



Licht im Dunkeln –  
Neutronen für Industrie und Medizin

Prof. Dr. Winfried Petry  
Wissenschaftlicher Direktor

Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz  
(FRM II) – TU München

# Neutronen sind Licht

→ neutral

→  $m_{\text{Neutron}} = 1836 m_{\text{Elektron}}$

→ Als freies Neutron endliche Lebensdauer

$\tau_n = 886 \pm 2 \text{ sec} \quad n \rightarrow p + e^- + \nu_e$

→ Magnetisches Moment  $\mu_n \sim 1/1836 \mu_{\text{Elektron}}$

→ Neutronen haben Wellencharakter.

$\lambda = \frac{9.045}{\sqrt{E(\text{meV})}}$

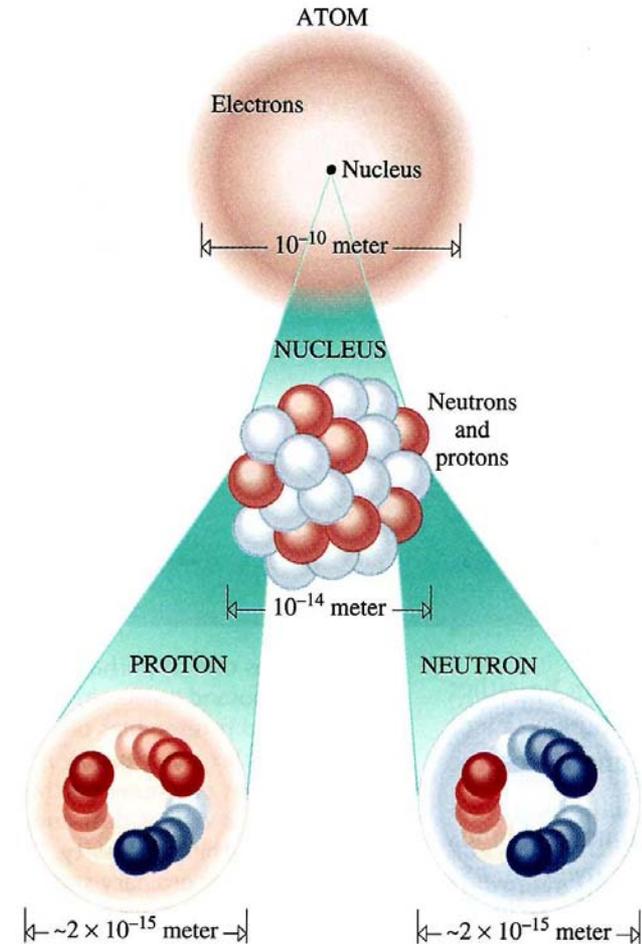
→ Neutronen werden total reflektiert.

→ Für ideale Ni-Oberflächen gilt:

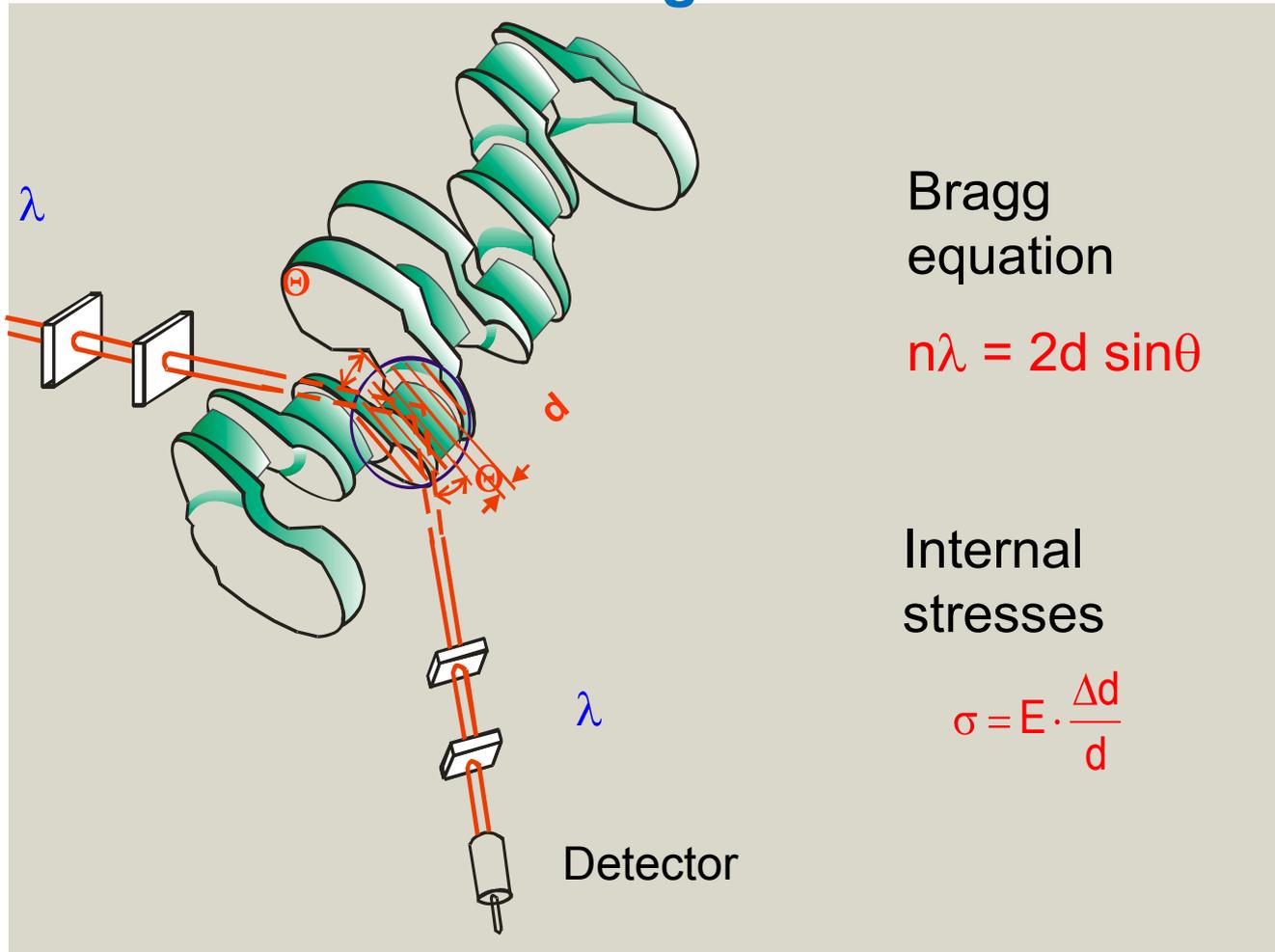
$\gamma_{\text{total Reflexion}} = 1,0 \times \lambda \text{ (nm)}$

