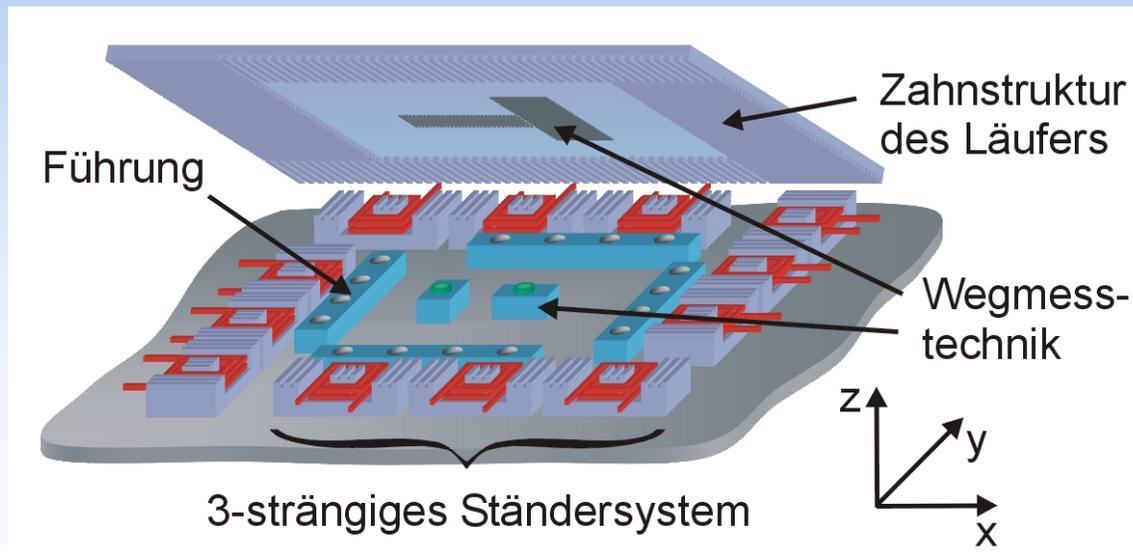


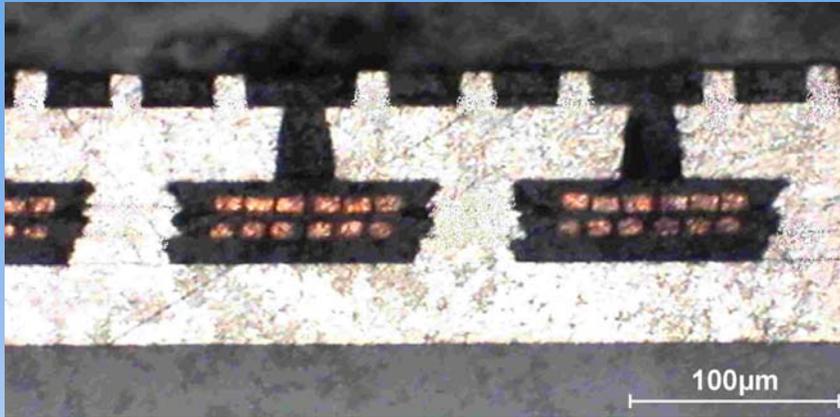
LNQE on the Road in der Elektrotechnik

Elektromagnetischer Mikrolinearmotor
mit integrierter magnetischer Führung

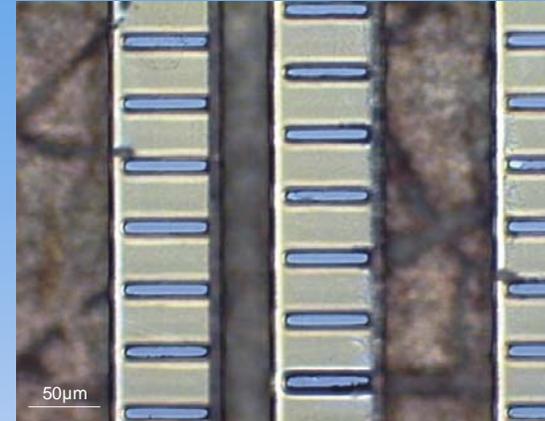
- Elektromagnetische Mikrolinearmotoren
- Simulationen
 - FEM-Modell
 - Ergebnisse
 - Spezielle Designregeln
- Leistungselektronik
- Charakterisierung durch Messungen
- Integrierte magnetische Führung
 - Prinzip
 - Simulationsergebnisse
 - Erste Untersuchungen
- Zusammenfassung

- Ziel: Entwicklung aktiver Mikrosysteme, die Positionieraufgaben im nm-Bereich ausführen können
- Mitarbeit im SFB 516 *Konstruktion und Fertigung aktiver Mikrosysteme*
- Aufgaben des IAL:
 - Elektromagnetische Dimensionierung und Simulationen
 - Entwicklung von Ansteuerung und Regelung
 - Mitarbeit bei der Charakterisierung
- Verlängerung der Förderung bis 2010

