

# Bauteilspannungen messen – was darf diese Qualitätssicherung kosten?



Dr. Christian Grünzweig  
CEO ANAXAM

Info & Networkingveranstaltung  
*QSmetalAM*

«Additive Manufacturing» Was darf Mehrwert kosten?  
PSI, 29. Juni 2023

**anaxam**  
analytics for advanced manufacturing



- ✘ ... ist ein **Wissens- und Technologietransferzentrum**.
- ✘ ... wurde 2019 vom **Paul Scherrer Institut (PSI)**, der **Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)**, dem **Swiss Nanoscience Institute (SNI)** und dem **Kanton Aargau** gegründet.
- ✘ ... bietet der Industrie Zugang zu fortschrittlichen **Analytikmethoden mit Neutronen- und Synchrotronstrahlung** (Röntgenstrahlung) vor allem am Paul Scherrer Institut (PSI), die ursprünglich für die Grundlagenforschung entwickelt wurden.





«Advanced Manufacturing»

«Additive Manufacturing»



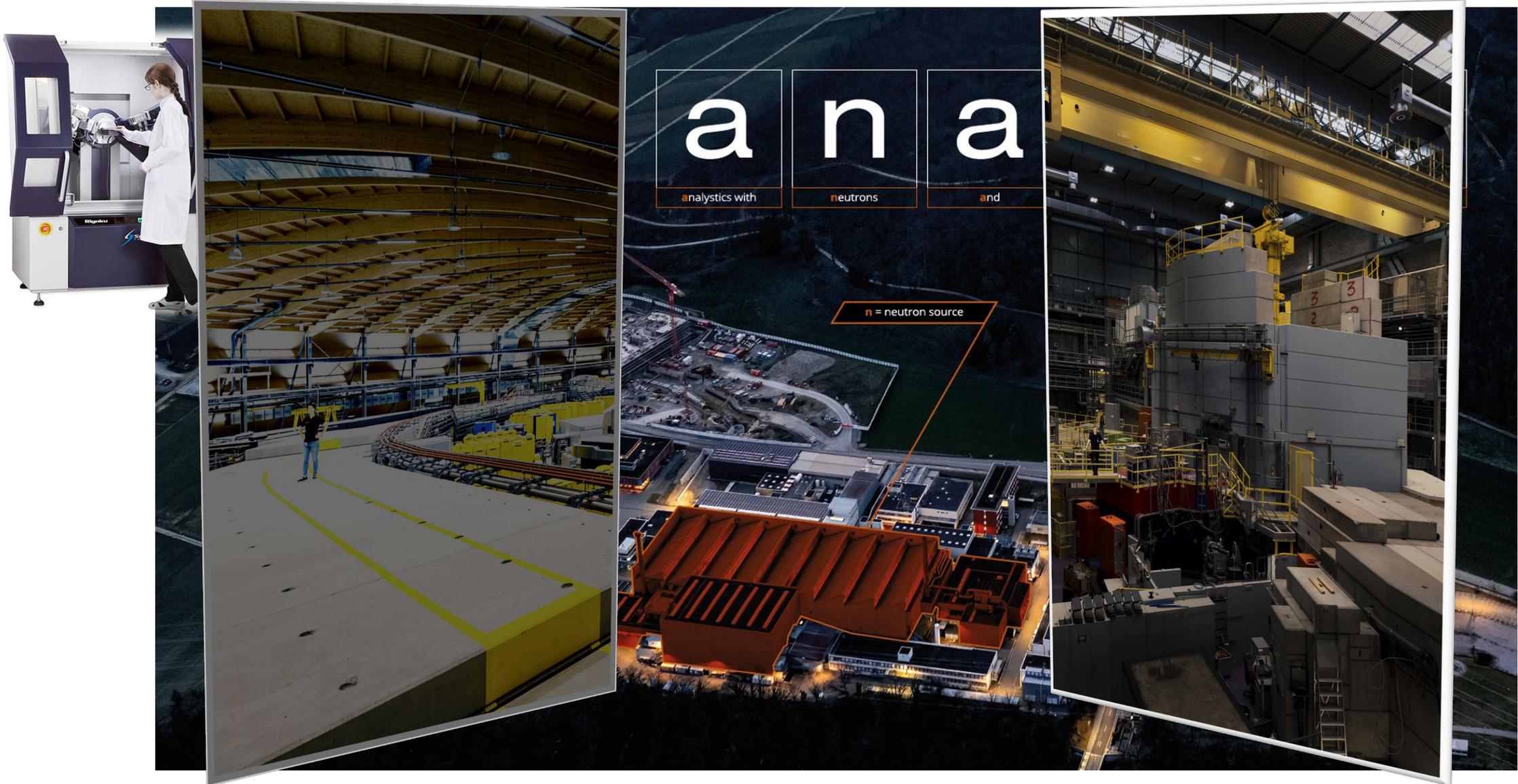
«Fachbereiche»

