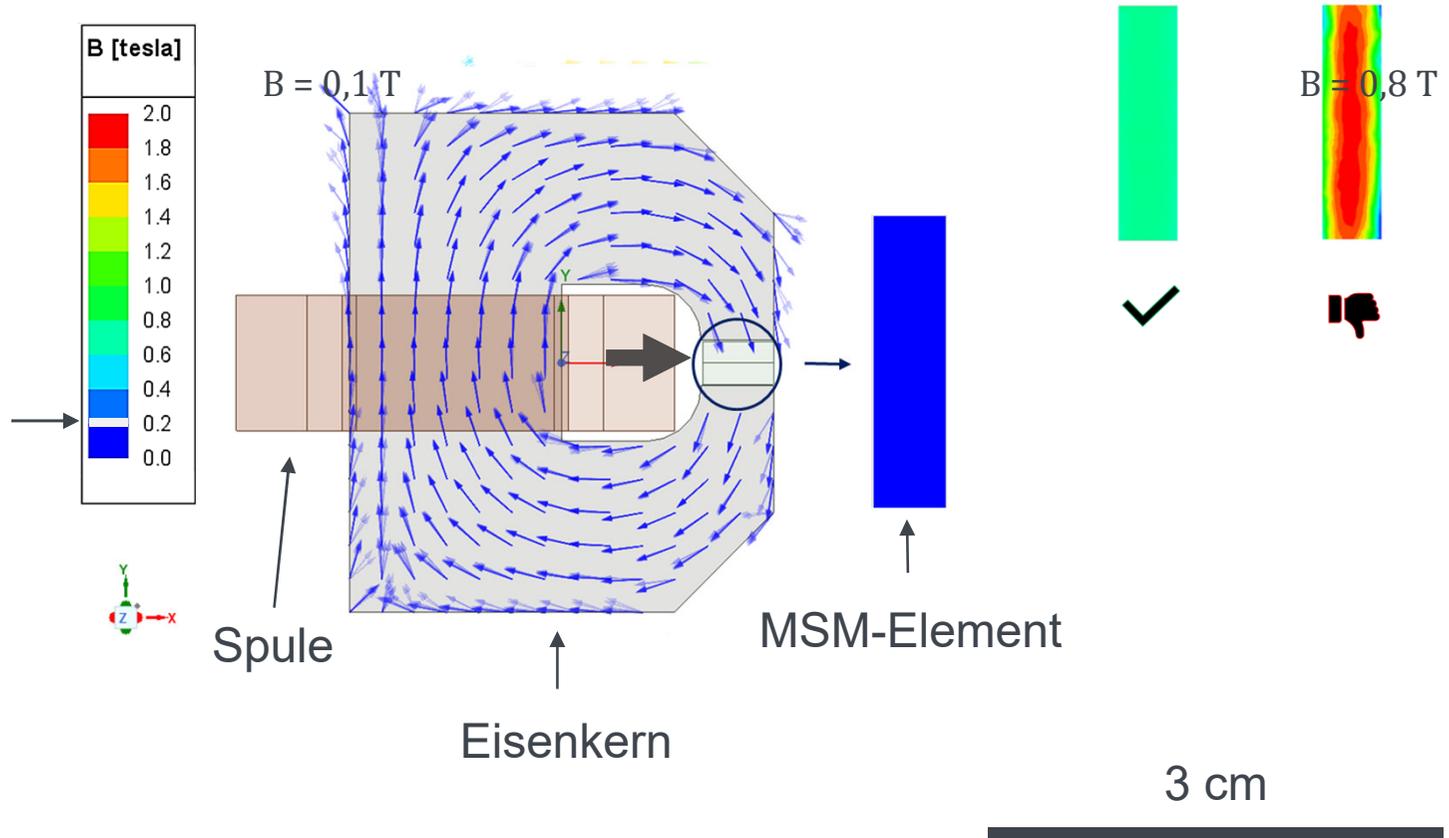
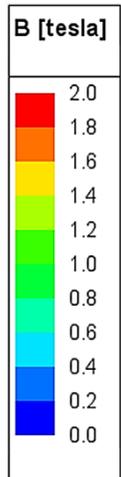
# Simulationen

## Design Optimierung MSM-Aktor

- $B \geq 0,7 \text{ T}$   
( $F = 30 - 35 \text{ N}$ )

