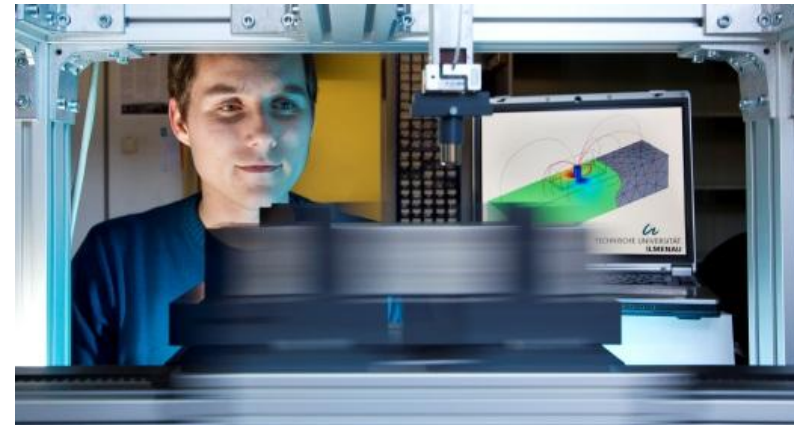


Lorentzkraft-Wirbelstrom-Verfahren für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Hannes Toepfer & Team

18th Leibniz Conference of Advanced Science
Lichtenwalde
October 17, 2014



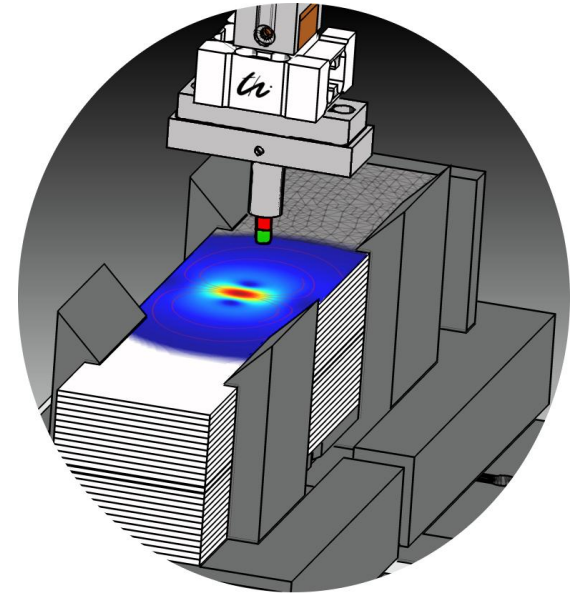
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Theoretische Elektrotechnik
PF 100 565
D-98684 Ilmenau



Phone: +49 3677-69 2629
Fax.: +49 3677-69 1152
http://tu-ilmenau.de/it_tet/
tet@tu-ilmenau.de

Inhalt

1. Zerstörungsfreie Materialprüfung
2. Physikalisches Grundprinzip
3. Modellexperimente
4. Lorentzkraft-Messungen
5. DiLET -- Entwicklungsstand
6. Ausblick



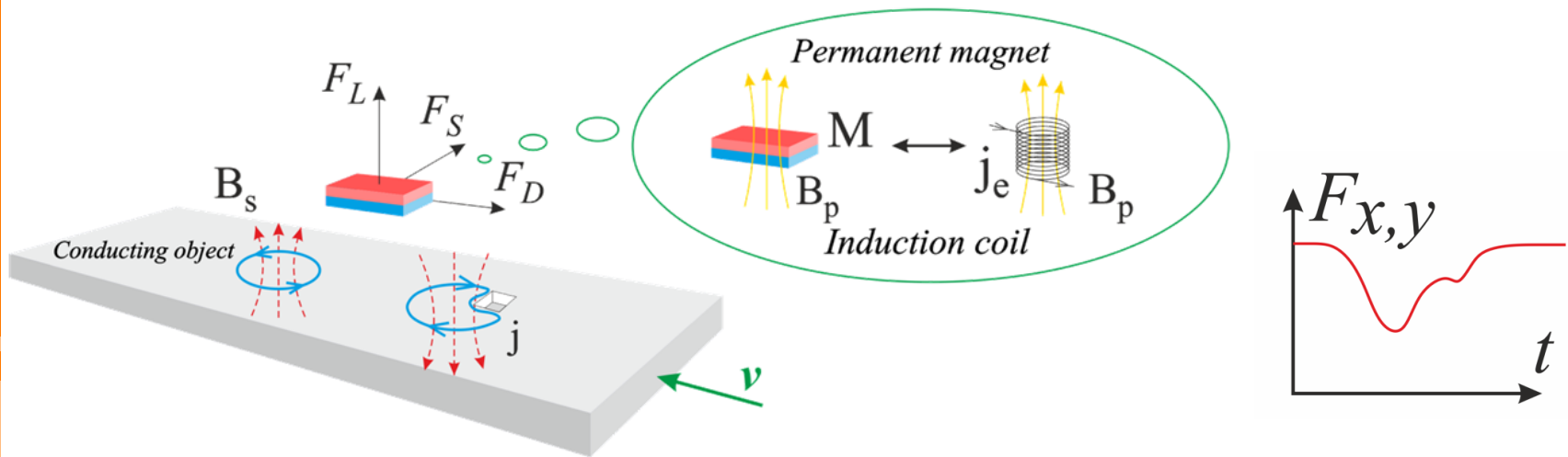
Motivation

- **Detektion und Rekonstruktion** von Defekten, Einschlüssen und Fehlern
- **Anwendungen:** Test von elektrisch leitfähigen Proben
 - Metal Injection Molding materials (MIM)
 - Carbon-fibre-reinforced plastics (CFRP)
 - Glass Laminate Aluminium Reinforced Epoxy (GLARE)
- **Hohe Variabilität** der Aufgabenstellung (Material, Position und Größe der Defekte, Form der Probe, Untersuchungsgeschwindigkeit usw. ...)



Physikalisches Grundprinzip

- Wenn sich eine Magnetfeldquelle relativ zu einem elektrisch leitfähigen Testkörper bewegt, werden Wirbelströme induziert.
- Wirbelströme sind von einem Magnetfeld umgeben, das mit dem Feld der Quelle interagiert.
- Die Interaktion äußert sich in einer Kraftwirkung auf den Körper.
(Prinzip der elektromagnetischen Bremse)
- Die Kraftwirkung ist für defektfreie Körper konstant.
- Sind Defekte im Körper vorhanden, ändert sich die Kraftwirkung.

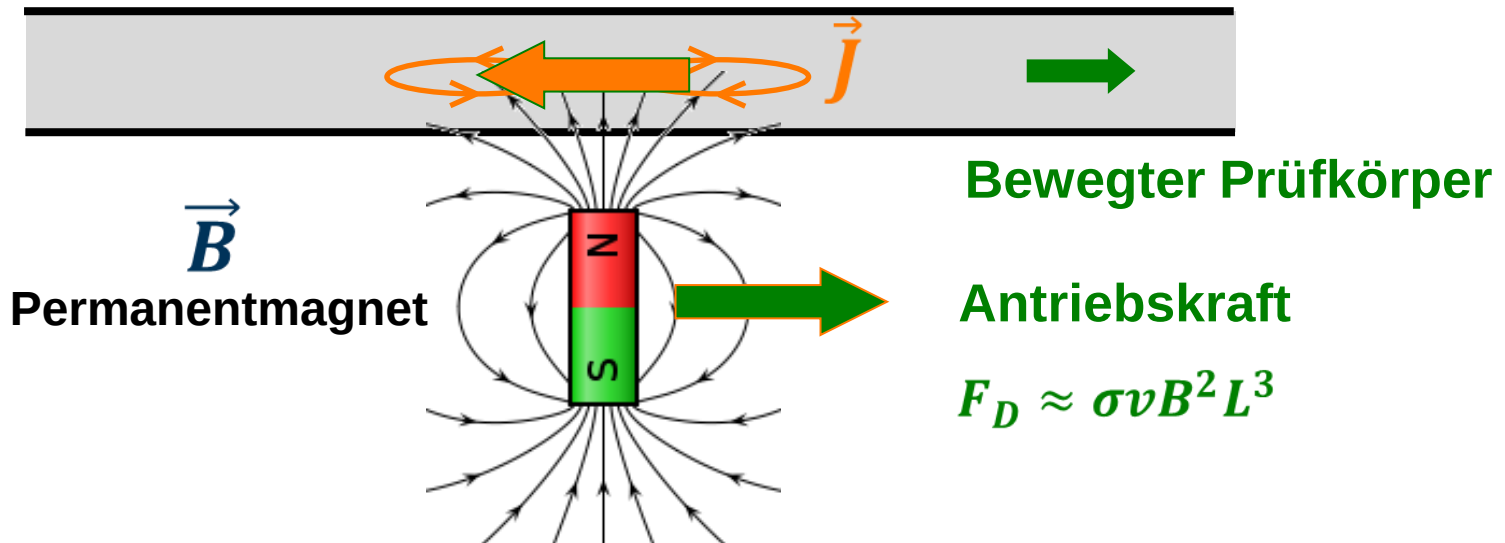


Physikalisches Grundprinzip

Wirbelströme

Bremskraft

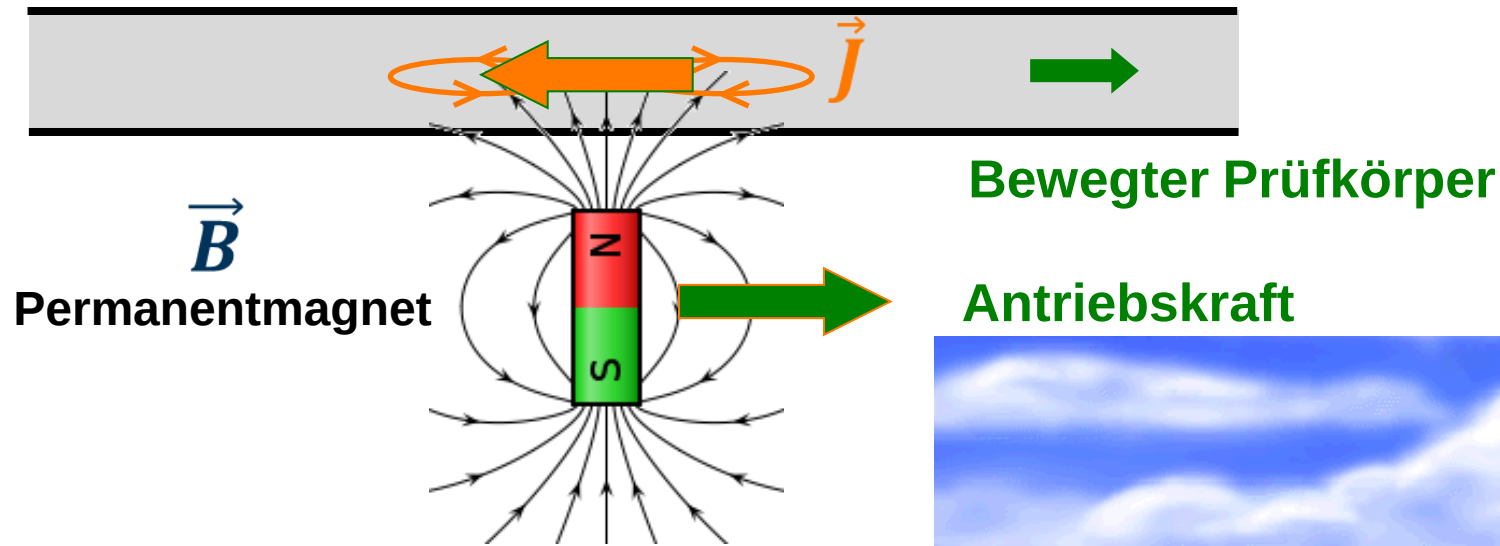
$$d\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} dV$$