- Chirurgie
- Innere Medizin
- **Radiologie**
- Kardiologie
- Neurologie
- ...



«Leistungsangebot»

<p><b>Bildgebend-gesteuerte Interventionen</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>Computertomographie (CT)</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>Diagnostik von Brusterkrankungen</b> Mammographie und stereotaktische Mammotomie Zum Leistungsangebot</p>
<p><b>Durchleuchtung</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>Gefäßdarstellungen und -interventionen</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>Knochenlichtmessung (DEXA)</b> Zum Leistungsangebot</p>
<p><b>Konventionelles Röntgen</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>MRI (Magnetresonanztomographie)</b> Zum Leistungsangebot</p>	<p><b>Neuroradiologie</b> Erkrankungen im zentralen und peripheren Nervensystem Zum Leistungsangebot</p>



**Bildgebung**

- 3D Materialverteilungsanalyse
- Defekt- und Porositätsanalyse in 3D
- Wandstärkenanalyse in 3D
- 3D Soll-Ist-Vergleichsanalyse
- Reverse Engineering

**Diffraktion & Streuung**

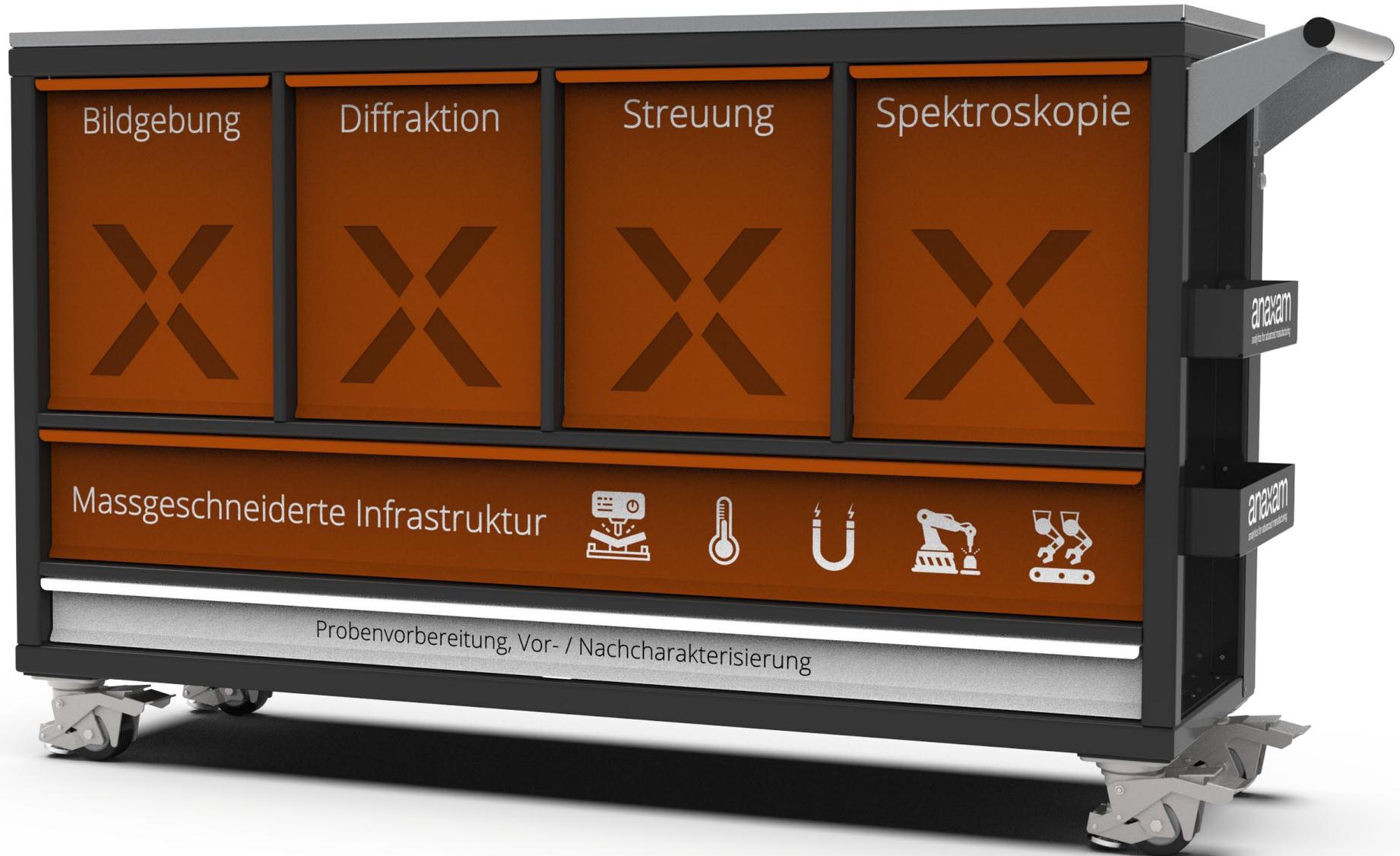
- Atomare Phasen- und Strukturcharakterisierung
- Eigenspannungsanalyse
- Morphologische Charakterisierung

Graphit      Diamant

**Spektroskopie**

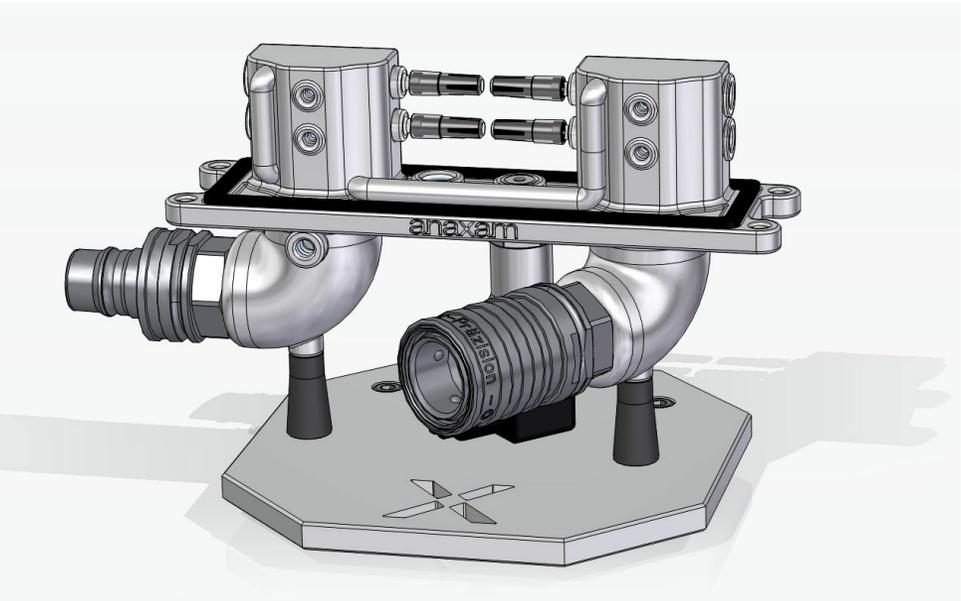
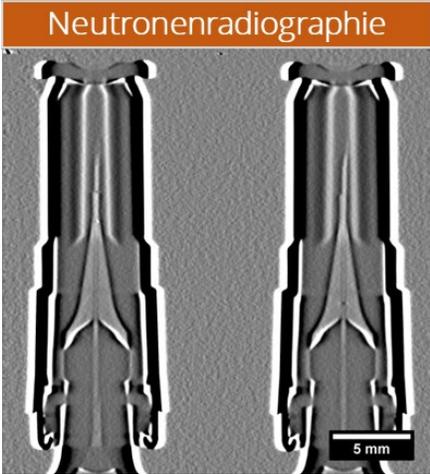
- Chemische Bildgebungsanalyse
- Chemische Charakterisierung