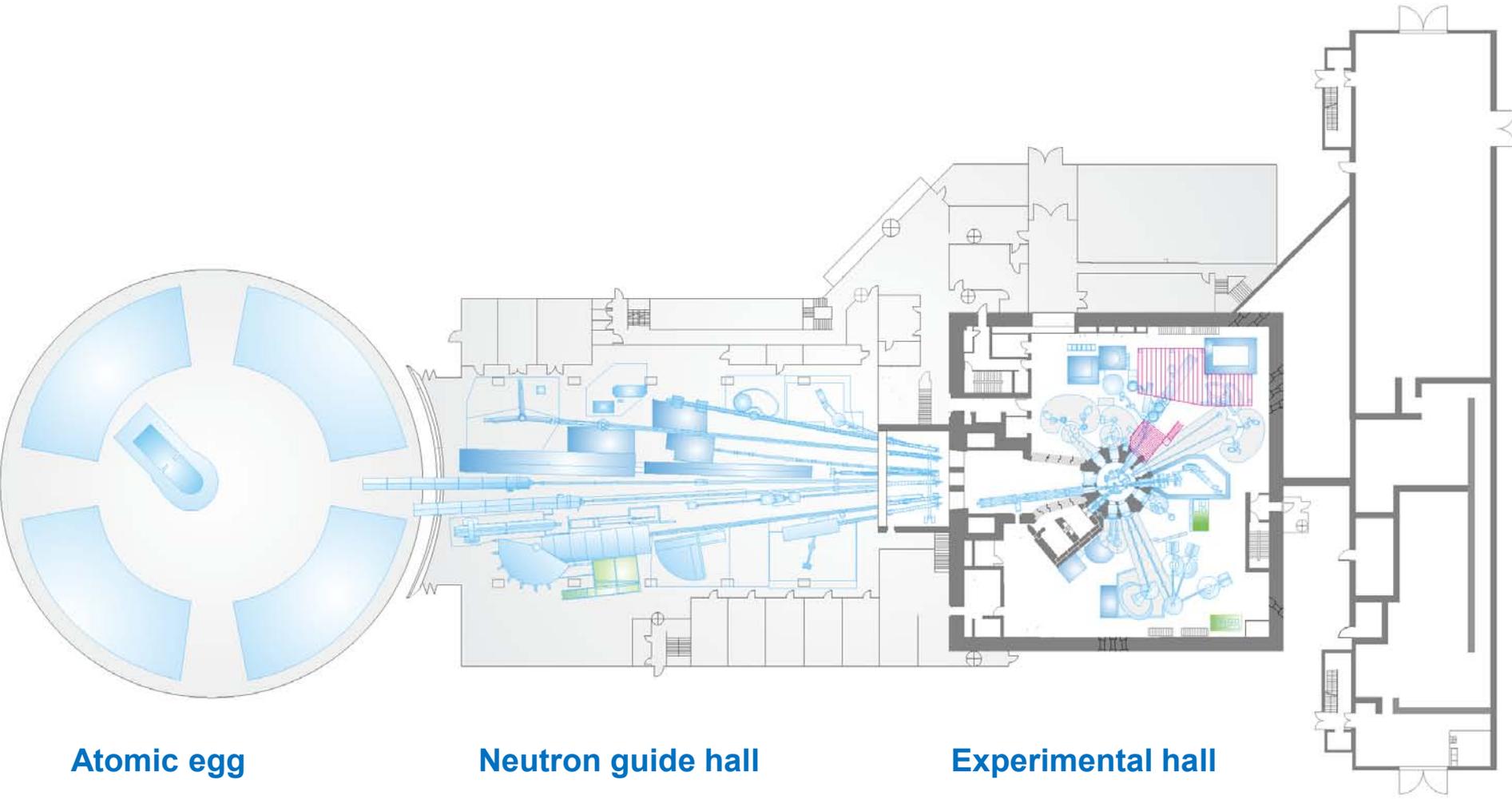
→ Neutronen wechselwirken nur schwach mit Materie.

→ Wechselwirkung ändert sich beachtlich von Isotop zu Isotop.



## Neutronen haben Wellenlänge





**Atomic egg**

**Neutron guide hall**

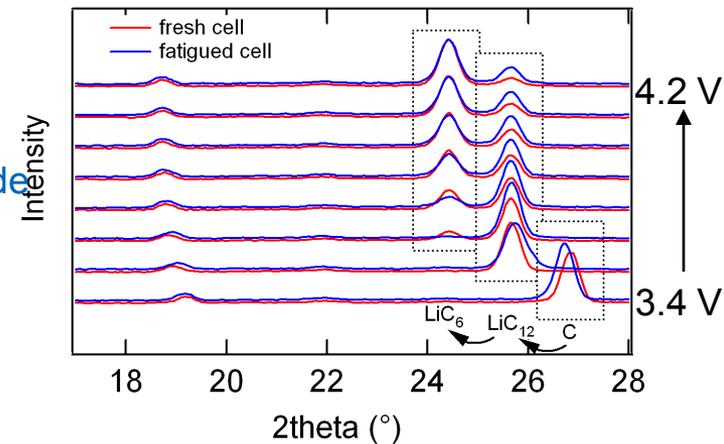
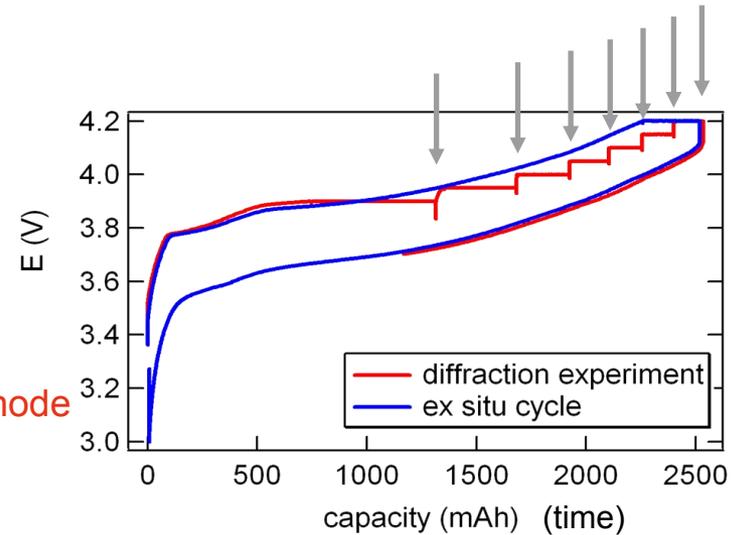
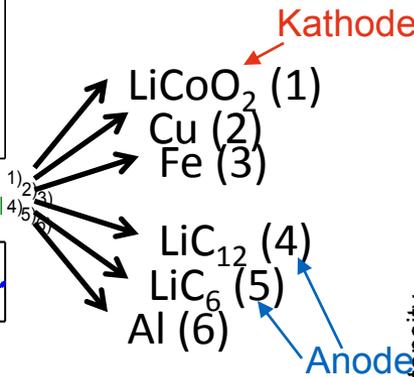
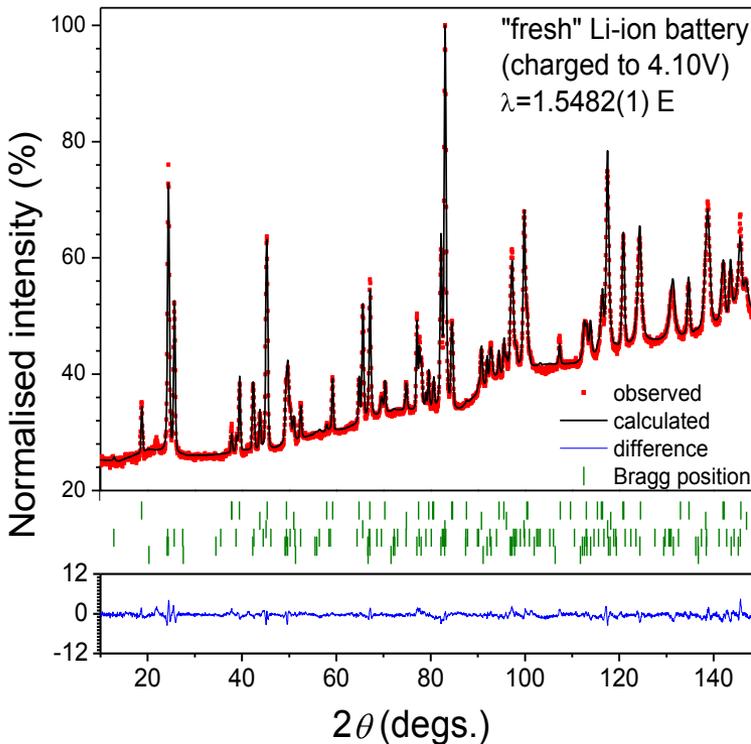
**Experimental hall**

**New experimental Hall - under construction**

## **Forschung mit Neutronen - gibt Antworten auf die großen (technischen) Herausforderungen unserer Gesellschaft**

- **Energie (Speicherung, Transport, Transformation)**
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- Informationstechnologie
- Gesundheit
- Mobilität
- ...
- Industrie
- Neugier

# Strukturänderung während Ladung/Entladung in Li-Ionen-Batterien



- Neutronendiffraktion klärt atomare Vorgänge während Ladungs/Entladungsvorgang
- Völlig zerstörungsfrei
- Einbau von Li in Kohlstoffanode verantwortlich für Ermüdung

# Chemische Wasserstoffspeicher, Reaktionswege

Magnesium Amide / Lithium Hydride Mischung:



→ hohe reversible Speicherkapazität: 6.9 Massen % H

*Reaktionsweg während H Aufnahme/Abgabe*

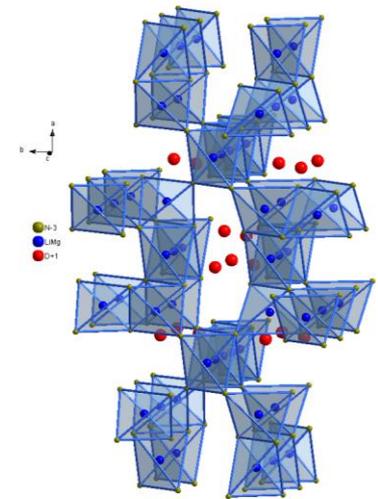
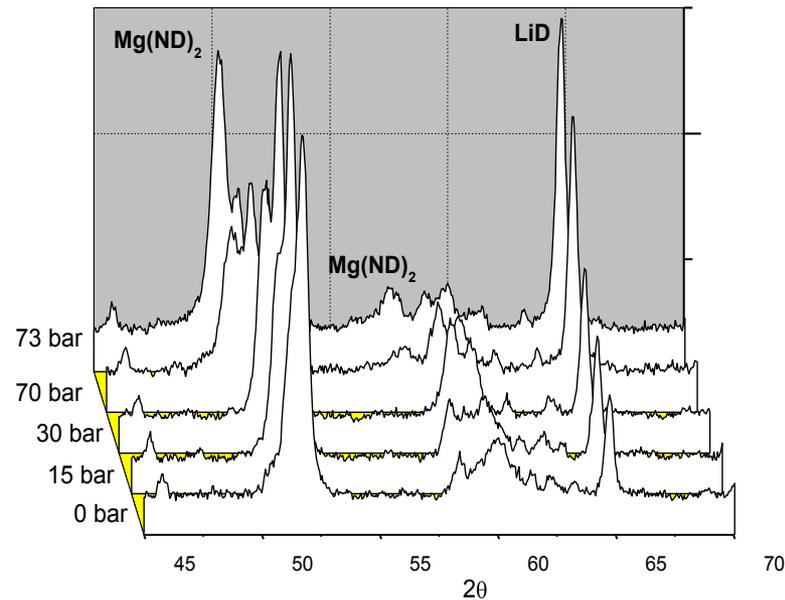
Neutronen Diffraktion während Deuterium Aufnahme/Abgabe

Absorption: 220 C, verschiedene Deuterium Drücke bis zu 73 bar

Desorption: 220 C

→ Phase identifiziert:

Zwischenphase :

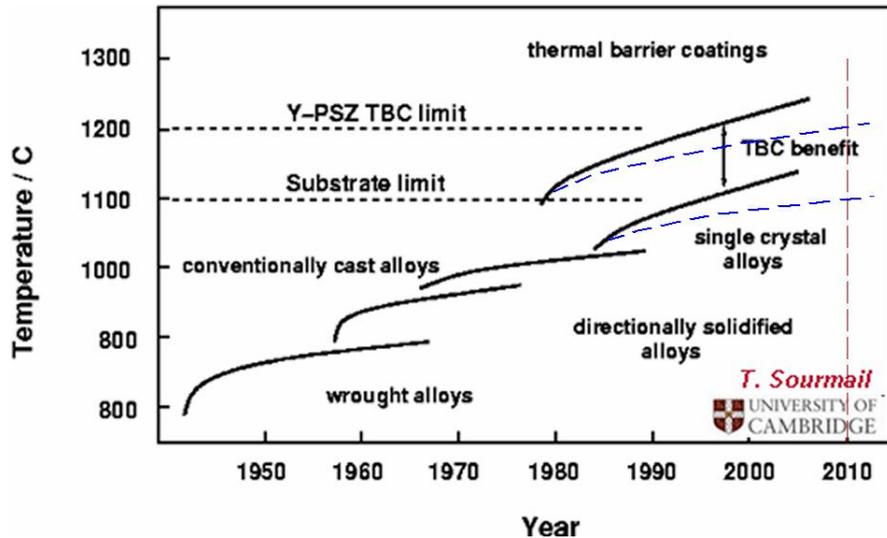


$\alpha\text{-Li}_2\text{Mg}(\text{ND})_2$

## Forschung mit Neutronen - gibt Antworten auf die großen (technischen) Herausforderungen unserer Gesellschaft

- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- **Nanotechnologie und innovative Materialien**
- Informationstechnologie
- Gesundheit
- Mobilität
- ...
- Neugier
- Industrie

# Alloy Development: Beyond Ni-Base Superalloys

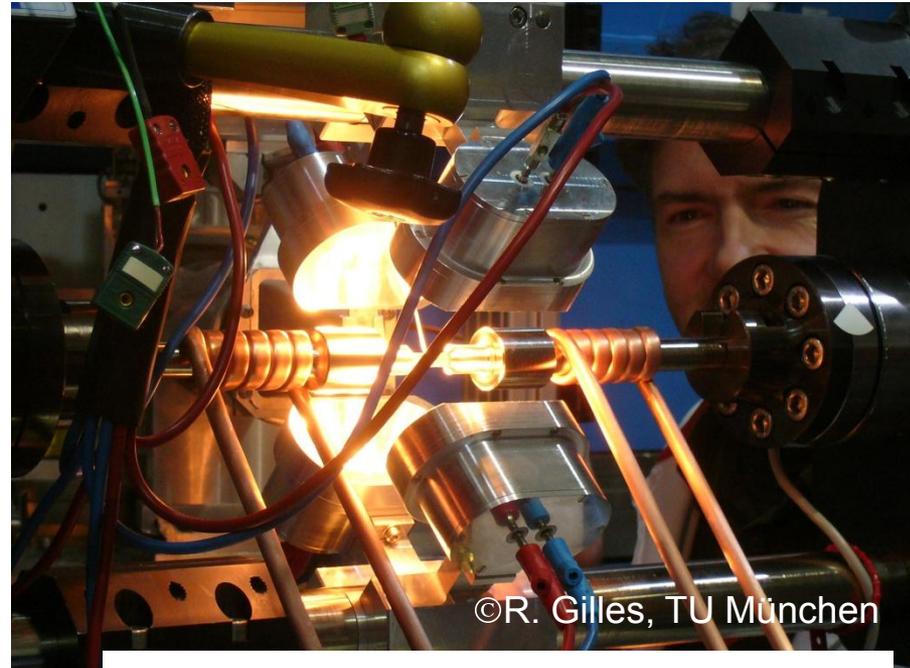
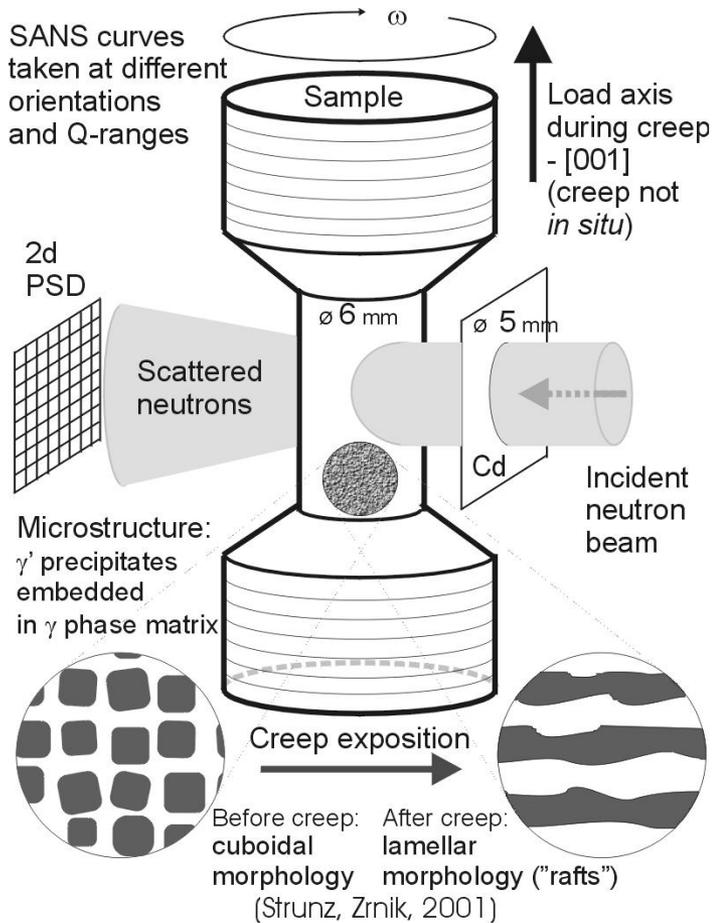


## in Ni-base superalloys:

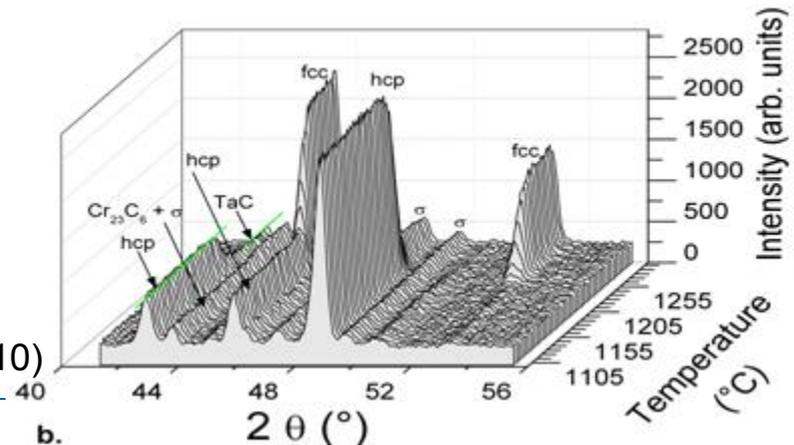
- substrate temperature limit: 1100 C
- superalloys operate close to their melting range (1300 C – 1400 C)
- improvement in temperature capability: limited by melting point of Ni ( $T_M = 1453^\circ\text{C}$ )