Physikalisches Grundprinzip: Nutzung 3. Newtonsches Gesetz

Bremskraft

$$\vec{dF} = \vec{j} \times \vec{B} dV$$



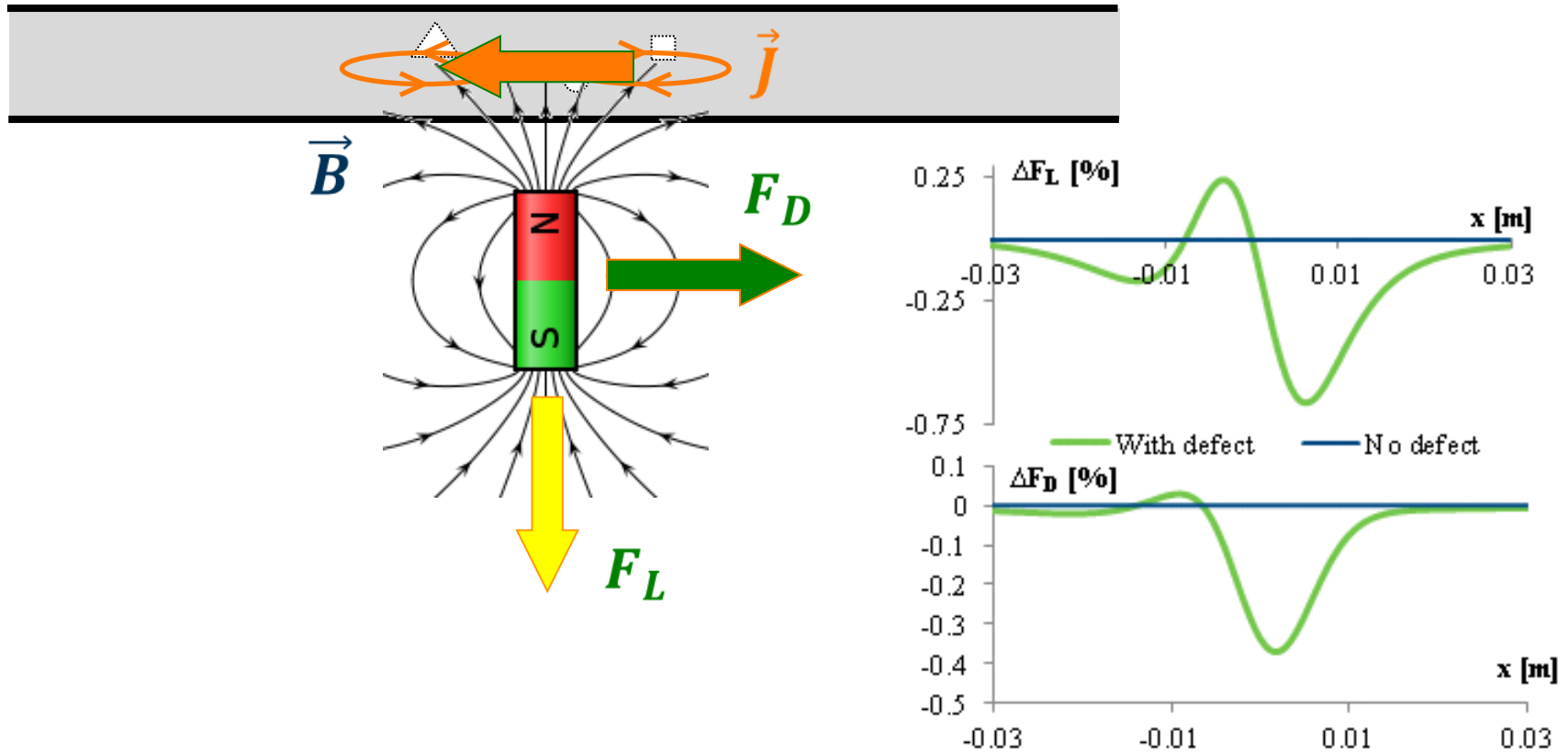
Aktion = Reaktion
→ Messung der Kraft auf
Permanentmagnet



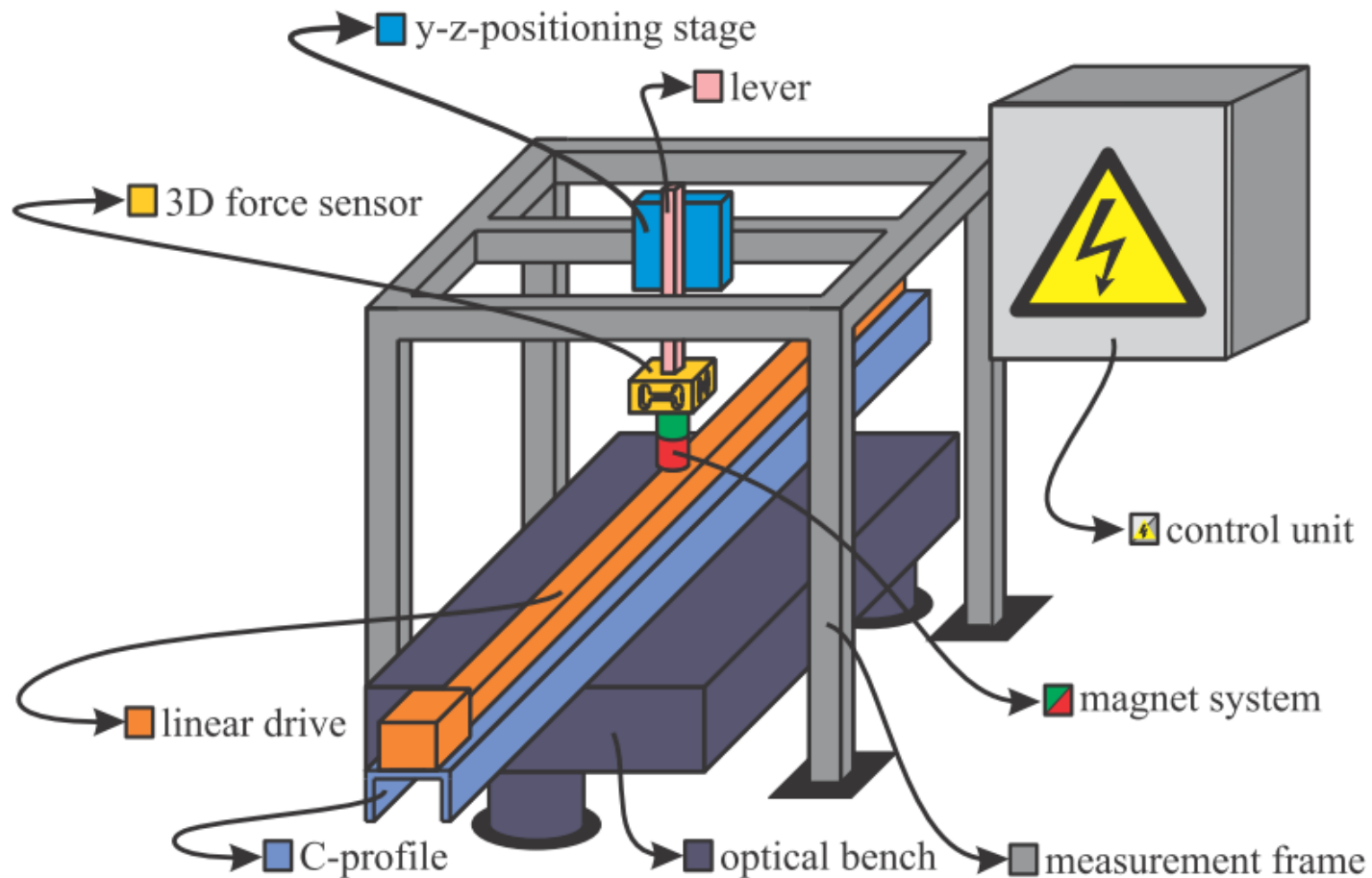
How do you jump from a boat?

Physikalisches Grundprinzip

Kraftwirkungen infolge von Defekten im Prüfkörper

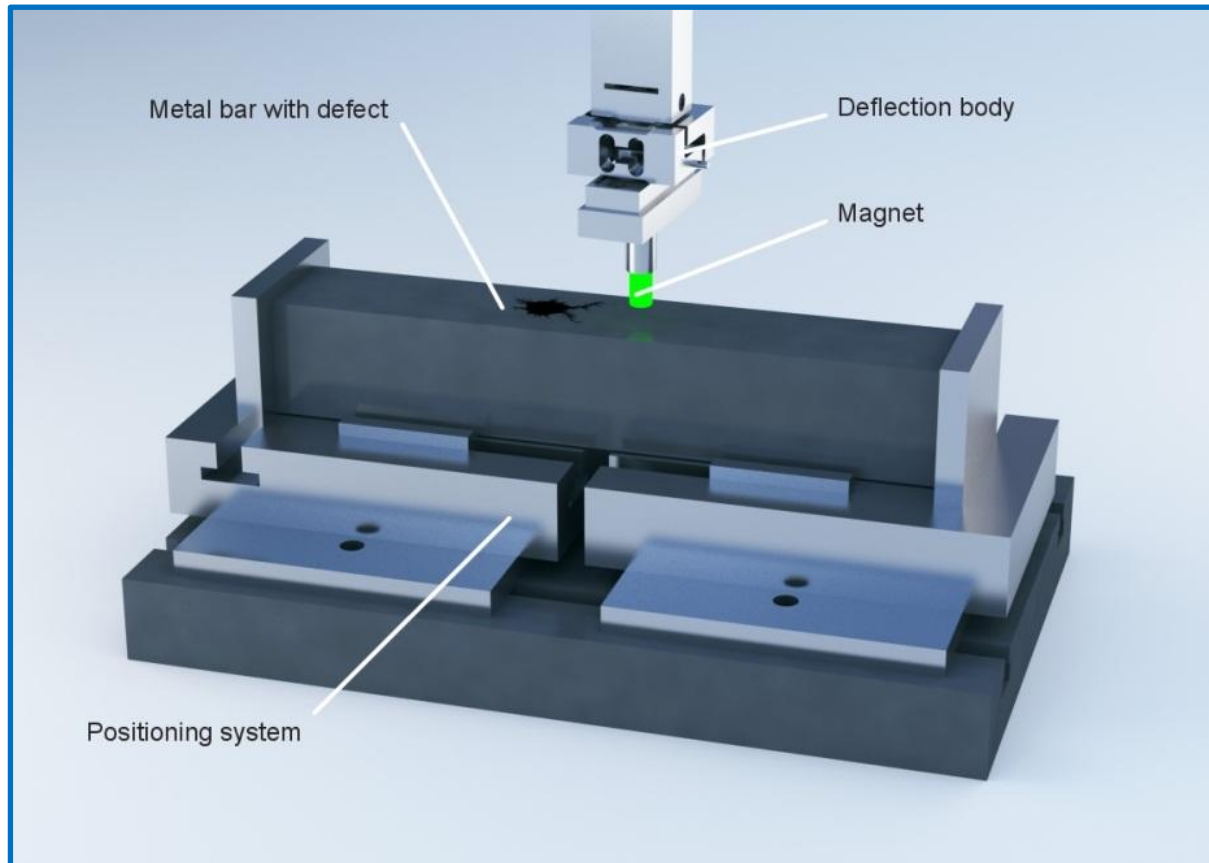


Modellexperiment - Messplatz



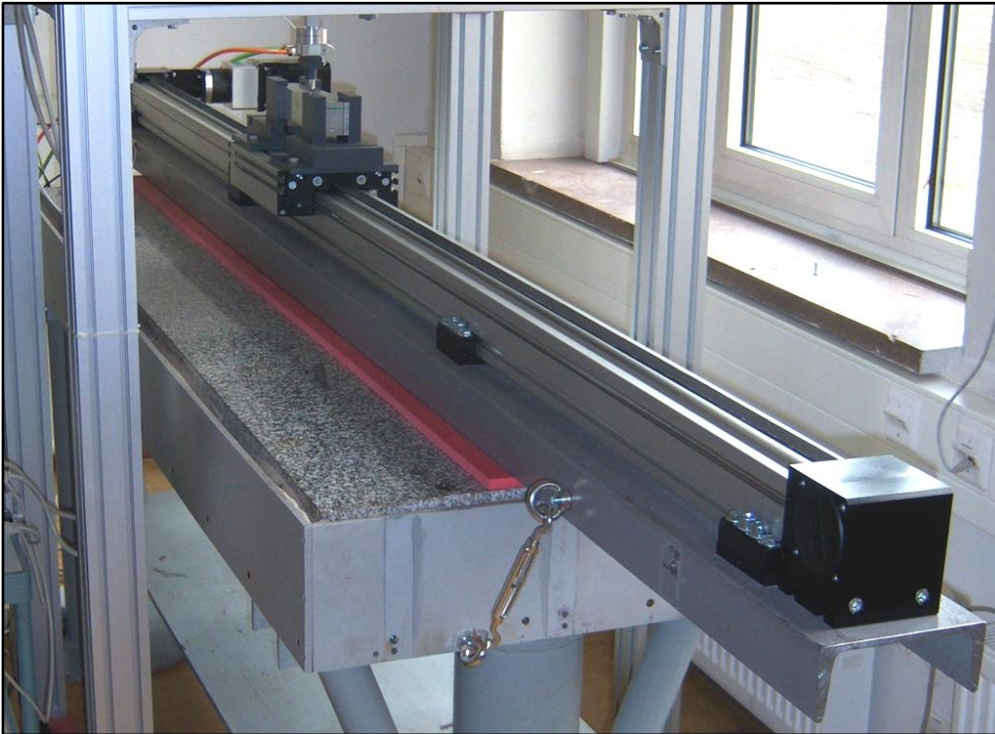
Modellexperiment

Anordnung der Sensoreinheit



Modellexperiment

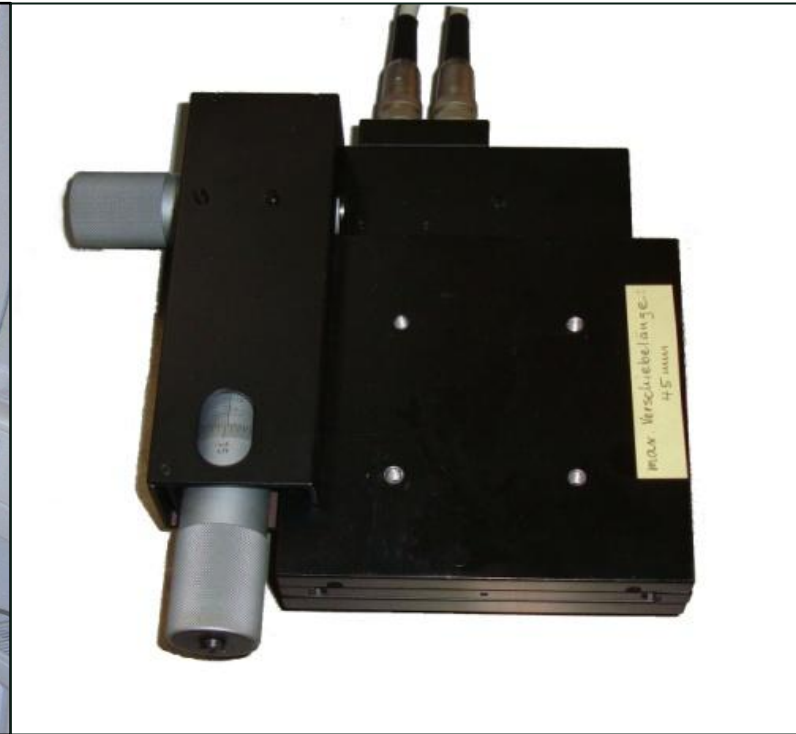
Antriebe



Linearantrieb (Riemenantrieb)

