

Universität Stuttgart

Institut für Konstruktion und Fertigung in der
Feinwerktechnik

Innovation gemeinsam gestalten



Deutsche
Gesellschaft für
Feinwerktechnik e.V.

Feinwerktechnische Aktoren mit aktivem Polkern

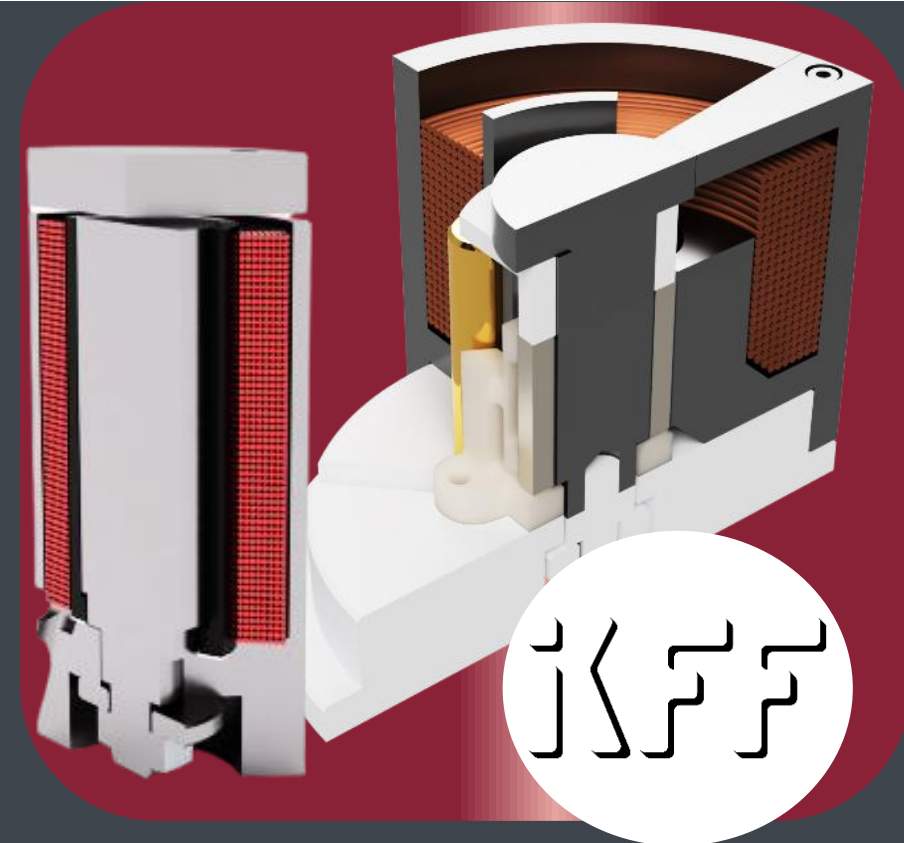
Manuel Mauch, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Bernd Gundelsweiler
IKFF Universität Stuttgart

DGFT-Tagung 2022

15. Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“

13. + 14. Oktober 2022

Dresden, Deutschland





Agenda

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



Institutsvorstellung IKFF, Universität Stuttgart





Forschungsschwerpunkte IKFF, Universität Stuttgart

**Induktive
Energieübertragung**



**Magnetschwebe-
antriebe**



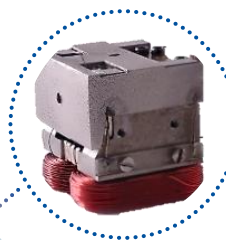
**Smart
Actuators**



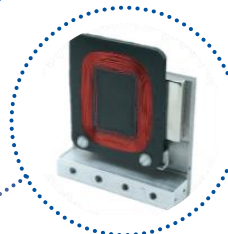
**Präzisions-
gerätetechnik**



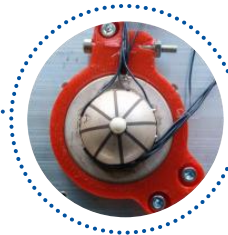
**MSM-gesteuerter
Reluktanzaktor**



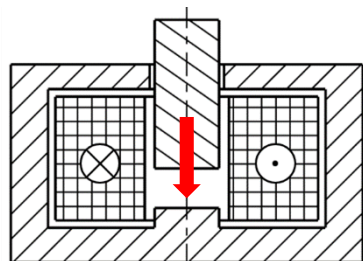
Spulentechnologie



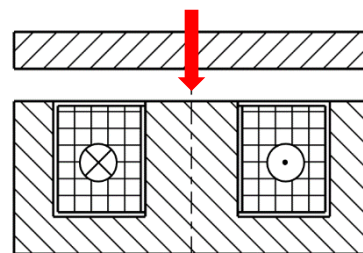
**Piezoelektrische
Antriebe**



Hubaktor:



Haftaktor:

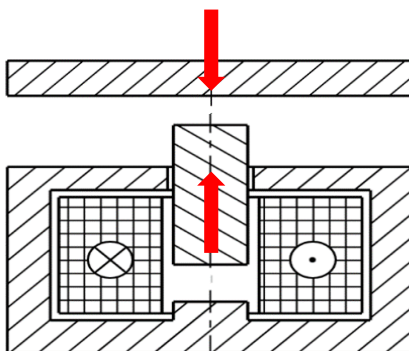


Hybrider
Aktor

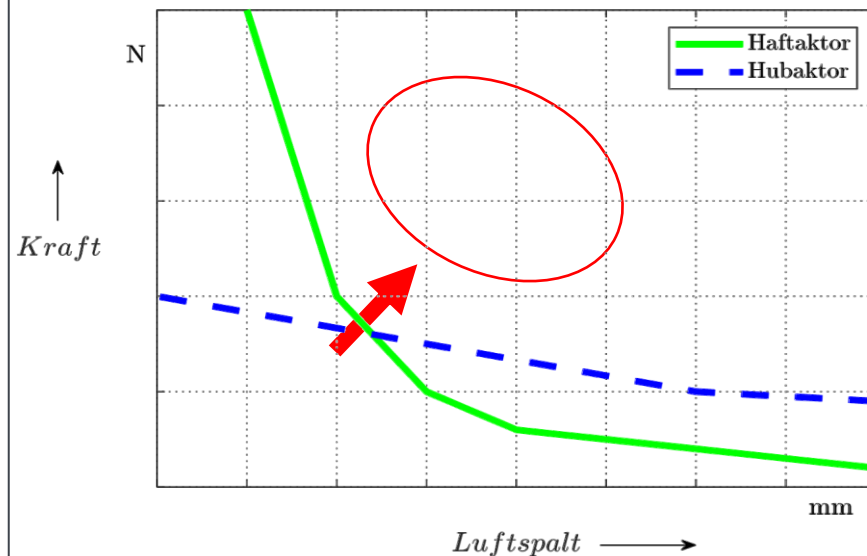
Grundidee:

Kompromiss (Hybrid)
aus beiden Aktoren

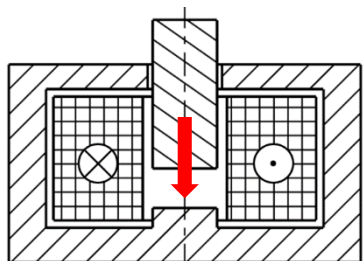
Ziel: Kennlinien-
beeinflussung +
Geräuschreduktion



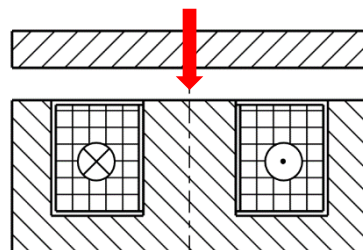
Qualitative Kraft-Weg-Kennlinien:



Hubaktor:



Haftaktor:

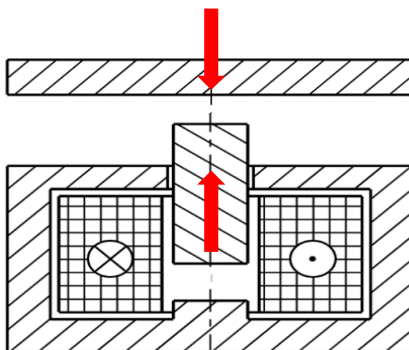


Hybrider
Aktor

Grundidee:

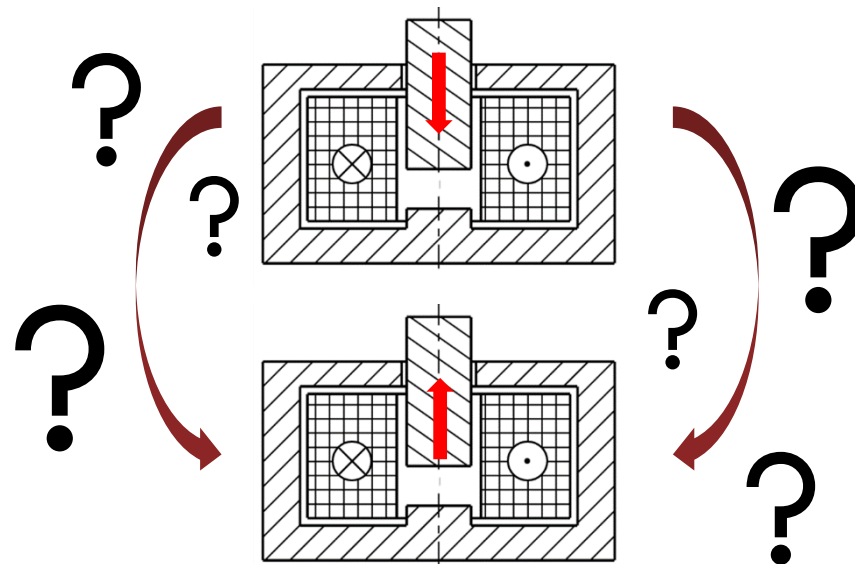
Kompromiss (Hybrid)
aus beiden Aktoren

Ziel: Kennlinien-
beeinflussung +
Geräuschreduktion



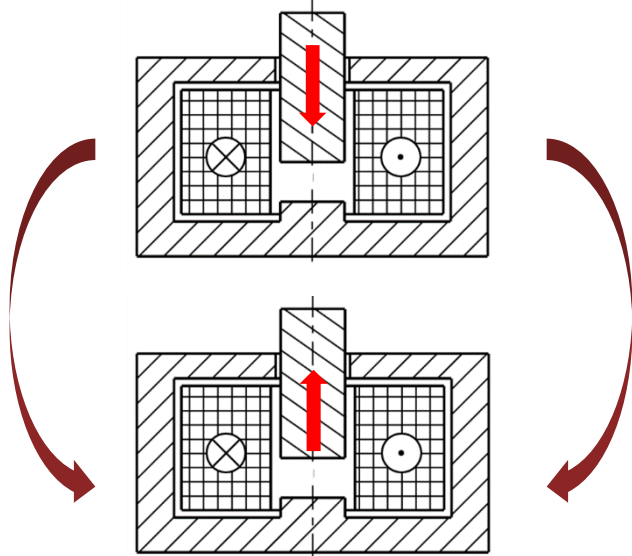
Schwierigkeit:

Umkehr der Kraftwirkung auf den
Kern für die aktive Hubbewegung



Schwierigkeit:

Umkehr der Kraftwirkung auf den
Kern für die aktive Hubbewegung



Lösungsvariante 1:

Aktiver Polkern durch

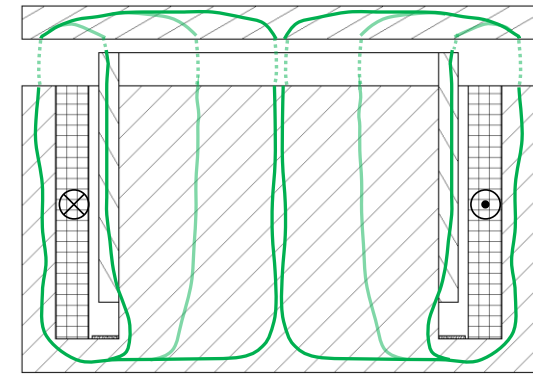
**Verwendung von mag.
Formgedächtnis-
legierungen**

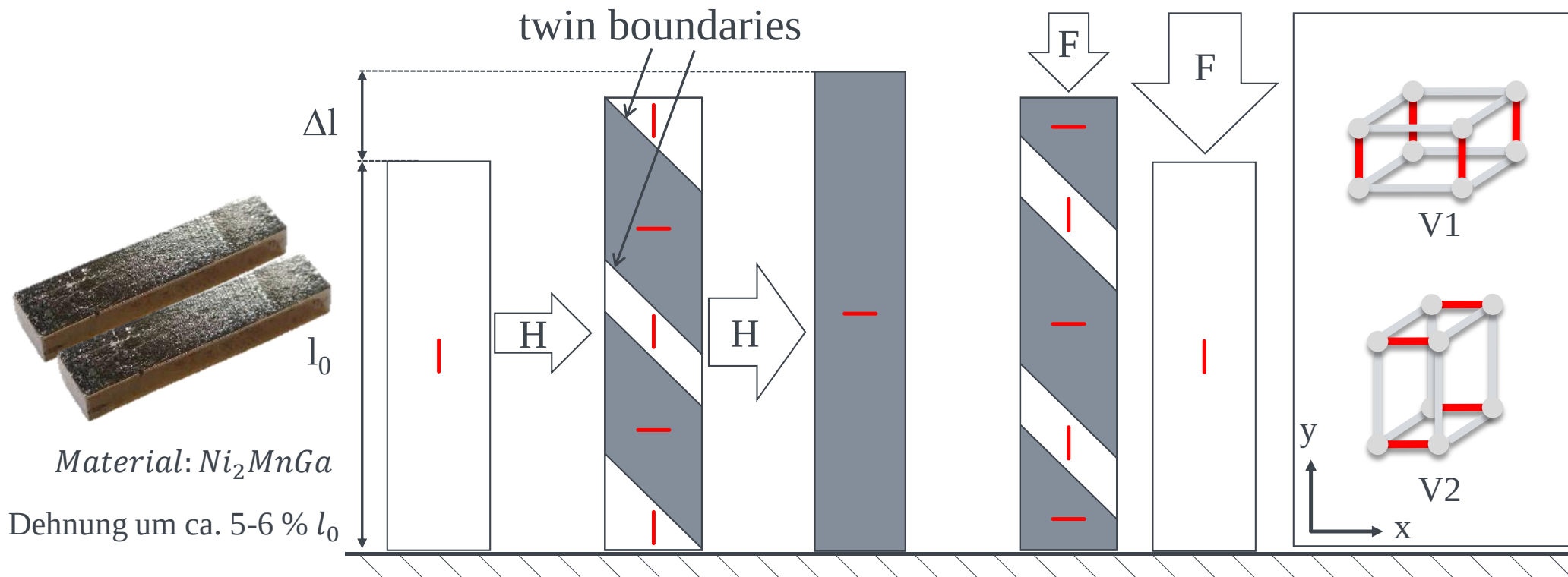


Lösungsvariante 2: (Kostenoptimiert)

Aktiver Polkern durch

**Nutzung von Reluktanzkräften und
entsprechender Magnetkreisauslegung**

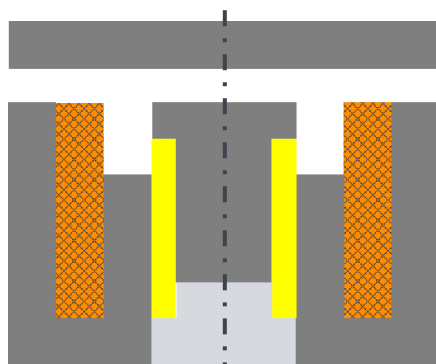




Quelle: Vgl. L. Riccardi (Position Control with Magnetic Shape Memory Actuators) und
U. Gaitzsch (Struktureinstellung und magnetische Dehnung in polykristallinen magnetischen Ni-Mn-Ga-Formgedächtnislegierungen)

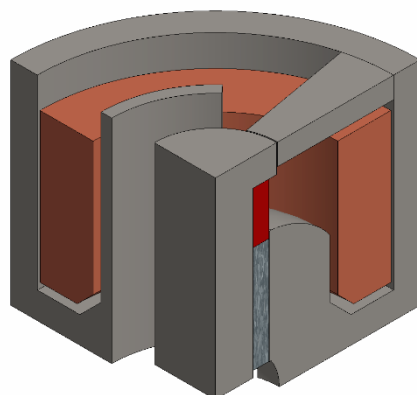
Entwicklung von der Idee zum Patent

Grundprinzip



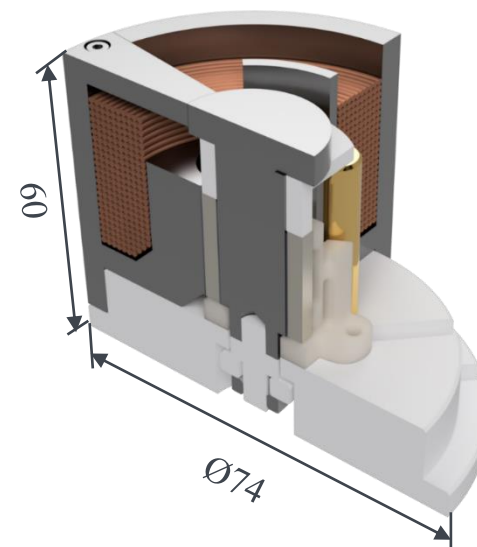
Patent Nr. DE102019218567.3

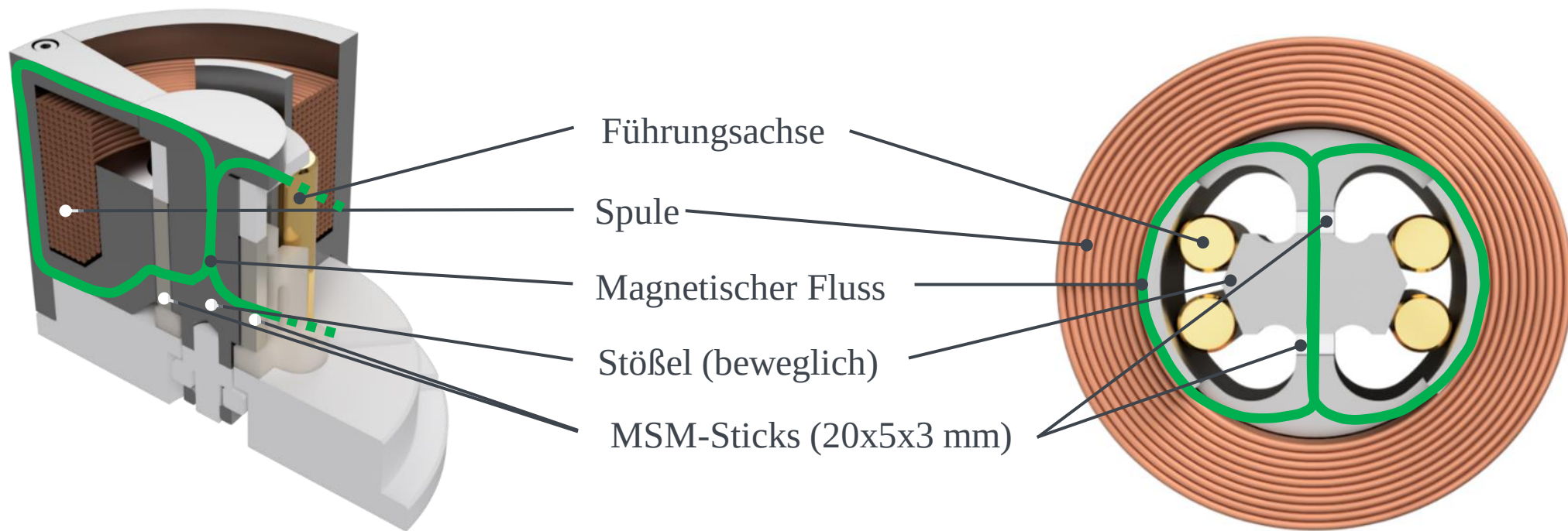
Virtueller Prototyp



Bachelorarbeit zur simulativen
Konzeptfindung und -optimierung
Richard Wunderle (2020)