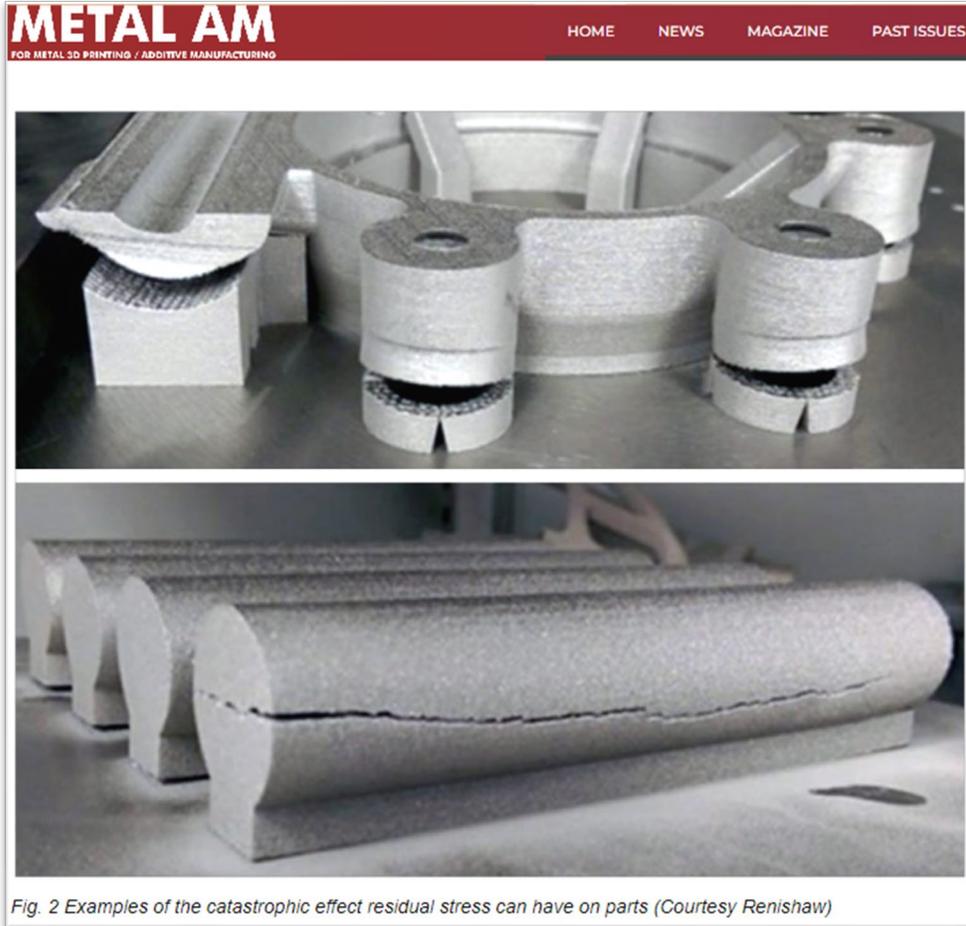
**Massgeschneiderte Infrastruktur**      «...um die Kundenrealität zu reproduzieren»



