

Ferrofluide in Technischen Anwendungen

Rück-, Ein- und Ausblicke

Prof. Dr.-Ing. habil. Arnim Nethe

Arnim.Nethe@tu-cottbus.de



Ferrofluide in Technischen Anwendungen

Vor dem Jahr 1997

- ☐ Technische Anwendungen vor Beginn des Schwerpunktprogrammes
- ☐ Welche Ferrofluide gab es damals

In den Jahren 1997 - 1999

- ☐ Technische Anwendungen zum 1. FF-Workshop (1997)
- ☐ zur ICMF 8 (1998)
- ☐ zum 2. FF-Workshop (1999)
- ☐ Zeit der Vorbereitung des Schwerpunktprogrammes



Nach dem Jahr 2000

- ☐ Technische Anwendungen im Schwerpunktprogramm SPP 1104
- ☐ Welche Ferrofluide wurden speziell entwickelt



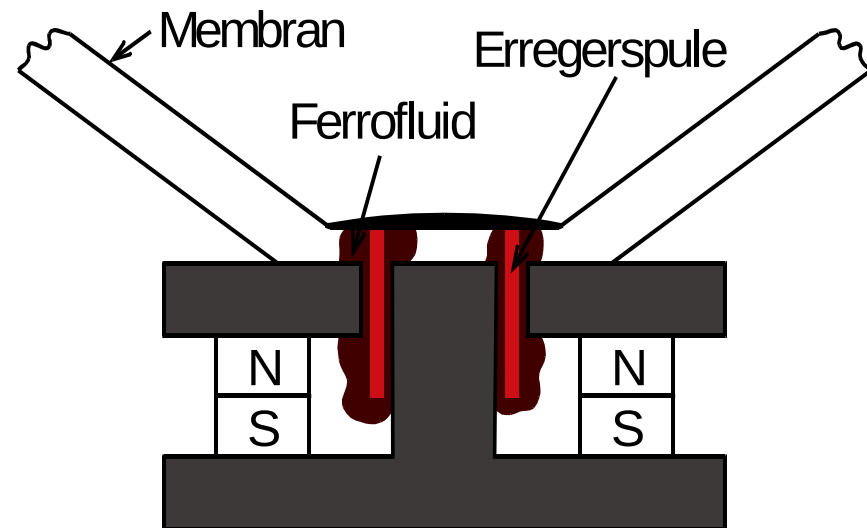
- ☐ Akustik / Lautsprecher
- ☐ Dichtung / Drehdurchführungen
- ☐ Lagerung und Schmierung
- ☐ Dämpfung
- ☐ Visualisierung

- ☐ Pumpsysteme
 - Antriebe
 - Stofftransport
- ☐ Sensortechnik
- ☐ Stofftrennung



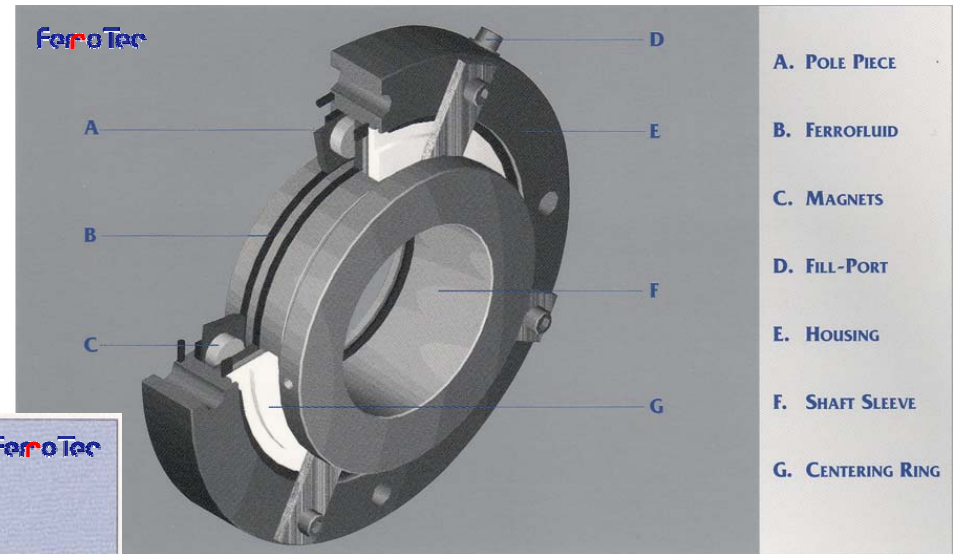
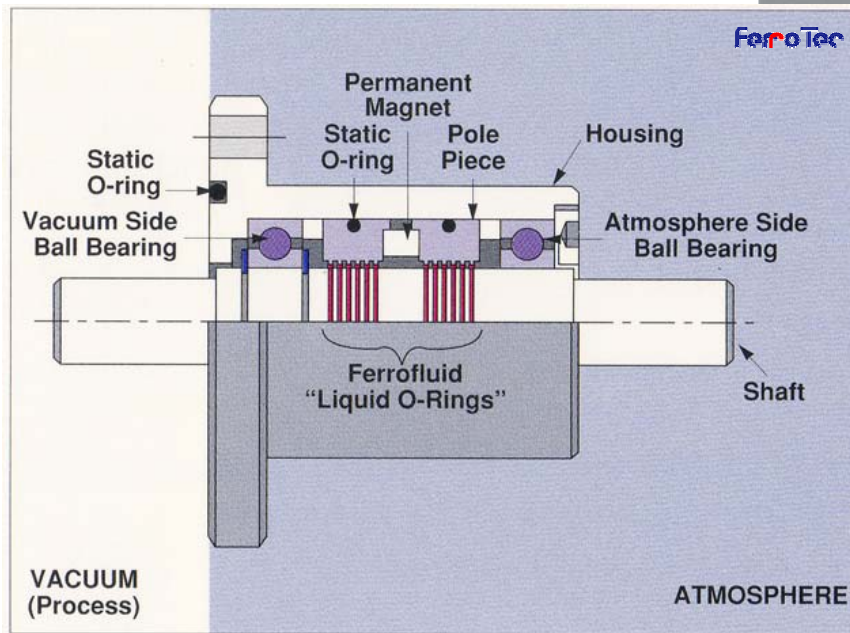
Lautsprecher

- Vom High-Tech-Produkt zum Alltagsgegenstand
- Dämpfung und Kühlung



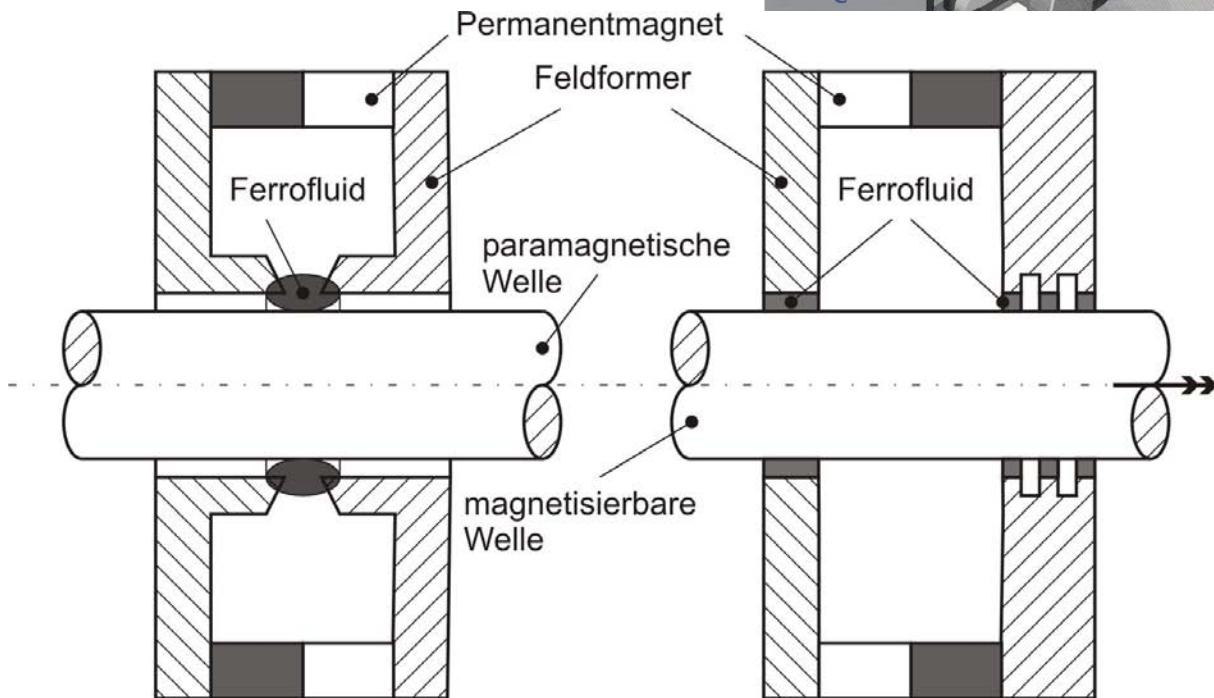
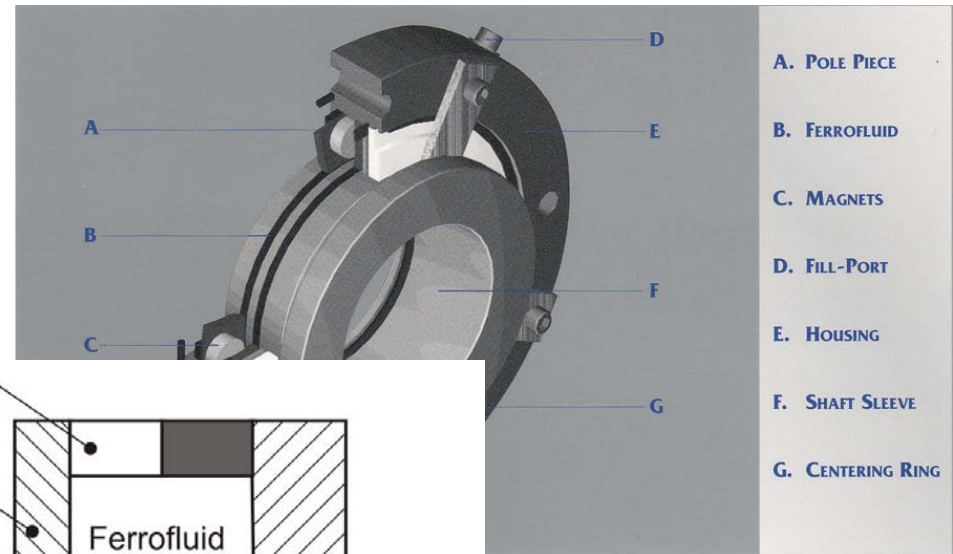
Drehdurchführungen

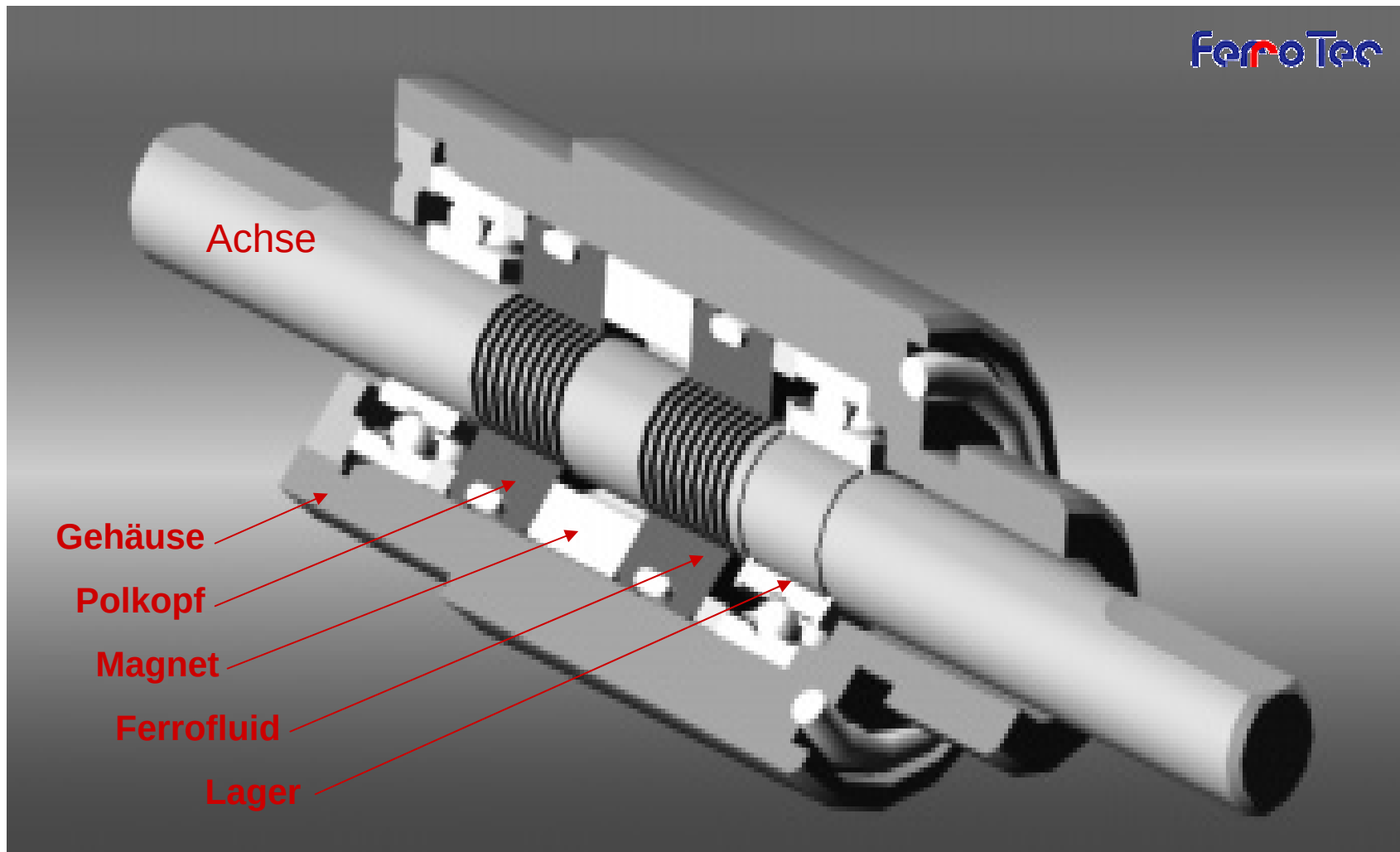
- ☐ Vakuumdurchführungen
- ☐ Dichtungen gegen Verunreinigungen



Drehdurchführungen

- ❑ Vakuumdurchführungen
- ❑ Dichtungen gegen Verunreinigungen





Lampenherstellung

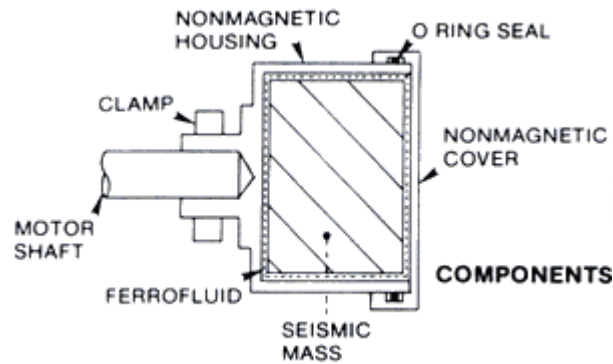
Röntgen-Anode



FerroTec

Dämpfer

Vor dem Jahr 1997 bis heute



ferroTec



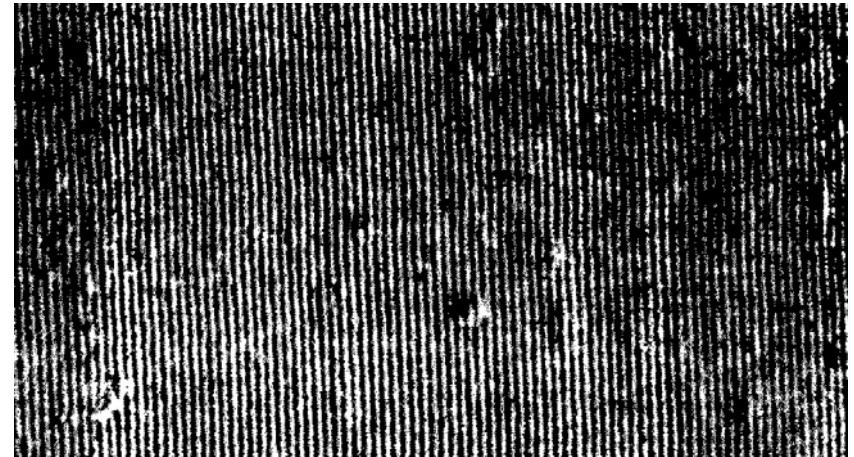
LORD



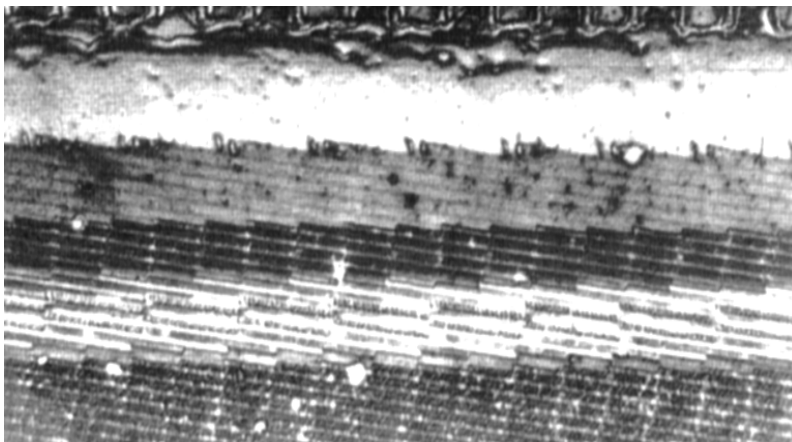
□ Videoaufzeichnung 100 μm



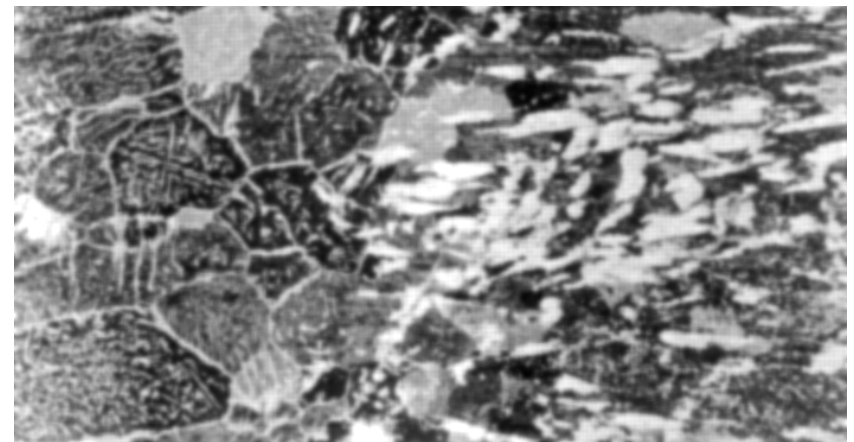
□ Tonaufzeichnung 1 μm



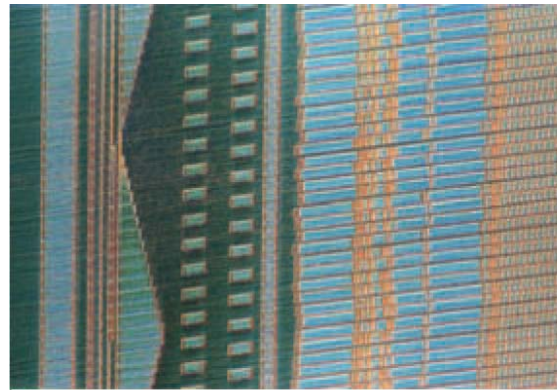
□ mit rotierendem Aufnahmekopf



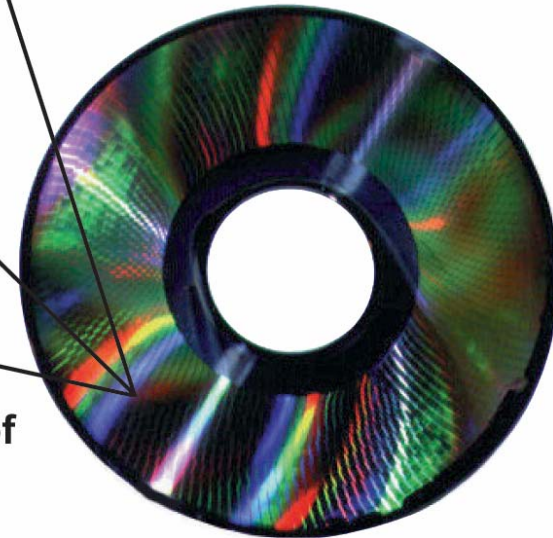
□ Stahlphasen



☐ Festplatte

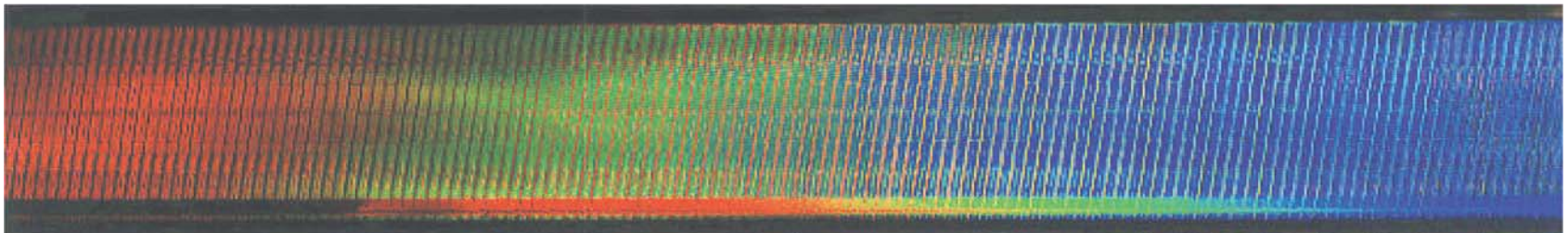


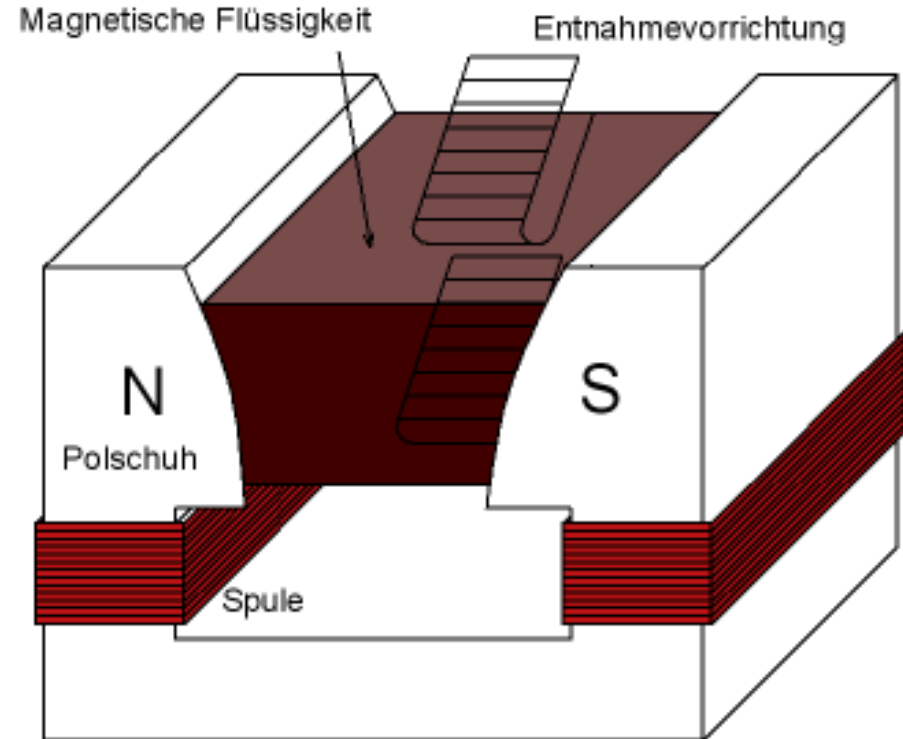
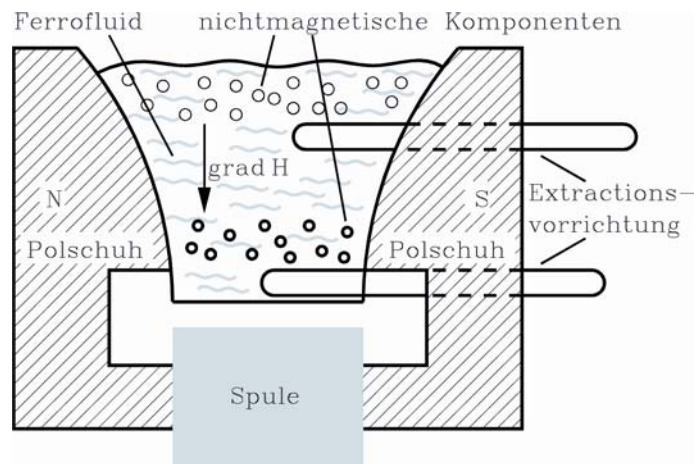
ferroTec