Validierungsmuster

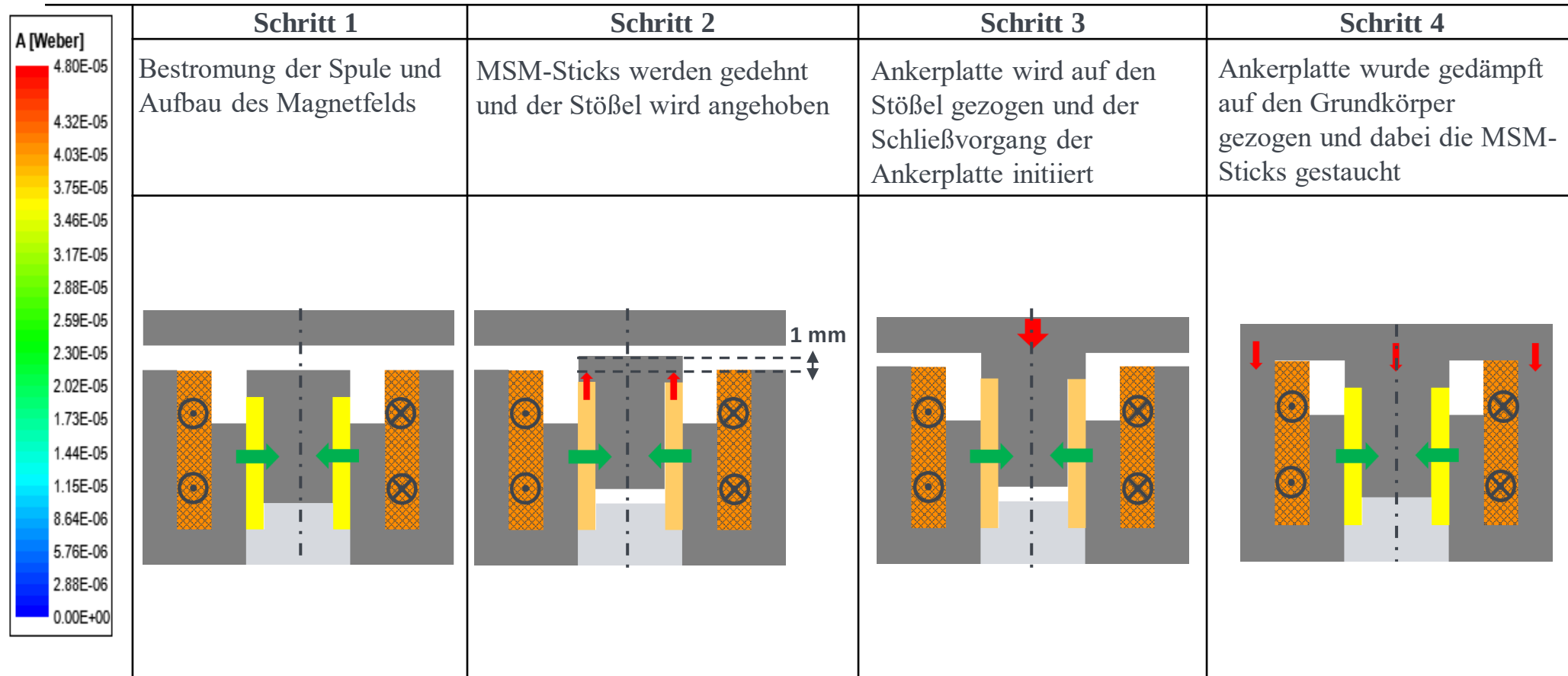


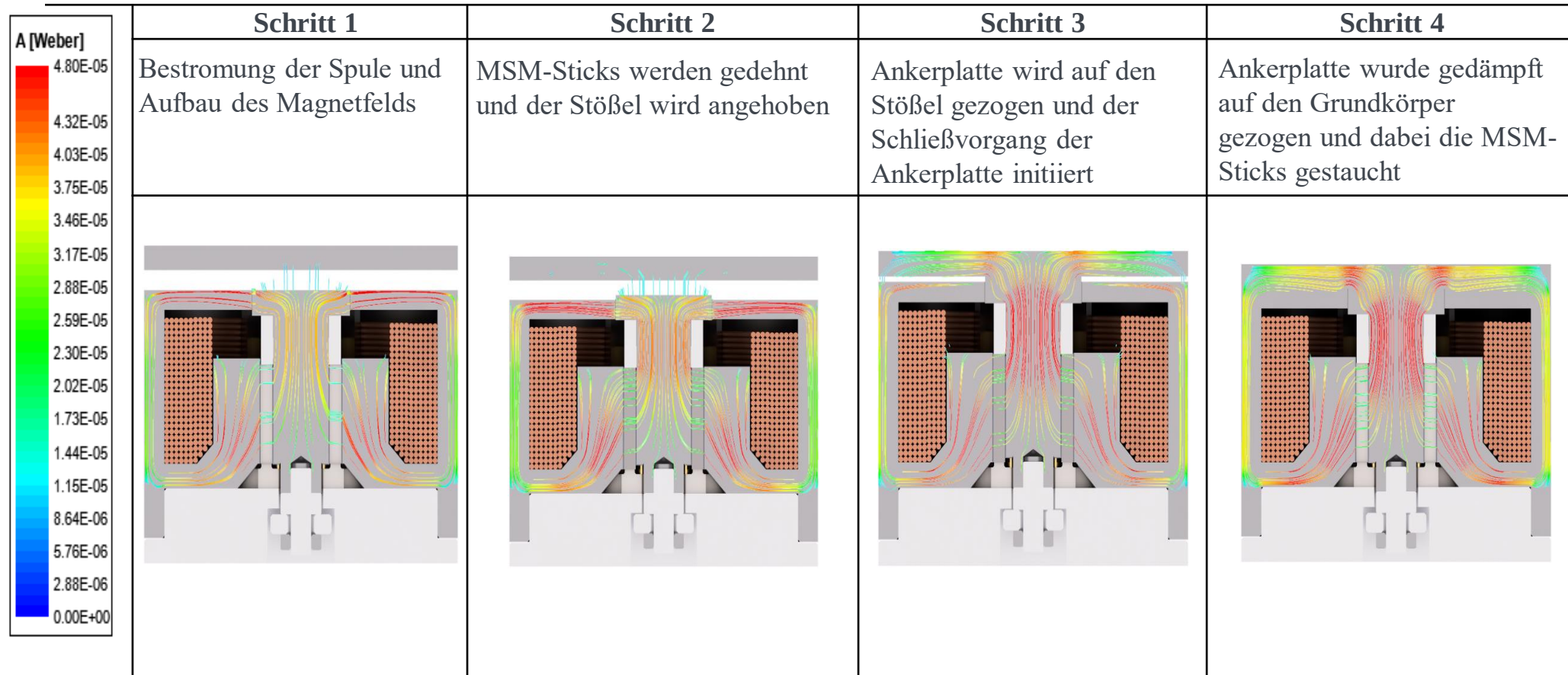


Hybrider Aktor mit Formgedächtnislegierungen

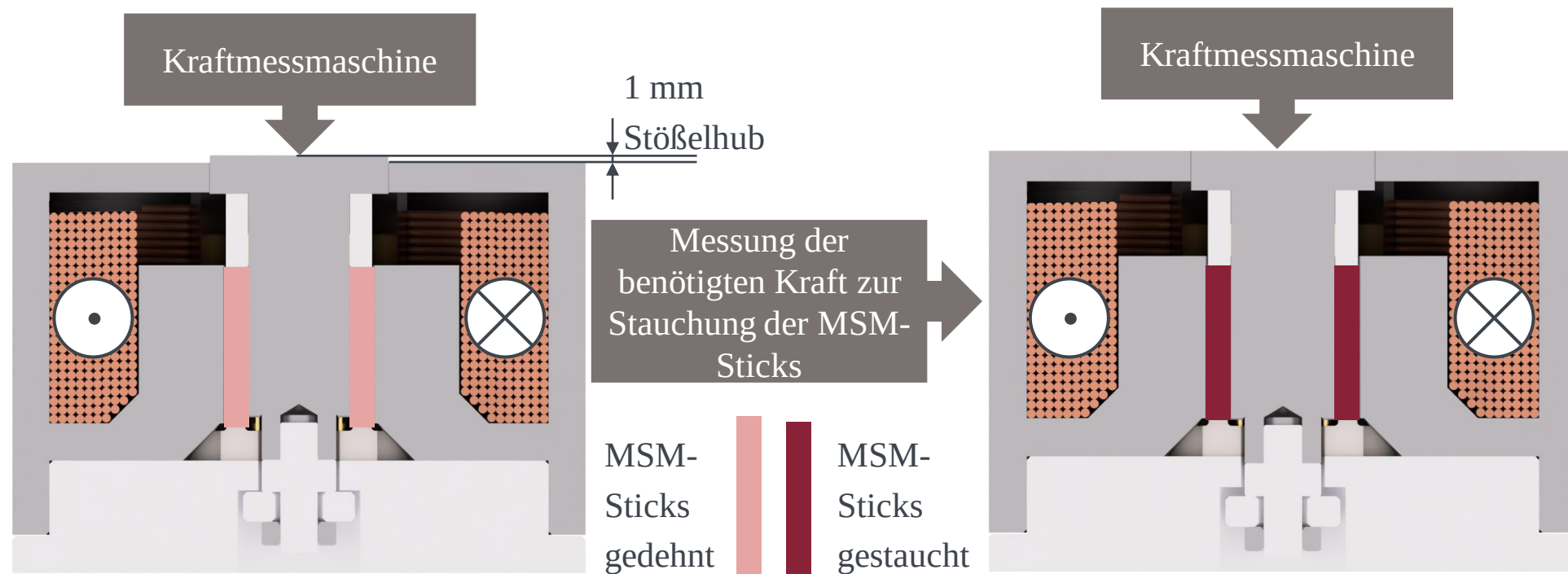
Am IKFF entwickelter MSM-Aktor

Patent Nr. DE102019218567.3

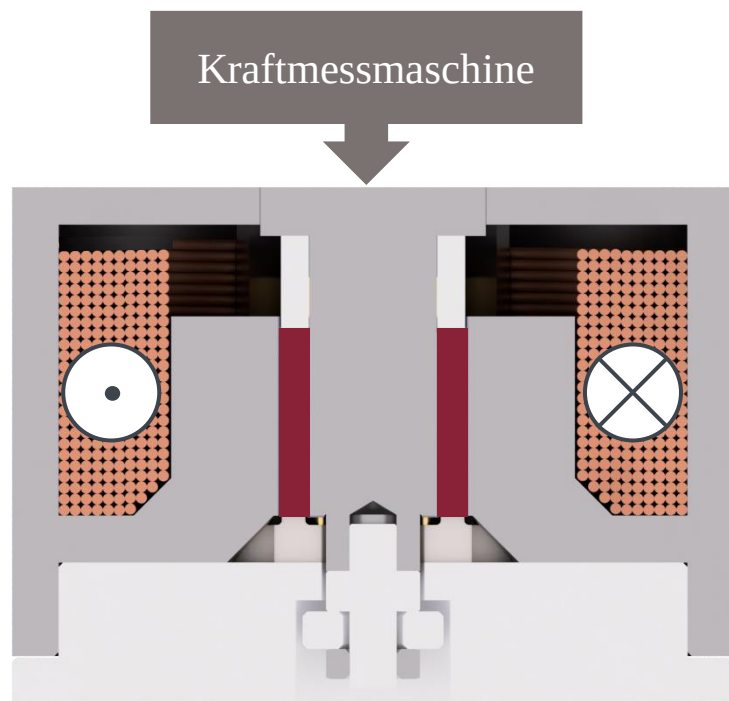




Dämpfungseigenschaften der verwendeten MSM-Sticks bei anliegendem Magnetfeld



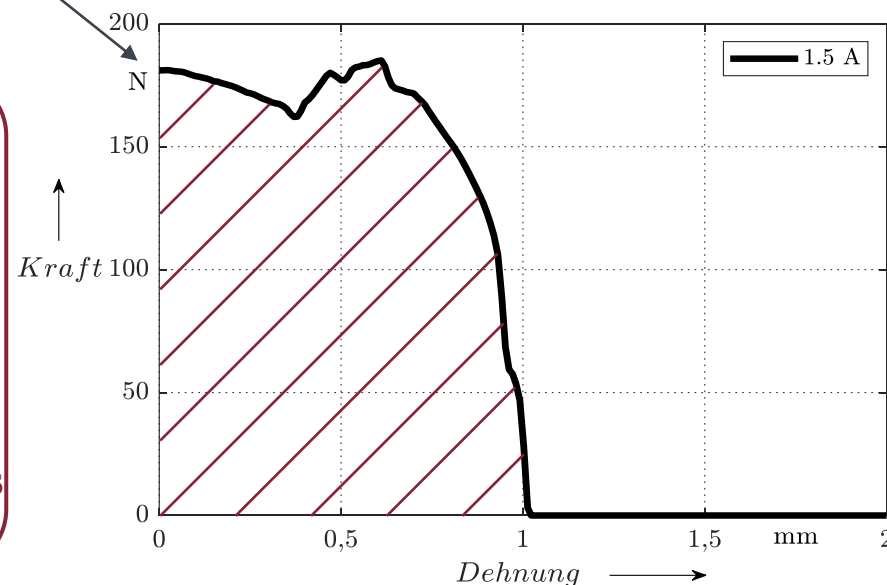
Dämpfungseigenschaften der verwendeten MSM-Sticks bei anliegendem Magnetfeld

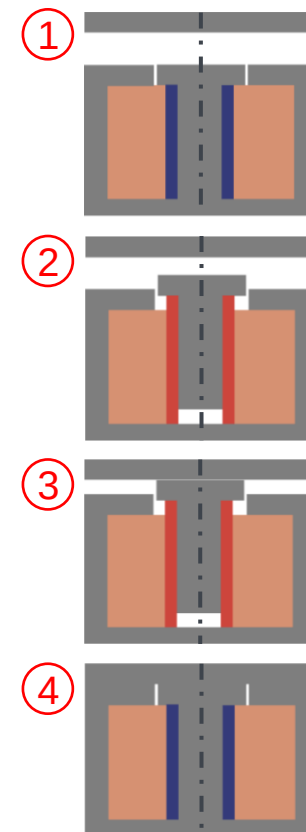
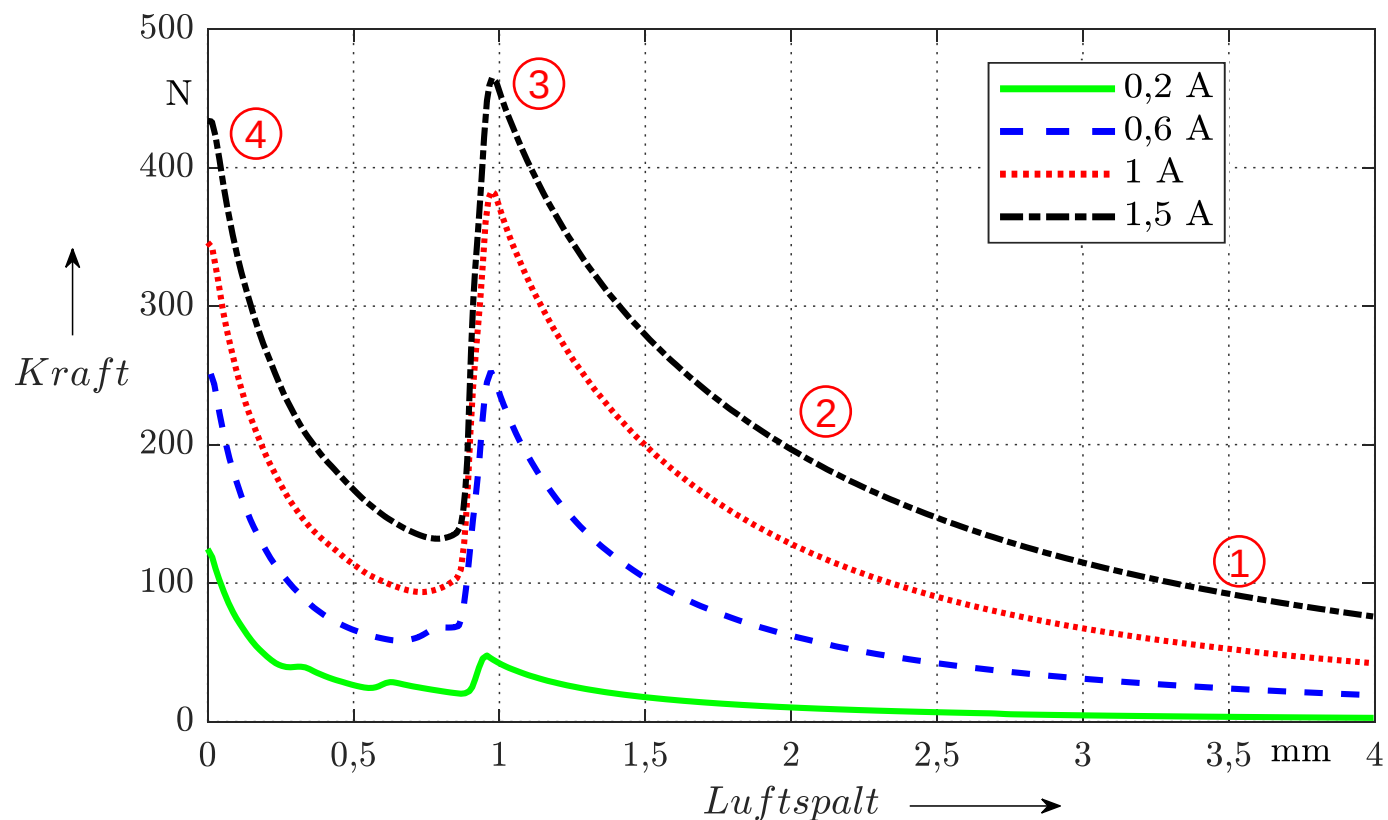


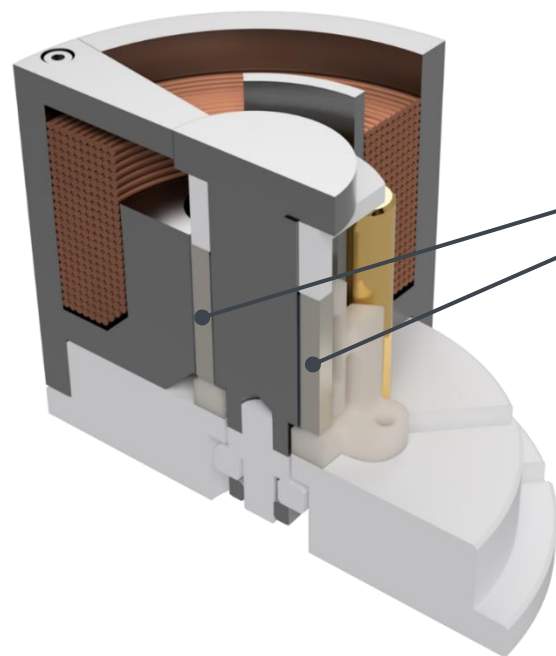
