

Universität Stuttgart

Institut für Konstruktion und Fertigung in der  
Feinwerktechnik

Innovation gemeinsam gestalten



Deutsche  
Gesellschaft für  
Feinwerktechnik e.V.

# Funktionsintegrierte feinwerktechnische Aktoren

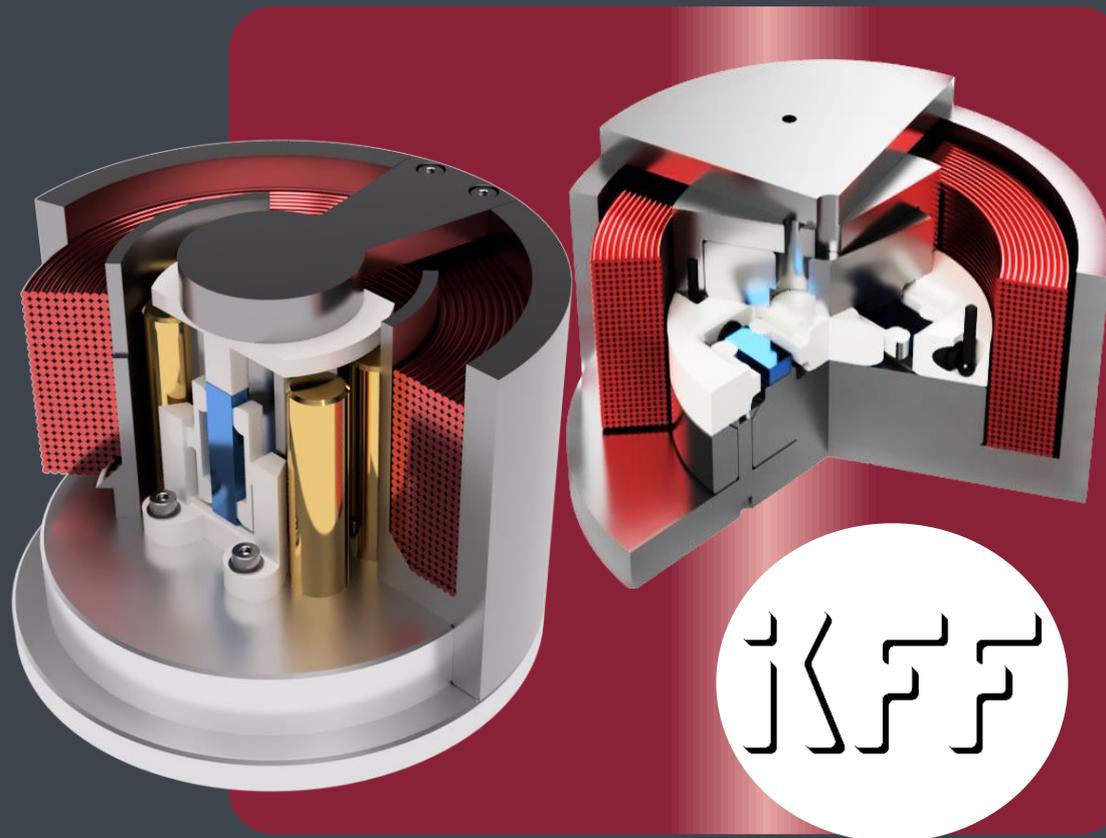
Manuel Mauch, M. Sc.  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler  
IKFF Universität Stuttgart

DGFT-Tagung 2023

16. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“

16. + 17. November 2023

Dresden, Deutschland





# Agenda

- 1 Forschung und Lehre am IKFF, Universität Stuttgart
- 2 Motivation und Aufbau funktionsintegrierter Aktoren
- 3 Vorstellung MSM-Aktoren mit aktivem Polkern
- 4 Zusammenfassung der Ergebnisse
- 5 Fazit und Ausblick



# Institutsvorstellung IKFF, Universität Stuttgart





## Forschungsschwerpunkte IKFF, Universität Stuttgart

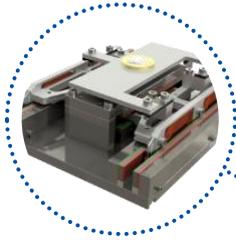
Induktive  
Energieübertragung



MSM-gesteuerter  
Reluktanzaktor



Magnetschwebe-  
antriebe



Spulentechnologie



Smart  
Actuators

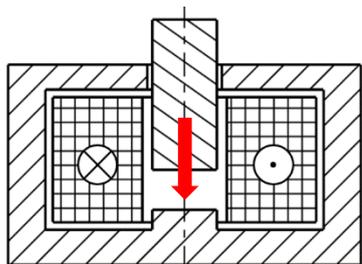


# Präzisions- gerätetechnik

Piezoelektrische  
Antriebe

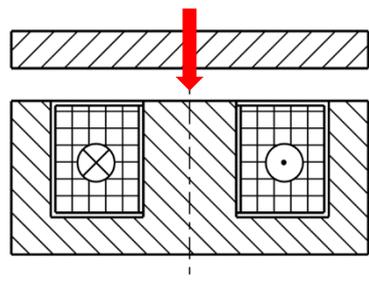


Hubaktor:

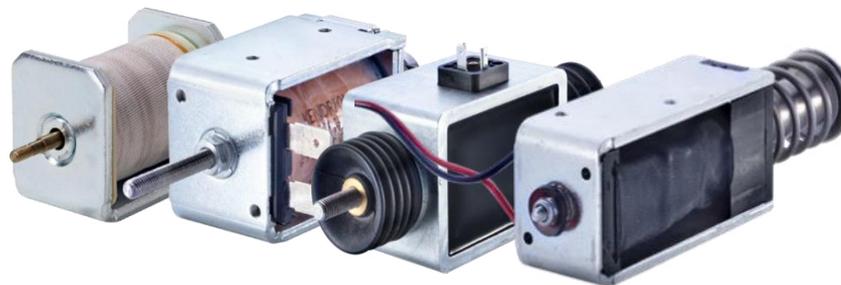


Hybrider  
 Aktor

Haftaktor:



Hubaktoren:

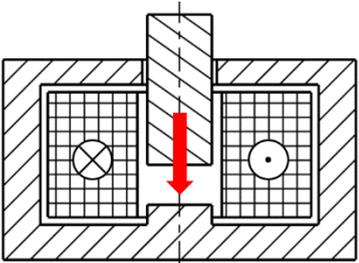


Haftaktoren:

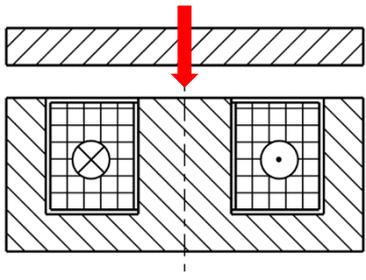


[www.kendrion.com](http://www.kendrion.com)

Hubaktor:



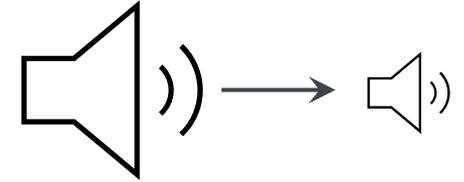
Haftaktor:



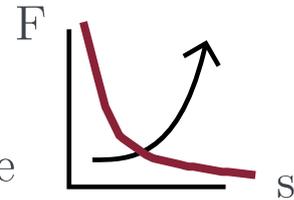
Hybrider  
 Aktor

## Funktionsintegration

Geräuschreduktion  
 während eines  
 Schaltvorgangs



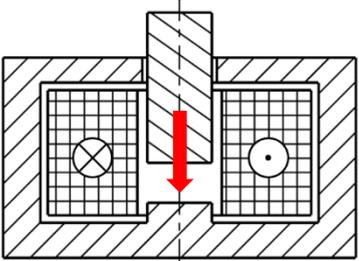
Vorteilhafte  
 Veränderung der  
 Kraft-Weg-Kennlinie