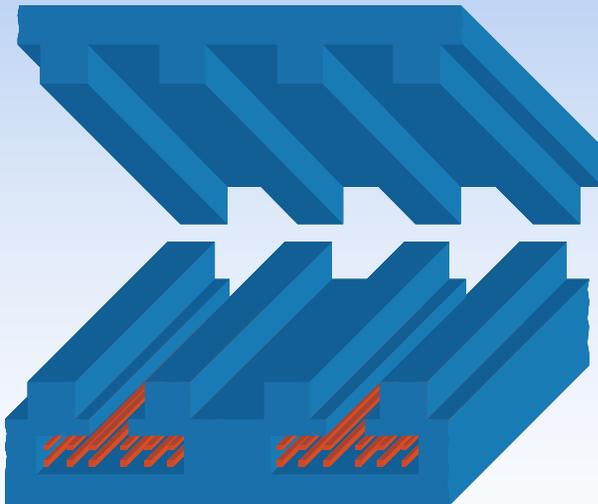




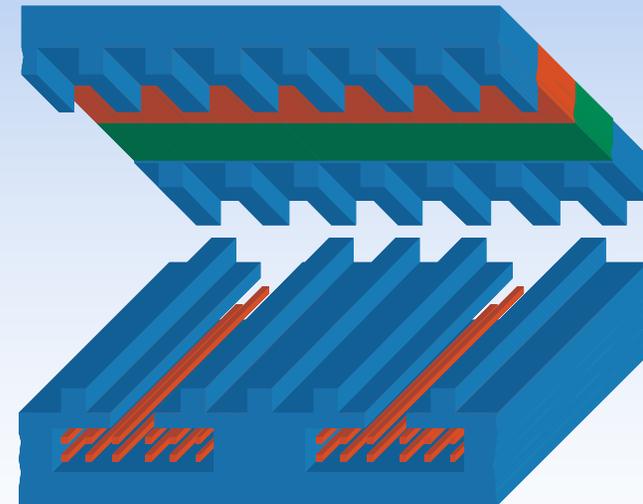
Schnitt durch Ständer



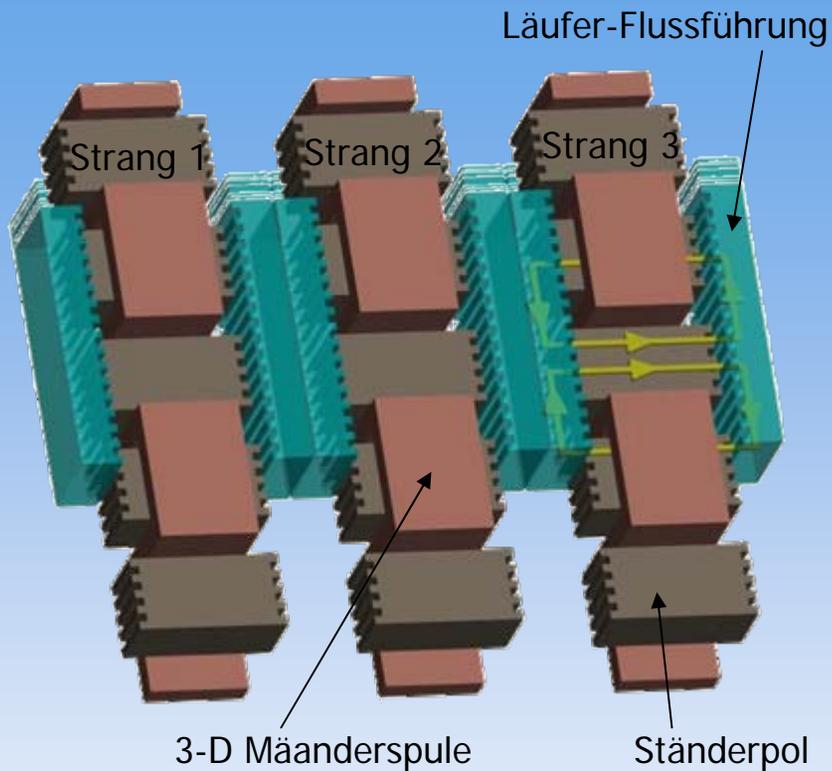
Hybridläufer von unten



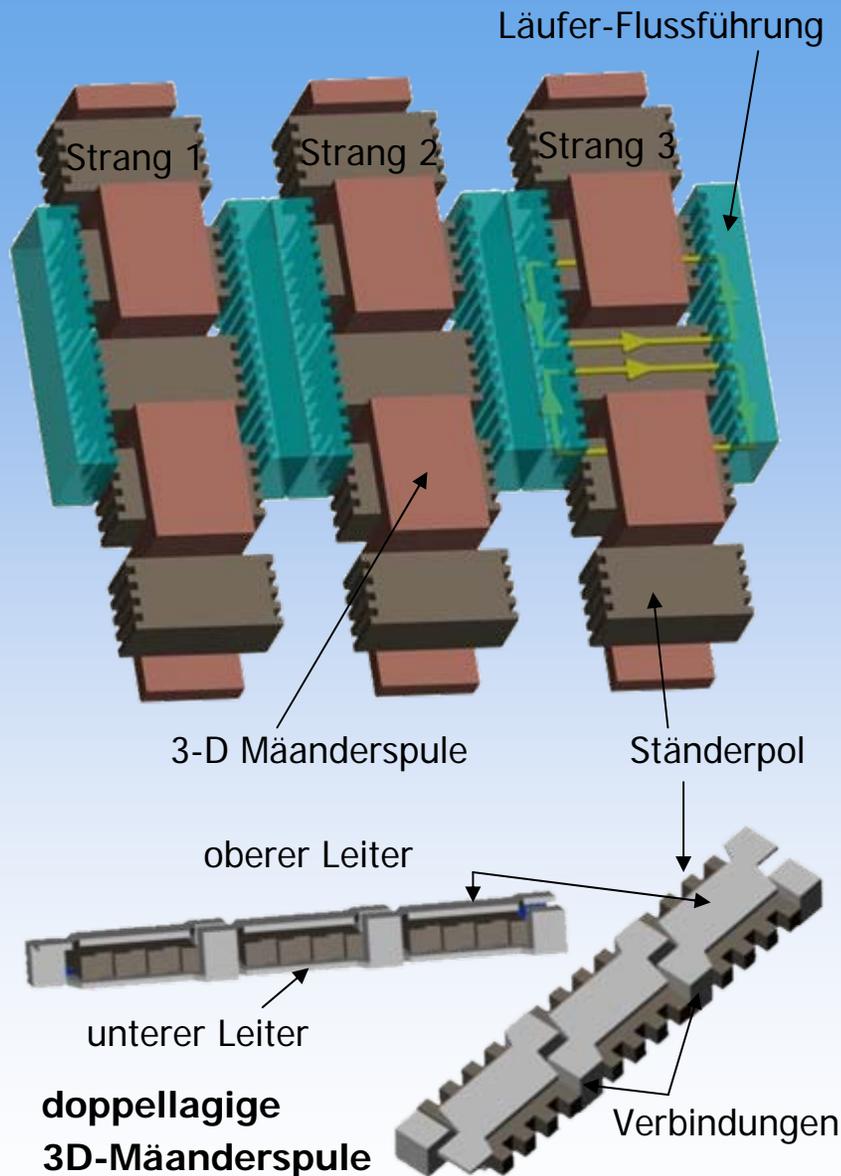
Reluktanzprinzip



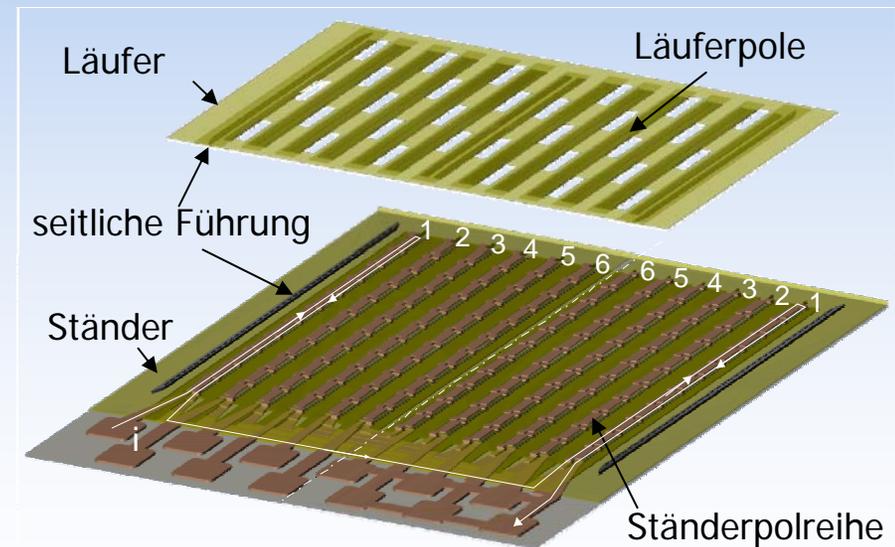
Hybridprinzip



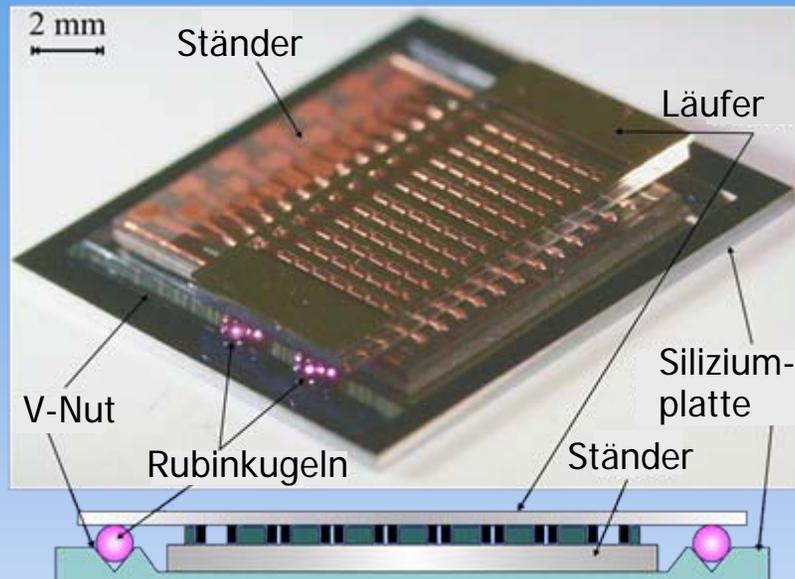
- Reluktanzschrittmotor mit horizontaler Flussführung: „Horizontalmotor“
- Kompensation der Maxwell'schen Normalkräfte
- Herstellung mittels mikrotechnischer Verfahren