181 N → 6 MPa

$$(A = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 30 \text{ mm}^2)$$

Für die Stauchung benötigte Energie reduziert die Bewegungsenergie der Ankerplatte
→ **Reduktion des Schließgeräusches erwartet**

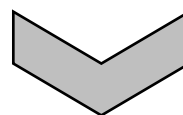






Lösungsvariante 1:

MSM-Sticks

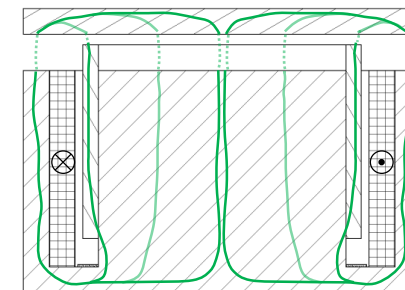


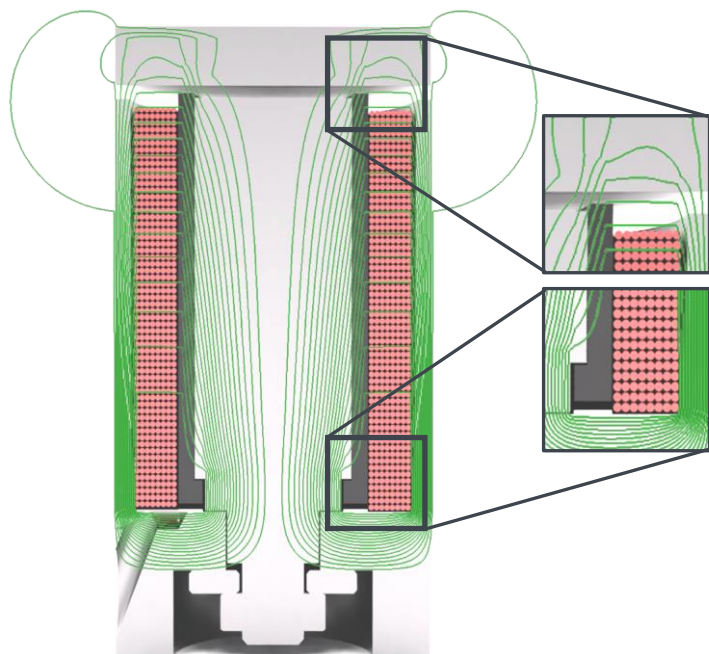
Spezifische Eigenschaften
Temperaturempfindlich {Maximaltemperatur ca. 60° C}
Empfindlich gegenüber Stößen {Spröde}
Nur in bestimmten Abmessungen erhältlich {geringer konstruktiver Spielraum}
Teuer

Lösungsvariante 2:

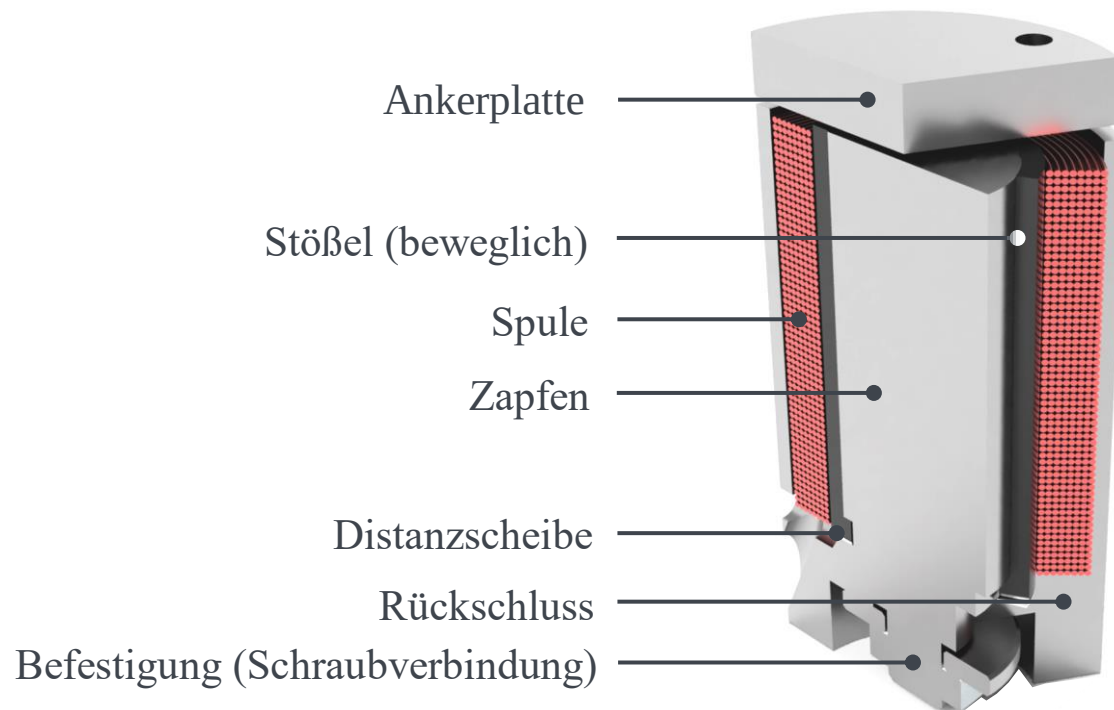
Aktiver Polkern durch

**Nutzung von
Reluktanzkräften und
entsprechender
Magnetkreisauslegung**



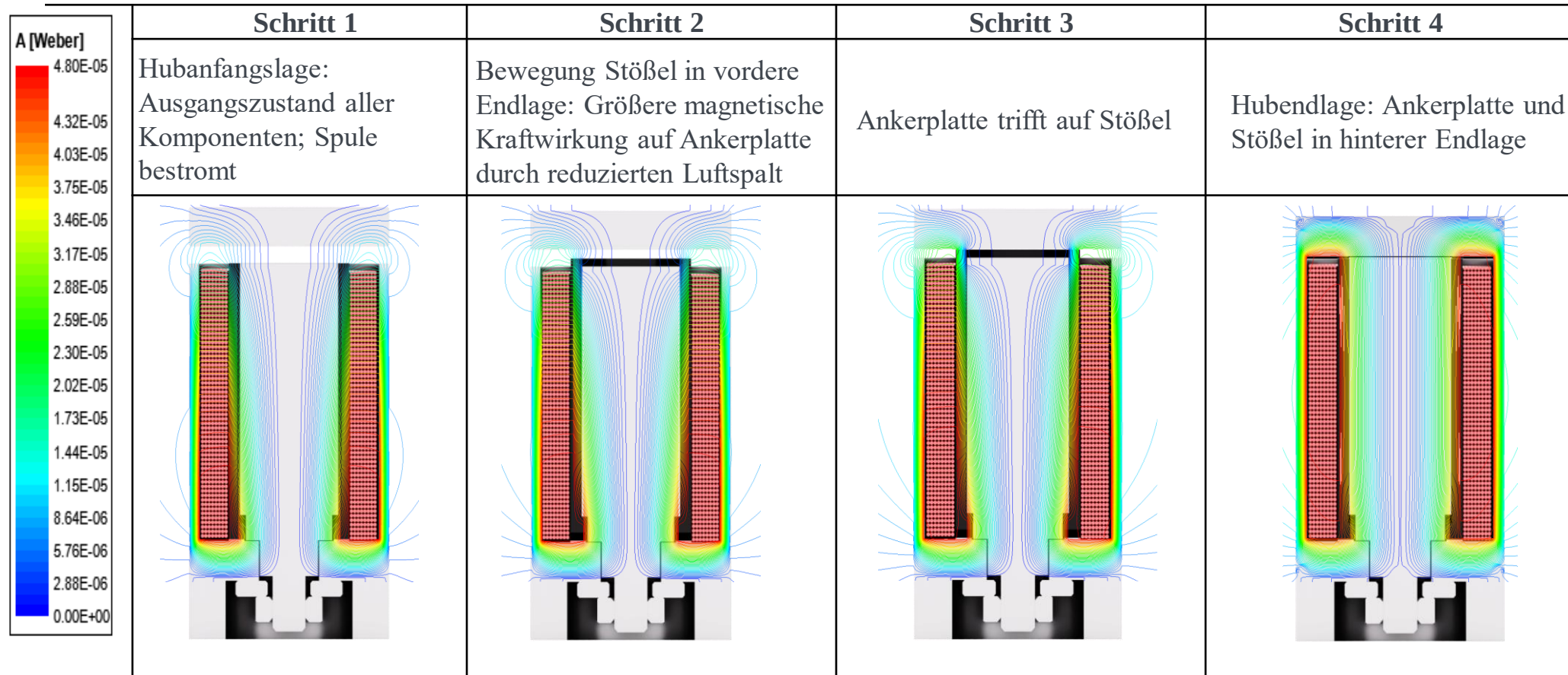


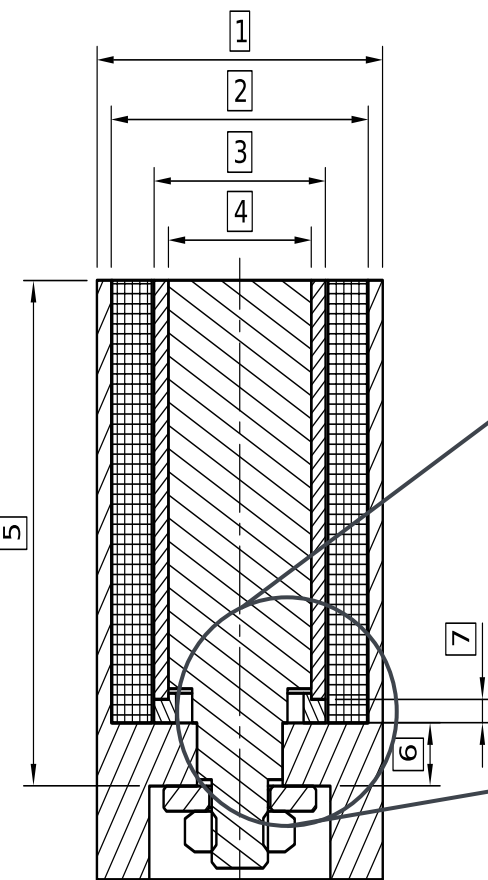
Qualitativer Feldlinienverlauf



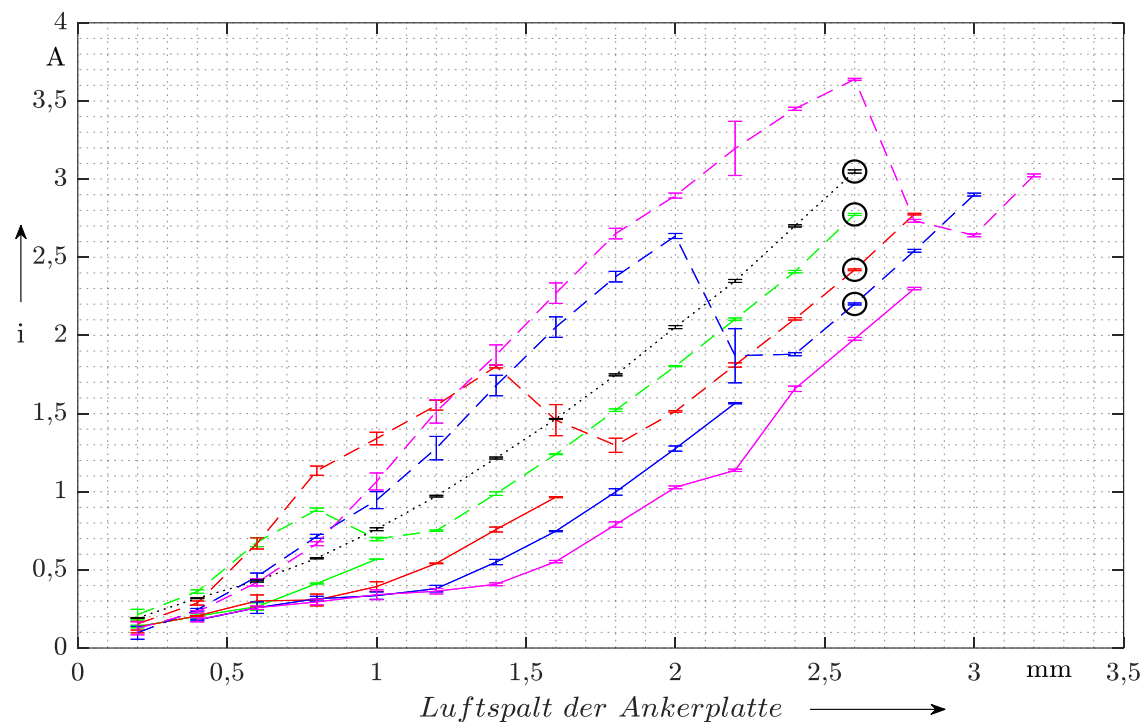
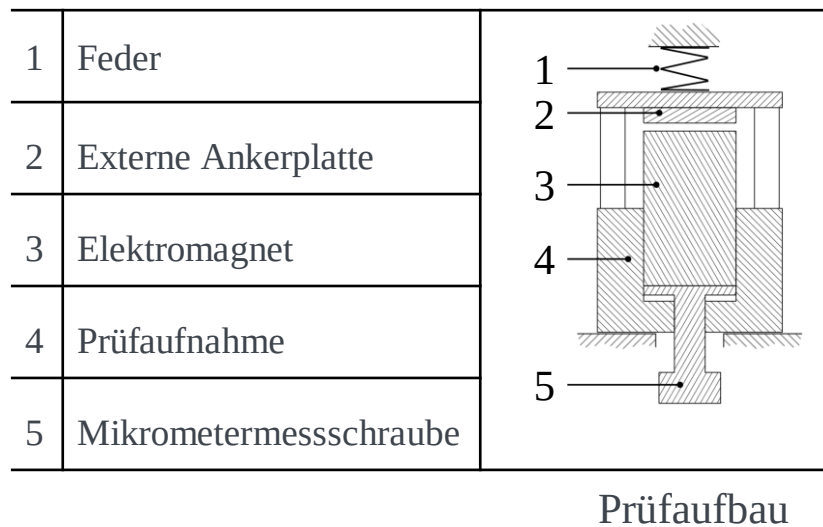
Elektromagnetischer Hub-Haft-
Aktor mit einstellbarem Kern