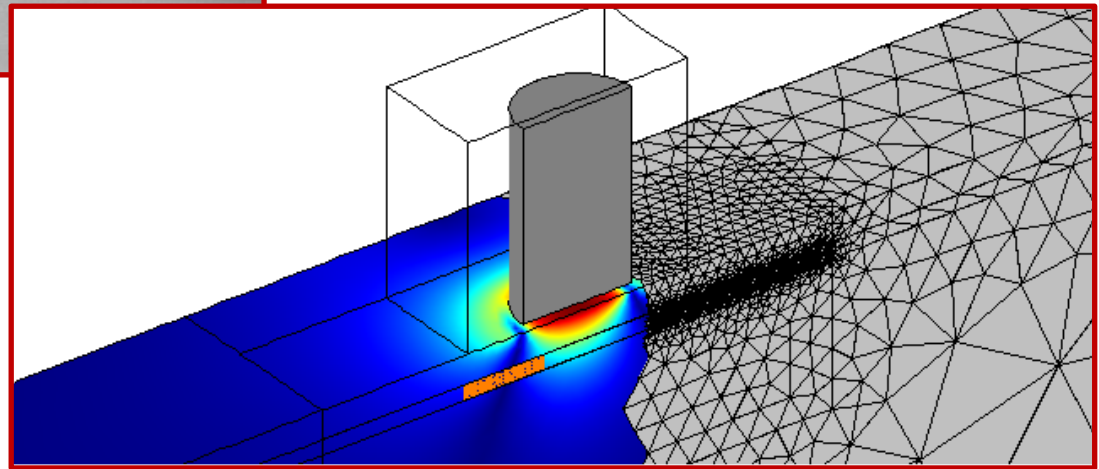
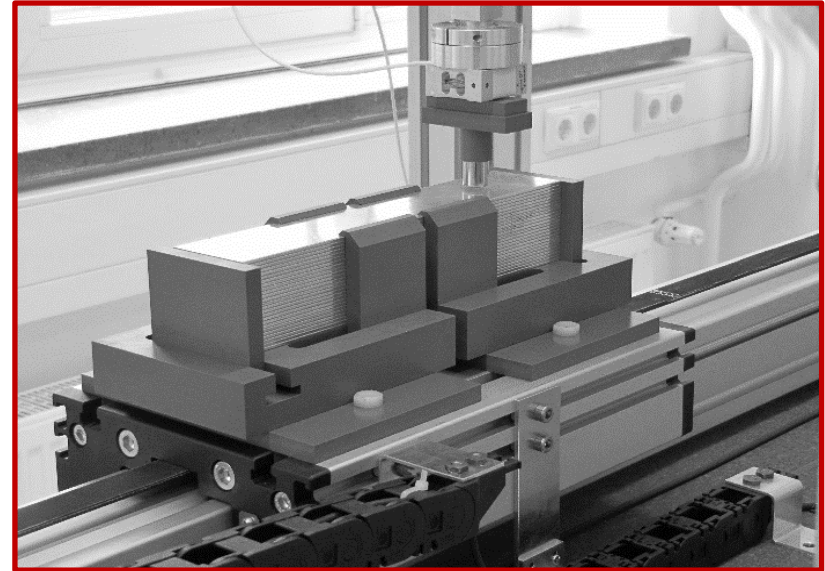
Verfahrstrecke: max. 3 m