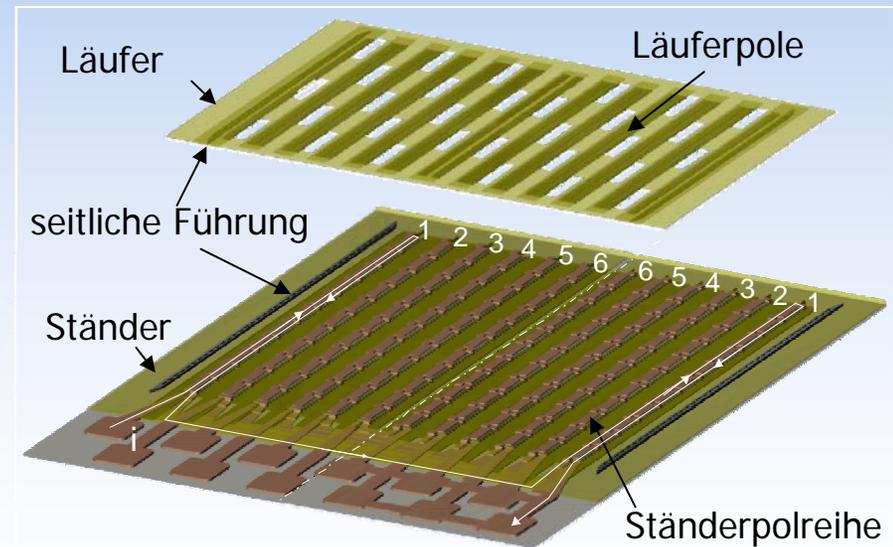
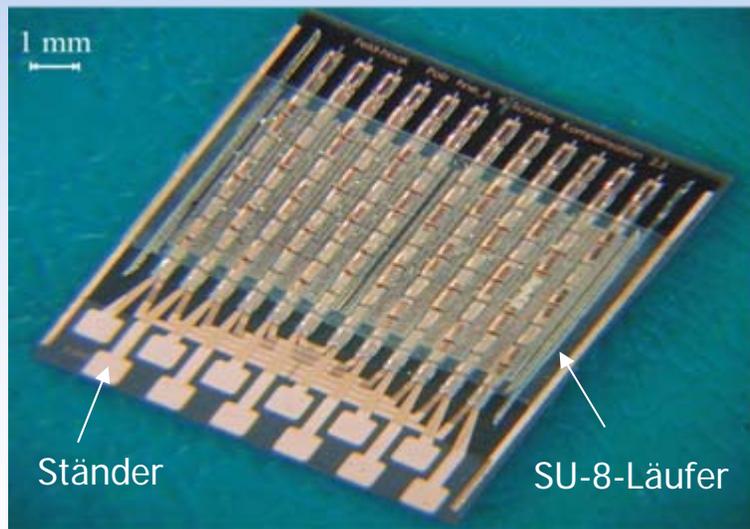
- 6 Stränge
- Zahnteilung: $100\ \mu\text{m}$
- Schrittweite: $16.7\ \mu\text{m}$
- Luftspalt: $4 - 8\ \mu\text{m}$

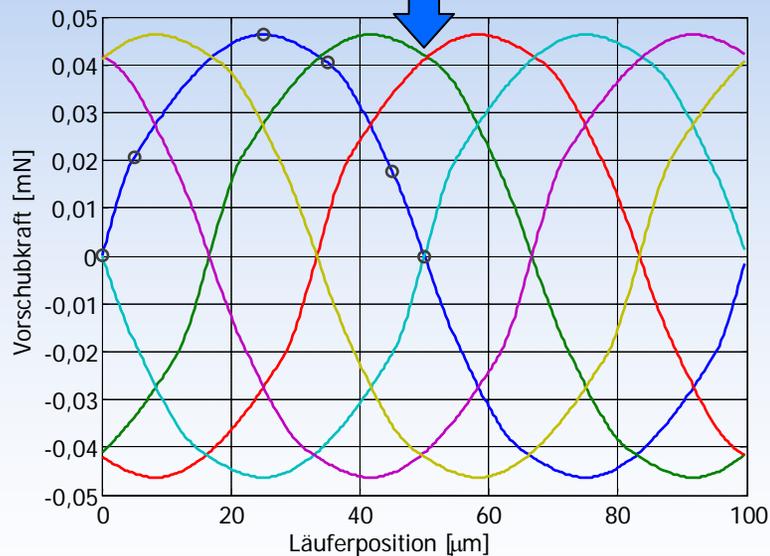
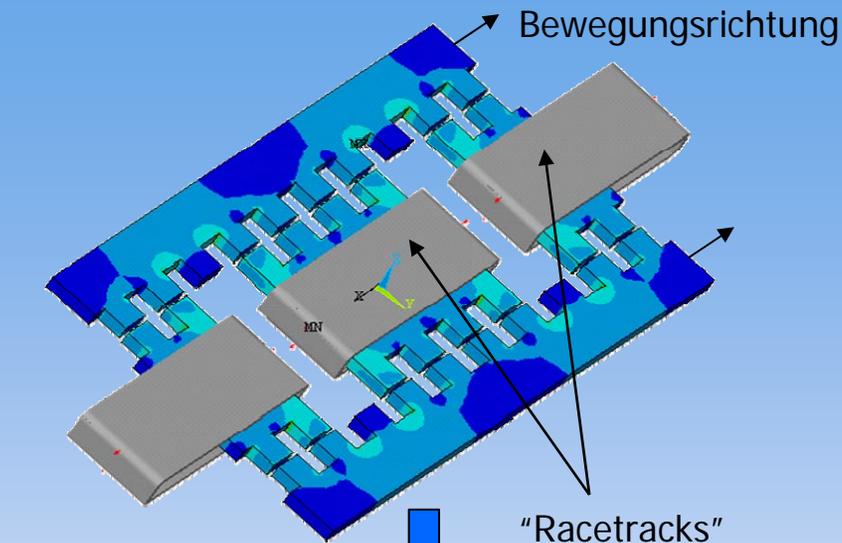


**doppellagige
3D-Mäanderspule**



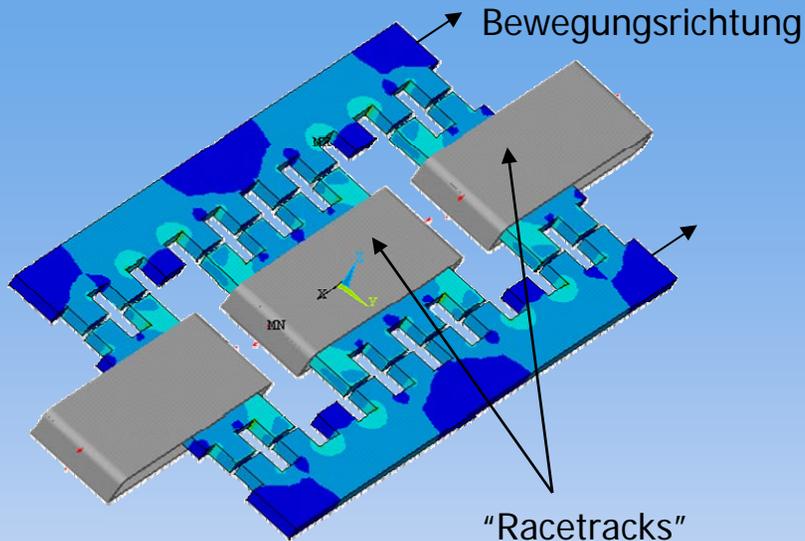
- 6 Stränge
- Zahnteilung: 100 μm
- Schrittweite: 16.7 μm
- Luftspalt: 4 – 8 μm
- Kugelführung oder tribologische Führung