© KWU Siemens

# Aufbau für in situ Zugversuche bei hohen Temperaturen



©R. Gilles, TU München

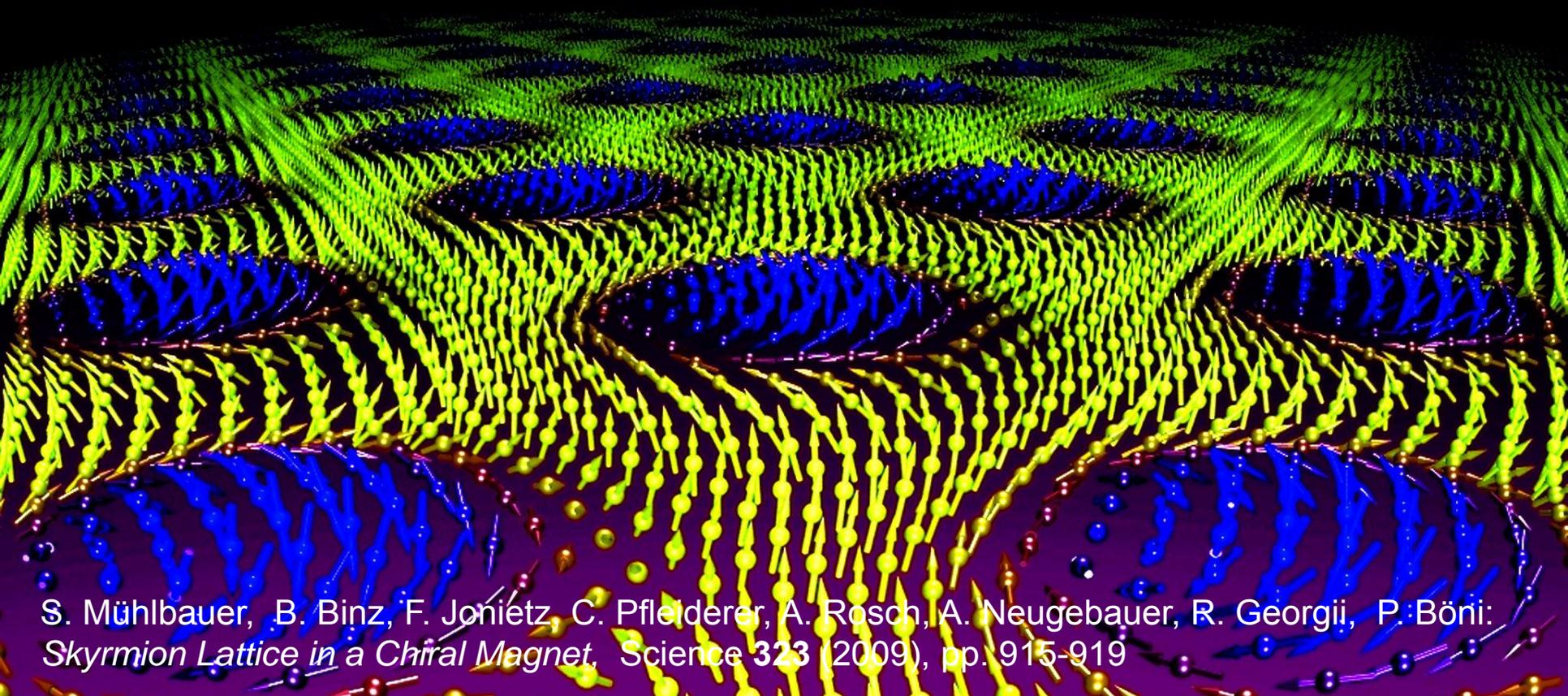


D. Mukherji, P. Strunz, R. Gilles et al. Mat Letters (2010)

- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- **Informationstechnologie**
- Gesundheit
- Mobilität
- ...
- Industrie
- Neugier

# Skirmionen-Gitter in MnSi

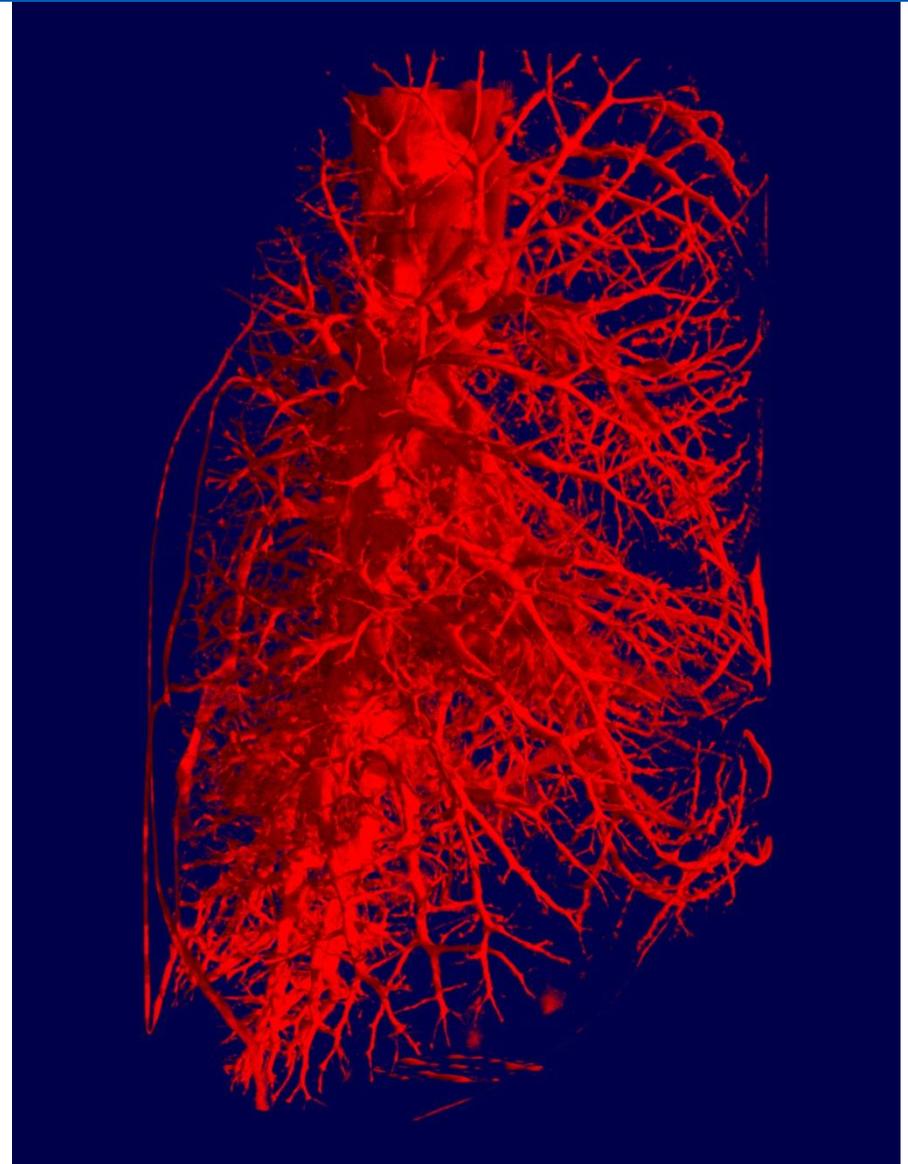
neue Form von magnetischer Ordnung auf mesoskopischer Skala  
Zukünftige Informationsspeicherung ?



