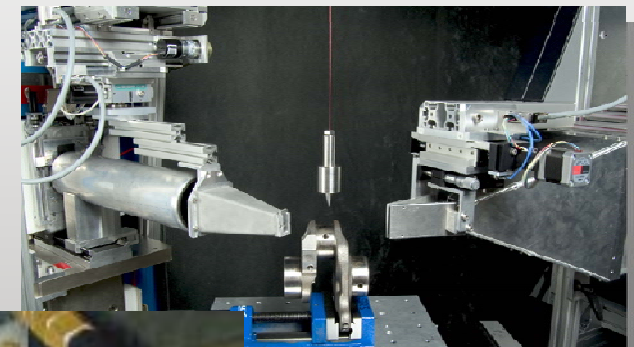
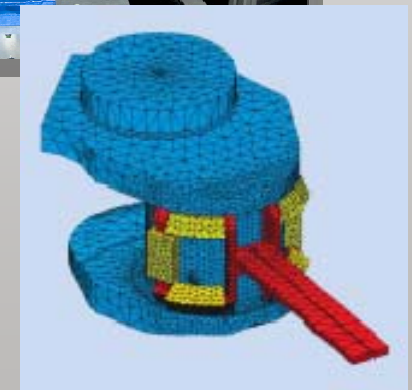


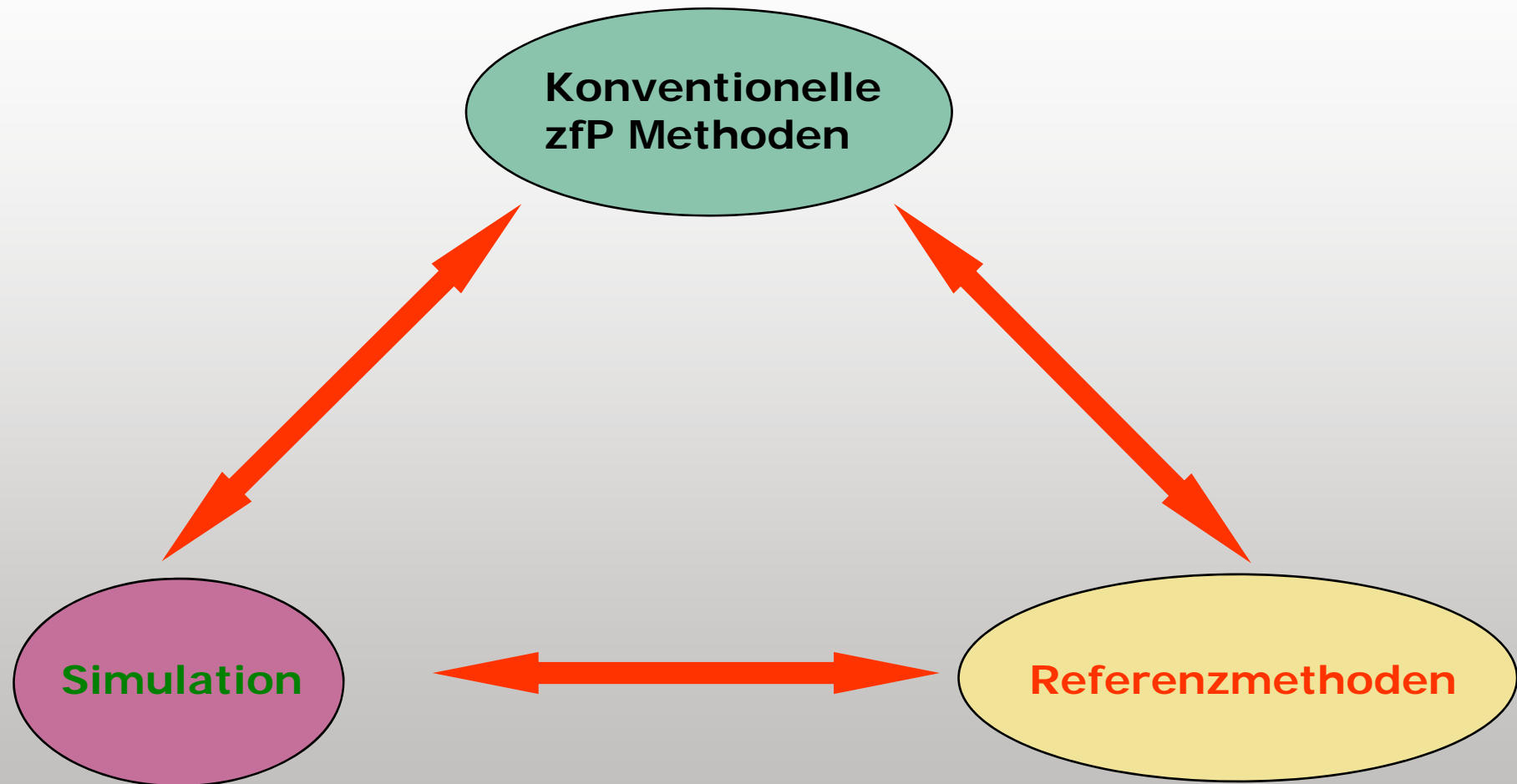
# Gezielte Bauteil- und Prozessoptimierung mit Hilfe diffraktometrischer Eigenspannungsanalyse an den Forschungsreaktoren BER-II und FRM-II



Rainer Schneider,  
Alfred Dutzi,  
Robert Wimpory,  
Michael Hofmann,  
Tobias Poeste,

HMI/FRM II  
Daimler AG  
HMI  
FRM II  
HMI





## Konventionelle zfP Methoden

### **Strukturabbildung sowie Werkstoffcharakterisierung**

Ultraschall, Mikromagnetik,  
Wirbelstrom, Tomo- bzw.  
Radiographie, Thermographie  
etc.