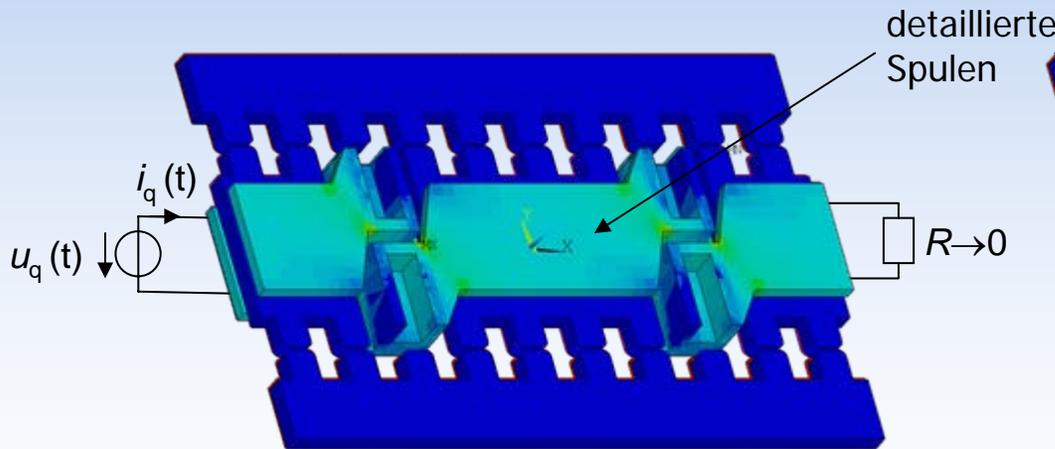
FEM-Simulationen

- Parametrisches 3D ANSYS®-Modell
- Abbildung einer doppelten Polteilung
- Vereinfachung der Spulengeometrie
- Skalierungsfaktor zur Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit
- Verschiebung des Läufers in sämtliche Raumrichtungen möglich
- Kraftberechnung für einen Strang und unterschiedliche Läuferpositionen
- Generierung der vollständigen Kraftkennlinien sämtlicher Stränge unter Ausnutzung der Symmetrieeigenschaften

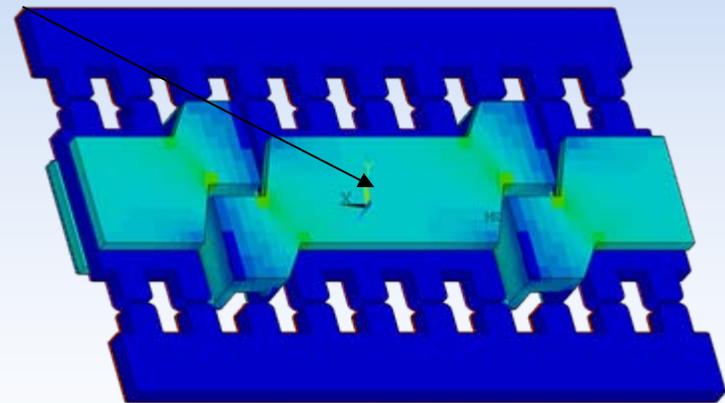


Erweitertes FEM-Modell

- Detaillierte Abbildung der Spulen
- Spannungseinprägung
- Berechnung der Stromdichteverteilung
- Berechnung der Kupferverluste
- Möglichkeit transienter Berechnungen
- Berechnung der Wirbelstromverluste