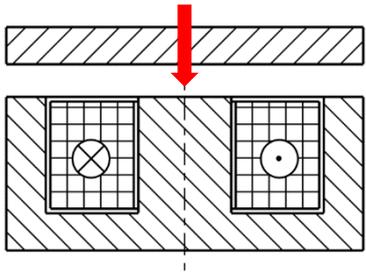
Steigerung der  
 Energieeffizienz



Hubaktor:



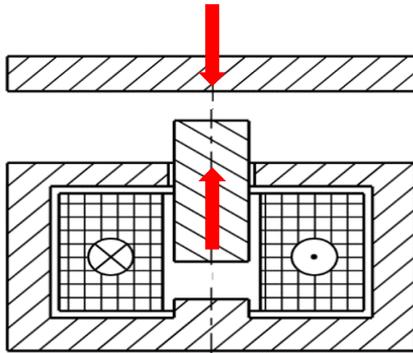
Haftaktor:



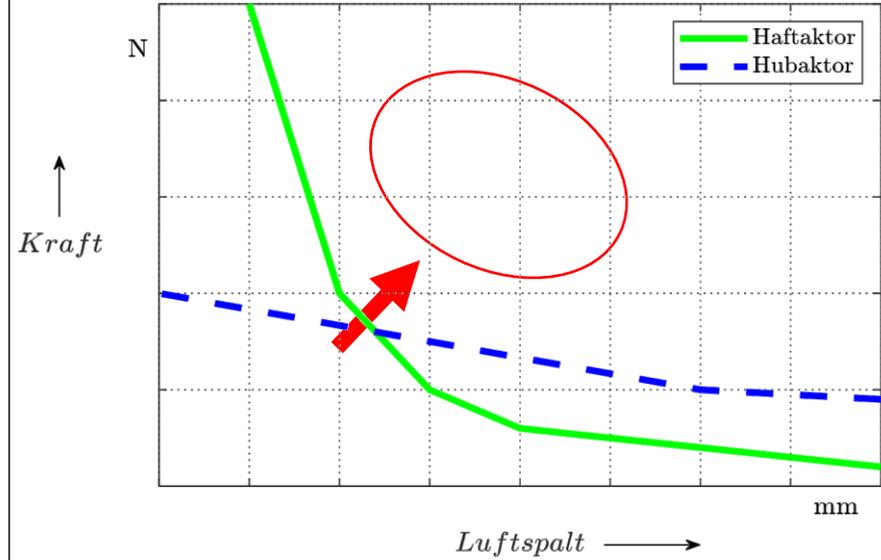
Hybrider  
 Aktor

Grundidee:

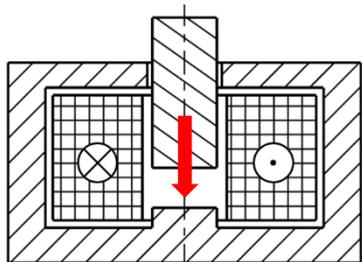
Kompromiss  
 (Hybrid) aus beiden  
 Aktoren



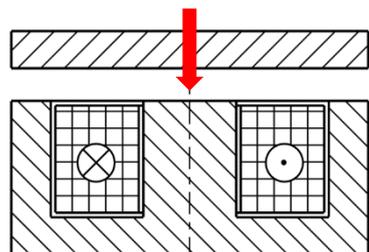
Vorteilhafte Veränderung der  
 Kraft-Weg-Kennlinie



Hubaktor:



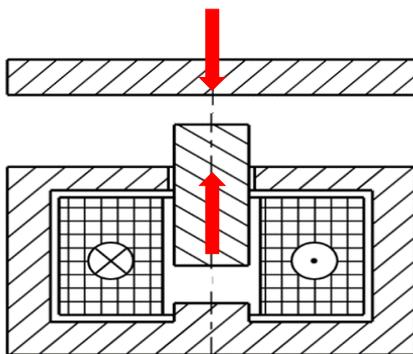
Haftaktor:



Hybrider  
 Aktor

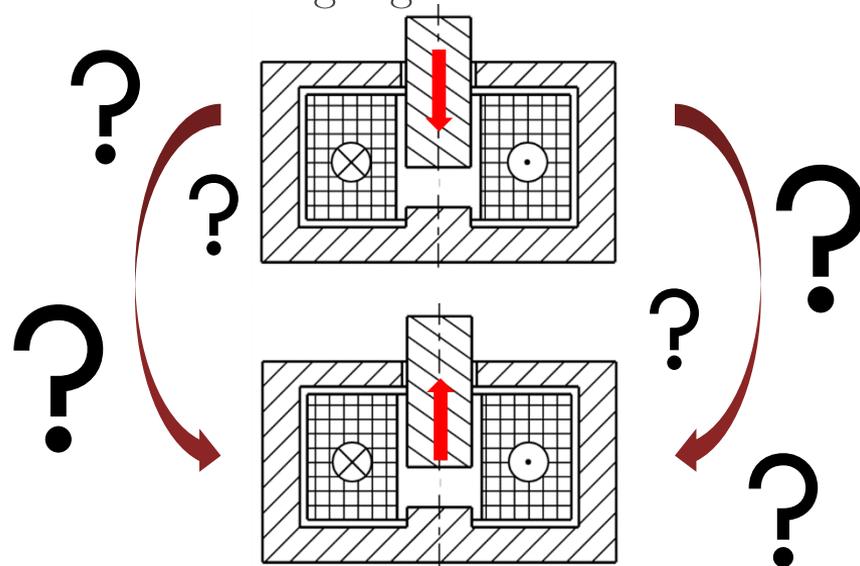
Grundidee:

Kompromiss  
 (Hybrid) aus beiden  
 Aktoren



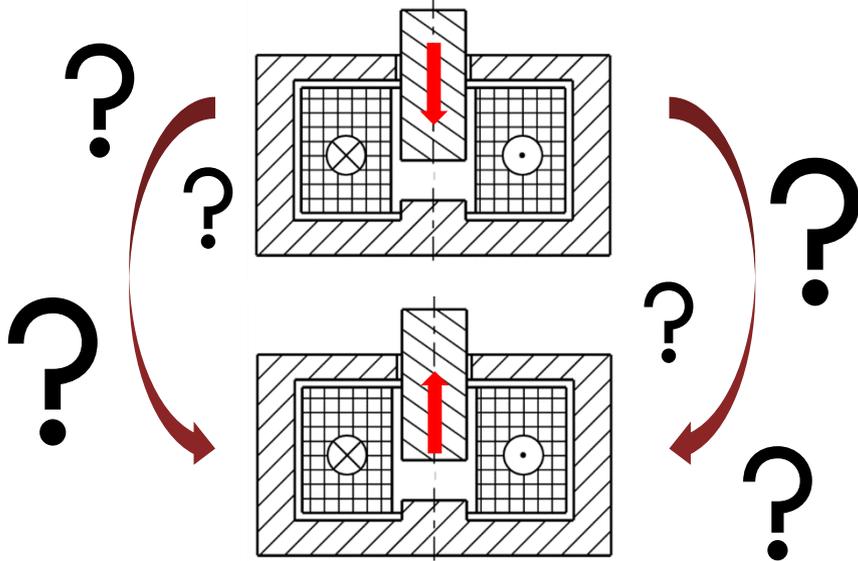
Schwierigkeit:

Umkehr der Kraftwirkung auf  
 den Kern für die aktive  
 Hubbewegung



## Schwierigkeit:

Umkehr der Kraftwirkung auf  
den Kern für die aktive  
Hubbewegung



## Ansatz:

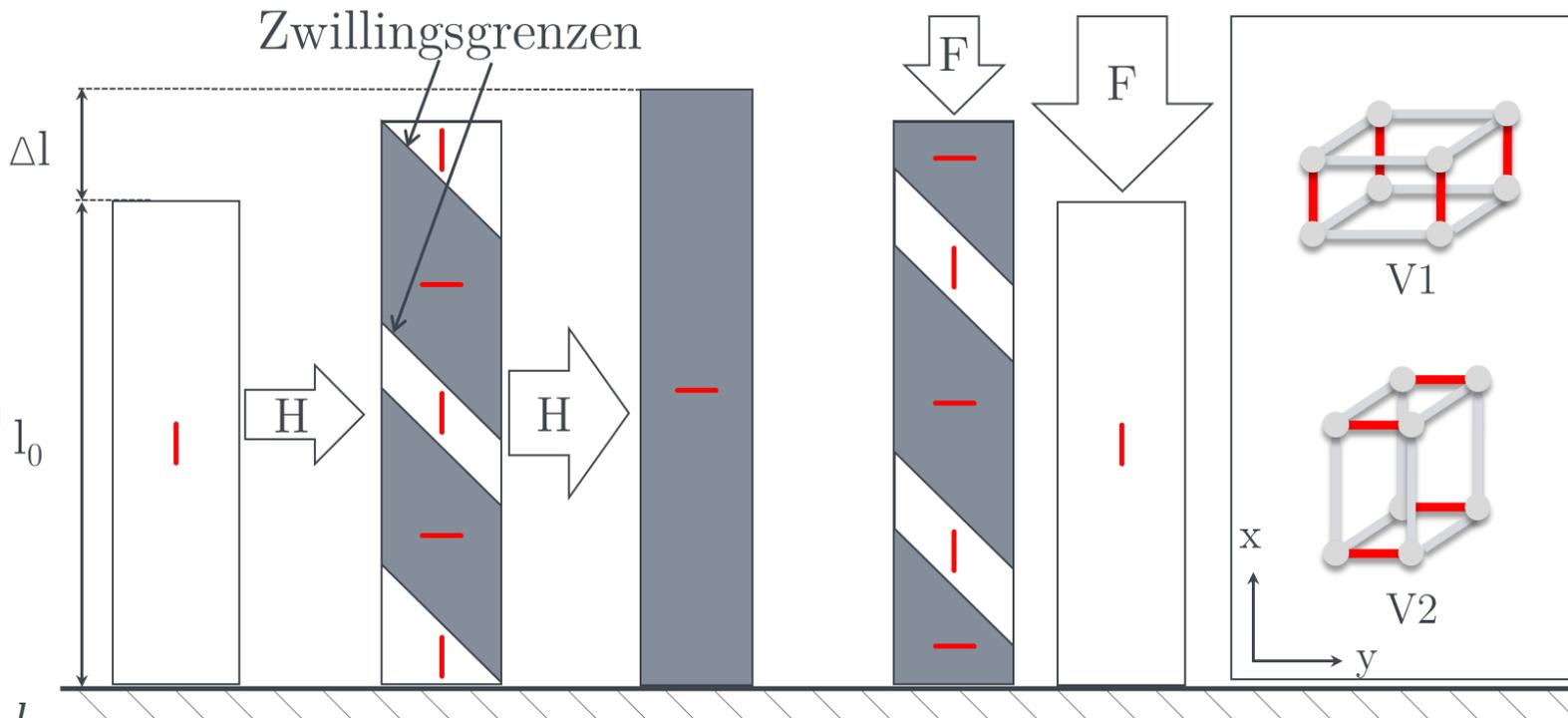
Aktiver Polkern durch Verwendung von  
magnetischen Formgedächtnislegierungen  
(MSM)





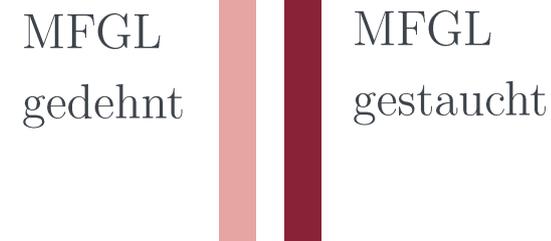
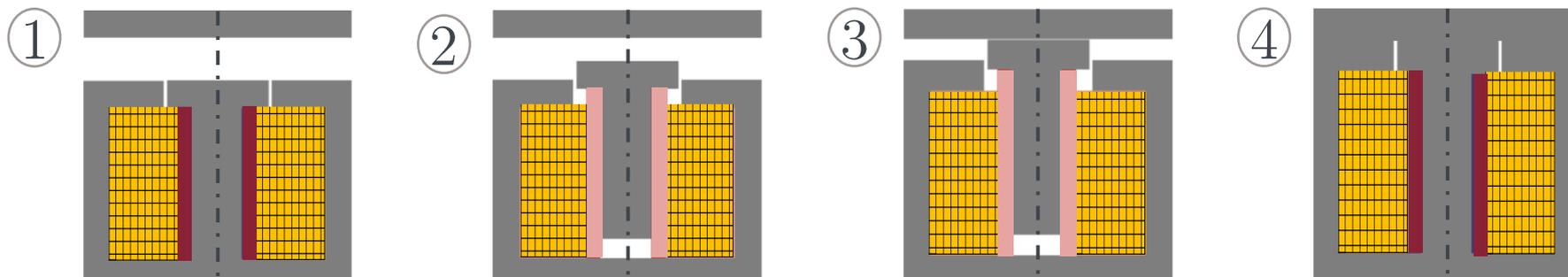
Material:  $Ni_2MnGa$

Dehnung um ca. 5-6 %  $l_0$



Quelle: Vgl. L. Riccardi (Position Control with Magnetic Shape Memory Actuators) und  
U. Gaitzsch (Struktureinstellung und magnetische Dehnung in polykristallinen magnetischen Ni-Mn-Ga-Formgedächtnislegierungen)

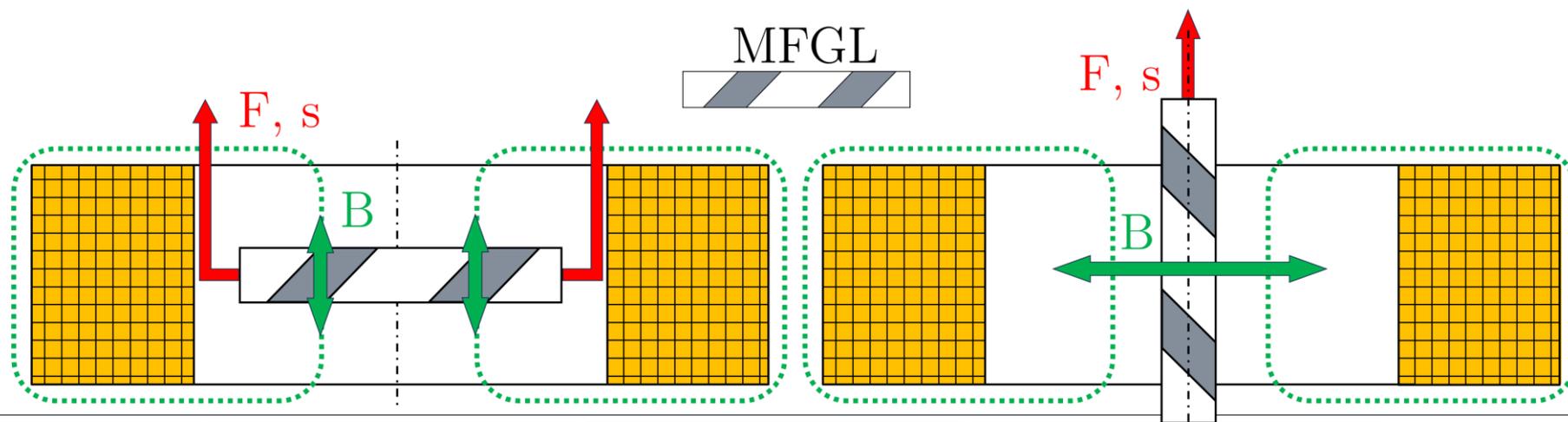
# Schaltzyklus eines hybriden Hub-Haft-Aktors