S. Mühlbauer, B. Binz, F. Jonietz, C. Pfleiderer, A. Rosch, A. Neugebauer, R. Georgii, P. Böni:  
*Skyrmion Lattice in a Chiral Magnet*, Science **323** (2009), pp. 915-919

- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- Informationstechnologie
- **Gesundheit**
- Mobilität
- ...
- Industrie
- Neugier

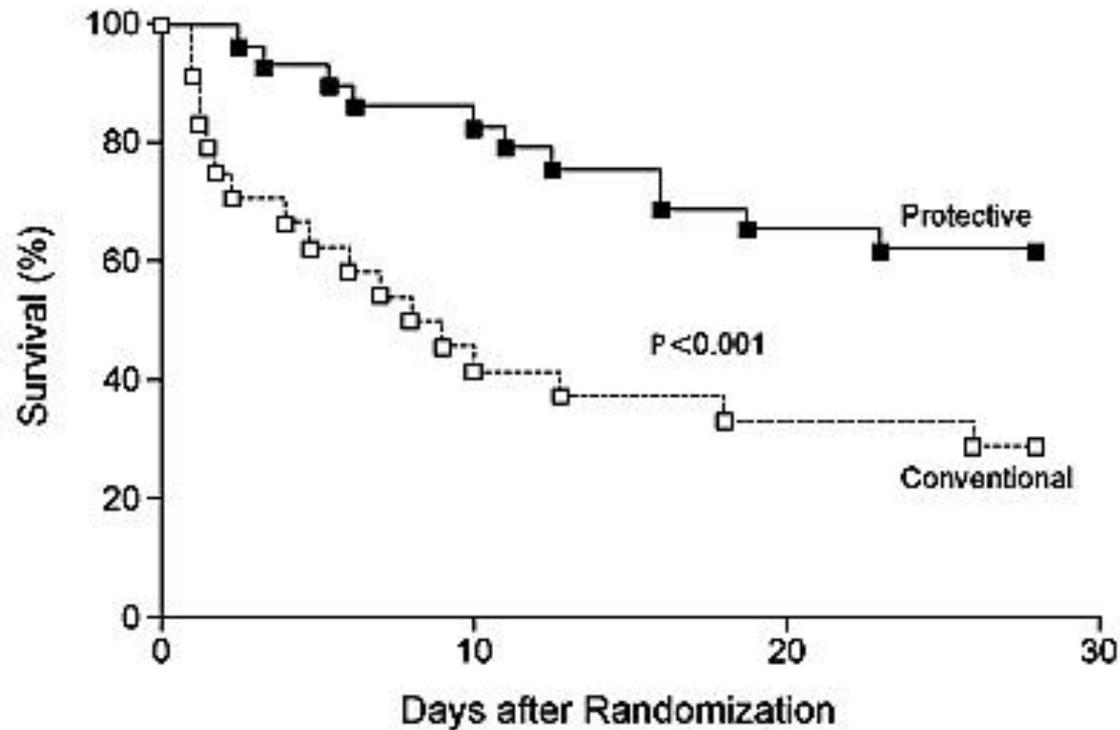
# Neutronentomographie einer Rattenlunge 3D



# Neutronentomographie einer Rattenlunge 2D

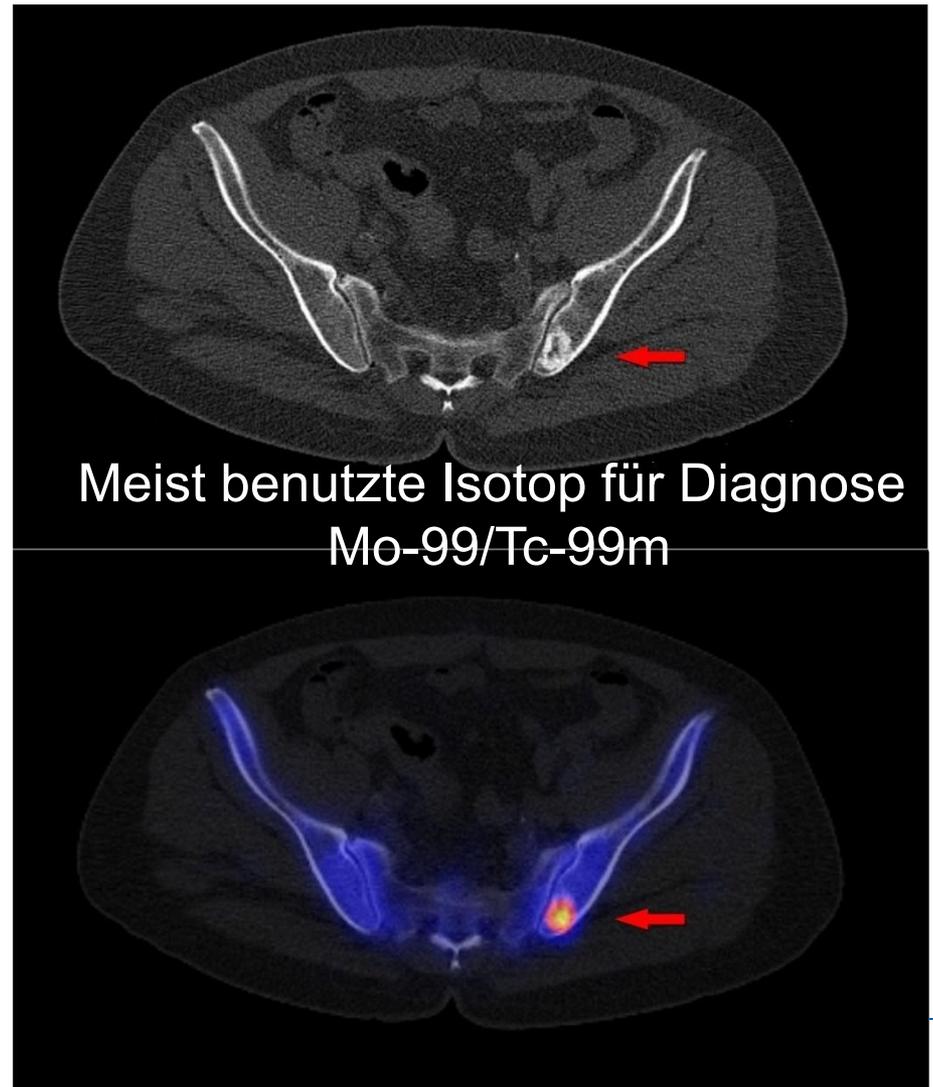
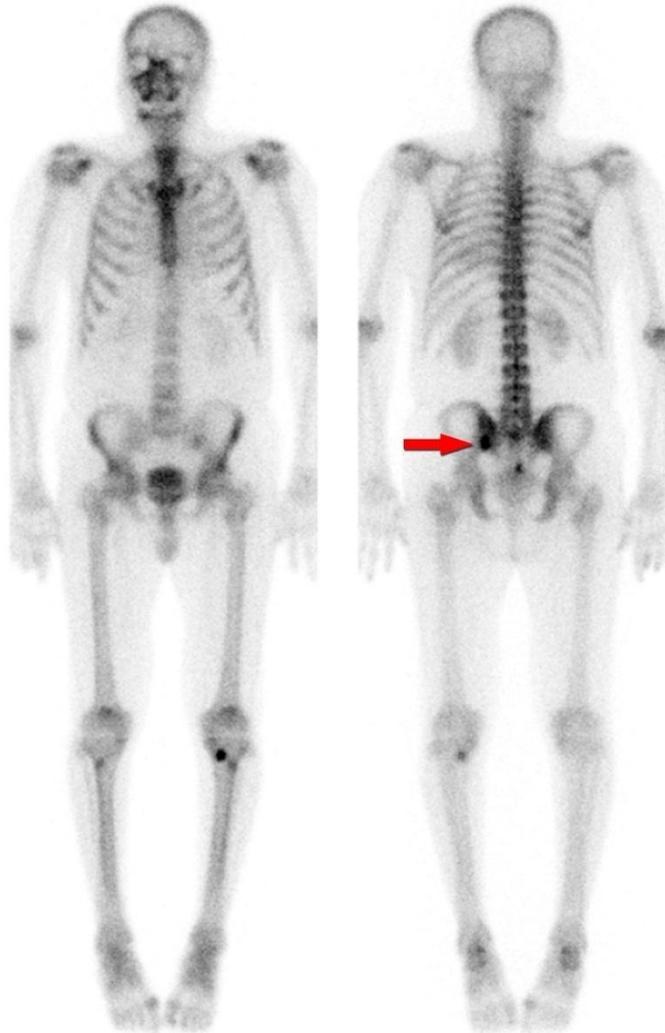


