

Neutronen – wozu?

**VDI-TUM Expertentreffen
am 15. September 2016**

**Prof. Dr. Winfried Petry
Wissenschaftlicher Direktor FRM II, MLZ**

MLZ is a cooperation between:

Industrielle Nutzung wofür?

- Grundlagenforschung für direkte industrielle Fragestellung
- Materialentwicklung
- Werkstoffprüfung
- Produktentwicklung
- Zerstörungsfreie Charakterisierung auf kleinstem Raum an großem Objekt
- In-situ (Druck, Temperatur, Magnetfeld, ... unter Funktionsbedingungen)
- Direkte Produktion
- Keine/kaum Serienkontrolle

Beispiele industrieller und medizinischer Nutzung

Industrielle Nutzung

- Silizium-Dotierung (12 -15 t pro Jahr)
- Erzeugung von intensiven γ -Quellen, z.B. Co-60, oder Radiotracer, z.B. für Verschleißmessungen
- Radiographie und Tomographie (Durchleuchtung massiver Materie)
- Strahlenresistenz von elektronischen Komponenten, z.B. Nutzung im Weltraum
- Elementanalyse durch NAA & PGAA, bis in ppb-Bereich, z.B. präzise H-Bestimmung
- Beugungsexperimente an externen n-Strahlen

Medizinische Nutzung

- Radioisotope für die Nuklearmedizin, Therapie und Diagnose, z.B. Lu-177, Re-188
- Ab 2017 weltweit wesentlicher Lieferant für Mo-99/Tc-99m
- Hadronentherapie, direkte Bestrahlung von oberflächennahen Tumoren mit schnellen Neutronen

Zugang zum FRM II \Rightarrow publish or pay (Strahlrohrinstrumente)

- Kostenfreier Zugang bei Veröffentlichung der Ergebnisse.
- Procedere: Einreichung eines Messvorschlags mit zweiseitiger Beschreibung, 2 x pro Jahr Begutachtung der Messvorschläge durch internationales Expertengremium, Überbuchung normalerweise mit Faktor 2, Zeitdauer zwischen Antrag und Messung bis zu einem Jahr.
- Aber: kurze Testmessungen in Absprache mit dem Instrumentverantwortlichen kurzfristig möglich.
- Bei Bezahlung der Strahlzeit zeitlich privilegierter Zugang. Dienstleistung (Messung und Auswertung) mit Eigentumsschutz für Ergebnisse (Geheimhaltung).
- Alle Bestrahlungsdienste (Materialtests, Dotieren) kostenpflichtig.

Strahlrohrexperimente \Rightarrow Heinz Maier-Leibnitz Zentrum
(www.mlz-garching.de)

Bestrahlungsdienste \Rightarrow Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz
(www.frm2.tum.de)