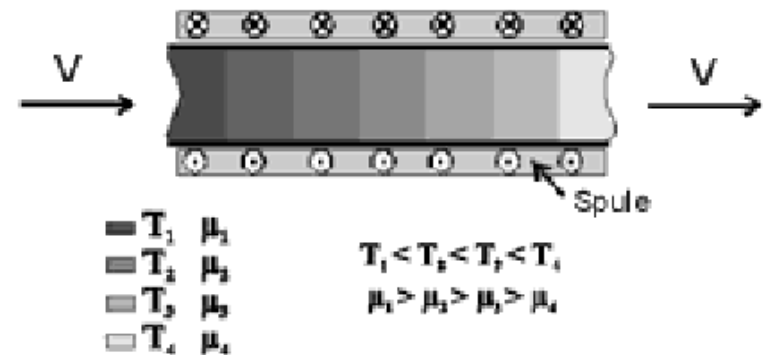
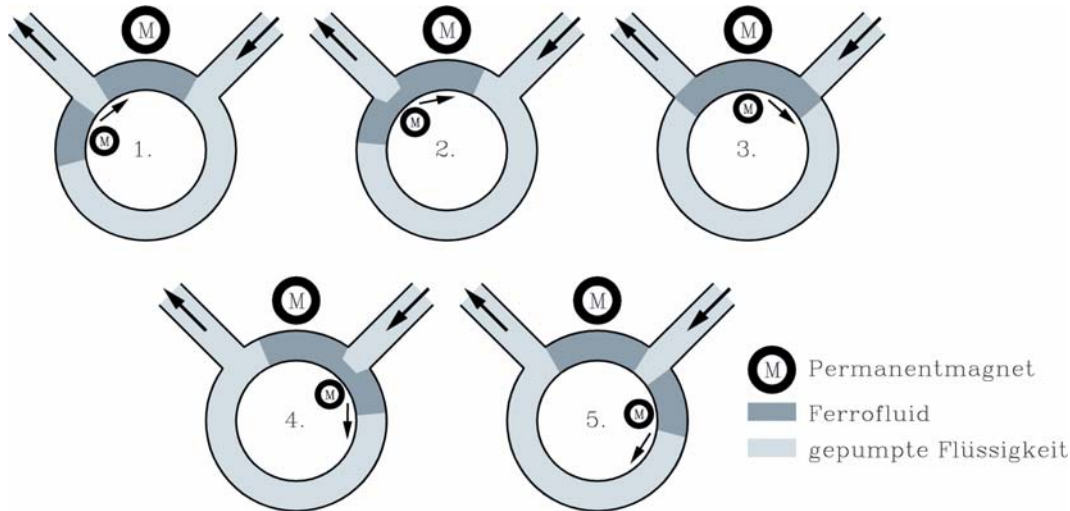


**Magnetic domain of
hard disks**

☐ Videoband

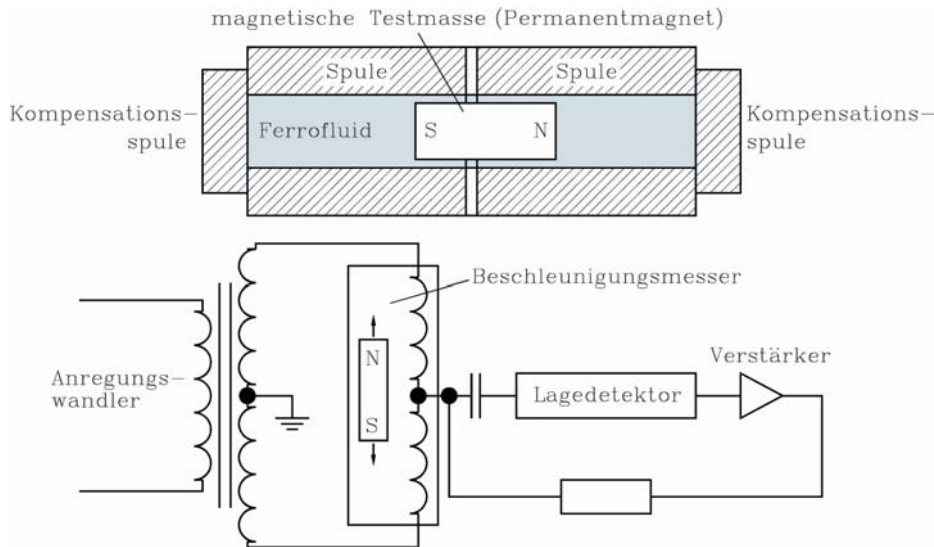




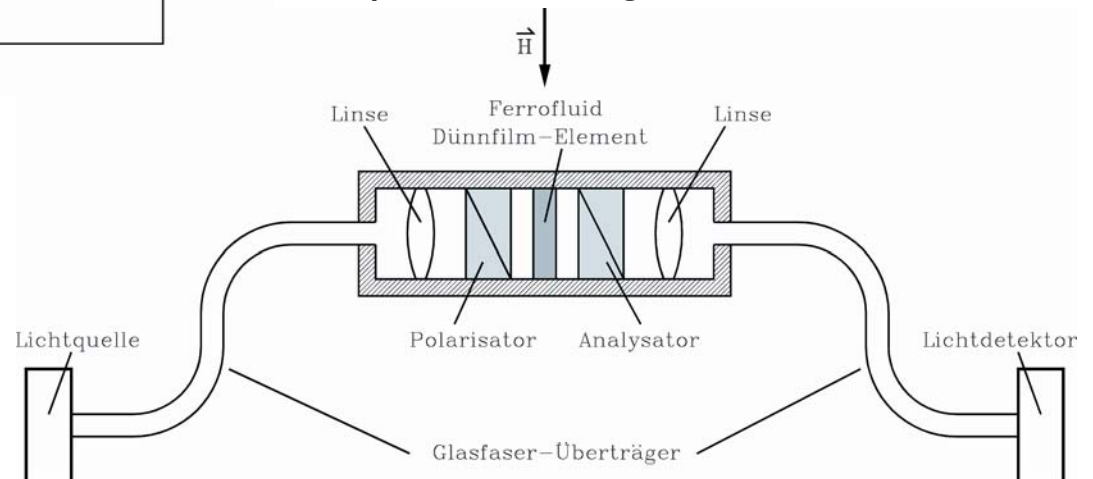


□ Beschleunigungsmesser

Uni Rostock
R. Jaskulke
O. Fiedler



Optischer Magnetfeldsensor



□ Trägerflüssigkeiten

- Wasser
- Öle
- Petroleum

□ Magnetische Partikel

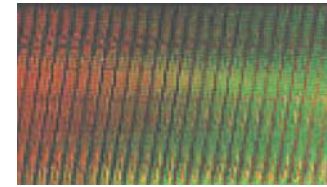
- Magnetit-Teilchen
- Fe, Co, FeN nur als Einzelexperimente

□ Magnetische Eigenschaften

- Geringe Sättigungspolarisation (bis 40 mT)
- Höhere Werte nur auf Experimentalbasis

□ Mechanische Eigenschaften richten sich nach den wenigen Anwendungen

□ Wenige Hersteller – Ferrofluidics (FerroTec) / Rheonetic (Lord Corp.)



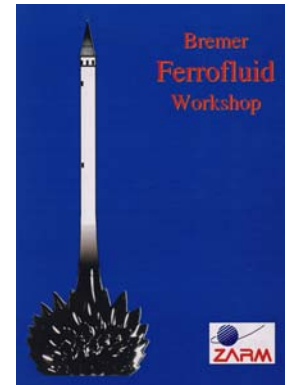
Ferrofluide in Technischen Anwendungen

Vor dem Jahr 1997

- ☐ Technische Anwendungen vor Beginn des Schwerpunktprogrammes
- ☐ Welche Ferrofluide gab es damals

In den Jahren 1997 - 1999

- ☐ Technische Anwendungen zum 1. FF-Workshop (1997)
- ☐ zur ICMF 8 (1998)
- ☐ zum 2. FF-Workshop (1999)
- ☐ Zeit der Vorbereitung des Schwerpunktprogrammes

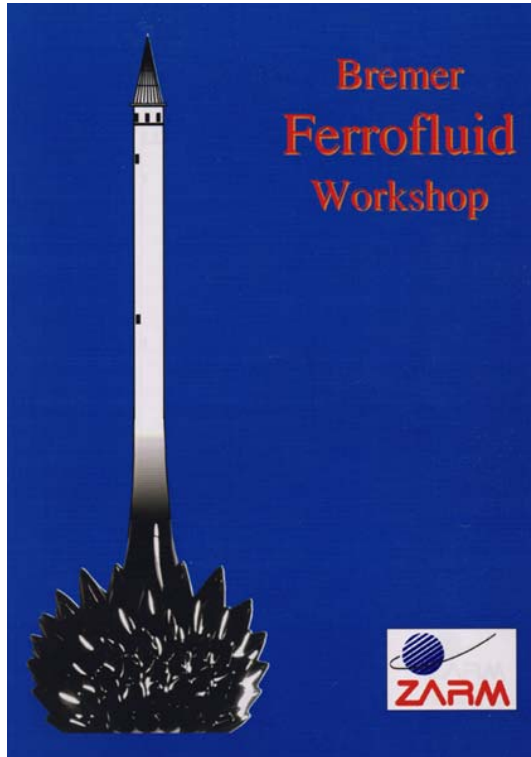


Nach dem Jahr 2000

- ☐ Technische Anwendungen im Schwerpunktprogramm SPP 1104
- ☐ Welche Ferrofluide wurden speziell entwickelt



- ☐ Wer beschäftigt sich in Deutschland mit Ferrofluiden?



- ☐ Transformator
- ☐ Schmierung
 - von Getrieben
 - von Gleitlagern
 - von Rollenlagern
- ☐ Stofftrennung
- ☐ MR Flüssigkeiten
 - Dichtungen
 - Kupplungen
- ☐ Pumpssysteme
- ☐ Kunstherz
- ☐ Magnetische Tinte

- ☐ Vorbereitung des SPP 1104

□ Erhöhung der Durchbruchspannung

Fluid	Moisture content, ppm, in the oil carrier							
	< 5		10 to 20		20 to 30		>30	
	kV	STD	kV	STD	kV	STD	kV	STD
Oil	50	3.5	43	4.2	37	4.5	28	5.7
Colloid	50	2.9	47	2.8	44	3.9	40	3.5

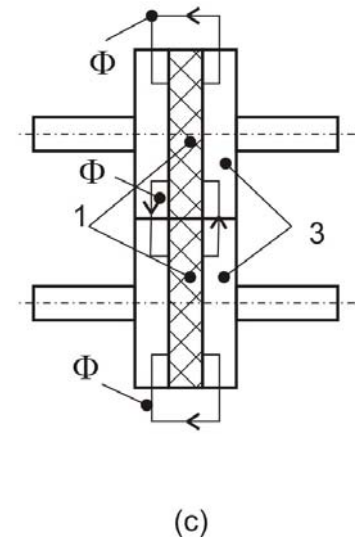
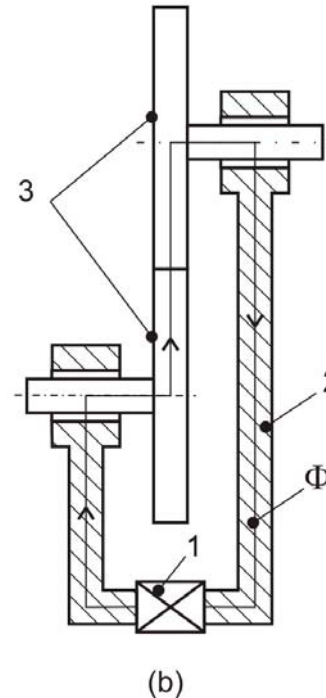
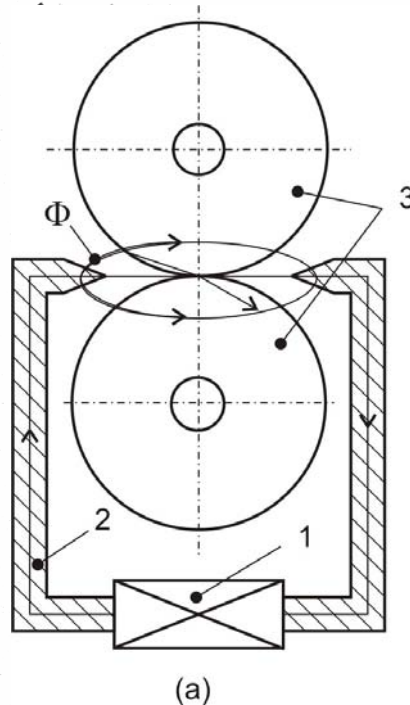
□ Verbesserter Wärmetransport



Ferrofluidics
(Joachim Schwender)

Schmierstoffverteilung

a) ohne Magnetfeld



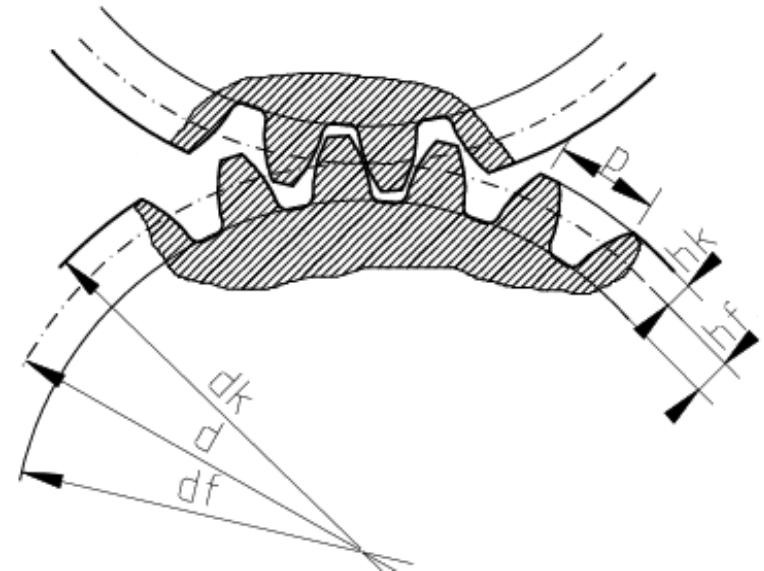
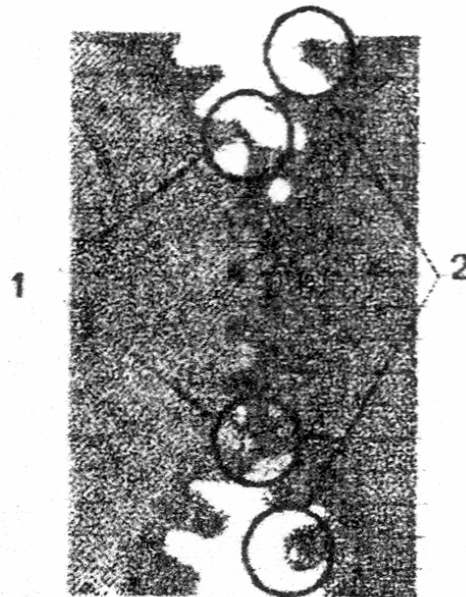
IWF – UNI Hannover
Henning Ahlers

Schmierstoffverteilung

a) ohne Magnetfeld

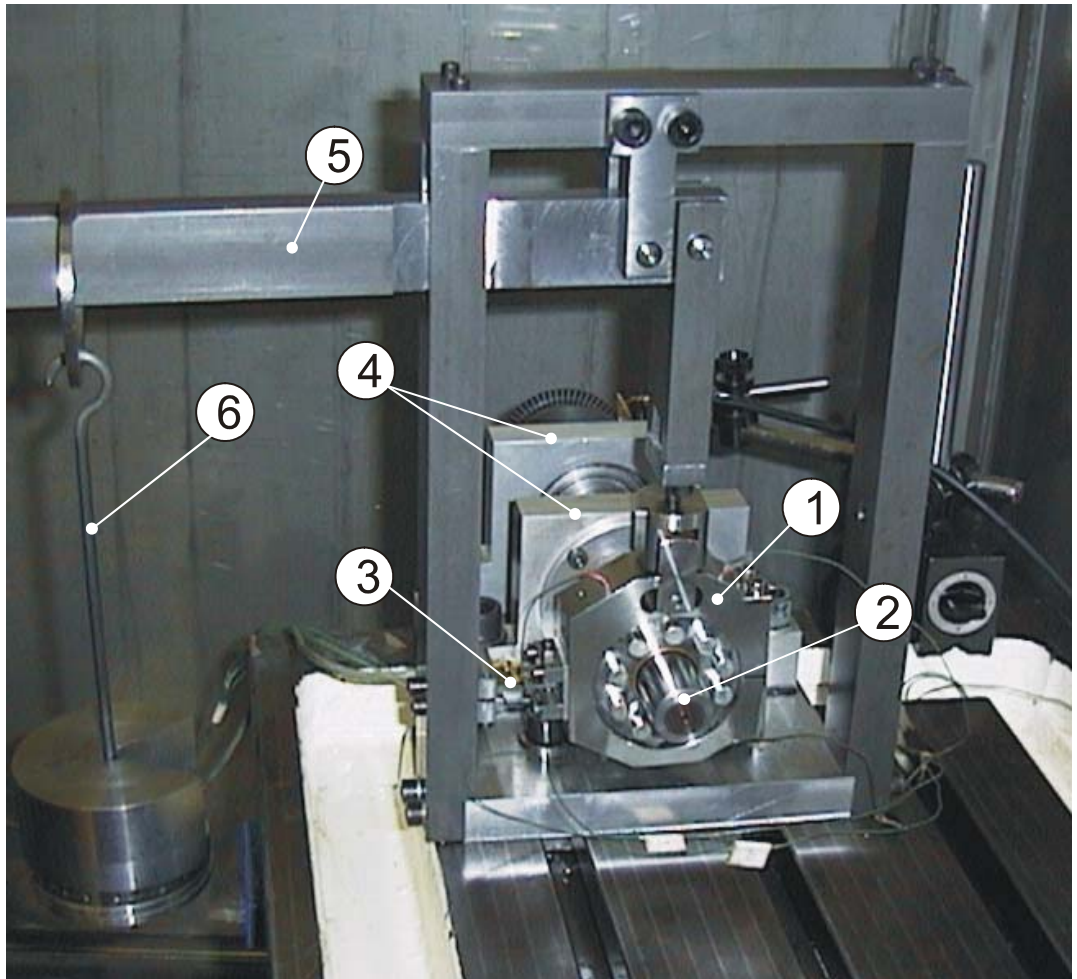


b) mit Magnetfeld



1. Schmierstoff-"Brücken" zwischen den Zahnköpfen im Kontaktbereich
2. Schmierstoff-"Tropfen" an den Zahnköpfen der freien Zähne

- ① Lagergehäuse mit Lagereinheit
- ② Prüfwelle
- ③ DMS-Biegebalken zur Reibmomentmessung
- ④ Lagerung der Antriebswelle
- ⑤ Hebel zur Aufbringung radialer Lasten
- ⑥ Gewichte



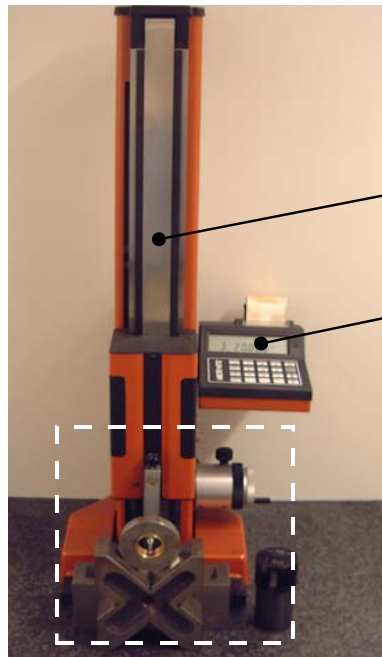
IWF – TU Berlin

R. Patzwald

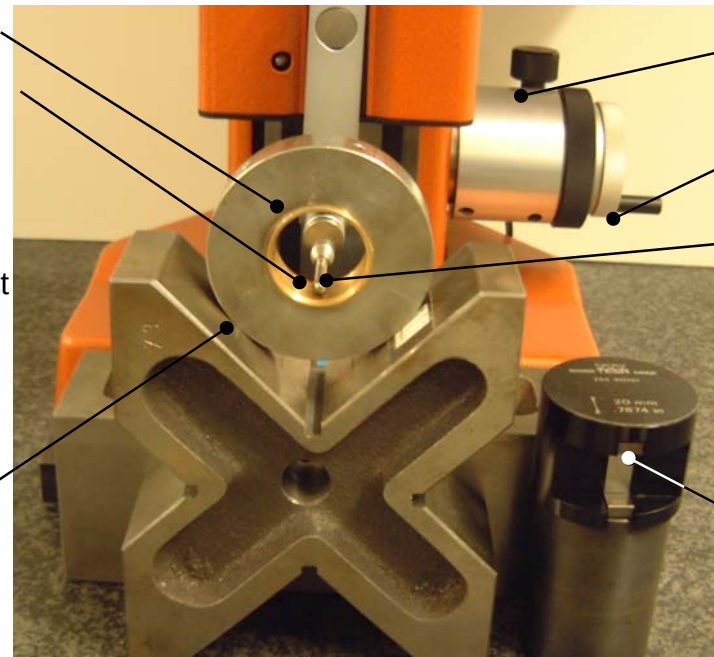
G. Spur

N. Bayat

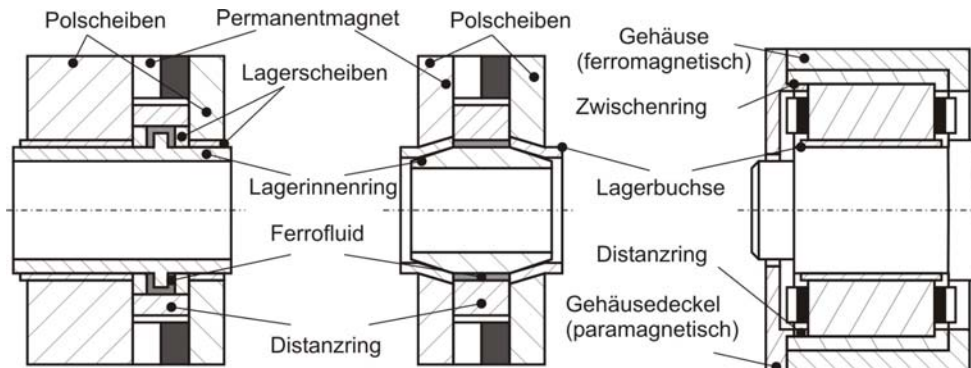
E. Uhlmann



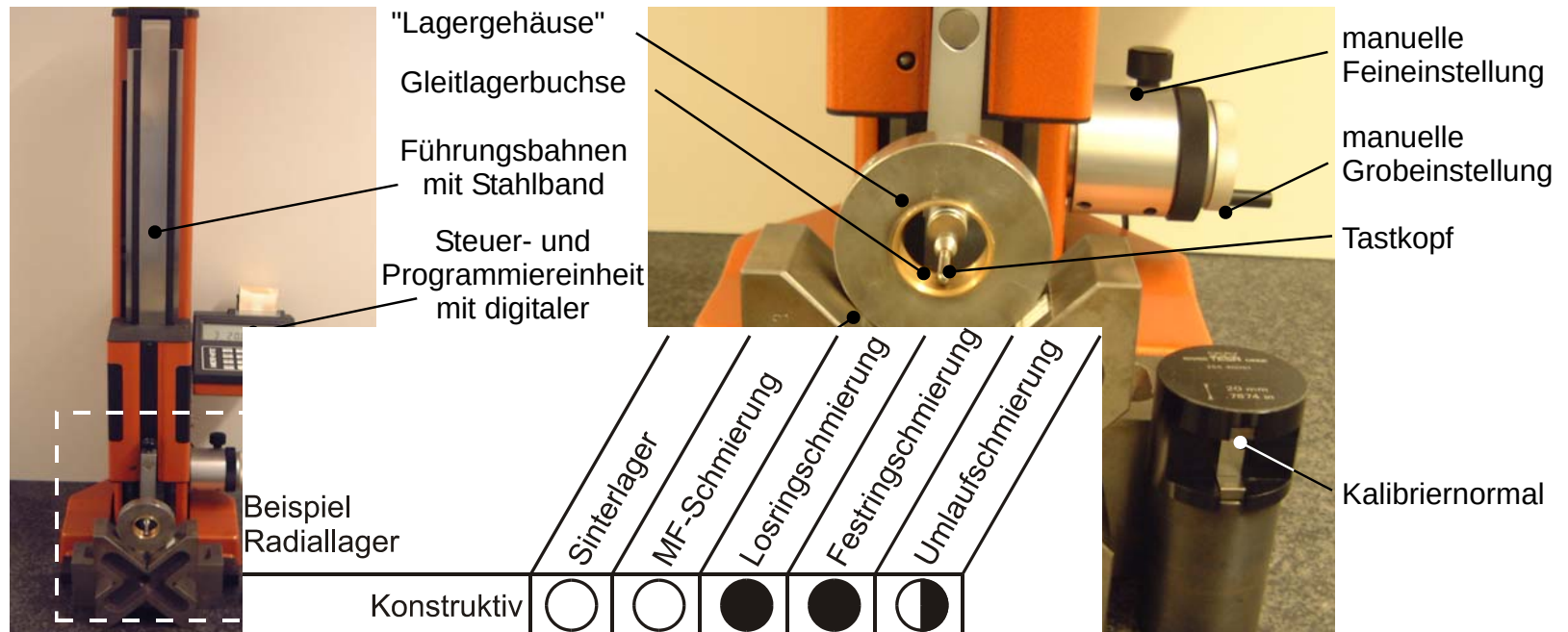
"Lagergehäuse"
Gleitlagerbuchse
Führungsbahnen mit Stahlband
Steuer- und
Programmiereinheit
mit digitaler
Schnittstelle
geschliffene
Auflagefläche