# Orientierungsmöglichkeiten der MFGL

## Horizontal

## Vertikal



Forschung und  
Lehre am IKFF

Motivation und  
Aufbau Aktoren

MSM-Aktoren mit  
aktivem Polkern

Zusammenfassung  
der Ergebnisse

Fazit und  
Ausblick

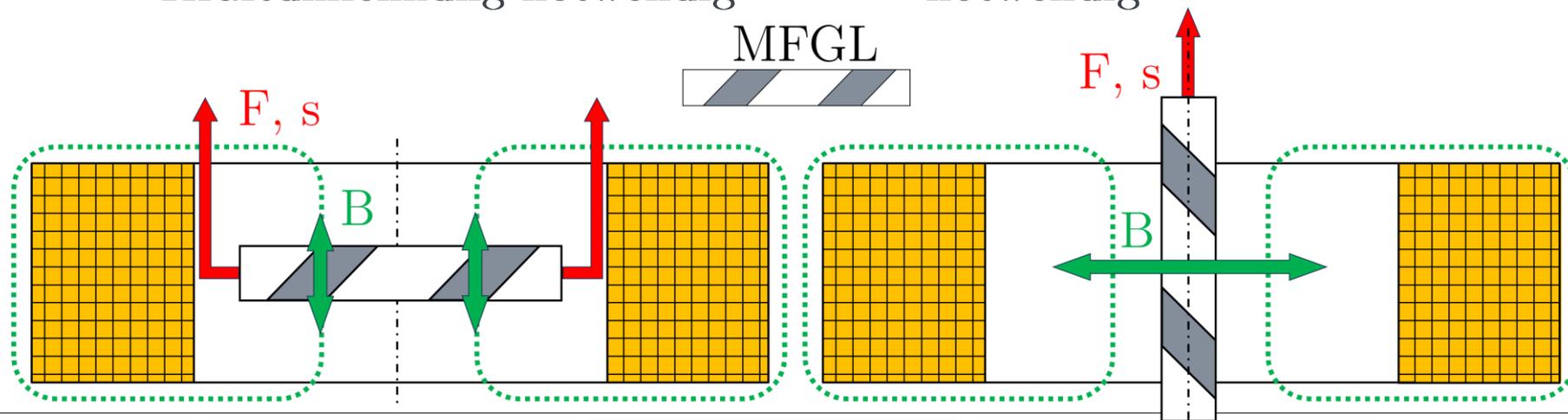
# Orientierungsmöglichkeiten der MFGL

## Horizontal

- Vorteilhafte Magnetfeldorientierung
- Kraftumlenkung notwendig

## Vertikal

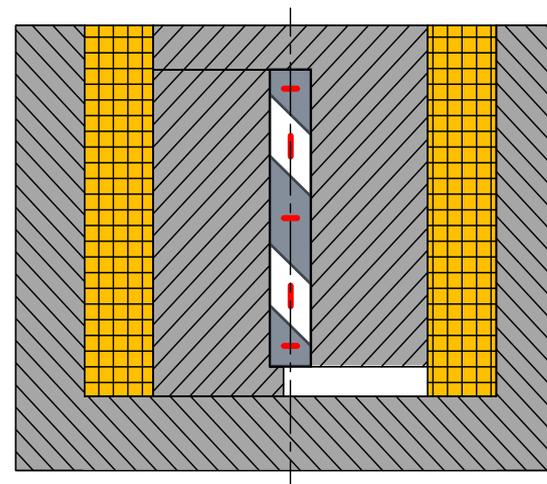
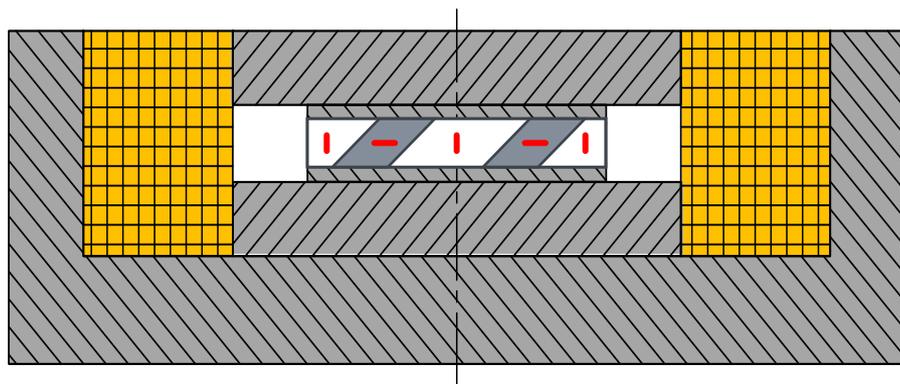
- Vorteilhafte Kraftwirkung
- Umlenkung des Magnetfeldes notwendig



# Orientierungsmöglichkeiten der MFGL

## Vertikal

## Horizontal





# Vertikaler Prototyp



Forschung und  
Lehre am IKFF

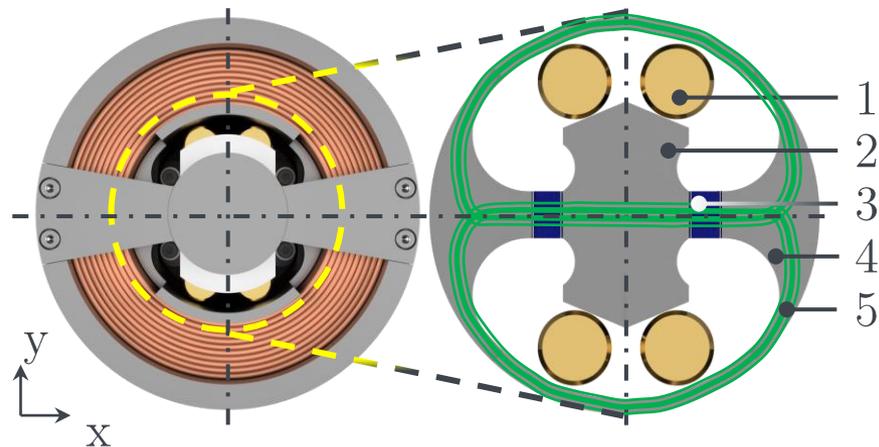
Motivation und  
Aufbau Aktoren

MSM-Aktoren mit  
aktivem Polkern

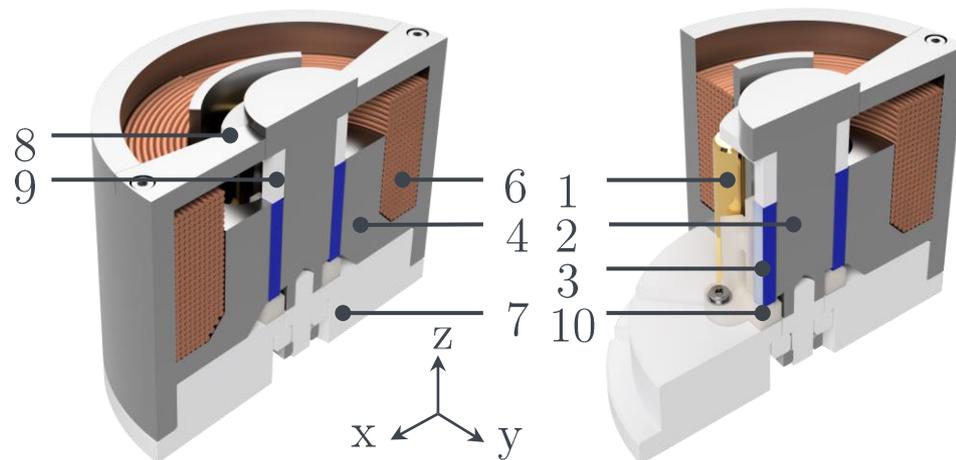
Zusammenfassung  
der Ergebnisse

Fazit und  
Ausblick

## Vertikaler Prototyp



- 1 Führung
- 2 Stößel (beweglich mit  $f=1$ )
- 3 MFGL-Element
- 4 Rückschluss
- 5 Qualitativer Magnetischer Fluss