# Überlebensrate bei künstlicher Beatmung



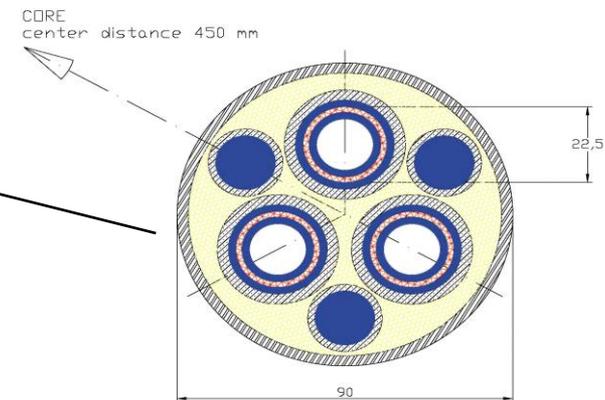
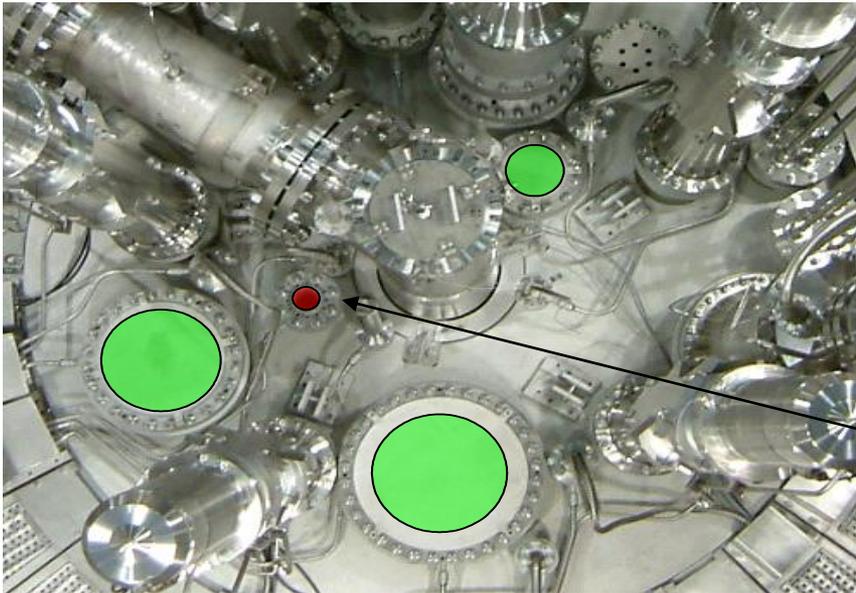
Protective	29	25	20	18
Conventional	24	11	9	7

# Szintigraphie von Tumoren



## Produktion von Mo-99 am FRM II

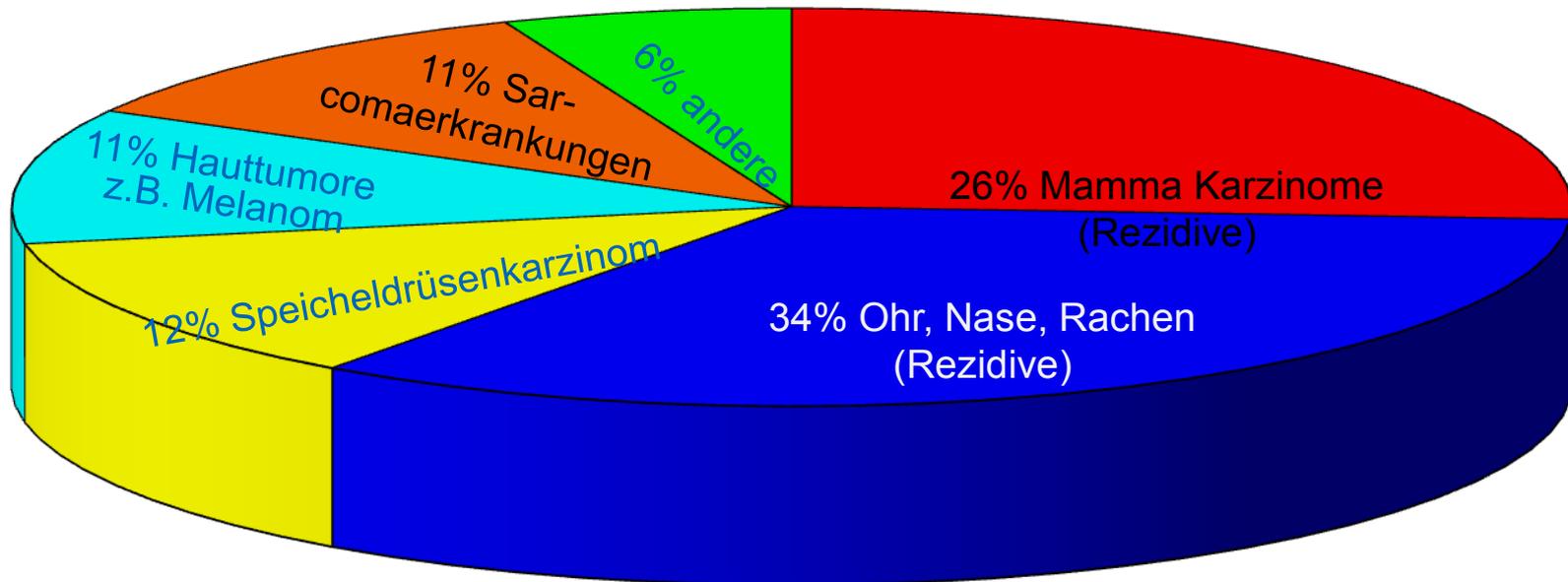
- Produktion von Molybdän-99 am FRM II technisch möglich
- FRM II kann Hälfte des **europäischen Bedarfs** decken
- Finanzieller Rahmen für den Aufbau: **5,4 Millionen Euro** in 5 Jahren



# Neutronentherapie

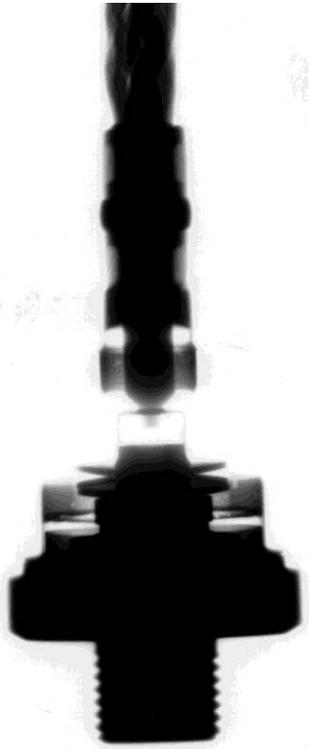


## Neutronentherapie am FRM II



- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- Informationstechnologie
- Gesundheit
- **Mobilität**
- ...
- Industrie
- Neugier

## Vergleich einer Radiographie mit Neutronen- und Röntgenstrahlung



Röntgenstrahlung

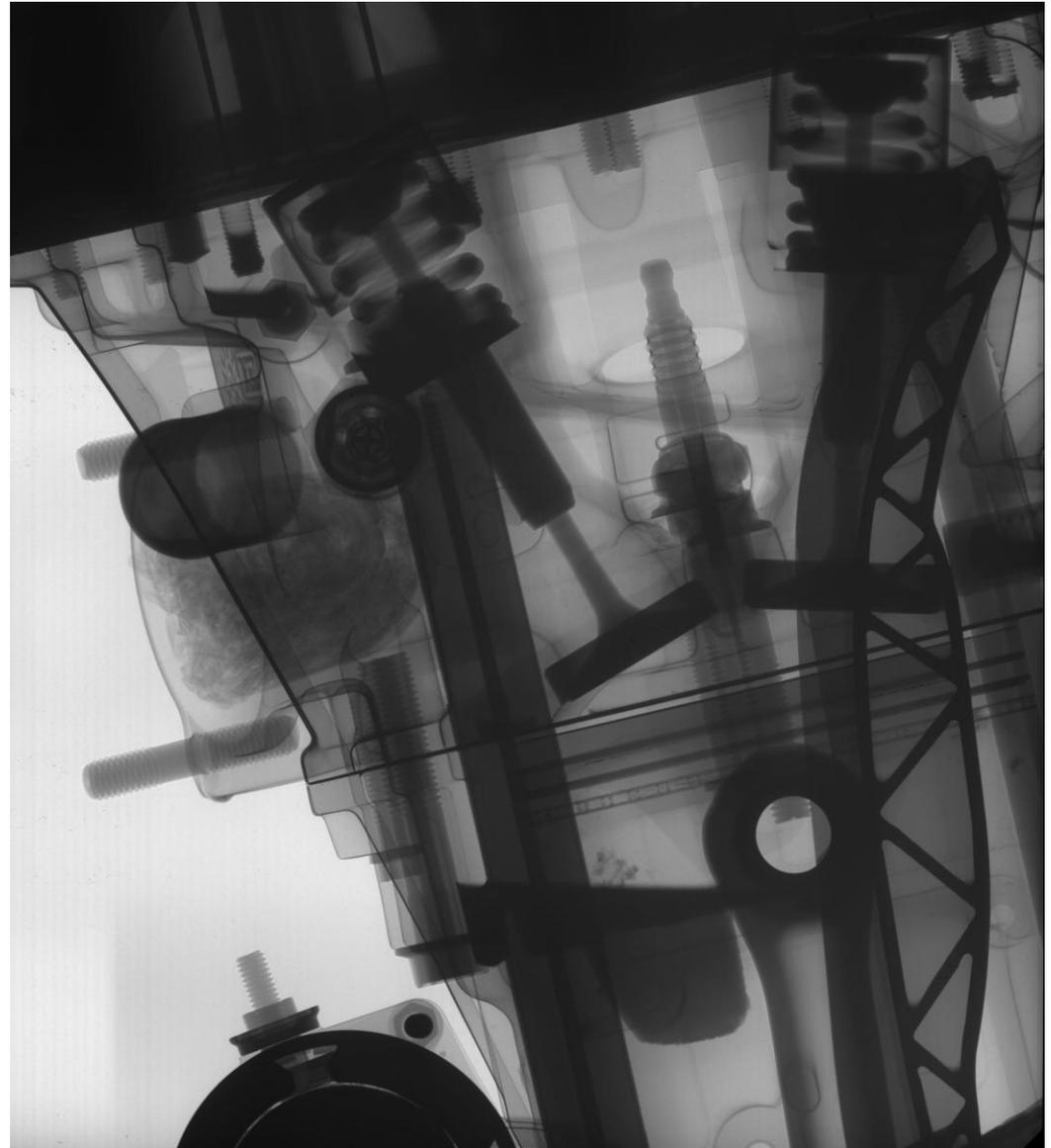


Neutronenstrahlung

Neutronen dringen tiefer in Metalle ein und liefern einen besseren Kontrast.