### **in Prozessüberwachung und Komponentenprüfung**

### **Sensorprinzipien**

### **Struktur-Eigenschafts- Beziehungen**

## Simulation

### **Werkstoff-Simulation**

Analytische/numerische  
Modellbildung, Prozess-  
simulation

Validierung, Extrapolation,  
Bewertung von  
Prüfergebnissen

### **Prüfprozesssimulation**

Sensor-Material-  
Wechselwirkung

Theoretische Bewertung  
neuer zfP Methodenansätze

Optimierung des  
Sensordesigns

## Referenzmethoden

Werkstoffentwicklung und –  
**Werkstoffcharakterisierung**

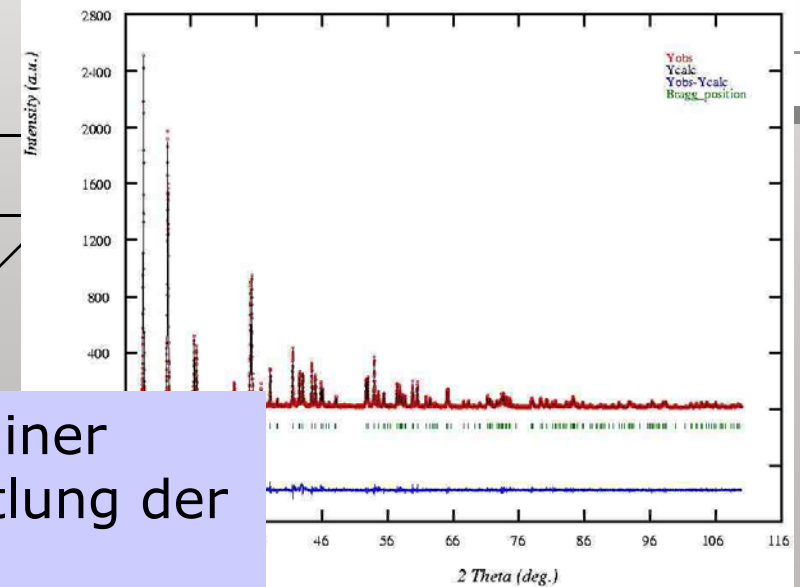
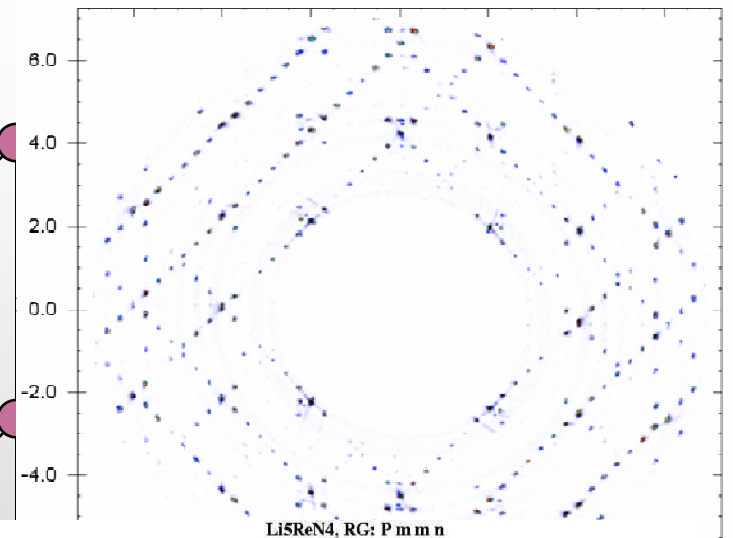
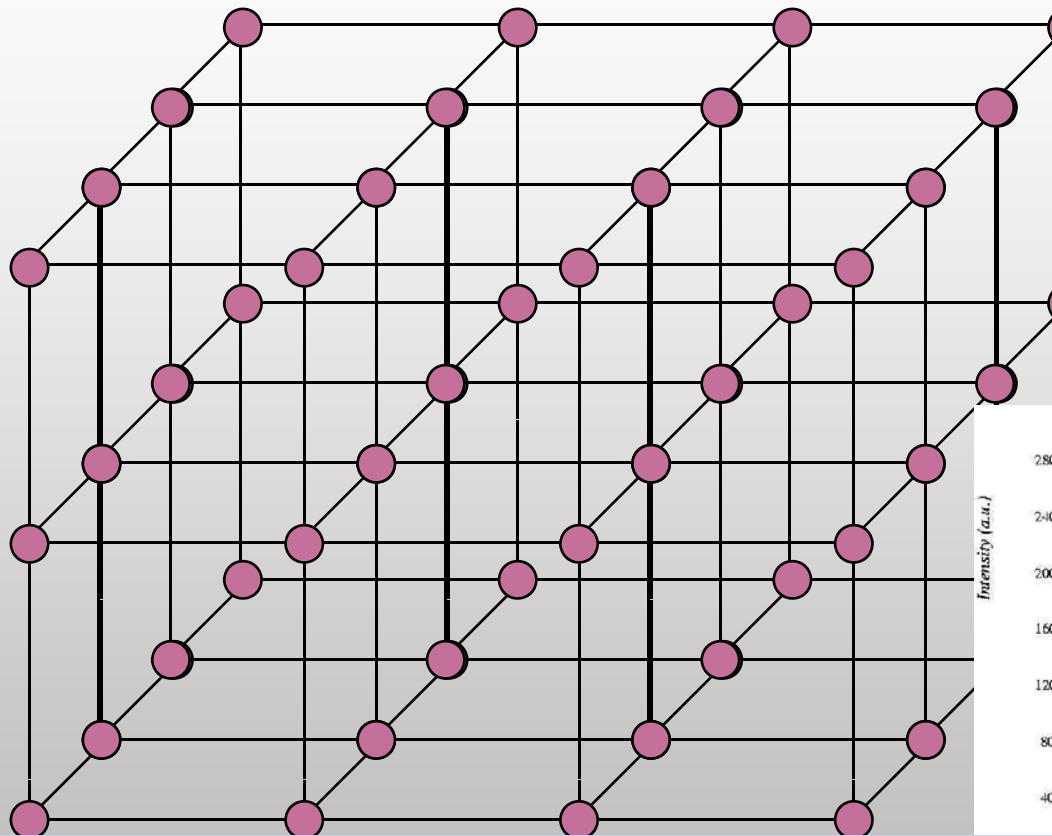
**Validierung** von **Simulation**  
und **neuen zfP Methoden**

**Eingangsgrößen** für  
Simulations-  
rechnungen

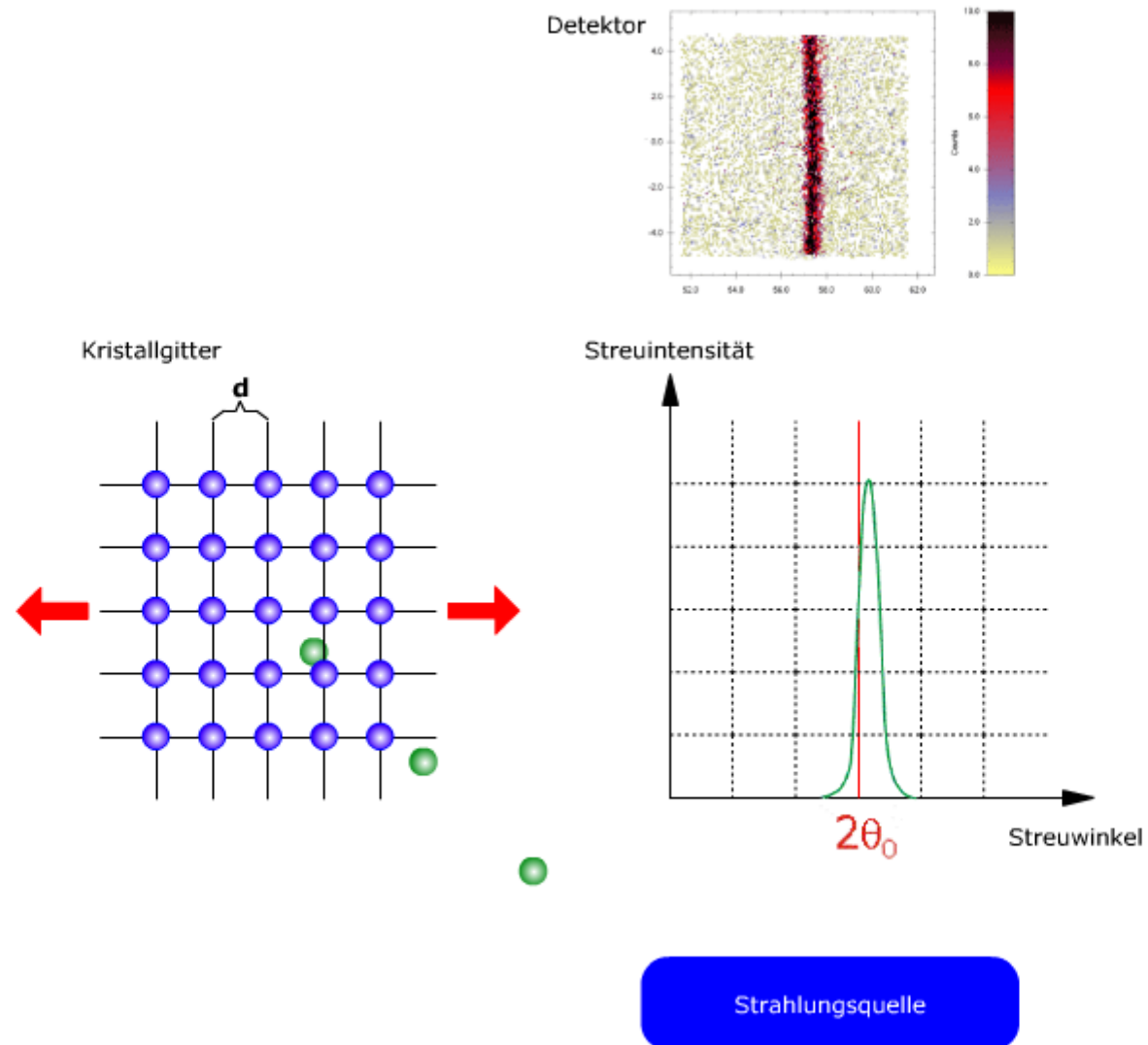
**Kalibrierung** von indirekten  
zfP Methoden (US, MM)

# Wellenphänomene – Interferenzen, Diffraktion





Interferenzmuster periodischer kristalliner Strukturen erlauben die präzise Ermittlung der Atomanordnung auf atomarer Skala