Geschwindigkeit: 0,1 – 3,75 m/s

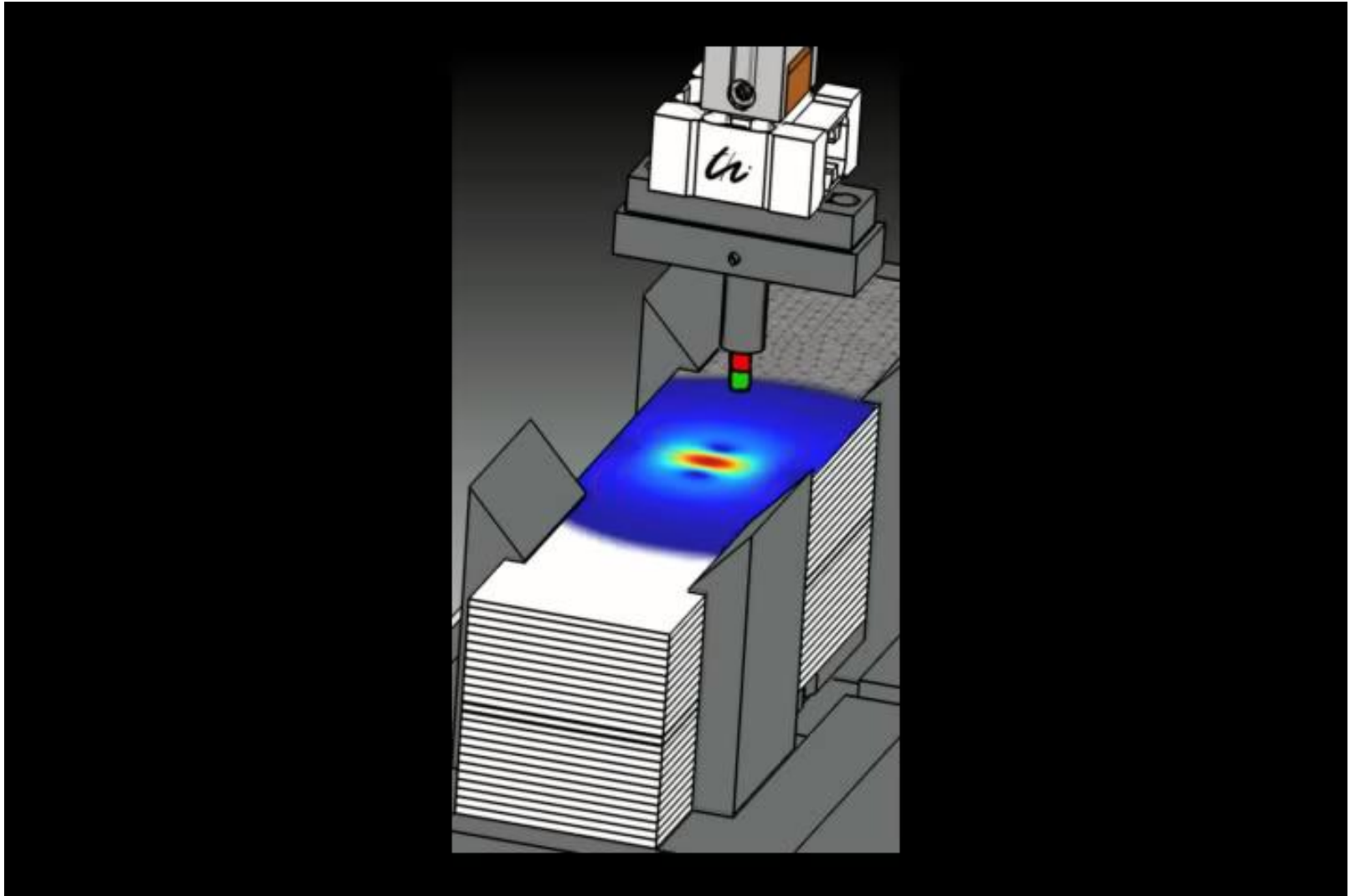


y-z-Positioniersystem für
Magnet-Kraftsensor-Module

Modellexperiment + Simulation

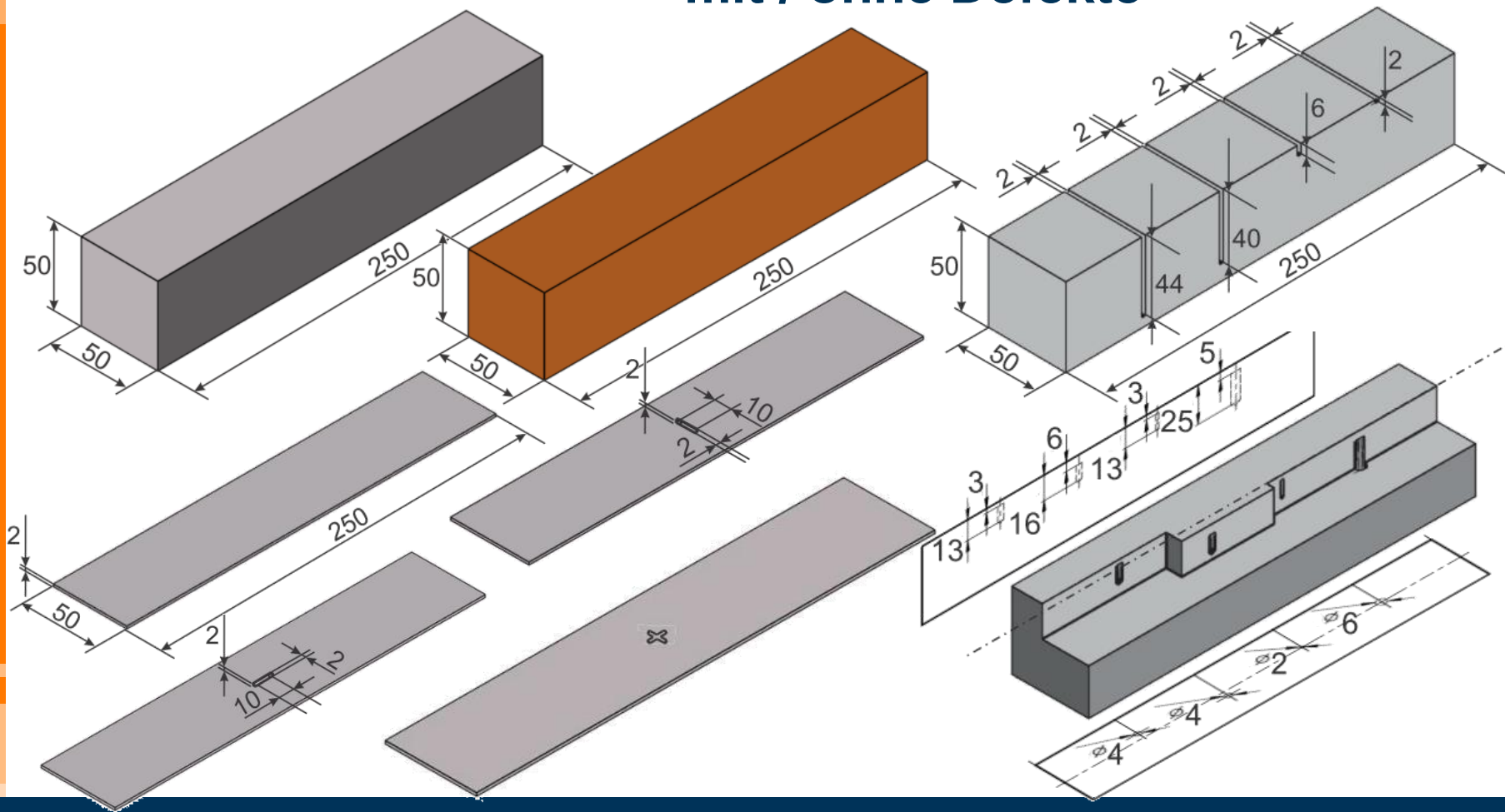


Modellexperimente

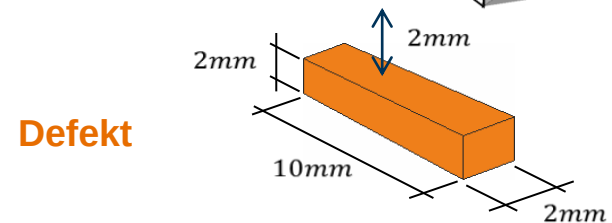
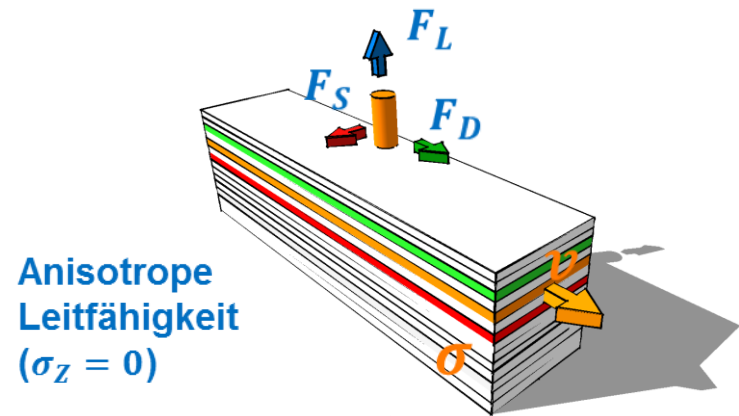
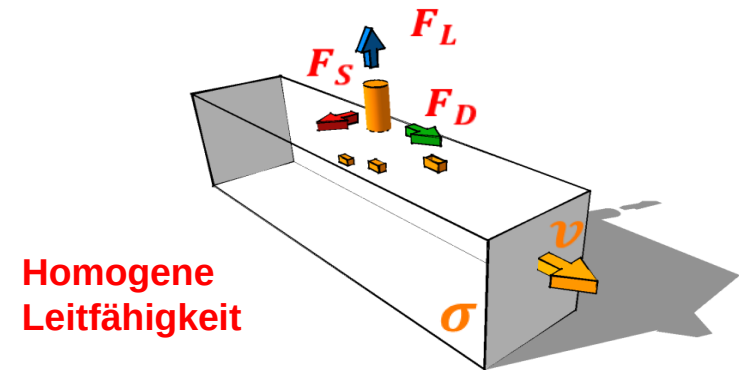
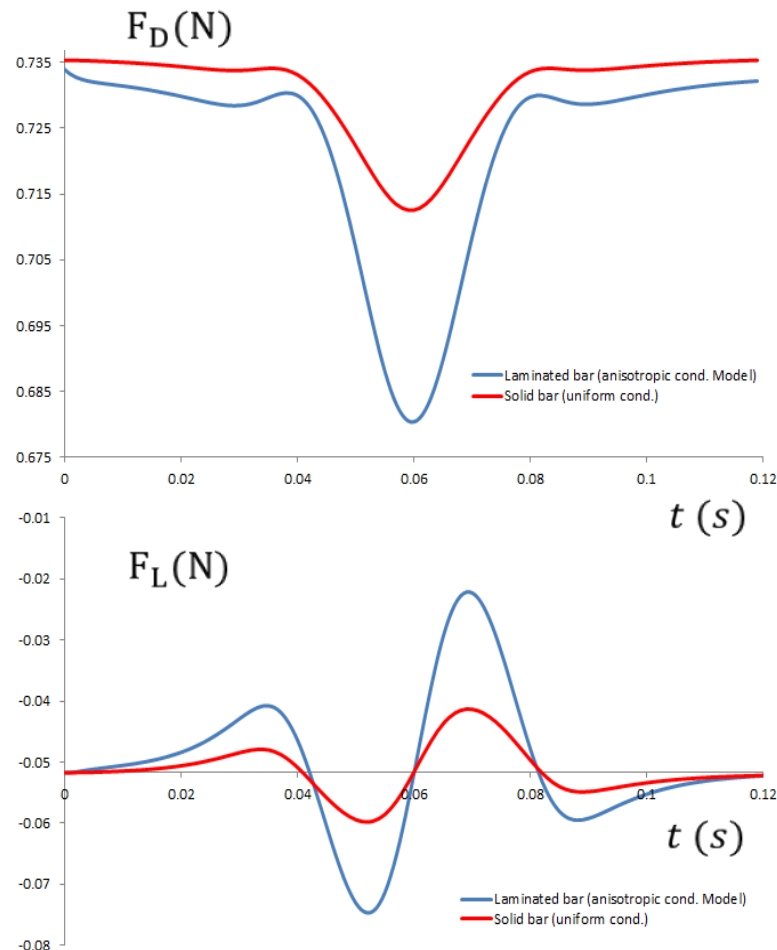


Modellexperimente mit Testkörpern

Testkörper: Aluminiumstäbe, -bleche
mit / ohne Defekte



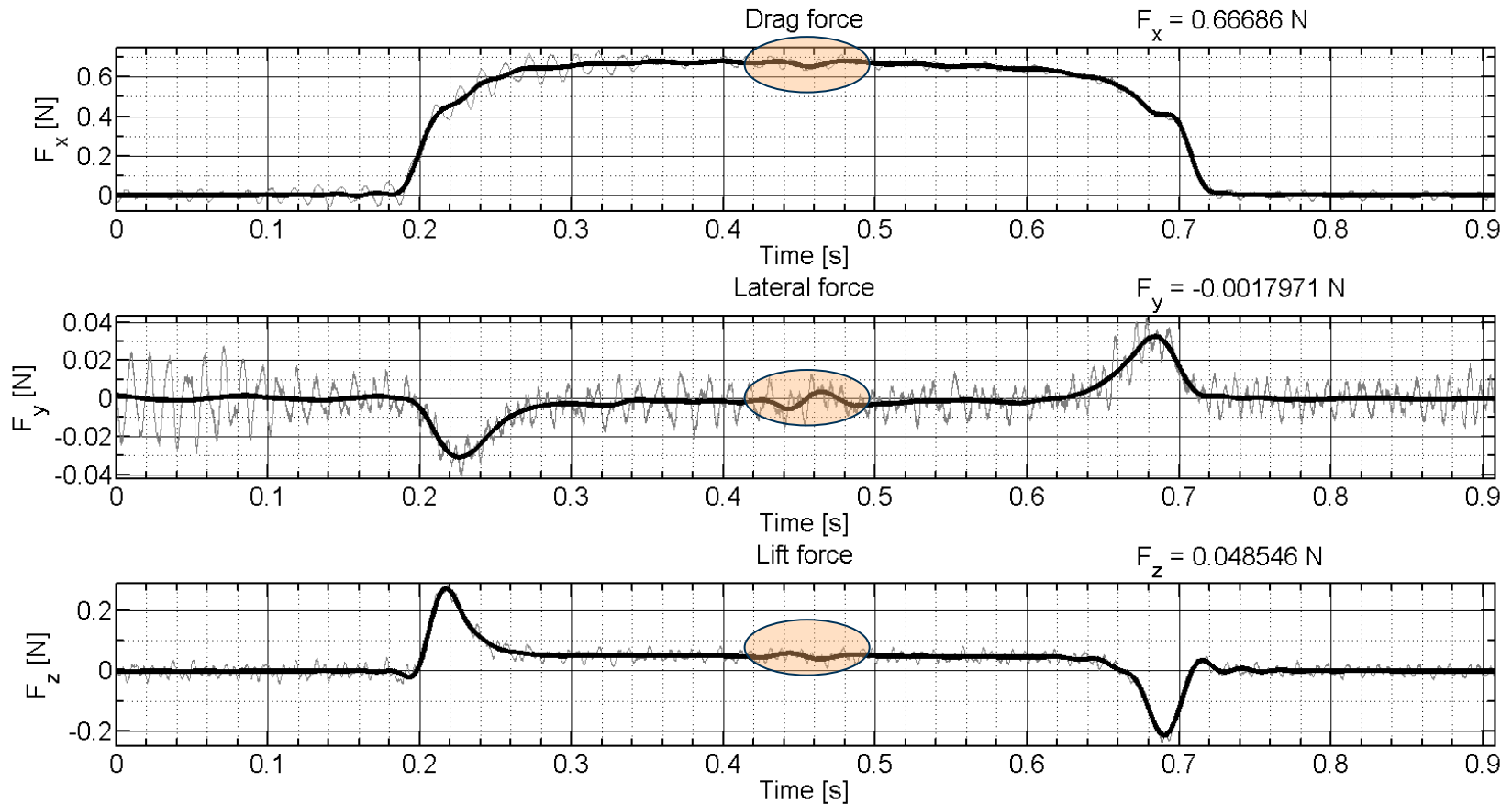
Modellexperimente an Testkörpern



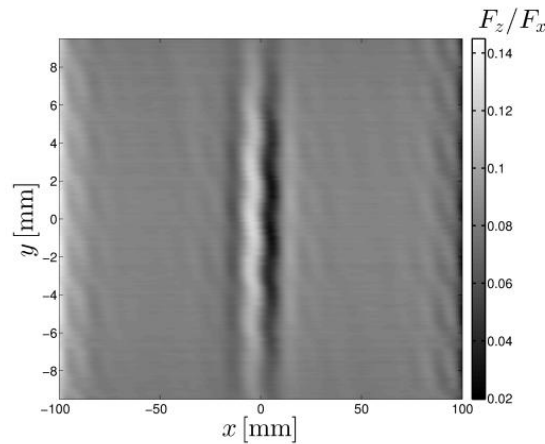
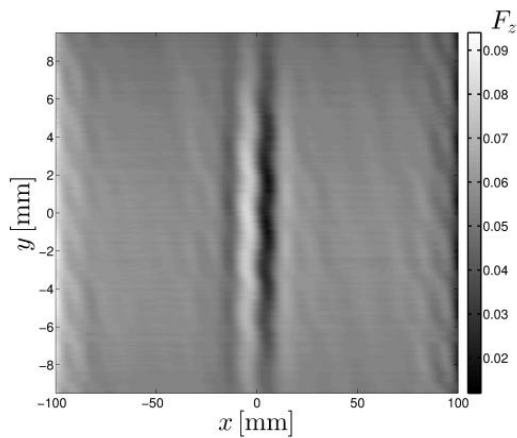
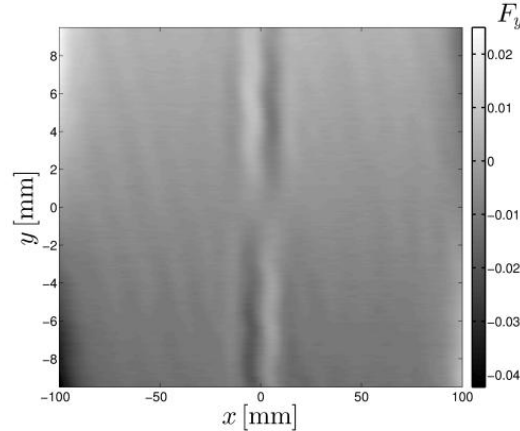
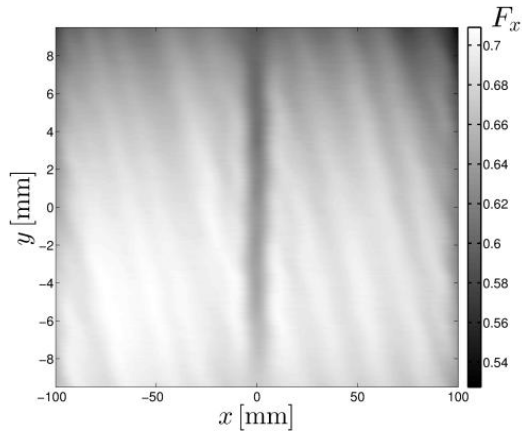
Lorentzkraft-Messung am Blechpaket mit Defekt

Kraftkomponenten F_x , F_y , $F_z = f(t)$

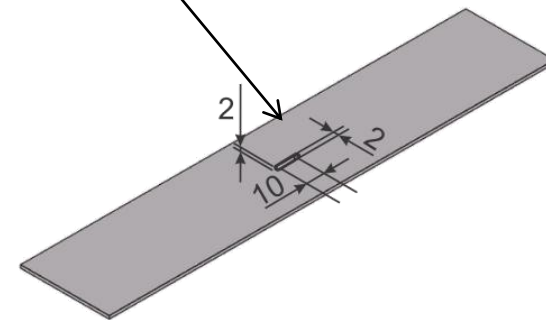
2011-7-4 - 15:32; N38 $v = 500$ mm/s, $\delta z = 1$ mm, $y = 5$ mm, metallic sheets with defect



Kraftmessungen an Aluminiumblechen (mit Defekt)

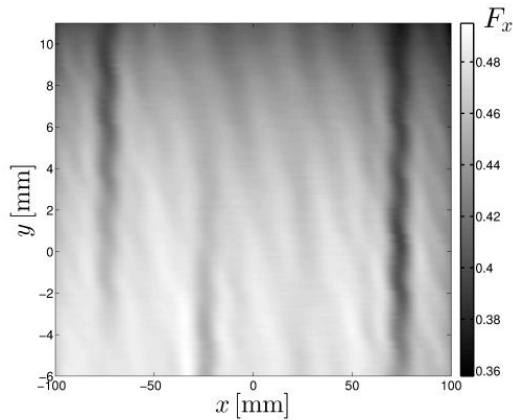


Defekt

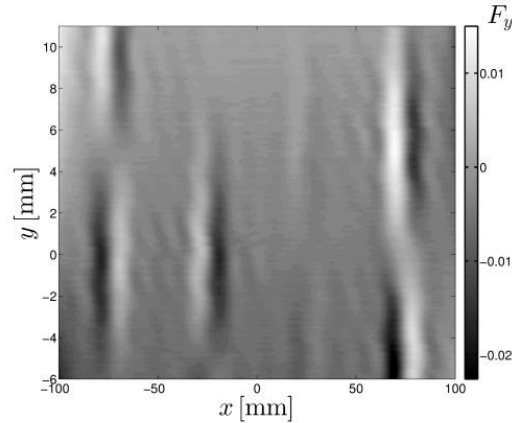


Kraftmessungen an Aluminiumbalken

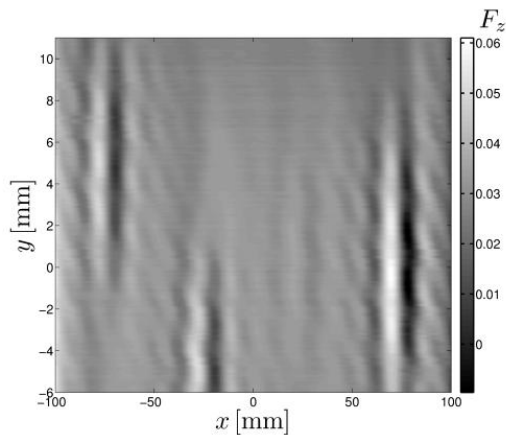
(mehrere Defekte / Bohrungen)