Neutronen sind Welle

Beugung



Interferenz

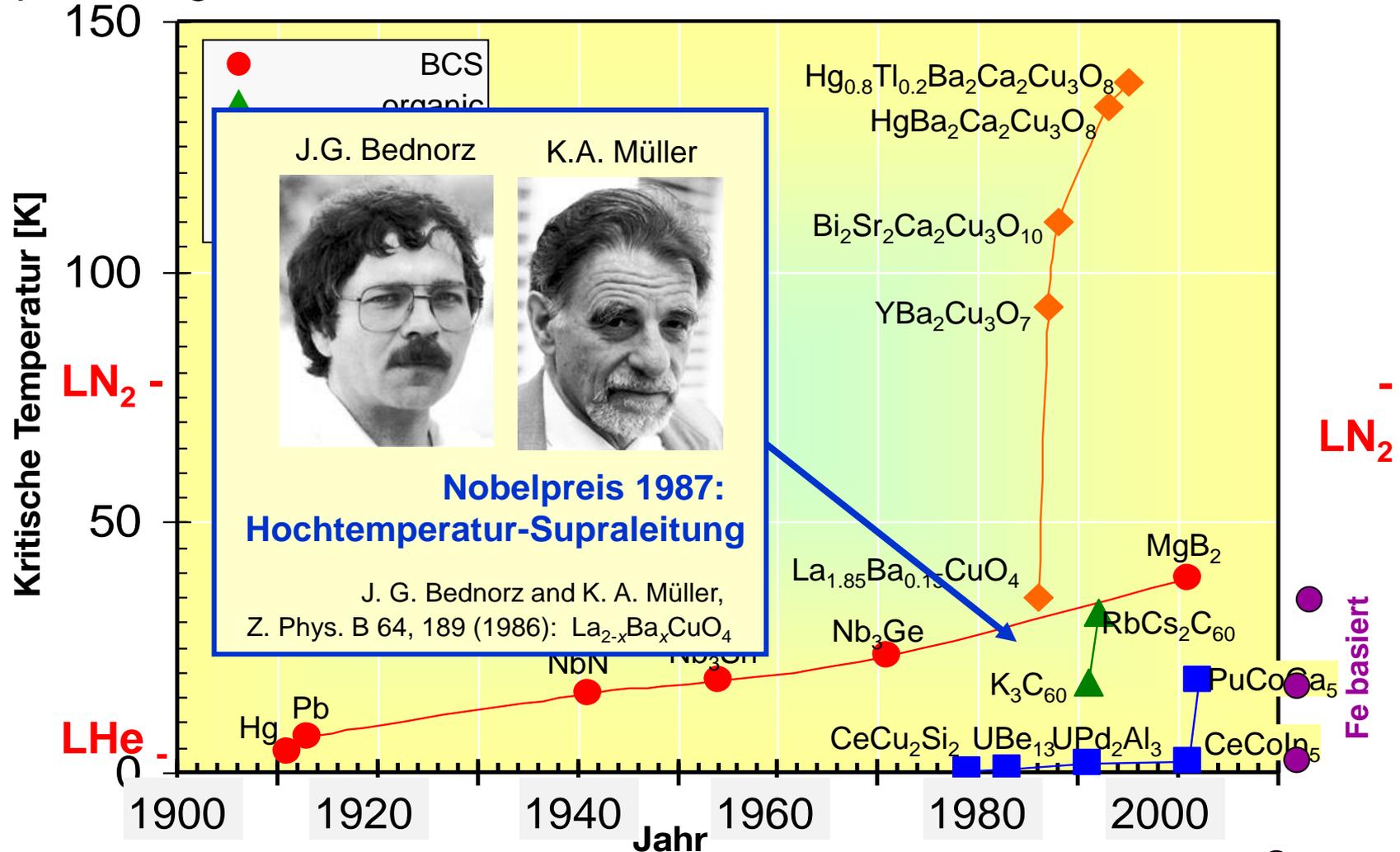


Bragg Gleichung

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

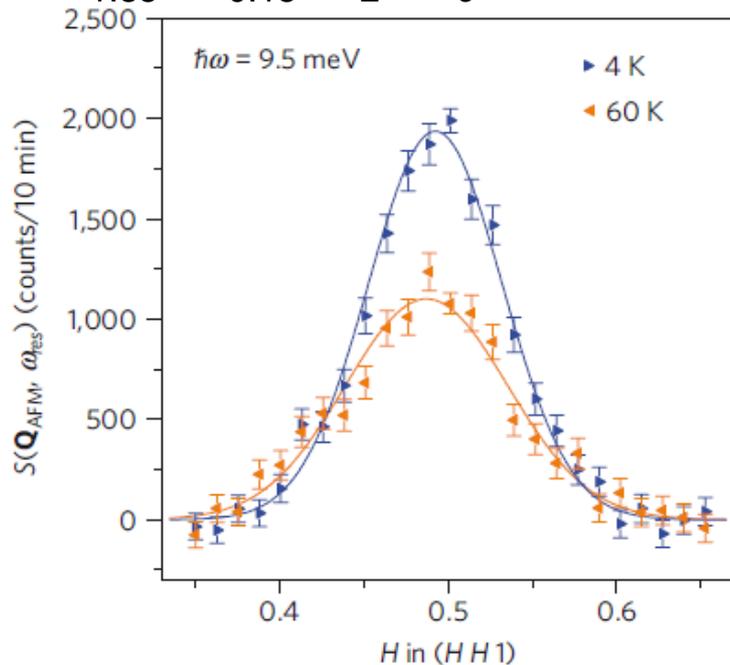
Schlüsseltechnologien & Energie

Supraleitung: kurze Historie

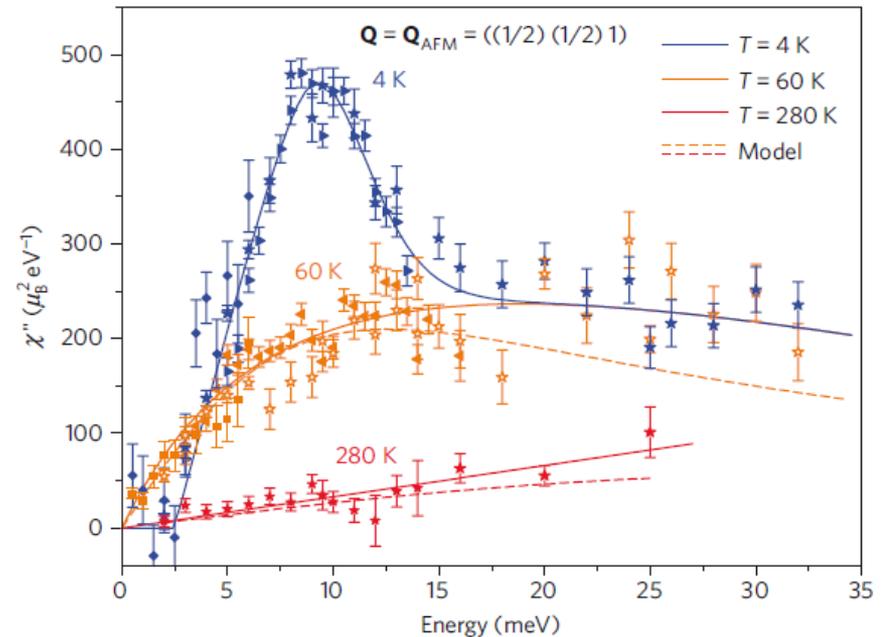


Schlüsseltechnologien & Energie

Fe-basierte Hochtemperatur-Supraleiter → Bsp.: optimal dotiertes
BaFe_{1.85}Co_{0.15}As₂, T_c = 25K



Konstant-Energiescan bei der Resonanz-Energie



Spin Suszeptibilität in der supraleitenden (T = 4K) und normal leitenden Phase (T = 60K und 280 K).

→ **Magnetische Fluktuationen sind entscheidend zum Verständnis von Hochtemperatur-Supraleitung**

Schlüsseltechnologien & Energie

Hochtemperatur-Supraleitung: Anwendungsbeispiele

Japan



JR-Maglev:

Magnetische Levitation Schnellzug mit supra-
leitenden Spulen: Geplante Geschwindigkeit
> 500 km/h zwischen Tokio und Osaka

Deutschland



AmpaCity:

längstes Hoch-Temperatur supraleitendes Kabel für
Stromversorgung innerhalb Essens seit 30. April 2014

Schlüsseltechnologien & Energie

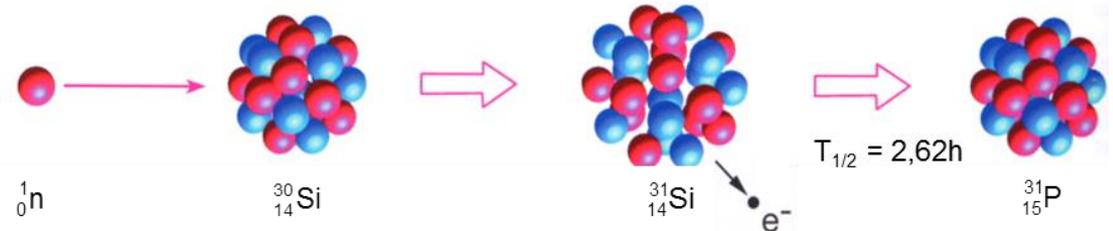
Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung



**Gesteuerte
Gleichrichtertürme;
96 Thyristoren,
250 KV – 2000 A**



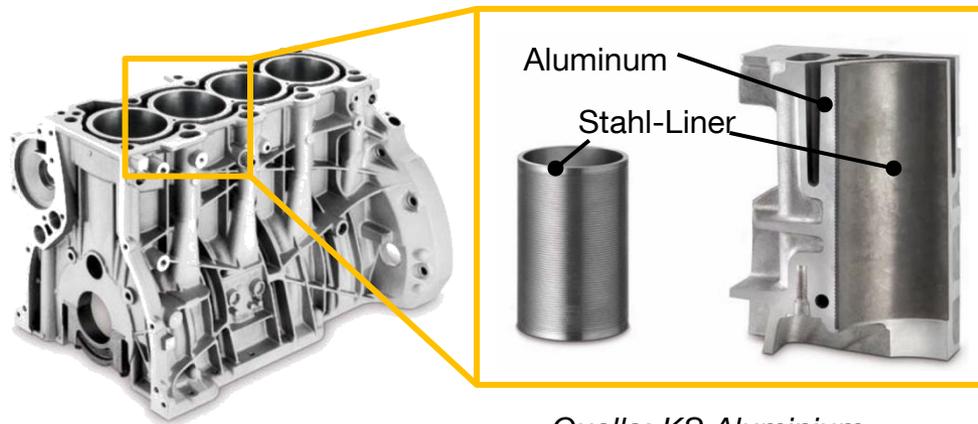
→ am FRM II:
**bis zu 15 Tonnen/Jahr
homogenst dotiertes Silizium
durch Neutronentransmutation:**



Schlüsseltechnologien

Eigenstressungen während der Aluminiumgussherstellung

- Messung von Eigenstressungen in Gussstücken bisher nur im Endzustand nach der Fertigung möglich, ohne zu wissen, wie sie entstehen
- Wissen über Eigenstressungen wichtig für das Design von Gussstücken (z.B. Motorblöcke)
- FEM-Simulationsberechnungen versuchen Verhalten während des Gießens vorauszusagen