- Homogene Verteilung des Magnetfelds B

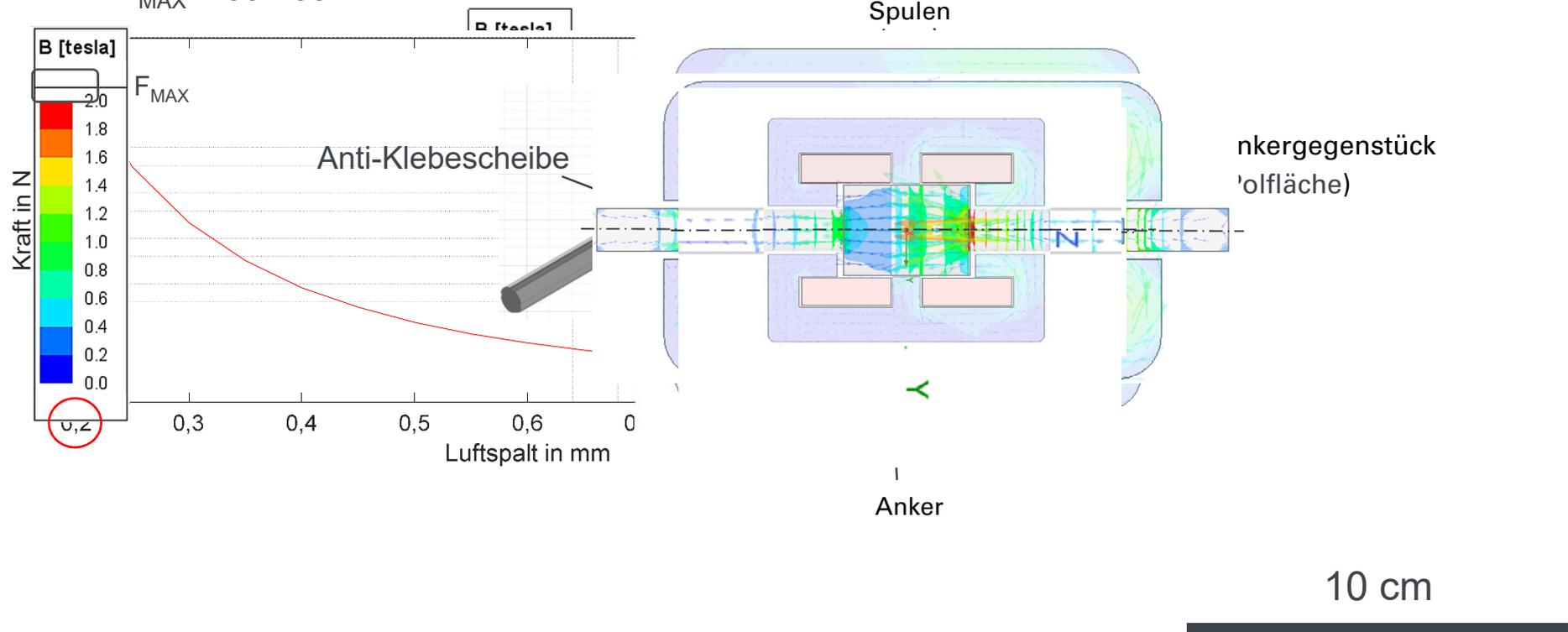
$J \leq 6 \text{ A/mm}^2$



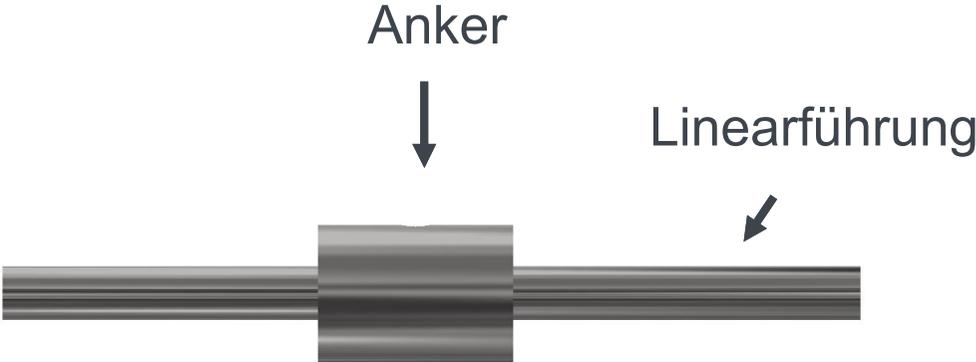
# Simulationen

## Design Optimierung Stellaktor

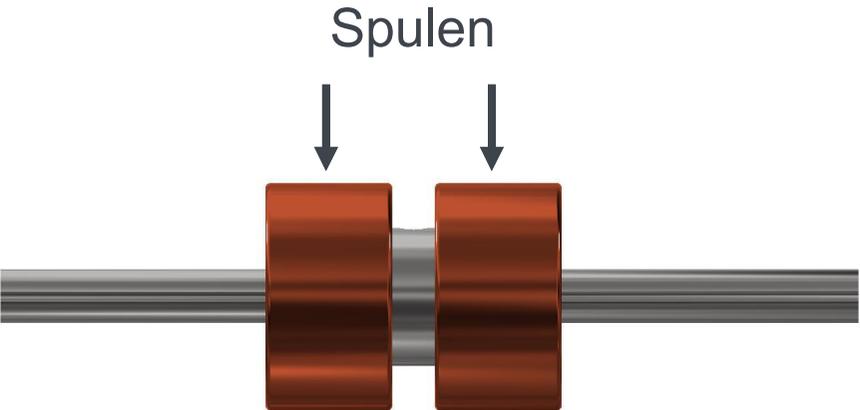
- $F_{MAX} = 30 - 35 \text{ N}$



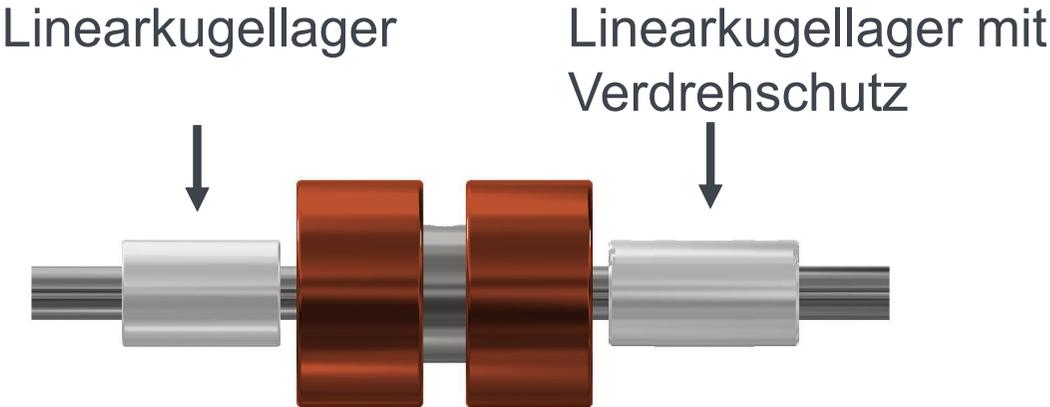
# Konstruktion Aktorsystem



# Konstruktion Aktorsystem

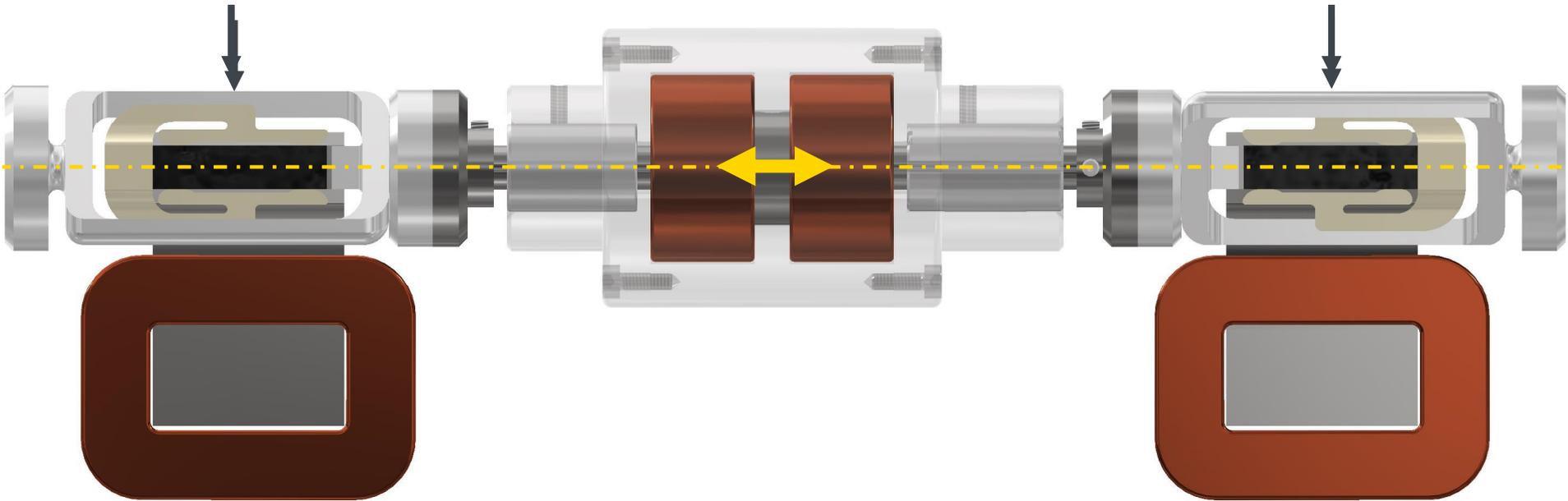


# Konstruktion Aktorsystem

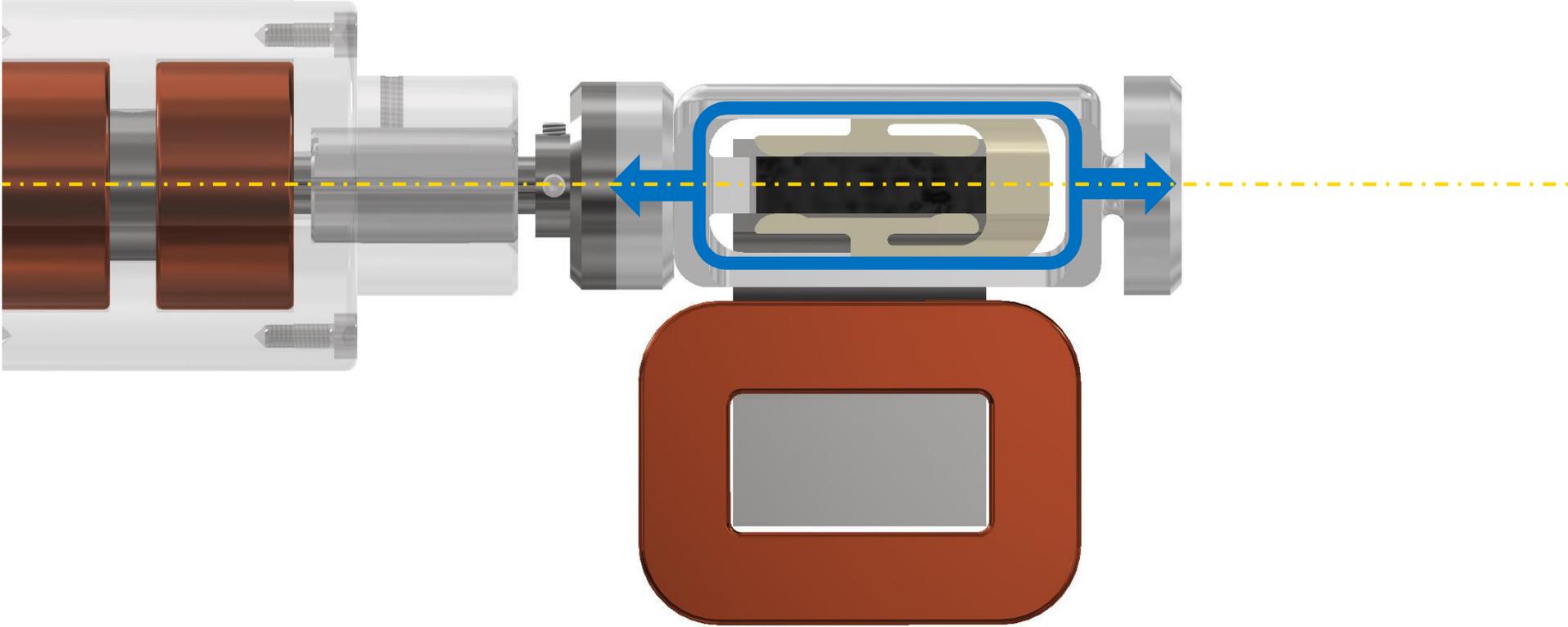


**Konstruktion**  
Aktorsystem

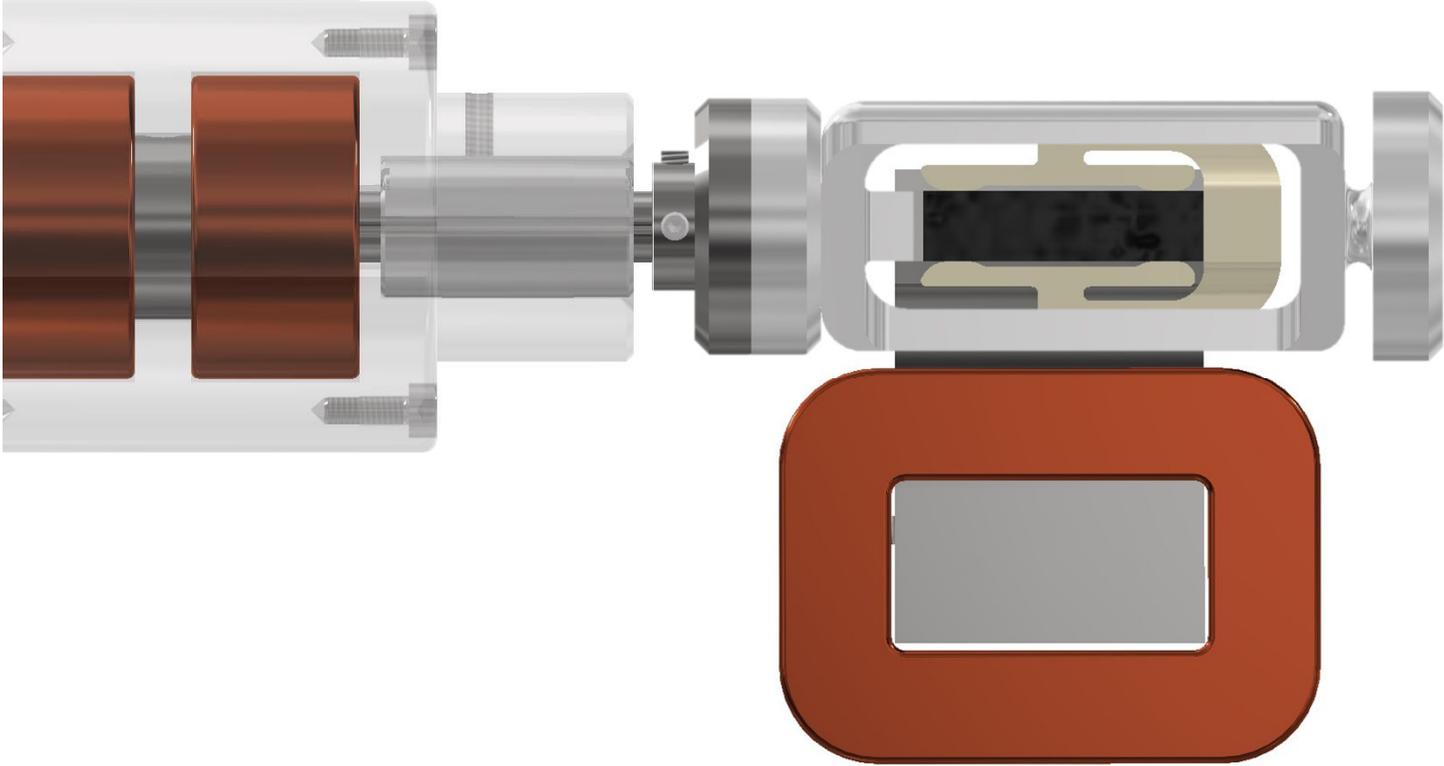
Hub-SM-Aktorsgabel



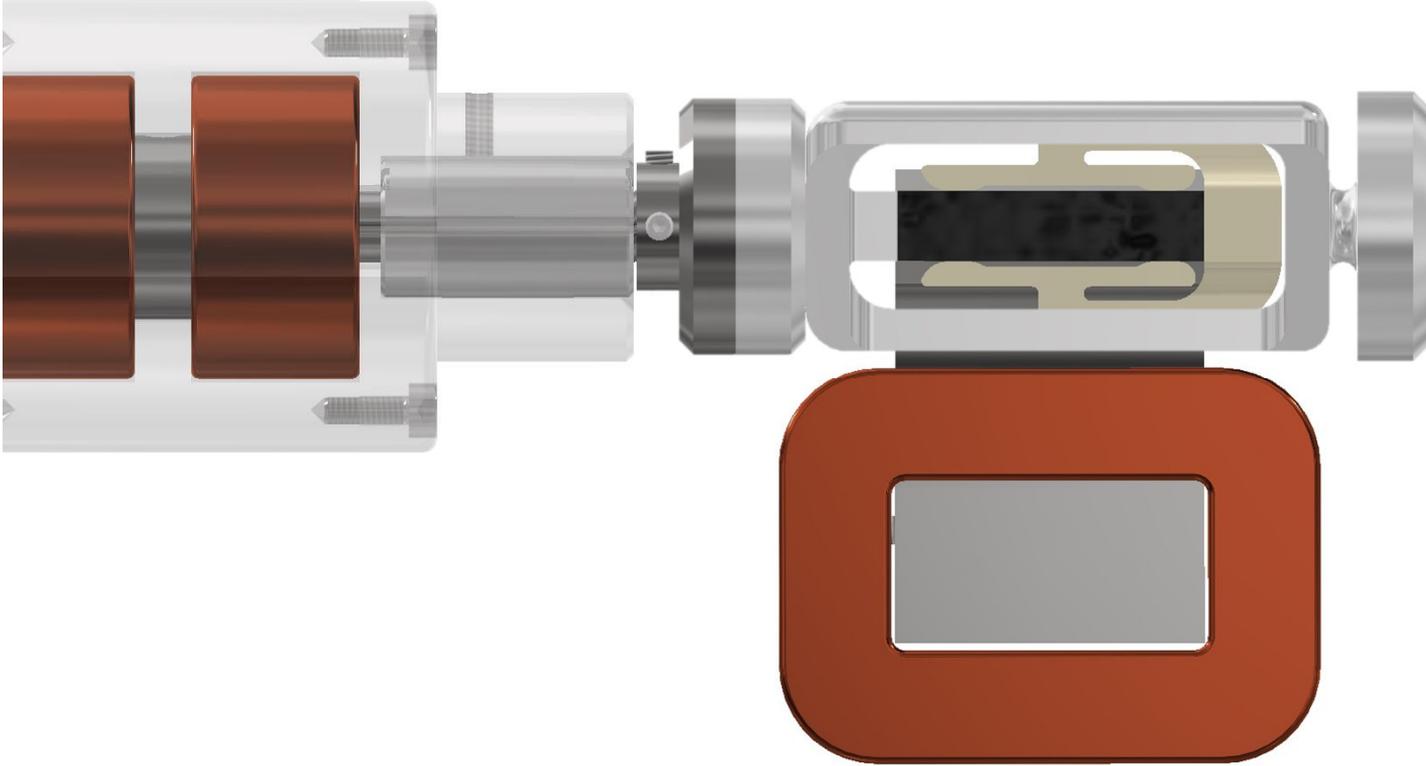
# Konstruktion Aktorsystem



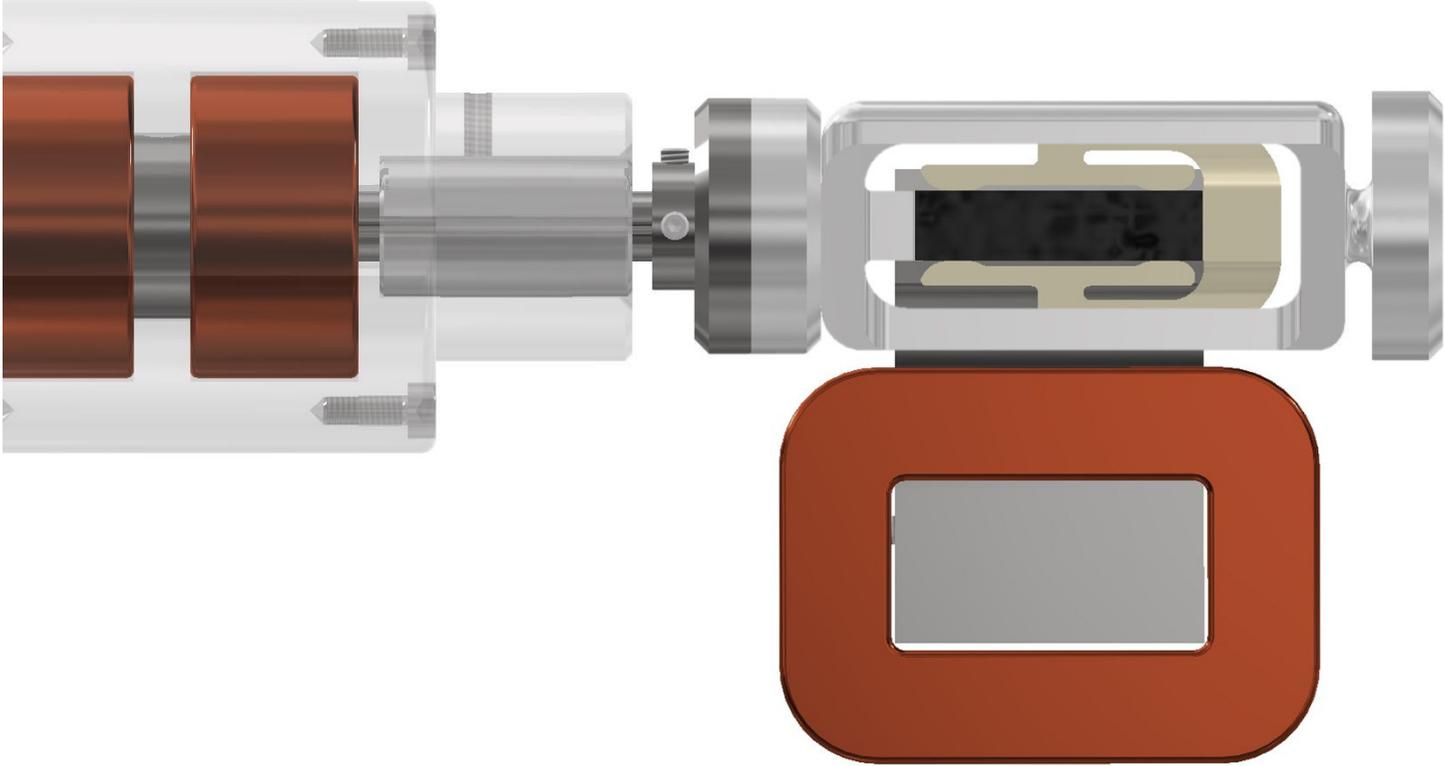
# Konstruktion Aktorsystem



# Konstruktion Aktorsystem

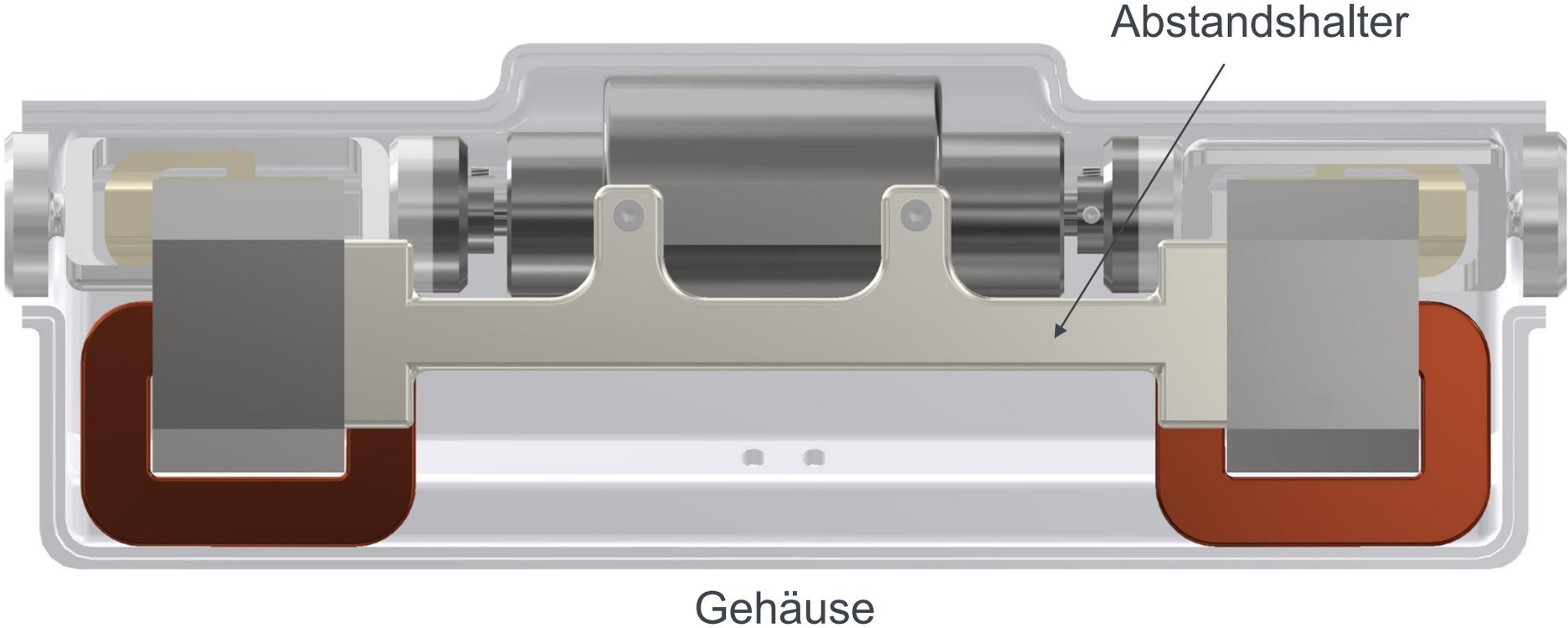


# Konstruktion Aktorsystem



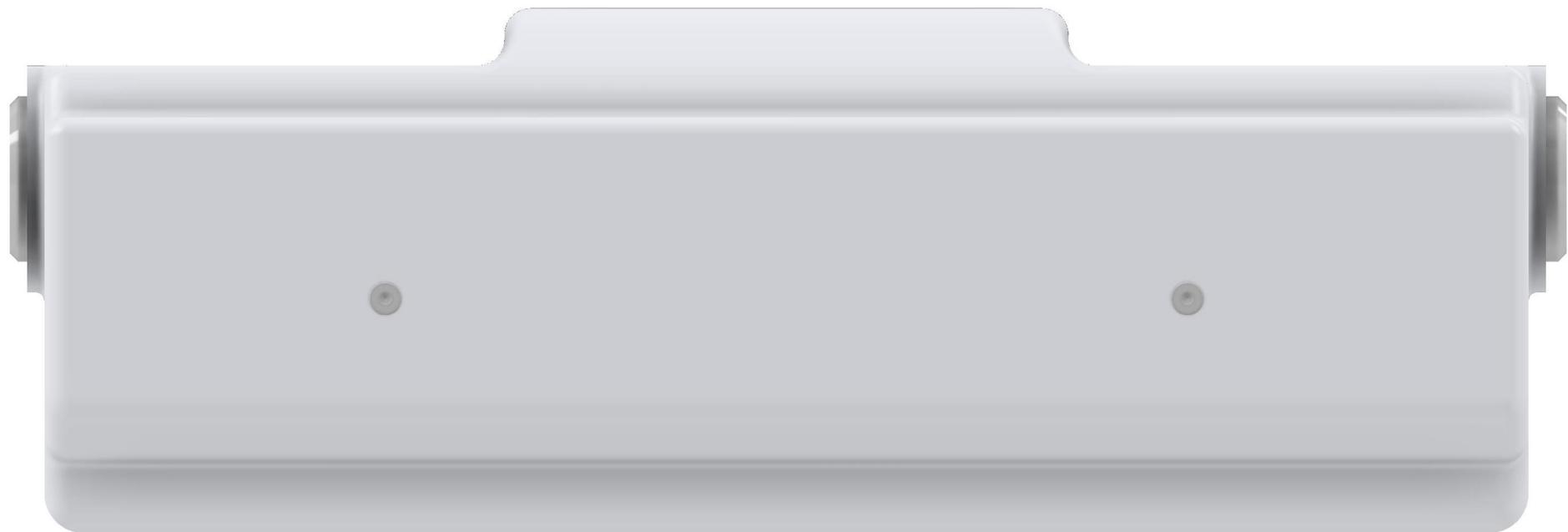
# Konstruktion

## Aktorsystem



# Konstruktion

## Aktorsystem



Motivation

**Entwicklungsprozess**

Messungen

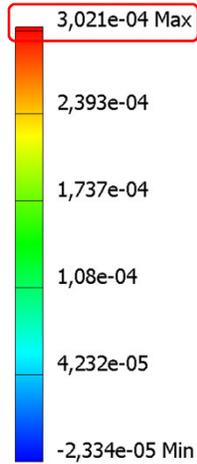
Inbetriebnahme

Zusammenfassung

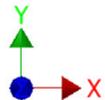
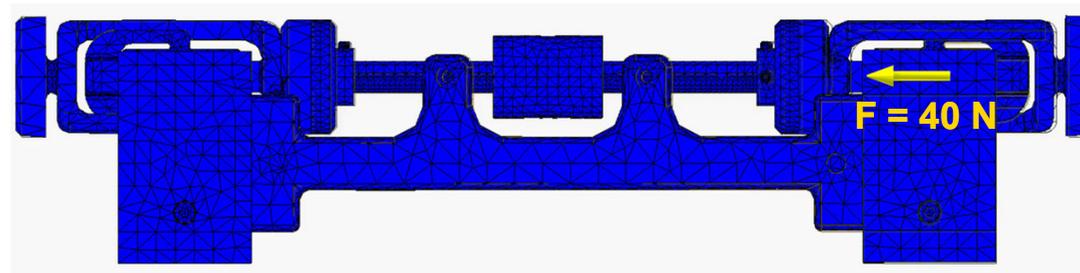
# Konstruktion

## Aktorsystem FEM-Simulation

Type: X Displacement  
Unit: mm  
21.07.2024, 13:42:52



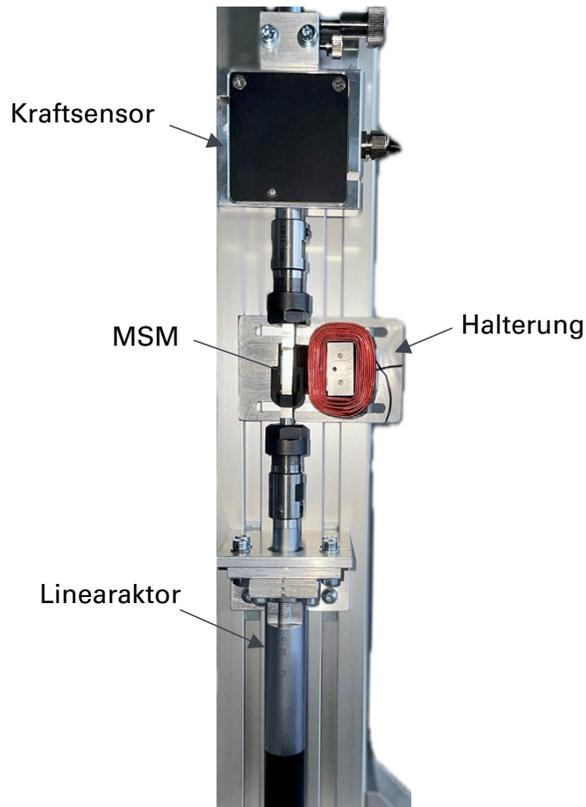
Elastische Verformung  $\approx 0,3 \mu\text{m}$