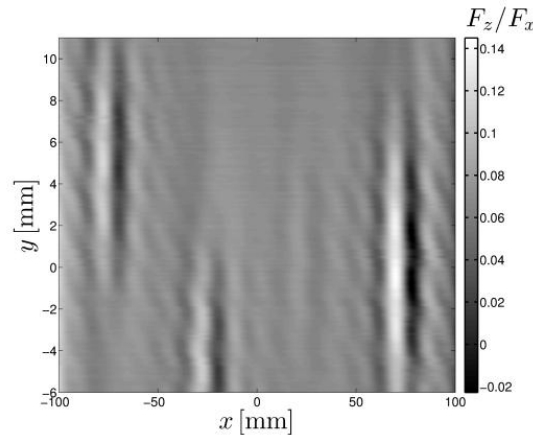
(a)



(b)

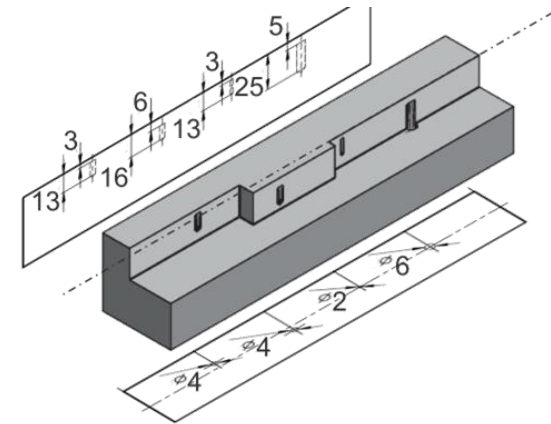


(c)



(d)

**Defekte
(Bohrungen)**

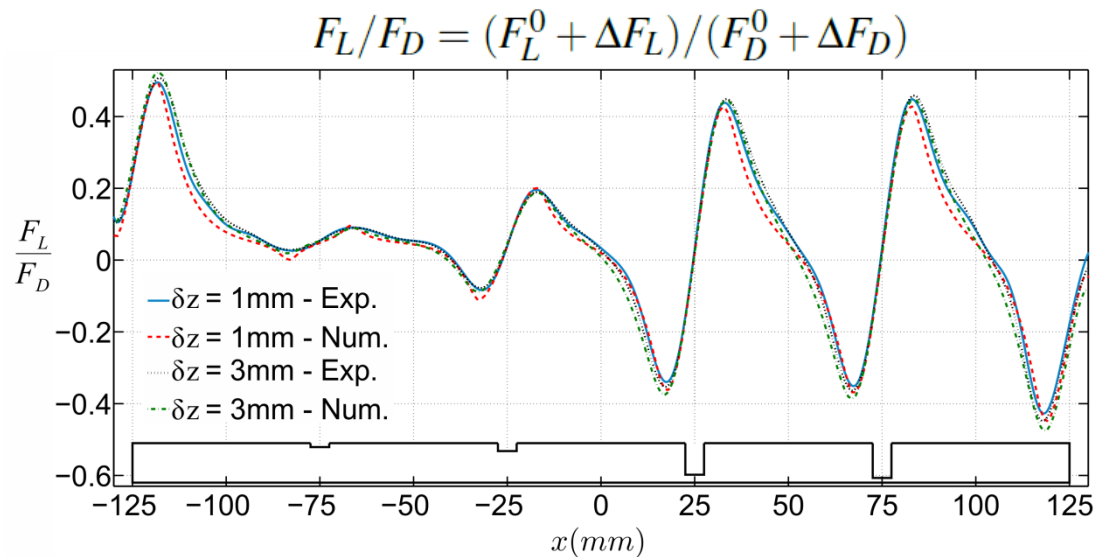
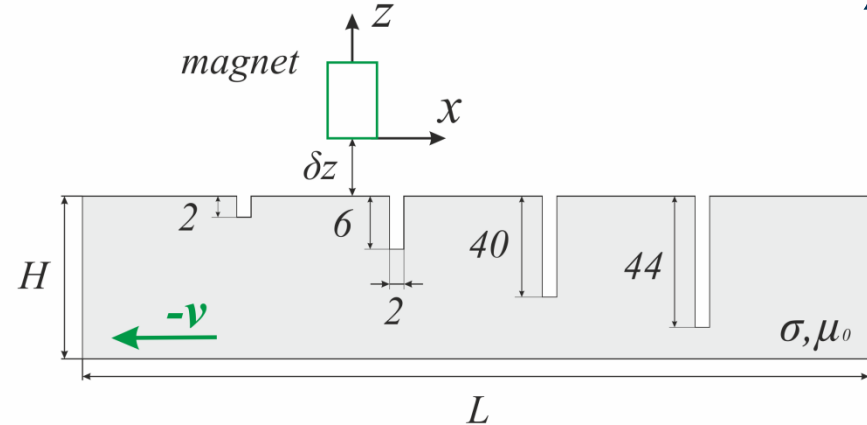


Kraftmessungen am Aluminium-Testkörper (Balken mit Oberflächenschlitzen)

Testkörper:

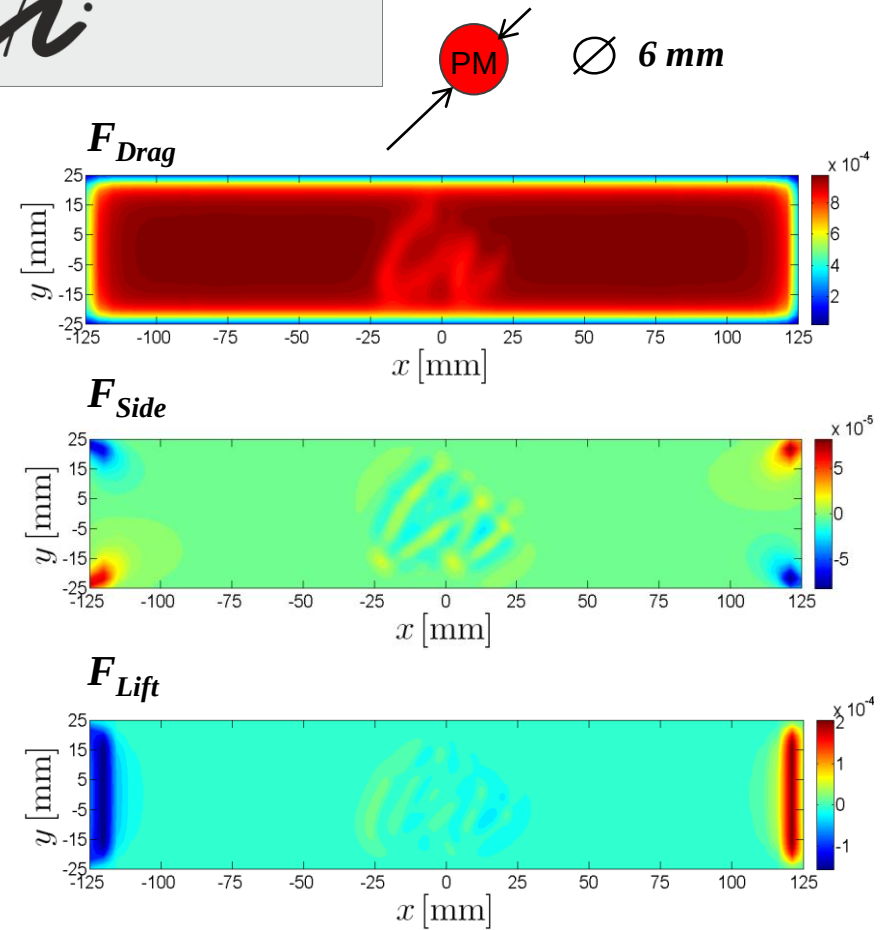
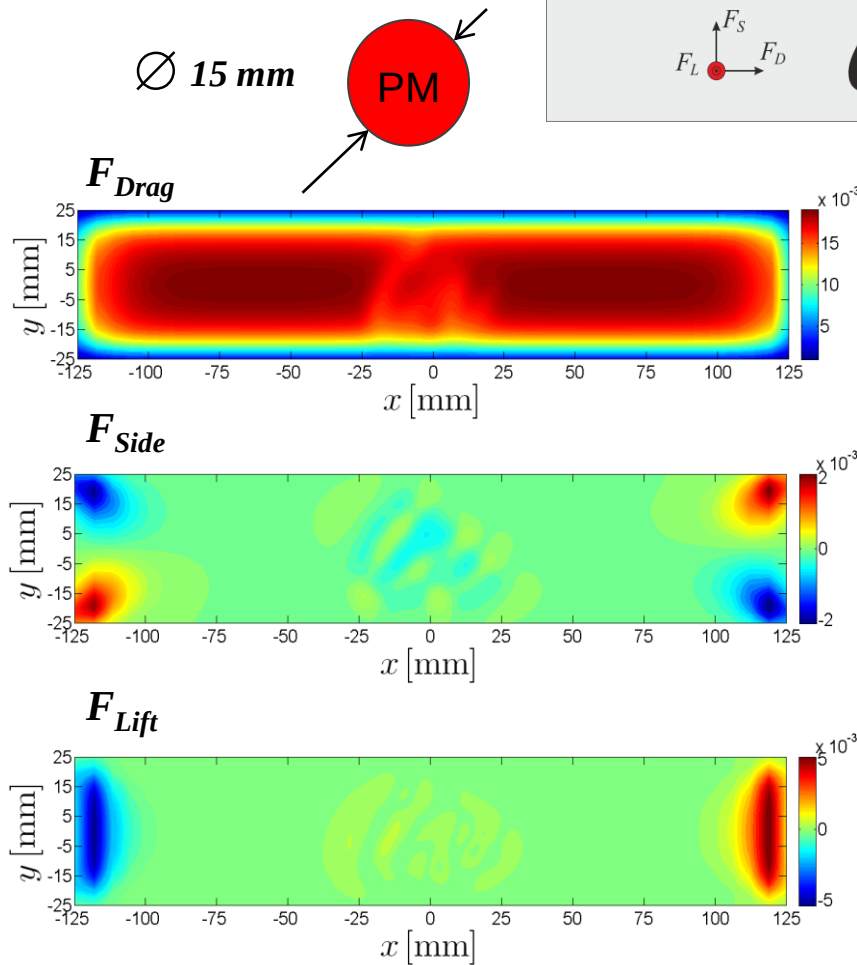
Aluminiumblock mit Schlitzen

$$v = 0.5 \text{ m/s } (R_m = 0.48)$$



Kraftmessungen am Aluminium-Blech mit Artefakt (Logo TU Ilmenau)

Tiefe: $d = 2 \text{ mm}$
Geschwindigkeit: $v = 0.5 \text{ m/s}$



Weiterführung: Differential Lorentz Force Eddy Current Testing (DiLET)

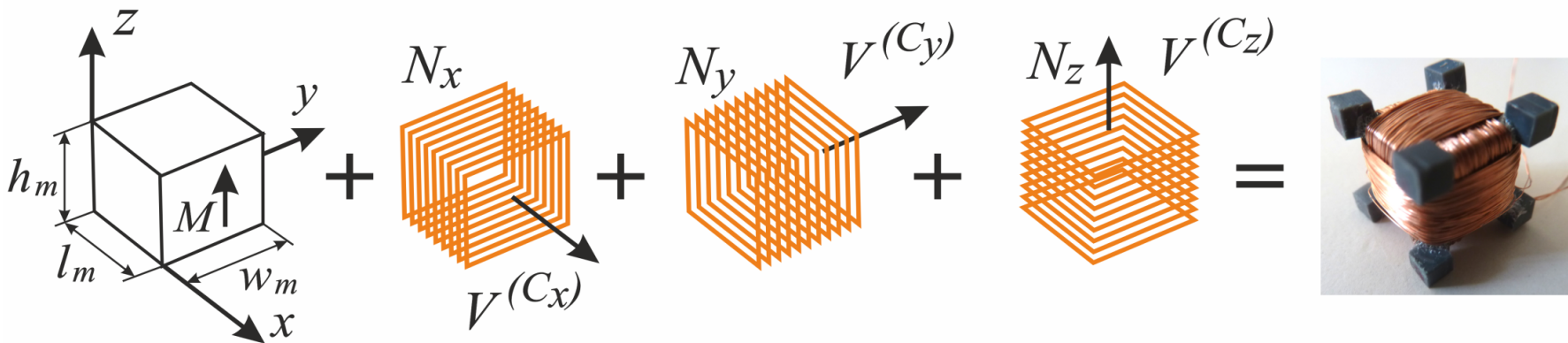
Prinzip

$$\frac{\partial F_i}{\partial t} \propto \frac{\partial B_i}{\partial t} \propto V_i$$