Patent Nr. DE102021124654.7, 23



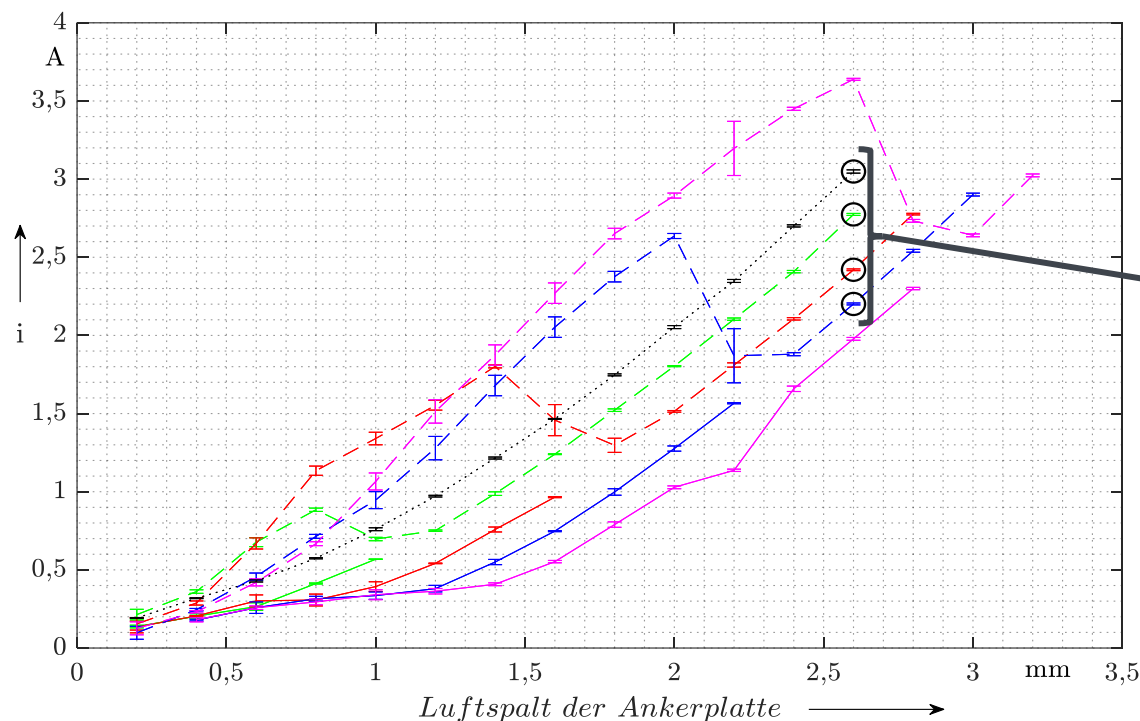


Zapfen (Detail)	Referenz und abgeleitete Varianten	Möglicher Stößelhub
	Referenz	0 mm
	Variante 1	0,5 mm
	Variante 2	0,7 mm
	Variante 3	0,9 mm
	Variante 4	1,1 mm



Kurvenschar der verschiedenen untersuchten Versionen

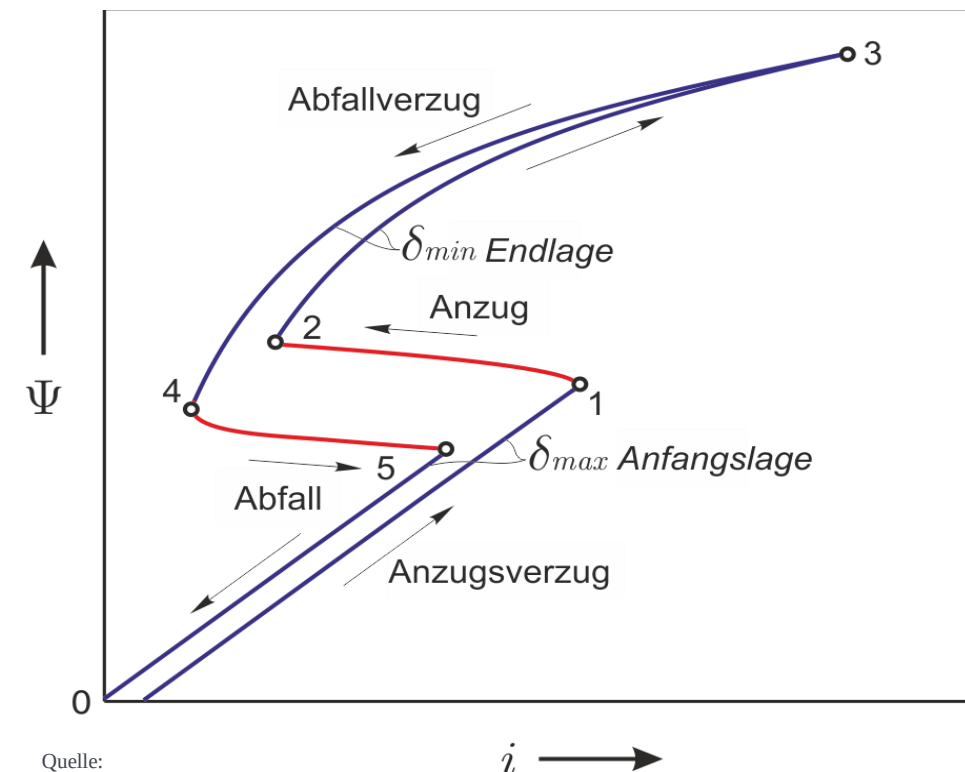




Luftspalt der Ankerplatte	Strom für Anziehen Ankerplatte	Aktor	Index
	3,05 A	Referenz	100 %
(≙ 2,6 mm in linker Abbildung)	2,77 A	Version 1	90,82 %
	2,42 A	Version 2	79,34 %
	2,2 A	Version 3	72,13 %
3,4 mm	3,05 A	Version 4	-

Kurvenschar der verschiedenen untersuchten Versionen

- Hub Stößel @ Version 1
- Hub Stößel @ Version 2
- Hub Stößel @ Version 3
- Hub Stößel @ Version 4
- Hub Ankerplatte @ Version 1
- Hub Ankerplatte @ Version 2
- Hub Ankerplatte @ Version 3
- Hub Ankerplatte @ Version 4
- Referenz

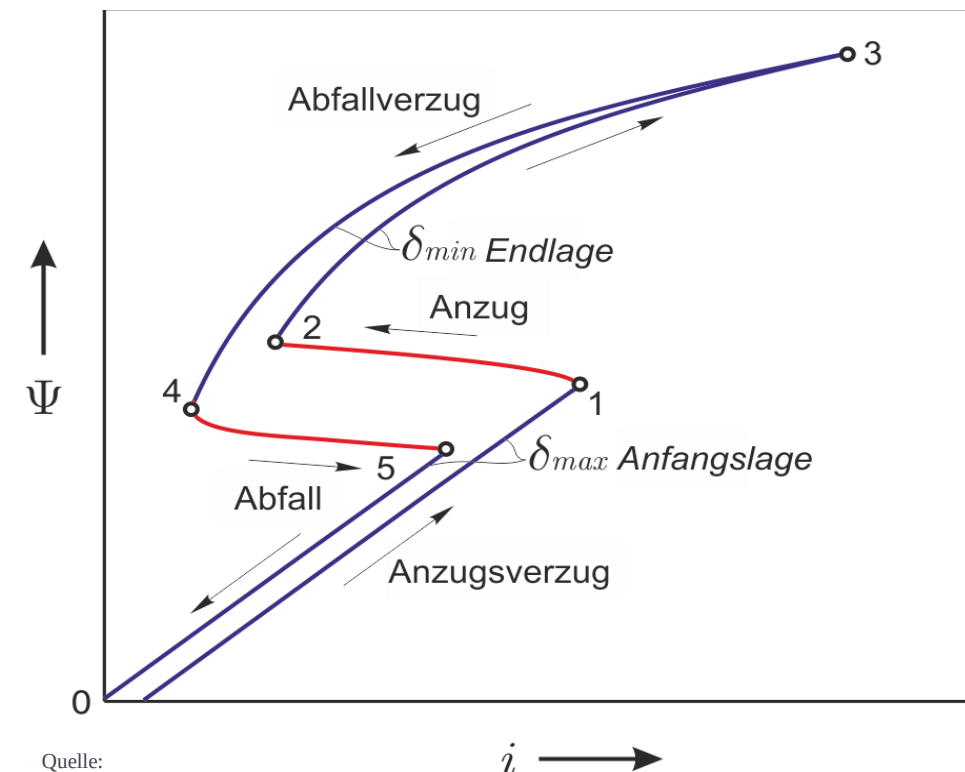


Quelle:
Magnetic Precision Measurement for Electromagnetic
Actuators
Gadyuchko, Kireev Ilmenauer Mechatronik GmbH, Germany