# Messungen und Validierung

## Prüfstände

**MSM-Aktor**



**Stellaktor**



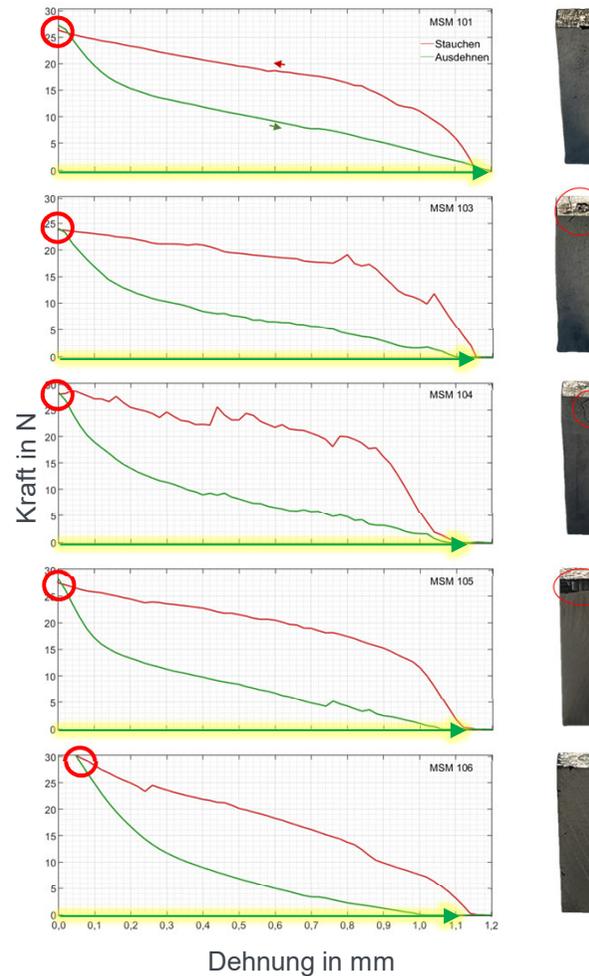
**Kombiniertes Aktorsystem**



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

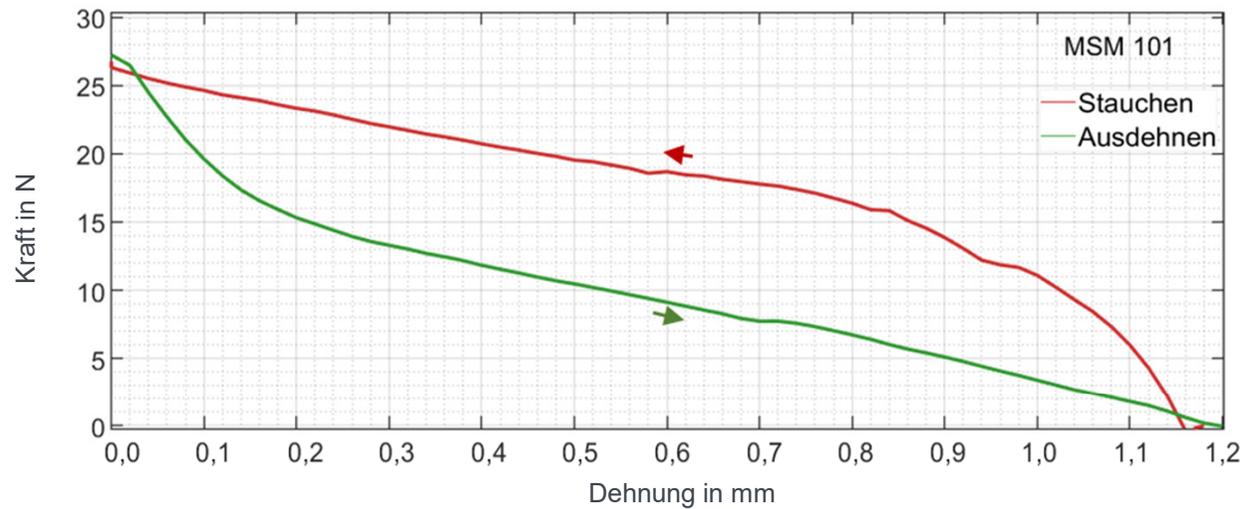
- $F_{MAX}$
- Kraftkennlinienverlauf
- Maximale Ausdehnung



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

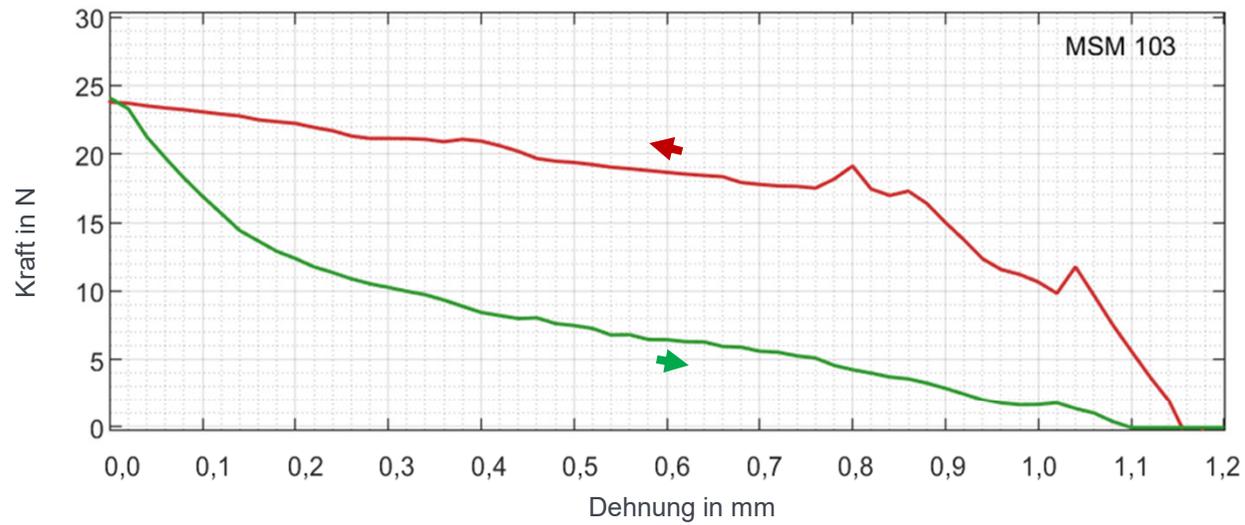
$I = 1,75 \text{ A}$



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

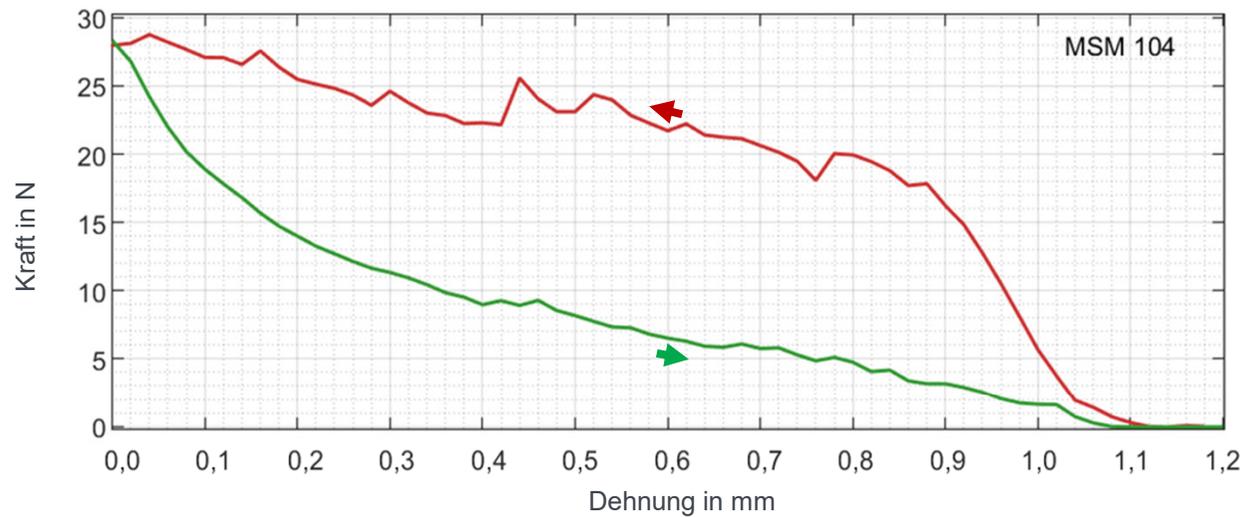
$I = 1,75 \text{ A}$



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

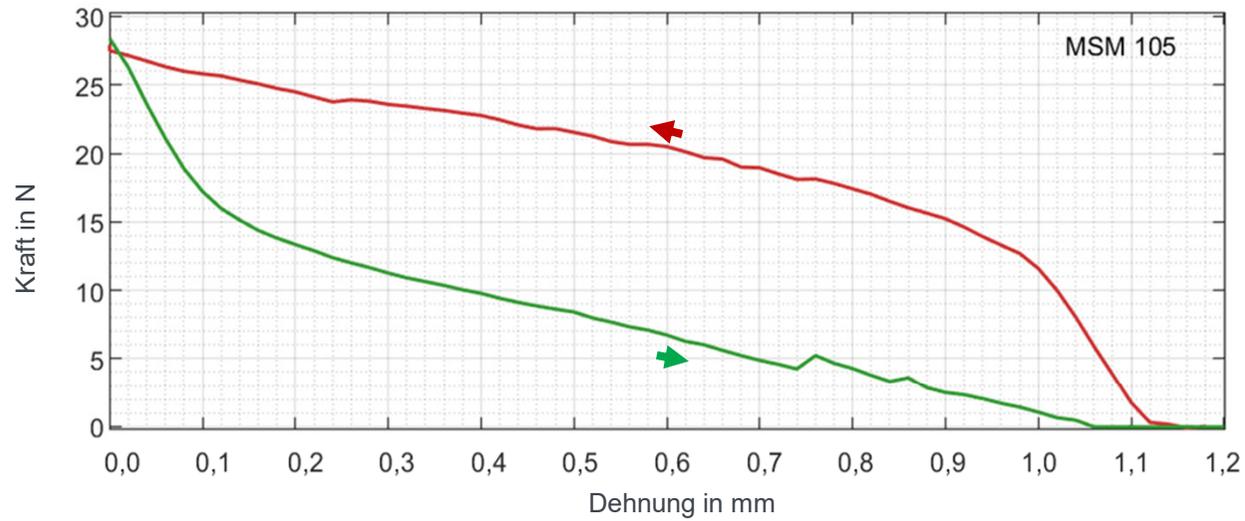
$I = 1,75 \text{ A}$



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

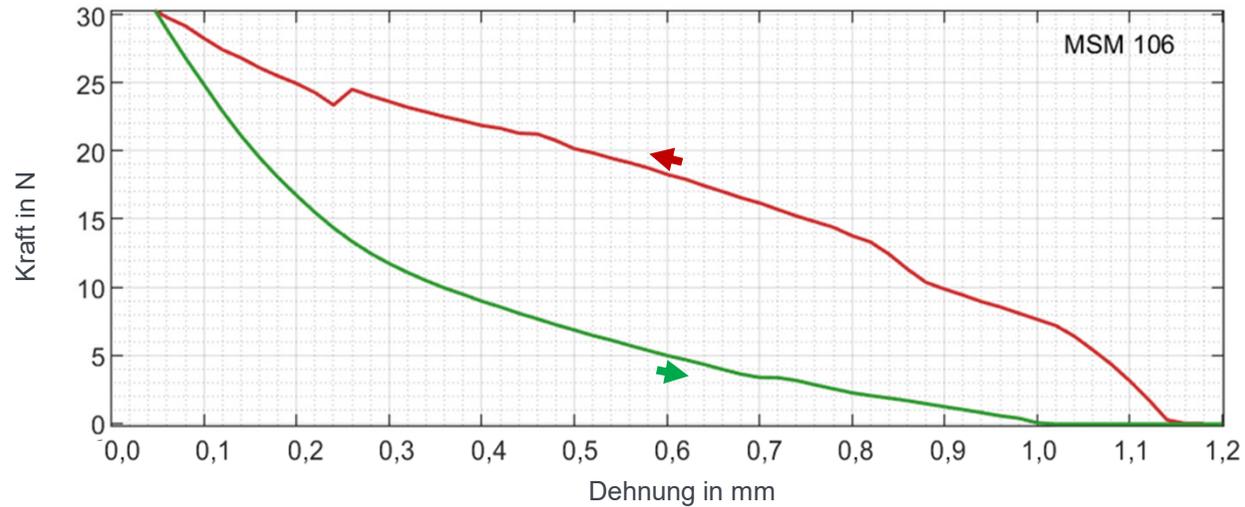
$I = 1,75 \text{ A}$



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

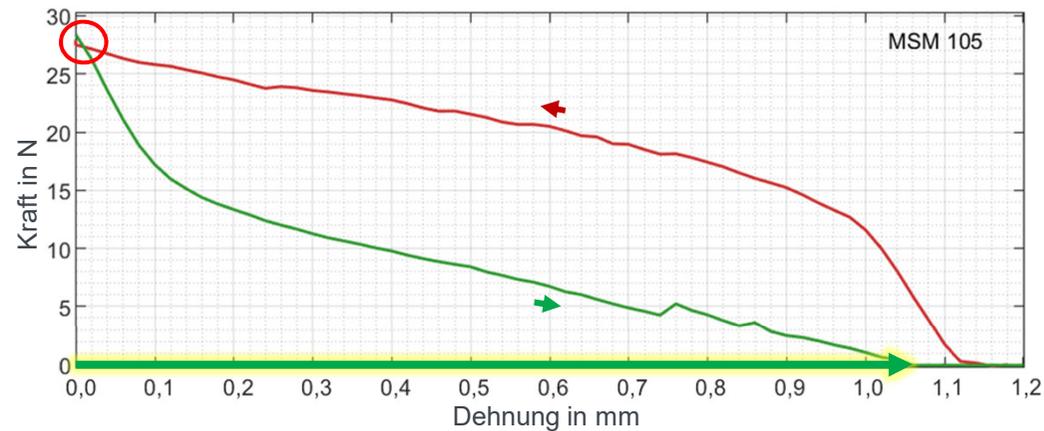
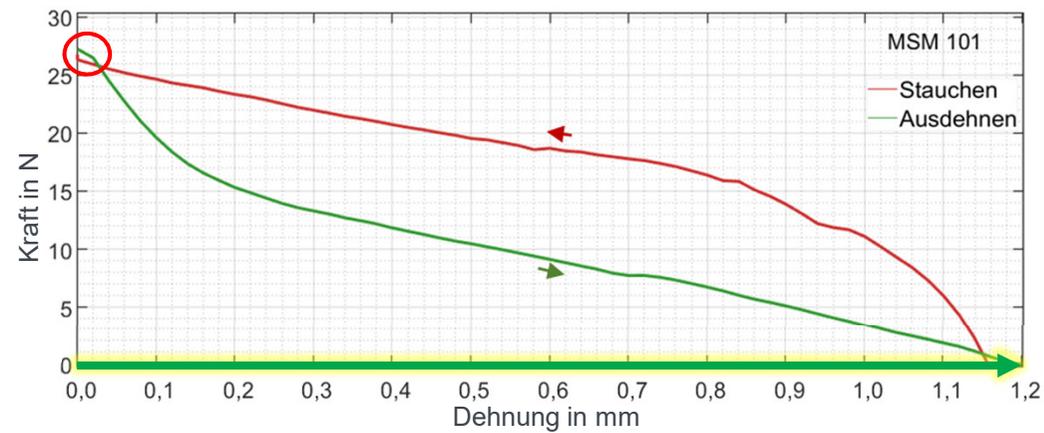
$I = 1,75 \text{ A}$



# Messungen und Validierung

## Wahl der MSM-Elemente

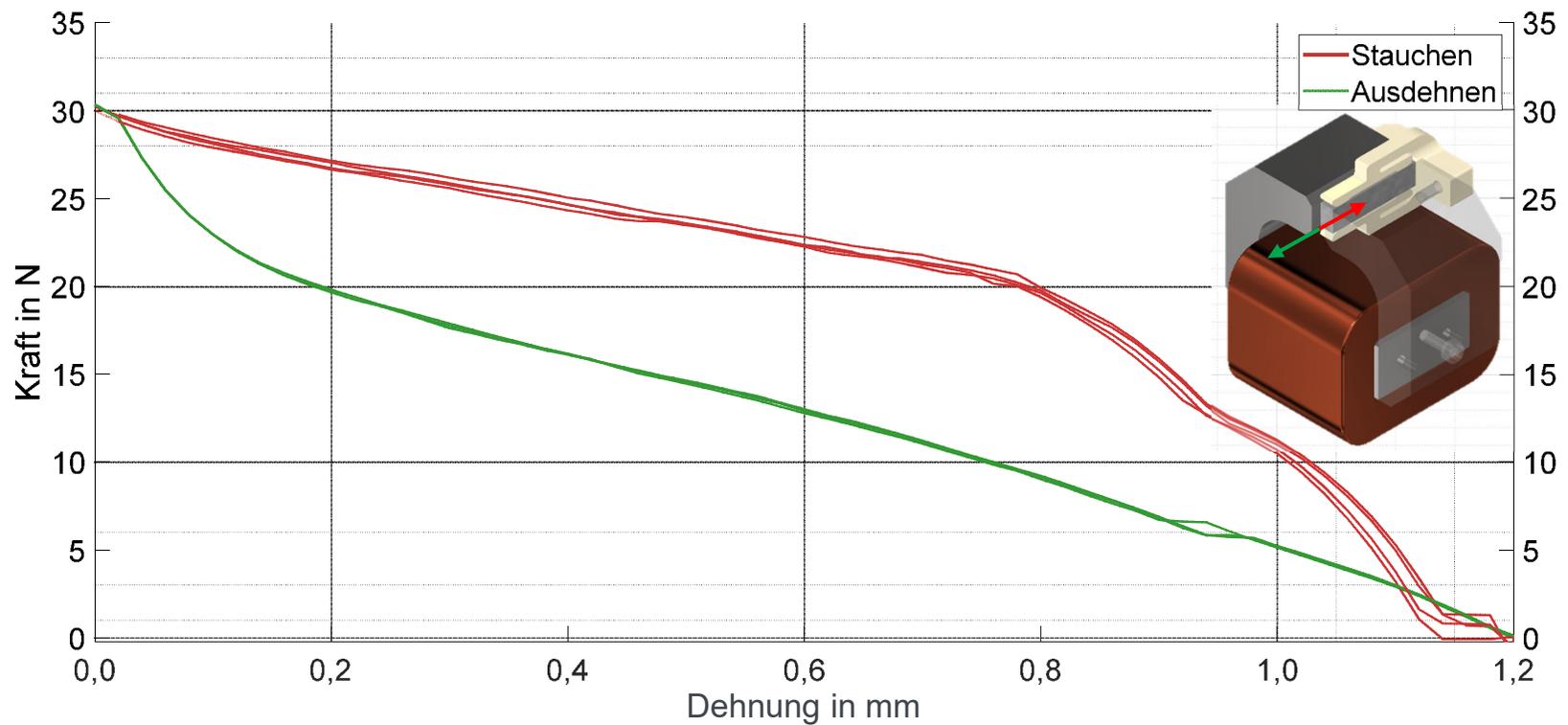
- $F_{MAX} \approx 27 \text{ N}$
- Konsistente Kraftkennlinien
- Hublängen:  
MSM-101: 1,2 mm  
MSM-105: 1,05 mm