Vorteile ggb. LET

- Vollelektrisch (höhere Dynamik)
- Spannungssignal (höhere Auflösung)
- Differentielles Signal (direkte Defekterkennung)

Aufbau



PM

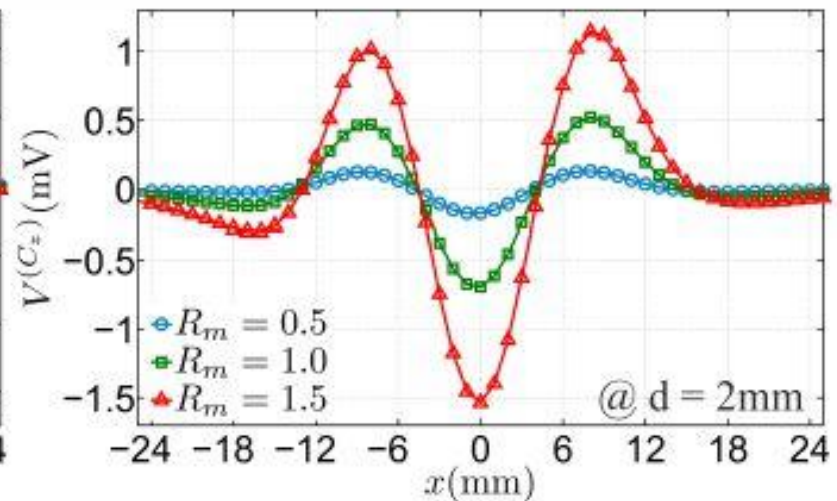
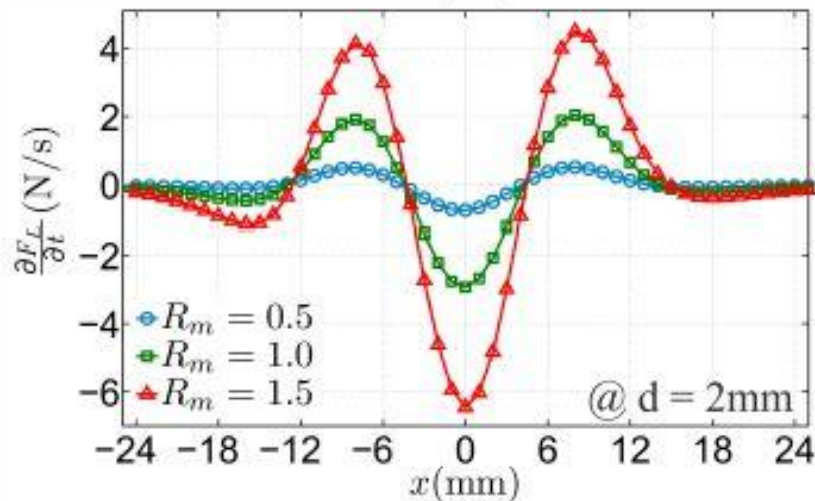
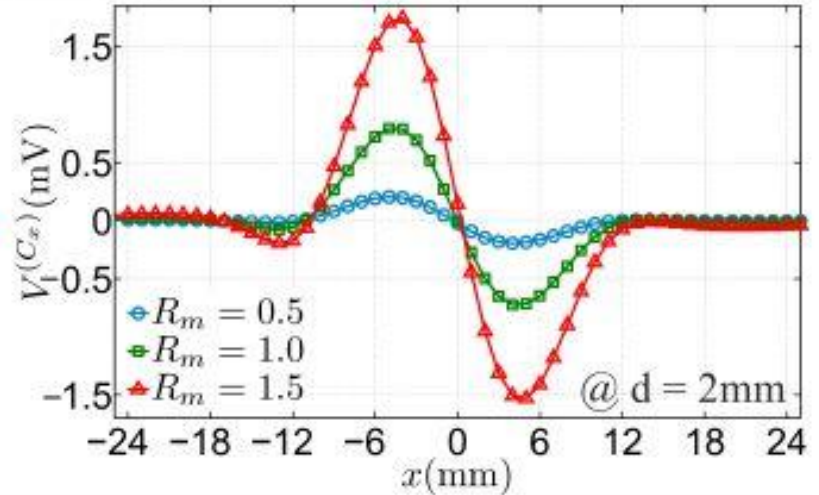
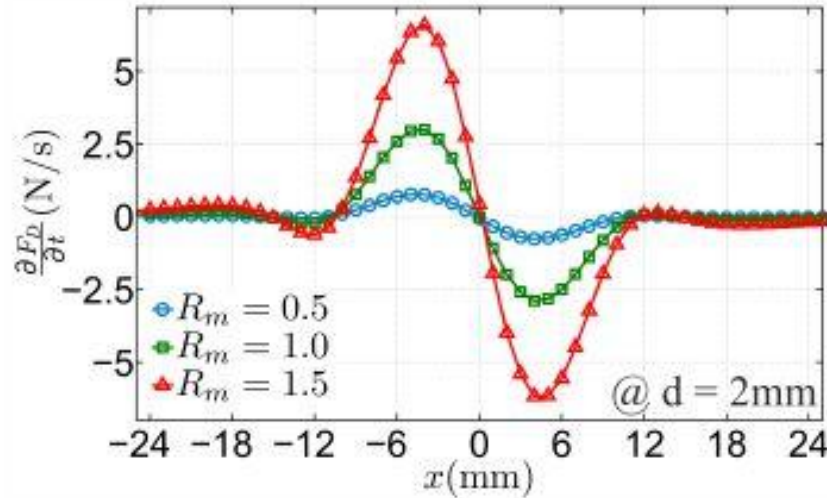
X-Spule

Y-Spule

Z-Spule

DiLET

DiLET: Testmessungen

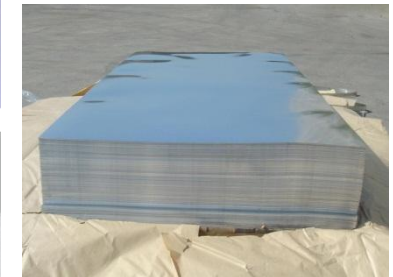
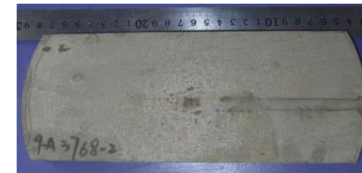
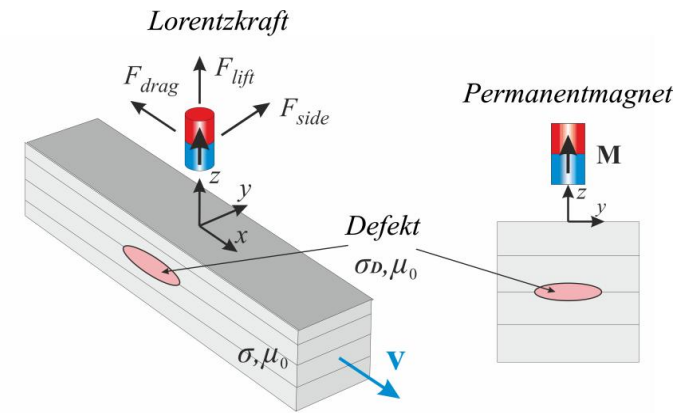


Vorzüge Lorentzkraft-Wirbelstrom-Verfahren

- „Proof-of-Principle“ ist erbracht (2 Dissertationen)
- kontaktfreies Messverfahren
- höhere „Eindringtiefen“ als klassische Wirbelstromverfahren
- Messgeschwindigkeit relativ hoch (ca. 1 m/s); ausbaufähig
- Skalierbarkeit:
 - - untere Grenze noch unbekannt – aktuelles Forschungsprojekt dazu;
 - - obere Grenze wird durch Sensordynamik begrenzt
- robust gegenüber äußeren Störungen
- passives Sensorsystem
- kontaktfreie Leitfähigkeitsbestimmung
- geringe Anforderungen an Arbeitsschutz
- Übergang zu DiLET: höhere Dynamik möglich
(Patent angemeldet, erteilt, verwertet)

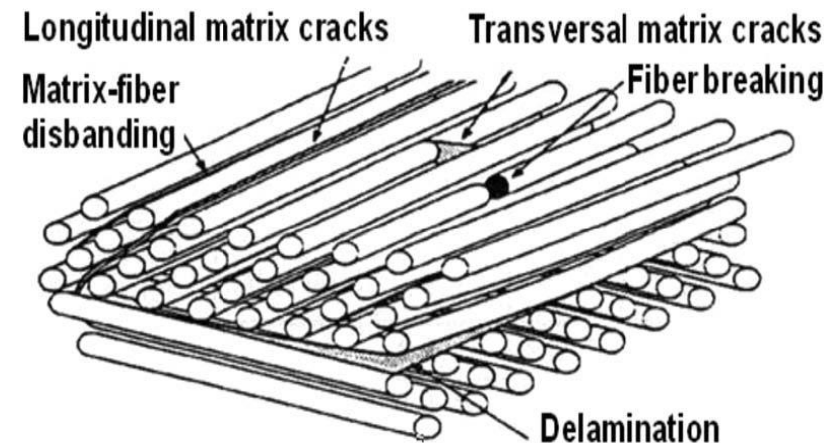
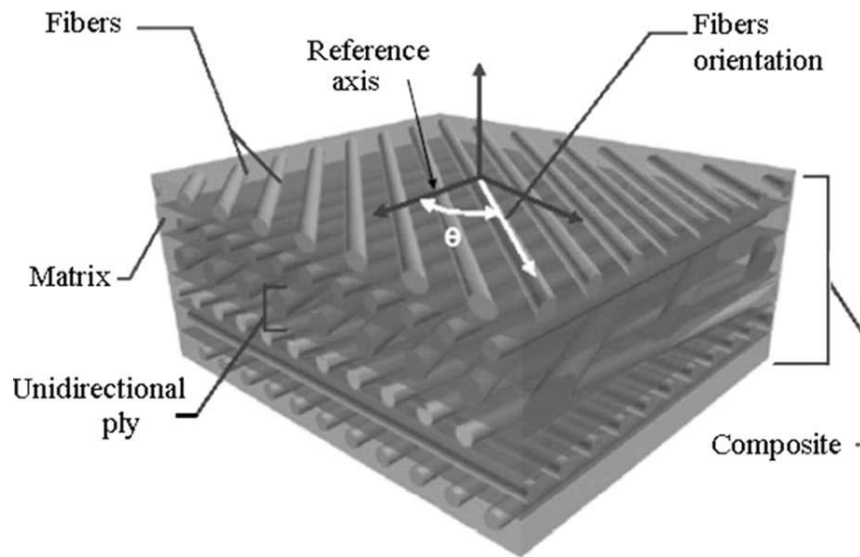
Anwendungspotenzial Lorentzkraft-Wirbelstrom-Verfahren

- Charakterisierung von CFK / geschichteten Leitermaterialien (Aluminium, o.a.)
- Prüfung nichtmagnetischer Leitermaterialien
- Detektion von Materialanomalien:
 - Einschlüsse
 - Inhomogenitäten
 - Grenzflächen
 - Schweissnaht-Fehlstellen
 - etc.