manuelle
Feineinstellung
manuelle
Grobeinstellung
Tastkopf
Kalibriernormal



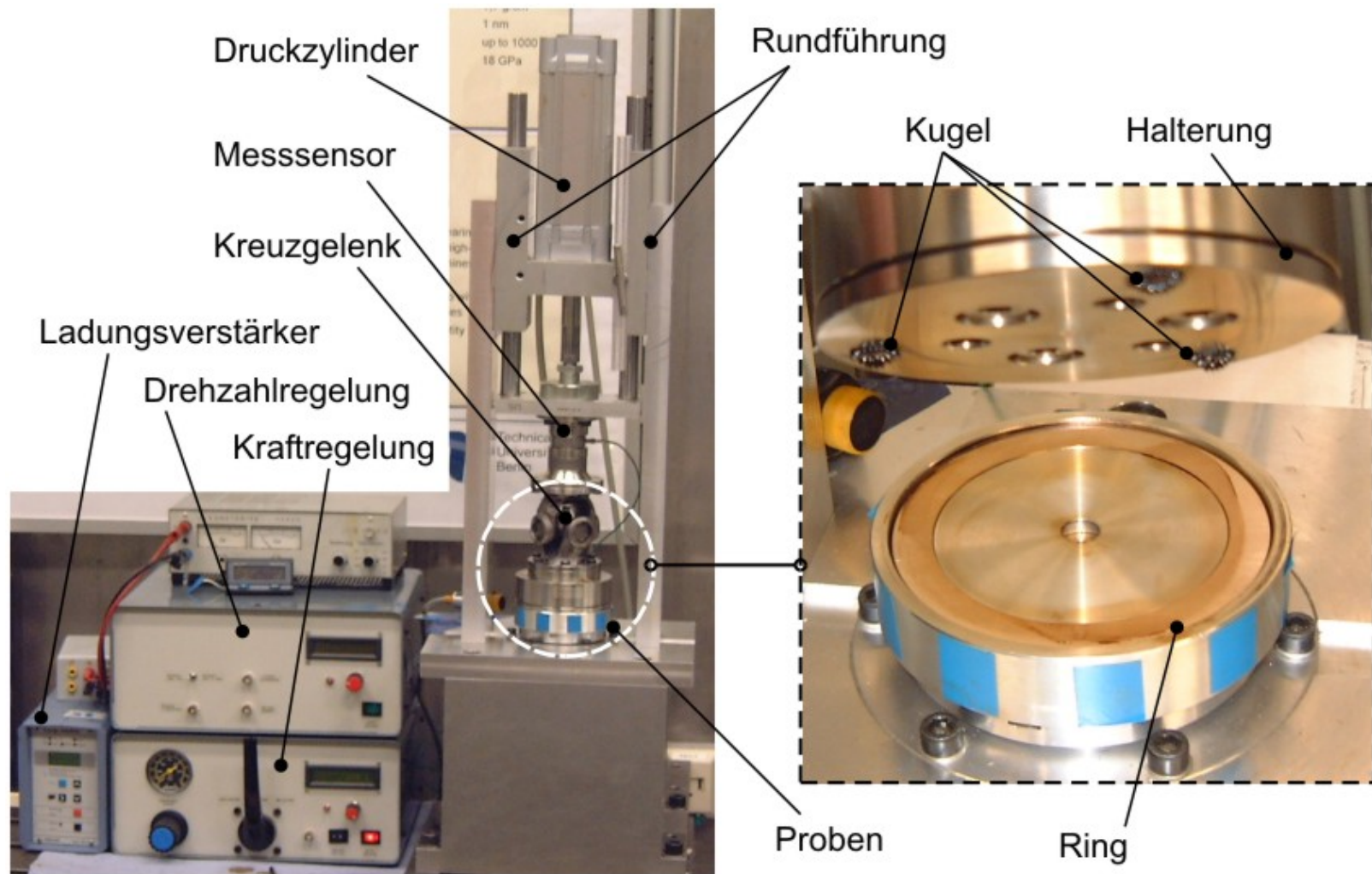
Messung des
Lagersabriebs



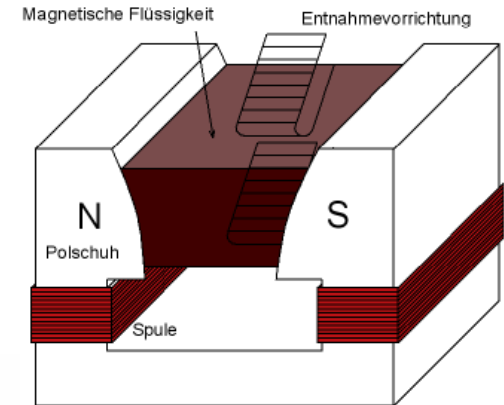
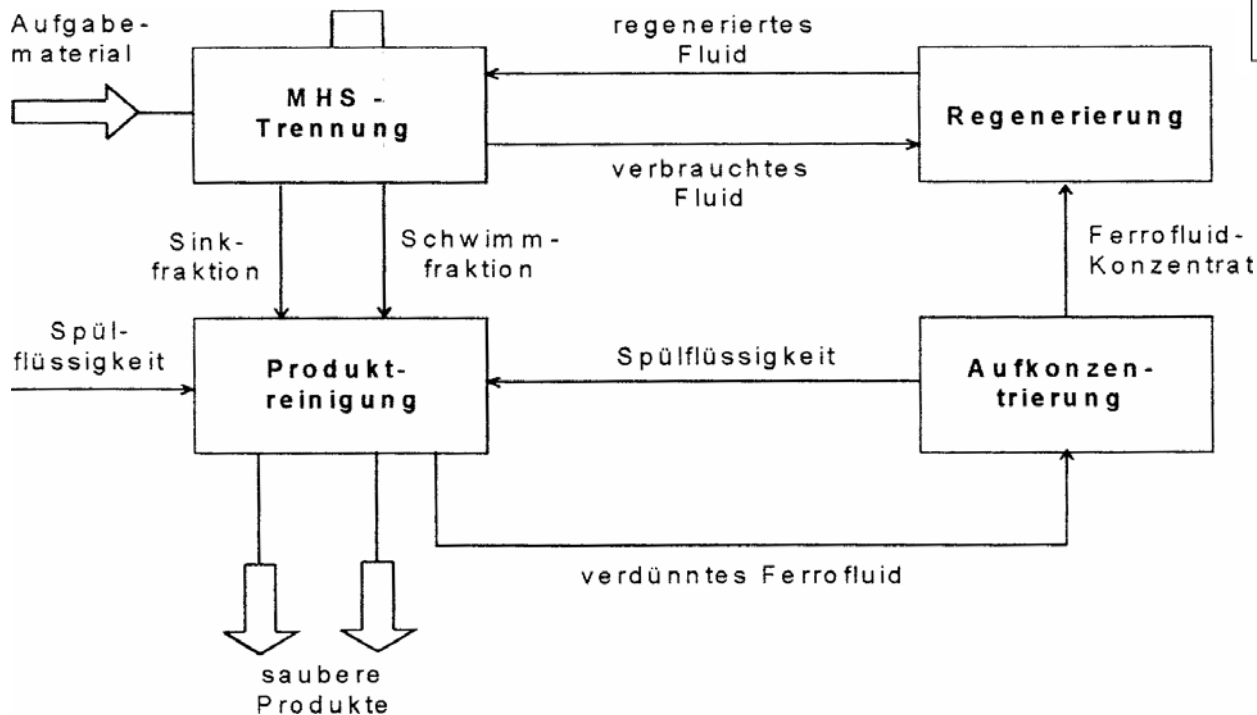
	Sinterlager	MF-Schmierung	Losringschmierung	Festringschmierung	Umlaufschmierung
Konstruktiv					
Herstellung					
Platzbedarf					
Betriebskosten					
Anschaffungskosten					
Σ					

Bewertung
verschiedener
Lagerkonstruktionen

Geringster Aufwand Höchster Aufwand



- ❑ Separation mittels Magnetischer Flüssigkeiten
- ❑ Recycling von Elektronikschrott



IKOSTA GmbH
N. Buske
C. Thiessen
UVR-FIA GmbH Freiberg
E. Madai
Daimler-Benz
D. Bluhm
Polychemie Velten
D. Günther

□ Dichtungen

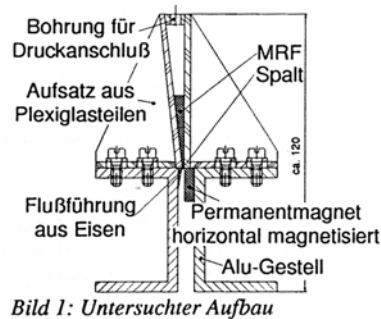


Bild 1: Untersucher Aufbau

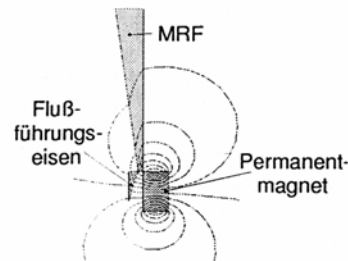
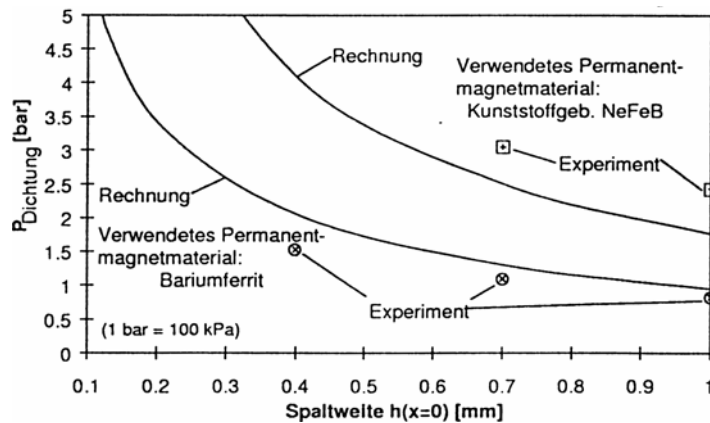


Bild 2: Berechneter magnetischer Feldlinienverlauf



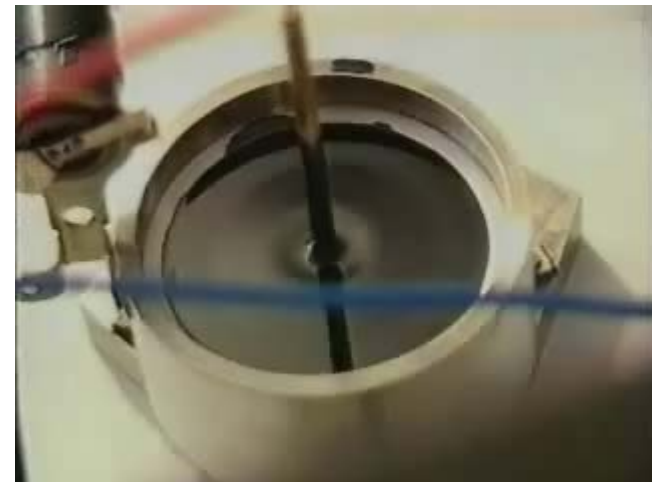
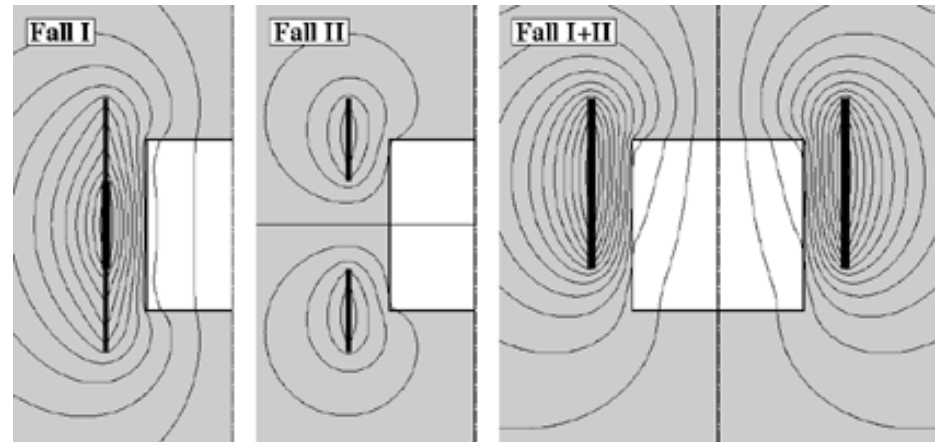
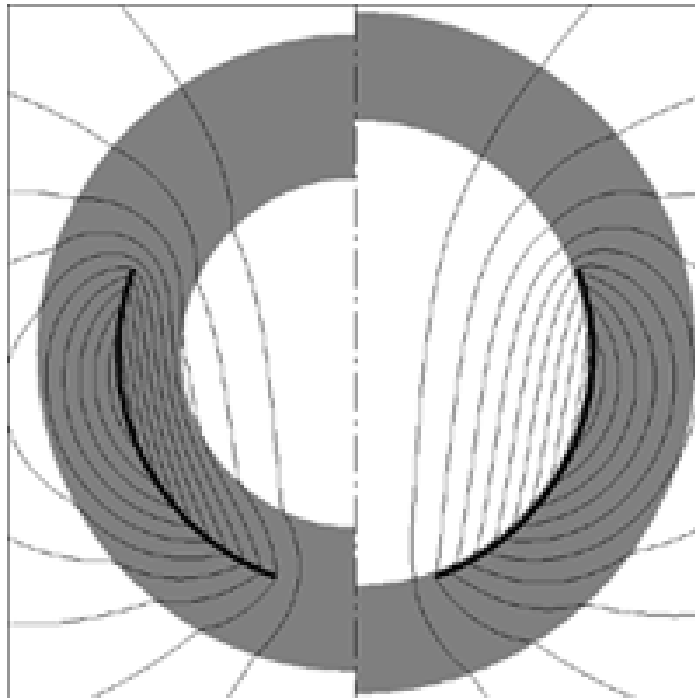
TU Dresden
D. Lampe
B. Messerschmitt

□ Kupplungen

	Scheibenanordnung	Glockenanordnung
Maximales Statisches Drehmoment	$\frac{\pi \tau_{y,s}}{2 R_a} (R_a^4 - R_i^4)$	$2\pi \left(\frac{R_a + R_i}{2} \right)^2 L \tau_{y,s}$
Minimales Dynamisches Drehmoment	$\frac{2}{3} \pi \tau_{y,d} (R_a^3 - R_i^3)$	$2\pi \left(\frac{R_a + R_i}{2} \right)^2 L \tau_{y,d}$

TU Dresden
D. Lampe

❑ Künstlicher Muskel als Herzersatz



DHZB
Roland Hetzer



IPK – FhG
G. Spur
G. Duelen

BTU Cottbus
A. Nethe
H.-D. Stahlmann

N. Buske

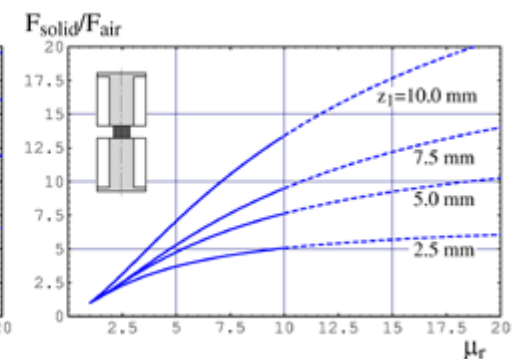
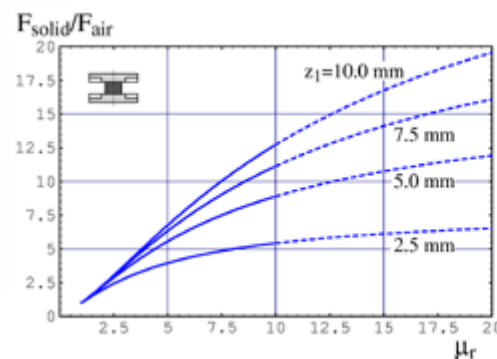
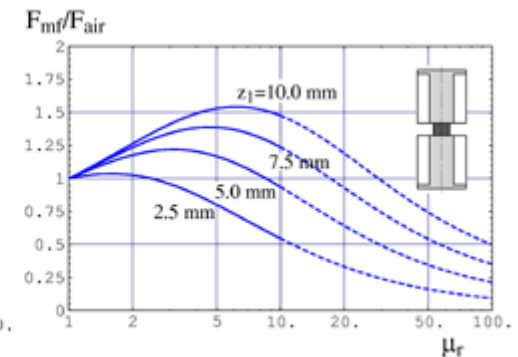
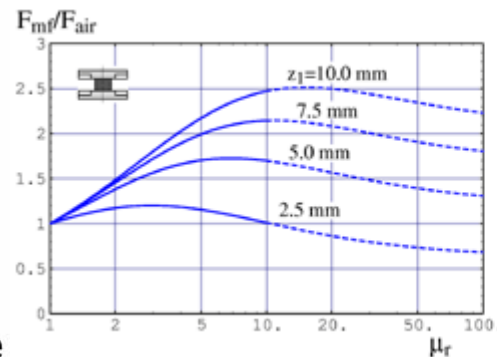
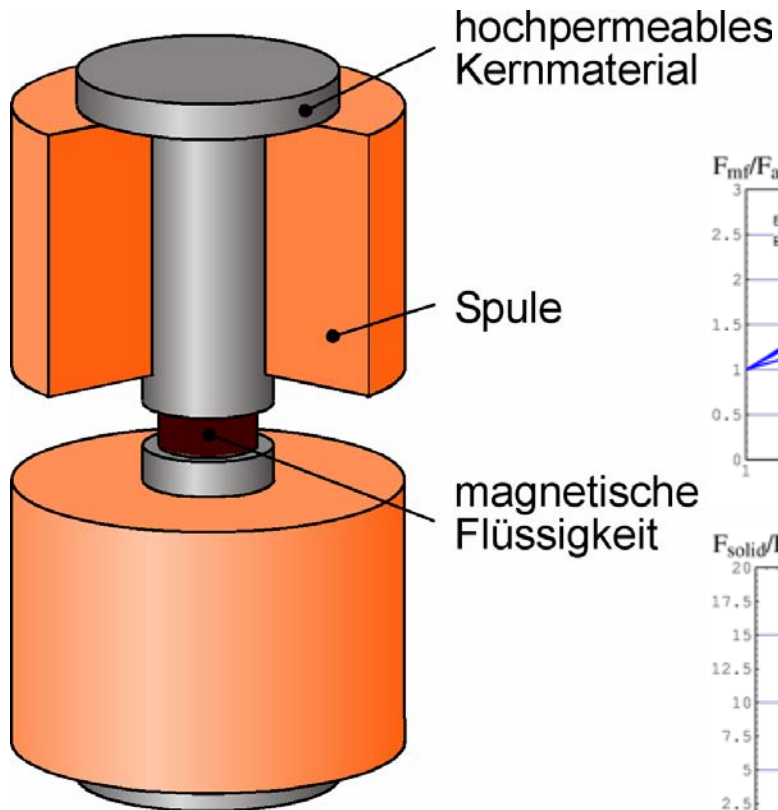
- Untersuchungen am offenen Eisenkreis
- Unterschied Ferrofluid / fester permeabler Körper

BTU Cottbus

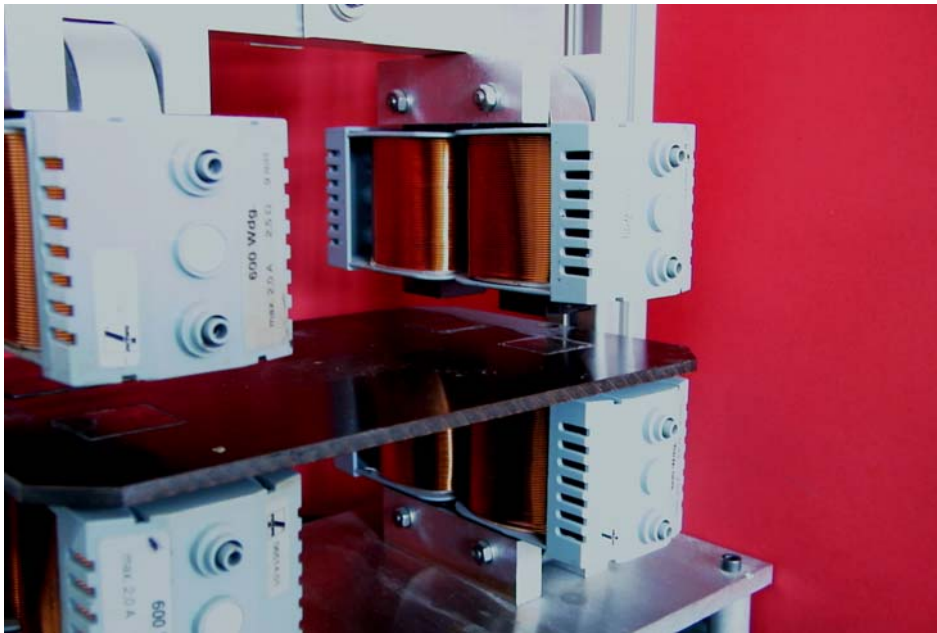
T. Hähndel

A. Nethe

H.-D. Stahlmann



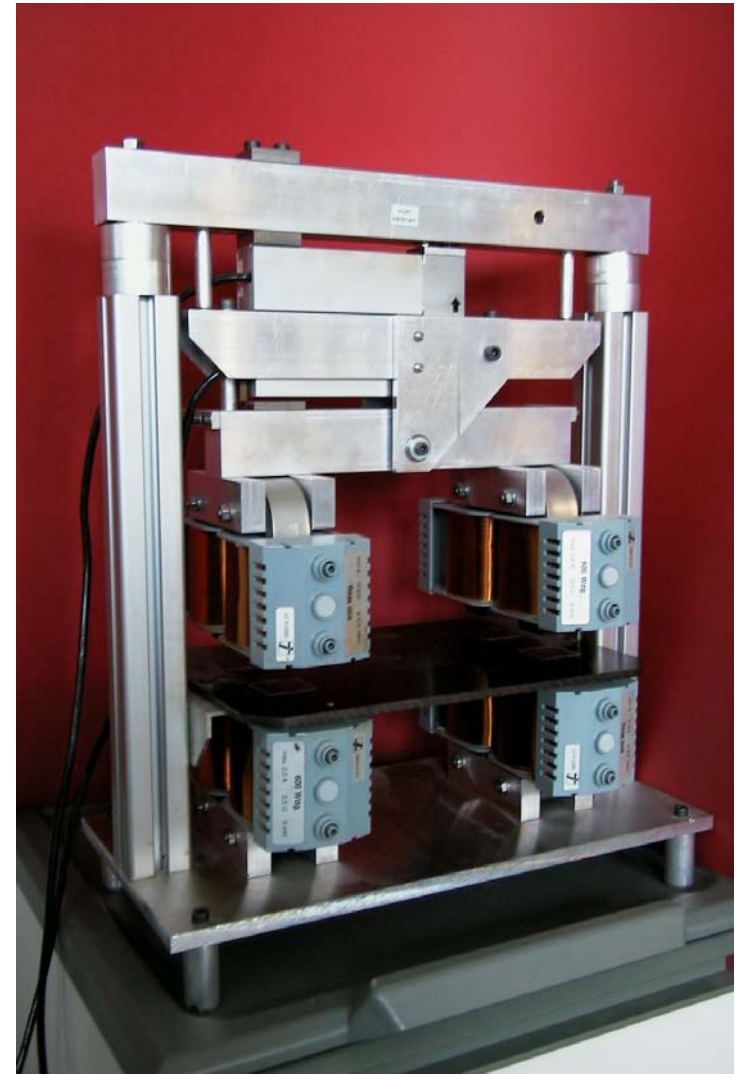
- Untersuchungen am geschlossenen Eisenkreis