# Messungen und Validierung

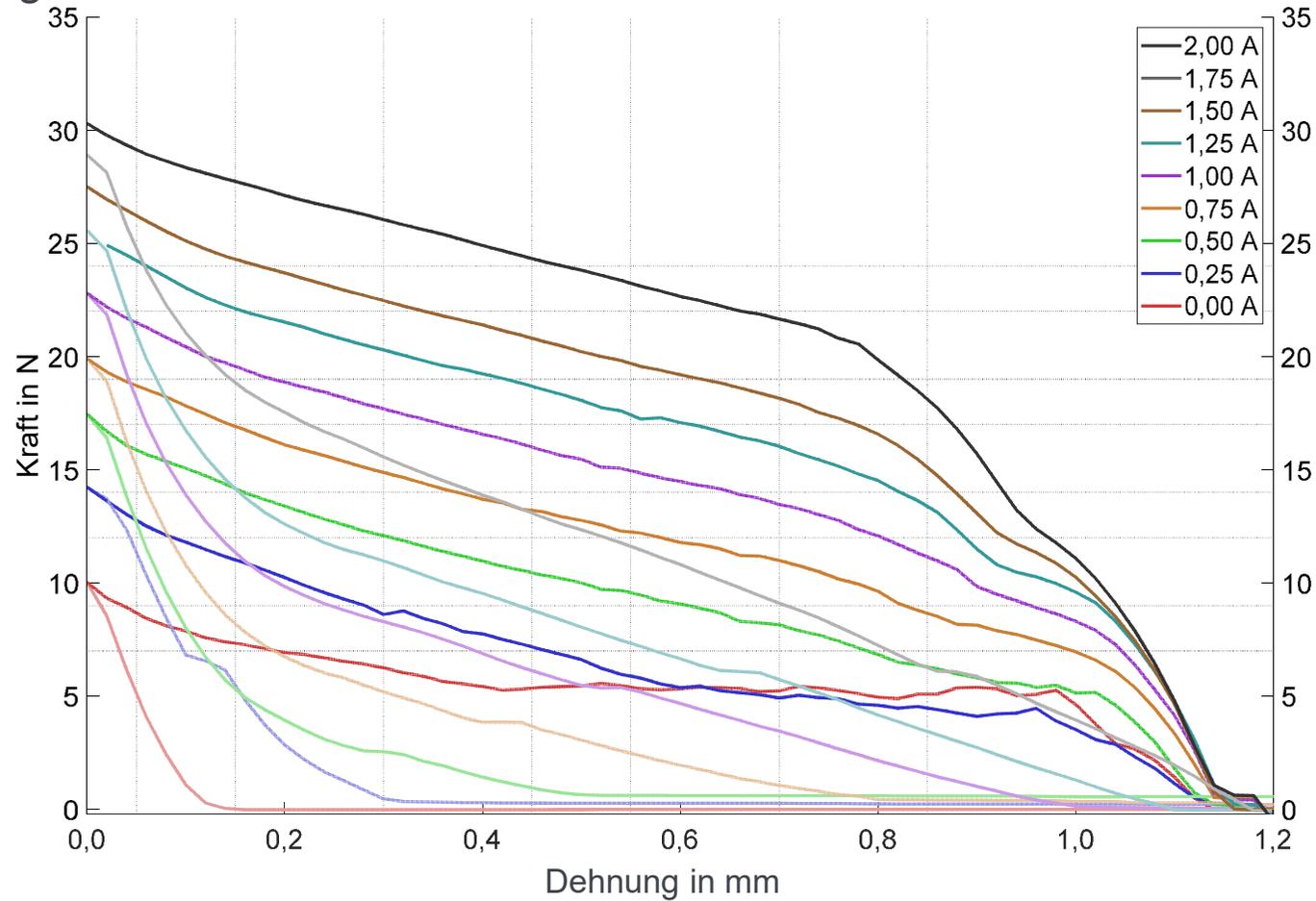
## Kraft-Weg-Kennlinie von MSM-101

I = 2,00 A



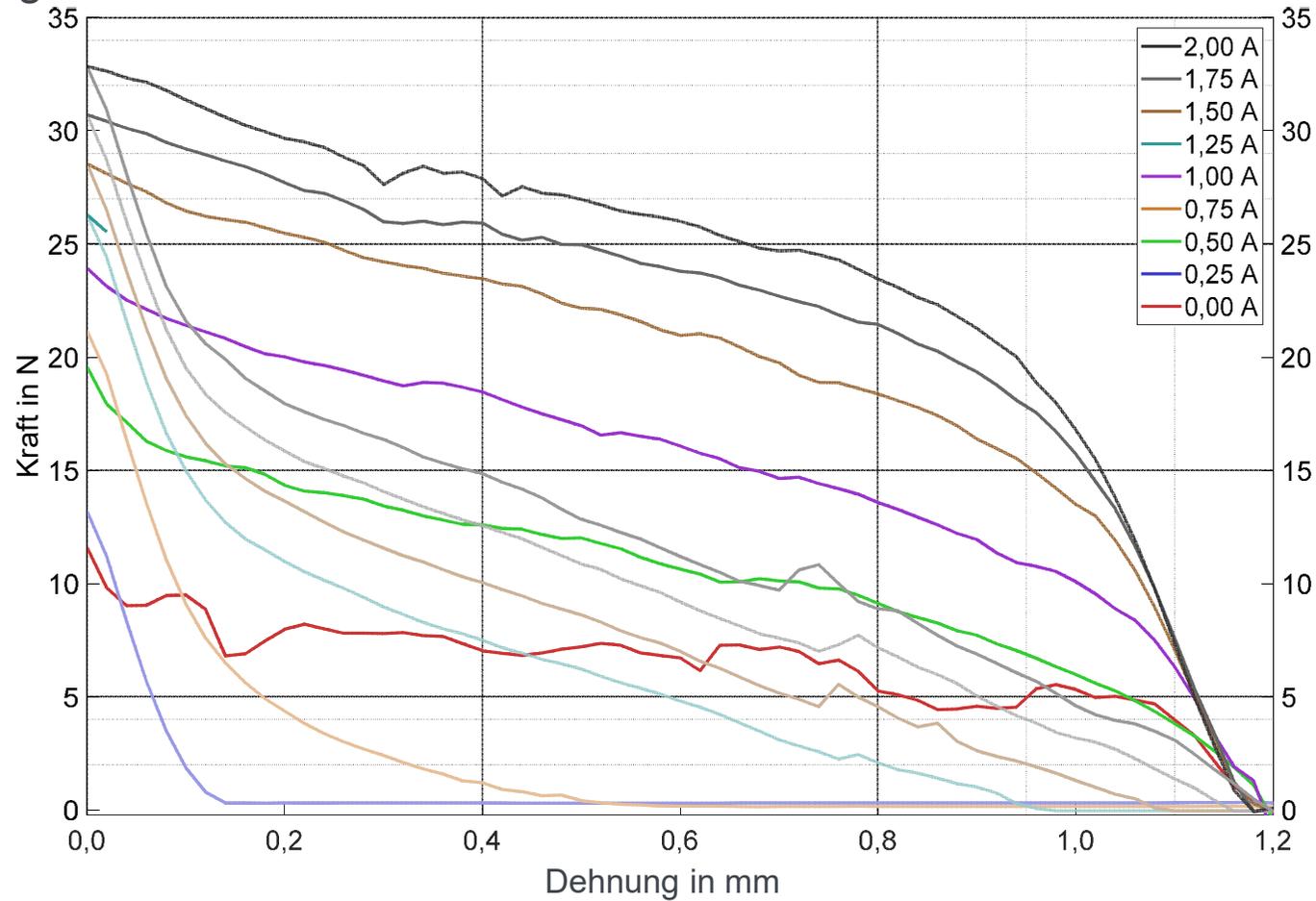
# Messungen und Validierung

## Kraft-Weg-Kennlinien von MSM-101



# Messungen und Validierung

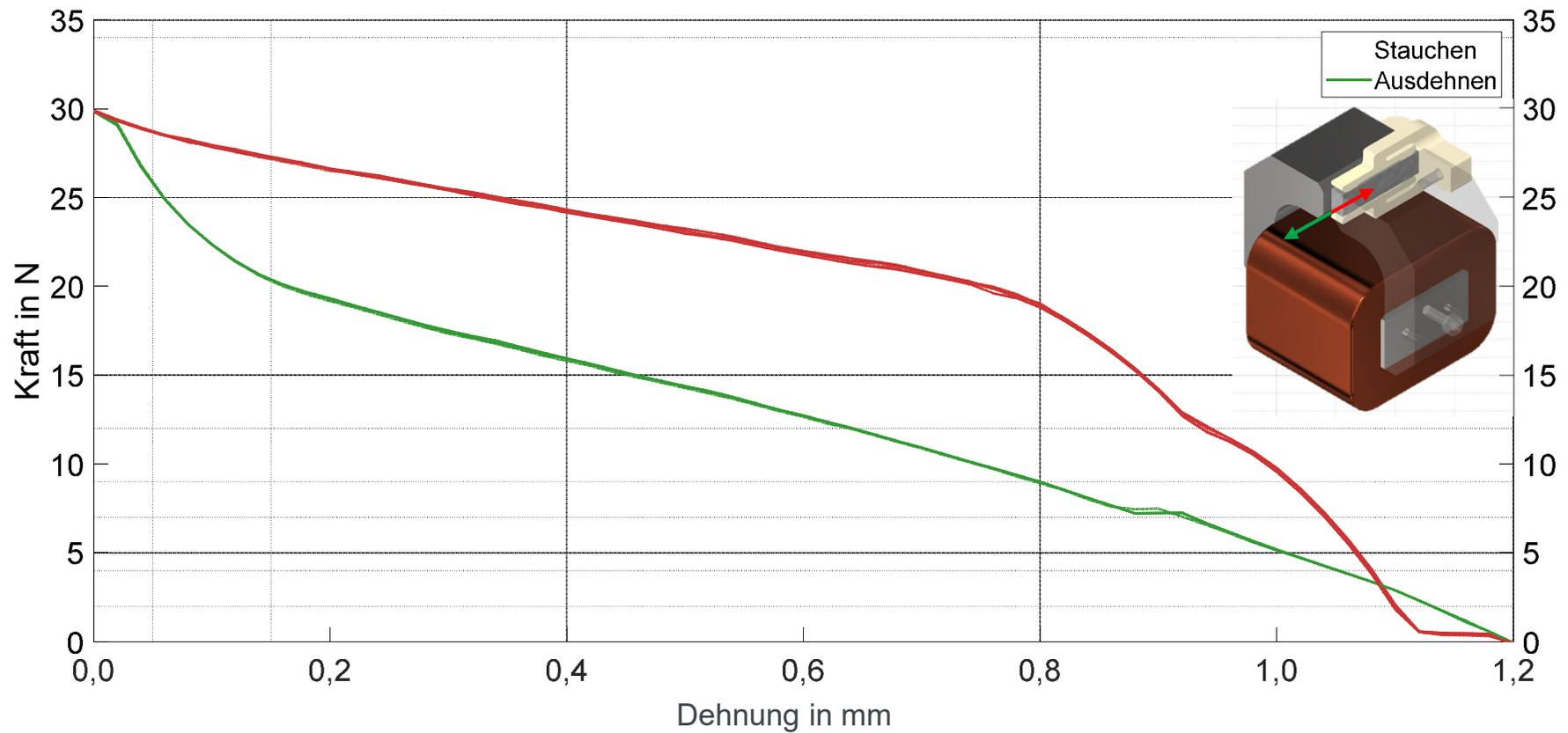
## Kraft-Weg-Kennlinien von MSM-105



# Messungen und Validierung

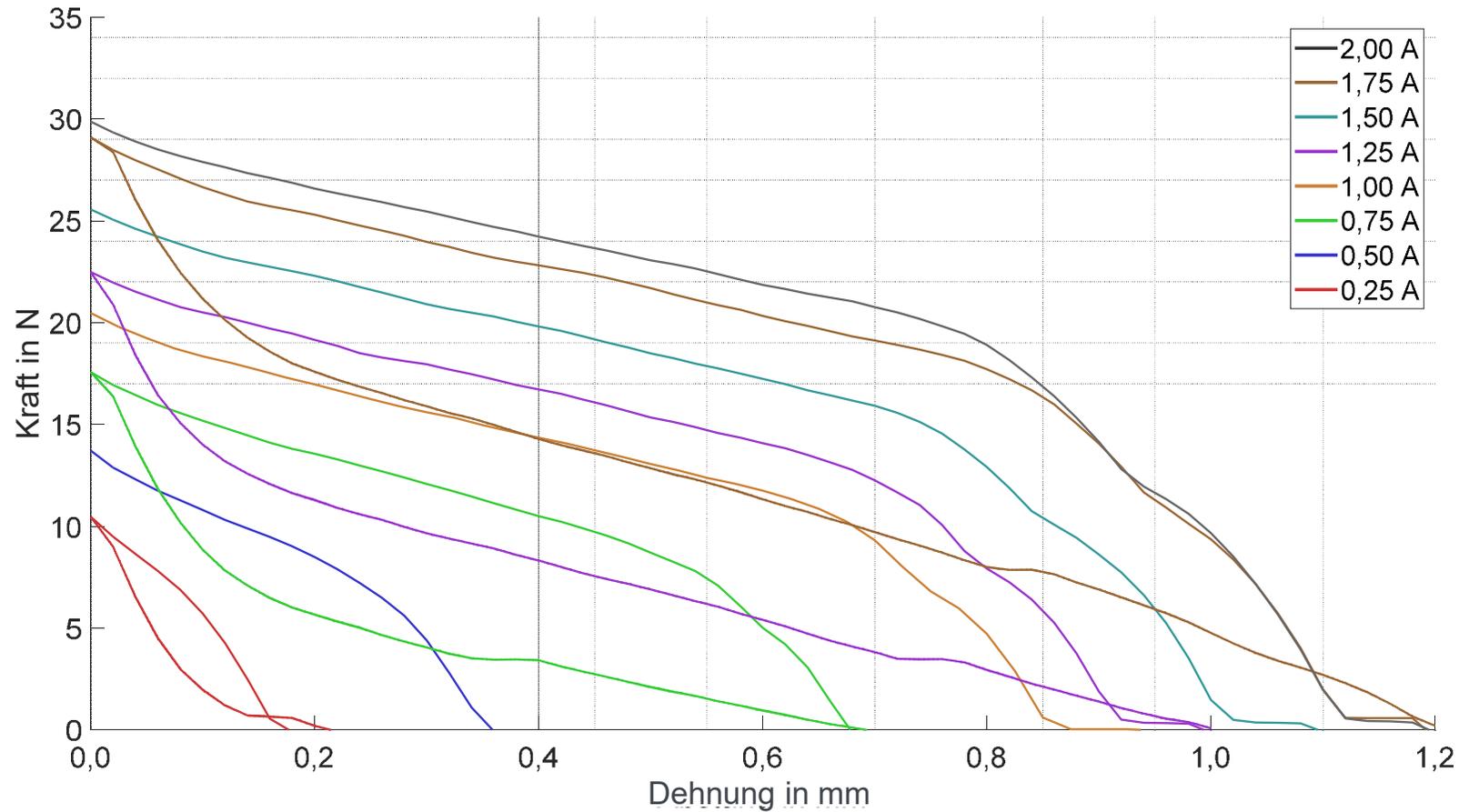
## Tatsächliche Kraft-Weg-Kennlinie von MSM-101