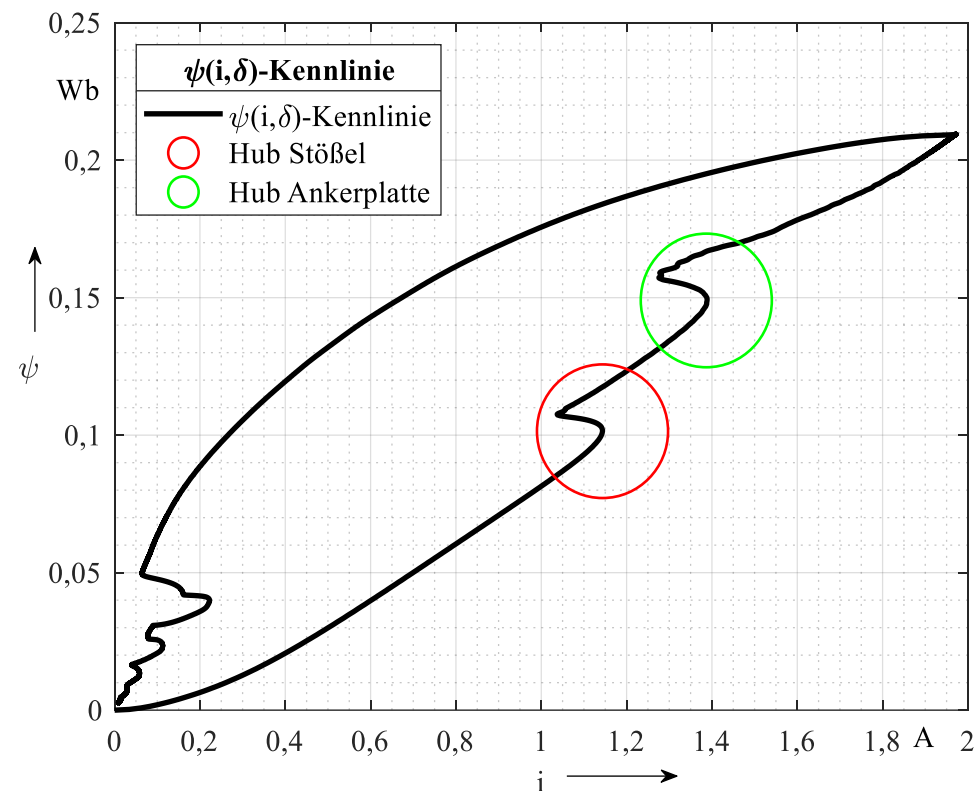
$$u = iR + \frac{d\Psi(i, \delta)}{dt} = iR + \left(\frac{\partial \Psi(i, \delta)}{\partial \delta} \frac{d\delta}{dt} \right) + \left(\frac{\partial \Psi(i, \delta)}{\partial i} \frac{di}{dt} \right)$$

Selbstinduktion durch Stromänderung

Bewegungsinduktion durch Ankerbewegung



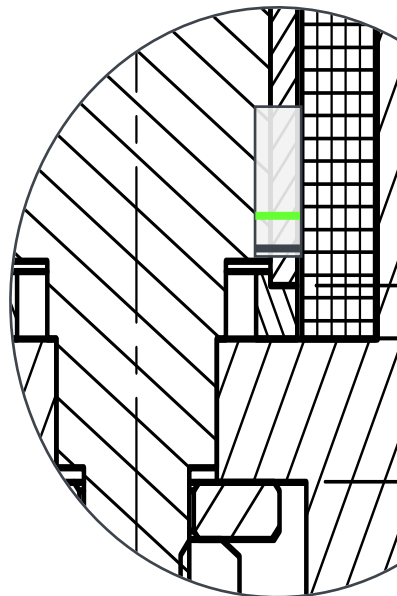
Quelle:
Magnetic Precision Measurement for Electromagnetic
Actuators
Gadyuchko, Kireev Ilmenauer Mechatronik GmbH, Germany





Möglicher Stößelhub

Ausgangszustand	Variante 1
0 mm	0,5 mm





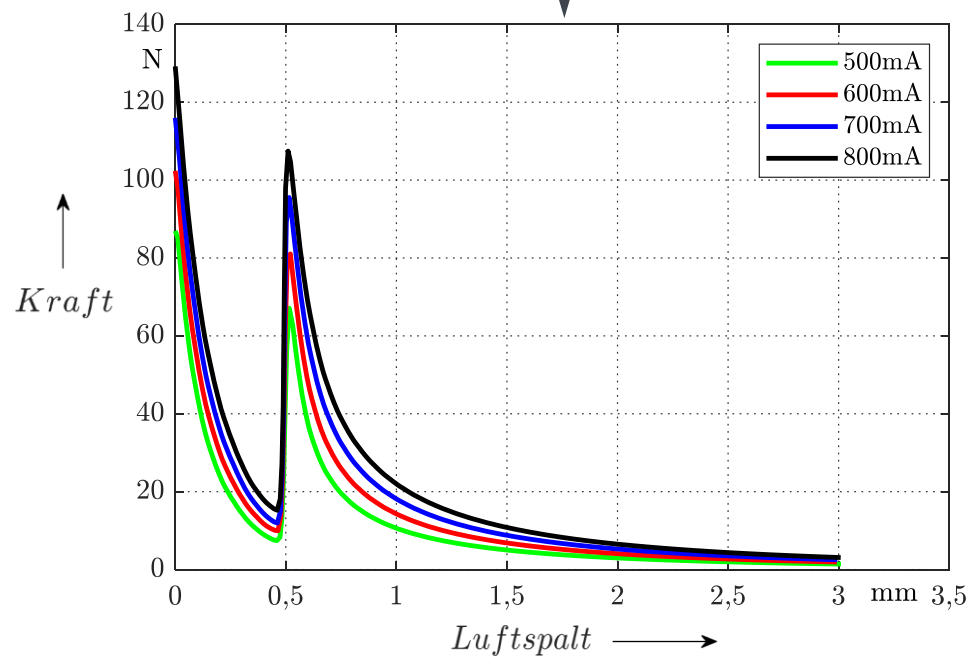
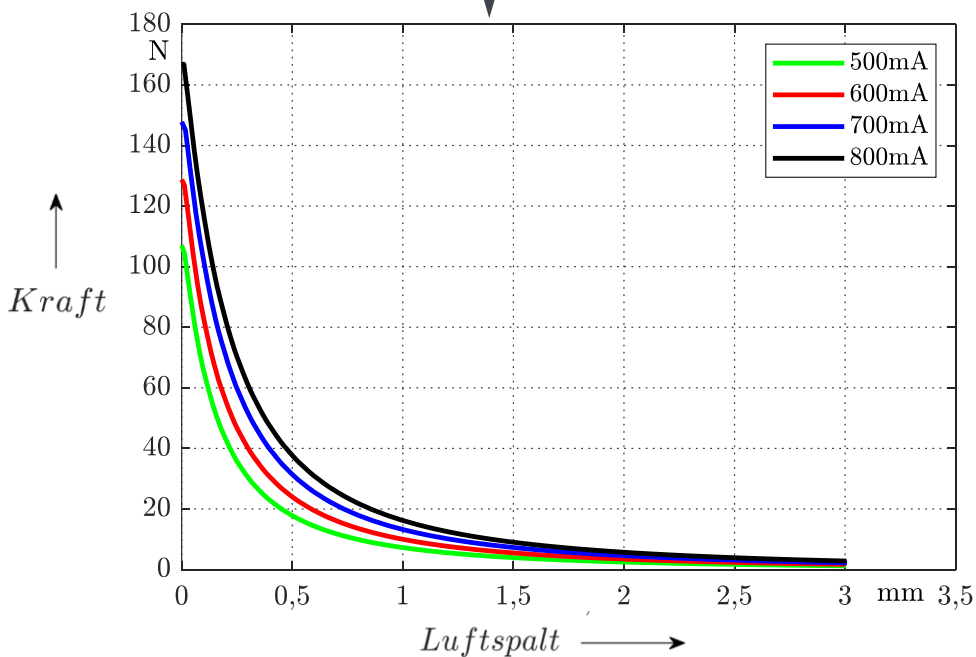
Möglicher Stößelhub

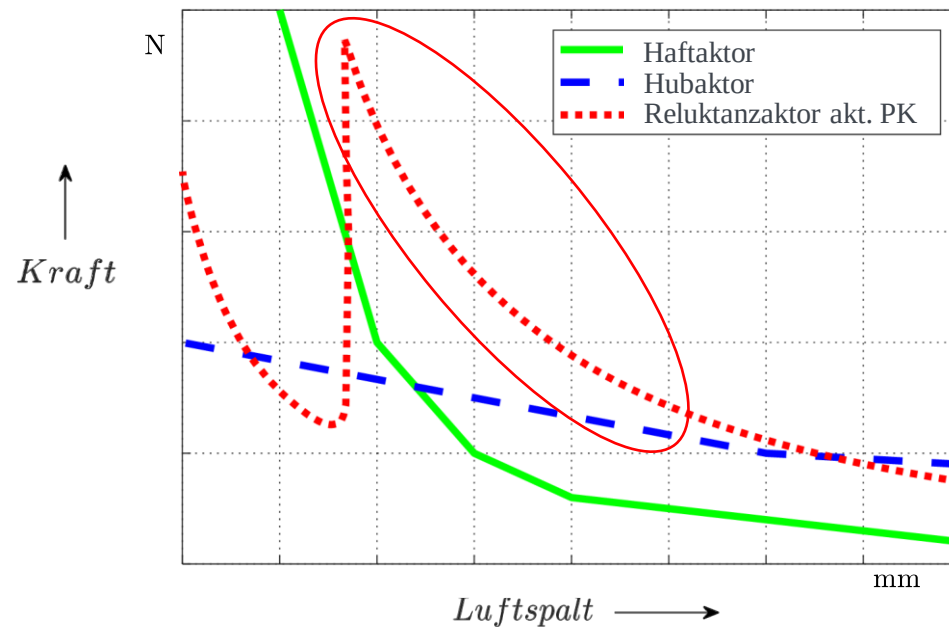
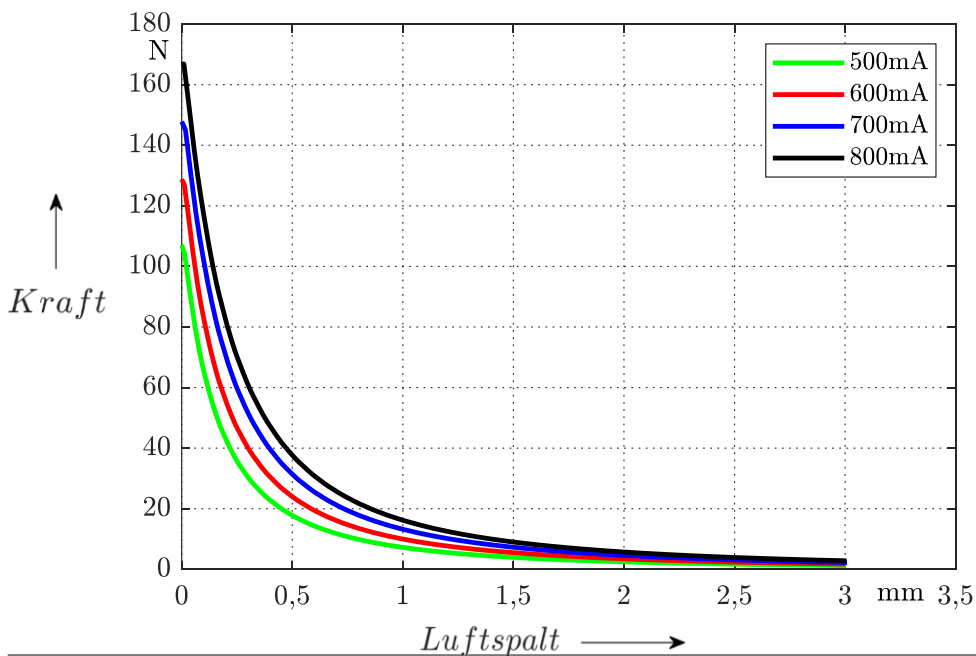
Ausgangszustand