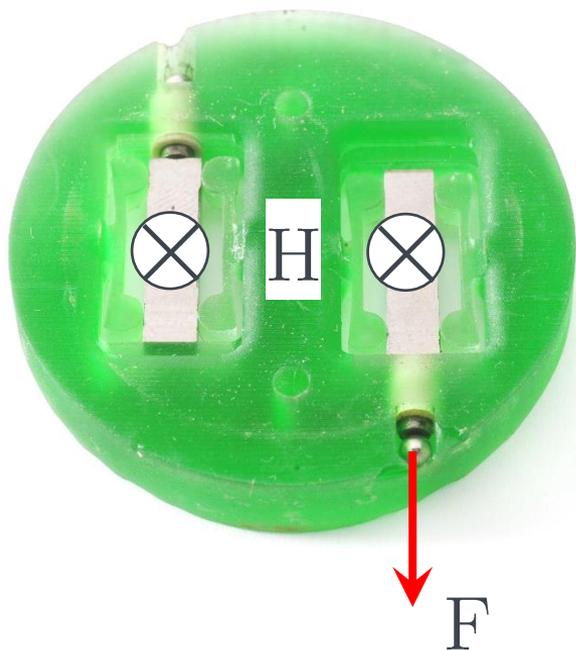
- 6 Spule
- 7 Bodenplatte
- 8 Flussleitstück
- 9 Betätiger
- 10 MFGL-Halterung



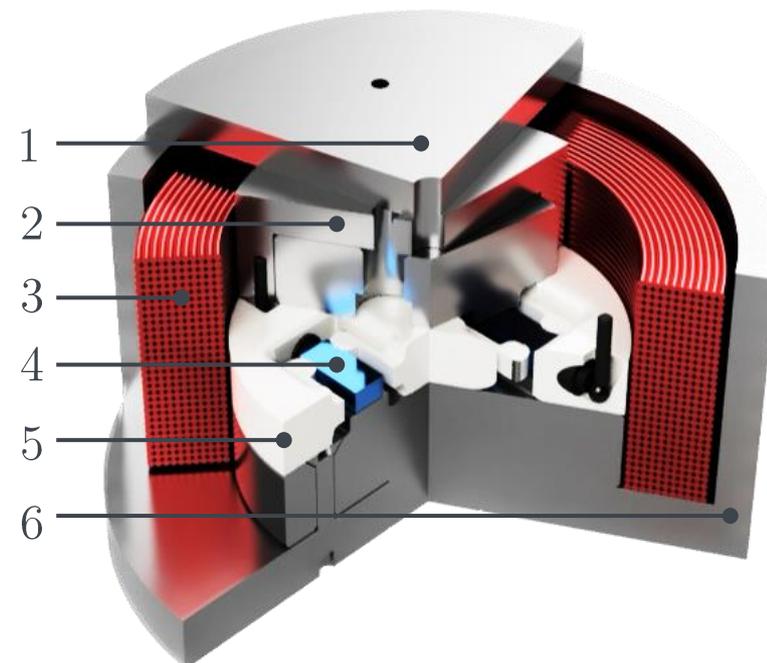
# Horizontaler Prototyp



# Horizontaler Prototyp

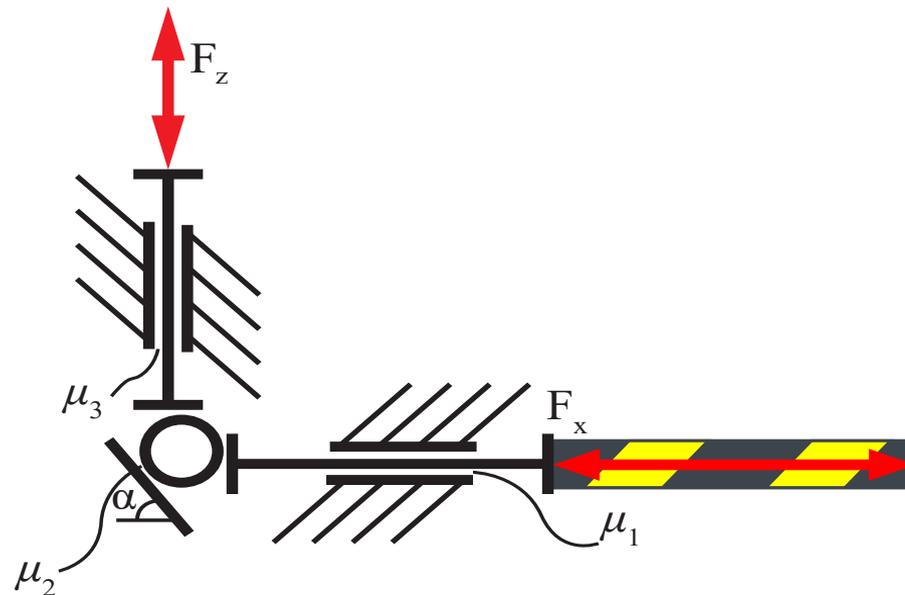
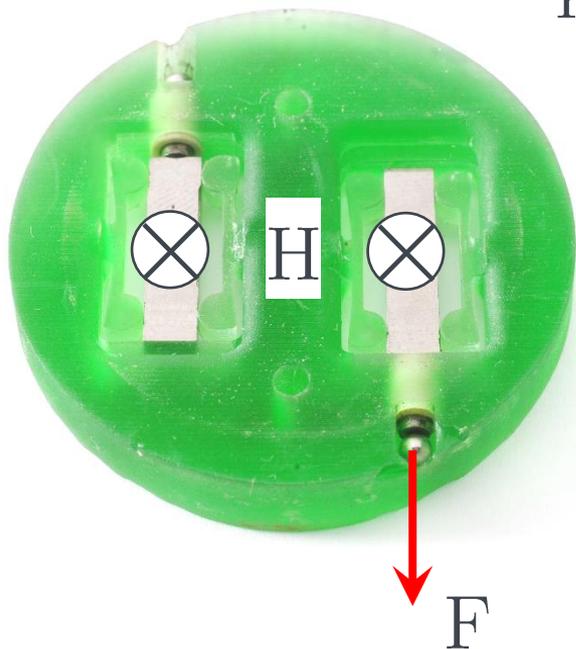


- 1 Ankerplatte
- 2 Stößel (beweglich mit  $f=1$ )
- 3 Spule
- 4 MFGL-Element
- 5 MFGL-Halter
- 6 Rückschluss