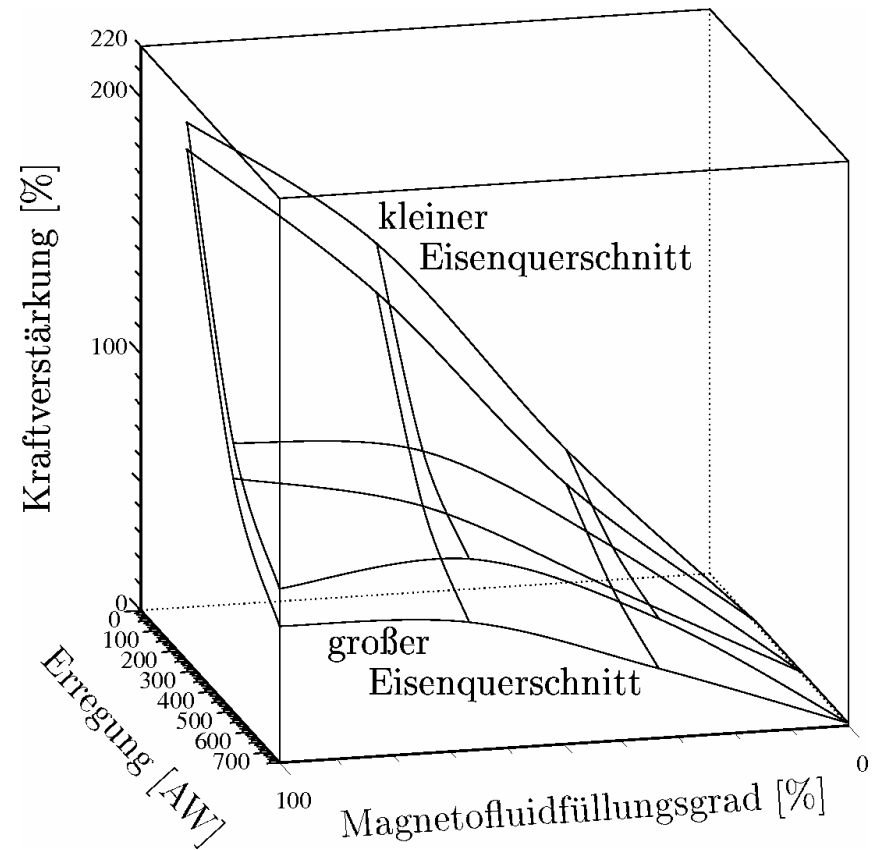


Mediport
Kardiotechnik

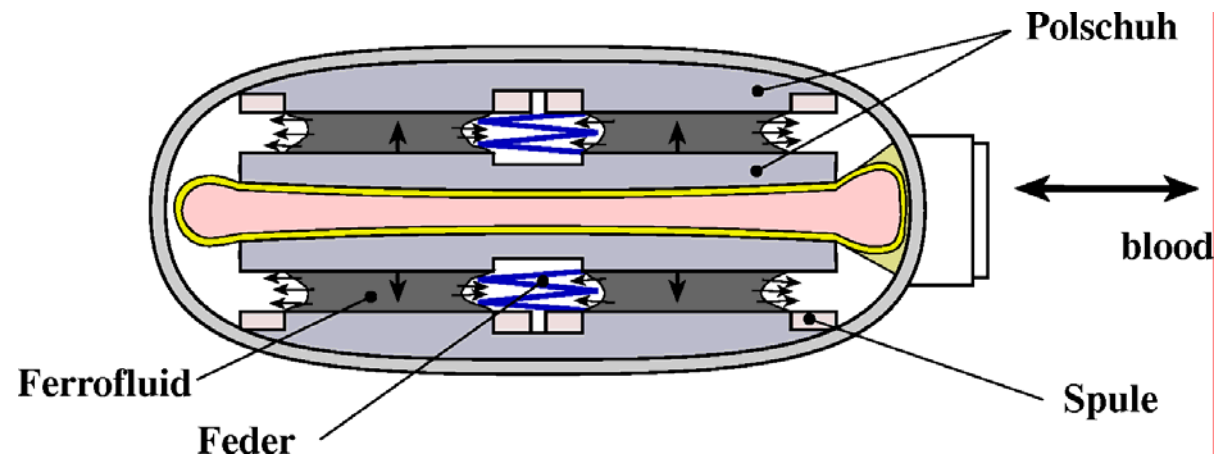
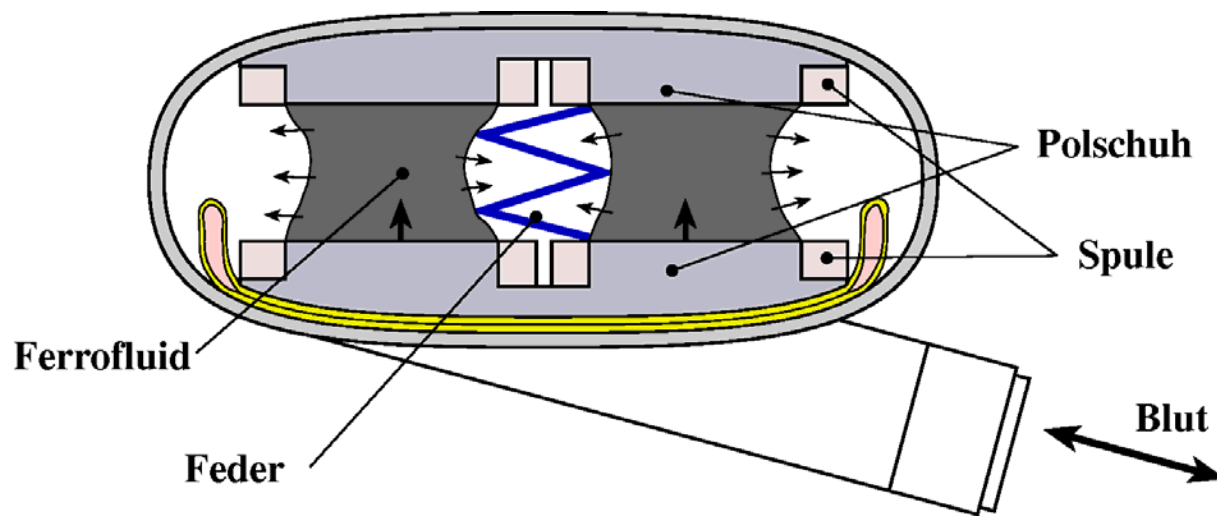
IKUS
N. Buske
P. Killat
B. Kroll

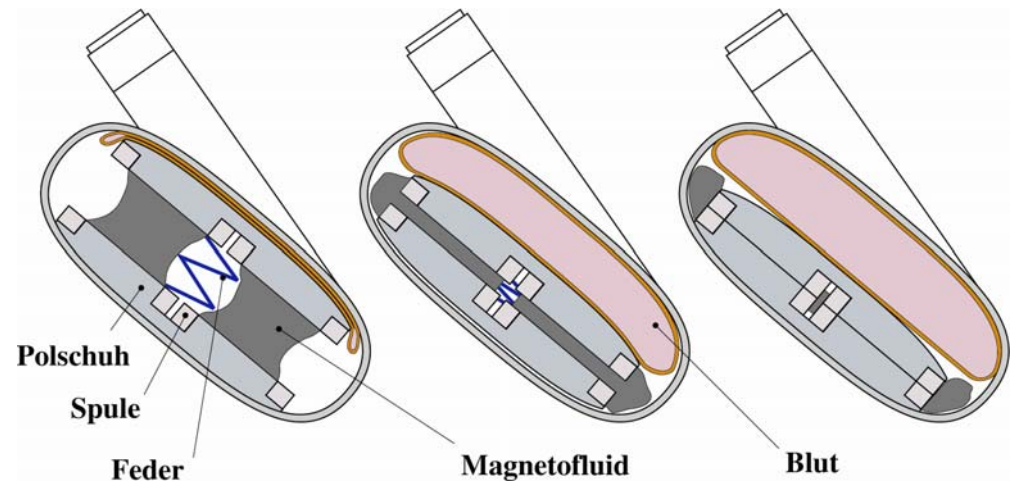
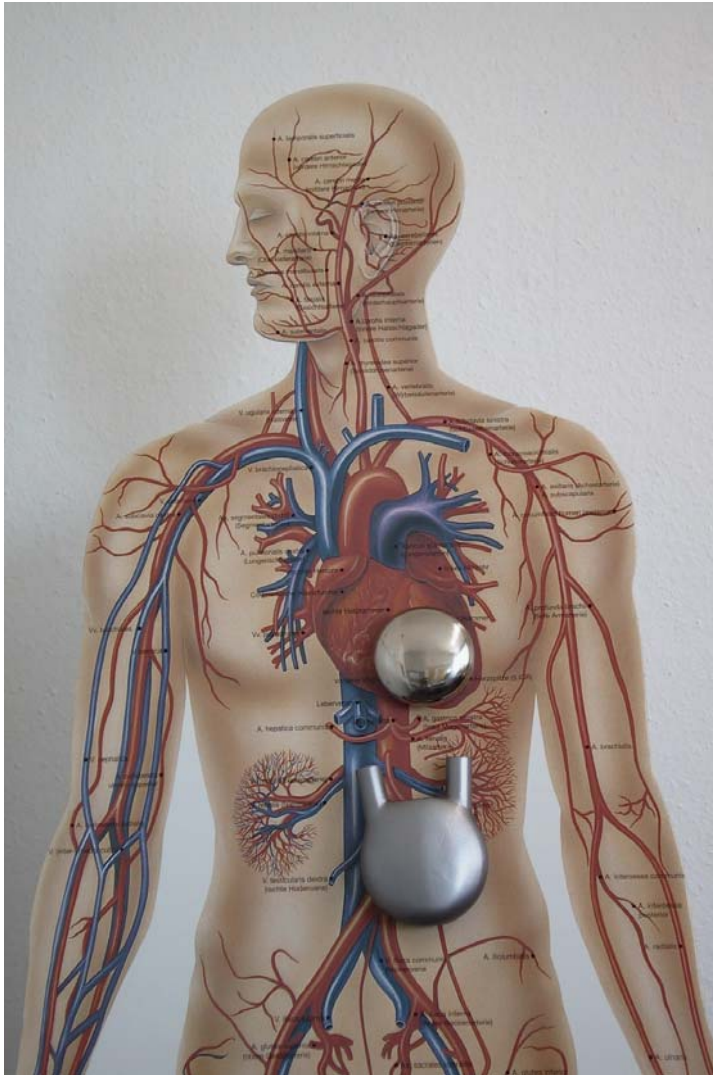
BTU Cottbus
T. Händel
A. Nethé
H.-D. Stahlmann

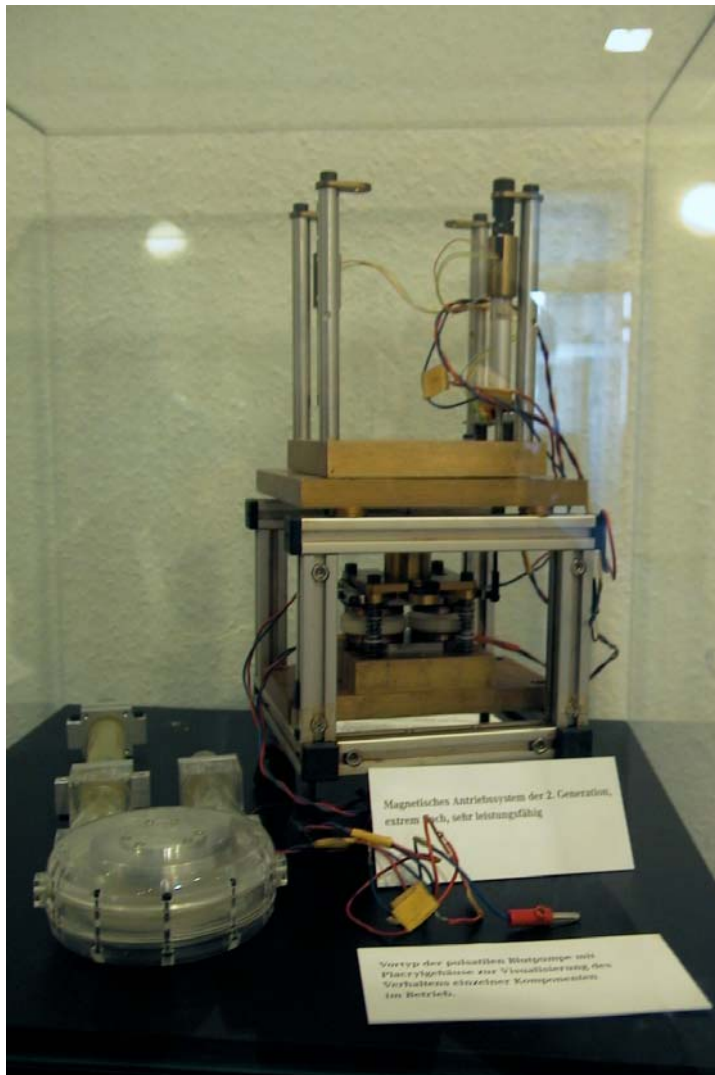




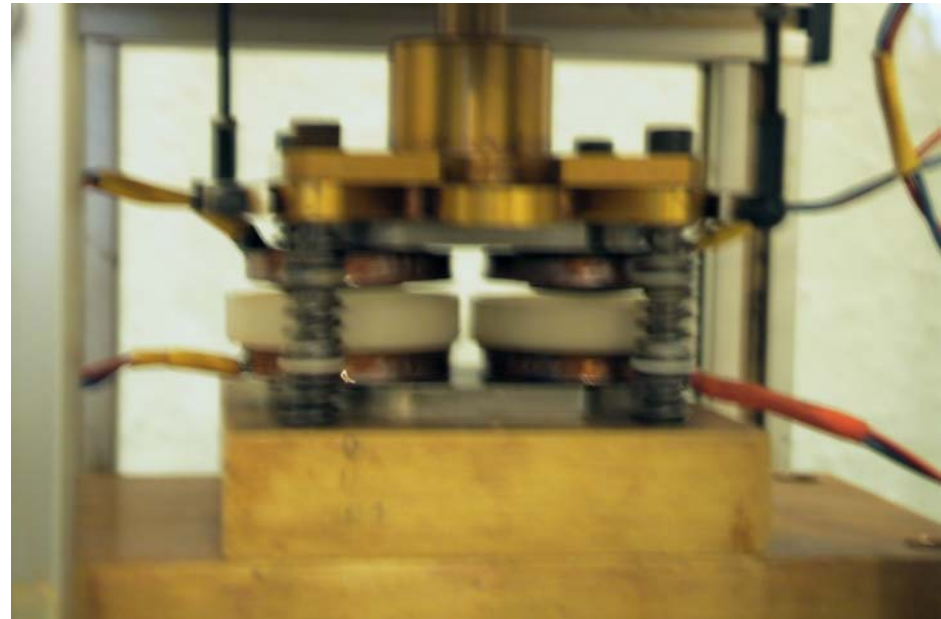
BTU Cottbus
A. Nethe
T. Schöppe
H.-D. Stahlmann







- ❑ Versuchstand für die dynamischen Messungen

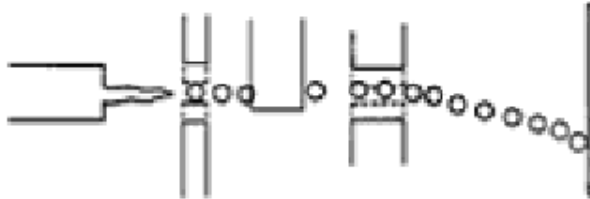



Mediport
Kardiotechnik
H. Heinze

□ Magnetisch lesbare Schecks

Chr. Gansau

(USA: CoFe_2O_4 , 35 l / Tag)



65 - 01 - 34

Any Bank PLC
Some Town Branch
45 Anywhere Parade, Some Town

15 January 19 97

Pay Somebody or order

one hundred pounds

£ 100 — 00

Simon Hse

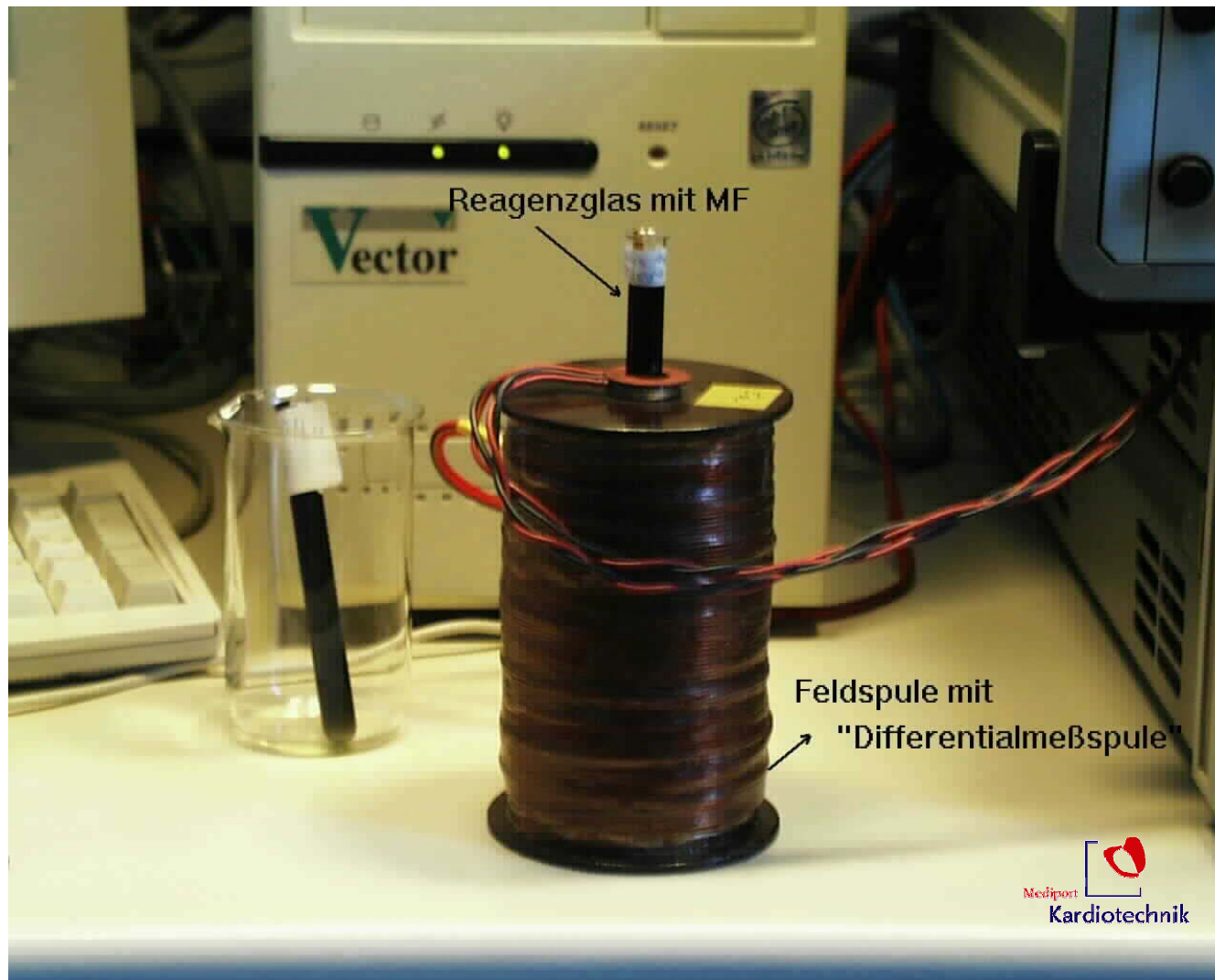
⑈000894⑈ 65...0134. 02549905⑈02

↑ ↑ ↑

cheque number bank sort-code account number

MICR

- ☐ Trägerflüssigkeiten – kompatibel zu den Anwendungen
 - Hitzebeständig
 - Biokompatibel
 - ...
- ☐ Magnetische Partikel – langzeitstabil
- ☐ Hohe Sättigungspolarisation
- ☐ Niedrig viskos
- ☐ Einheitlicher Standard zur Bestimmung der magnetische Eigenschaften !
- ☐ Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften !
- ☐ Leicht und in größeren Mengen herstellbar





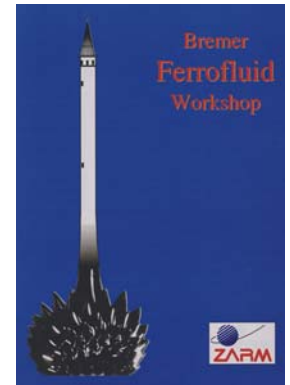
Ferrofluide in Technischen Anwendungen

Vor dem Jahr 1997

- ☐ Technische Anwendungen vor Beginn des Schwerpunktprogrammes
- ☐ Welche Ferrofluide gab es damals

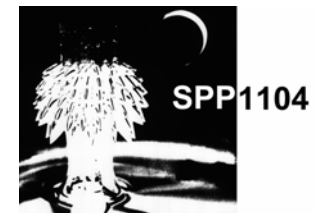
In den Jahren 1997 - 1999

- ☐ Technische Anwendungen zum 1. FF-Workshop (1997)
- ☐ zur ICMF 8 (1998)
- ☐ zum 2. FF-Workshop (1999)
- ☐ Zeit der Vorbereitung des Schwerpunktprogrammes



Nach dem Jahr 2000

- ☐ Technische Anwendungen im Schwerpunktprogramm SPP 1104
- ☐ Welche Ferrofluide wurden speziell entwickelt



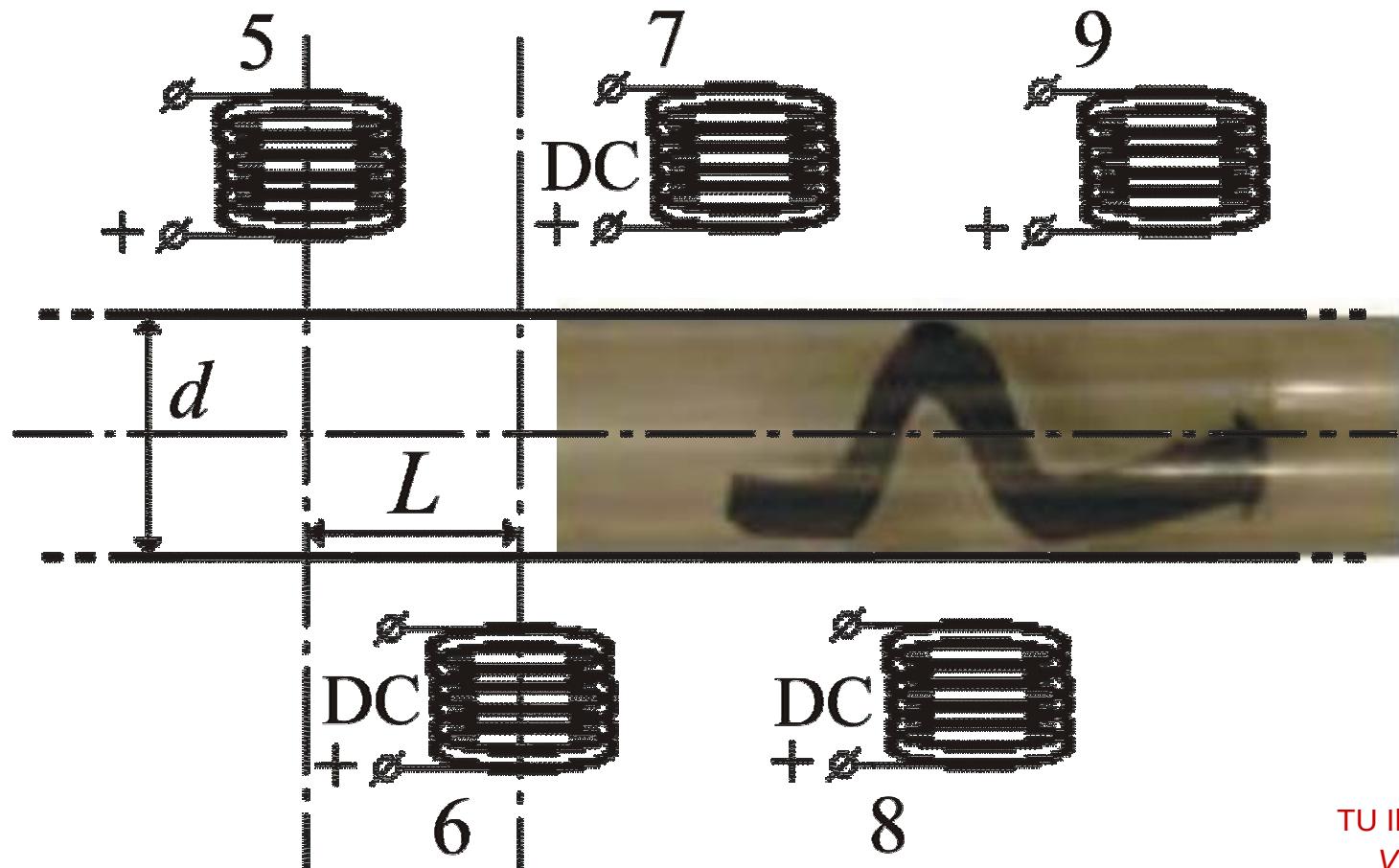
Projekte und Teilnehmer | DFG-Schwerpunktprogramm

Mitte Juni 2000 wurden die Bewilligungen für die in der ersten Phase beteiligten Projekte im DFG-Schwerpunktprogramm "Magnetische Flüssigkeiten" ausgesprochen. Für das erste Jahr des Programms wurden über 30 Projektvorschläge eingereicht. Aus diesen wurden 21 Projekte mit 25 beteiligten Gruppen ausgewählt. Für die zweite Förderperiode wurden nicht nur Fortsetzungsanträge gestellt, sondern es wurden zudem 11 neue Projekte vorgeschlagen. Dies führte zu einer Ausweitung des Programms auf 27 Projekte, und in der nächsten – dann zweijährigen – Förderperiode auf 31 Vorhaben. In der zur Zeit laufenden letzten Phase des Programms sind nach wie vor rund 30 Projekte am SPP1104 beteiligt.