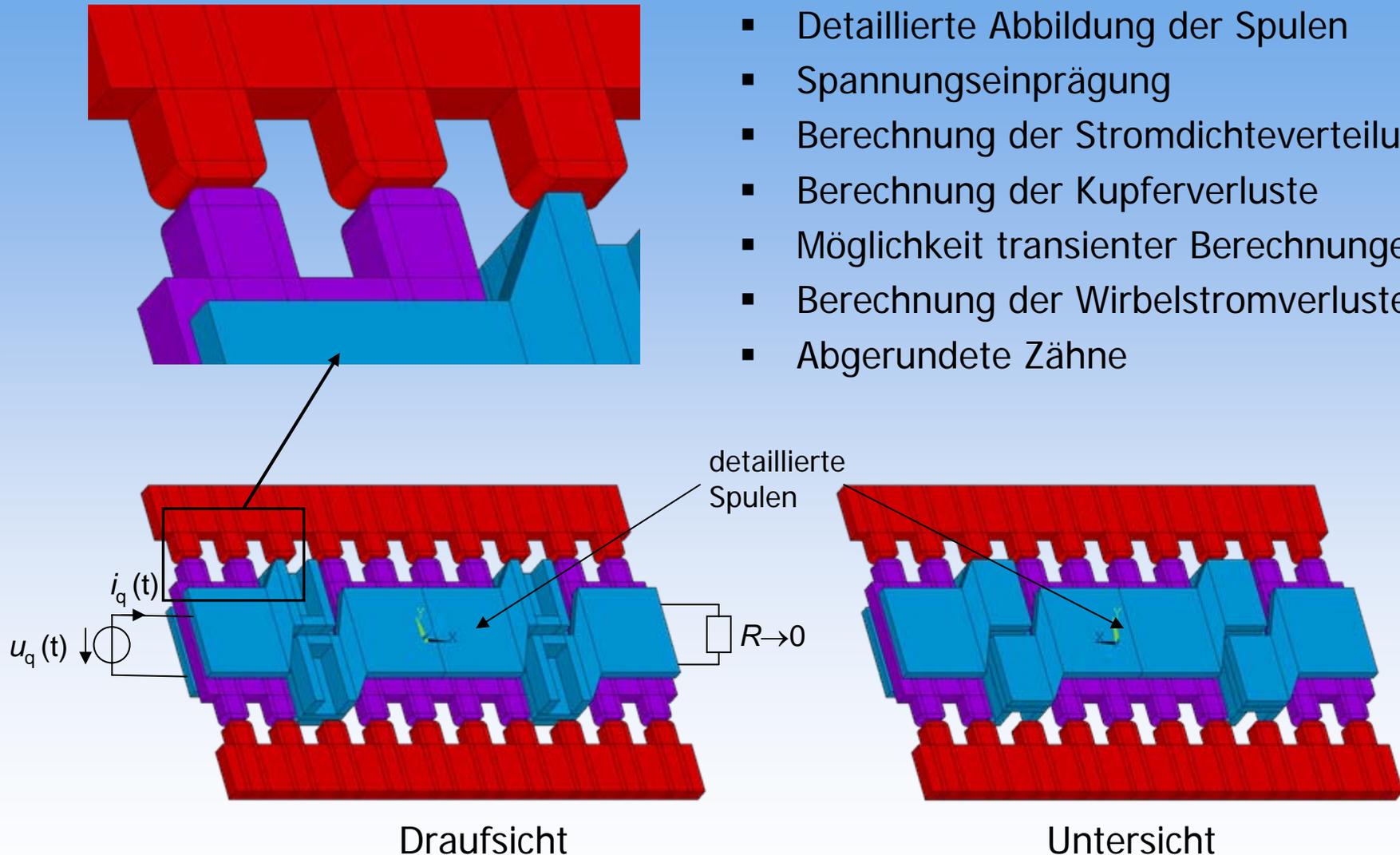
Draufsicht



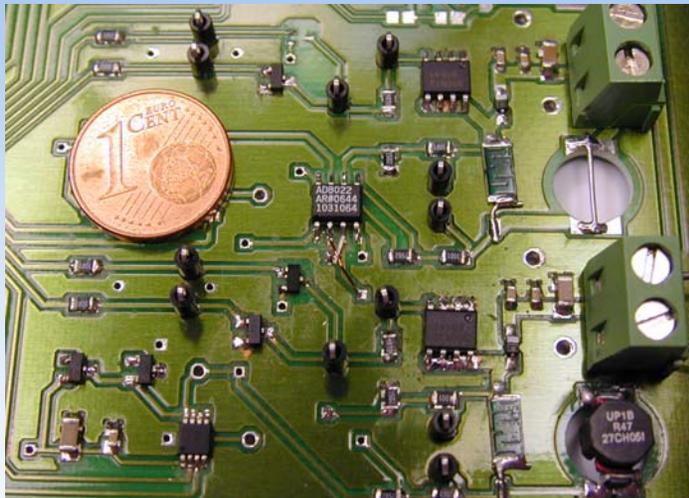
Untersicht

Erweitertes FEM-Modell

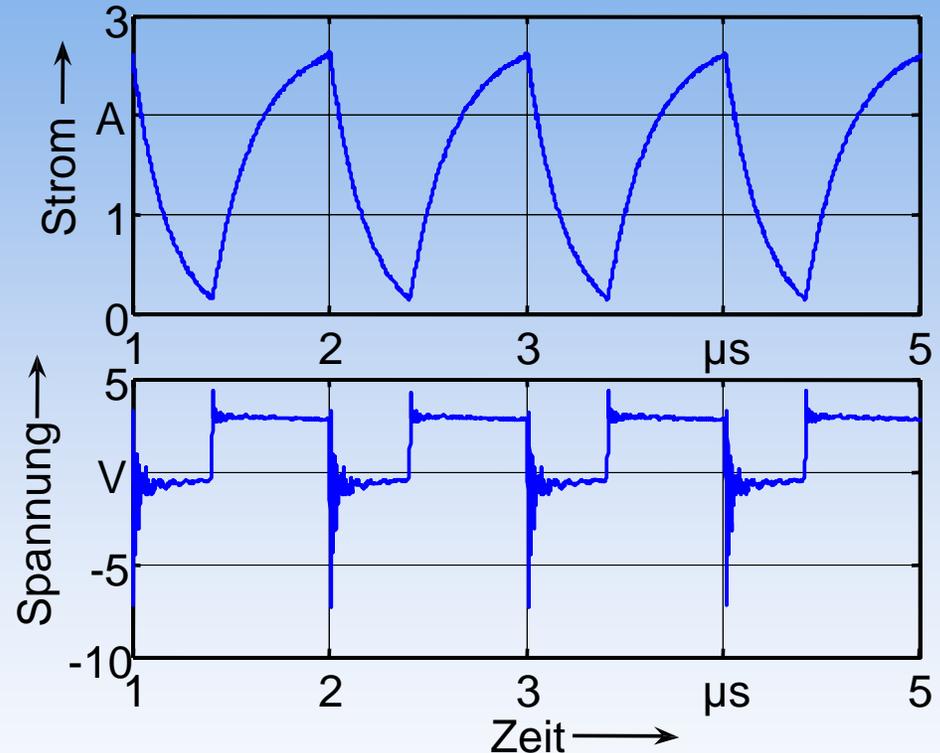
- Detaillierte Abbildung der Spulen
- Spannungseinprägung
- Berechnung der Stromdichteverteilung
- Berechnung der Kupferverluste
- Möglichkeit transienter Berechnungen
- Berechnung der Wirbelstromverluste
- Abgerundete Zähne



- Tiefsetzsteller mit Schaltfrequenz von 1-10MHz
- Ansteuerung auf einem FPGA mit 192 MHz Grundtaktfrequenz

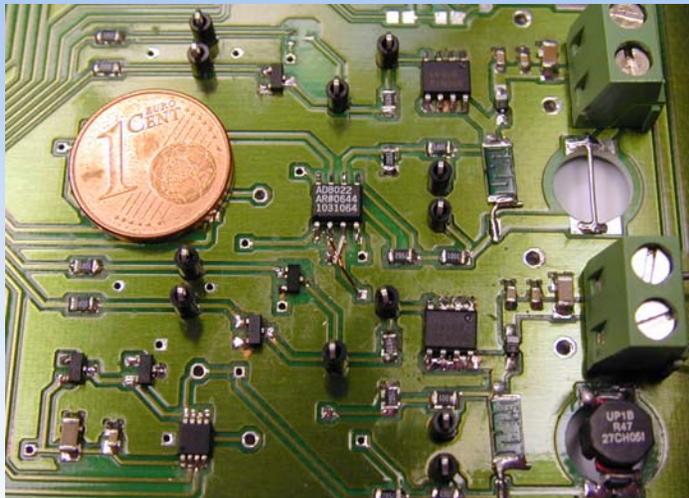


2 Stränge des realisierten Tiefsetzstellers inklusive Strommessung

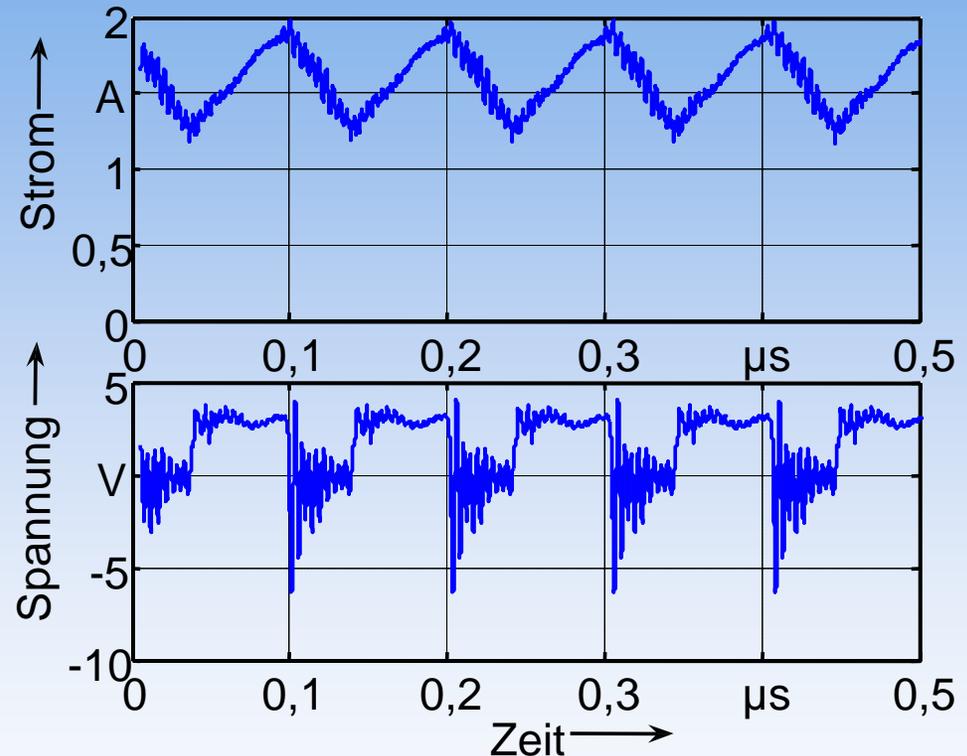


Strom- und Spannungsverläufe an der Last bei 1 MHz

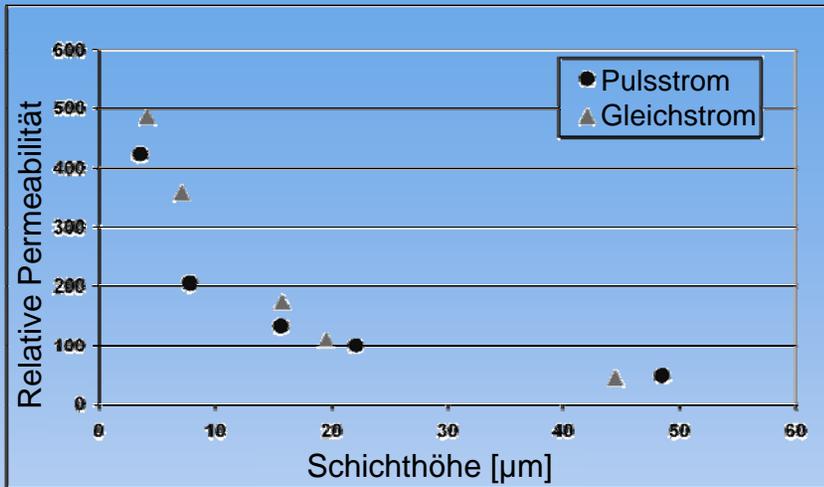
- Tiefsetzsteller mit Schaltfrequenz von 1-10MHz
- Ansteuerung auf einem FPGA mit 192 MHz Grundtaktfrequenz