$I = 2,00 \text{ A}$



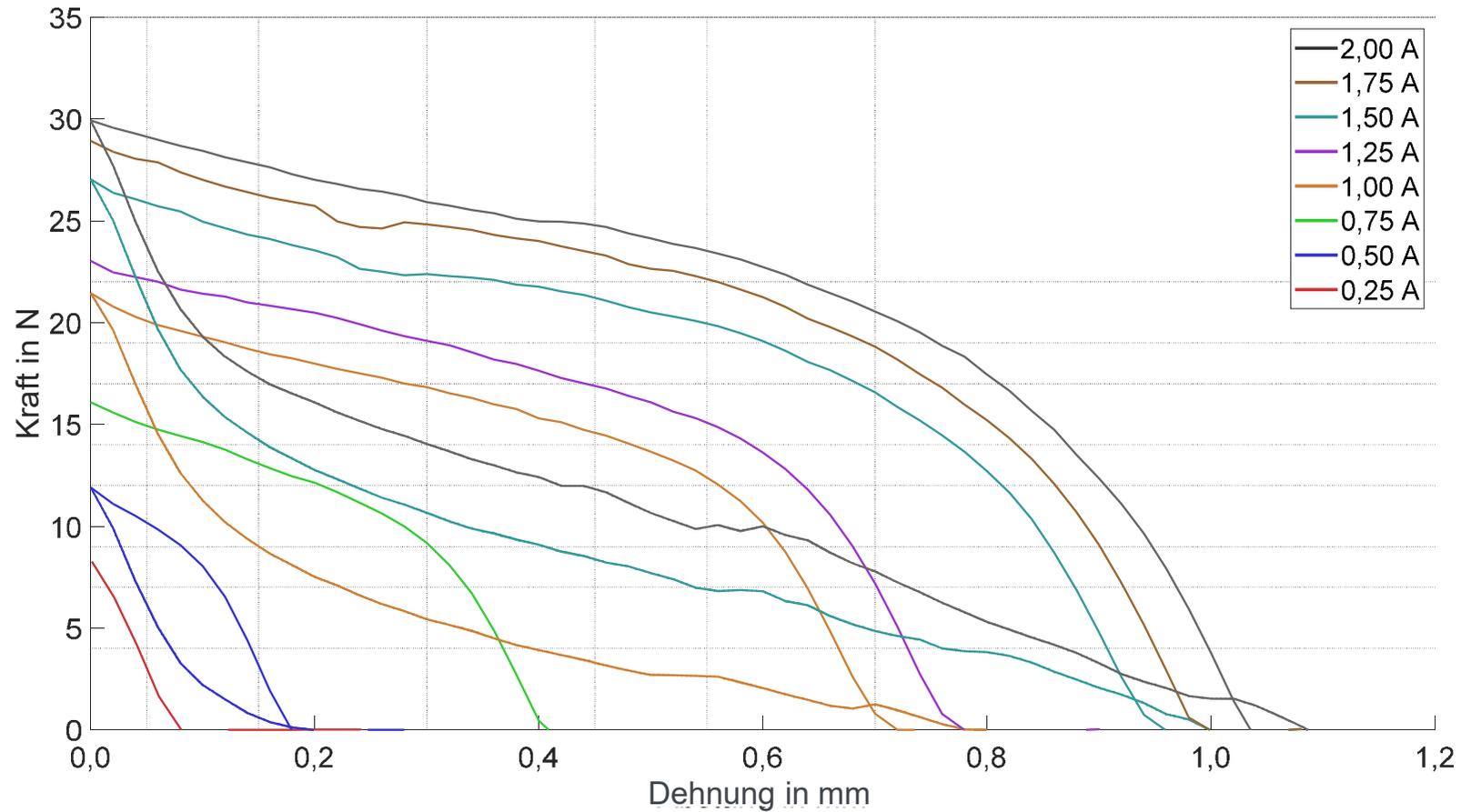
# Messungen und Validierung

## Tatsächliche Kraft-Weg-Kennlinien von MSM-101



# Messungen und Validierung

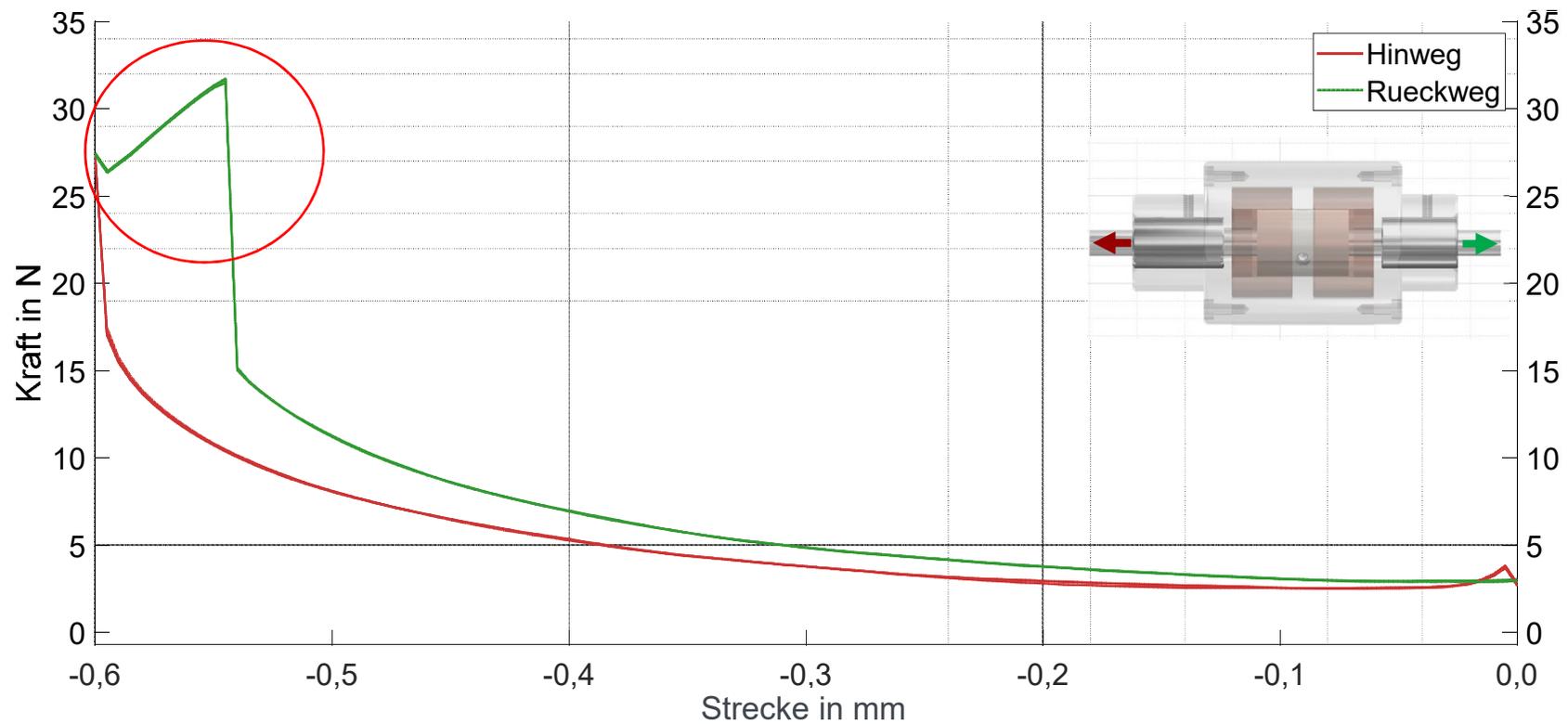
## Tatsächliche Kraft-Weg-Kennlinien von MSM-105