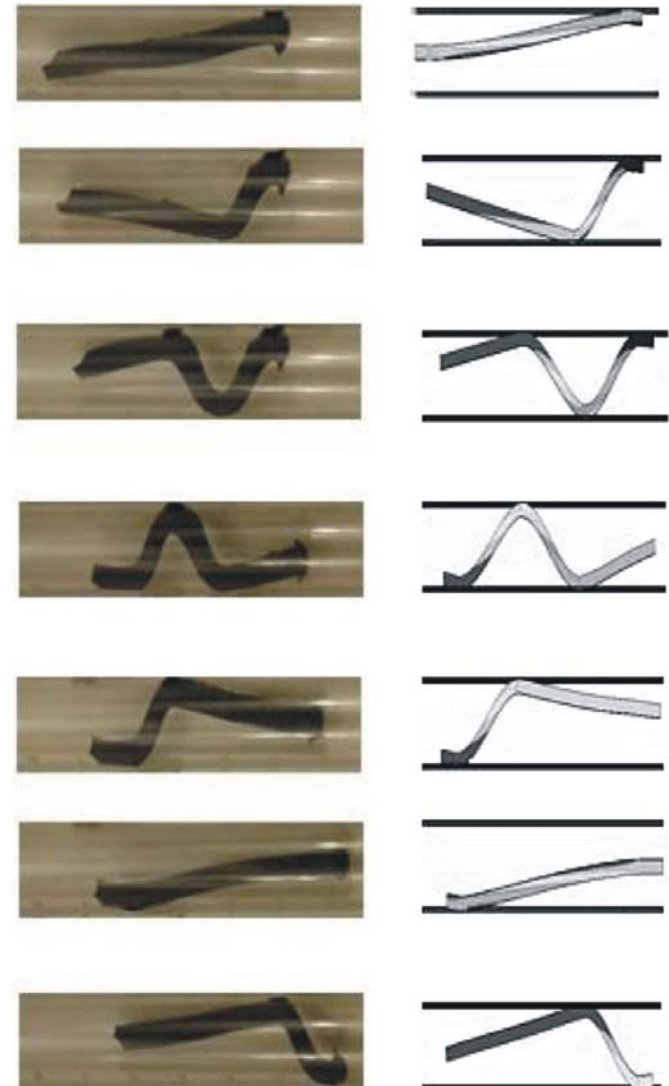
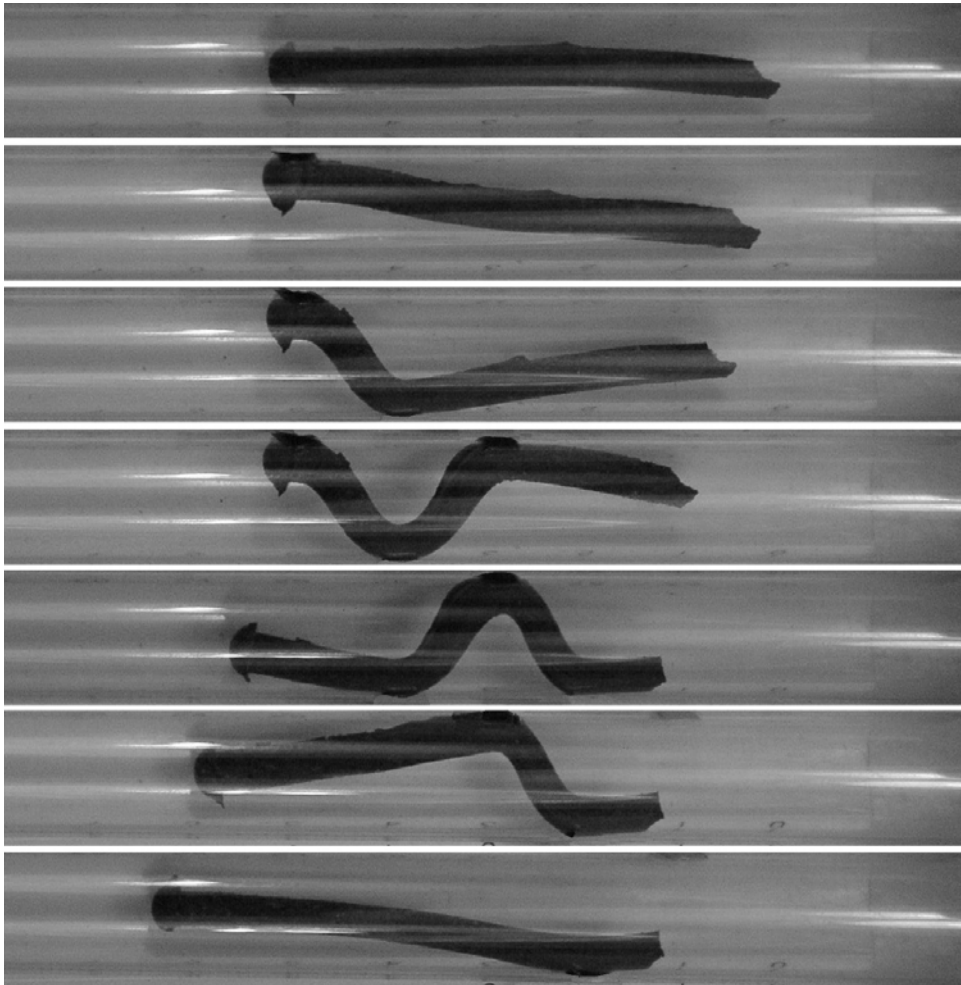
Ausgehend von der untenstehenden Liste aller bewilligten Projekte findet man Informationen zu den Arbeitsgruppen wie auch zu den Projekten. Gruppen, die an der Kooperation mit dem Schwerpunktprogramm interessiert sind wenden sich bitte an die beteiligten Wissenschaftler oder den Koordinator.

Projekttitel	Projektleiter	Organisation	Förderzeitraum (SPP-Jahre)
Experimentelle Untersuchungen Chemotherapeutika-gekoppelter Ferrofluide unter Einwirkung eines magnetischen Feldes zur lokoregionären Tumorthherapie am VX2-Tumormodell des Kaninchens	C. Alexiou F. Parak	TU Erlangen TU München	1 - 6
Numerische Simulationen der Magnetisierungsdynamik von Ferrofluiden mit Hilfe der stochastischen Bewegungsgleichungen	D. Berkov P. Gömert	Innovent, Jena	2 - 6
Goldgeschützte, magnetische Co- und Fe/Co-Nanokolloide von 4-10nm Größe für die Entwicklung neuartiger Ferrofluide	H. Bönnemann H. Modrow; J. Hormes V. Kempter	MPI Mülheim University of Bonn TU Clausthal	1 - 6

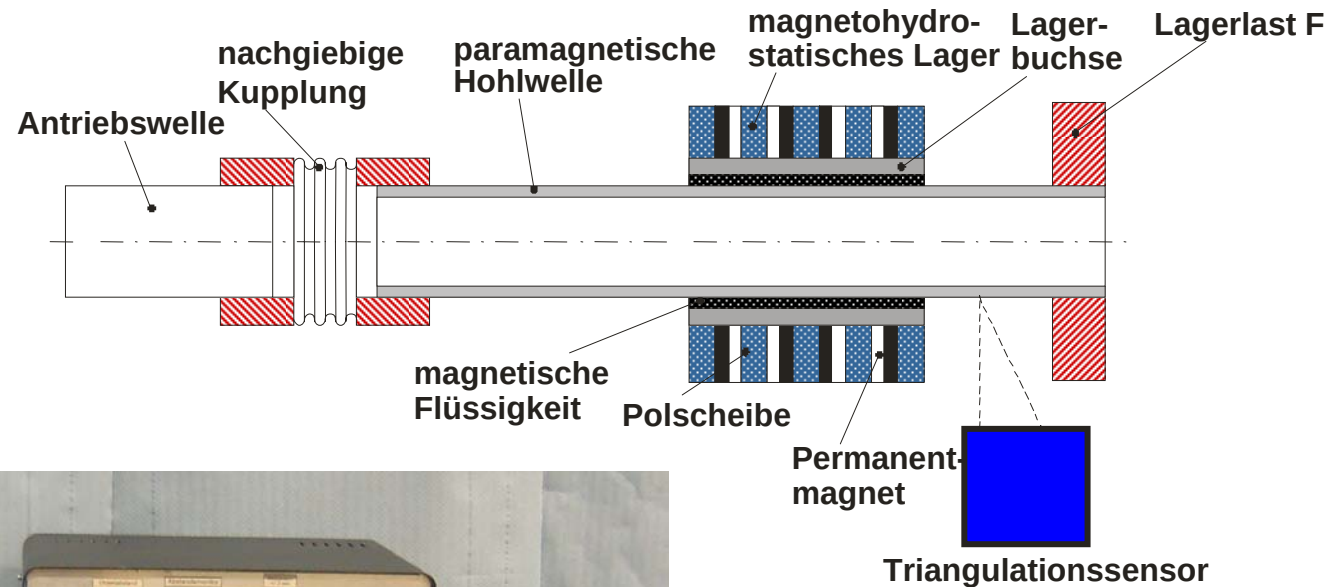




TU Ilmenau
V. Böhm
E. Kolev
I. Zeidis
K. Zimmermann

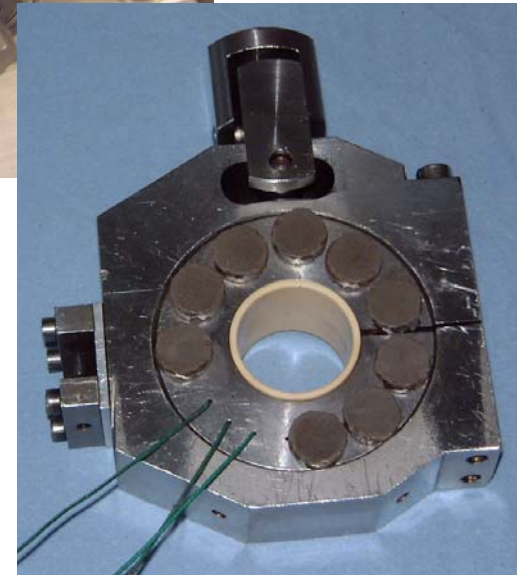
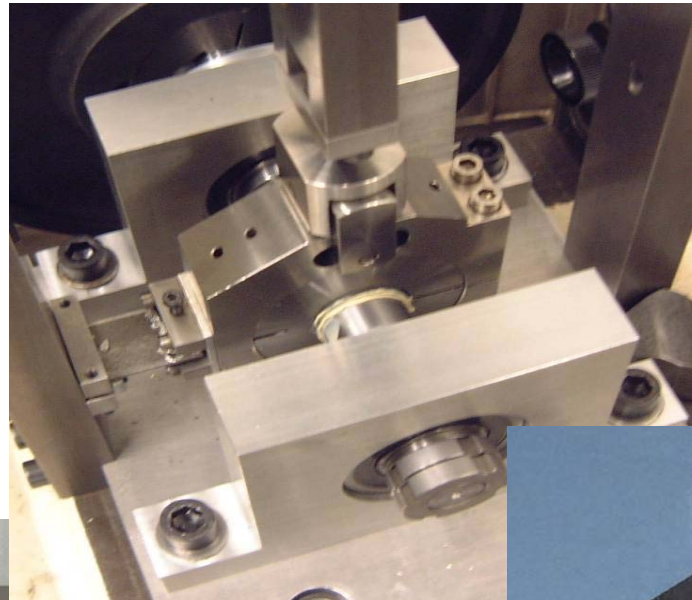


□ Magnetohydrostatische Lager



IWF – TU Berlin
N. Bayat
E. Uhlmann

- ❑ Magneto hydrostatische Lager

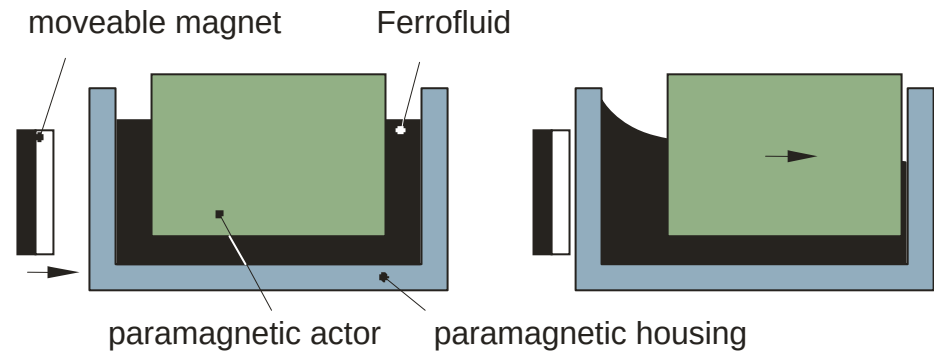


□ Grundprinzip

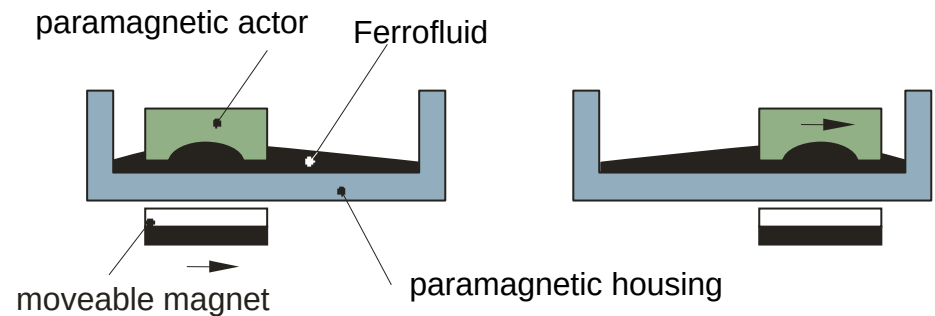


Ferrofluid

■ Verschiebung

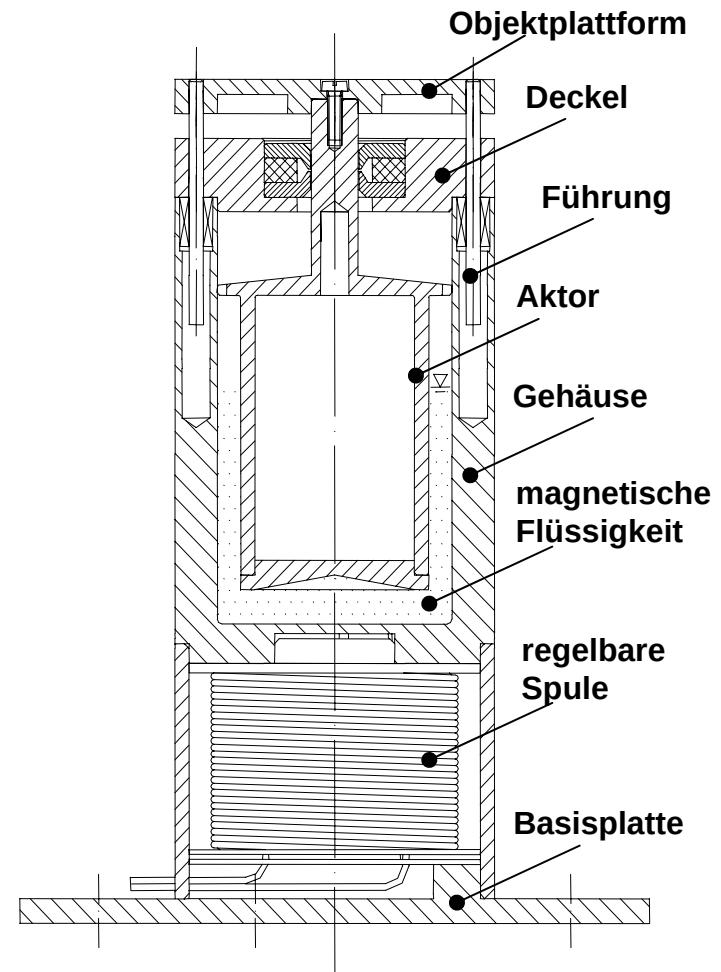
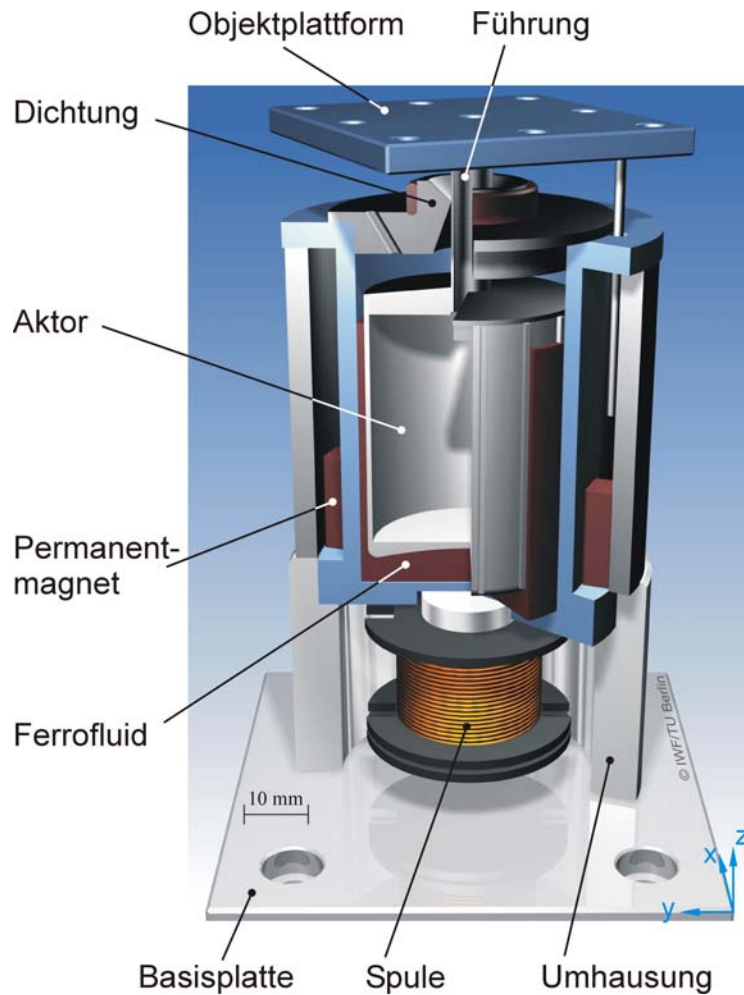


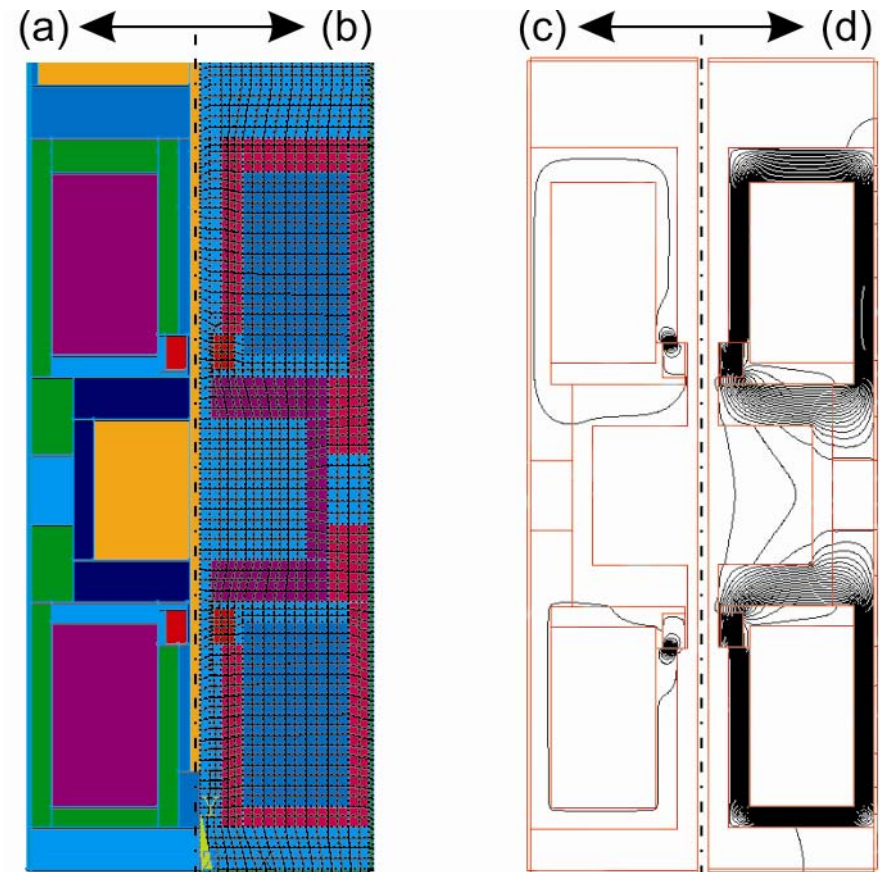
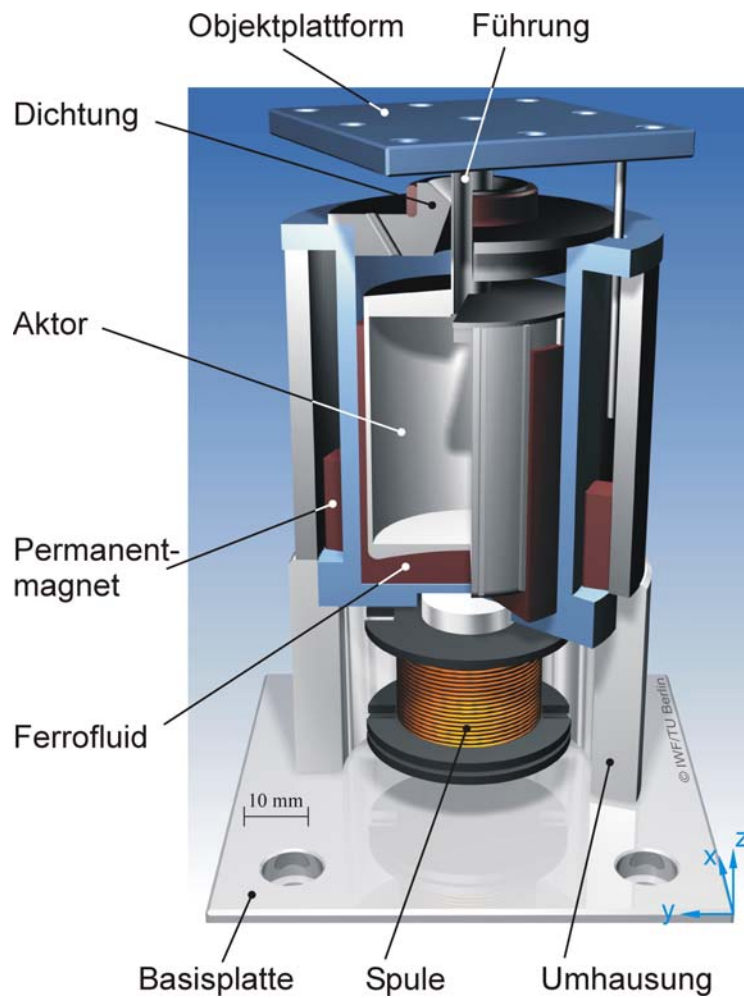
■ Gekoppelte Bewegung

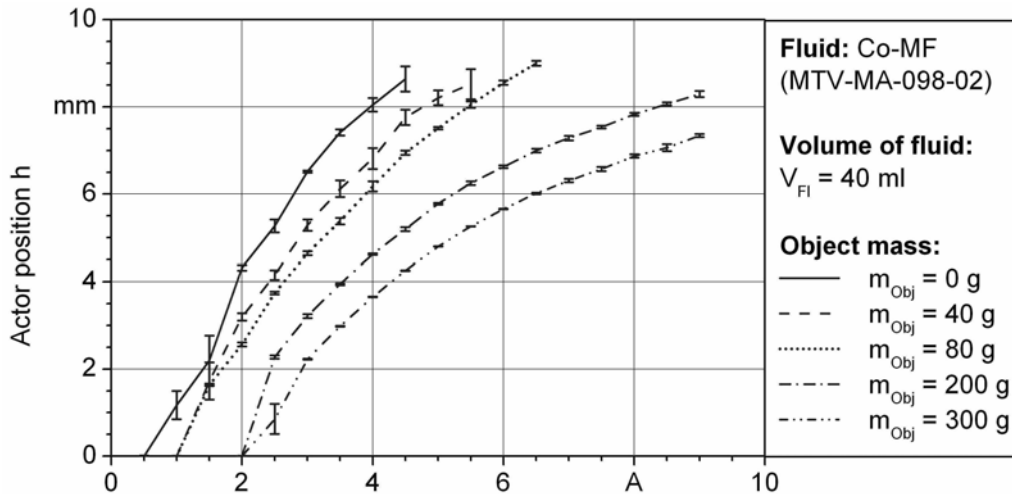




IWF – TU Berlin
N. Bayat
E. Uhlmann



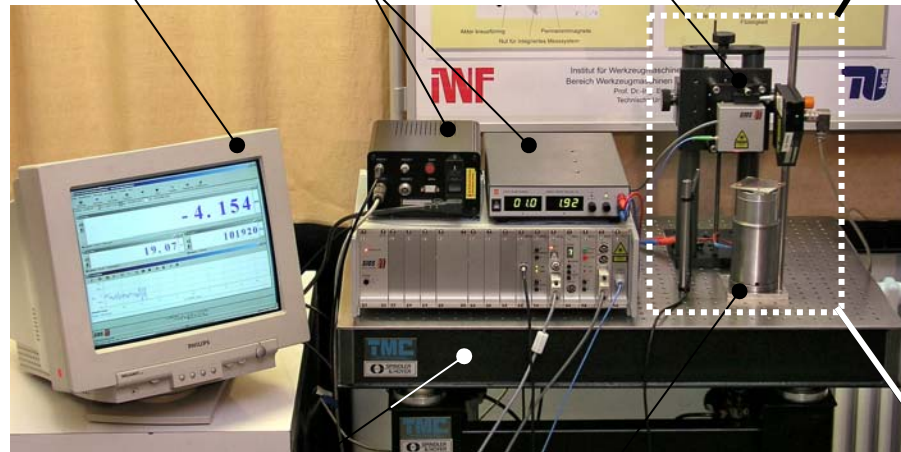




control display

power supply

laser sensors



vibration isolated board

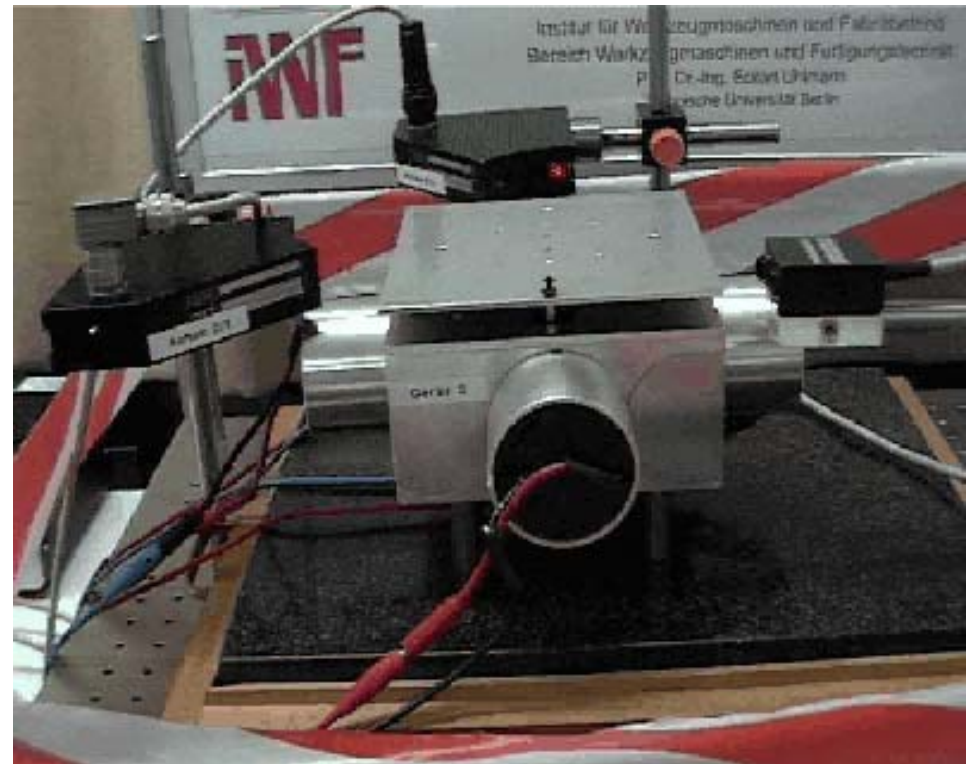
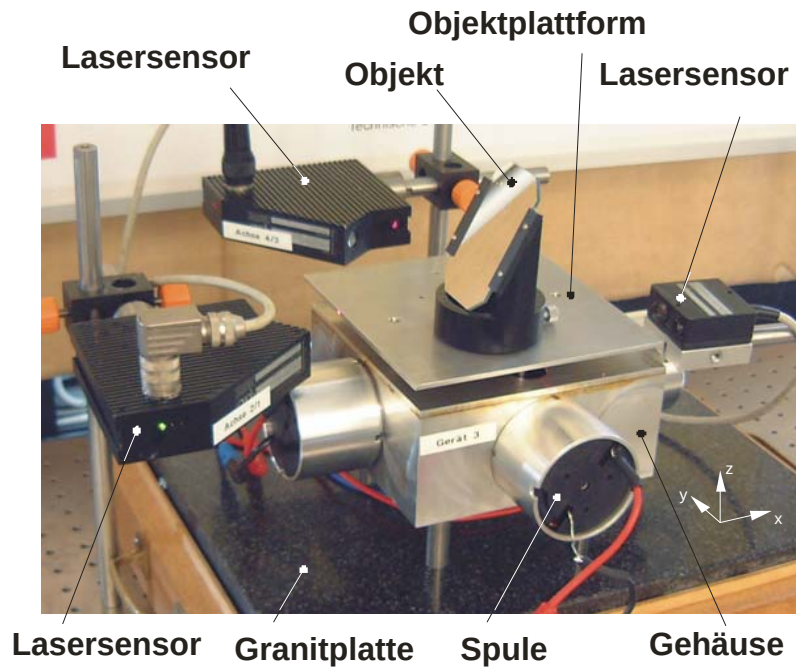
positioning system