Quelle: KS Aluminium-
Technologie AG

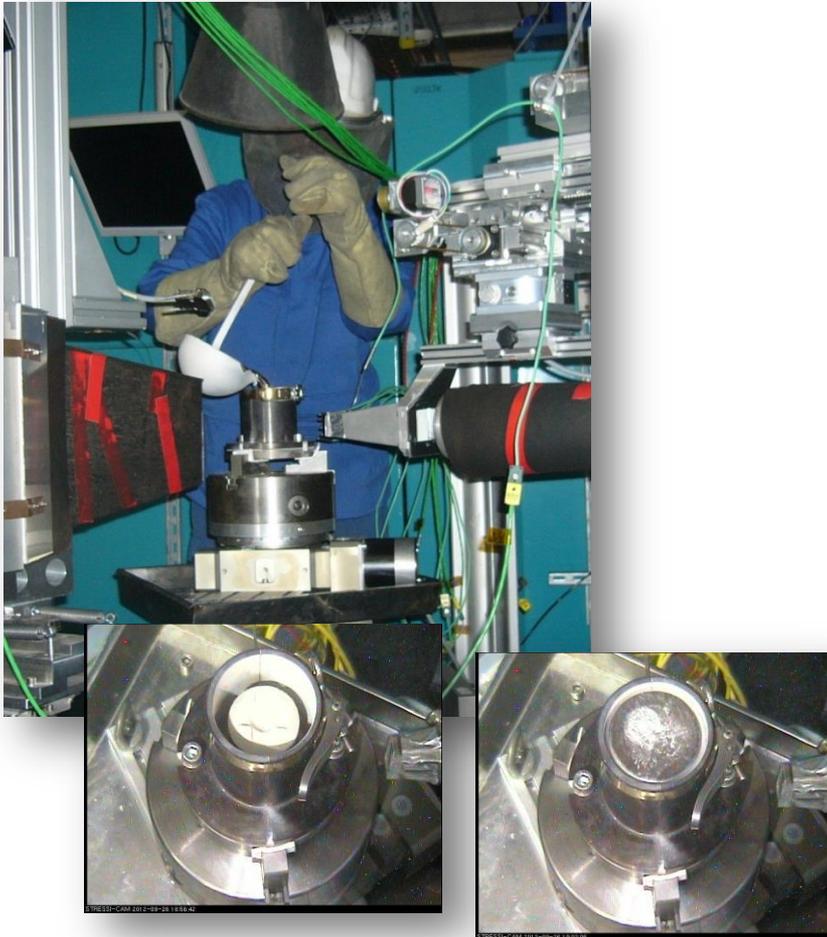


Gussstück für Neutronenbeugungs-
Experiment am Instrument STRESS-SPEC

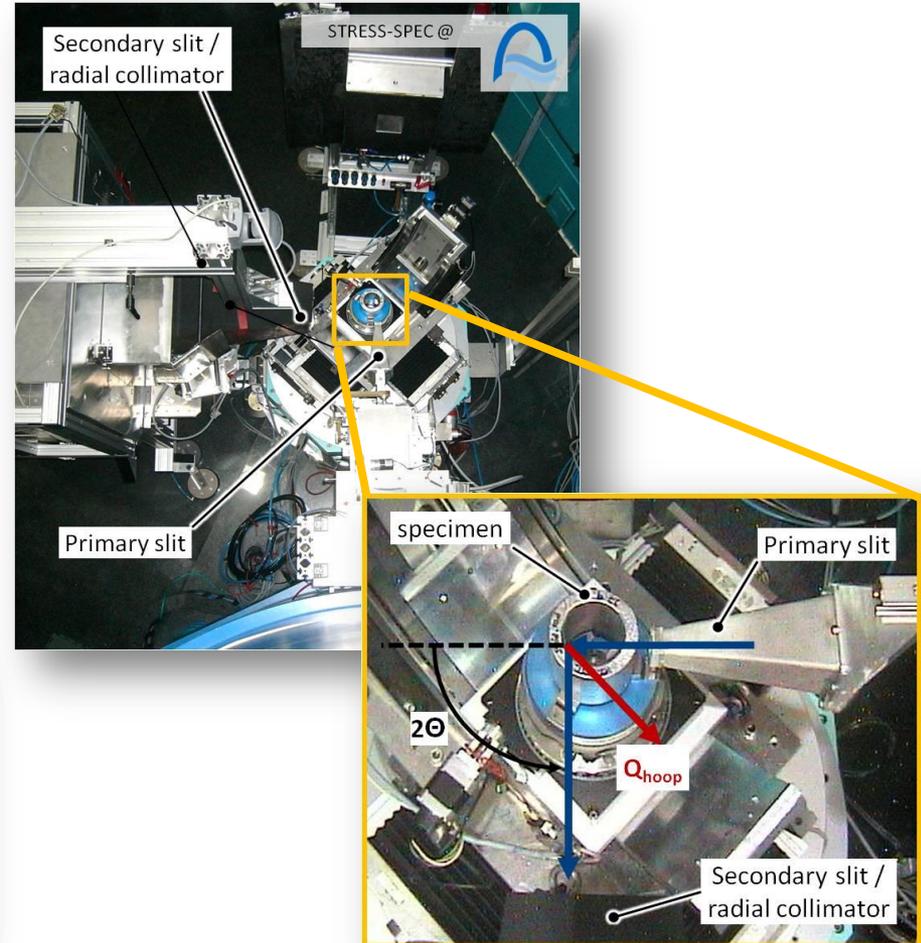
Schlüsseltechnologien

Eigenstressungen während des Gießprozesses

In-situ



Ex-situ

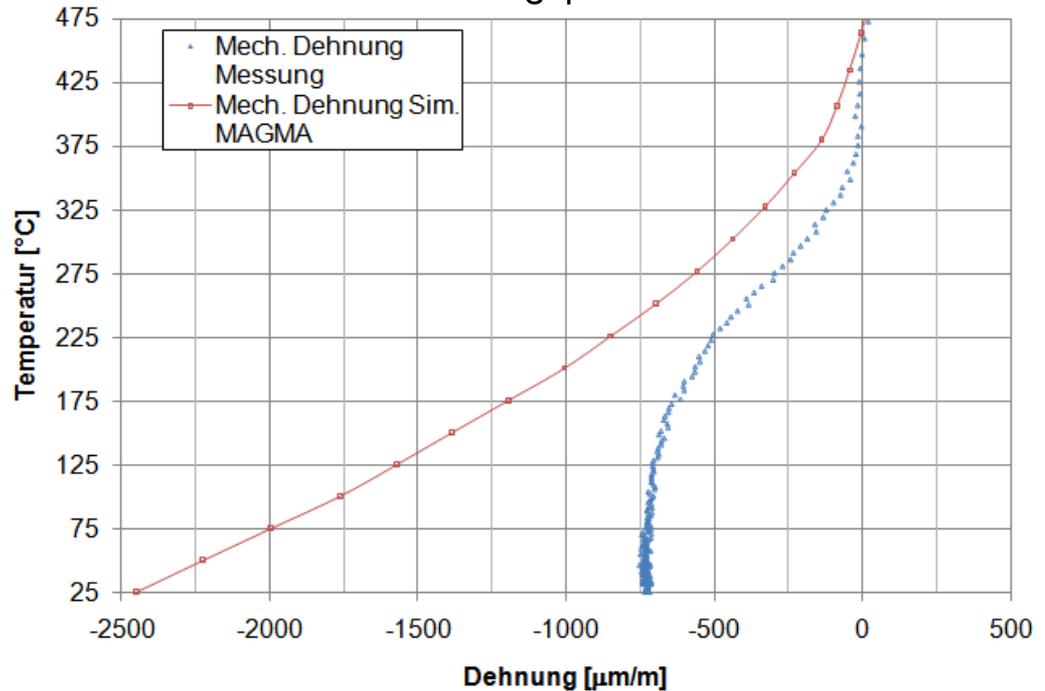


Schlüsseltechnologien

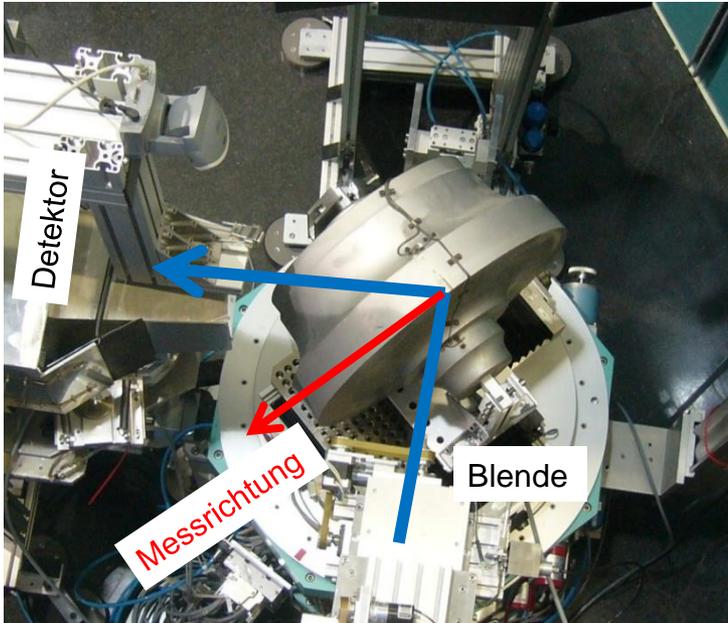
Eigenstressen während des Gießprozesses



Entwicklung der inneren Spannungen im Stahl liner während des Abkühlungsprozesses



→ **Drastisch verbesserte Finite Elemente-Simulation des Gießvorgangs**



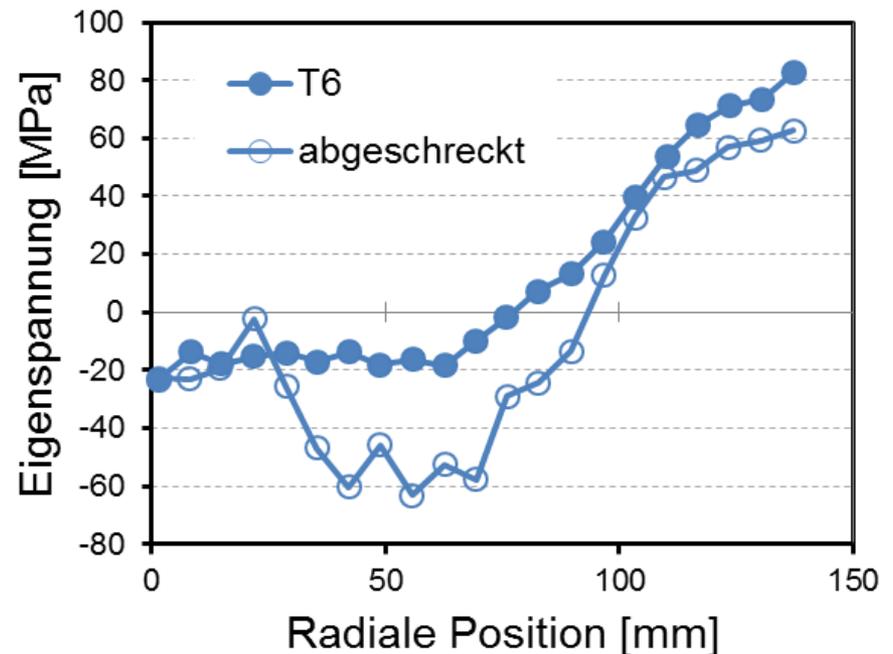
Al – Schmiedeteil (Alloy AA 2618)
Ø = 530 mm, Masse ~ 100 kg

Verwendung:

Halbzeug zur Fertigung von
Verdichterrädern für Turbolader in
Großdieselmotoren

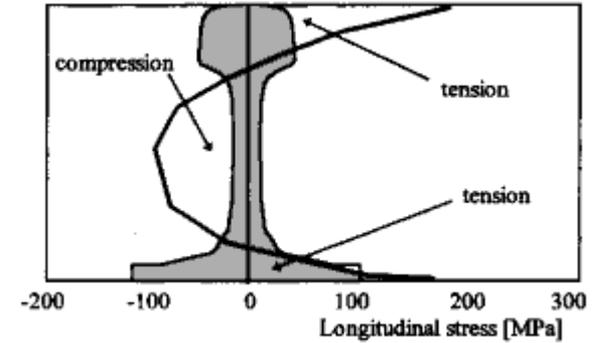
Untersuchungsziel:

Einfluß der T6-Wärmebehandlung auf
Eigenspannungen (ES) nach dem
Abschrecken





Rollenrichtmaschine
Fa. Koch H&K Industrieanlagen



Erwarteter ES-Verlauf entlang der Schiene
(longitudinal) nach Roll-Richten

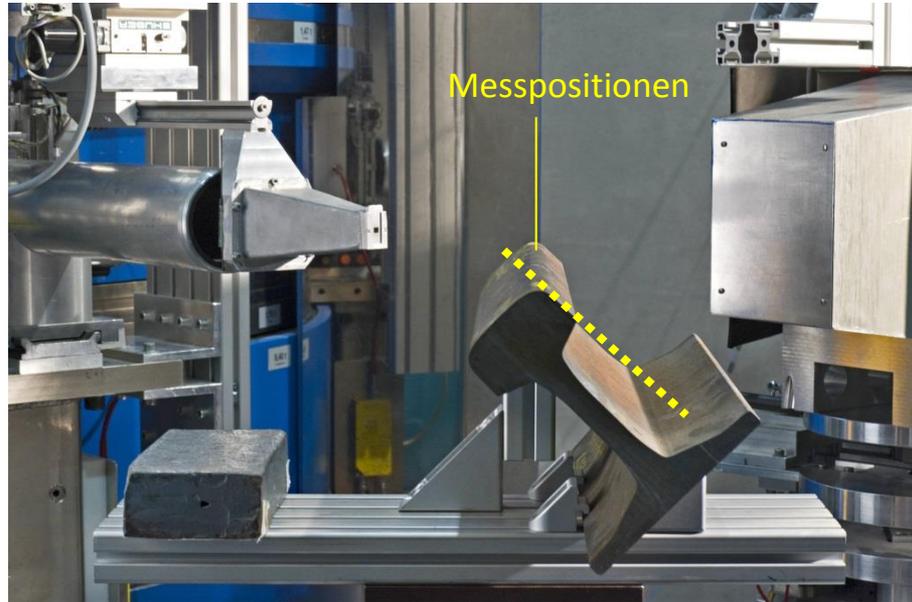
Motivation:

Roll-Richten ist der letzte Prozess-Schritt bei der Herstellung von Eisenbahnschienen, dabei sollten Eigenspannungen so niedrig wie möglich gehalten werden (< 250 MPa am Fuß, EN 13674, 2008)

Untersuchungsziel:

Bestimmung des ES – Verlaufs zum Abgleich mit FEM und Validierung eines zerstörenden Verfahren (Contour-Methode)





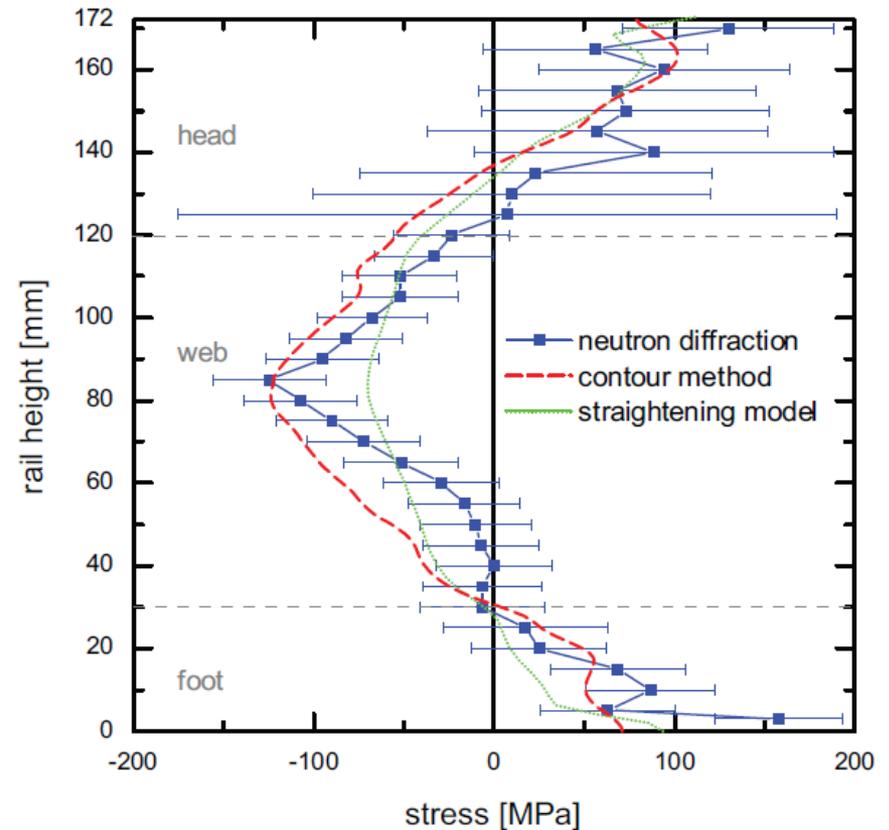
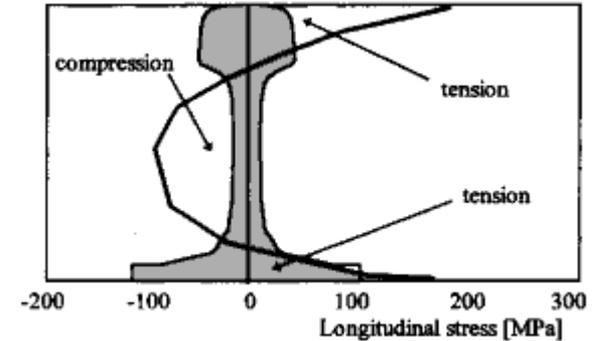
Messpositionen

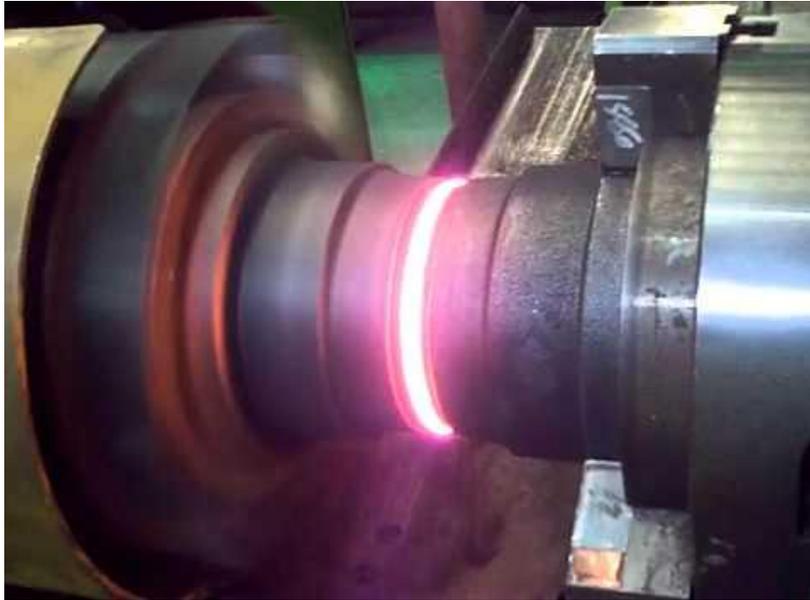
Motivation:

Roll-Richten ist der letzte Prozess-Schritt bei der Herstellung von Eisenbahnschienen, dabei sollten Eigenspannungen so niedrig wie möglich gehalten werden (< 250 MPa am Fuß, EN 13674, 2008)

Untersuchungsziel:

Bestimmung des ES – Verlaufs zum Abgleich mit FEM und Validierung eines zerstörenden Verfahren (Contour-Methode)