# Messungen und Validierung

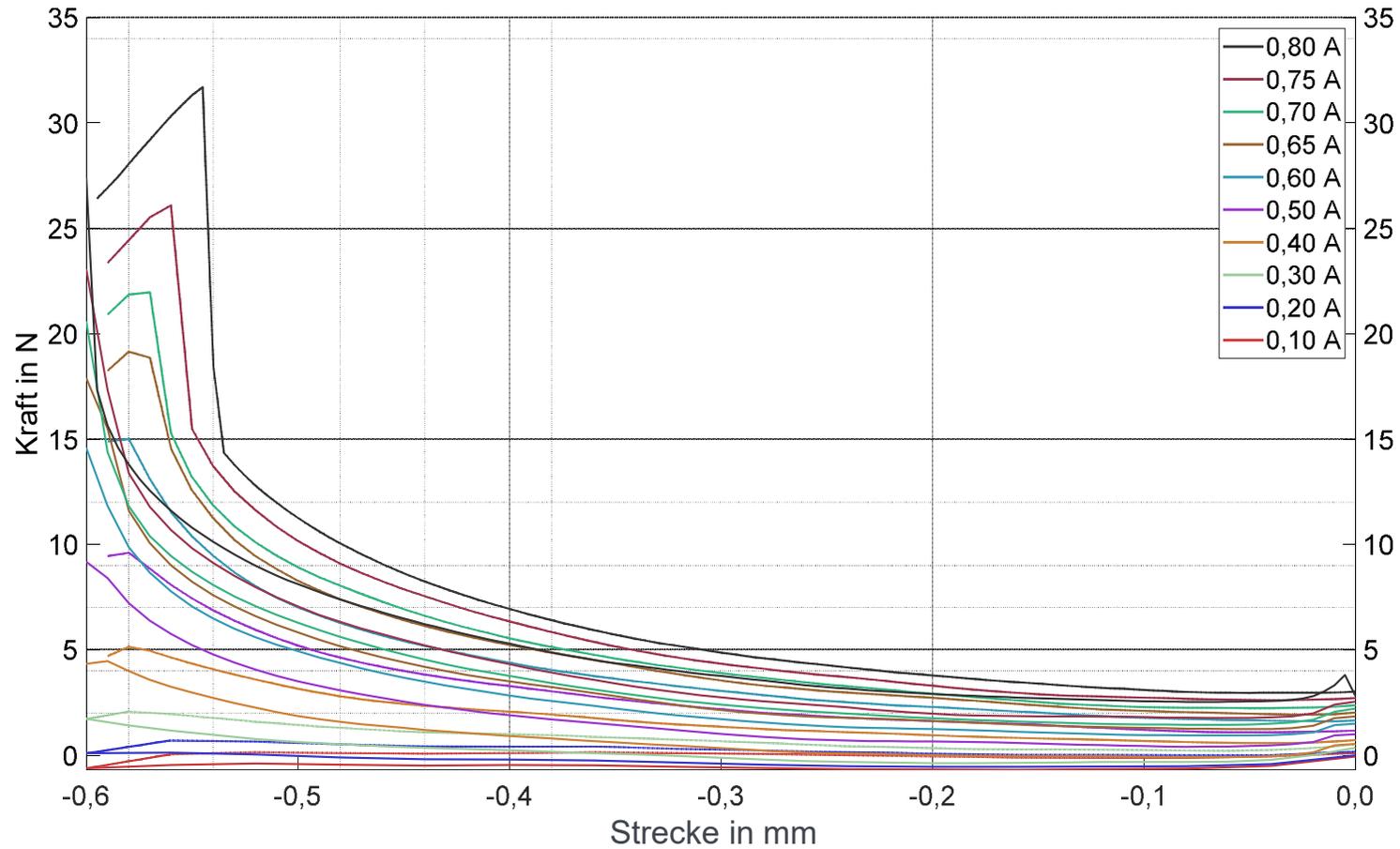
## Kraft-Weg-Kennlinien vom Stellaktor

$I = 0,80 \text{ A}$



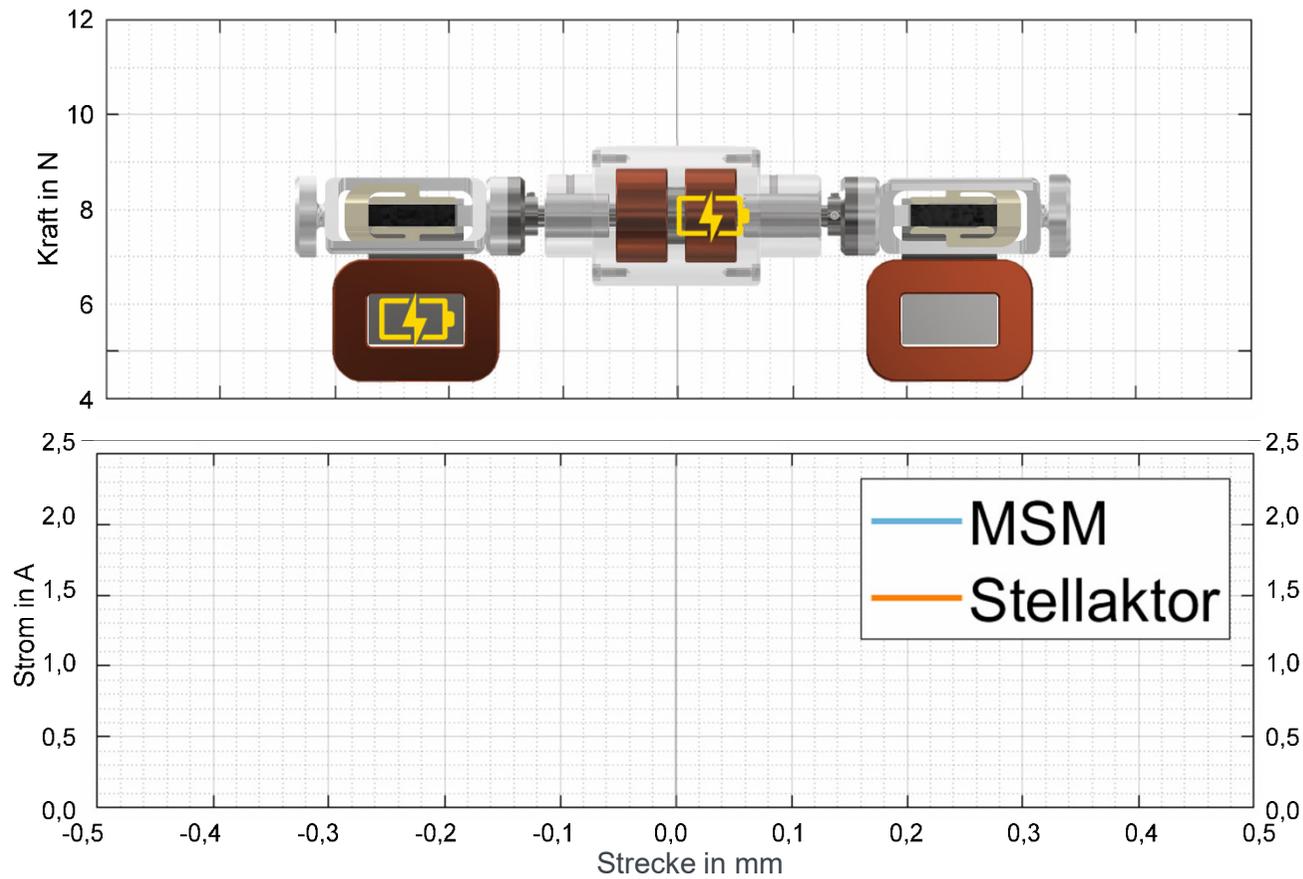
# Messungen und Validierung

## Kraft-Weg-Kennlinien vom Stellaktor



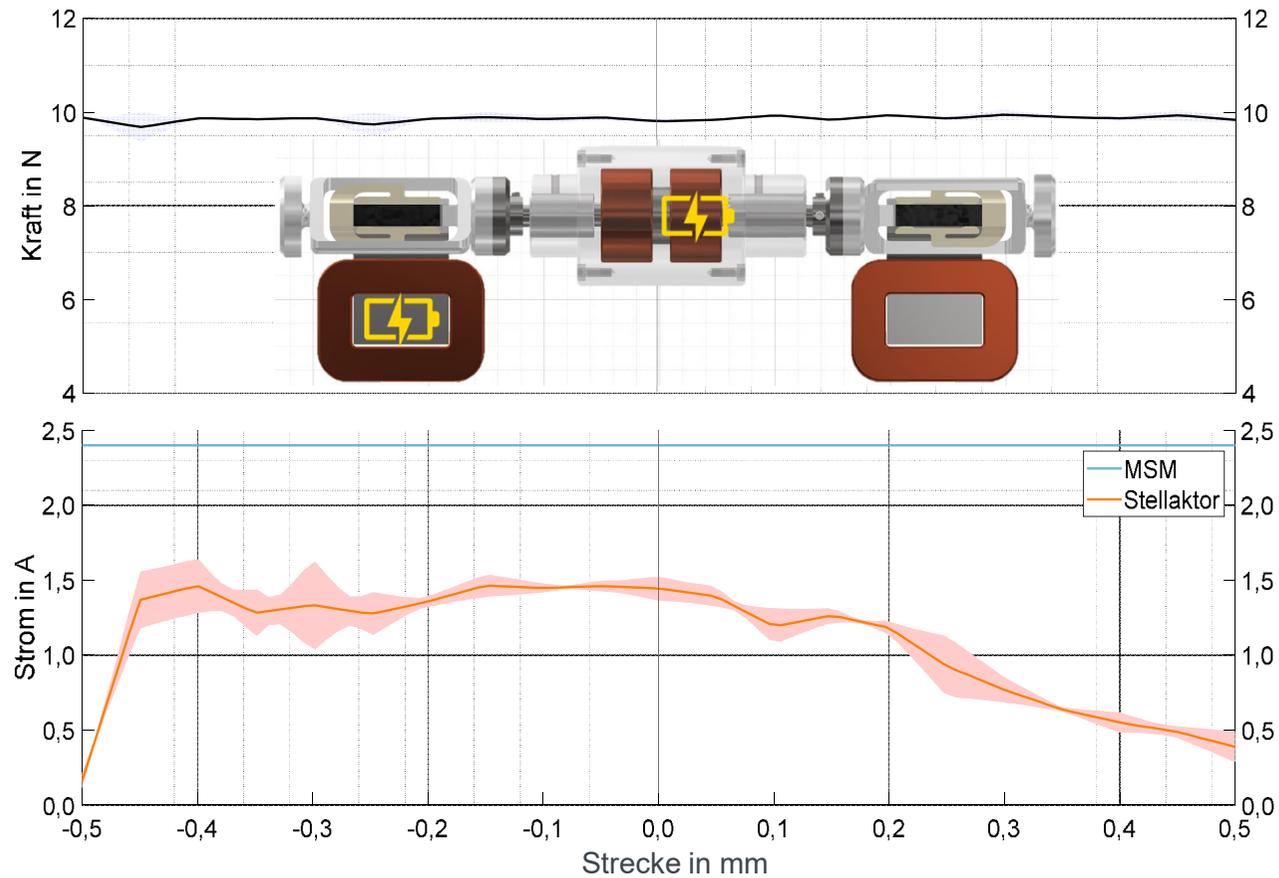
# Inbetriebnahme

## Ansteuerungsstrategie



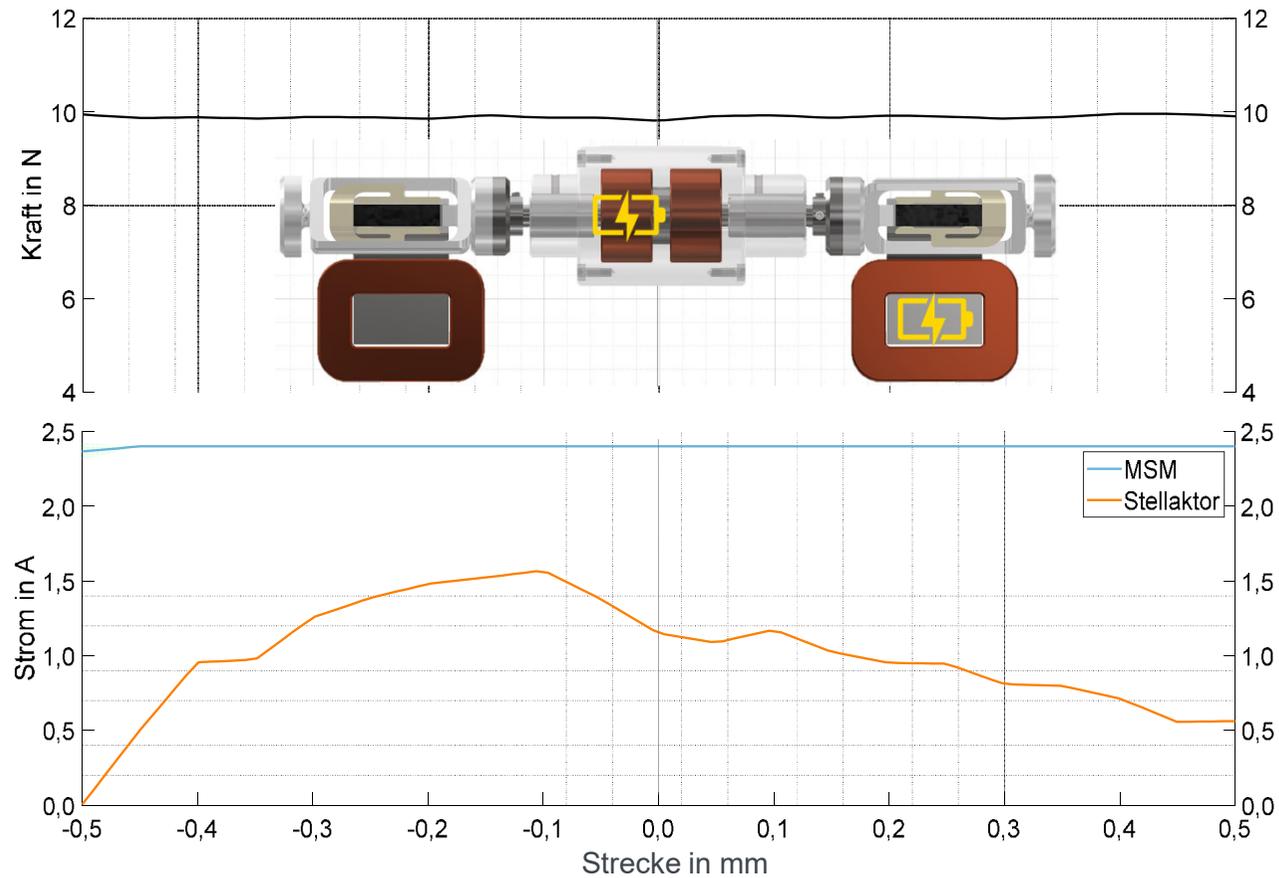
# Inbetriebnahme

## Dynamische Ansteuerungsstrategie – MSM-101



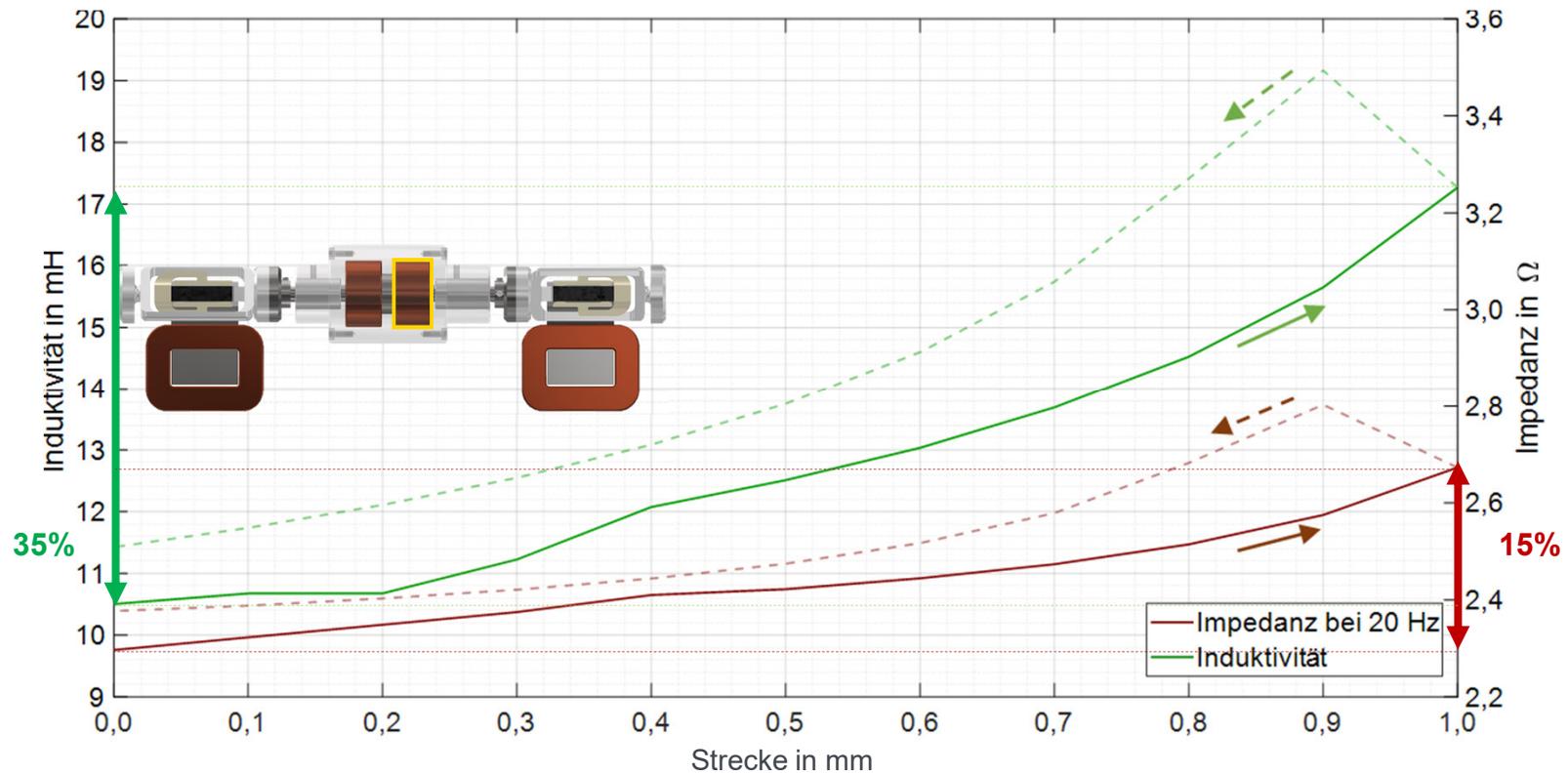
# Inbetriebnahme

## Dynamische Ansteuerungsstrategie – MSM-105



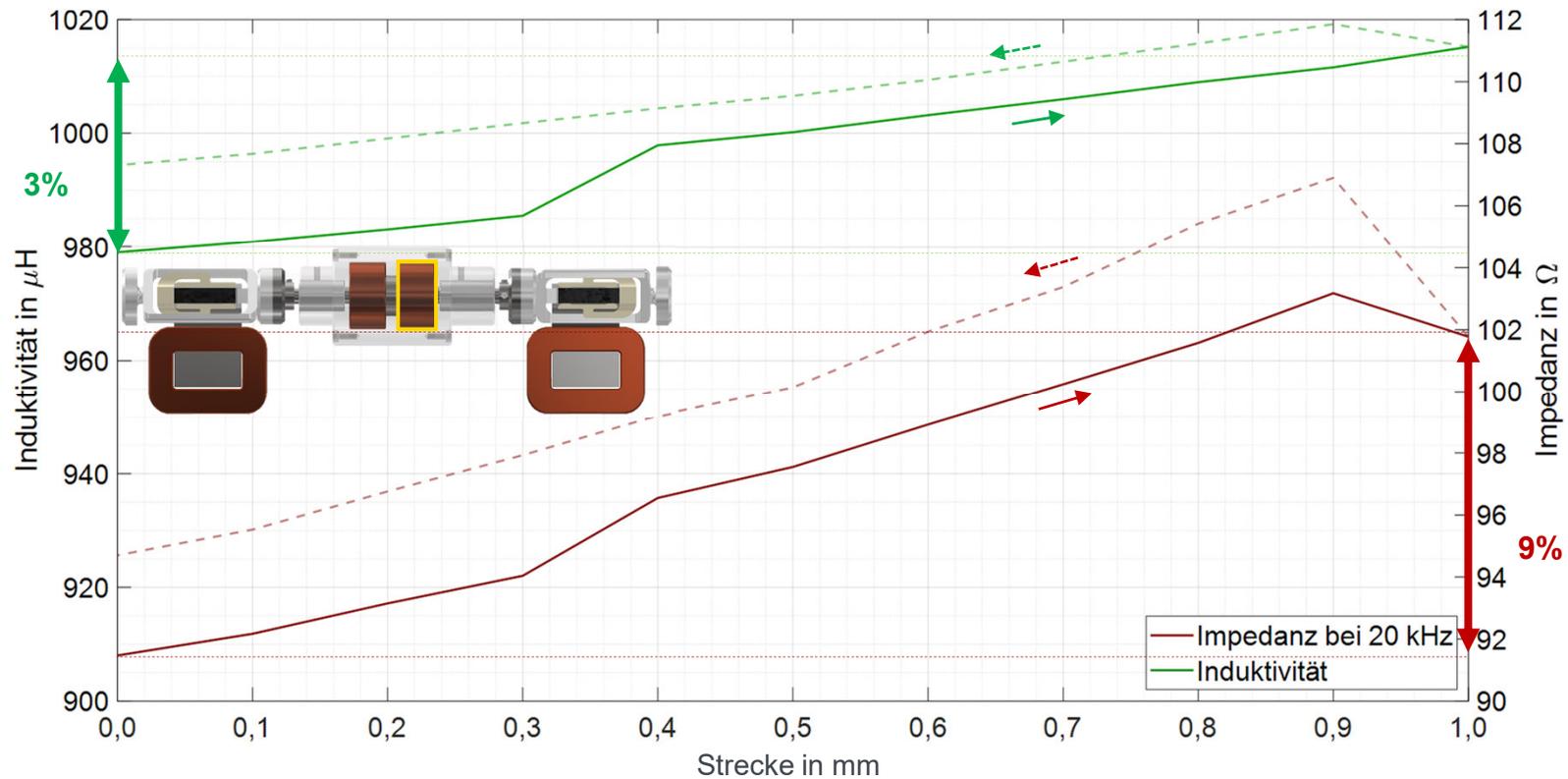
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – Stellaktor-Spulen (20 Hz)



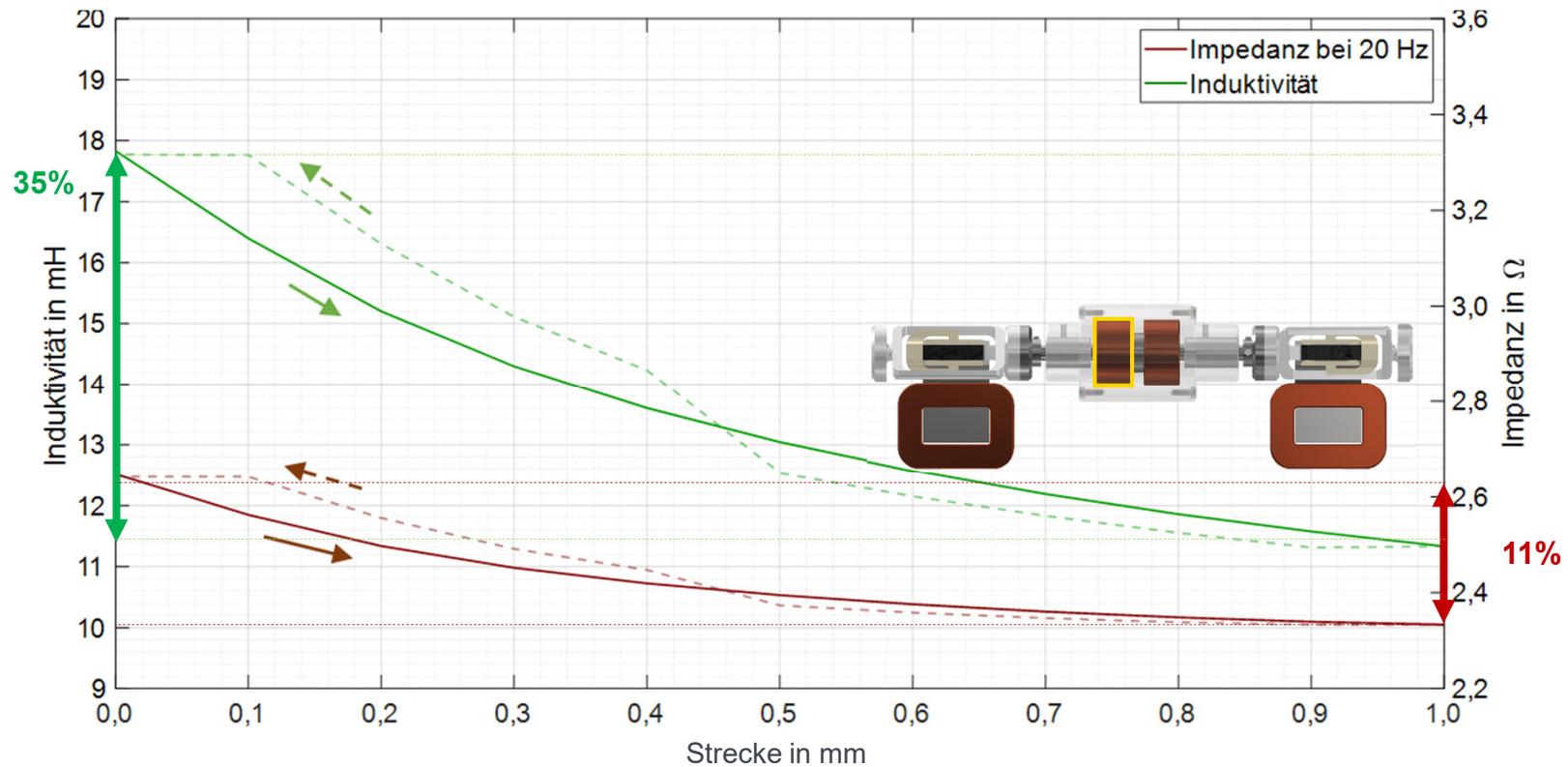
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – Stellaktor-Spulen (20 kHz)



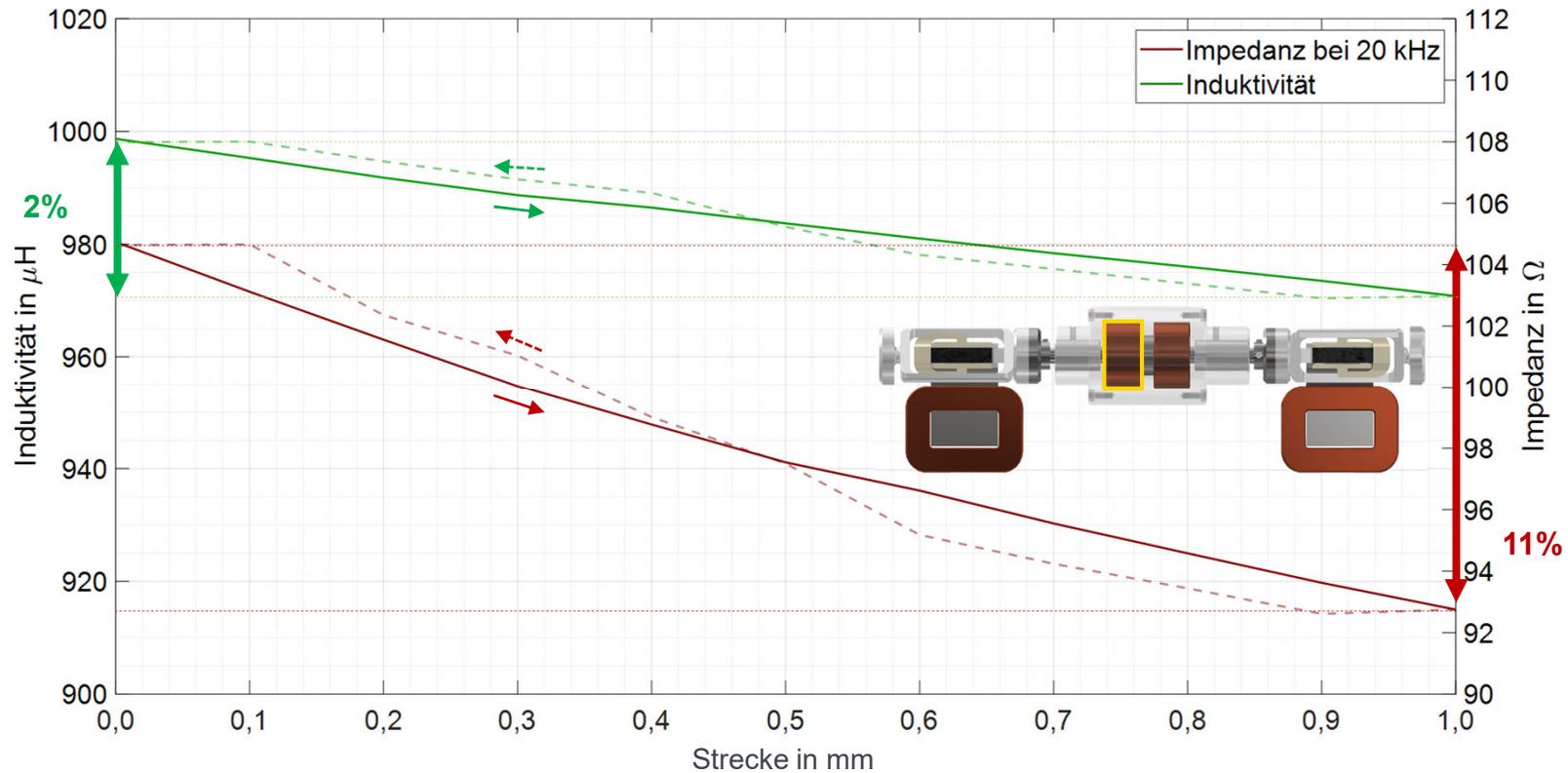
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – Stellaktor-Spulen (20 Hz)