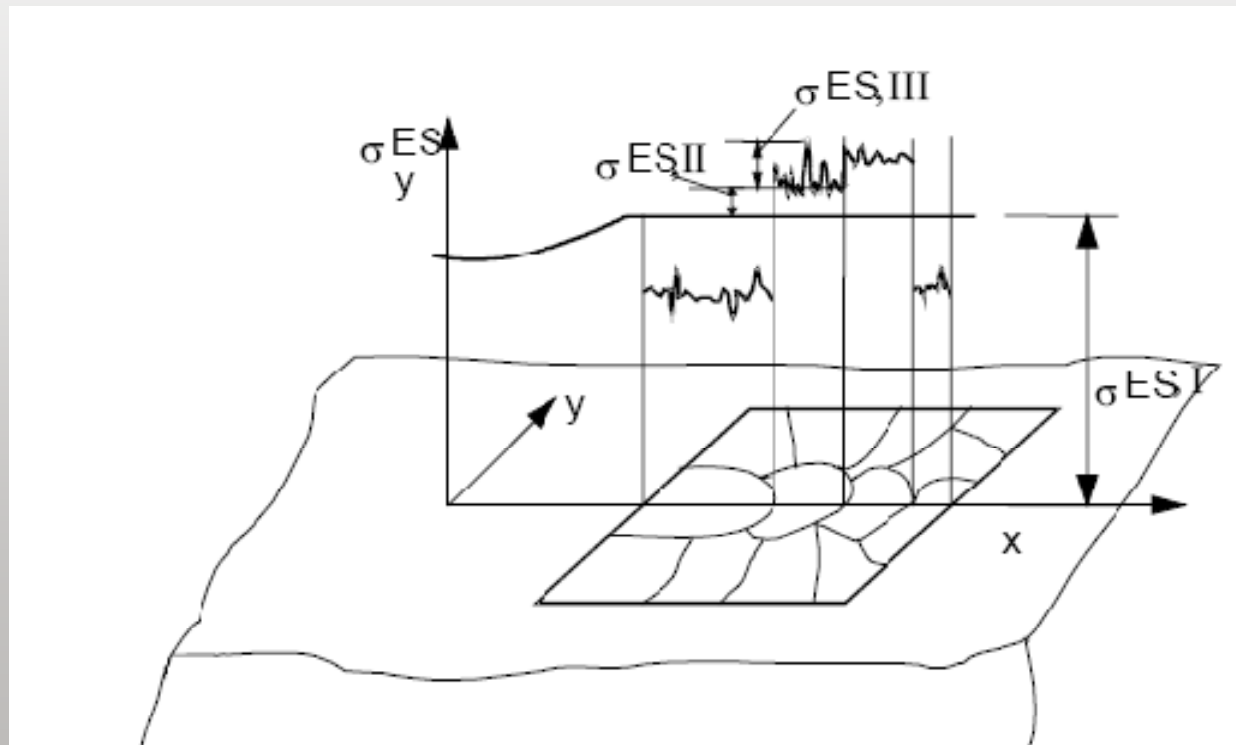




- **phasensensitiv** (z.B. Al/SiC)
- **quasi-zerstörungsfrei** (Prozessoptimierung)
- **Quantitative** Ermittlung der krist. Gitterdehnung
- **in-situ** Analysen von Phasen, Texturen, Spannungsverteilungen unter Variation der Proben-temperatur, äußerer Last, magnetischen Feldern, etc. ...

**A) Makro-Spannungen** auf makroskopischer Skala

**B) Mikro-Spannungen** auf der Skala der Korngrößen.  
Inter- bzw. intra-granulare Spannungen

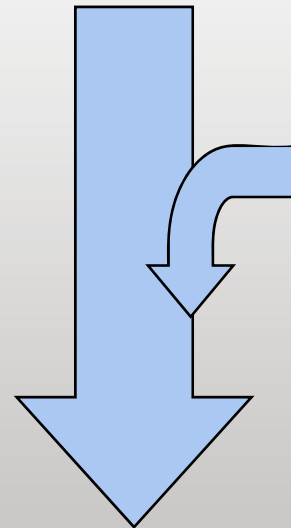




**Experiment:** lokaler Tensor der Gitterdehnung

Hooke'sches  
Gesetz

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl}$$



Elastische Moduli  
Textur  
Korn-Korn Wechselwirkung  
Randbedingungen

**Ergebnis:**

lokaler Spannungstensor

## Winkeldispersive Röntgen-Labormethoden

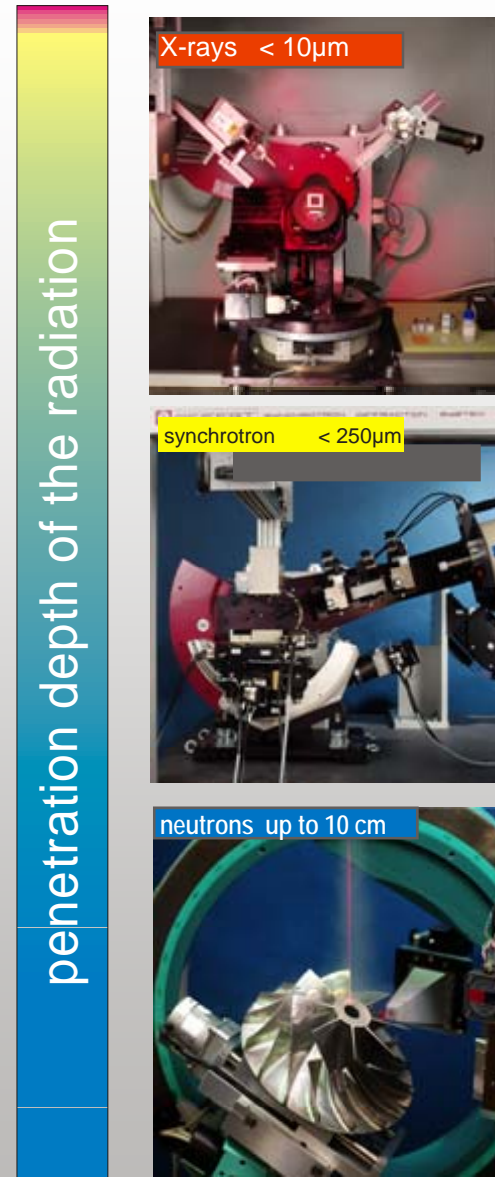
Zwei-achsige Oberflächen-Spannungszustände  
Dünne Schichten

## (Energiedispersive) Synchrotronstrahlung

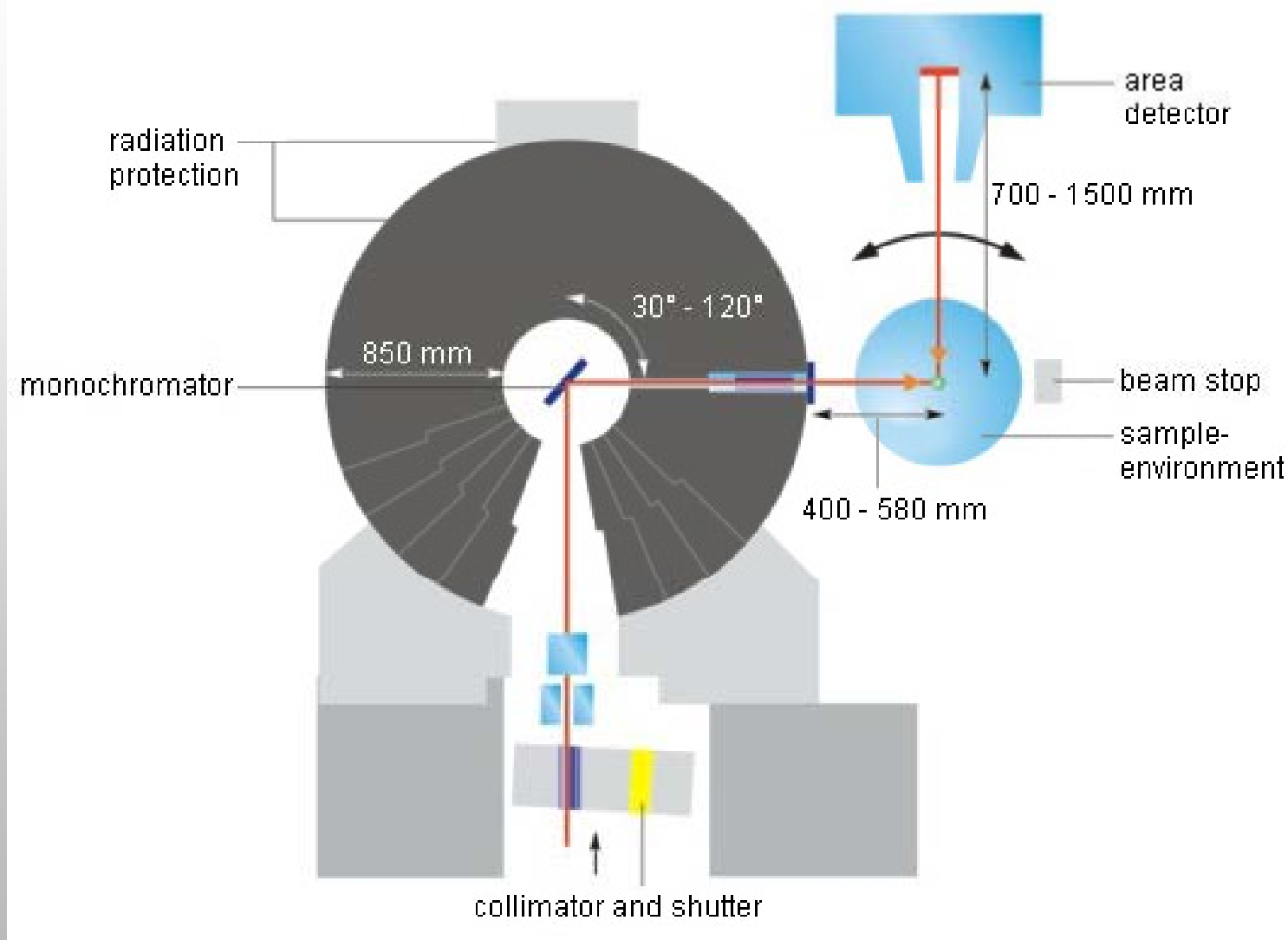
Spannungsprofile im Oberflächen-nahen Bereich  
aufgrund von Bearbeitungen (Härten,  
Kugelstrahlen, Schleifen, Beschichten etc.)