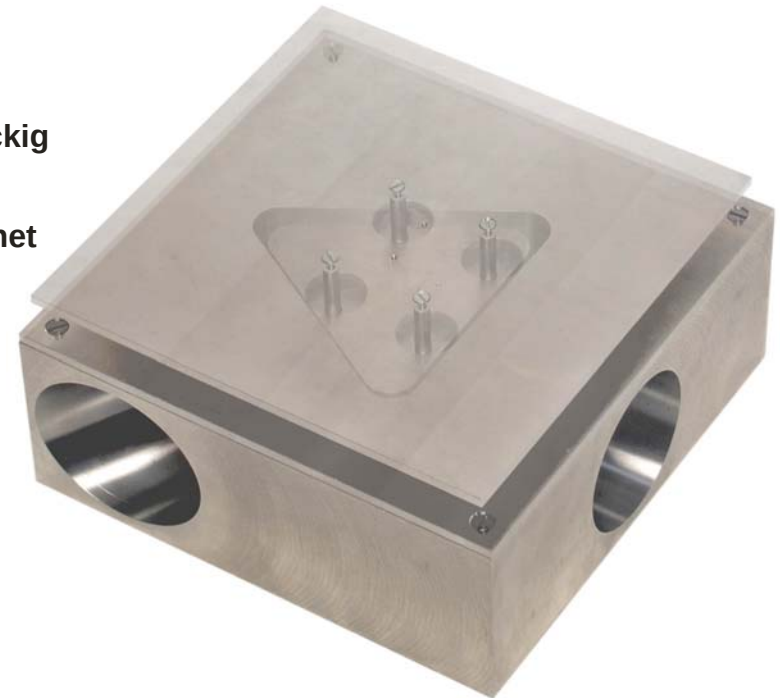
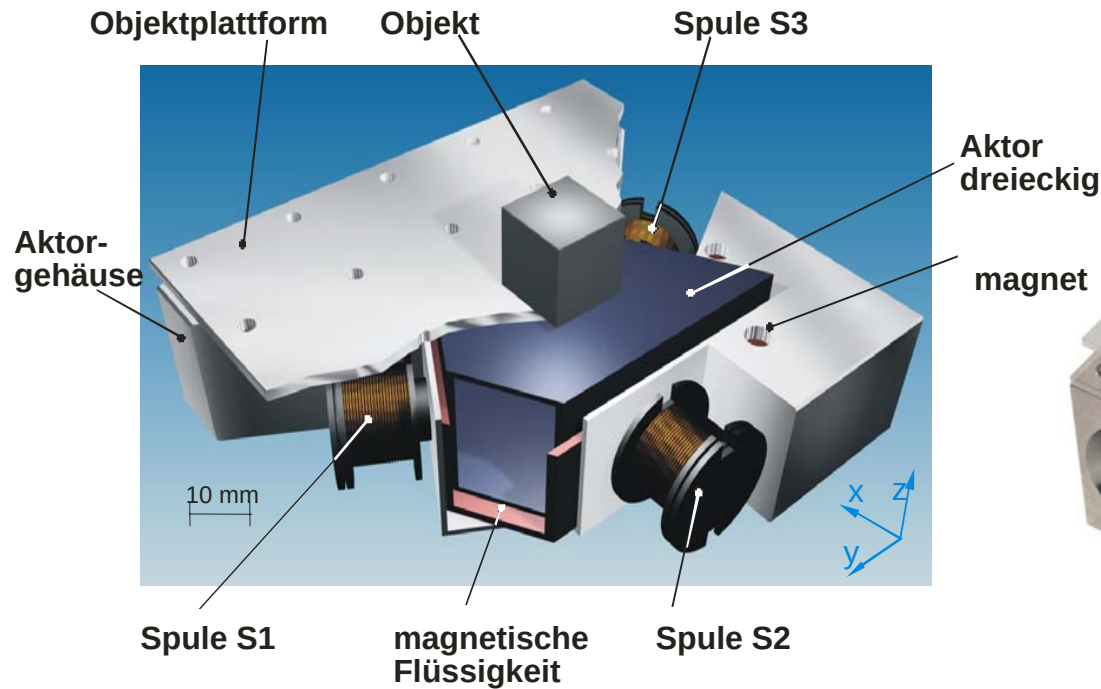


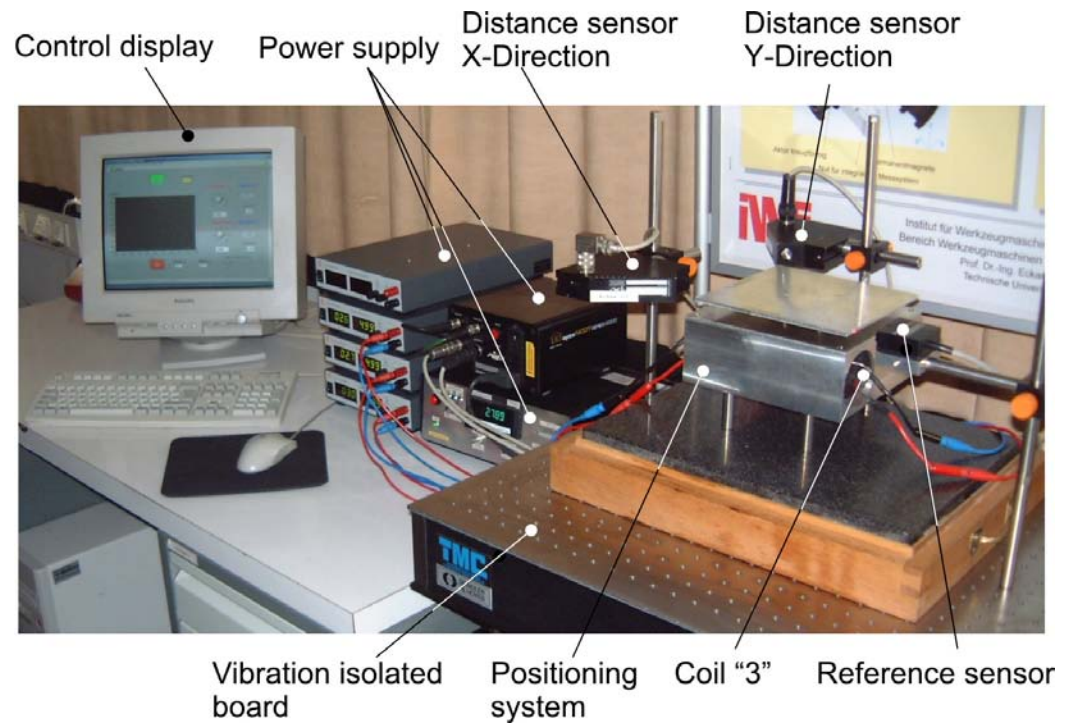
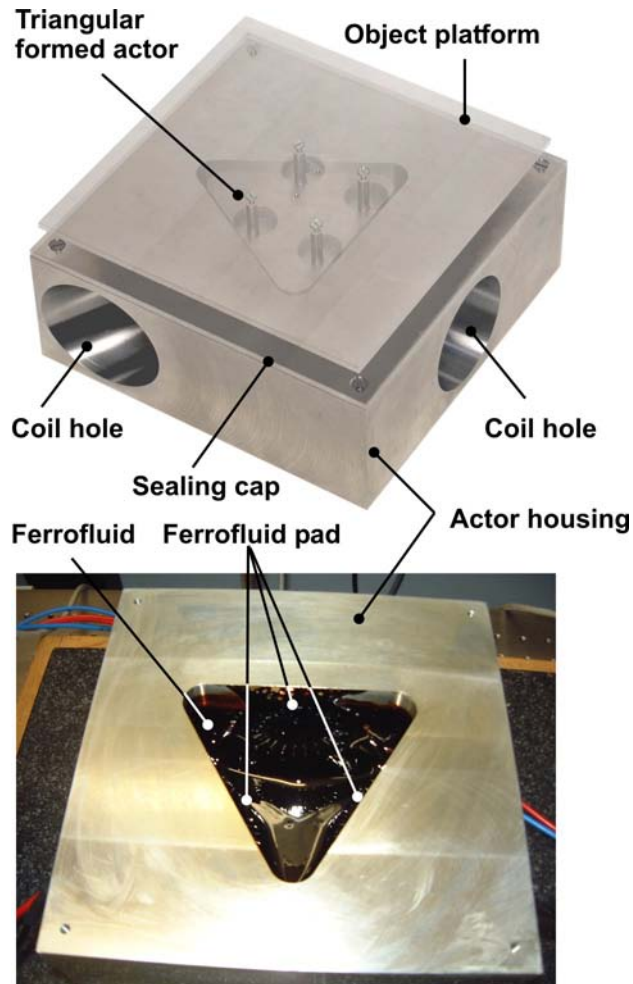


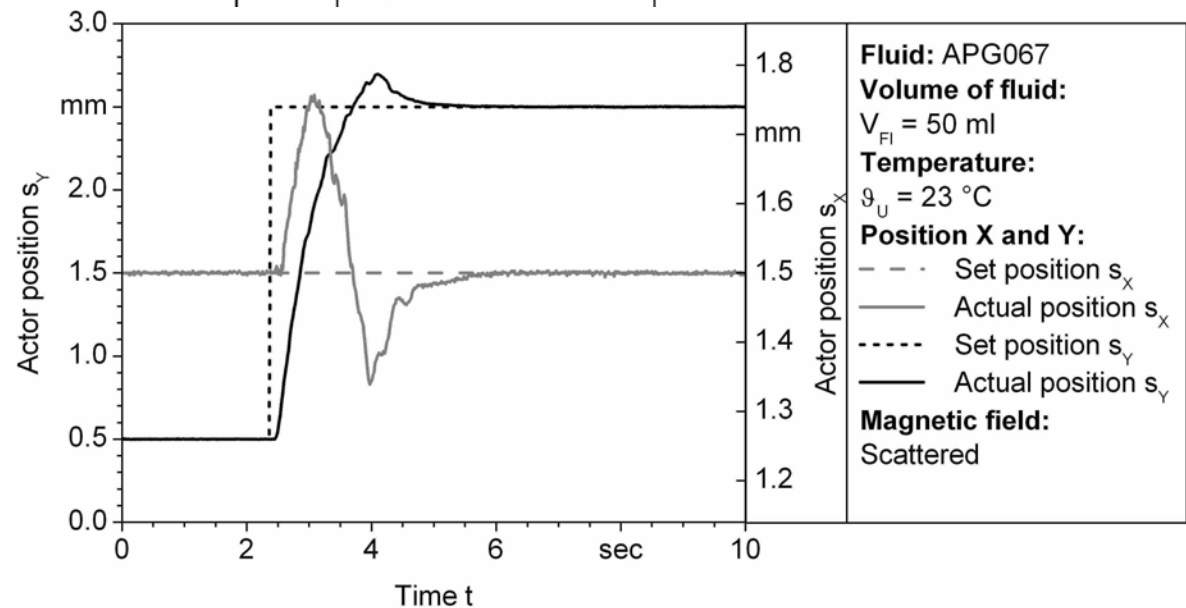
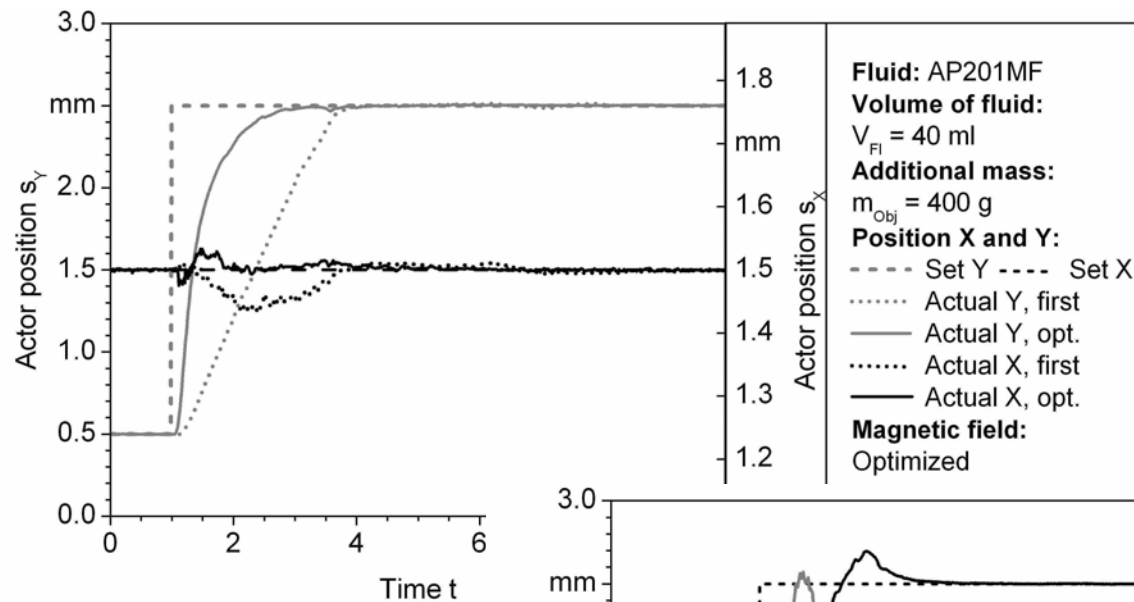
IWF – TU Berlin
N. Bayat
E. Uhlmann

□ Versuchsstand



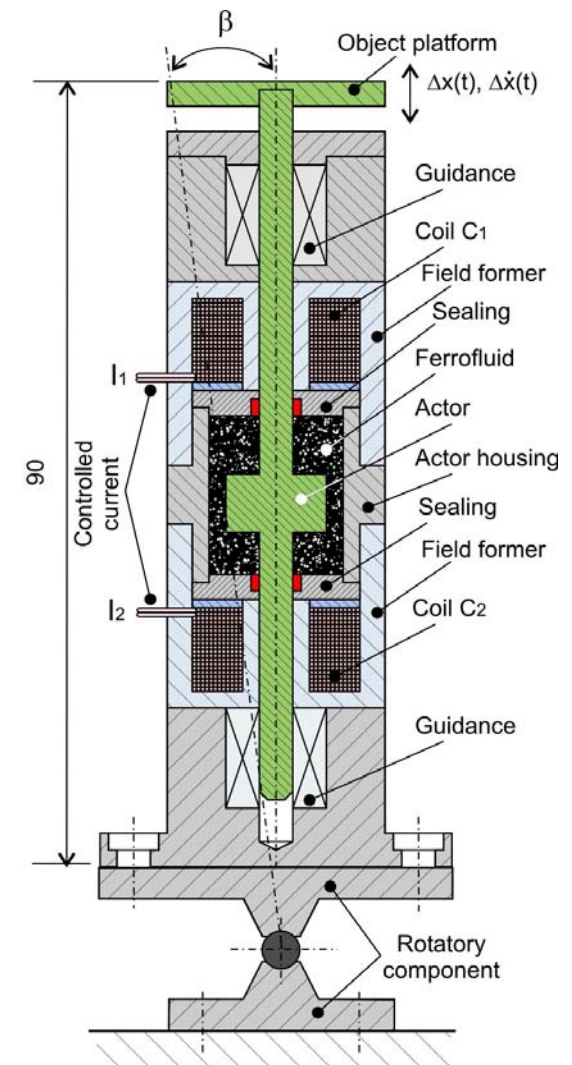
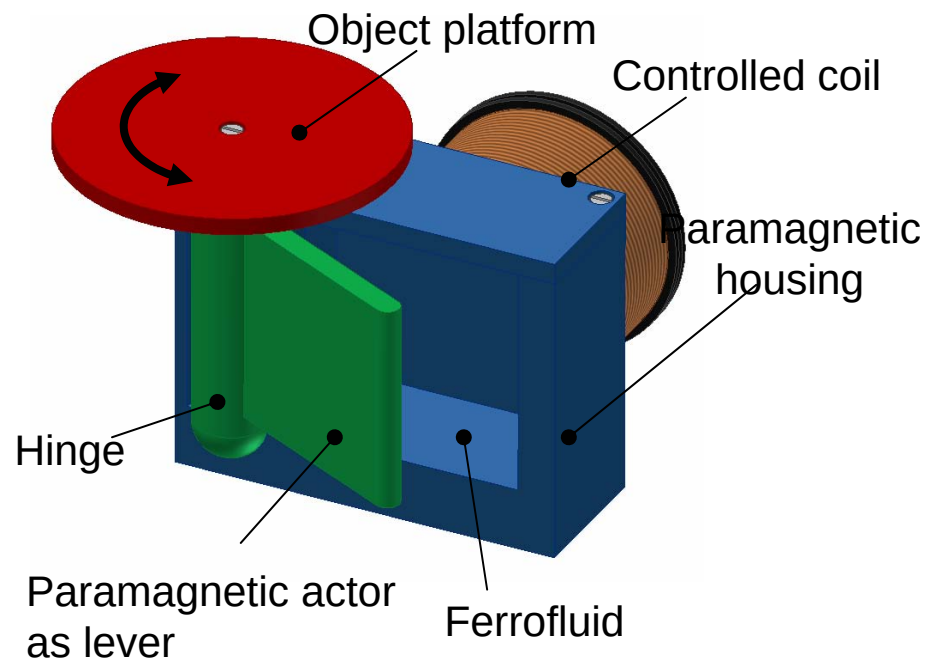


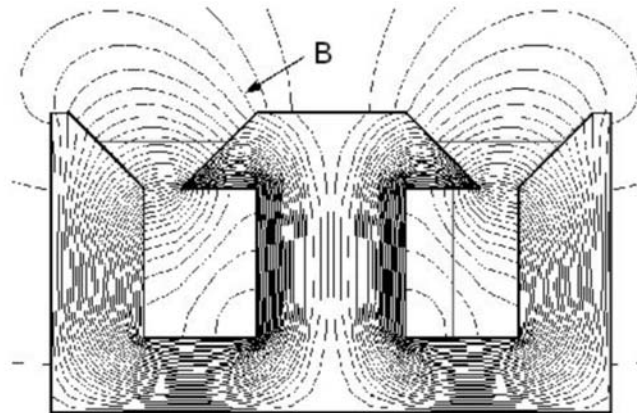
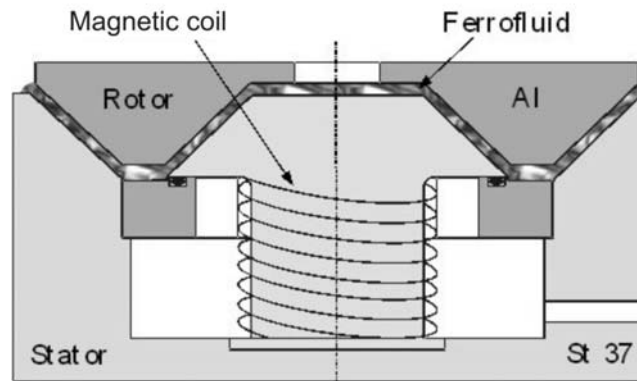
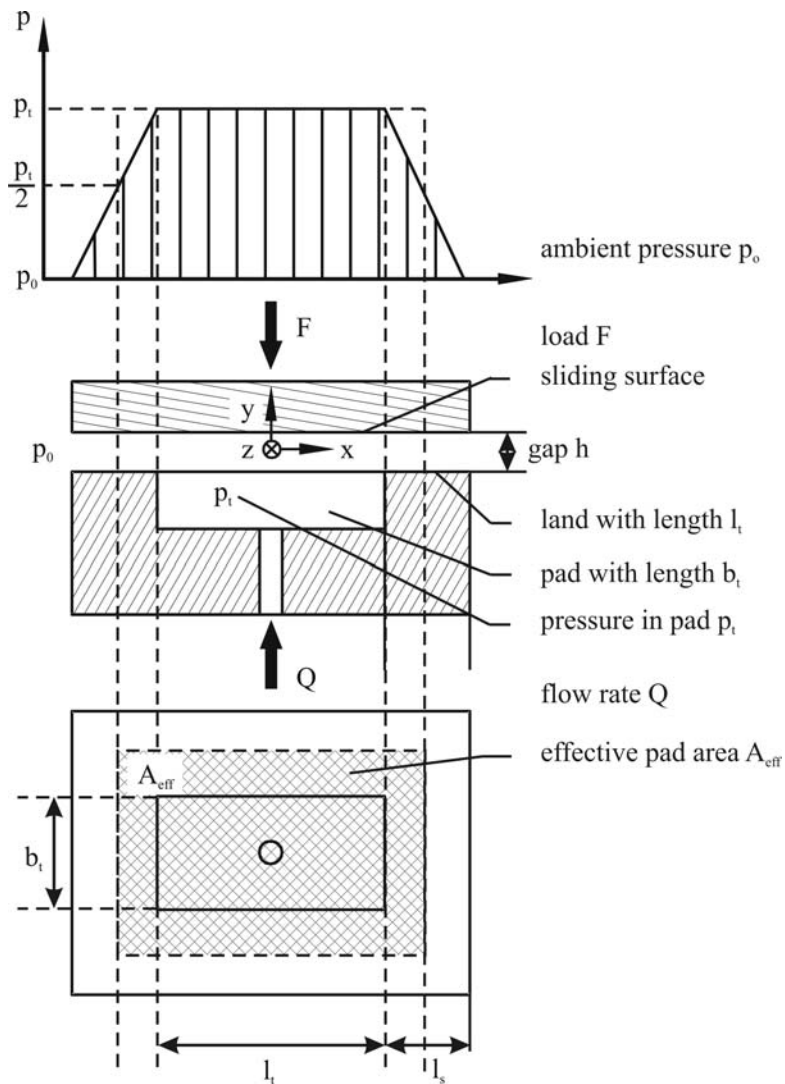