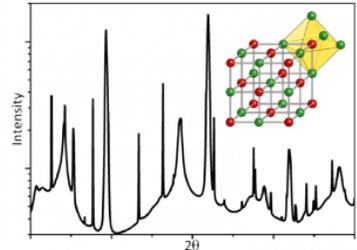


# Auch wir benutzen metalAM !





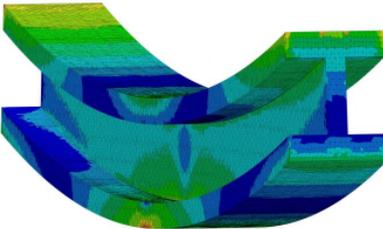
### Atomare Phasen- und Strukturcharakterisierung



The figure shows an X-ray diffraction (XRD) pattern with 'Intensity' on the y-axis and '2θ' on the x-axis. To the right of the pattern is a 3D ball-and-stick model of a crystal lattice structure with red and green spheres representing different atoms.

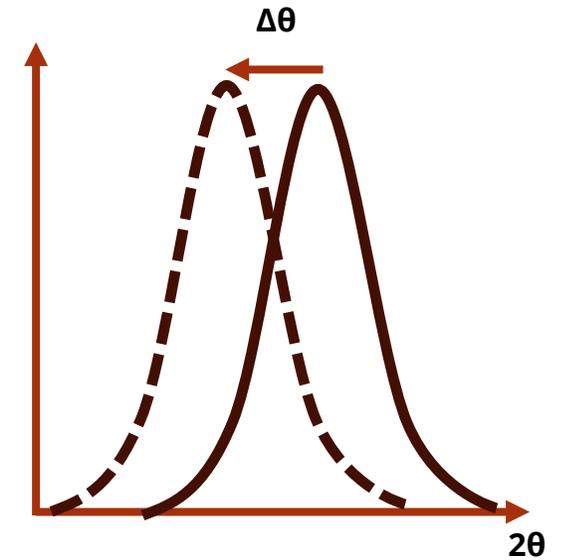
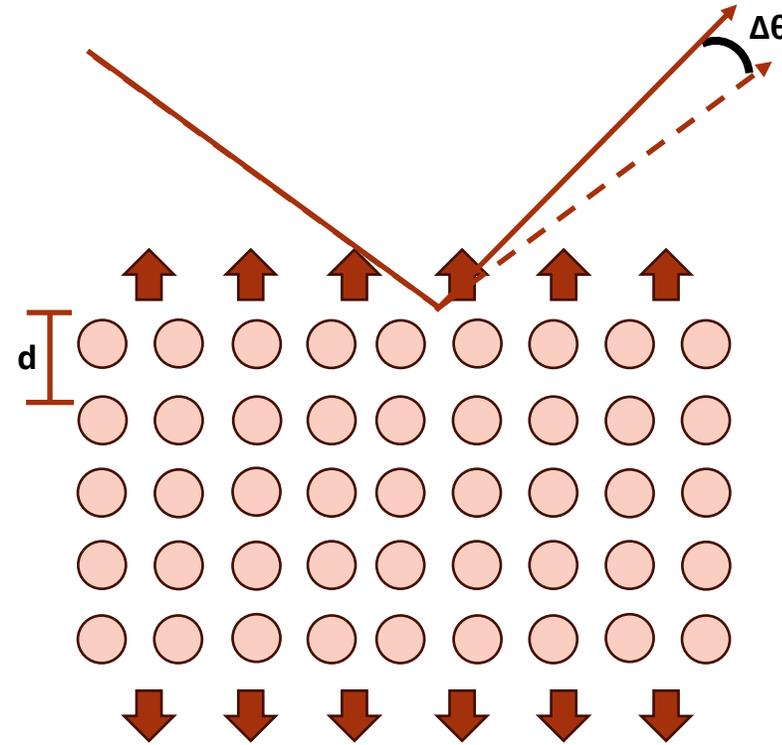
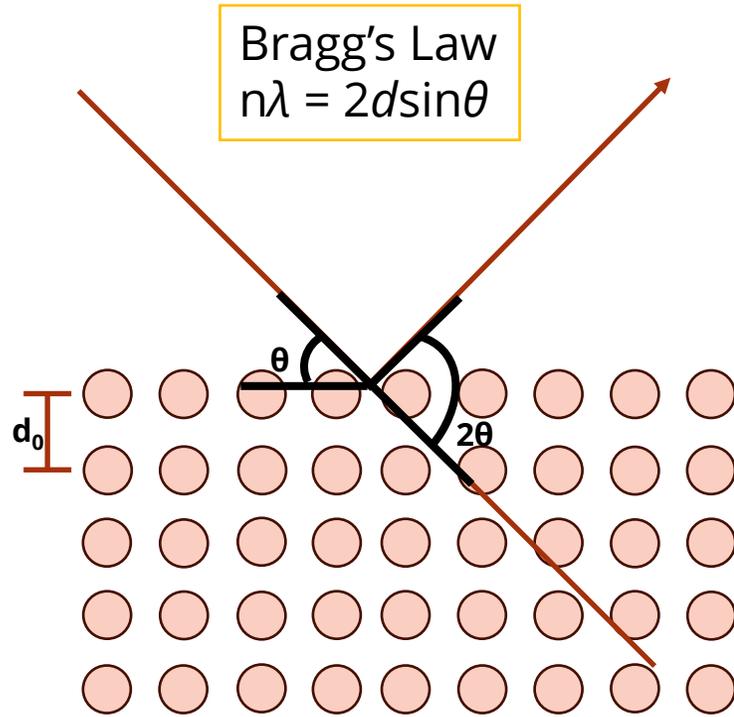
- Identifizierung der verschiedenen Phasen, sowie ihr Volumenanteil
- Charakterisierung der Korngrößen
- Charakterisierung von Texturen