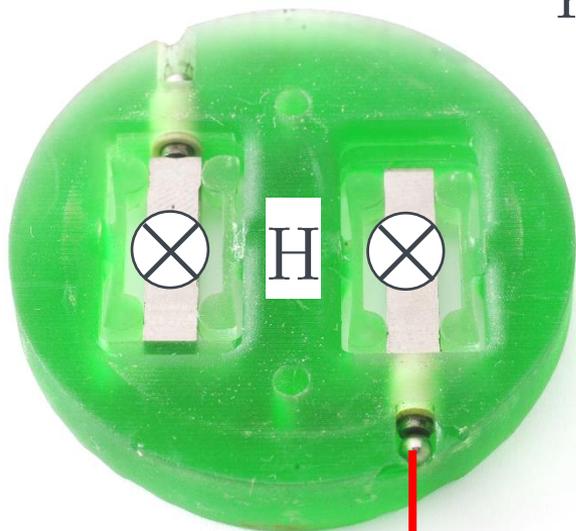
# Horizontaler Prototyp

## Keilschubgetriebe mit Kugel

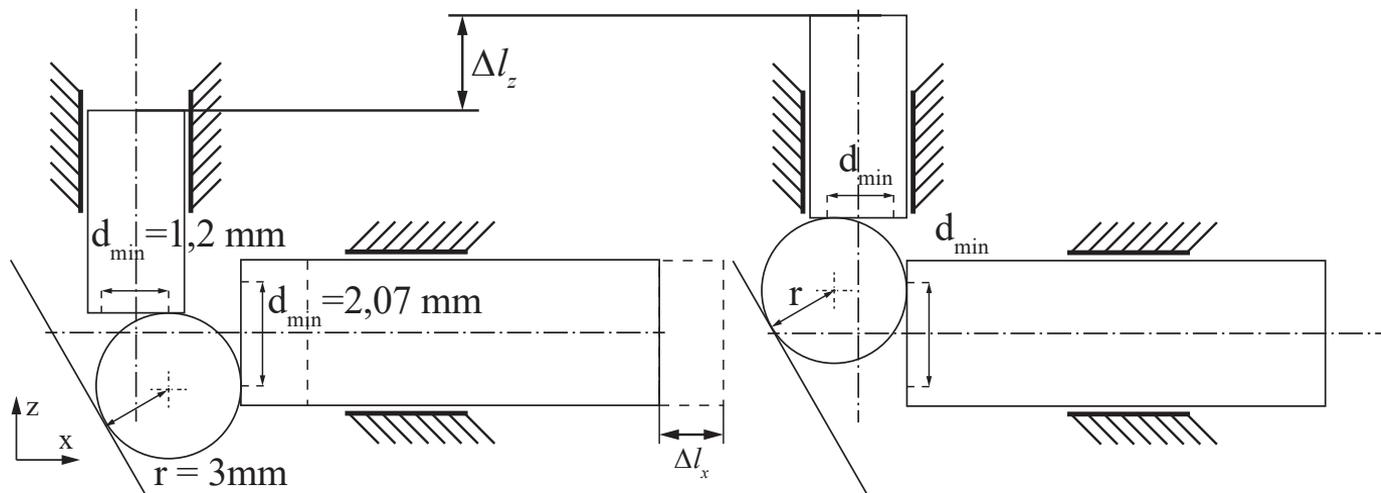


# Horizontaler Prototyp

## Keilschubgetriebe mit Kugel



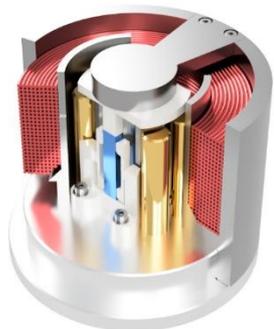
F



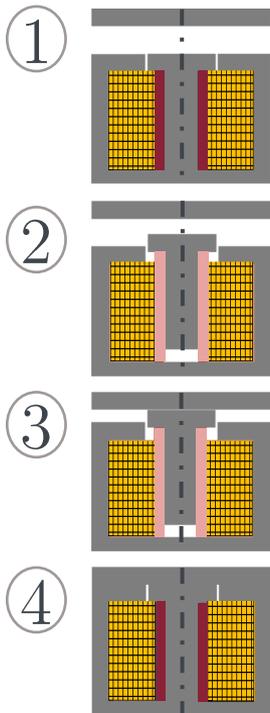
Gewählt:  $\alpha = 60^\circ \rightarrow$  Übersetzung  $i = 1,7$



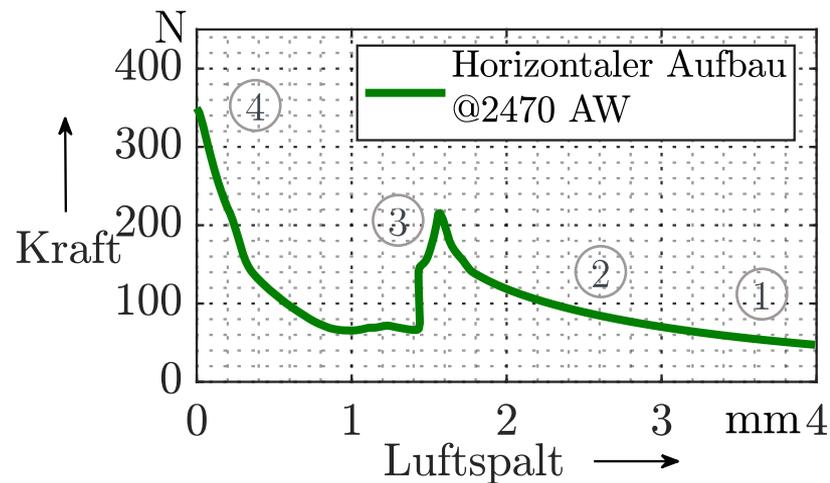
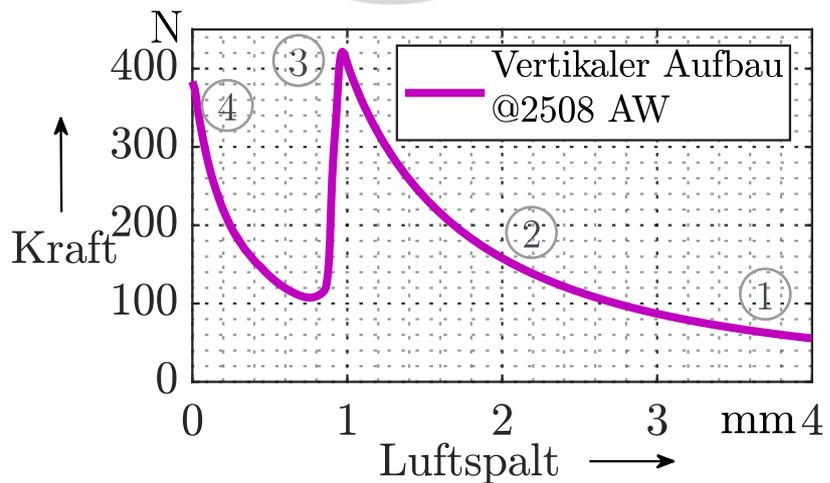
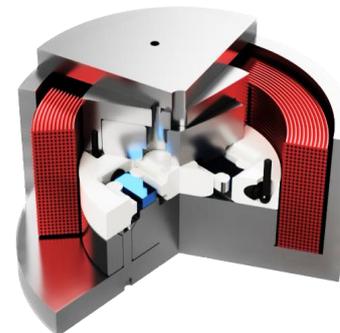
# Vertikaler Prototyp