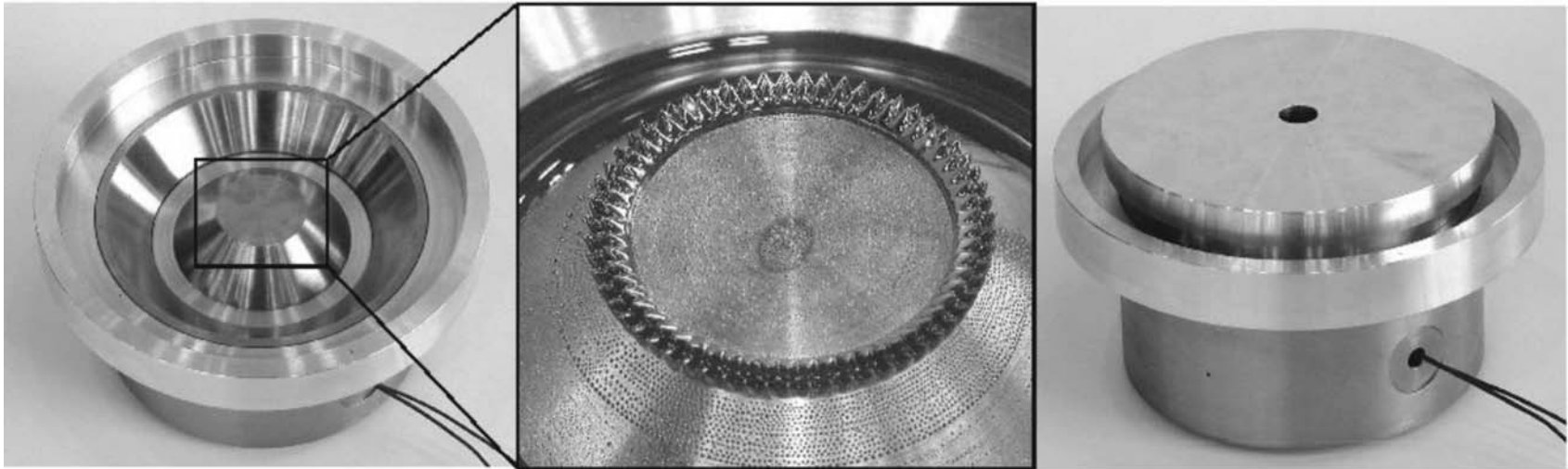
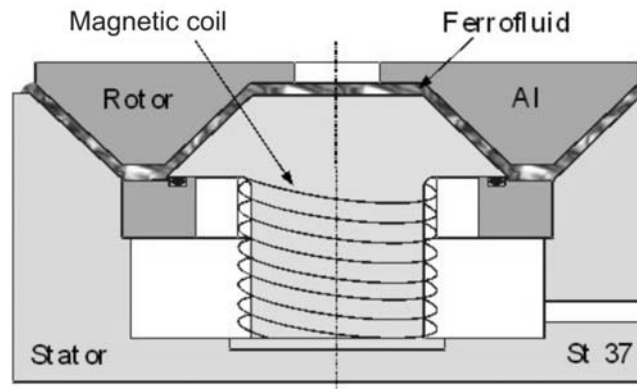
Multiachsisial

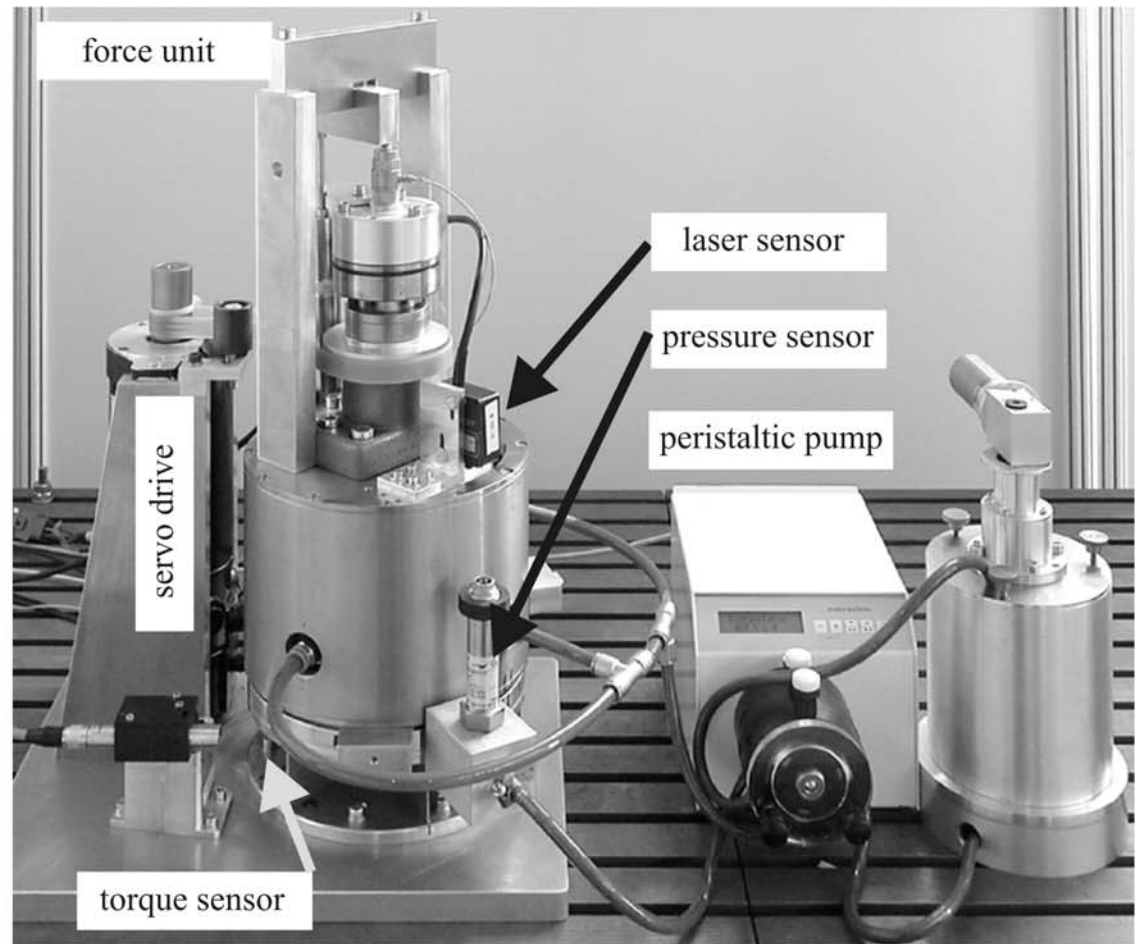
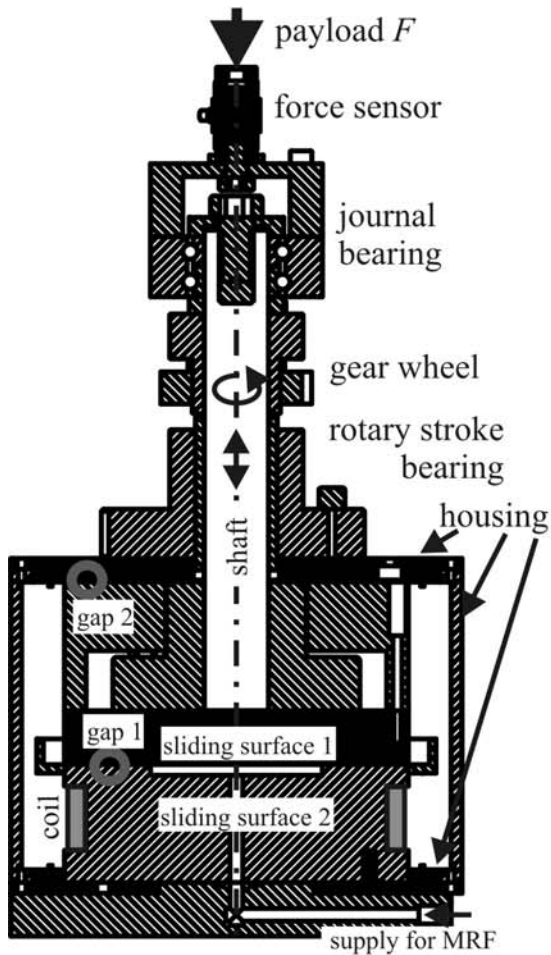
Rotierend





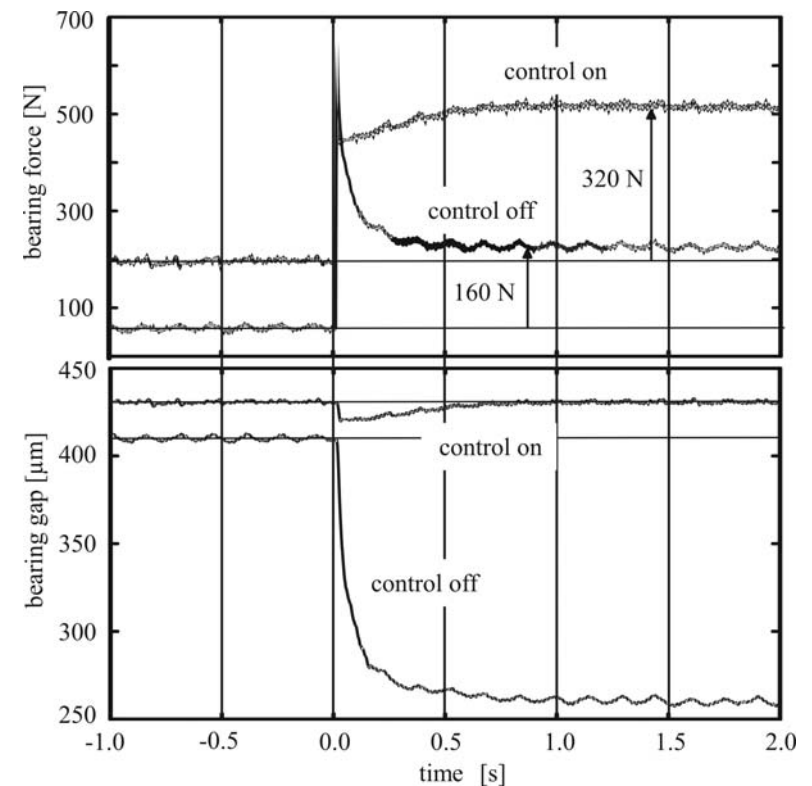
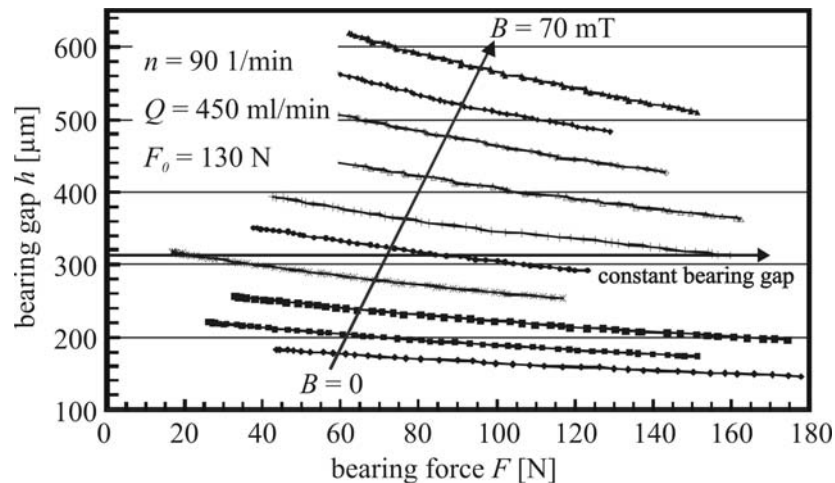
IWF – TU Braunschweig
 Chr. Abel-Keilhach
 J. Hesselbach

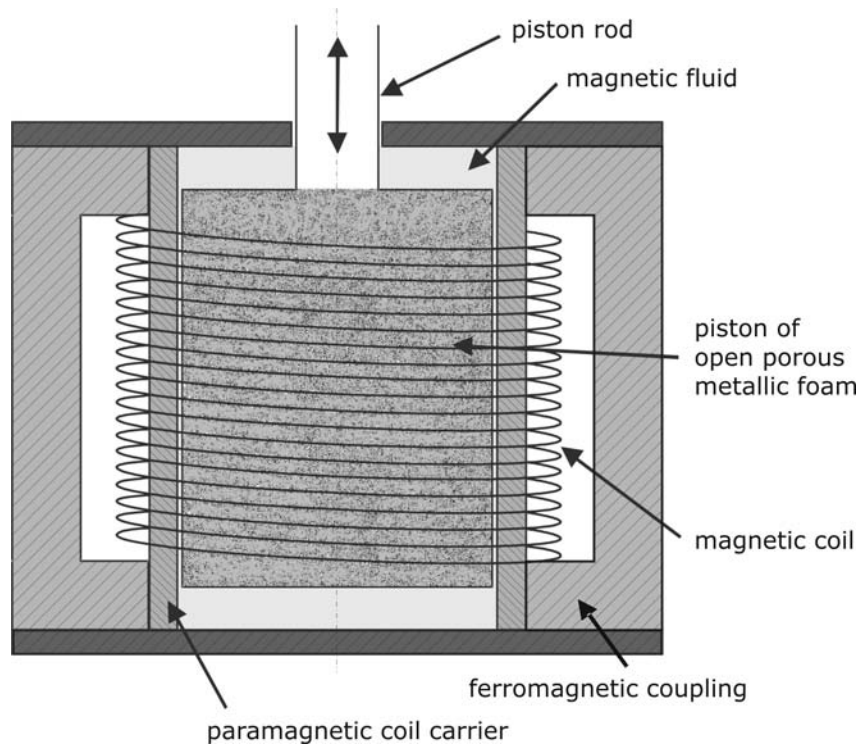




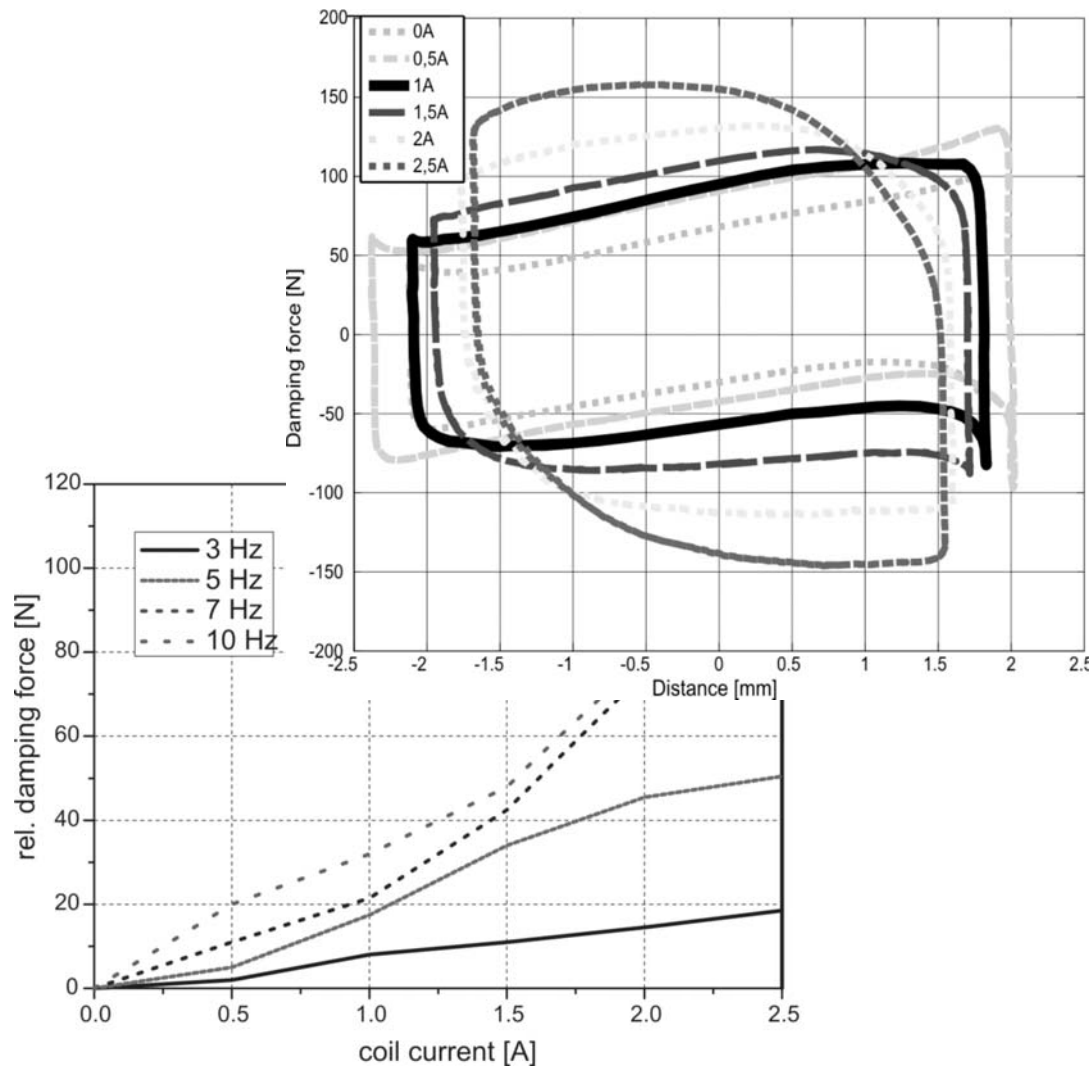
Steuerungscharakteristik des Lagers

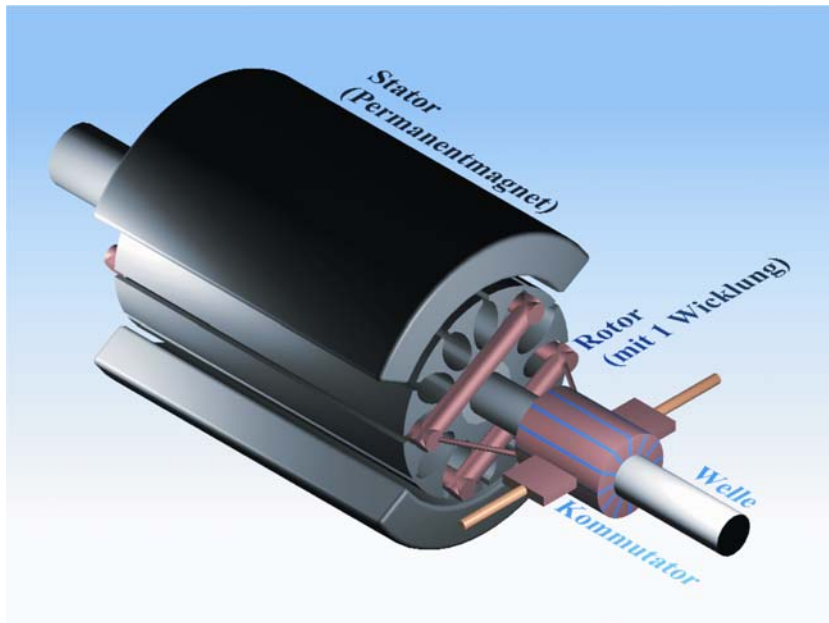
Steuerung des Lagerspaltes durch das Magnetfeld





IWF – TU Braunschweig
J. M. Guldbakke
J. Hesselbach



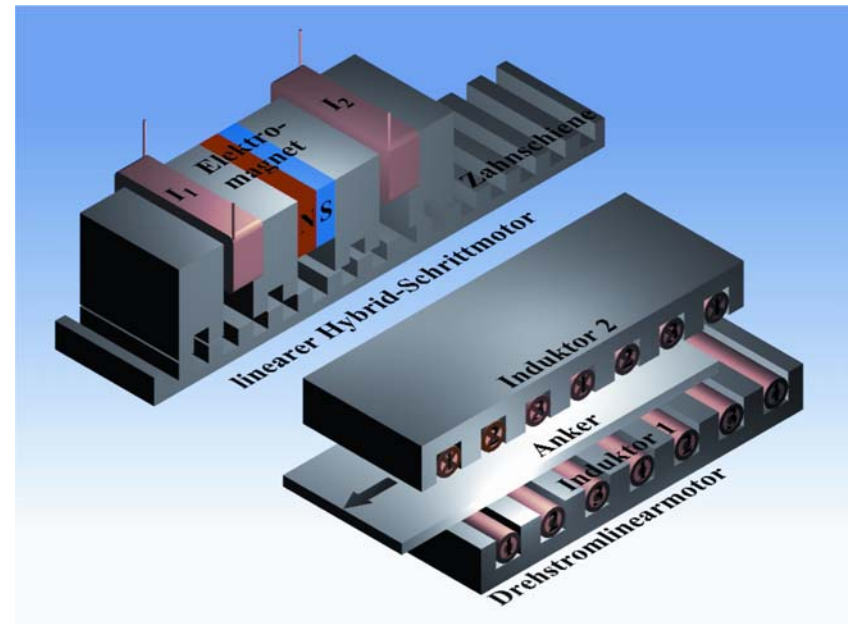


☐ Rotierende Maschinen

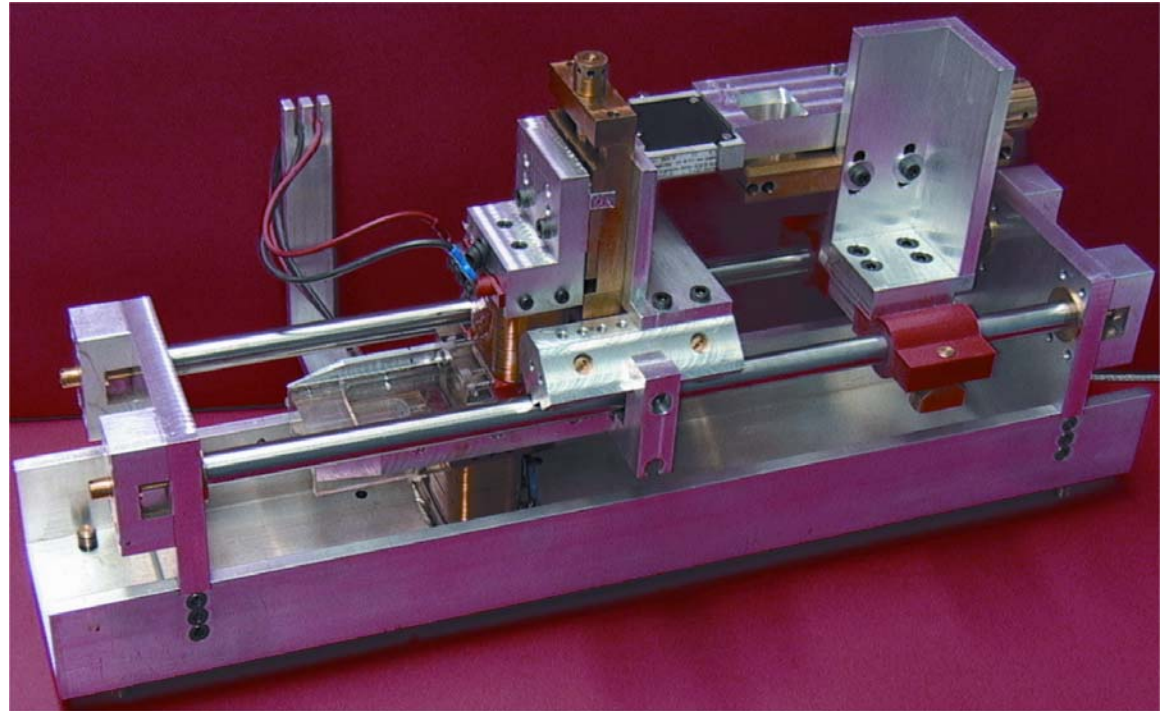
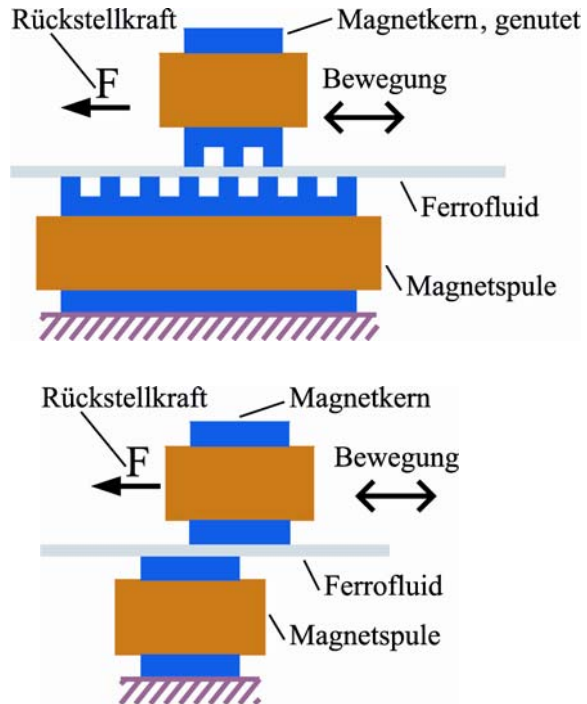
- ☒ Gleichstrommotor
- ☒ Drehstrommotor