2 Stränge des realisierten Tiefsetzstellers inklusive Strommessung



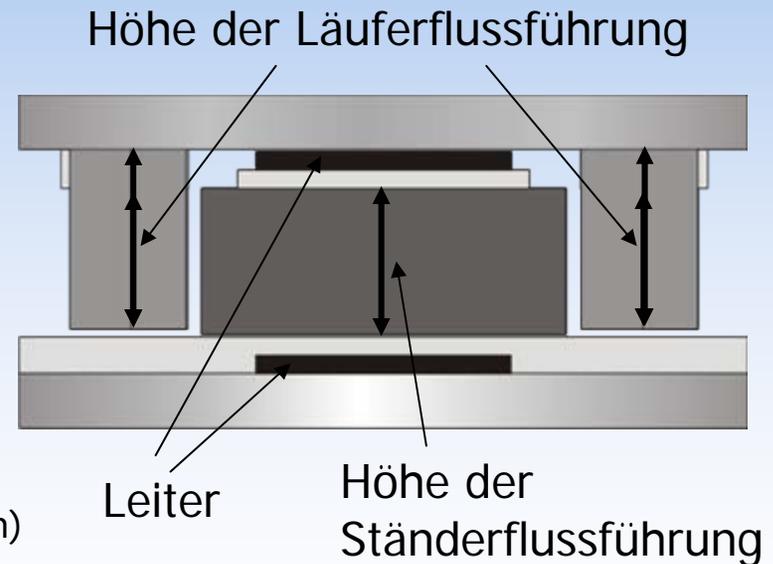
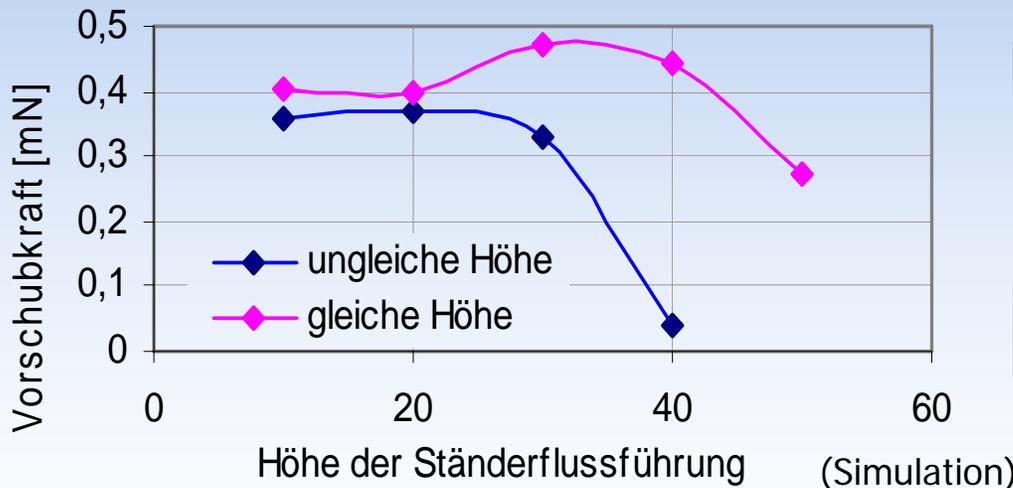
Strom- und Spannungsverläufe an der Last bei 5 MHz

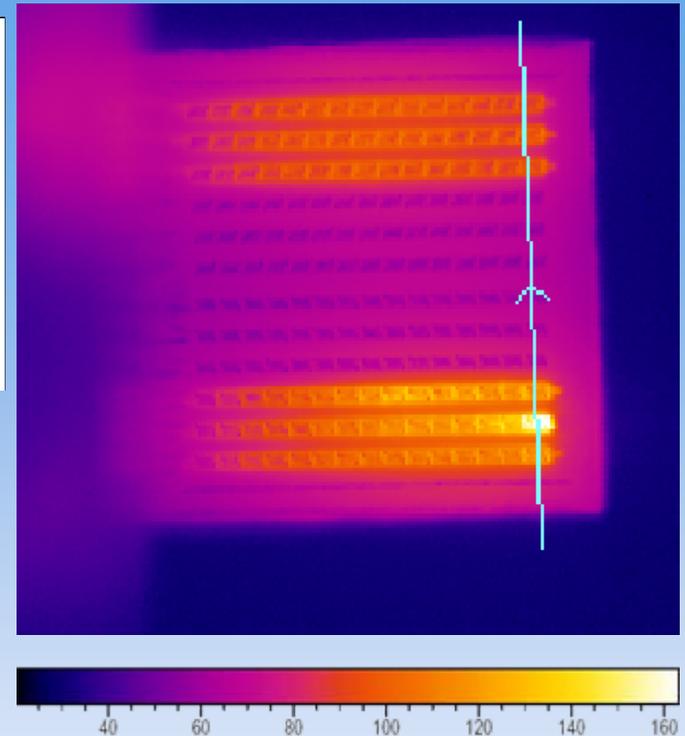
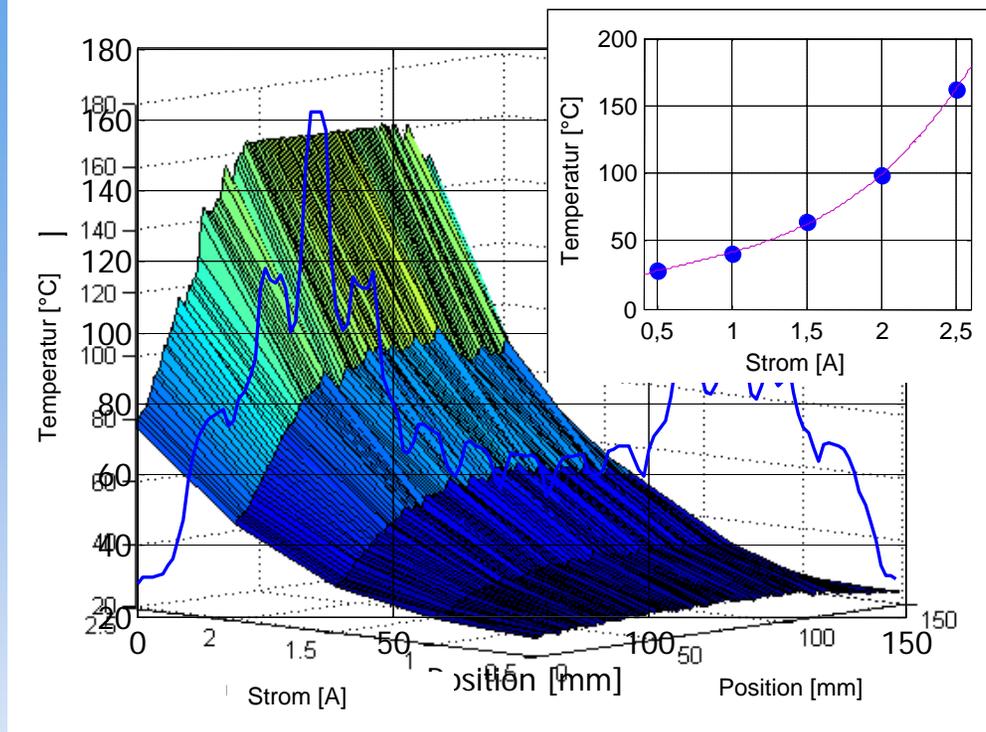


(Messung)

- Die Permeabilität weichmagnetischer Materialien hängt von der Schichthöhe ab
- Spezielle Designregeln

⇒ Die Kraft ist nicht proportional zur Luftspaltfläche!