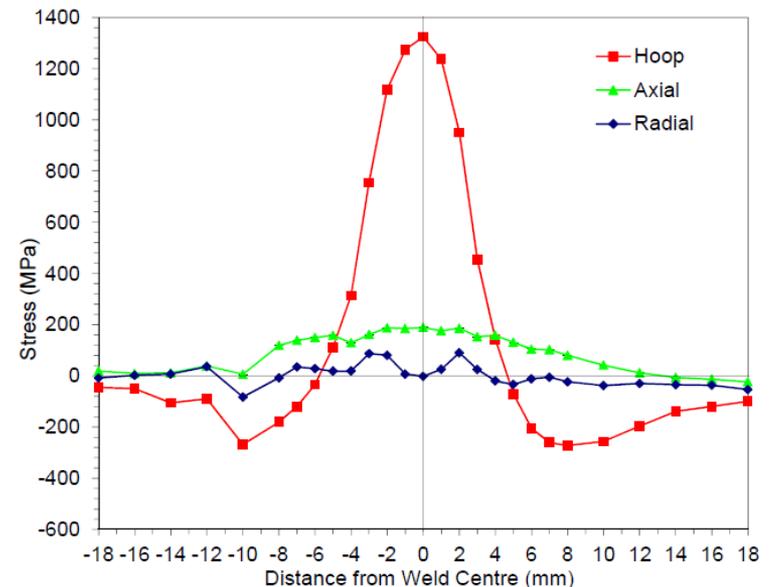
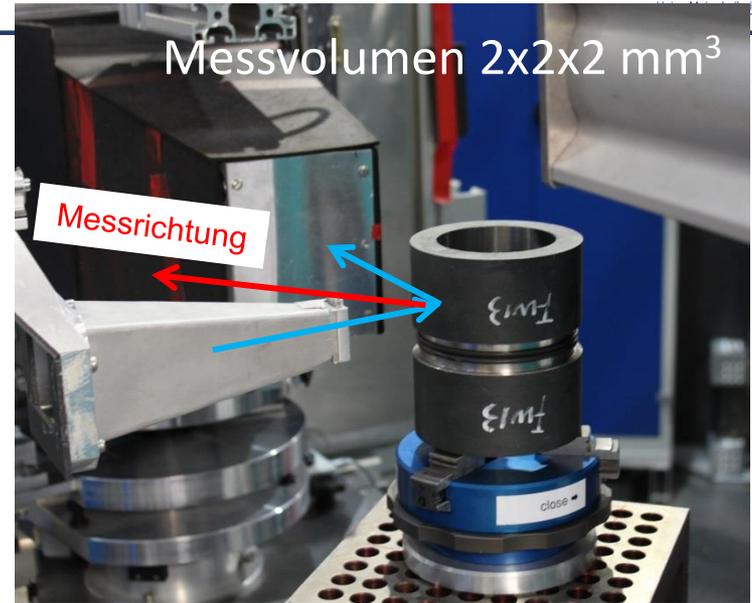
Zylinder aus Ni-Basislegierung FG96 ($\varnothing = 100$ mm, Wanddicke 15 mm)

Motivation:

Reibschweißen (IFW = Inertia Friction Welding) als Methode Halbzeuge zu verbinden → erzeugt wahrscheinlich sehr hohe Zug-ES in der Schweißzone

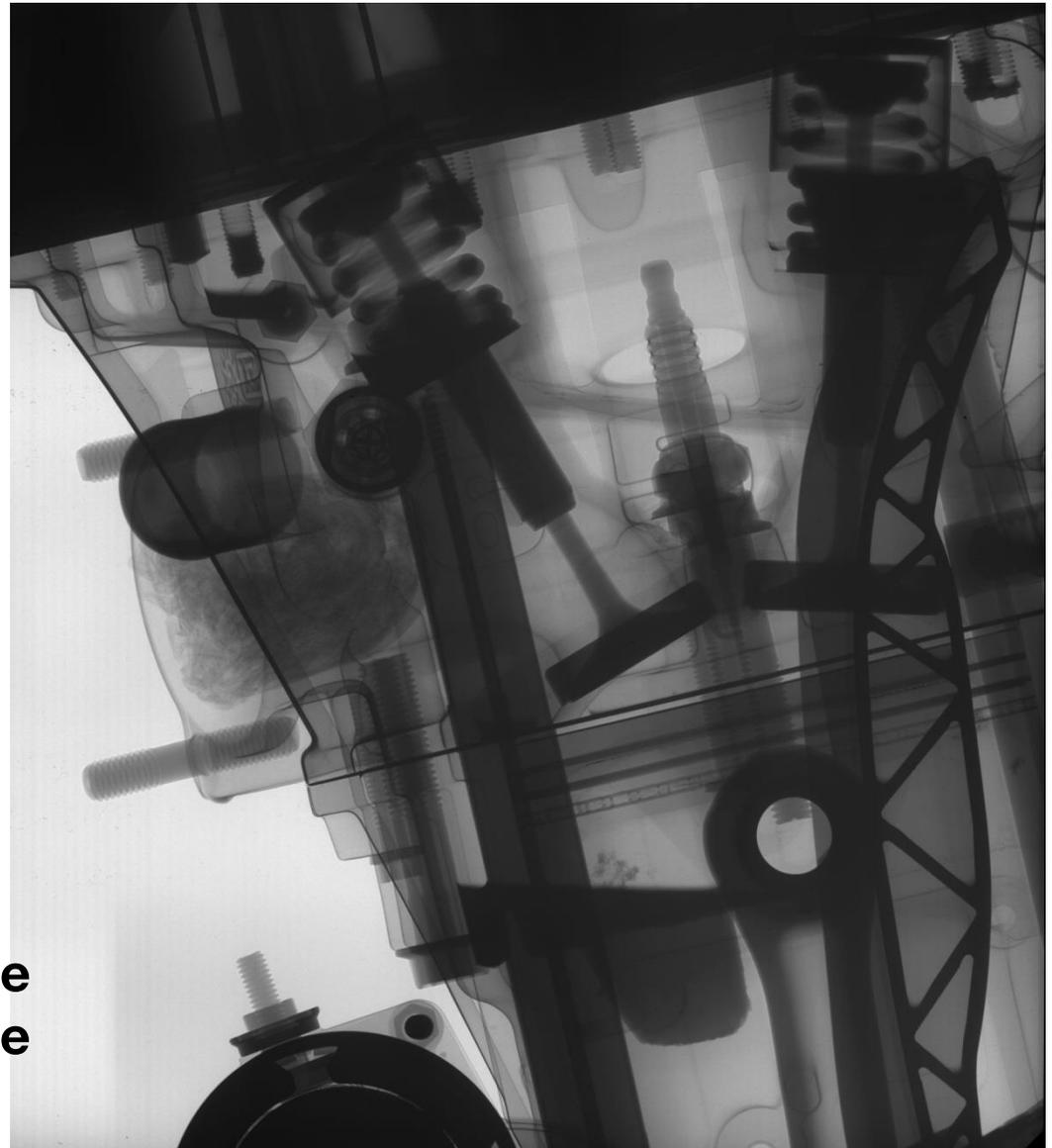
Untersuchungsziel:

Bestimmung des dreiachsigen Spannungszustandes als Grundlage für FEM Modelle des IFW Prozesses



Ein-Zylinder-Motor

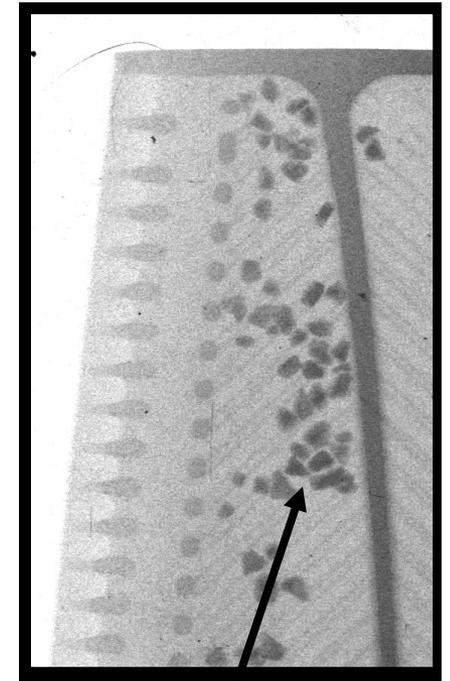
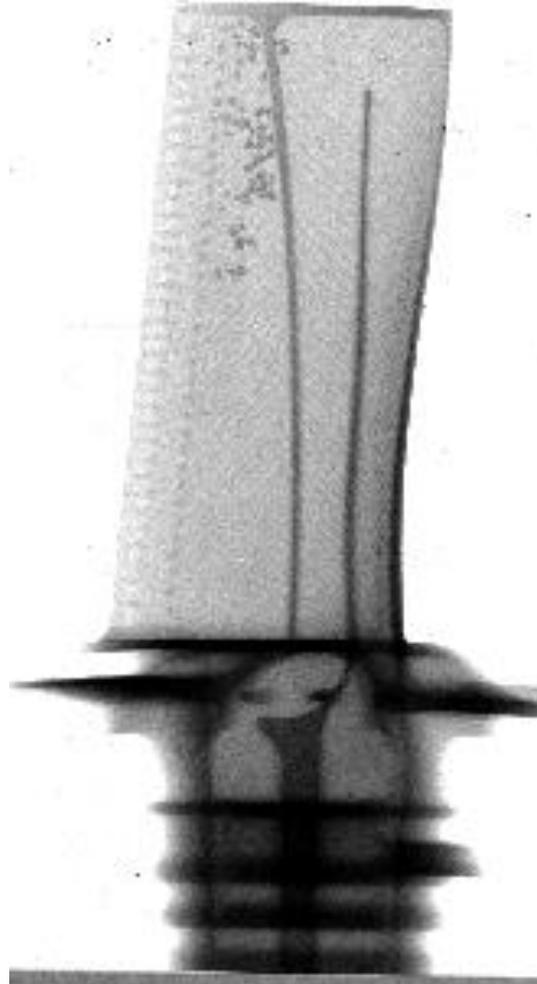
**Hochauflösende
Radiographie**