BTU Cottbus
A. Nethe
T. Scholz
H.-D. Stahlmann

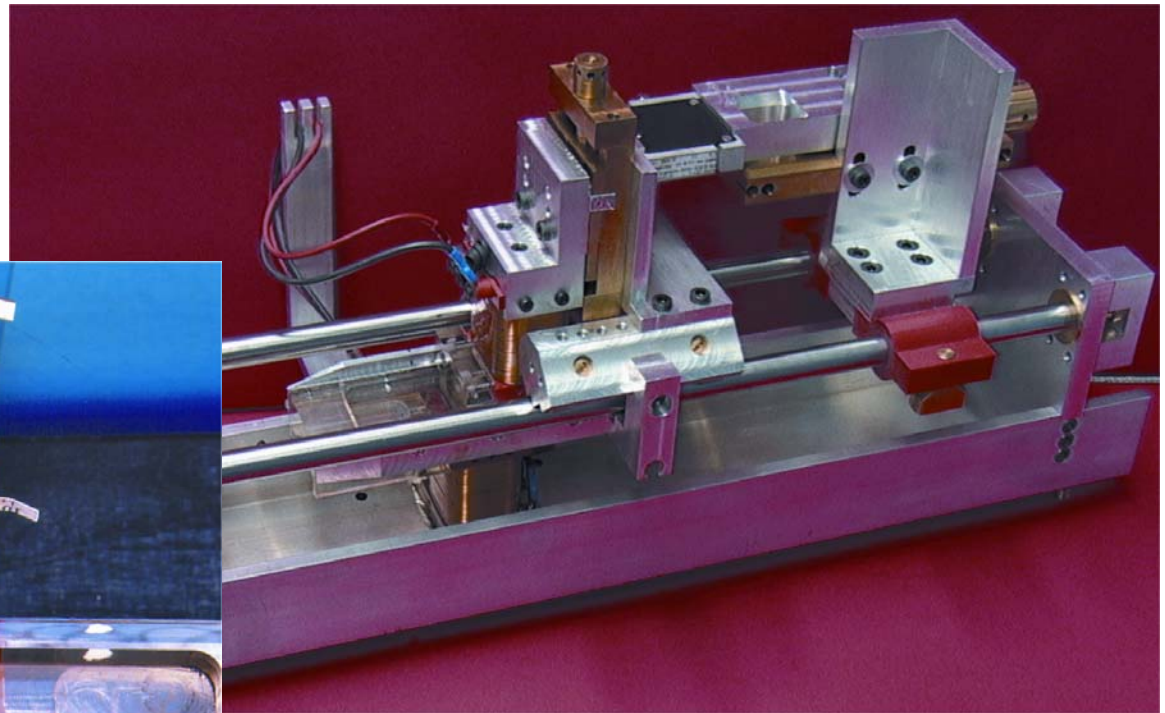
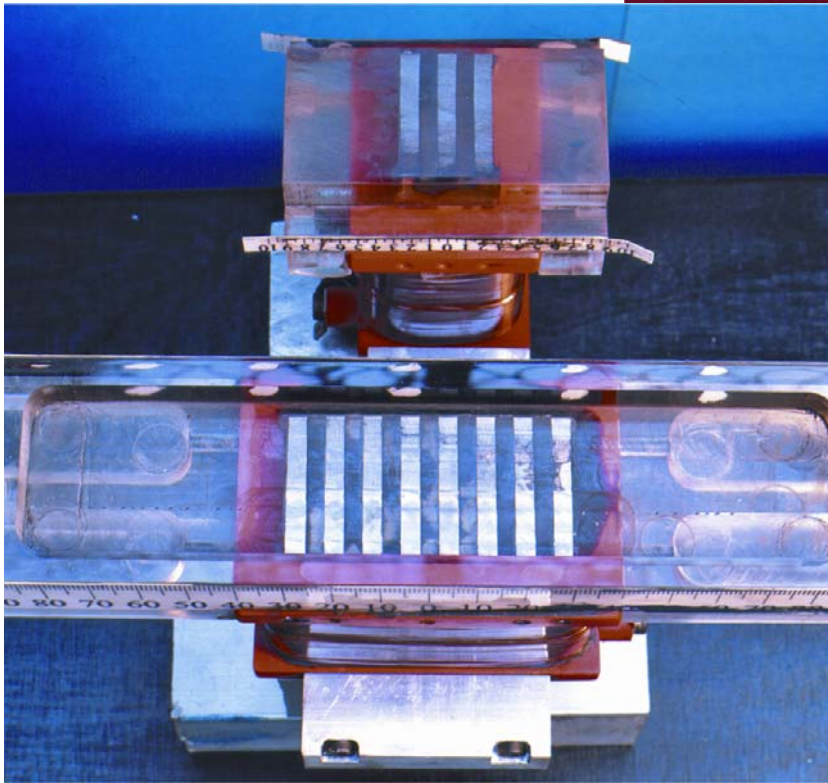
- ☐ Linearmotor
- ☐ Schrittmotor – „Abgewickeltes“ Motormodell



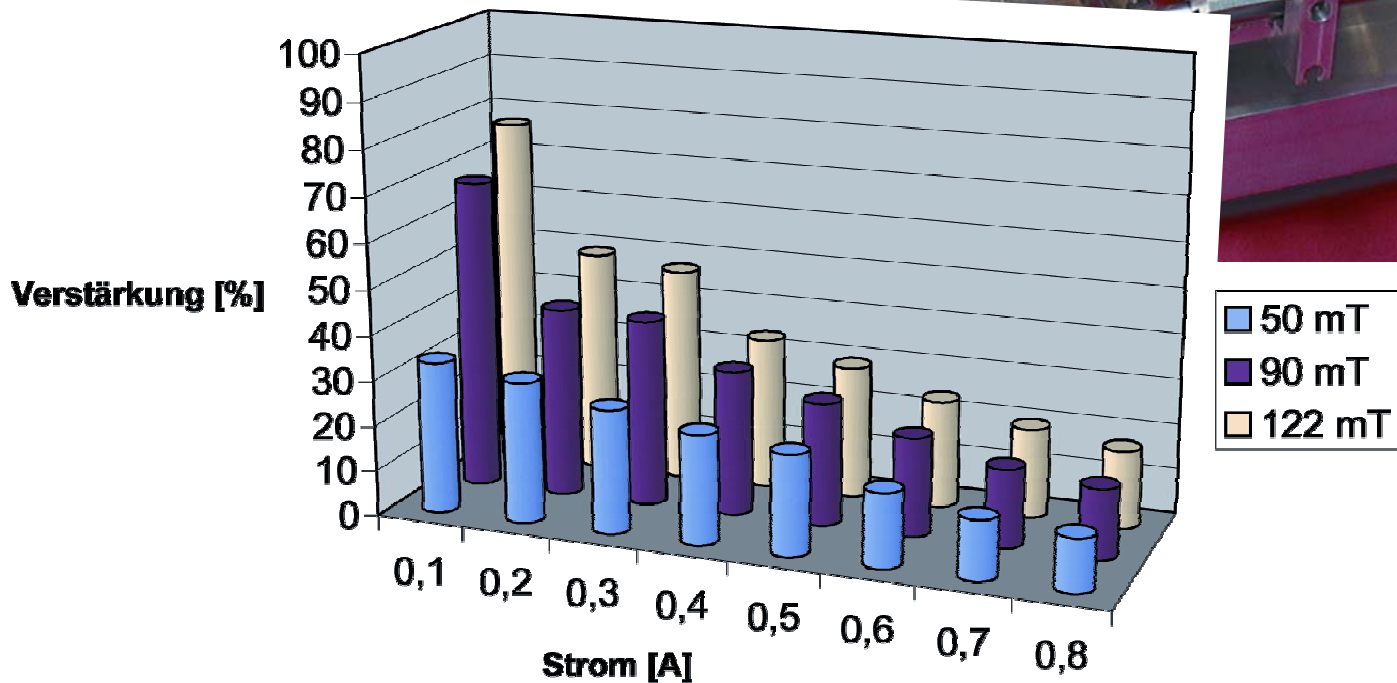
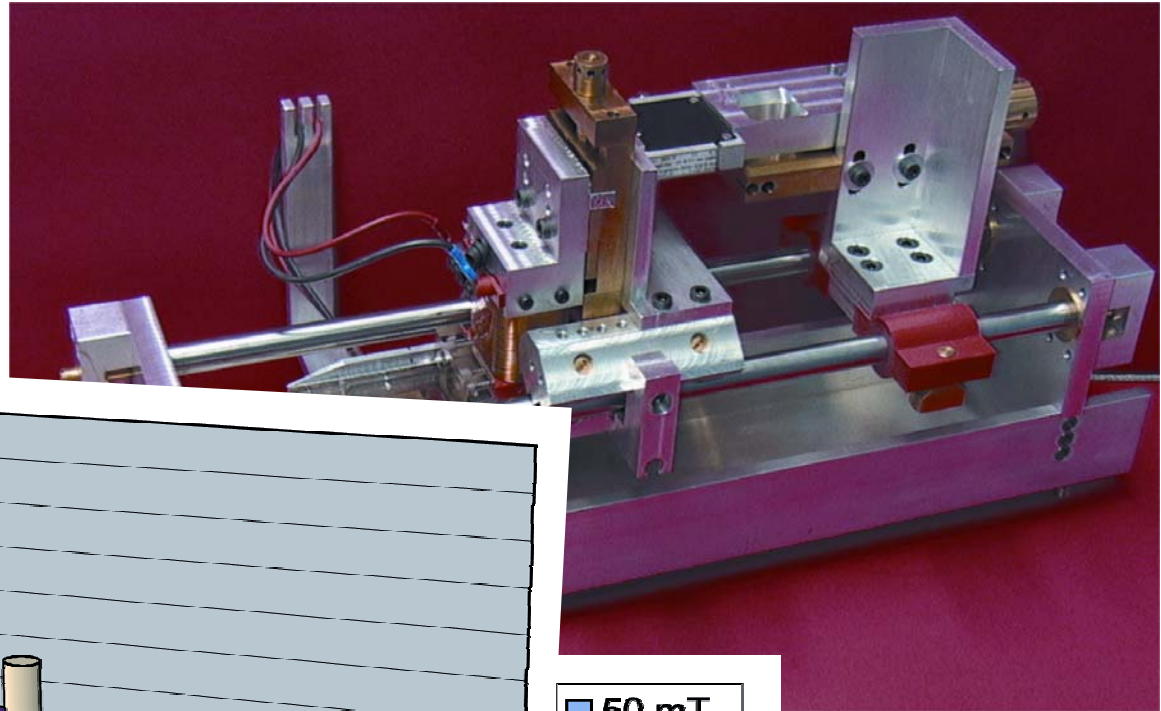
□ Statische Experimente



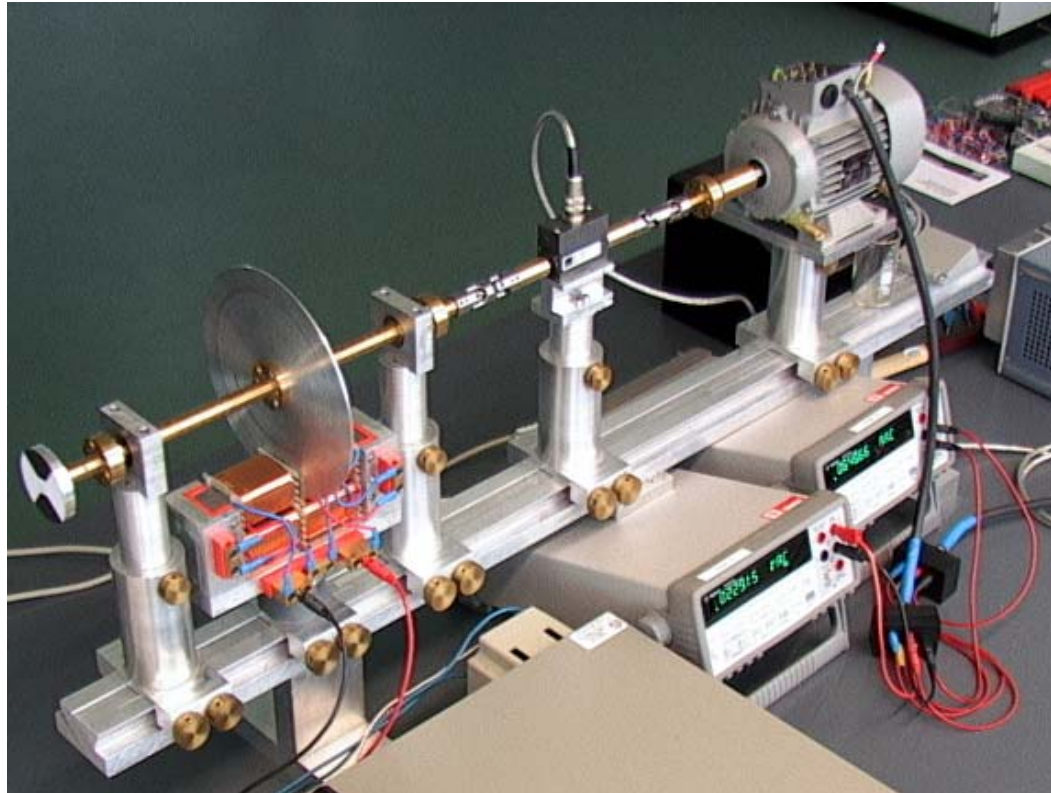
- Statische Experimente



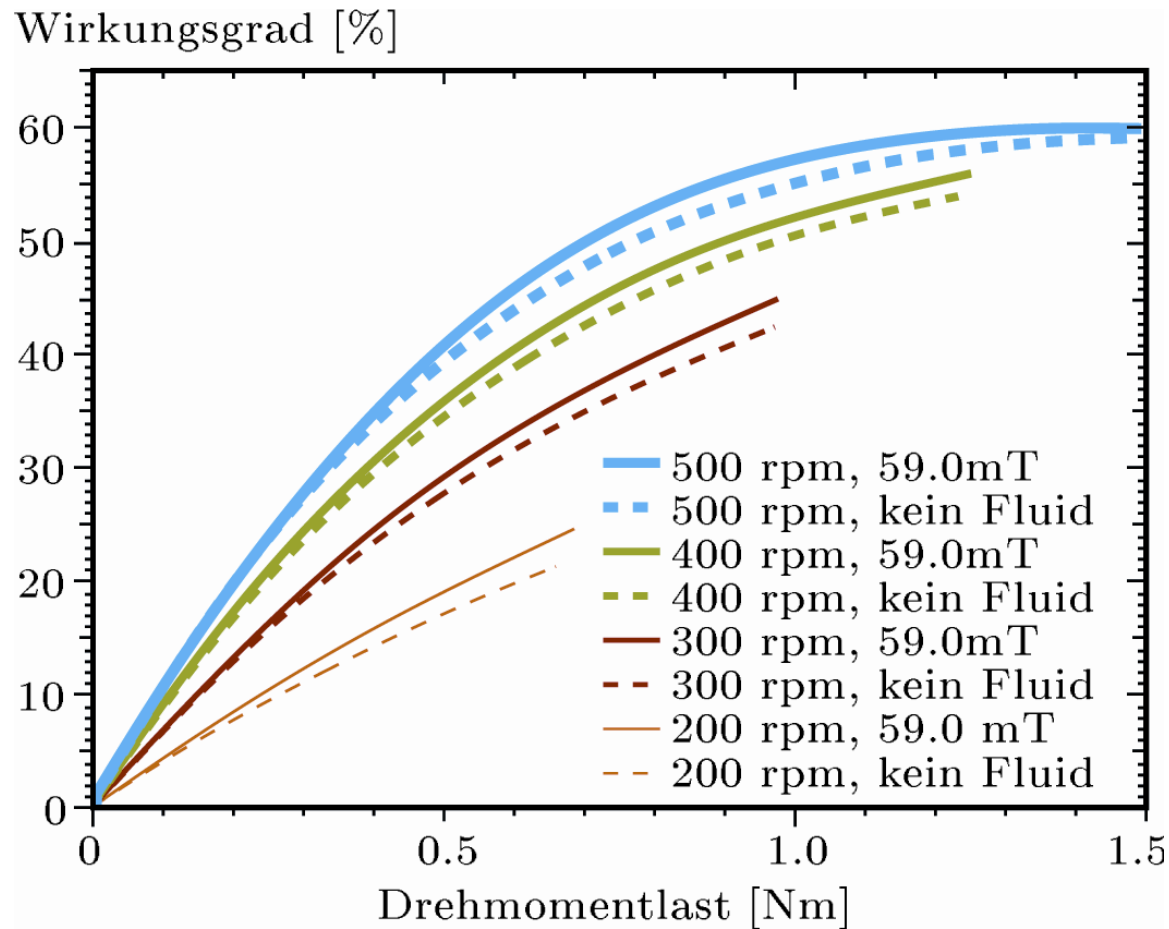
- Statische Experimente



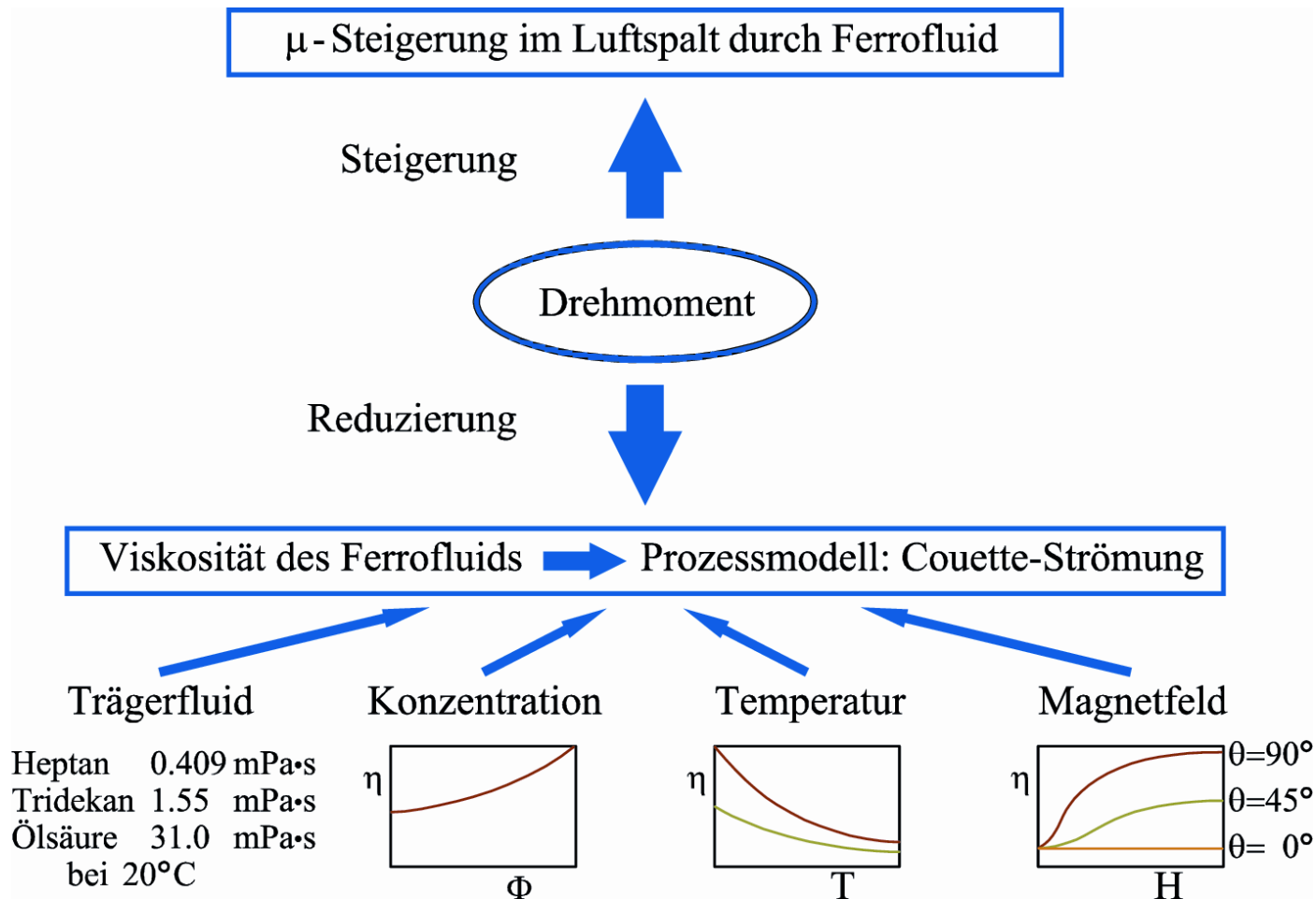
- Versuchsstand: Drehstrommotor



□ Versuchsstand: Drehstrommotor



- Untersuchungen: Luftspalt ./.. Ferrofluidspalt



□ Transformatorenölpumpe



- Nassläufer
 - 5-7 bar Druckdifferenz
 - 100-200 l/min



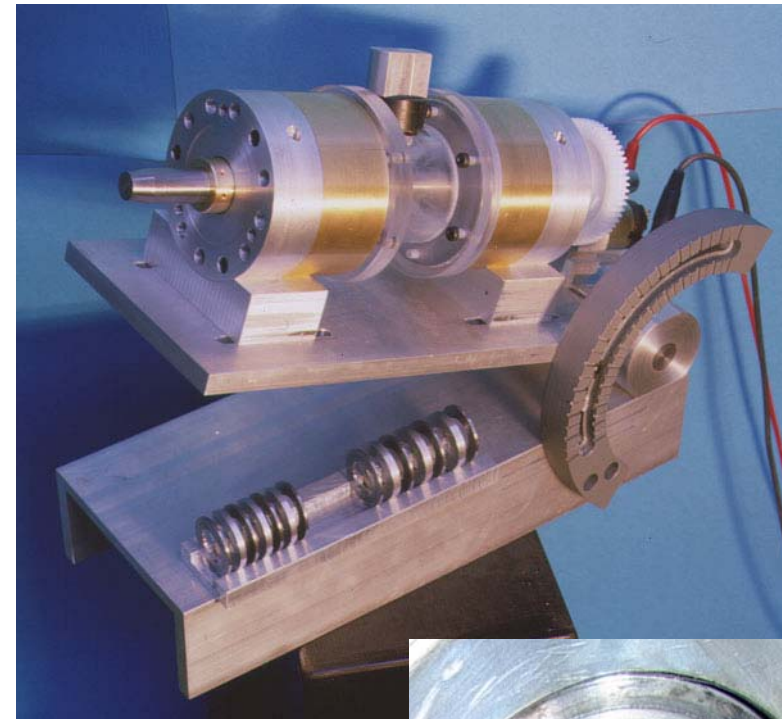
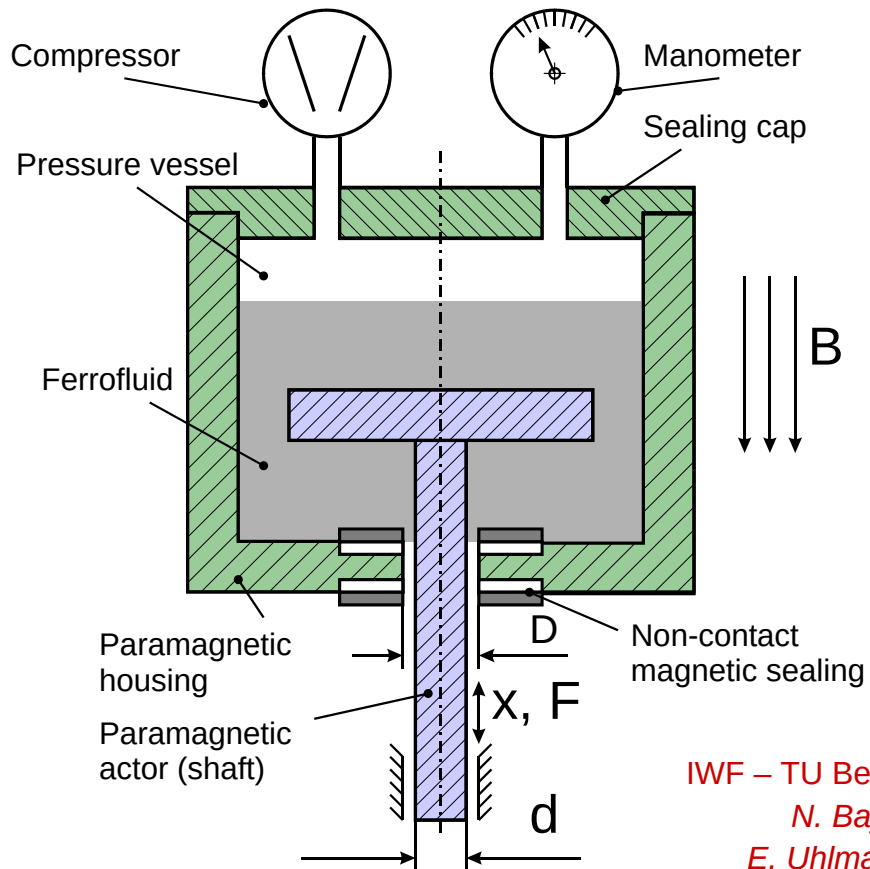
- ☐ Trägerflüssigkeiten – kompatibel zu den Anwendungen
 - Hitzebeständig
 - Biokompatibel
 - ...

- ☐ Magnetische Partikel – langzeitstabil
- ☐ Hohe Sättigungspolarisation – Co-Partikel
- ☐ Niedrig viskos

- ☐ Größere Mengen sind preiswert nicht herstellbar !



- Eine neue Ära in den technischen Anwendungen beginnt ...
 - Mindest 400 mT bei niedriger Viskosität
 - Preise von wenigen Euro pro Milliliter (Cent pro Liter)
 - Massenanwendungen
 - ...
- Keiner kann voraussagen was noch entwickelt wird ...
- Welche Anwendungen sich durchsetzen ...
- Bewertungen - z.B. Kosten ./ . Nutzen - müssen immer wieder neu gestellt werden.
- Bei neuen Ergebnissen und Entwicklungen müssen alle „alten“ Ideen nochmals auf den Prüfstand.



BTU Cottbus
 A. Nethe
 N. Bayat
 T. Scholz
 E. Uhlmann
 H.-D. Stahlmann

- Eine neue Ära in den technischen Anwendungen beginnt ...
 - Mindest 400 mT bei niedriger Viskosität
 - Preise von wenigen Euro pro Milliliter (Cent pro Liter)
 - Massenanwendungen
 - ...
- Keiner kann voraussagen was noch entwickelt wird ...
- Welche Anwendungen sich durchsetzen ...
- Bewertungen - z.B. Kosten ./ . Nutzen - müssen immer wieder neu gestellt werden.
- Bei neuen Ergebnissen und Entwicklungen müssen alle „alten“ Ideen nochmals auf den Prüfstand.

Ferrofluide in Technischen Anwendungen

Rück-, Ein- und Ausblicke

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