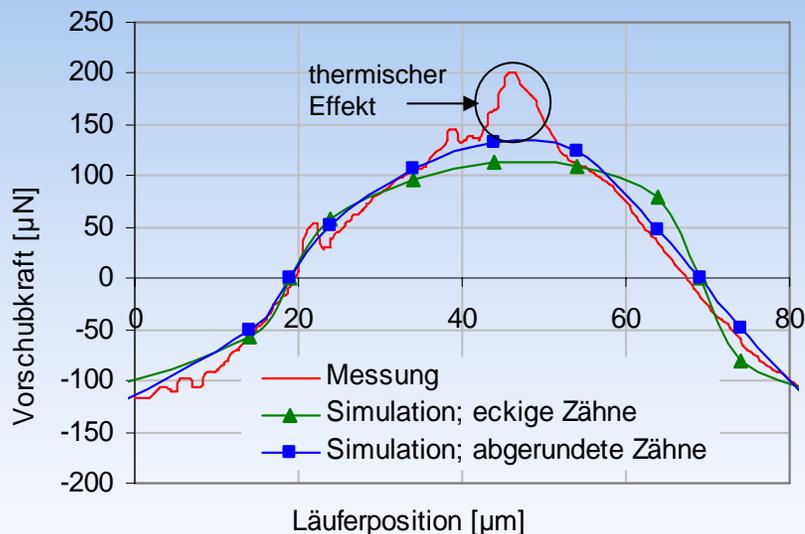


Thermografie-Messungen

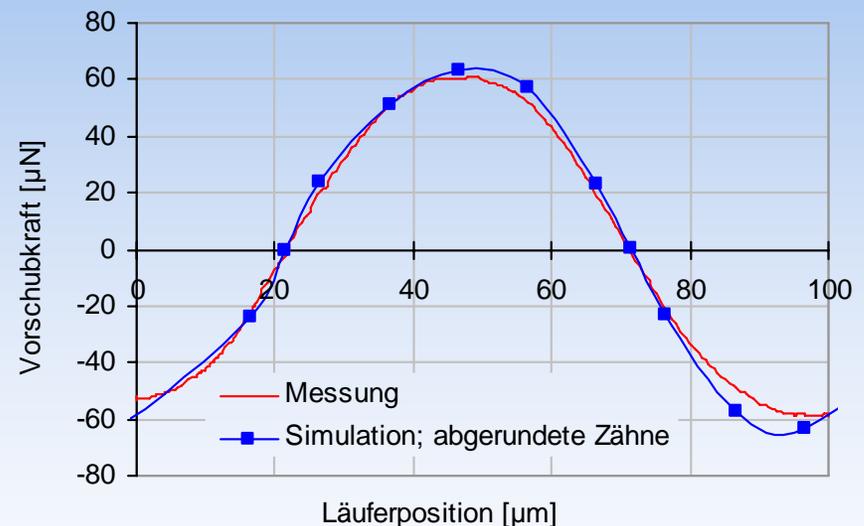
- Motor ist auf Kühlkörper befestigt
- Ermittlung des Temperaturanstiegs
- Erkennung von Herstellungsfehlern

- Vergleich zwischen Messung und FEM-Simulation
 - Berücksichtigung der Luftspaltreduzierung aufgrund thermischer Ausdehnung
 - Berücksichtigung abgerundeter Zähne

⇒ Sehr gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation

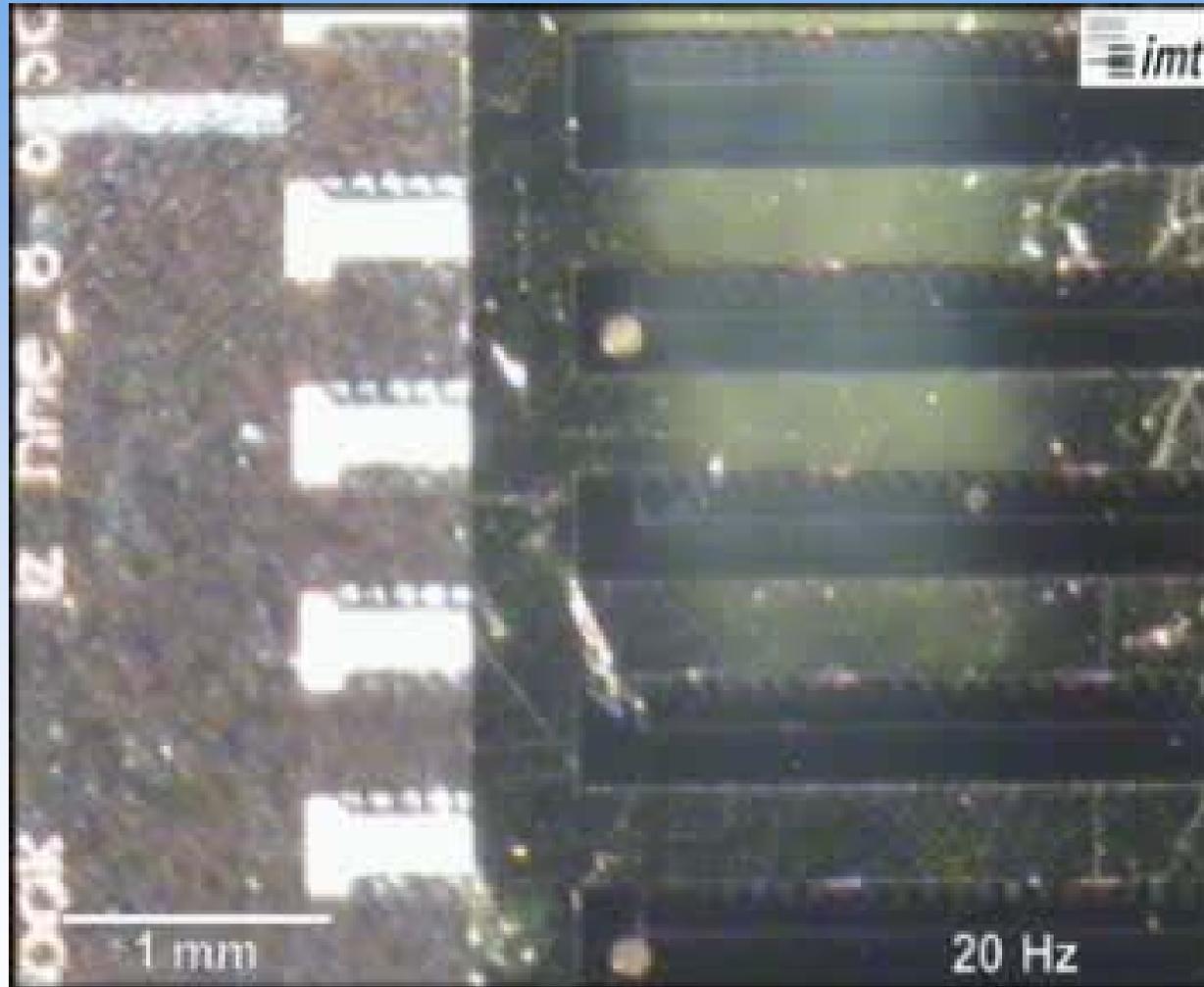


gemessene und berechnete Kraft-Weg-Kennlinie (1 Strang bestromt mit 2 A)

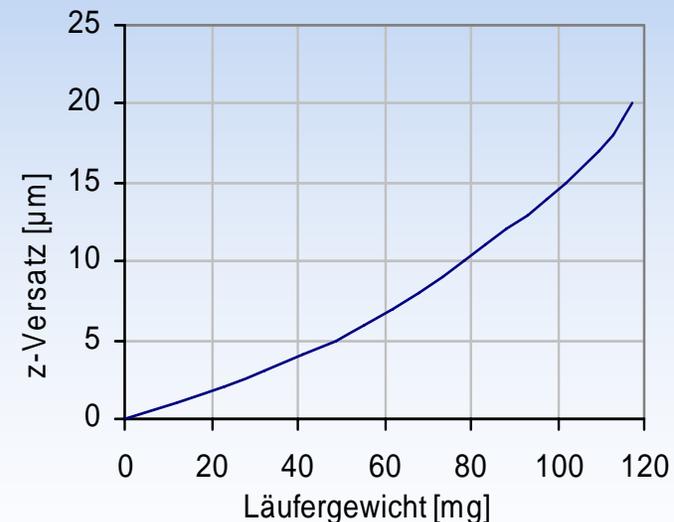
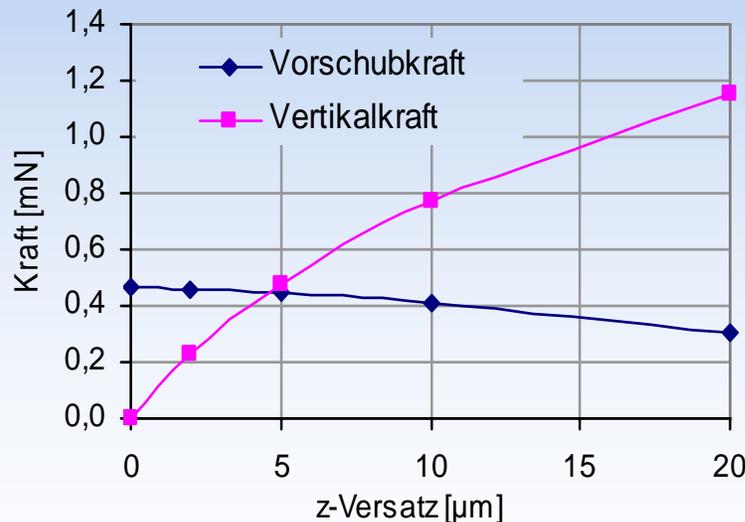
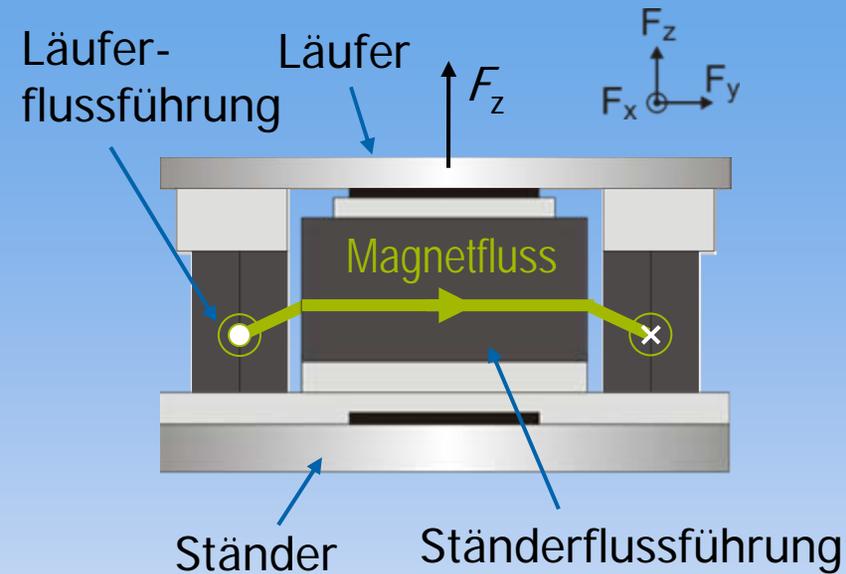