Turbine blades: inspection with neutrons



(Measurements at PSI)



Residual particles

Kooperationsprojekt mit FORD

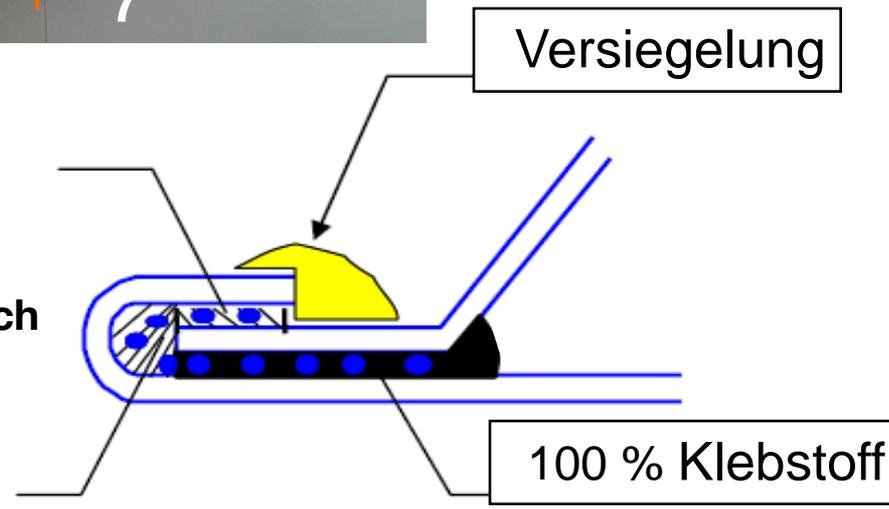


präparierte
Autotür
für Teststudie

≥ 0 % Klebstoff

Füllgradanforderungen Bördelflansch

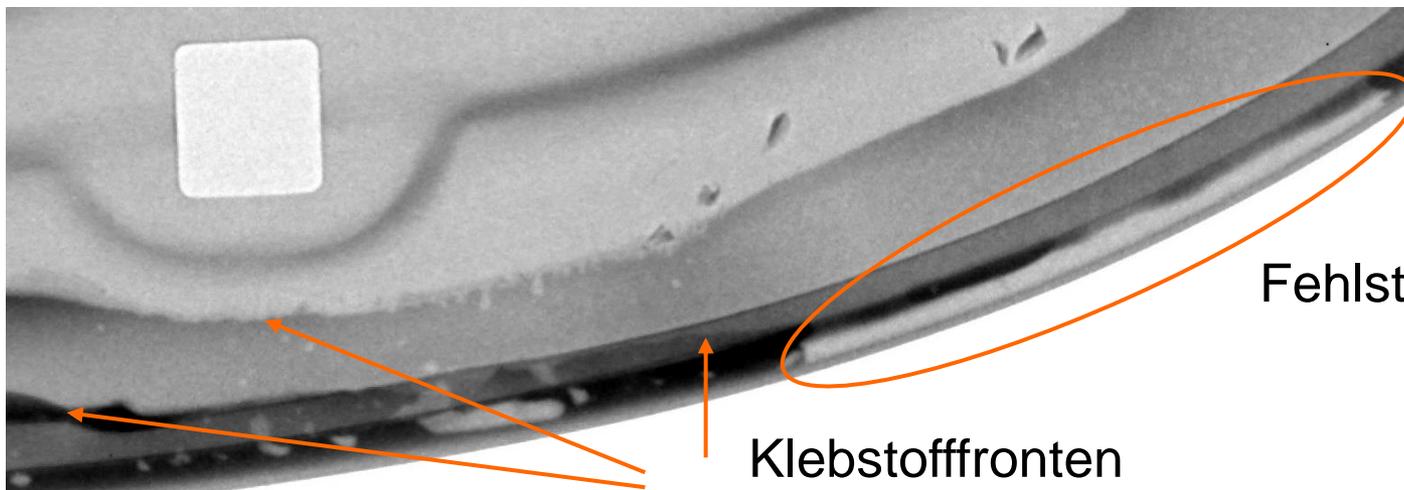
100 % Klebstoff



Validierung Neutronenradiographie -1-



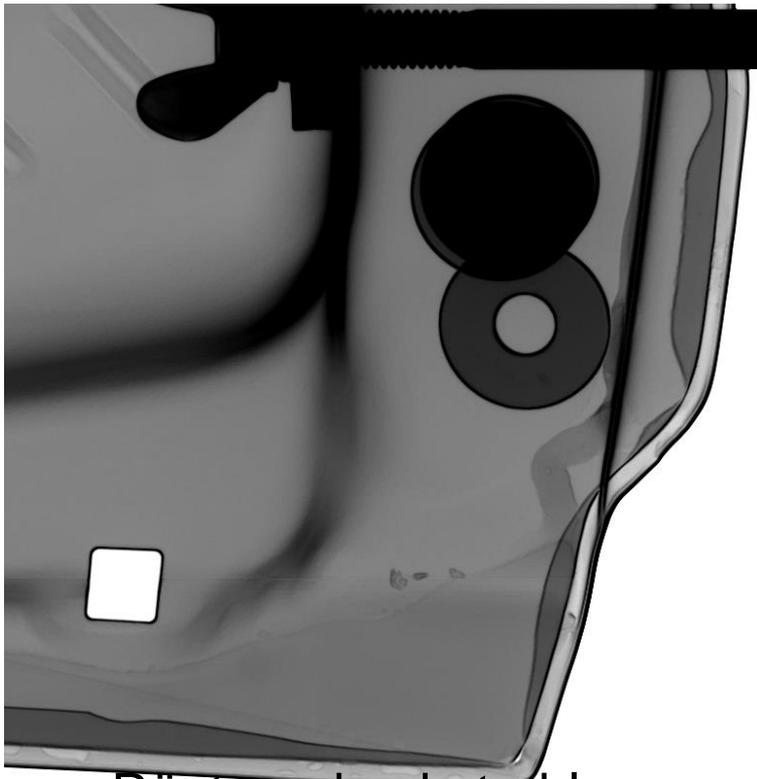
1 cm



Fehlstelle

Klebstofffronten

Vergleich Röntgendurchstrahlung & Neutronenradiographie



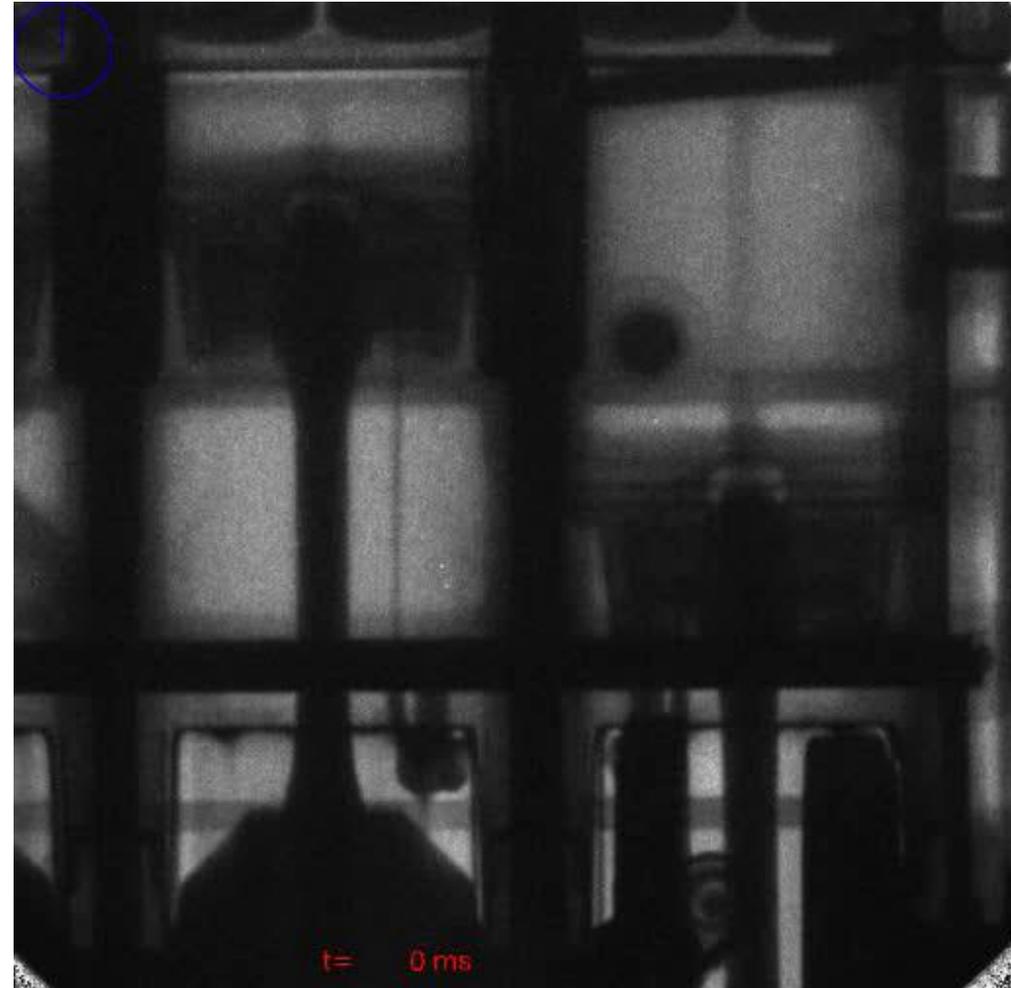
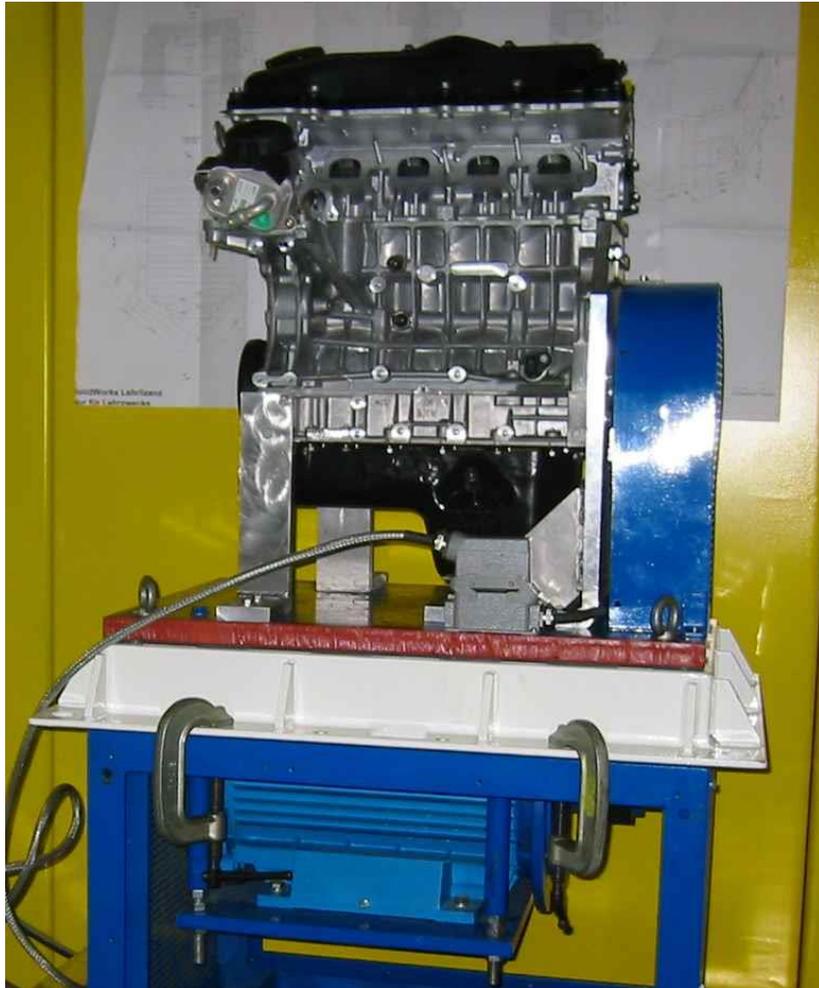
Röntgendurchstrahlung



Neutronenradiographie

I. Wehmeyer (Ford), B. Schillinger, R. Gilles (FRM II)

Light in the dark, in situ-radiography of an engine