## Neutronenstrahlung

Zerstörungsfreie Ermittlung von drei-achsigen  
Eigenspannungszuständen selbst mehrere  
Zentimeter unterhalb der Bauteiloberfläche

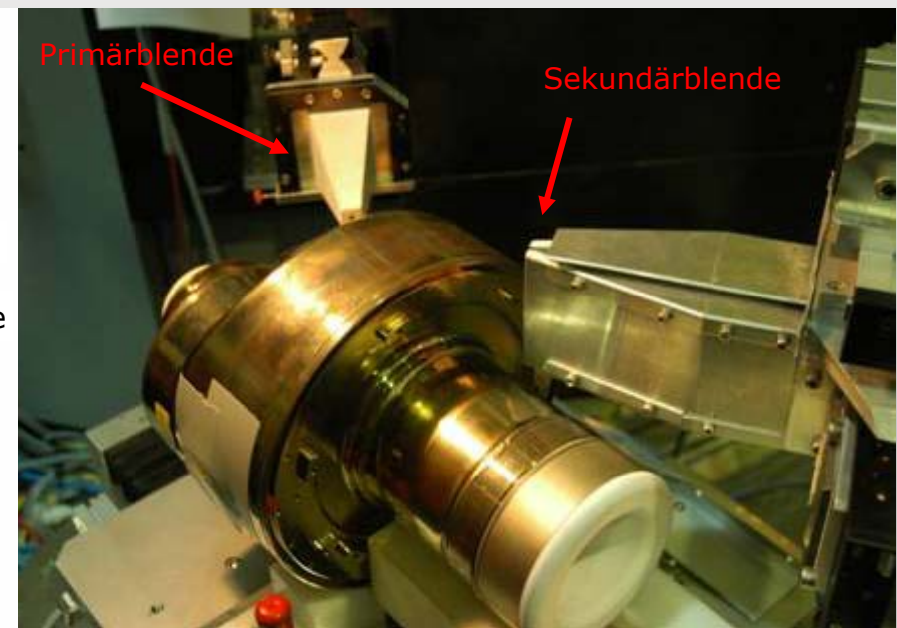
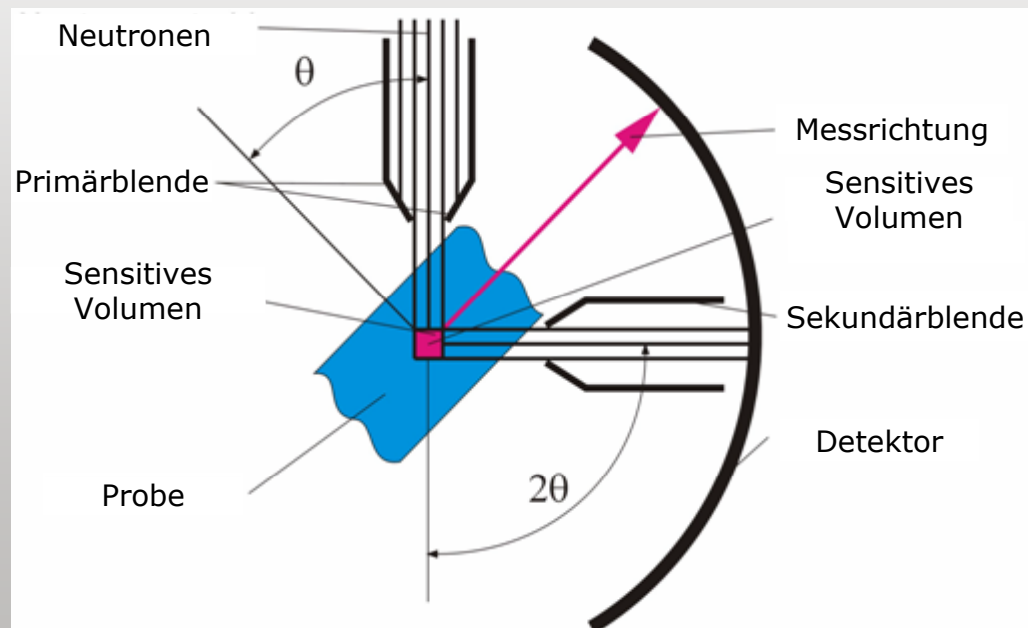


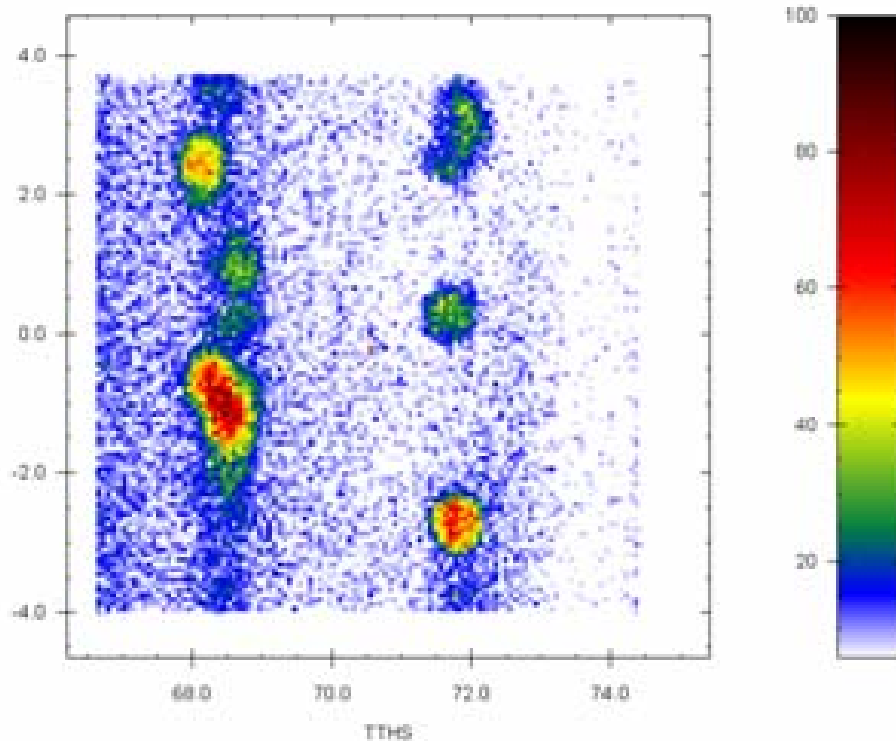
## StressSpec @ FRM II





## Ortsauflösende Messinformation durch Nutzung eines Blendensystems





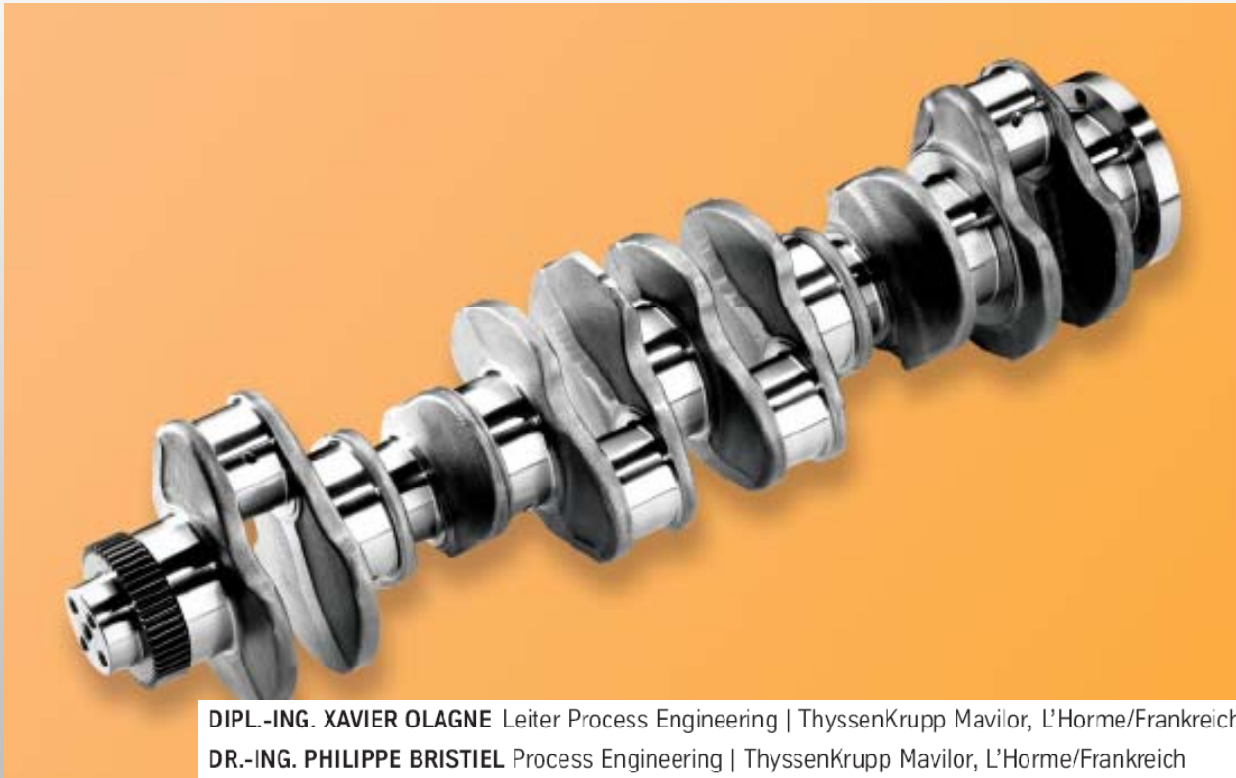
- Kann so nicht ausgewertet werden
- Was kann man tun:
  - a) Vergrößerung des Auflösungs Volumens
  - b) permanente Oszillation während der Messung (+/- 5° oder vollst. Rotation)
  - c) Einkorn Methoden