## Ein-Zylinder-Motor

## Hochauflösende Radiographie



## 4 Zylinder Motor

600 rpm

Zeitauflösung 1 ms



- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- Informationstechnologie
- Gesundheit
- Mobilität
- ...
- **Industrie**
- Neugier

## Kooperationsprojekt mit FORD



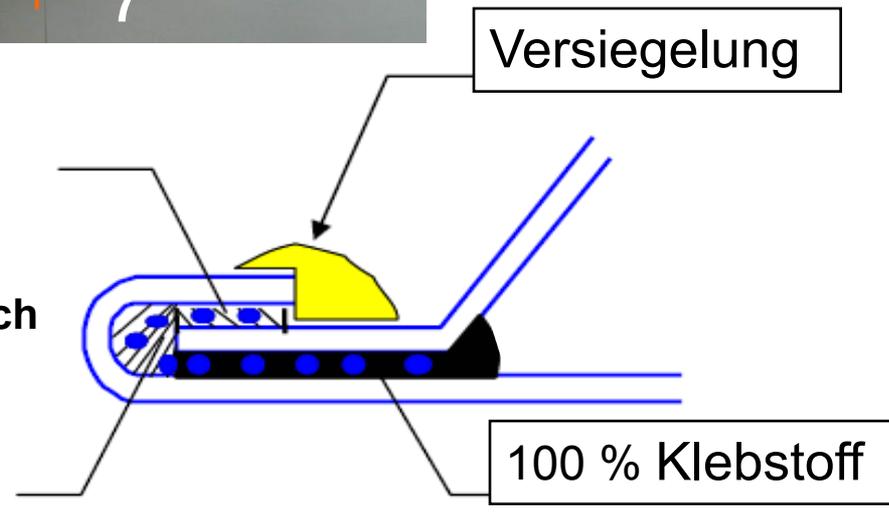
präparierte  
Autotür  
für Teststudie

Versiegelung

$\geq 0$  % Klebstoff

Füllgradanforderungen Bördelflansch

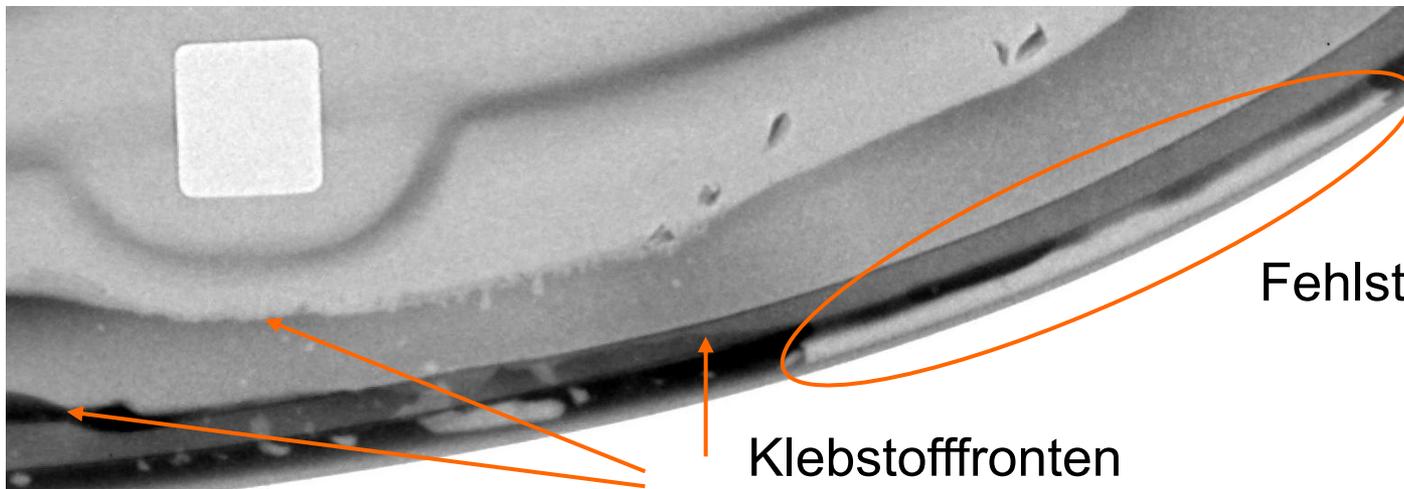
100 % Klebstoff



# Validierung Neutronenradiographie -1-



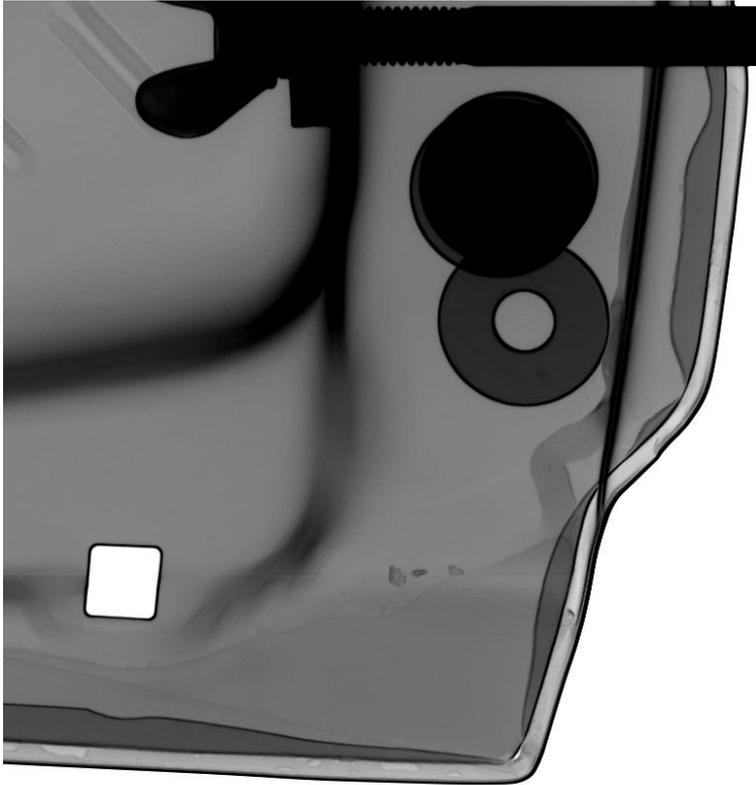
1 cm



Fehlstelle

Klebstofffronten

## Vergleich Röntgendurchstrahlung & Neutronenradiographie



Röntgendurchstrahlung



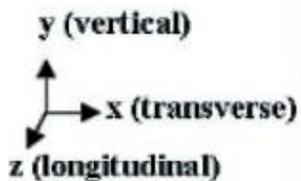
Neutronenradiographie

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

# Strain mapping

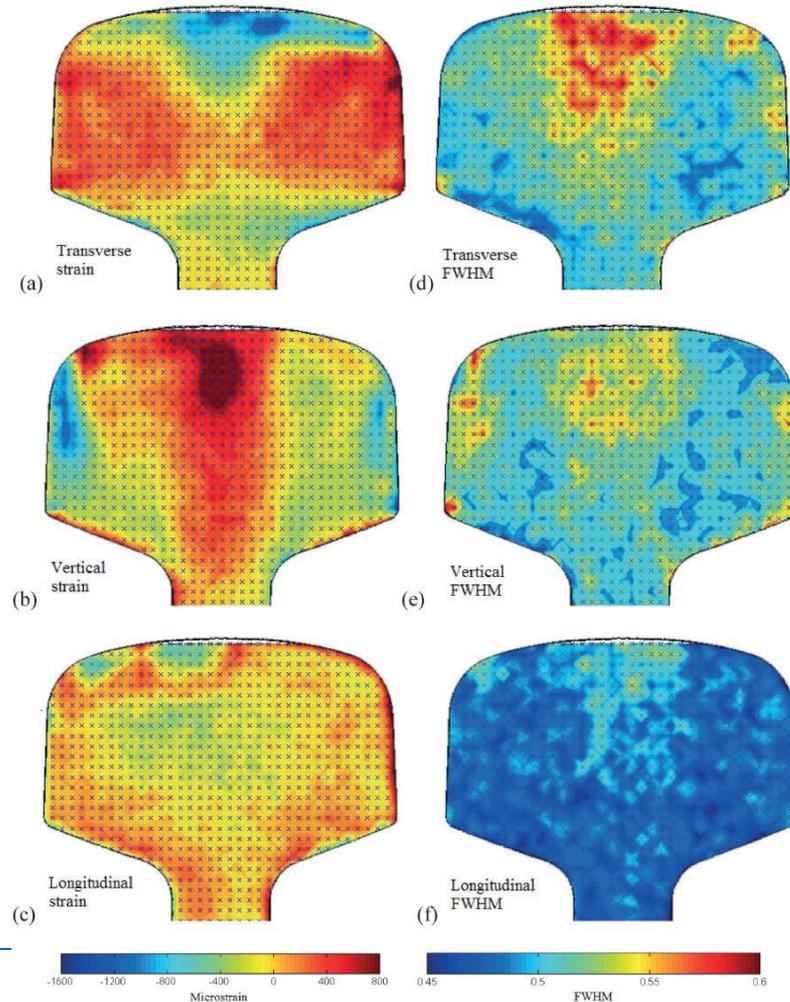