# F-s-Kennlinie

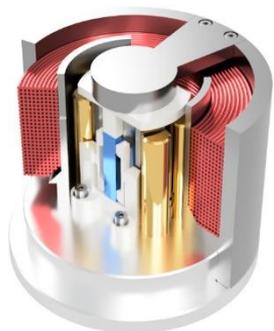


# Horizontaler Prototyp

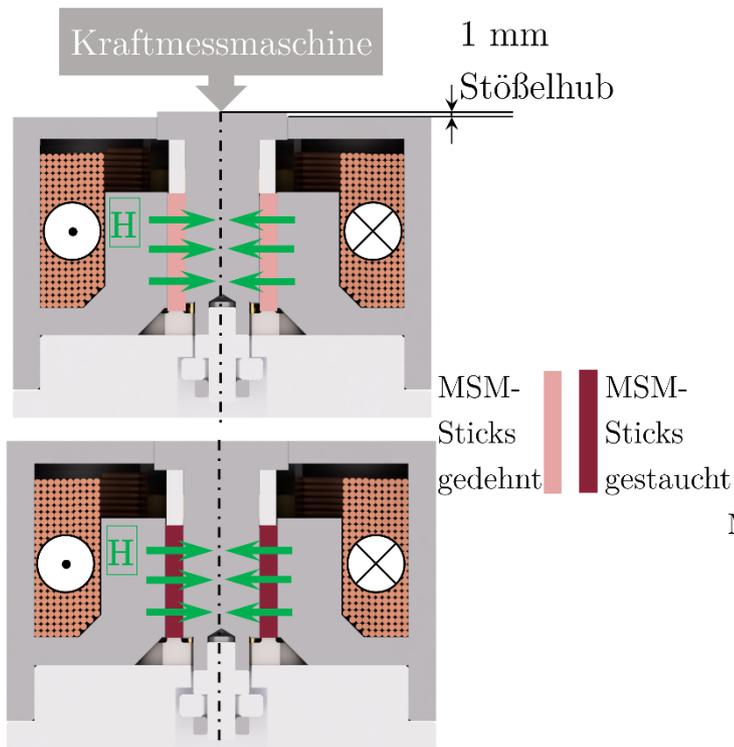




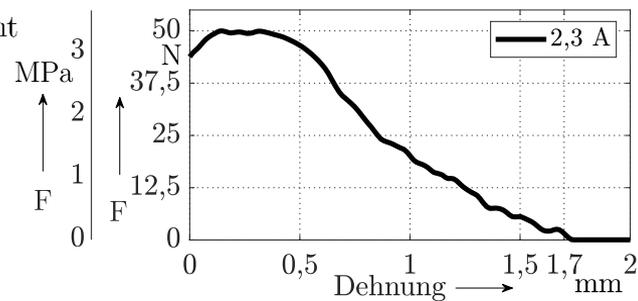
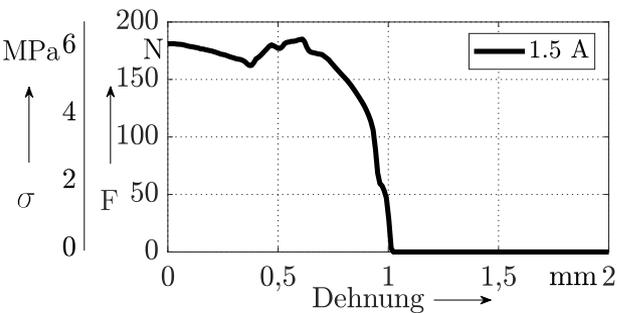
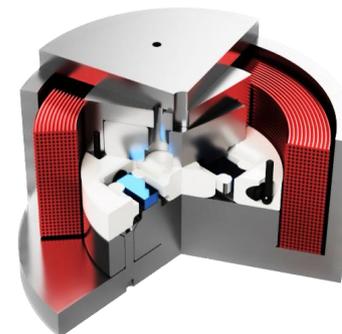
# Vertikaler Prototyp



# Dämpfungsmessung



# Horizontaler Prototyp





## Vertikaler Prototyp



## Geräuschmessung



Rückstellfeder

Ankerplatte

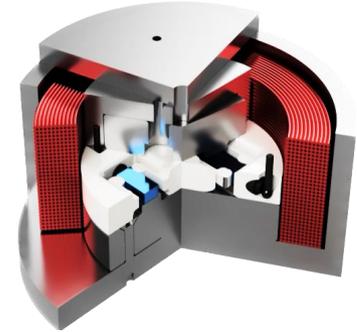
Prototyp

Aufnahme

Mikrometermessschraube

Spannungsversorgung

## Horizontaler Prototyp



Luftspalt der Ankerplatte:  $\delta=3$  mm

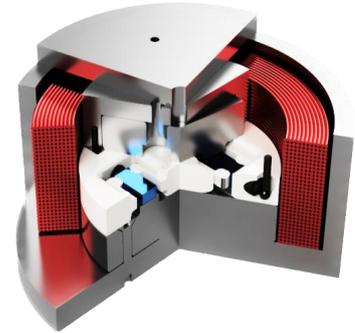
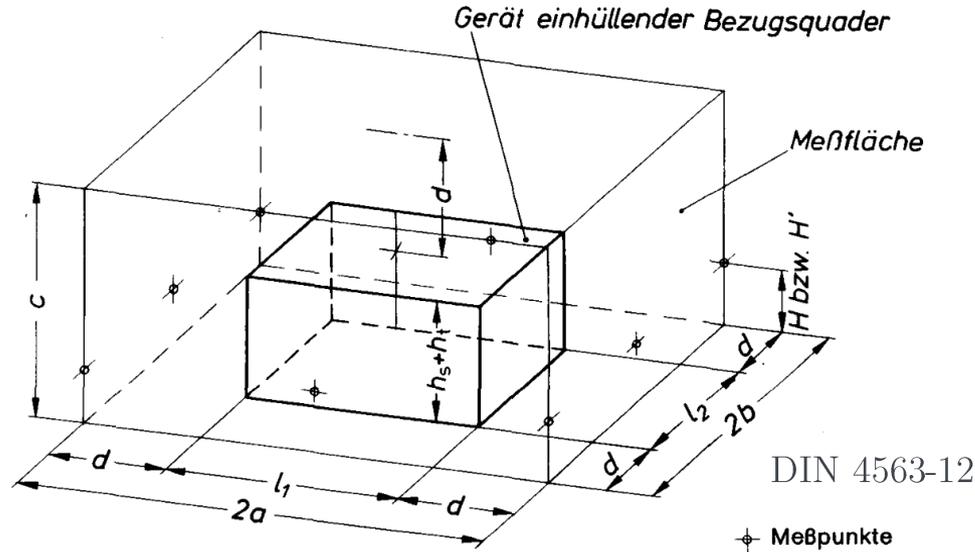
Ansteuerung: Identisch zur Kraftmessung



# Vertikaler Prototyp



# Geräuschmessung



# Horizontaler Prototyp

$$\overline{L'_{pAI,max}} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AI,i,max}} \right) dB$$

$$\overline{L_{pAI,max}} = \overline{L'_{pAI,max}} - K_0 - K_1 - K_2$$

$$L_{WAI} = \overline{L_{pAI,max}} + L_S$$

$$L_S = 10 \log \left( \frac{S}{S_0} \right) dB$$



Der A-bewertete Impulsschallleistungspegel ist hinsichtlich des Geräusches die bestimmende Größe für elektrische Schaltgeräte.