ThyssenKrupp

# techforum

Juli 2003



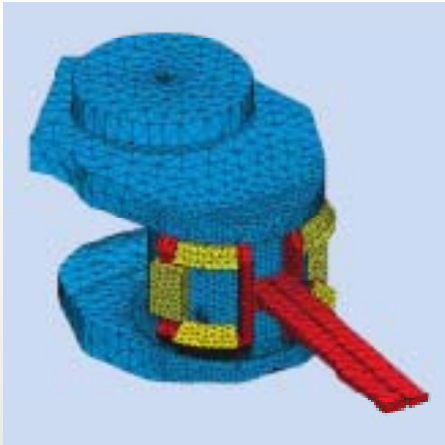
Ziel:

Dauerfestigkeit

Wirtschaftlichkeit

## FE-Simulation des Induktionshärteprozesses





## Induktionshärteprozesse:

- 1) Erhitzen
- 2) Abschrecken
- 3) Anlassen

## Prozessparameter:

Induktordesign

Erhitzungsenergie

-frequenz

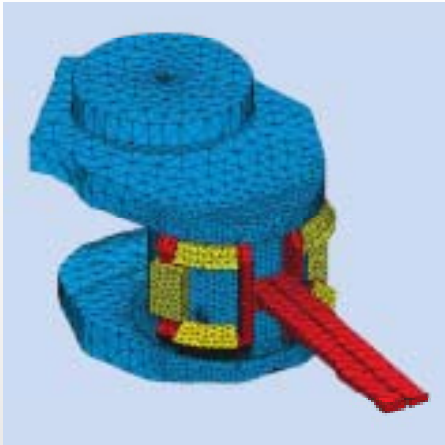
-dauer

Durchfluss und Temperatur des Abschreckmittels

Anlasstemperatur und -dauer

## Herausforderung: Modellbildung

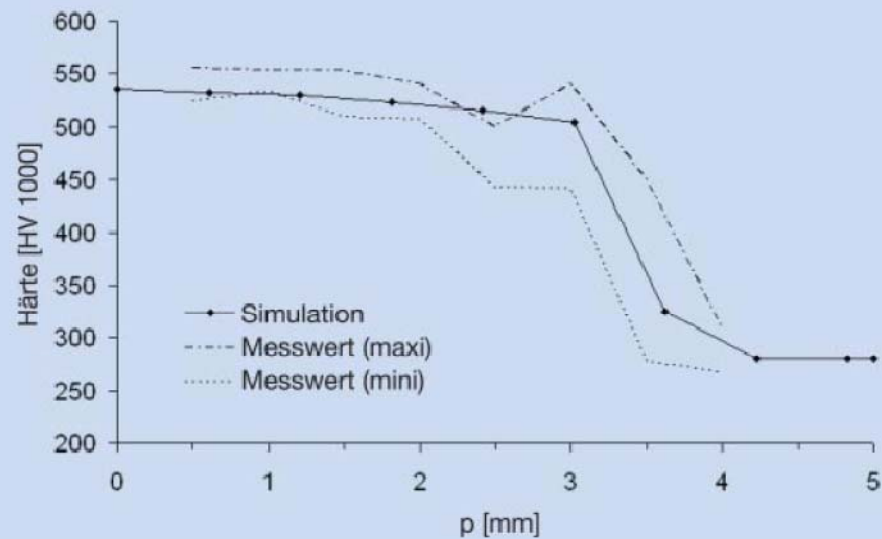
- komplexe 3D Geometrie
- gekoppelte zeit- und temperaturabhängige Werkstoffeigenschaften (elektromagnetische, wärmeübertragungstechnische, kristallographische, mechanische)



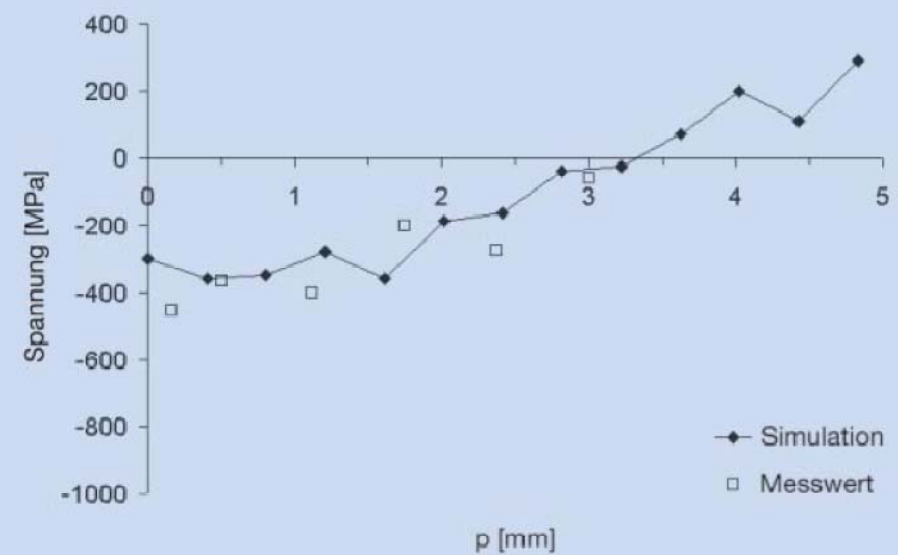
## Induktionshärteprozesse:

- 1) Erhitzen
- 2) Abschrecken
- 3) Anlassen

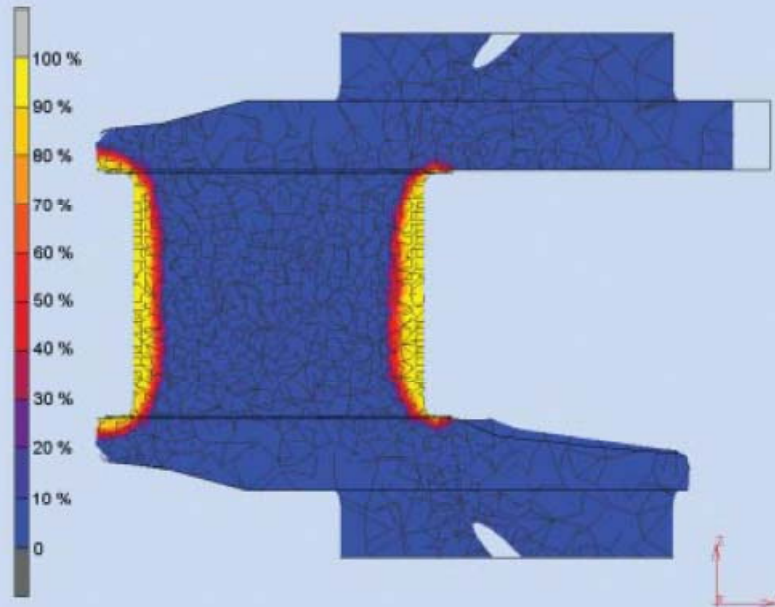
Härte-Tiefenprofil



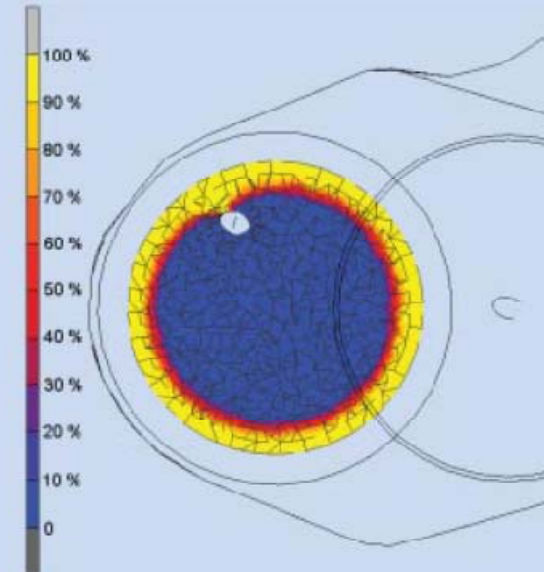
Tiefenprofil der Axialbeanspruchungen



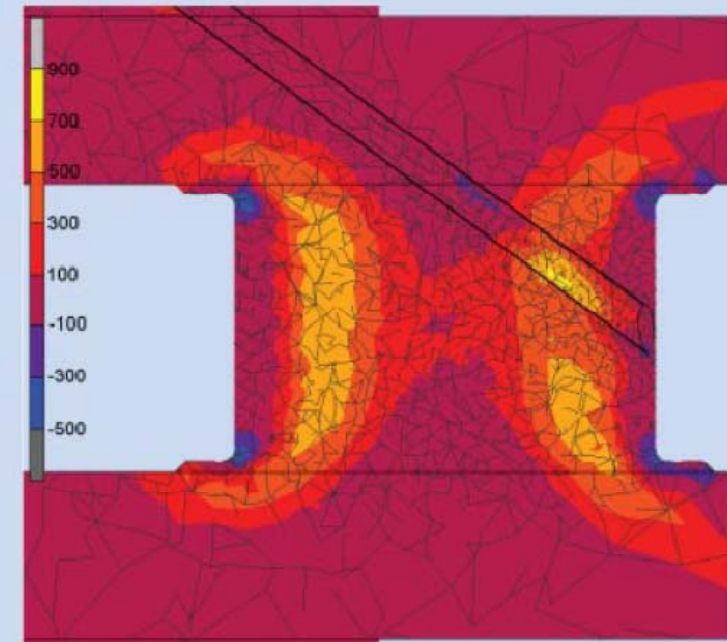
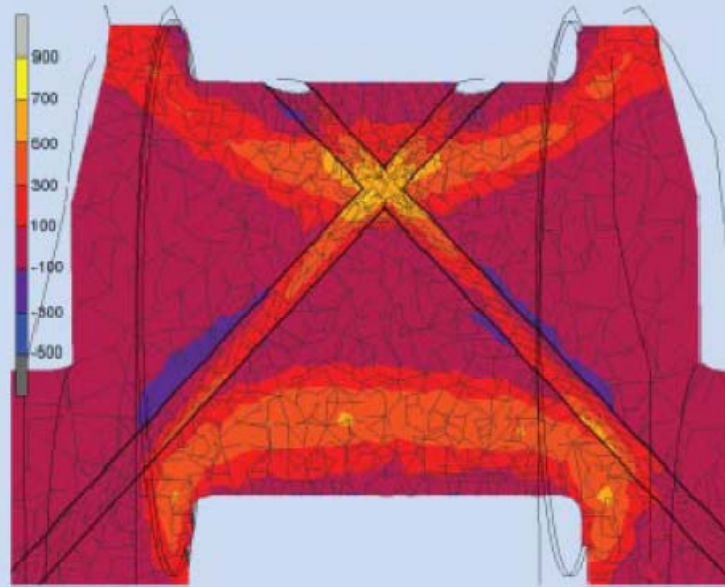
Axialschnitt