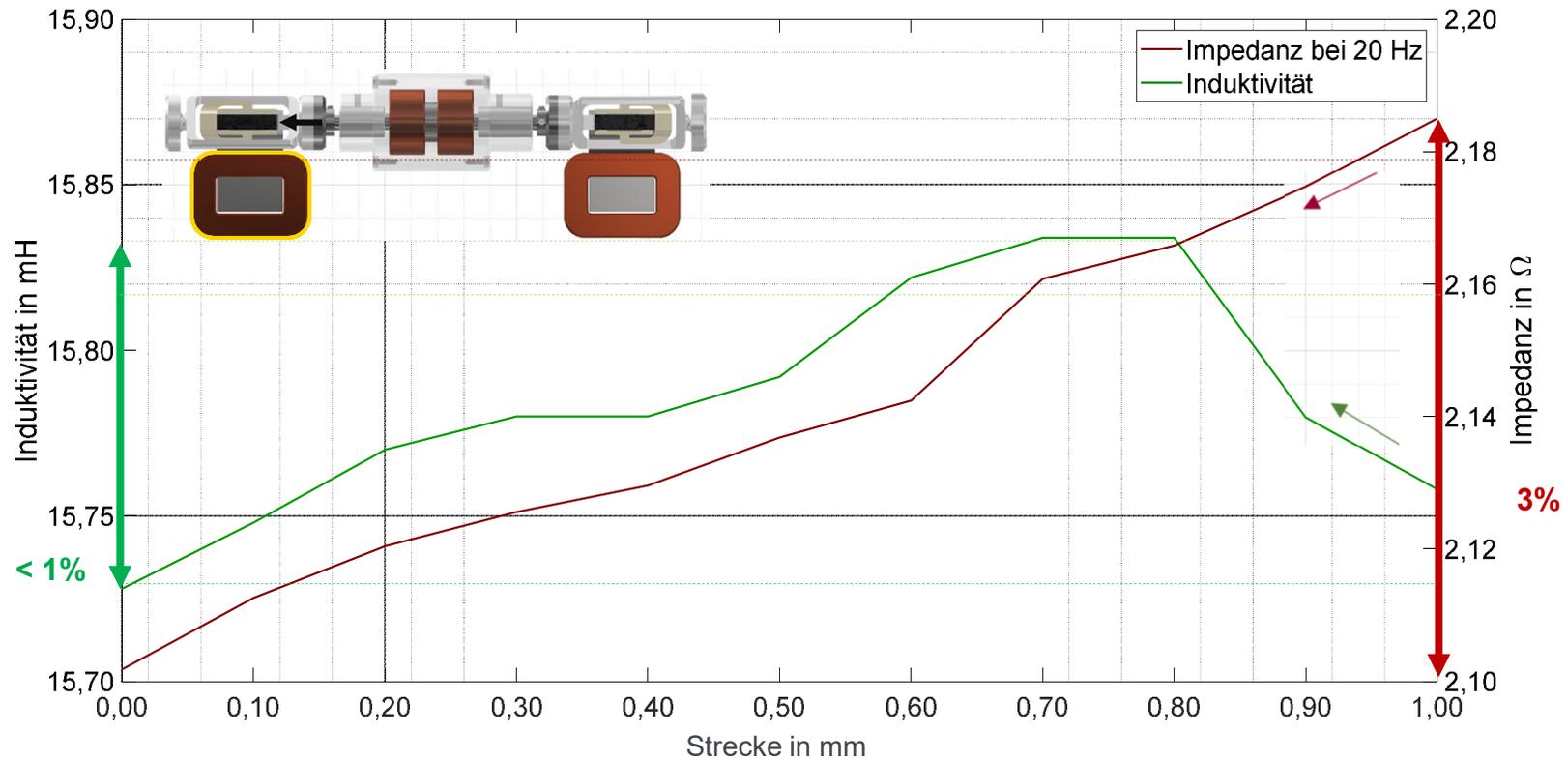
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – Stellaktor-Spulen (20 kHz)



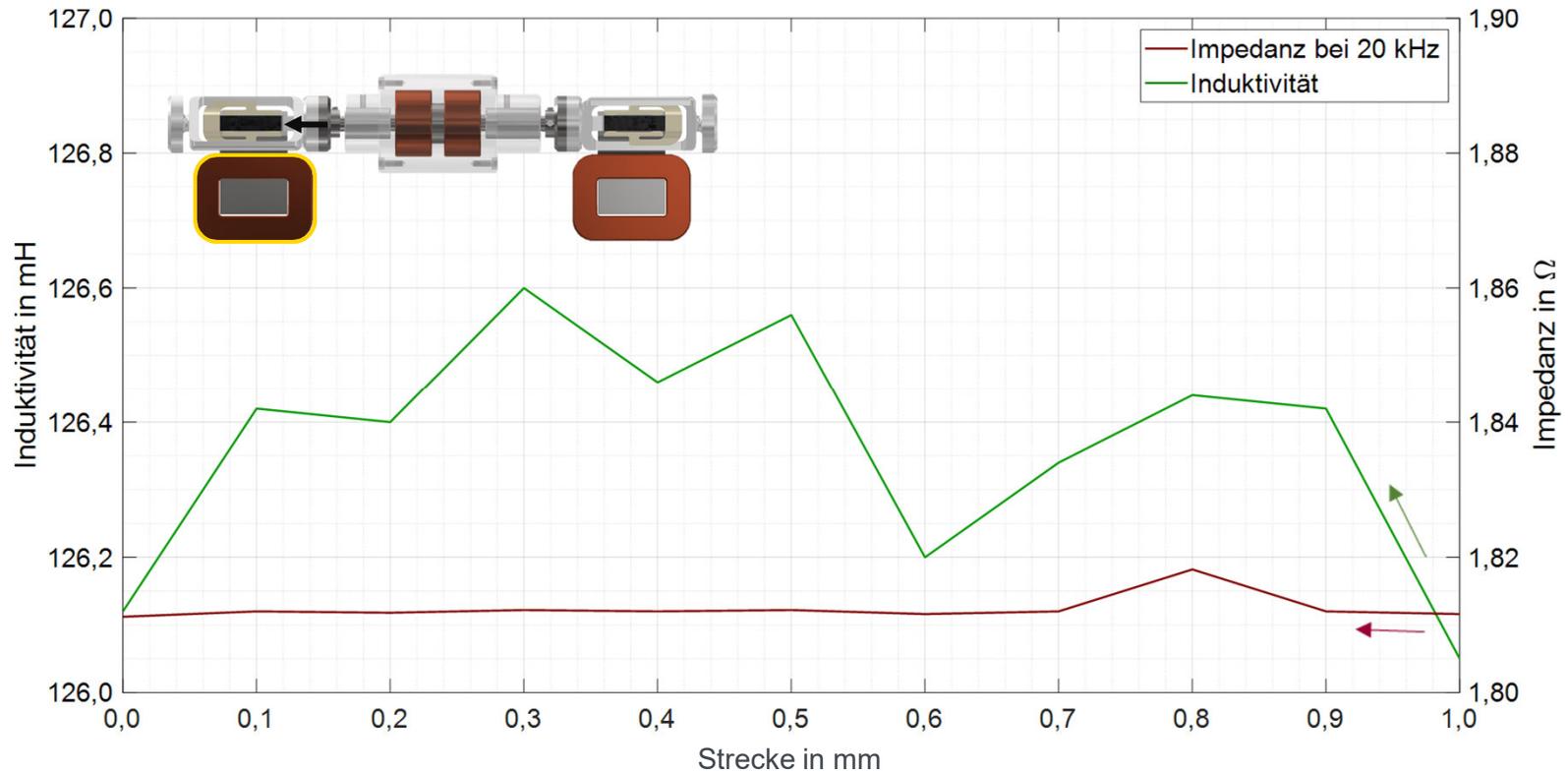
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – MSM-101-Spule (20 Hz)



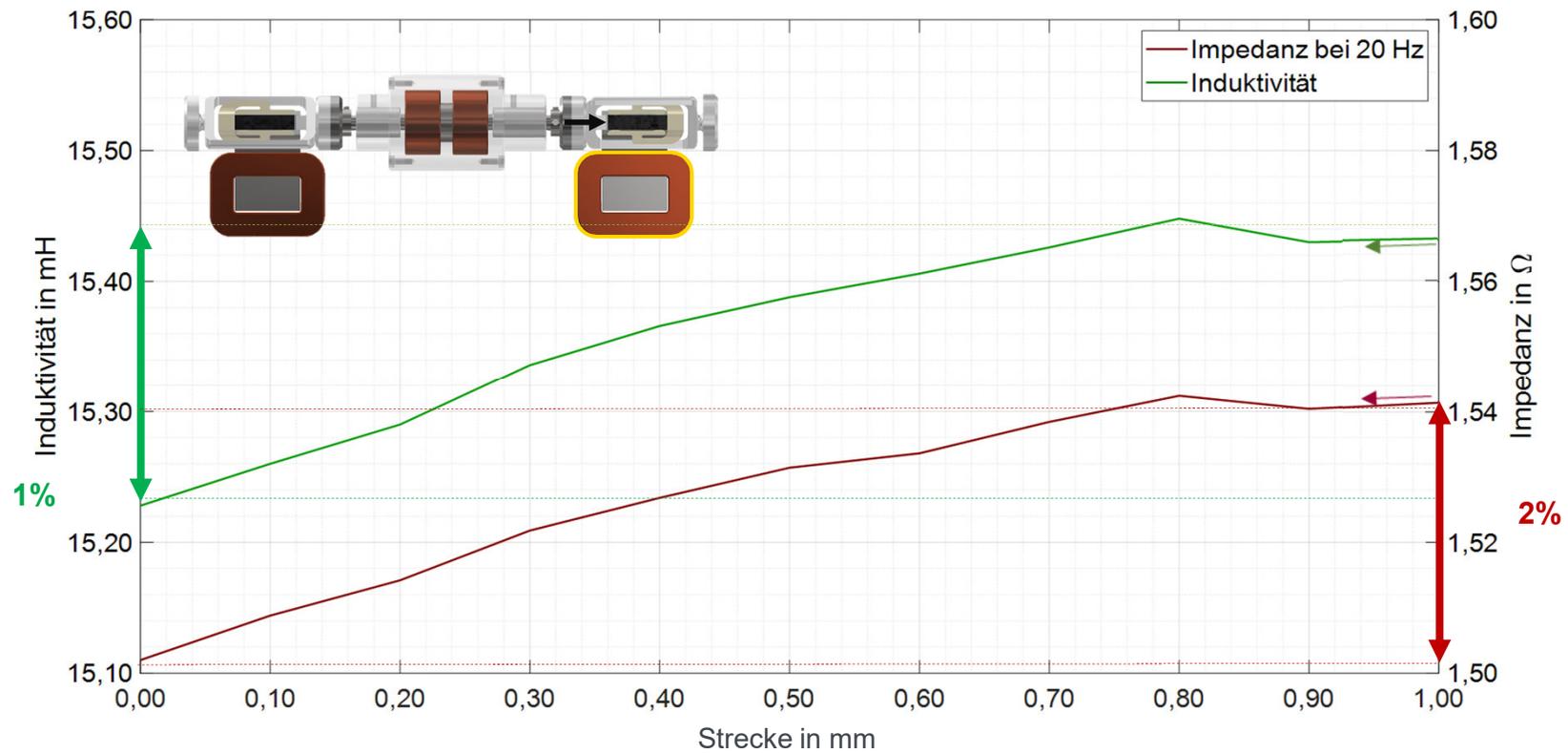
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – MSM-101-Spule (20 kHz)



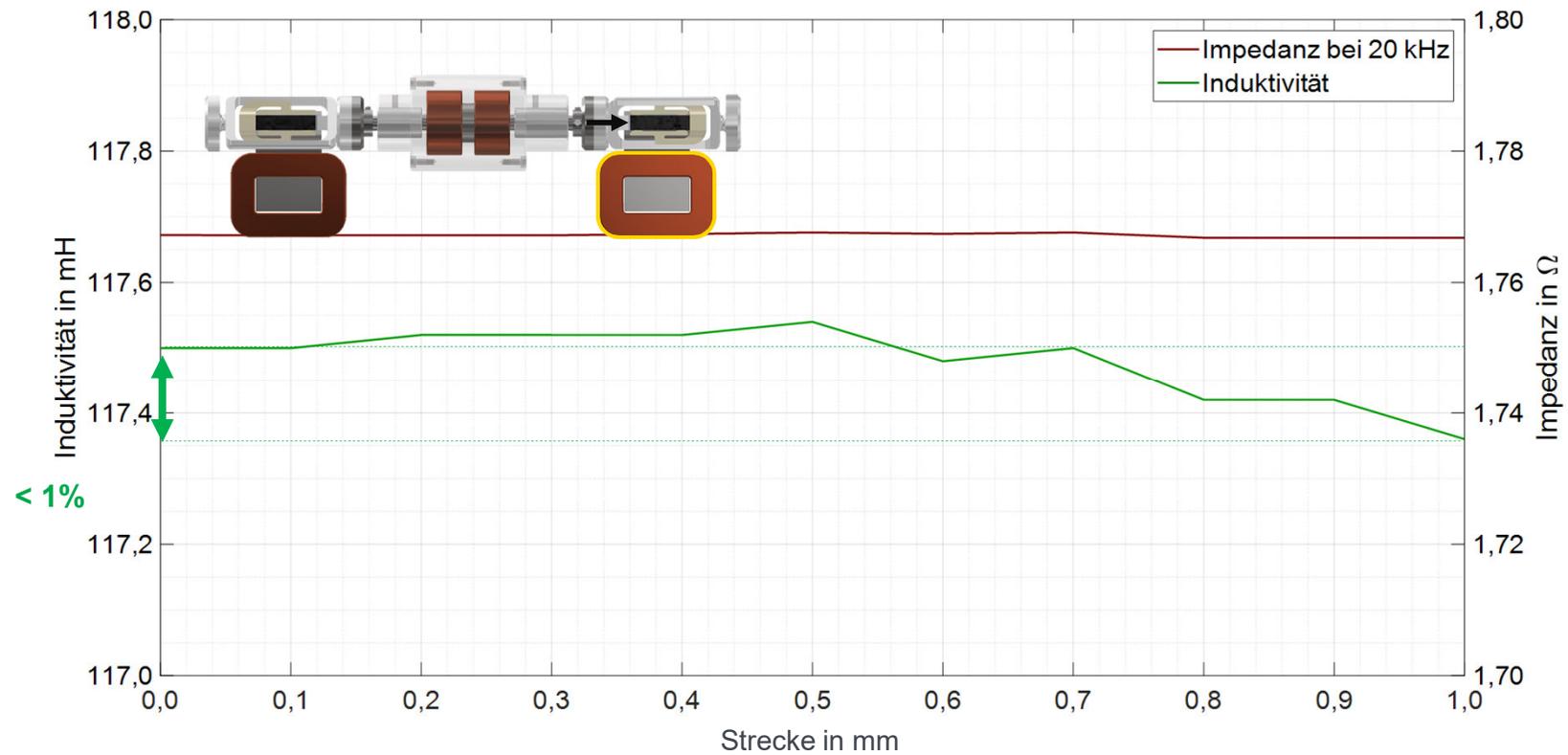
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – MSM-105-Spule (20 Hz)