Anwendungspotenzial Lorentzkraft-Wirbelstrom-Verfahren: Prüfung von Verbundmaterialien

- Charakterisierung von CFK /



Anwendungspotenzial Lorentzkraft- Wirbelstrom-Verfahren Prüfung von Bauelementen / Komponenten

Implantate



Danke für Ihre Aufmerksamkeit

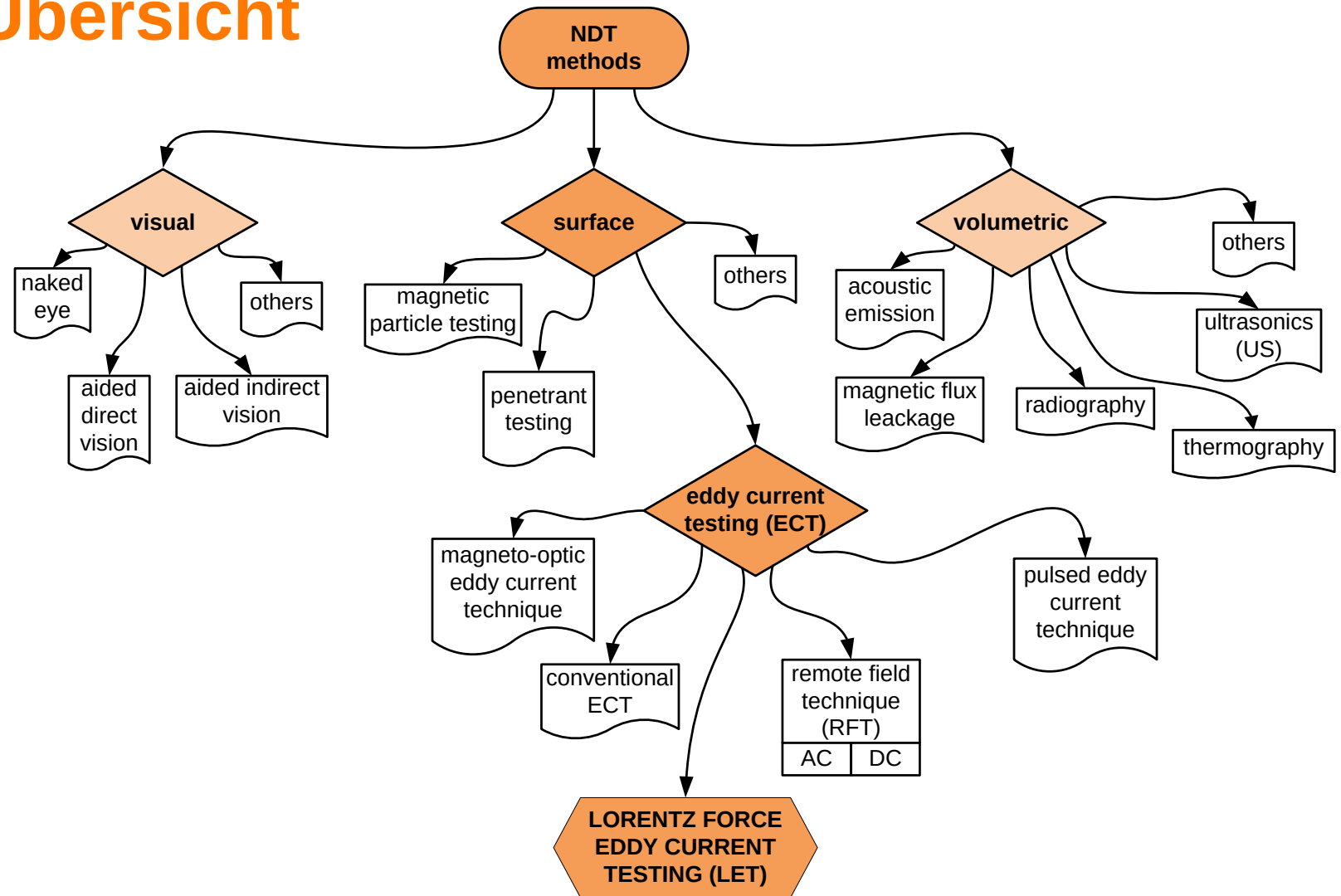
Hannes Töpfer

Technische Universität Ilmenau
Theoretische Elektrotechnik
PF 100 565
D-98684 Ilmenau



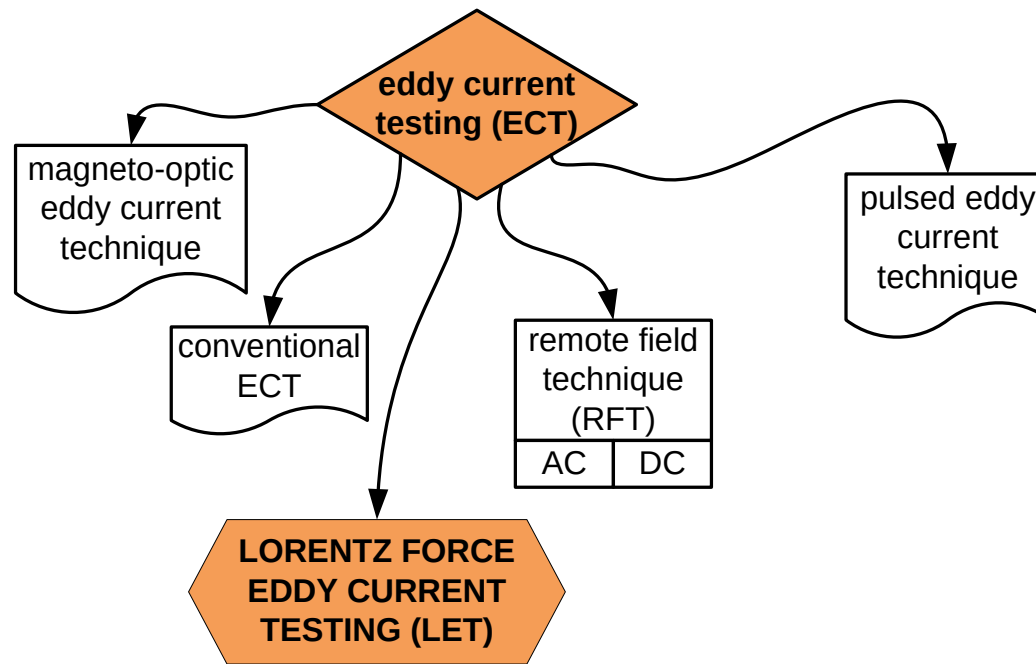
Phone.: +49 3677-69 2630
Fax.: +49 3677-69 1152
http://tu-ilmenau.de/it_tet/
hannes.toepfer@tu-ilmenau.de

Zerstörungsfreie Materialprüfung - Übersicht

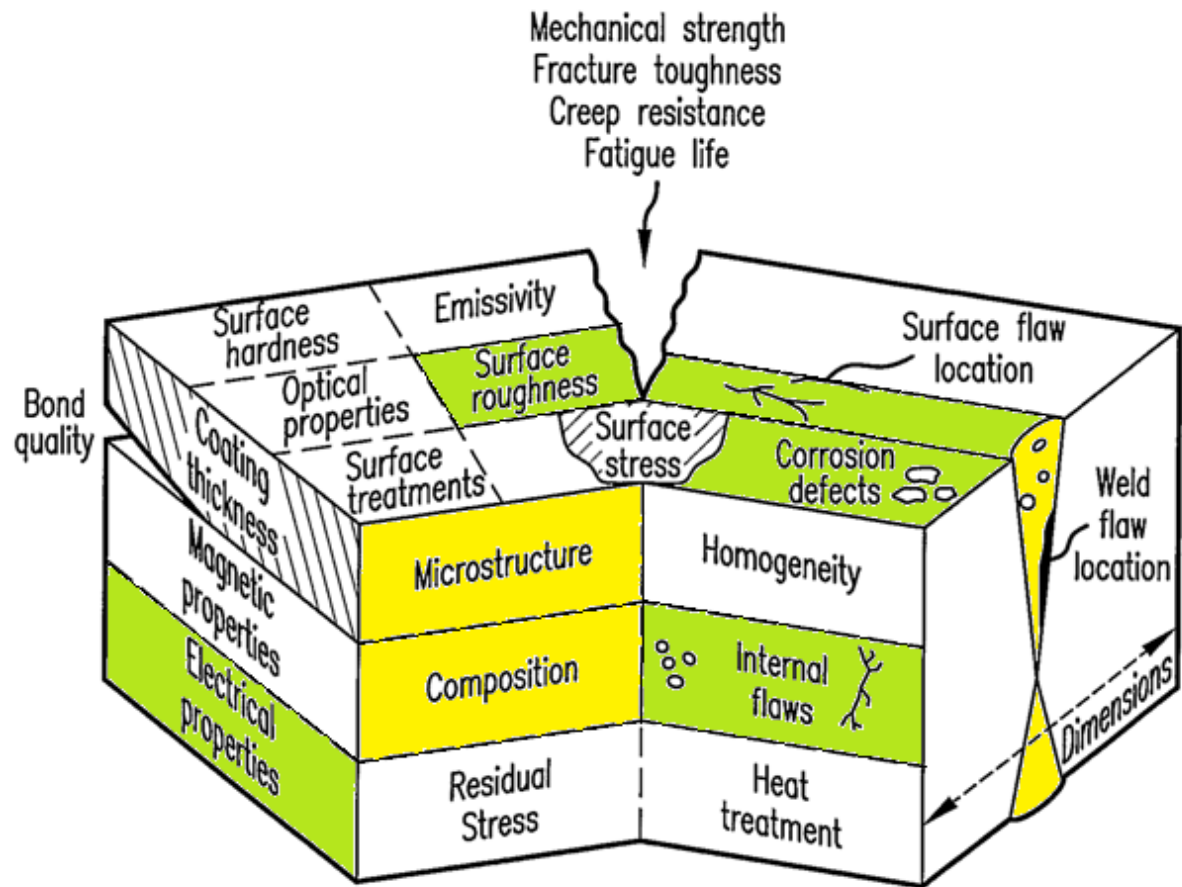


Zerstörungsfreie Materialprüfung

Wirbelstromprüfung



Zerstörungsfreie Materialprüfung - Einsatzgebiete

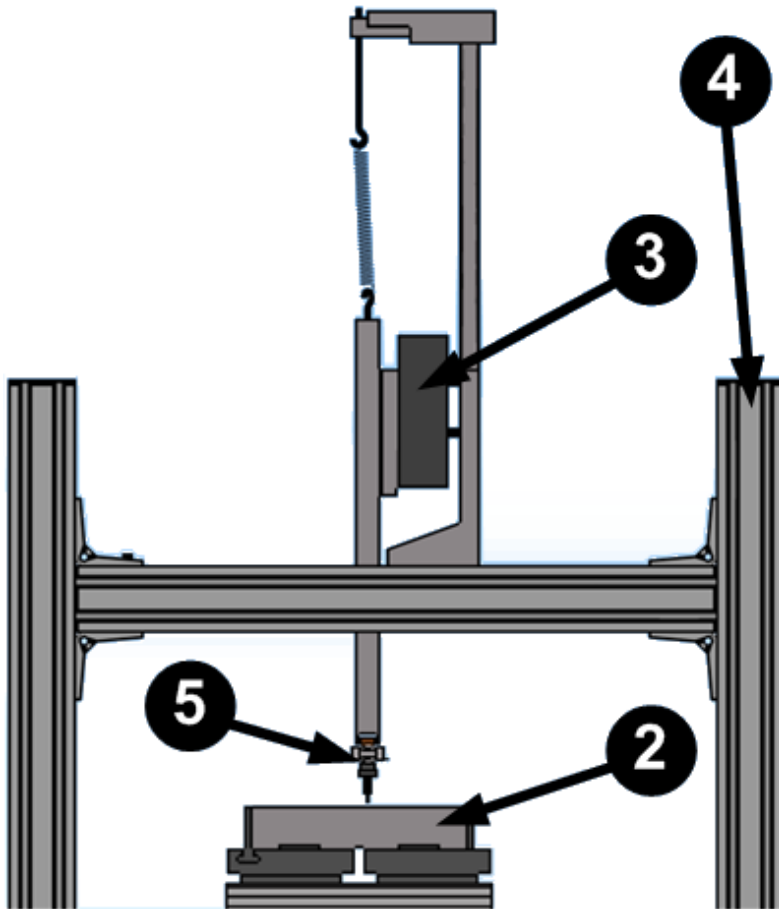


bereits möglich



prinzipiell möglich

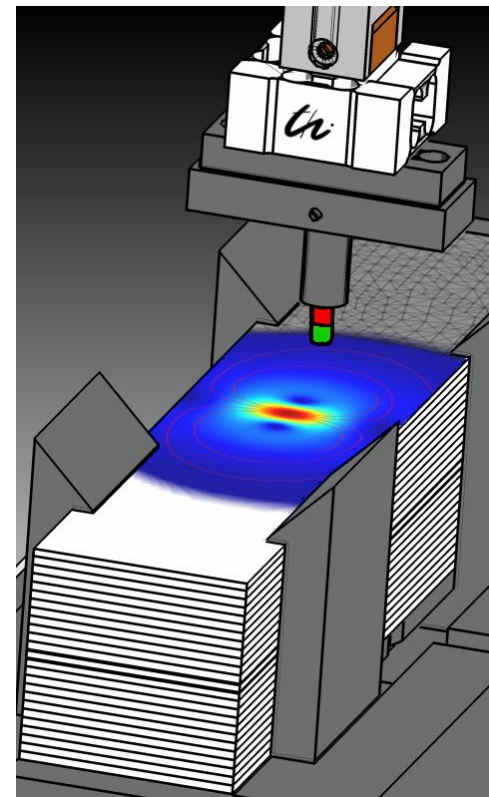
Modellexperiment - Aufbau



- Höhe: ~ 2 m
- Breite: ~ 1 m

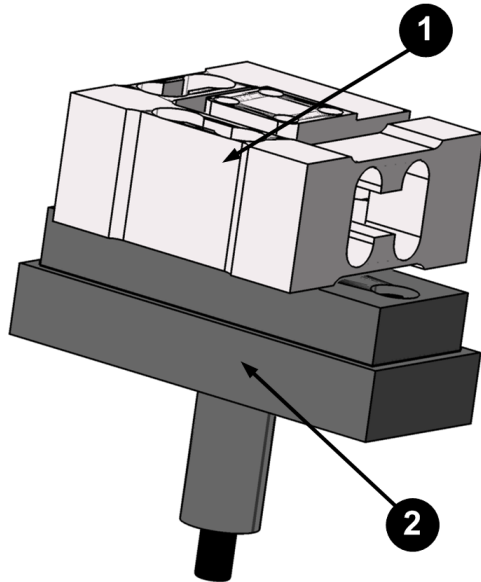
• Komponenten:

- (1) Linearantrieb (nicht im Bild)
- (2) Testkörper (Aluminium)
- (3) x-y-Positioniereinheit
- (4) Aluminiumrahmen
- (5) Kraftsensor & Magnetmodul