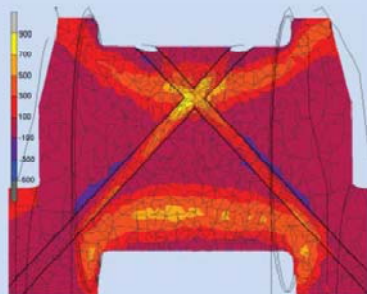
Querschnitt

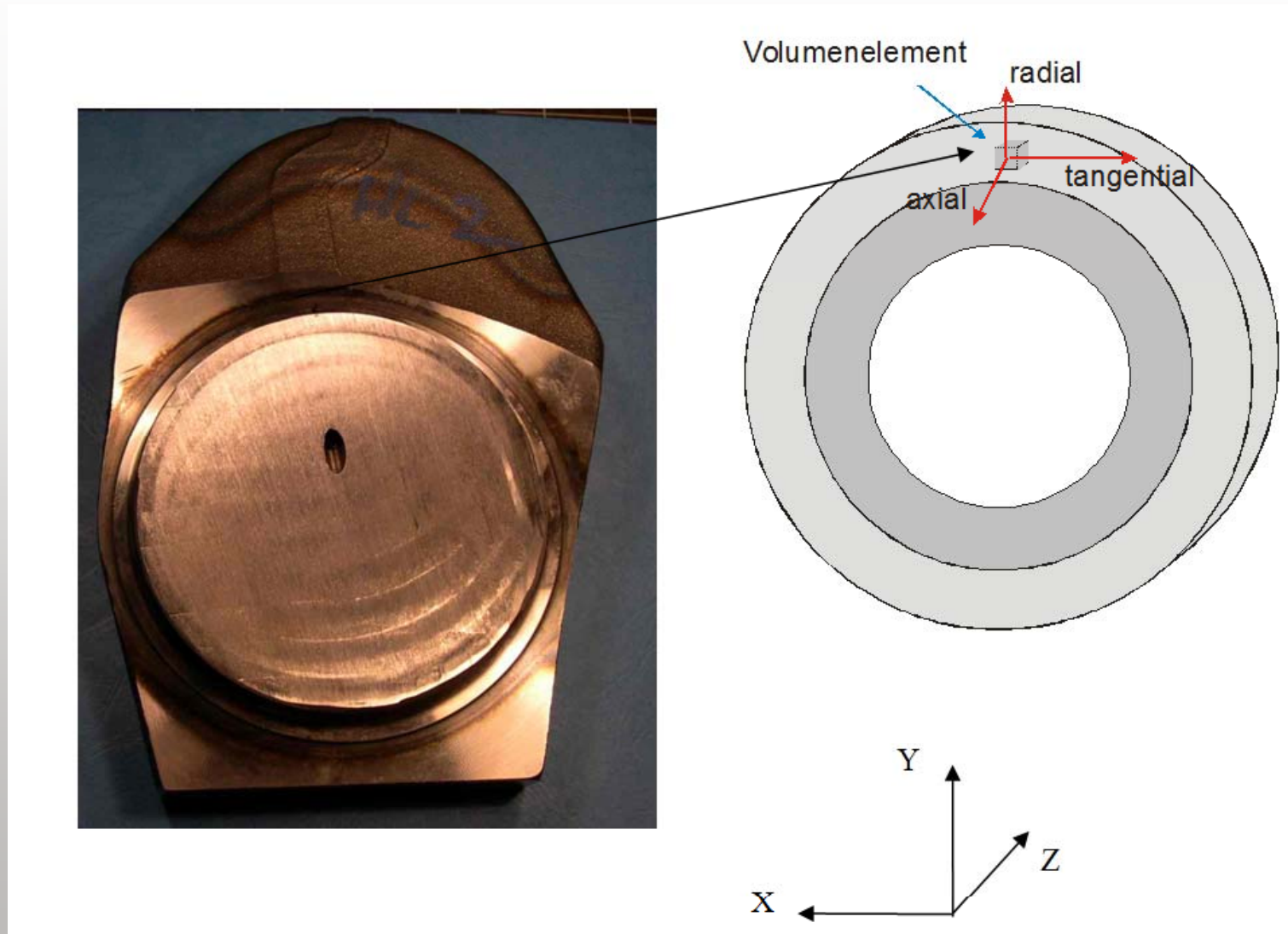


Eigenspannungen nach Härten und Anlassen

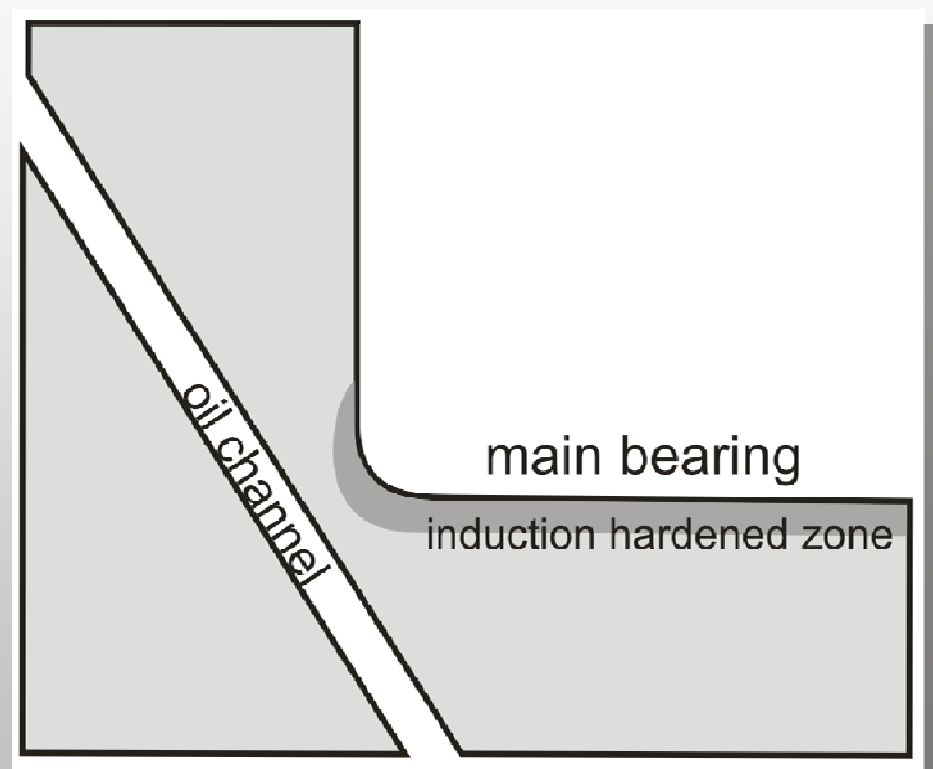
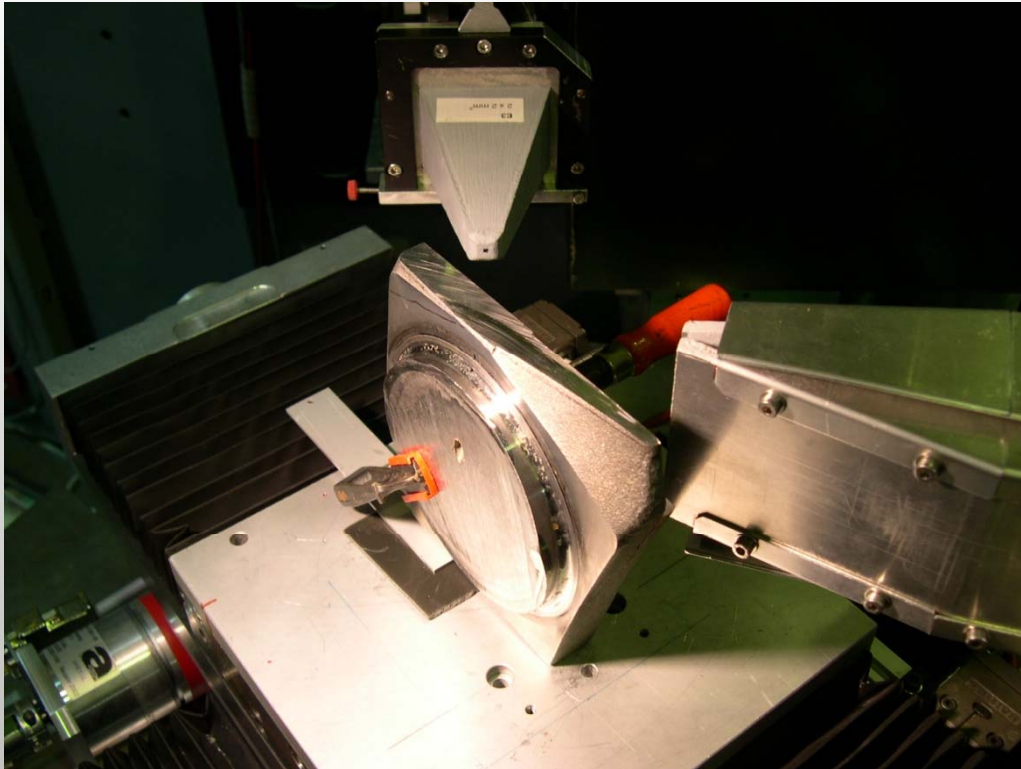


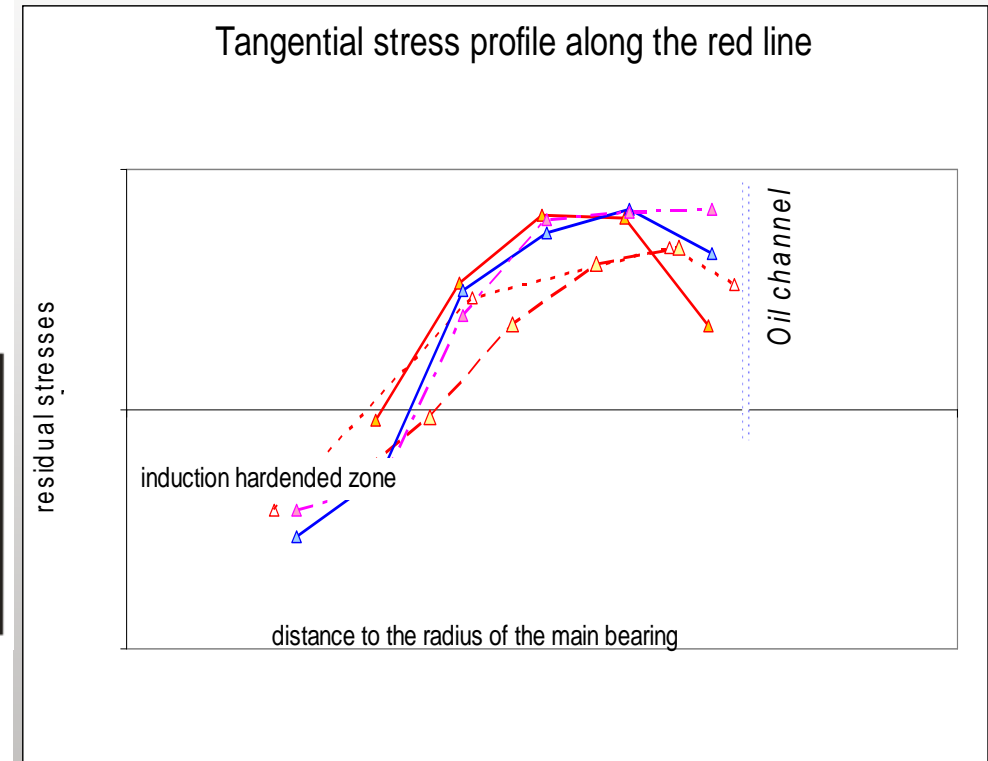
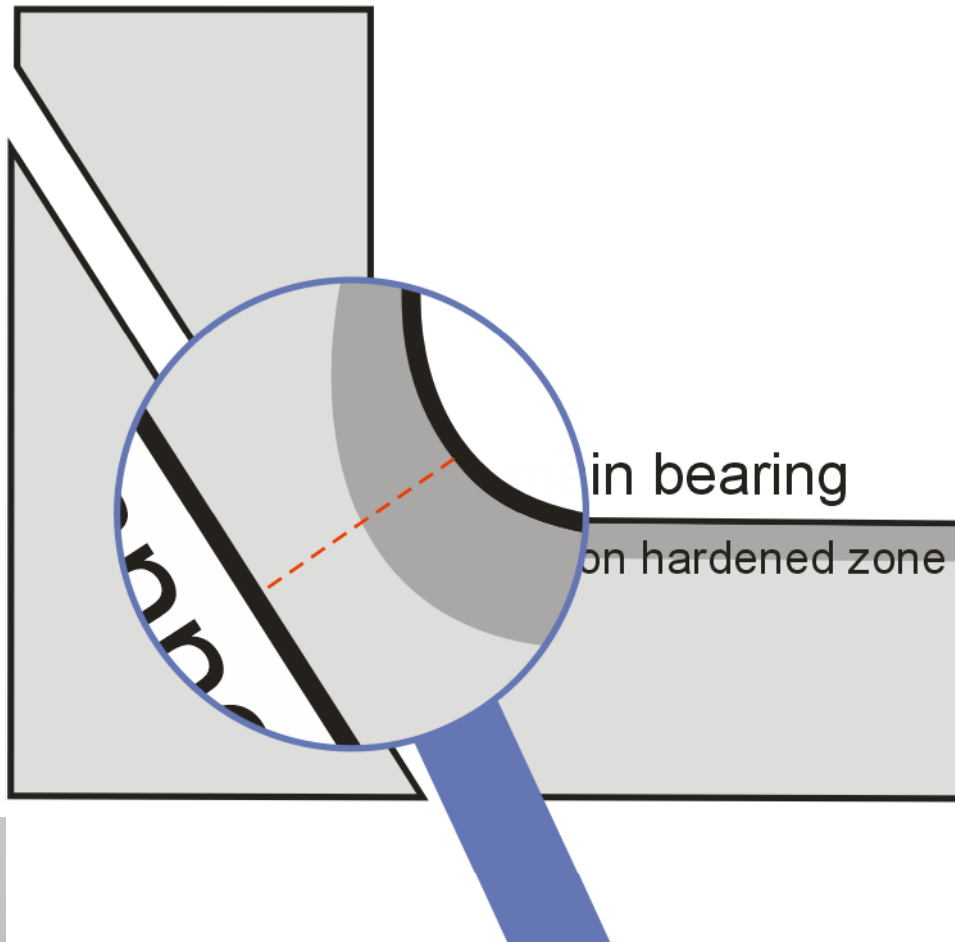
Eigenspannungen und Torsions-Betriebsbelastungen