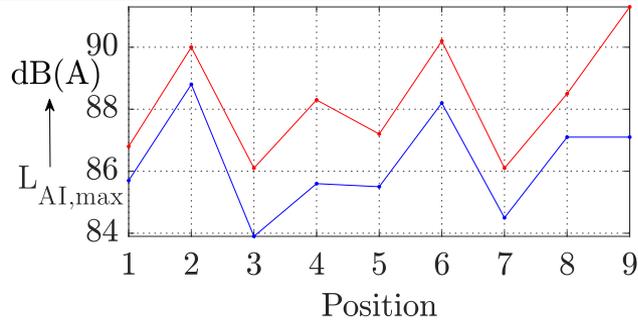
# Vertikaler Prototyp



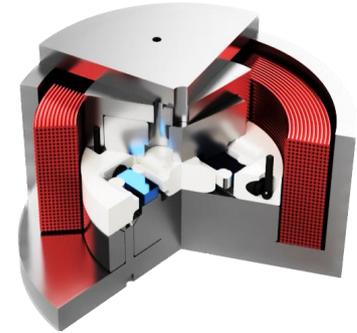
MFGL-Konfiguration 1: Normalbetrieb des Aktors  
MFGL-Konfiguration 2: Dehnung der MFGL wird  
nicht an den Stößel weitergegeben

↓ Betätiger gekürzt

— MFGL Konfiguration 1 — MFGL Konfiguration 2

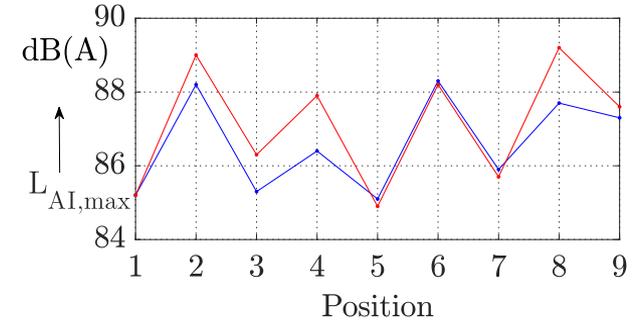


# Horizontaler Prototyp



↓ Kugel entnommen

— MFGL Konfiguration 1 — MFGL Konfiguration 2



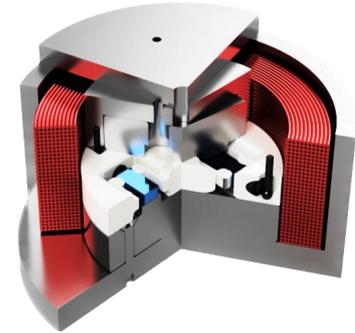
## Vertikaler Prototyp



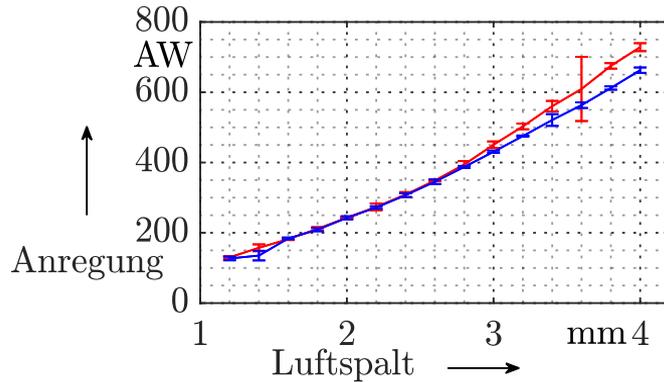
## Strommessung

Wie sieht der Zusammenhang zwischen Luftspalt und notwendiger elektrischer Anregung aus?

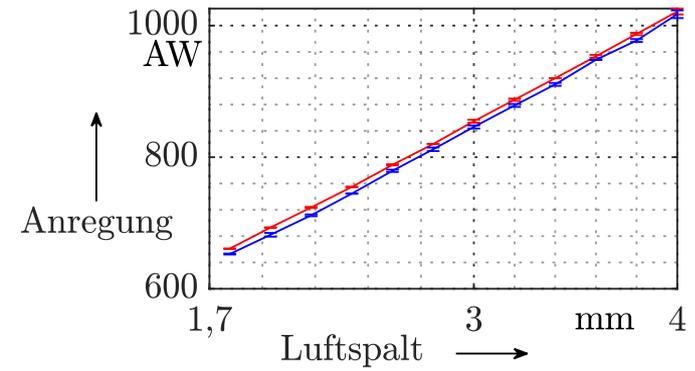
## Horizontaler Prototyp



MFGL Konfiguration 1 MFGL Konfiguration 2

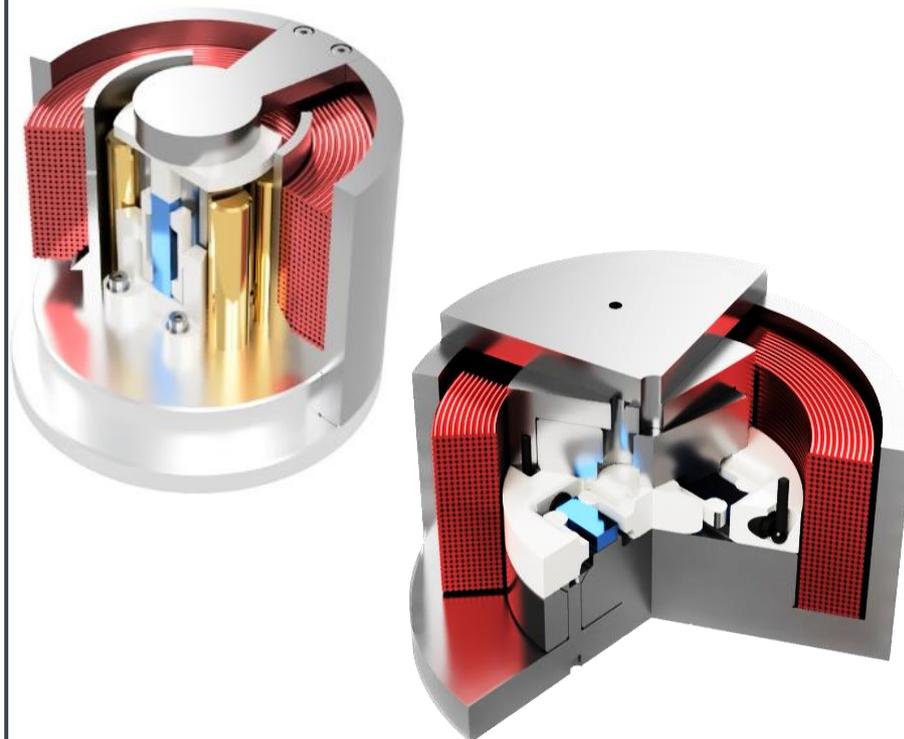


MFGL Konfiguration 1 MFGL Konfiguration 2



## Es wurden zwei Prototypen zu feinwerktechnischen Aktoren mit aktivem Kern vorgestellt

- Funktionsfähige Konstruktion der MSM-Sticks in vertikaler und horizontaler Orientierung
- Geräuschreduktion durch dämpfende Wirkung der MSM-Sticks während ihrer Stauchung
- Vorteilhafte Verschiebung der Kraft-Weg-Kennlinie
- Absenken der für einen Schaltvorgang notwendigen elektrischen Erregung für den vertikalen Prototyp





Es wurden zwei Prototypen zu feinwerktechnischen Aktoren mit aktivem Kern vorgestellt

## Nachfolgende Schritte / Ausblick

- Untersuchungen zur Schaltgeschwindigkeit der beiden Prototypen
- Optimierung des Magnetkreises für den horizontalen Prototyp (Sättigung vermeiden)
- Industrialisierung der Aktoren



Manuel Mauch, M. Sc.

Vielen Dank!



Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler

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

Kontakt:

[manuel.mauch@ikff.uni-stuttgart.de](mailto:manuel.mauch@ikff.uni-stuttgart.de)

0711/685 66424