Modellexperiment

Kraftsensor & Magnetmodul



- (1) Kraftsensor:
- 3-Komponentensensor
 - Dehnmessstreifen

- (2) Magnetmodul:
- Verschiedene Magnetgeometrien
bzw. Magnetsysteme
(modulare Bauweise)
 - Rüstzeit < 10 min

Modellexperiment

Datenerfassung

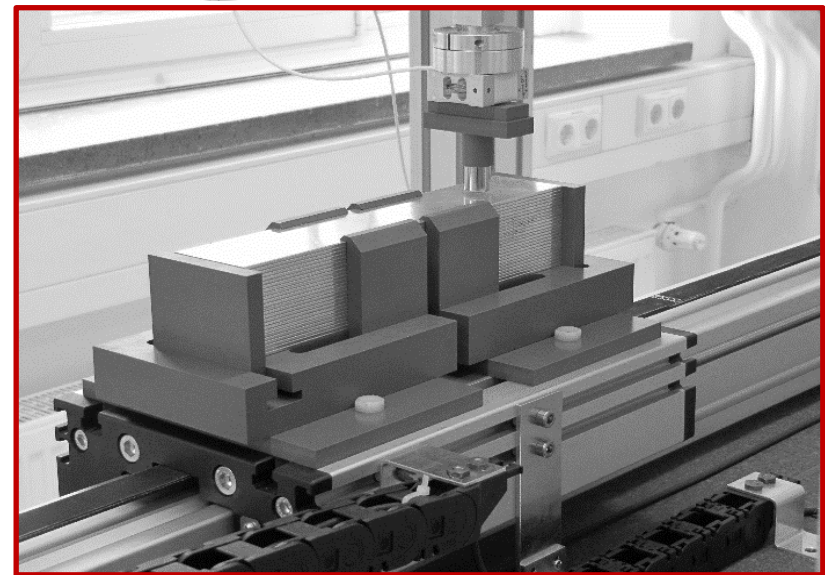
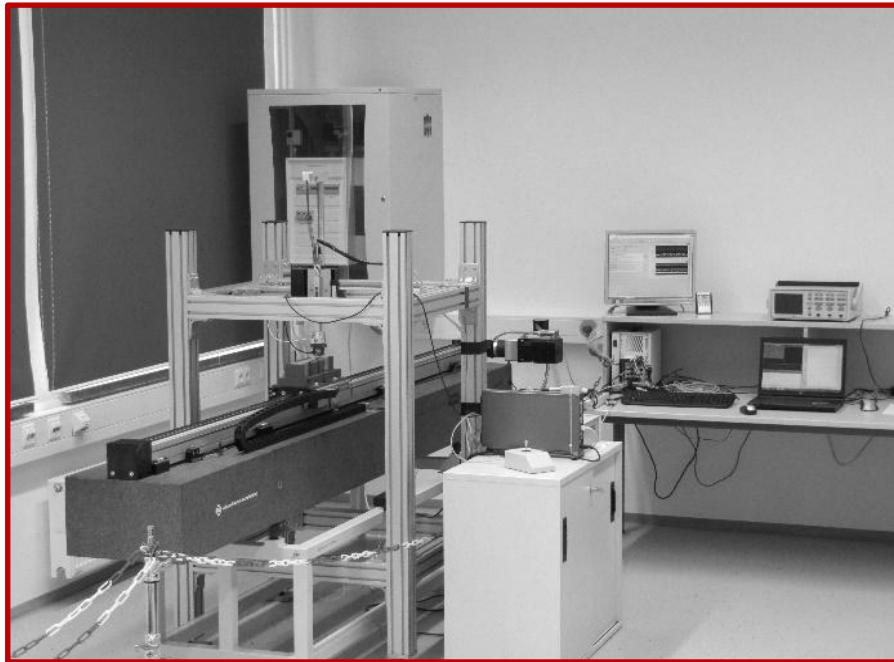
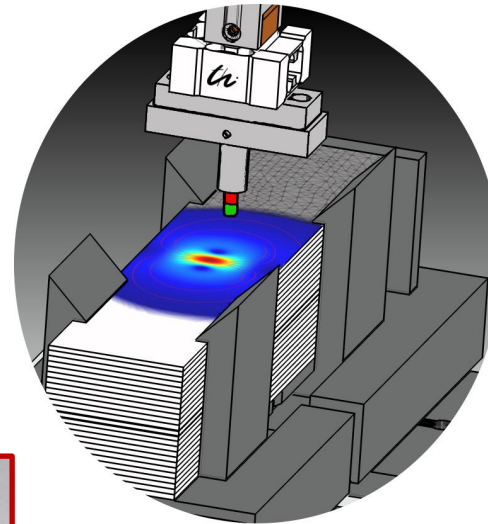


NI PXI System

- Hohe Dynamik
- Simultane Aufnahme mehrerer Kanäle
- Echtzeitfähig
- Steuert auch Messstand
- LabView

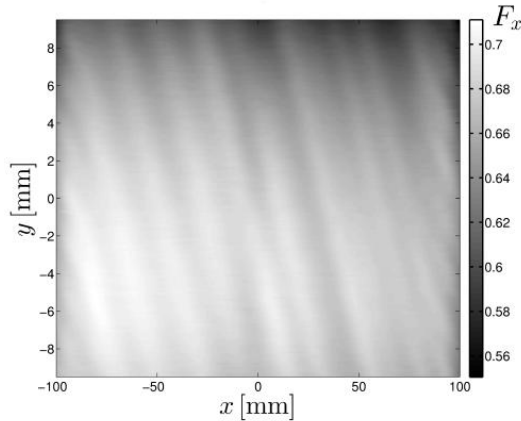
Modellexperimente

Messungen

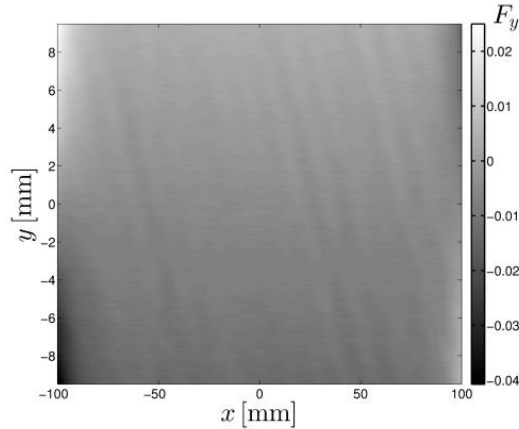


Kraftmessungen an Aluminium-Testkörpern

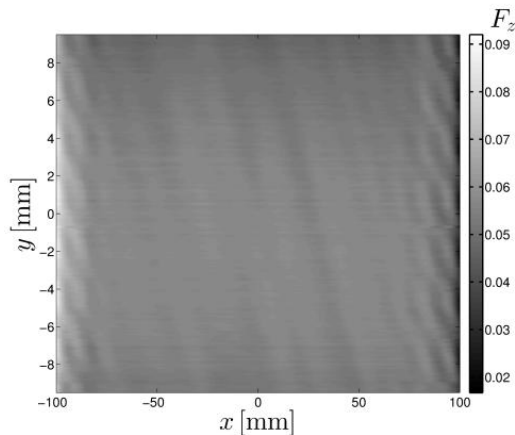
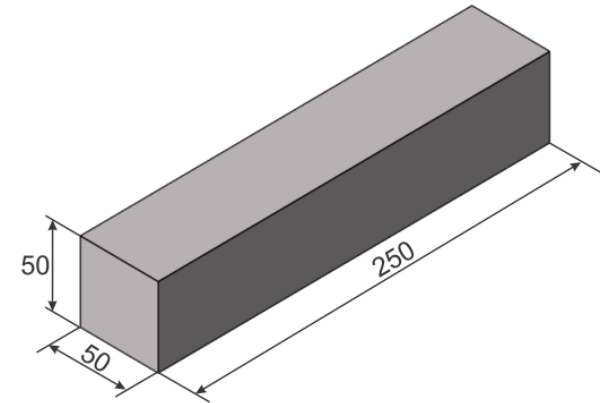
(Balken / Blechpaket, ohne Defekt)



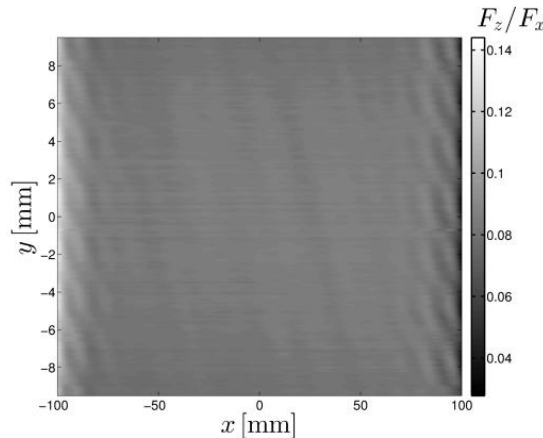
(a)



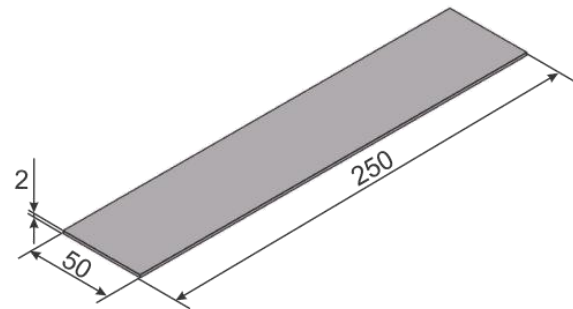
(b)



(c)

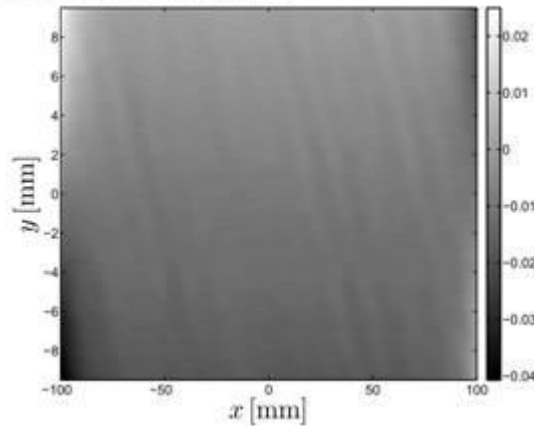


(d)



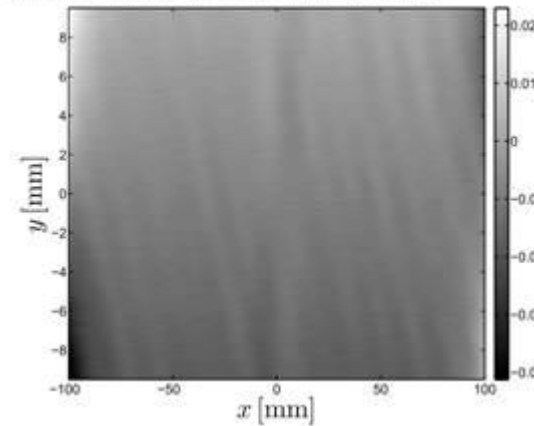
Defektdetektion in Aluminiumblechen

Metallic sheets w/o defects, velocity: 500mm/s F_y

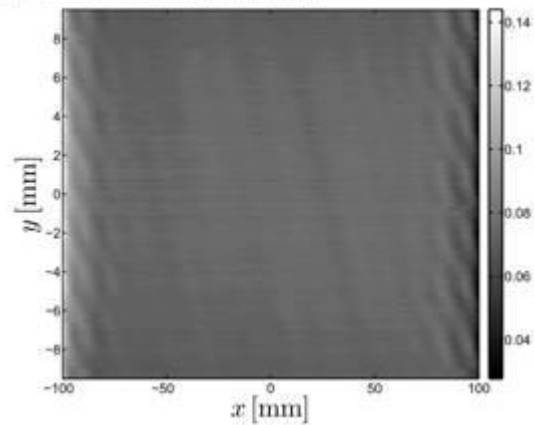


F_y

Metallic sheets with defect 6 mm under the surface, velocity: 500mm/s F_y

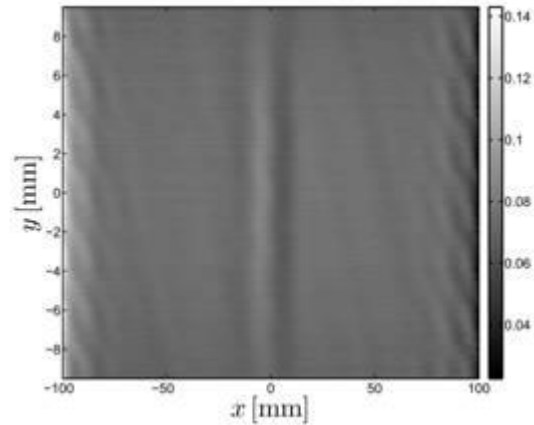


Metallic sheets w/o defects, velocity: 500mm/s F_z / F_x



F_z / F_x

Metallic sheets with defect 6 mm under the surface, velocity: 500mm/s F_z / F_x



Kraft-Scan am Blechpaket ohne Defekt

Kraft-Scan am Blechpaket mit Defekt
(6 mm tief)