Variante 1

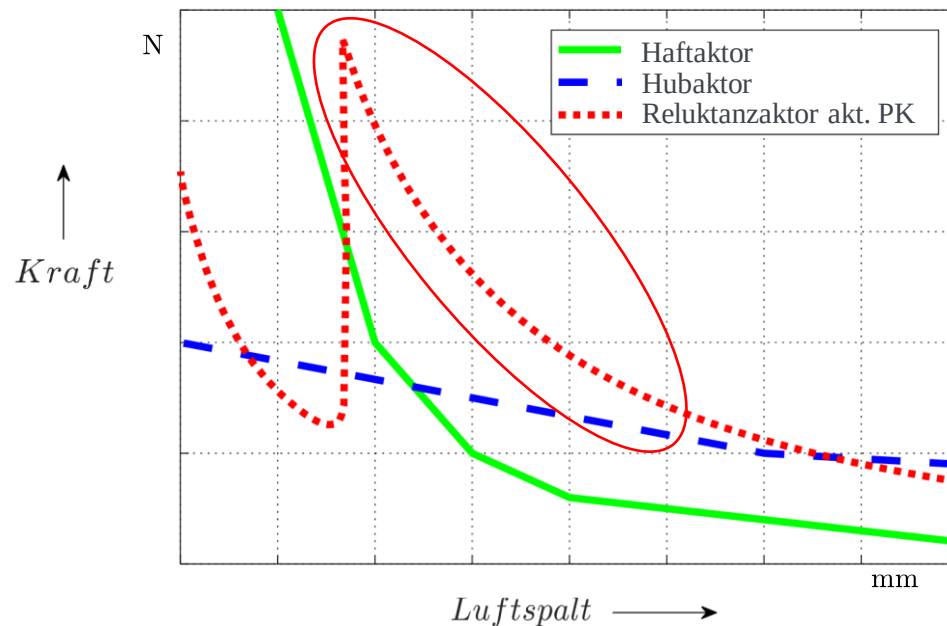
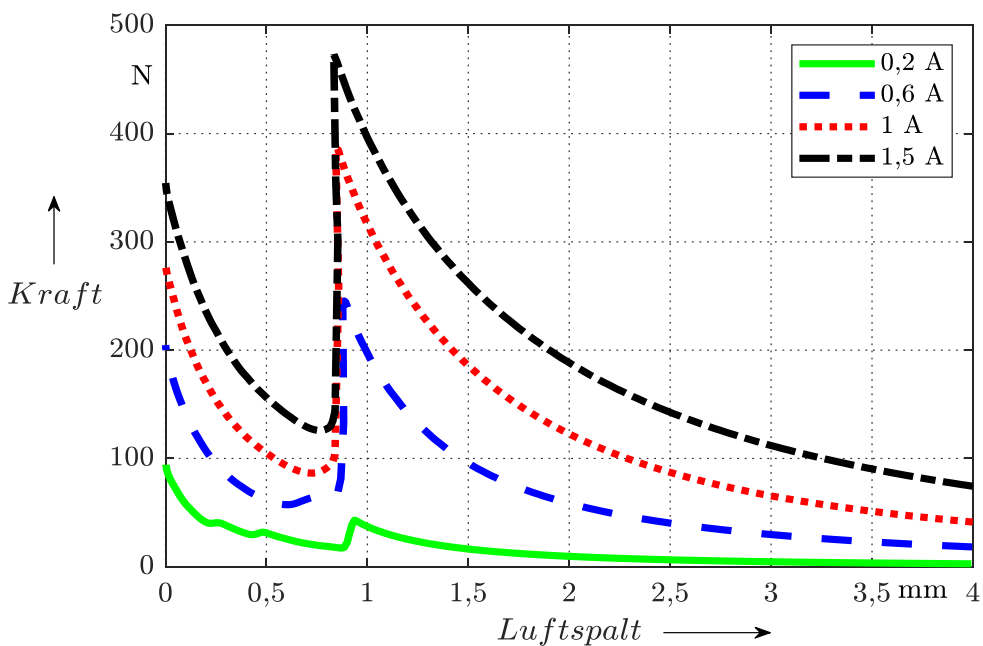
0 mm

0,5 mm



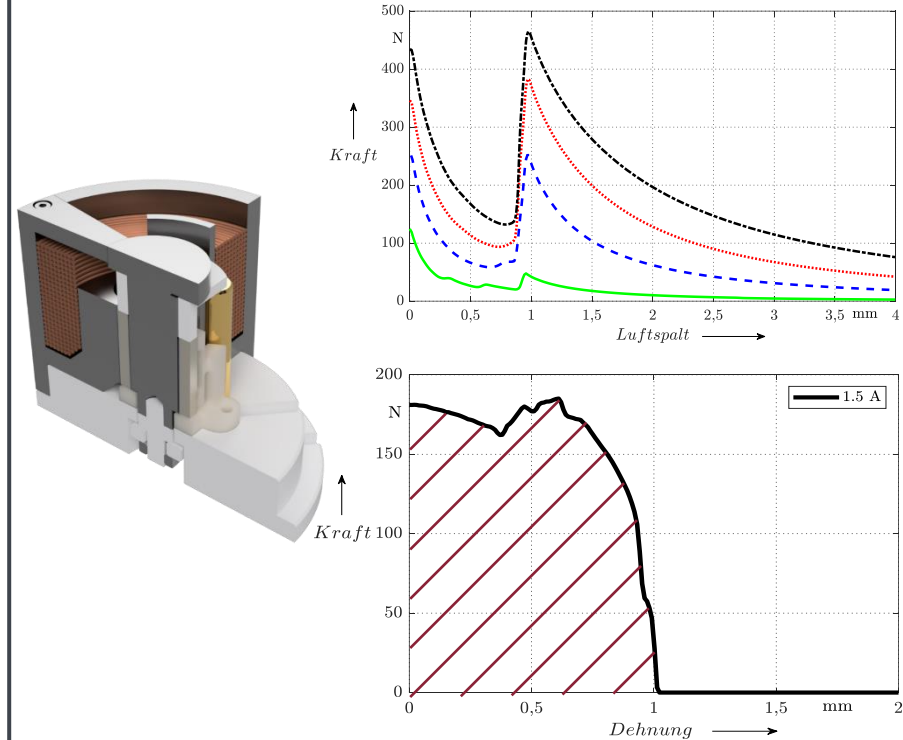


MSM-Aktor mit aktivem Polkern



Es wurden zwei Prototypen zu feinwerktechnischen Aktoren mit aktivem Kern vorgestellt

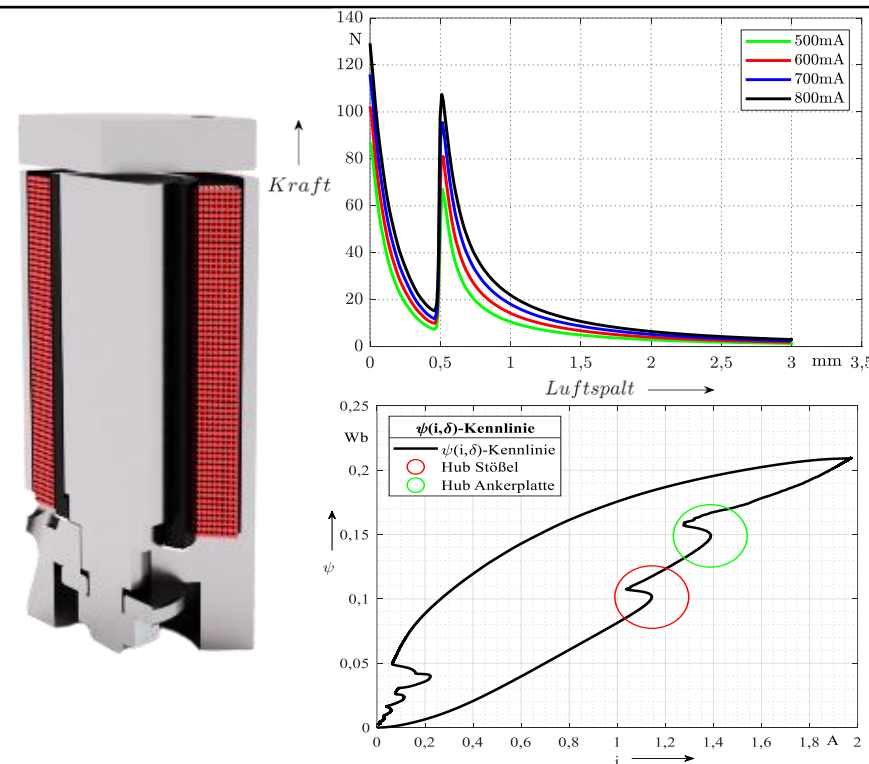
- Funktionsfähige Konstruktion der MSM-Stick-Lagerung sowie der Lagerung des Stößels ($f=1$)
- Prototyp bestätigt die Simulationsergebnisse und damit die Eignung der MSM-Sticks für einen solchen Aktor
- Vorteilhafte Verschiebung der Kraft-Weg-Kennlinie
- Die verwendeten MSM-Sticks nehmen bei ihrer Stauchung Bewegungsenergie der bewegten Ankerplatte auf (und reduzieren so den Schließimpuls)



Es wurden zwei Prototypen zu feinwerktechnischen Aktoren mit aktivem Kern vorgestellt

- Vorteilhafte Verschiebung der Kraft-Weg-Kennlinie
- Reduktion der Stromstärke für das Schließen eines Luftspalts **von 2,6 mm um ca. 28 %** bzw. Steigerung der Luftspaltlänge bei Stromfluss **von 3,05 A von 2,6 mm auf 3,4 mm** (Steigerung um 23,5 %)

Luftspalt der Ankerplatte	Benötigter Strom für ein Anziehen der Ankerplatte	Variante	Index
2,6 mm ↓	3,05 A	Referenz	100 %
	2,77 A	1	90,82 %
	2,42 A	2	79,34 %
	2,2 A	3	72,13 %
3,4 mm	3,05 A	4	-





Es wurden zwei Prototypen zu feinwerktechnischen Aktoren mit aktivem Kern vorgestellt

Nachfolgende Schritte / Ausblick

- Untersuchungen zu Aktor-Eigenschaften wie Schaltgeschwindigkeit und -geräusch
- Untersuchungen zu sensorischen Eigenschaften der Aktoren (Huberkennung)
- Weitere Optimierung des Betriebsverhaltens und der Ansteuerung (Stromregelung, Polarisierung, Bistabilität,...)
- 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

0711/685 66424