BMW engine – electrically driven

Irradiation

test objects:
memory chips

$3-4 \times 10^8$ neutrons/cm² s

-> fluence of $10^{12} - 10^{13}$ n/cm²
for 1/2 day
(if electric component stable !)

12 SRAM objects from various producer
(1 .. 16 Mbit)



Pos. 1: CY62146EV30LL



Pos. 2: IS61LV25616AL



Pos. 3: M5M5W816TP



Pos. 4: M5M5W816WG



Pos. 5: R1LV1616HBG



Pos. 6: R1LV0416CBG



Pos. 7: K6R4016V1D



Pos. 8: FM22L16



Pos. 9: HY62UF16406D



Pos. 10: HY62UF16804A



Pos. 11: HY62UF16101C



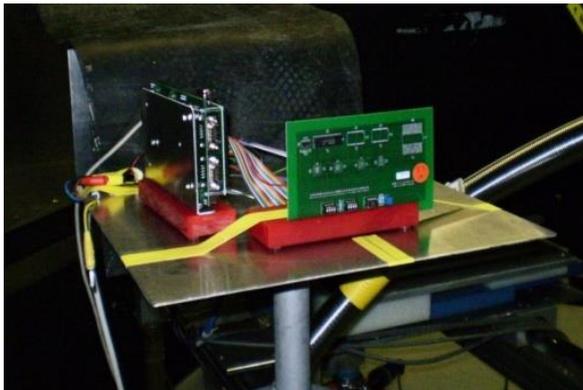
Pos. 12: UT8Q512KB

B. Gudehus (Wehrwissenschaftliches Institut)

Experimental:

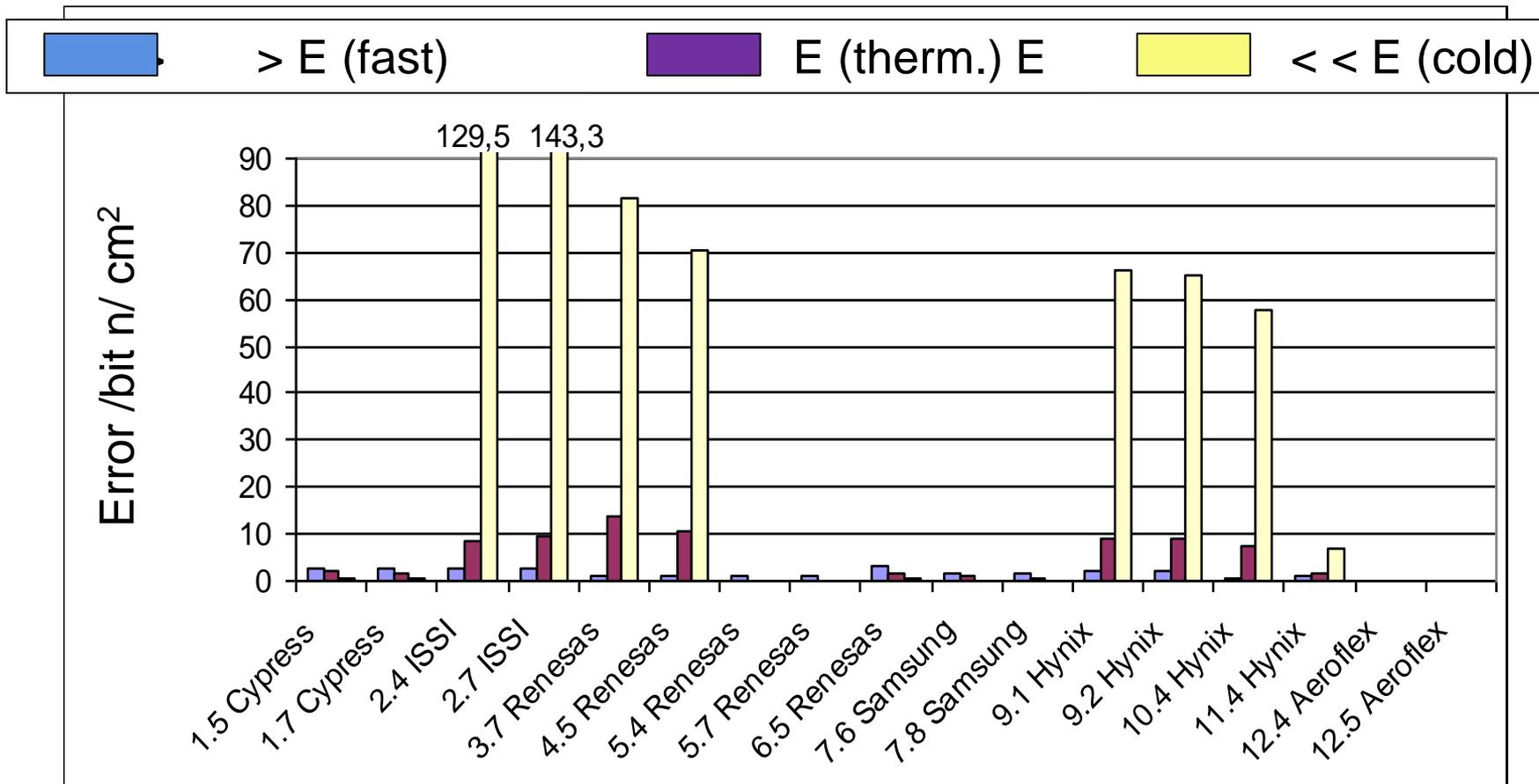
- Three set ups with **various energy** of neutrons:

- Irradiation with **fission neutrons**
- Irradiation with **thermal neutrons**
- Irradiation with **cold neutrons**



B. Gudehus (Wehrwissenschaftliches Institut)

Evaluation:



B. Gudehus (Wehrwissenschaftliches Institut)

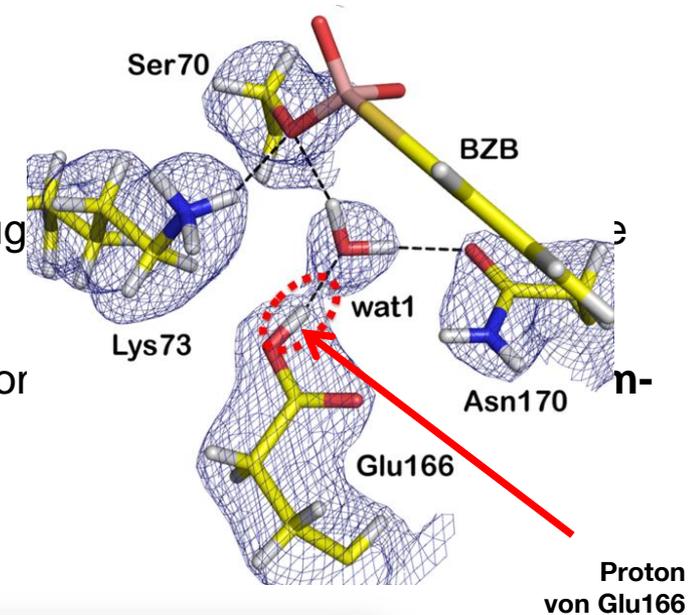
Lebenswissenschaften & Gesundheit



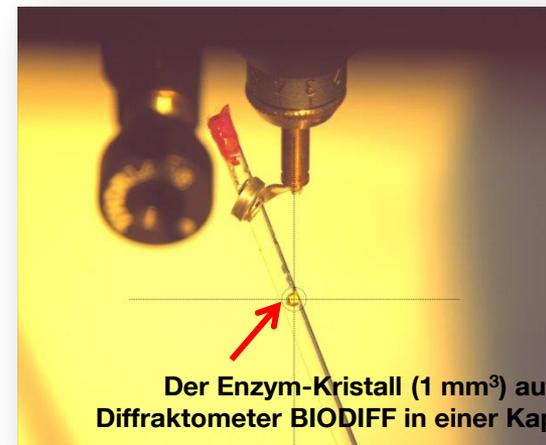
Lebenswissenschaften & Gesundheit

• Mechanismus bakterieller Antibiotikaresistenz

- Bakterielle Antibiotikaresistenz durch von Bakterien erzeugte β -Lactam basierte Antibiotika spalten (z.B. Penicillin).
- Aufklärung enzymatischer Reaktionsmechanismen auf atomar **Positionen!**) mittels der **Neutronen-Diffraktion**.
- Aminosäure Glutaminsäure-166 fungiert als temporärer Protonen-Akzeptor während des katalytischen Zyklus des Enzyms.



→ **Entwicklung besserer Antibiotika**

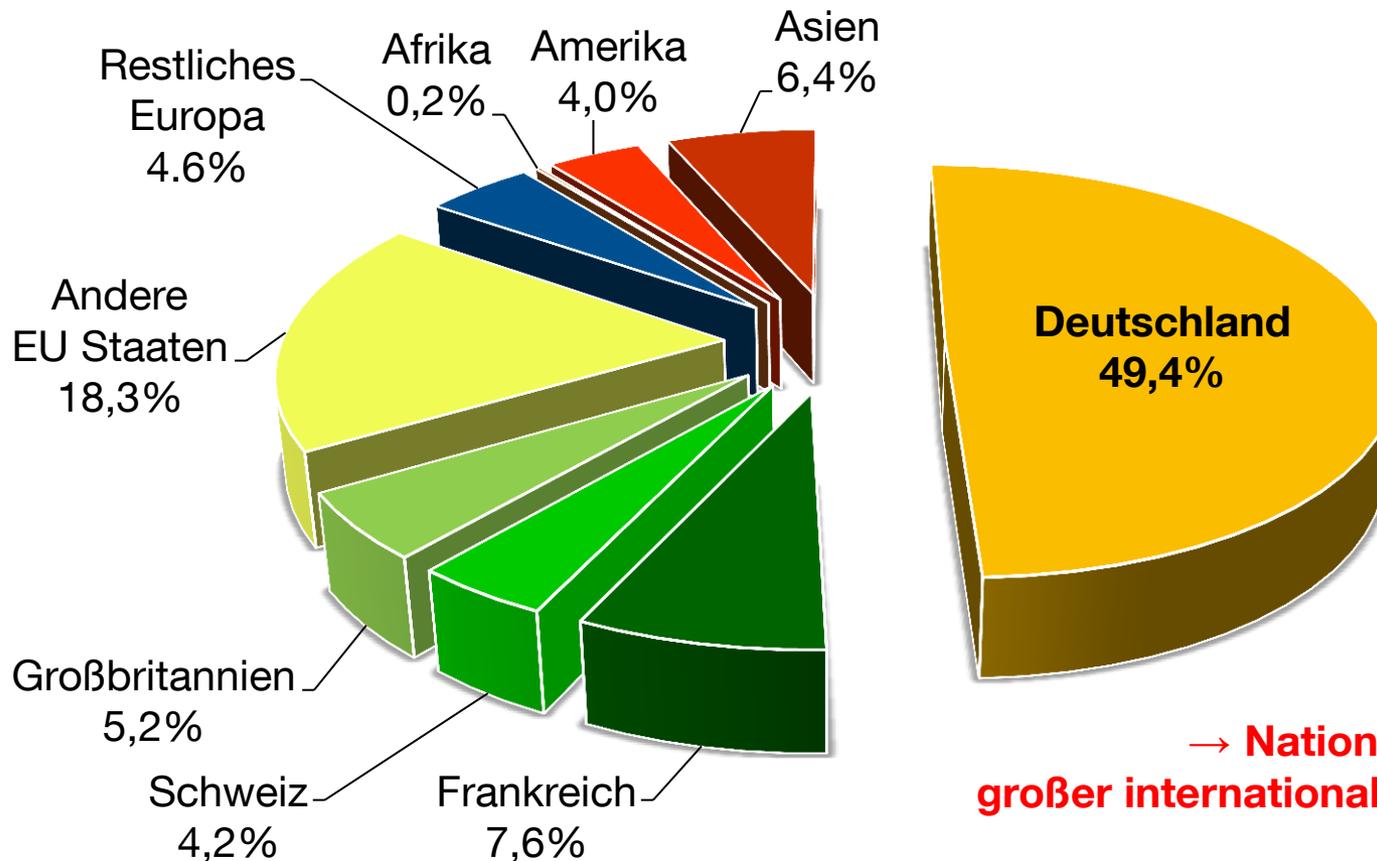


Wer nutzt die Neutronen? –

Messgastbesuche aus der ganzen Welt (hier dargestellt 2011 – 2014)

Nutzung der Neutronen (Angewandte Forschung, Industrie & Medizin): 30 %

Wissenschaft (Grundlagenforschung): 70 %



Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz

Heinz Maier-Leibnitz Zentrum

Bayerisches Staatsministerium für
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



& Max-Planck-Institut für Festkörperforschung
& 10 Universitätsgruppen

- ca. 400 Mitarbeiter
- ca. 55 Mio. € Jahresbudget
- plus ca. 14 Mio. € Drittmittelaufkommen/Jahr