## Railway rail

Accumulation of residual stresses in rails during service can contribute to crack initiation and fracture and may result in serious accidents.

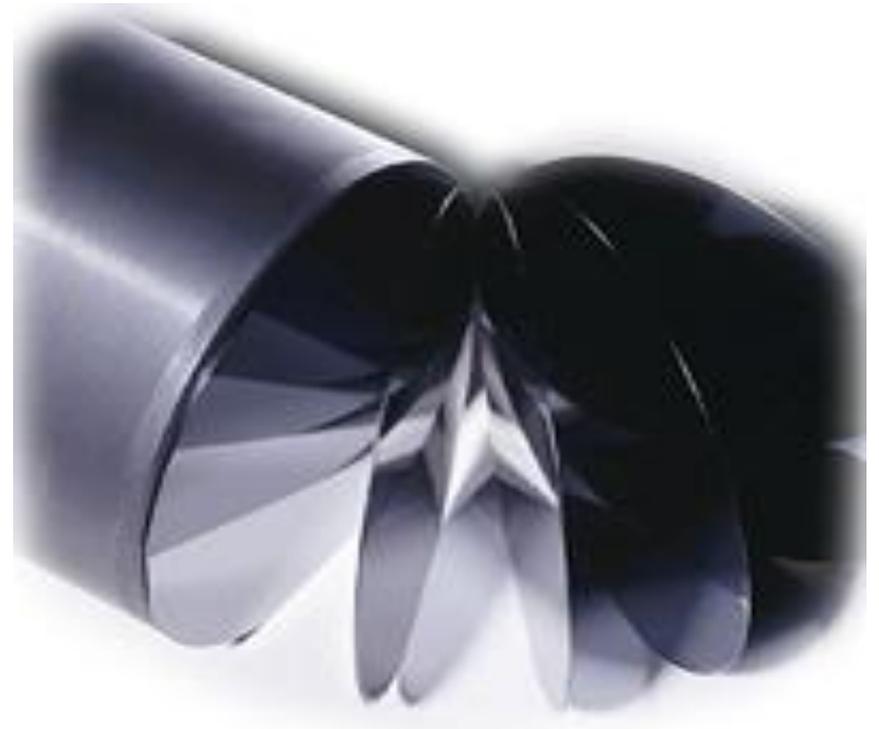


Strain in transv., vert. and long. direction in [mm/m], x- in mm

FWHM from (211) interference line show plastic deformation

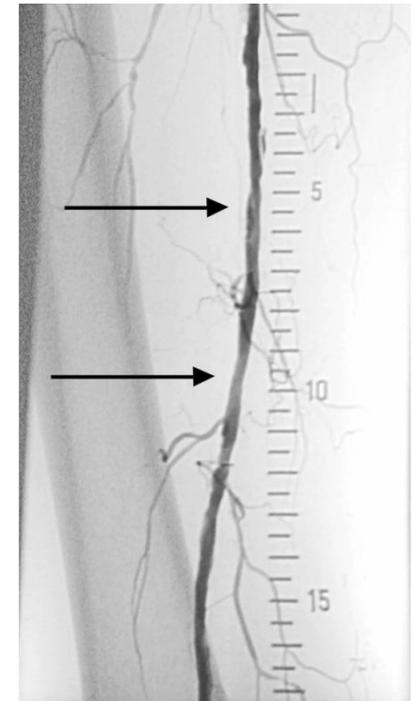
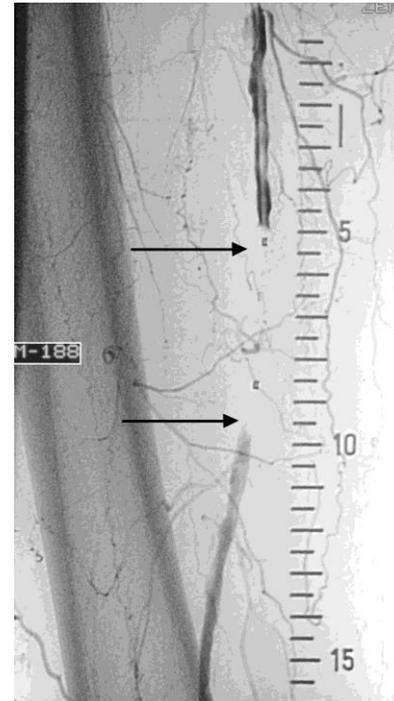


# Silizium



# Brachytherapie nach Ballondilatation einer Arterie

Re-188 Generator



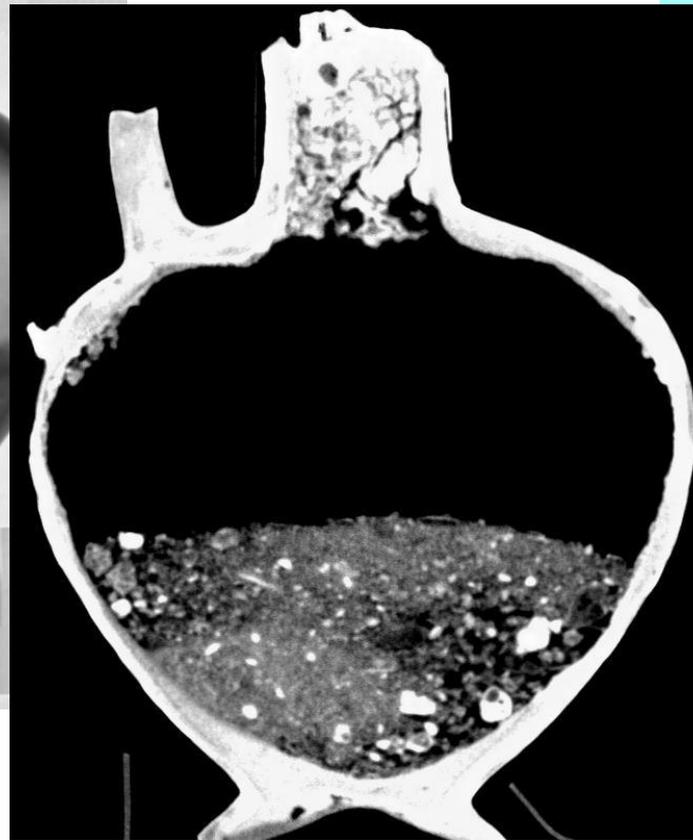
→ Klinikum Augsburg, Therapie einer Venenkontraktion

- Energie (Speicherung, Transport, Transformation)
- Nanotechnologie und innovative Materialien
- Informationstechnologie
- Gesundheit
- Mobilität
- ...
- Industrie
- **Neugier**

## Versiegelte römische Vase/Amphore, vermutlich leer.



# Neutronentomographie macht Pflanzensamen sichtbar!





**Atomei (1957) ⇒ Keim des Forschungscampus Garching**  
**FRM II ⇒ Garant für weitere internationale Spitzenstellung**