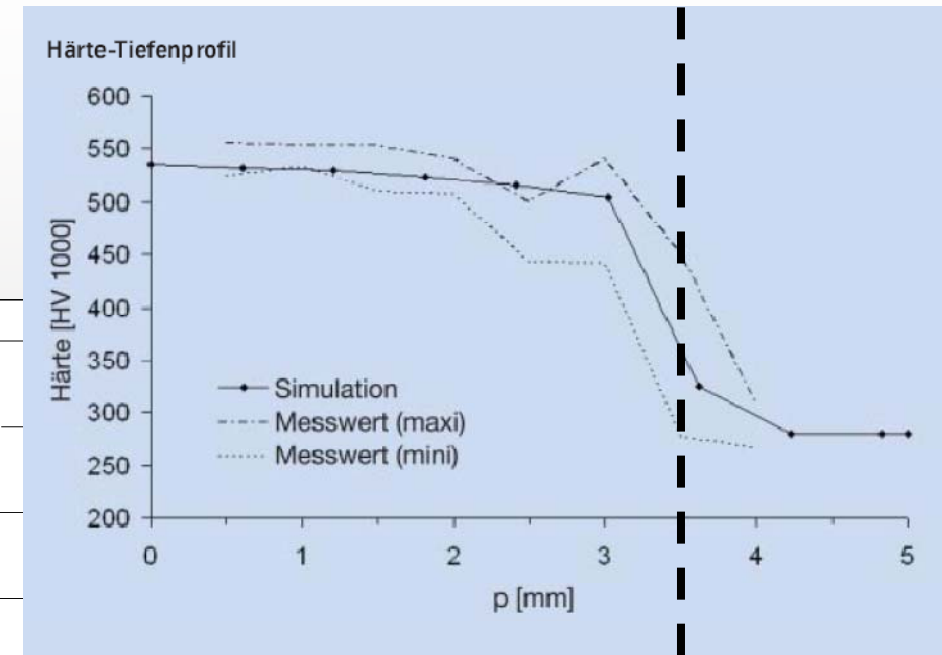
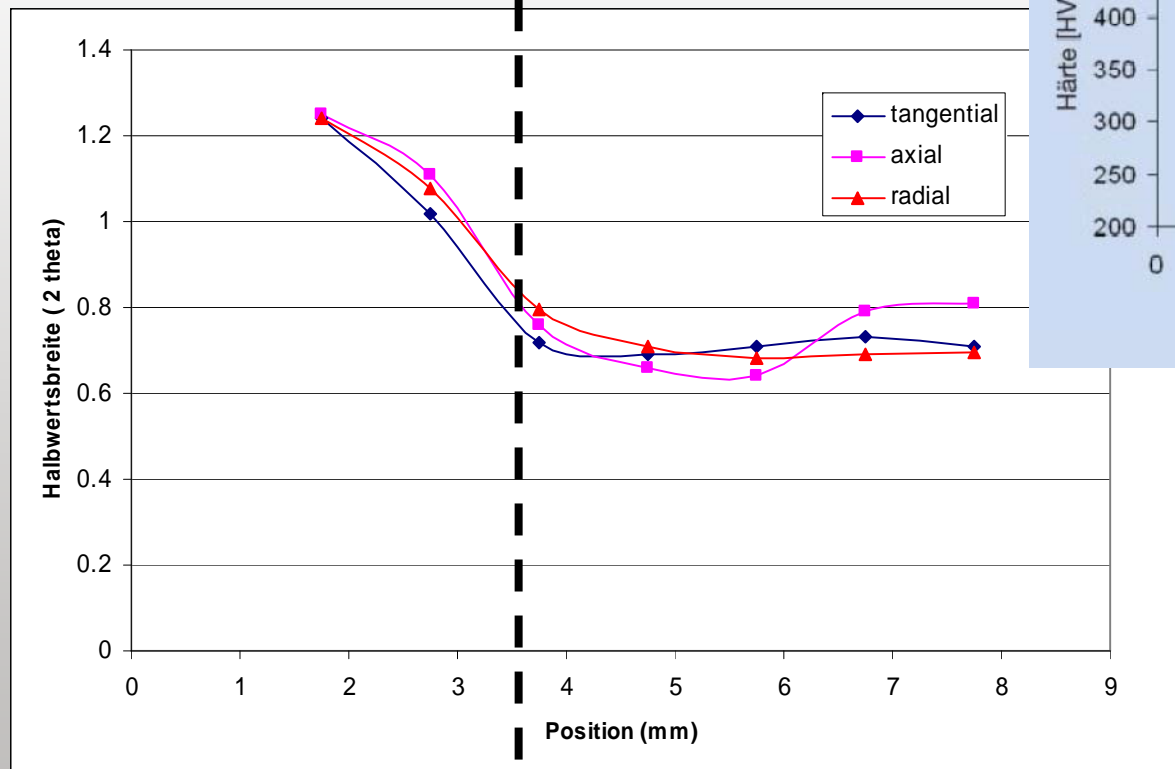




R. Wimpory, M. Hofmann, T. Poeste



# Peakbreite $\sim$ Martensit-Gehalt



## “Outcome”

- 1) Maximierte Bauteilzuverlässigkeit und Dauerfestigkeit
- 2) erhebliche Kostenreduzierung sowie Senkung der Vorlaufzeiten für die Produktentwicklung
- 3) besseres Verständnis und breiteres Fachwissen als Quelle für neue Verbesserungsideen

## We are partners for Industry

For intelligent component development it is essential to optimize production processes in order to fine-tune stress distributions. In this way the product performance and lifetime can be strongly improved.

### Our service

From the surface to deep within highly exposed industrial components the complementary use of phase-sensitive diffraction methods allows the non-destructive determination of spatially-resolved residual stress profiles in a unique way (combination of X-rays, Synchrotron rays and Neutrons).

Neutron diffraction especially allows the realization of characteristic process environments (such as temperature, load and atmosphere etc.).

### Our current partners

(here is a selection in alphabetical order)

Audi AG

DaimlerChrysler AG

E.ON - The Integrated Power and Gas Company

European Aeronautic Defence and Space Company (EADS)

Ford GmbH

MAN E&W GmbH

MTU Aero Engines GmbH

Philips Germany GmbH

Robert Bosch GmbH

SKF Bearings

Volkswagen AG

### Contact STRAINET

Co-ordinator /  
Scientific Contact  
HMI

**Dr. Rainer Schneider**  
schneider-r@hmi.de

Scientific Contact  
FRM II

**Dr. Michael Hofmann**  
michael.hofmann@frm2.tum.de

Scientific Contact  
ETH Zurich / PSI

**Dr. Uwe Stuhr**  
uwe.stuhr@psi.ch

Scientific Contact  
TEXMAT

**Prof. Dr. Heinz-Günter Brokmeier**  
heinz-guenter.brokmeier@tu-clausthal.de

Network Office

**Diana Näcke**  
diana.naecke@hmi.de

Phone  
Fax

+49 30 8062 3095  
+49 30 8062 3195

Address

**STRAINET**  
at Hahn-Meitner-Institut Berlin

Glienicker Strasse 100  
D-14109 Berlin  
Germany

Web

[www.strainet.com](http://www.strainet.com)



**RESIDUAL STRESS AND  
TEXTURE ANALYSIS FOR  
INDUSTRIAL PARTNERS**

Non-destructive | Spatially-resolved | Phase-sensitive

**STRAINET**

## Neutronen- und Synchrotronmethoden sind

- 1) **Referenzmethoden**
- 2) Ein **starkes Werkzeug** in der **Produkt- bzw. Prozessoptimierung** in Kombination mit **Simulationsverfahren** sowie konventioneller zFP
- 3) in vielen Fällen ist ihr Einsatz nachweislich **erfolgreich** und **wirtschaftlich!**
- 4) **schnell verfügbar** durch Facility-Pooling (STRAINET)

# Großforschungszentren im Verbund ein starkes Werkzeug für die Ingenieure!