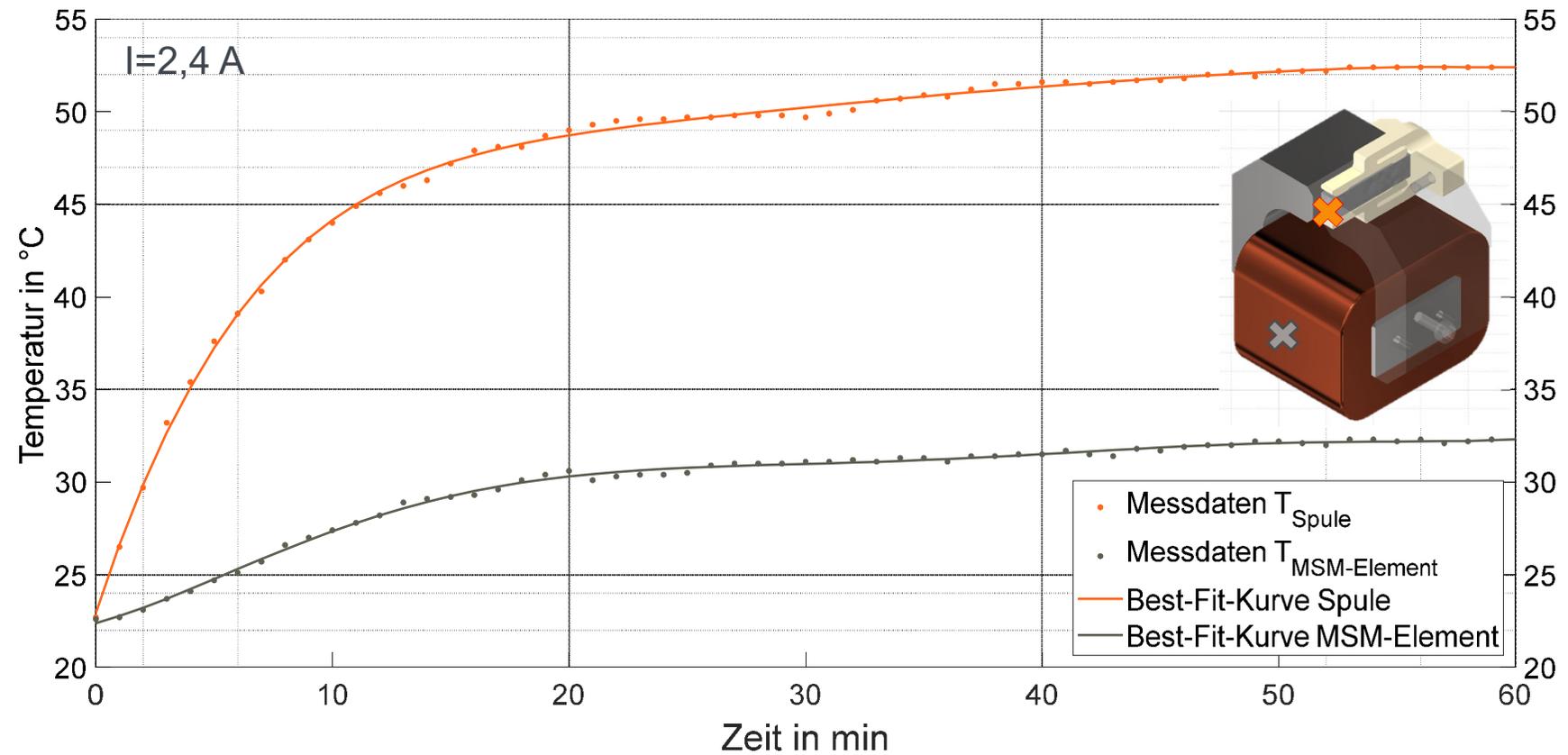
# Inbetriebnahme

## Sensorische Eigenschaften – MSM-105-Spule (20 kHz)



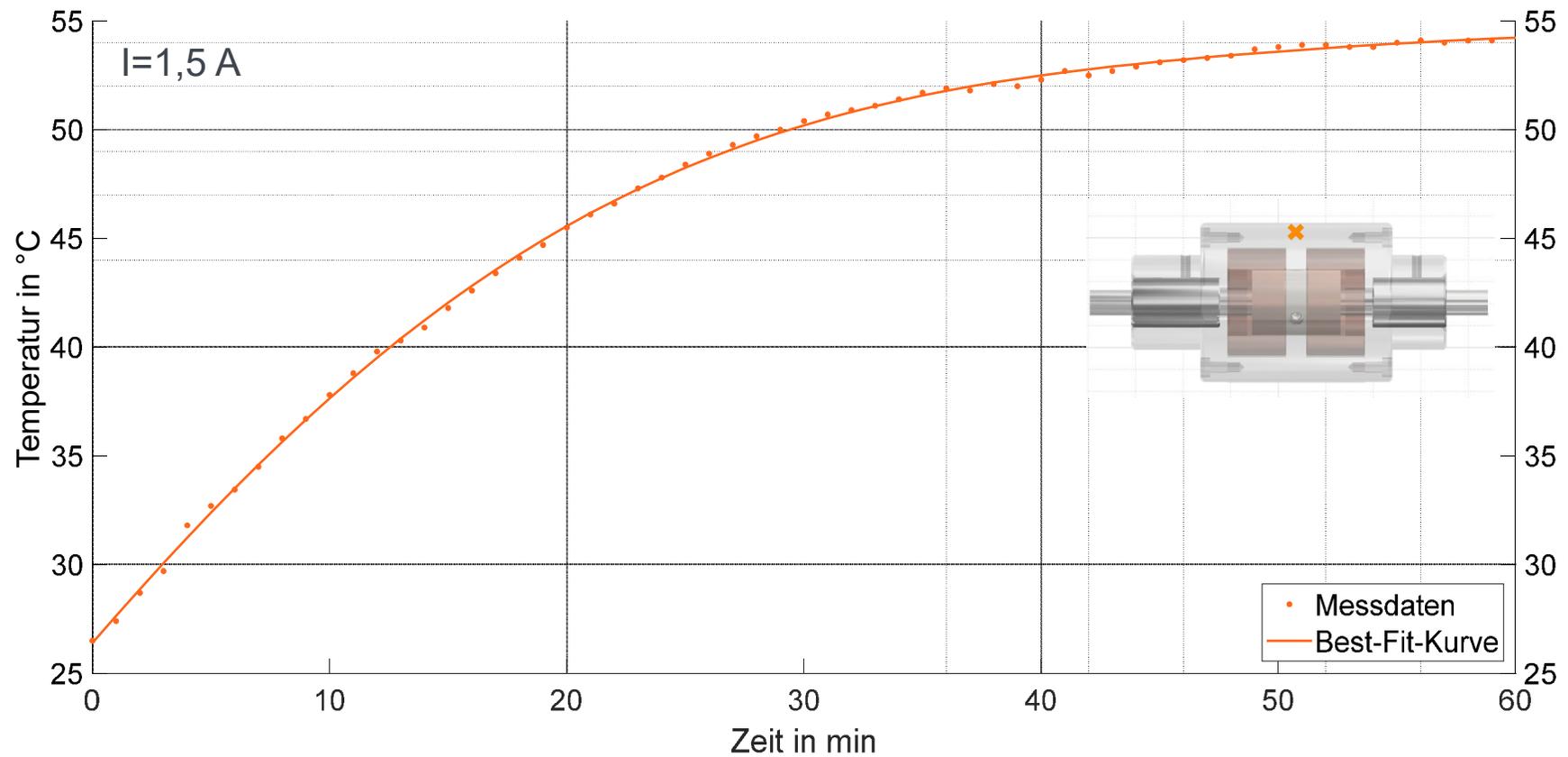
# Inbetriebnahme

## Temperaturentwicklung – MSM-Aktor



# Inbetriebnahme

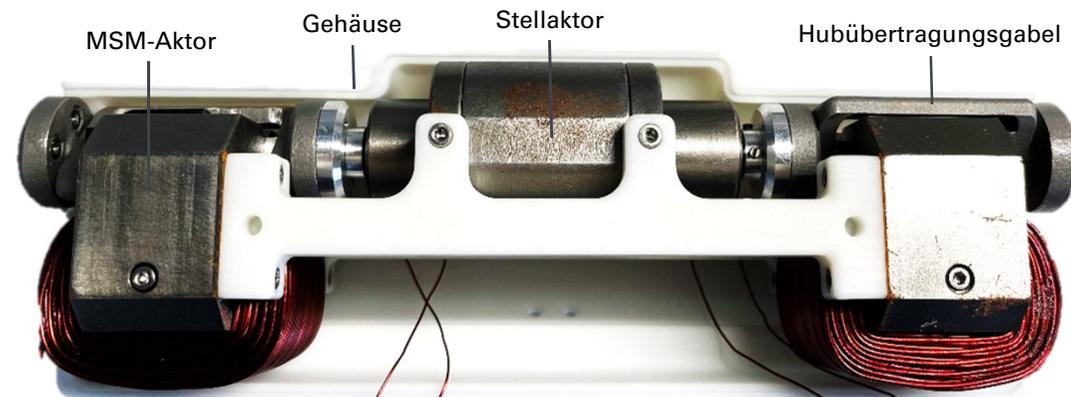
## Temperaturentwicklung – Stellaktor



# Zusammenfassung und Ausblick

## Aktorsystem

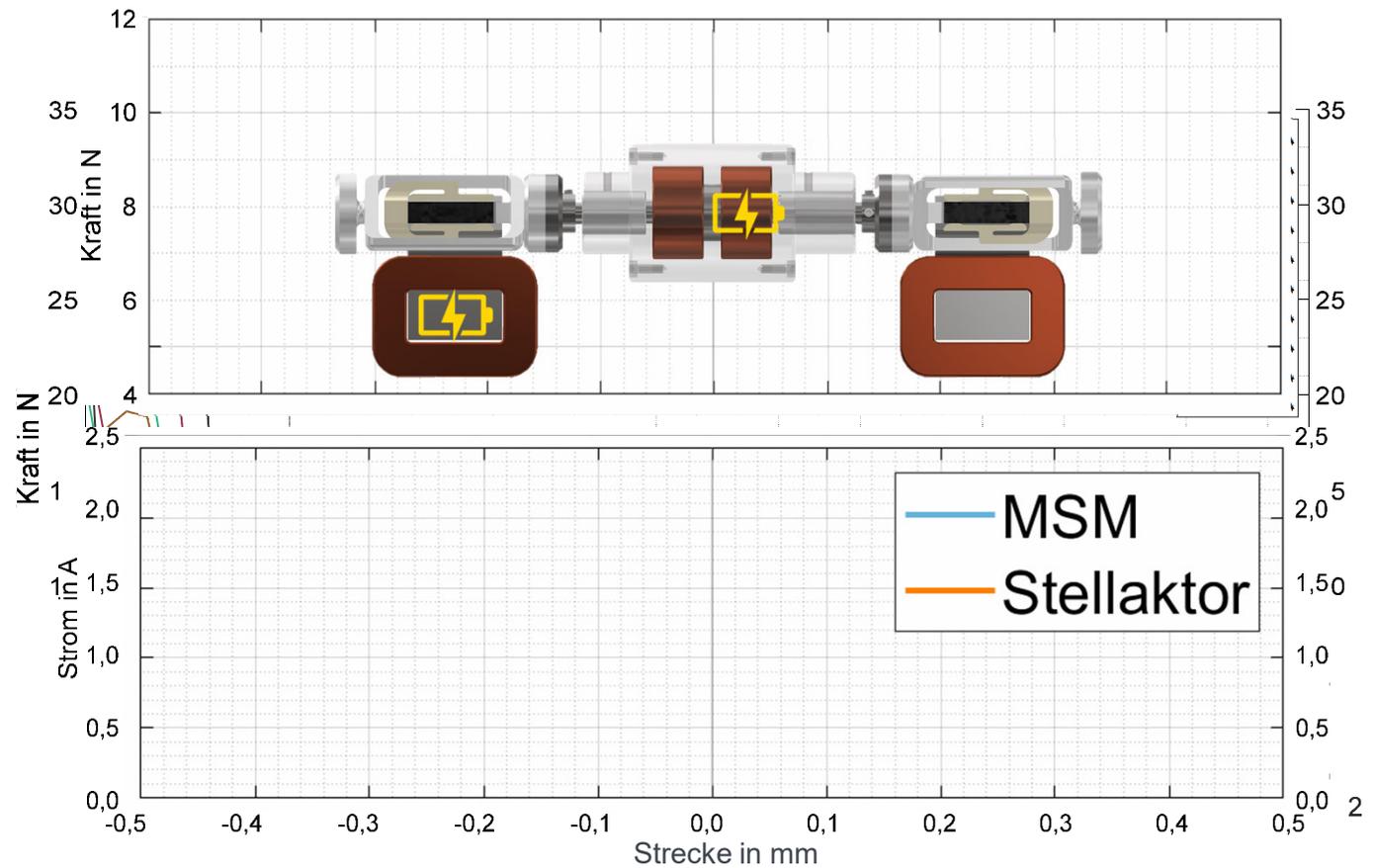
- Linearbewegung
- $F_{MAX} = 10 \text{ N}$
- Passive Haltekraft = 5 - 10 N
- Aktive Haltekraft = 30 N
- Gesamthubstrecke = 1 mm



# Zusammenfassung und Ausblick

## Messungen

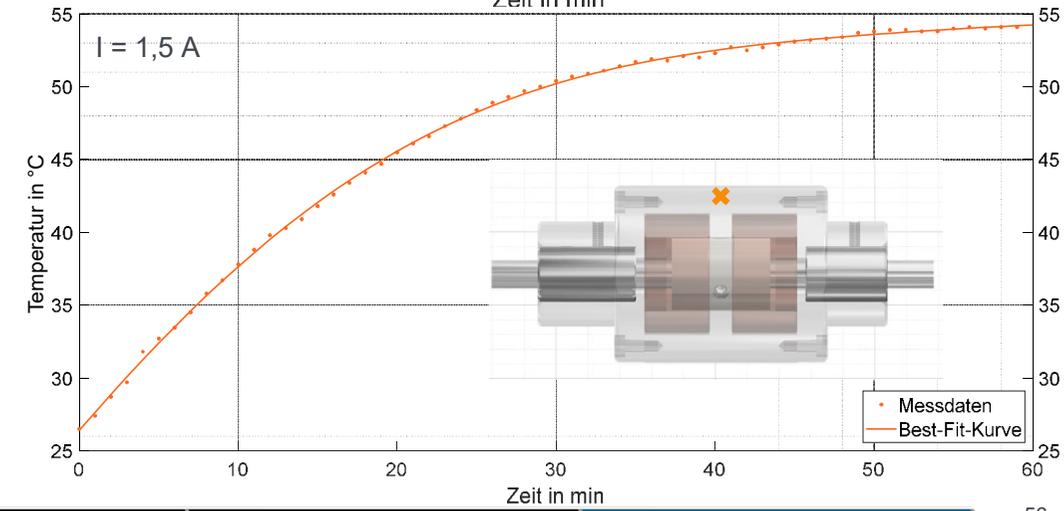
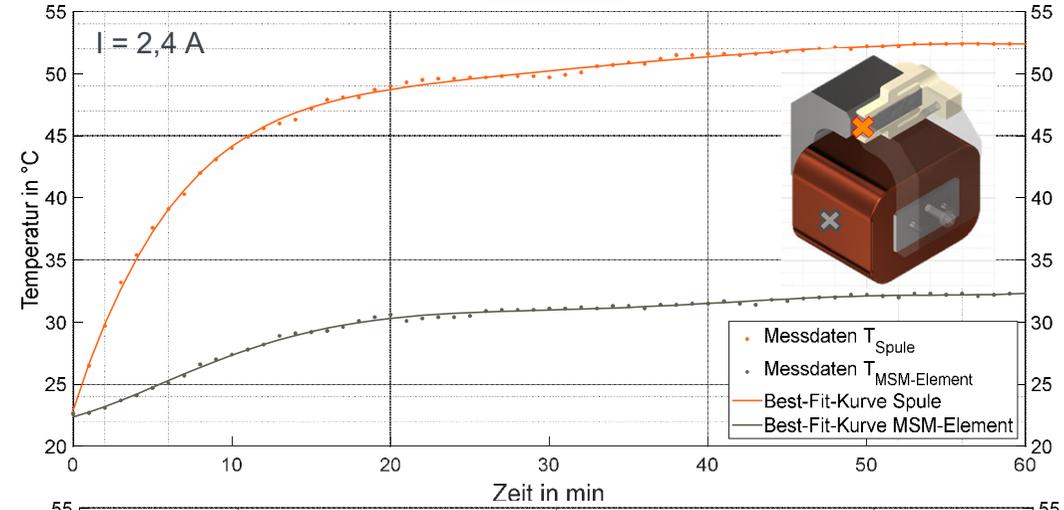
- MSM-Aktor
- Stellaktor
- Aktorsystem



# Zusammenfassung und Ausblick

## Dauerbetrieb

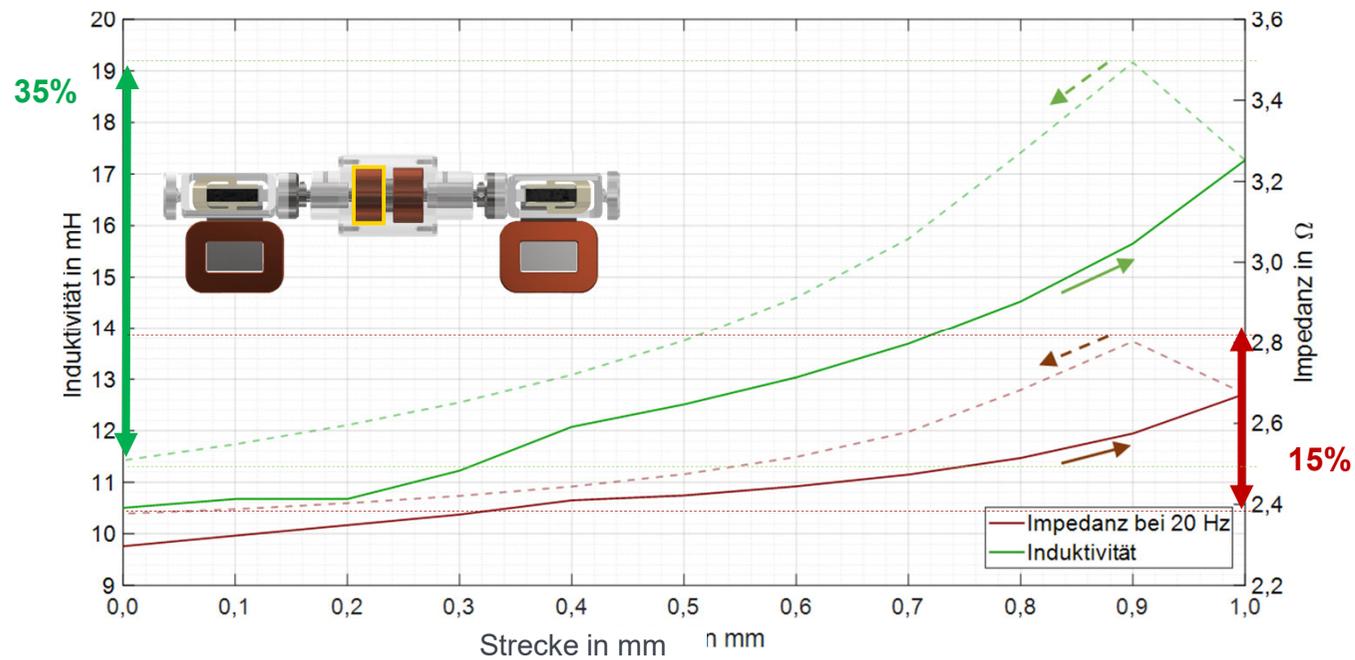
- Temperaturentwicklung
  - MSM ( $J_{MAX} = 4,7 \text{ A/mm}^2$ )
  - Stellaktor ( $J_{MAX} = 11,9 \text{ A/mm}^2$ )



# Zusammenfassung und Ausblick

## Sensorische Eigenschaften

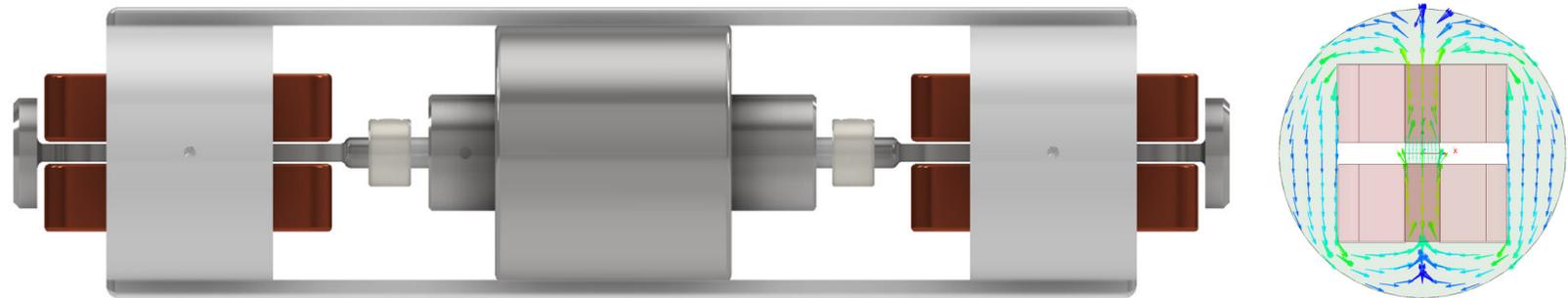
- Induktivitätsänderung
- Impedanzänderung



# Zusammenfassung und Ausblick

## Weitere Schritte

- Kompakteres Design
- Regelung
- Sensorik



## Quellen

[1]: <https://www.imt.uni-stuttgart.de>

[2]: <https://www.iu.de>

[3]: <https://www.kleinhenz-fries-metall.de>

[4]: <https://www.ikff.uni-stuttgart.de>

[5]: <https://www.sciencedirect.com/>

[6]: E. Stephan, „A Novel Concept for Strain Sensing“, IEEE SENSORS JOURNAL, p. 2683, NOV 2011



**Universität Stuttgart**



**Universität Stuttgart**

Institut für Konstruktion und Fertigung in der  
Feinwerktechnik

**Vielen Dank!**



**Ali Youssef**

E-Mail [st178733@stud.uni-stuttgart.de](mailto:st178733@stud.uni-stuttgart.de)

[www.ikff.uni-stuttgart.de](http://www.ikff.uni-stuttgart.de)

Universität Stuttgart  
Institut für Konstruktion und  
Fertigung in der Feinwerktechnik  
Pfaffenwaldring 9  
70569 Stuttgart



**Fragen ?**