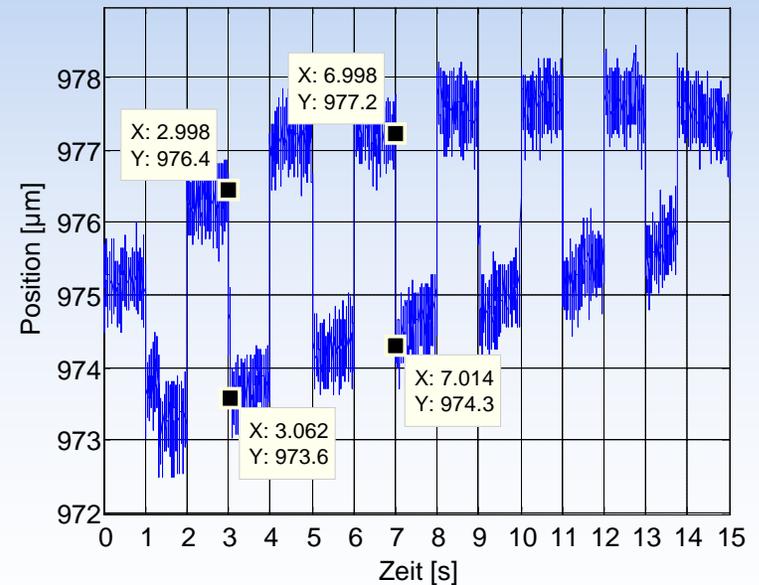
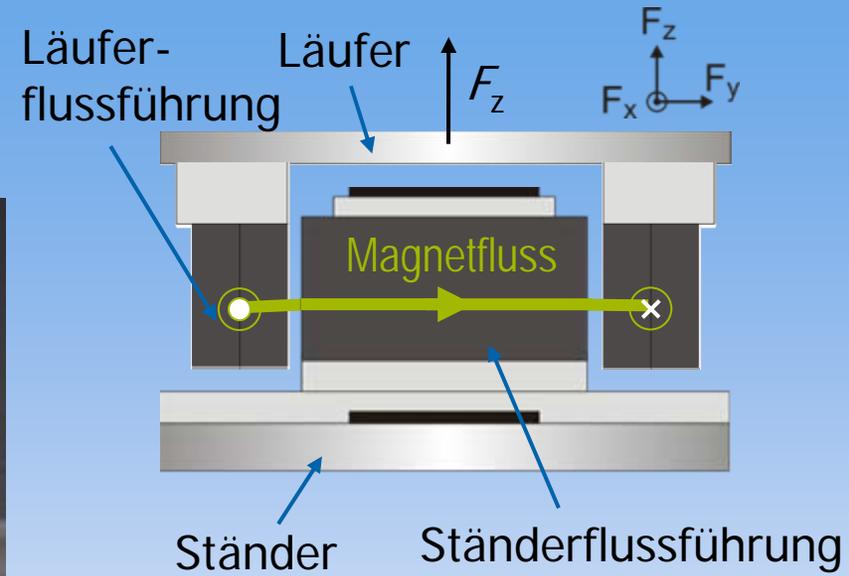
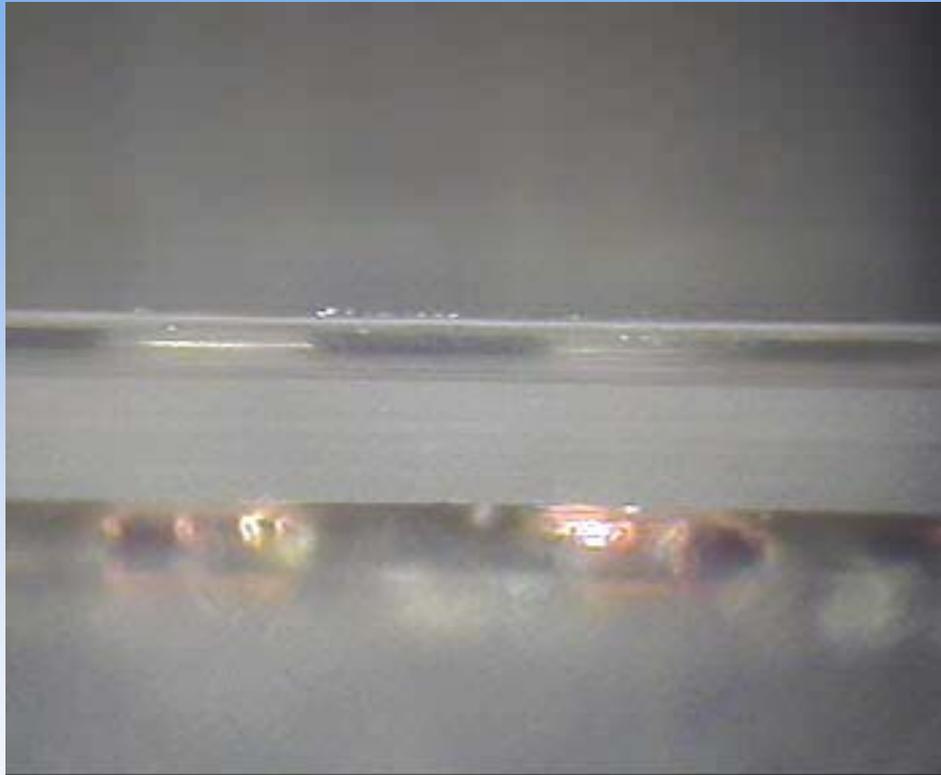
gemessene und berechnete Kraft-Weg-Kennlinie (1 Strang bestromt mit 1,5 A)

- Schrittbetrieb
- Störung des Betriebsverhaltens durch Reibeffekte



- Vertikaler Versatz zwischen Läufer und Ständer
- Levitation aufgrund von Maxwell'schen Grenzflächenkräften
- Keine zusätzlichen Komponenten notwendig
- Kompensation der Gewichtskraft
- Beseitigung negativer Reibeinflüsse





- Aufbau von Planaraktoren mit IMT-H
- Realisierung von rotierender Mikroaktoren mit IMT-BS
- Verkleinerte Schrittweiten durch verbesserte Fertigungstoleranzen
- Nanopositionierung durch geregelten Betrieb
- Erforschung der Grenzen sensorloser Regelverfahren für Mikroaktoren