### Eigenstressanalyse



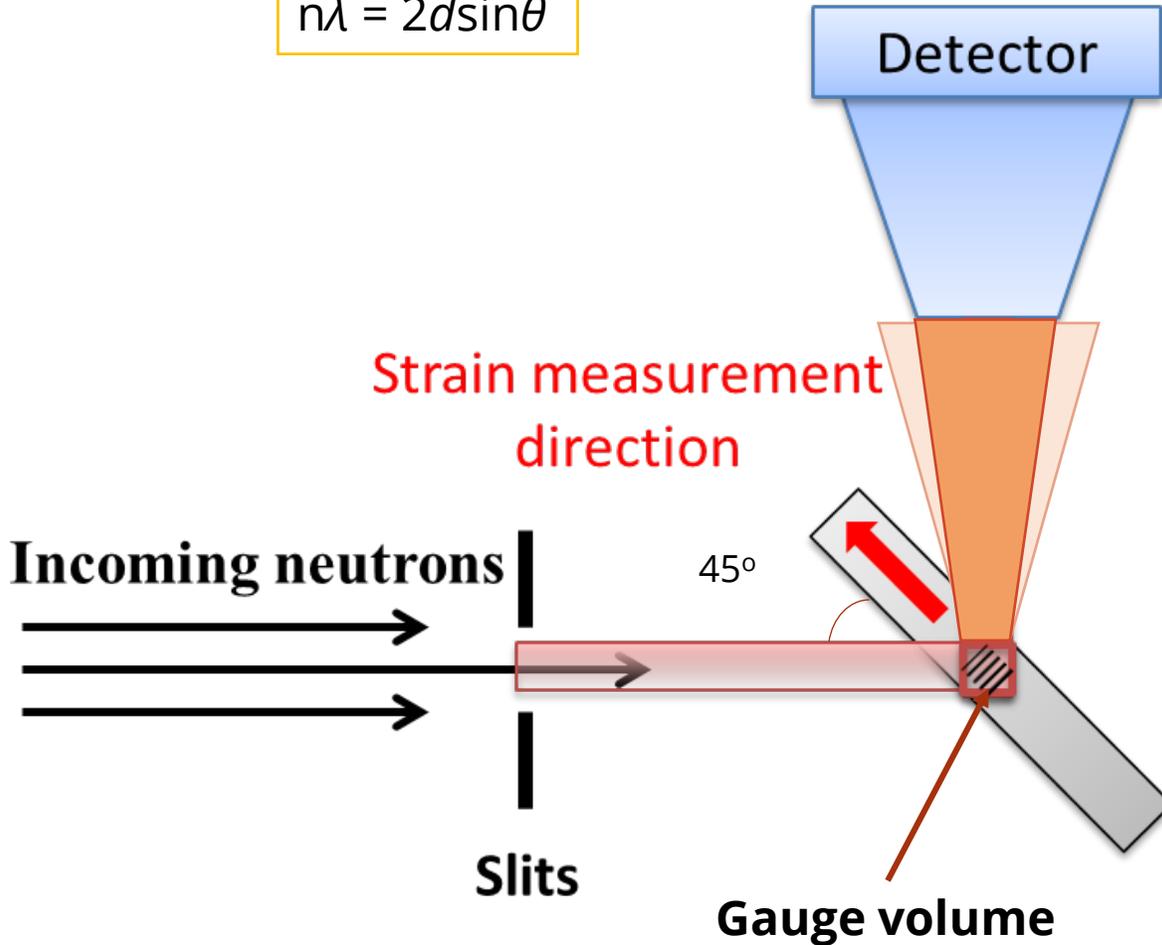
The figure shows a 3D visualization of a mechanical part with a color-coded stress distribution. The colors range from blue (low stress) to red (high stress), highlighting areas of high residual stress.

- Quantitative Analyse der Spannungen in Proben
- Differenzierung von Regionen mit unterschiedlichen Eigenstressungen





Bragg's Law  
 $n\lambda = 2d\sin\theta$



✗ Strain lässt sich berechnen aus

$$\varepsilon_{hkl} = \frac{d_{hkl} - d_{0,hkl}}{d_{0,hkl}}$$

✗ Spannungen lassen sich berechnen mit Generalisierte Hooke's Law

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{pmatrix} 1 - \nu & \nu & \nu \\ \nu & 1 - \nu & \nu \\ \nu & \nu & 1 - \nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \end{pmatrix}$$

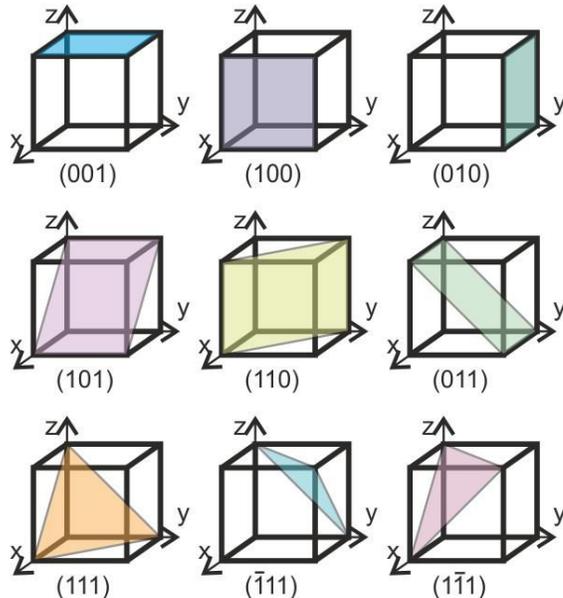
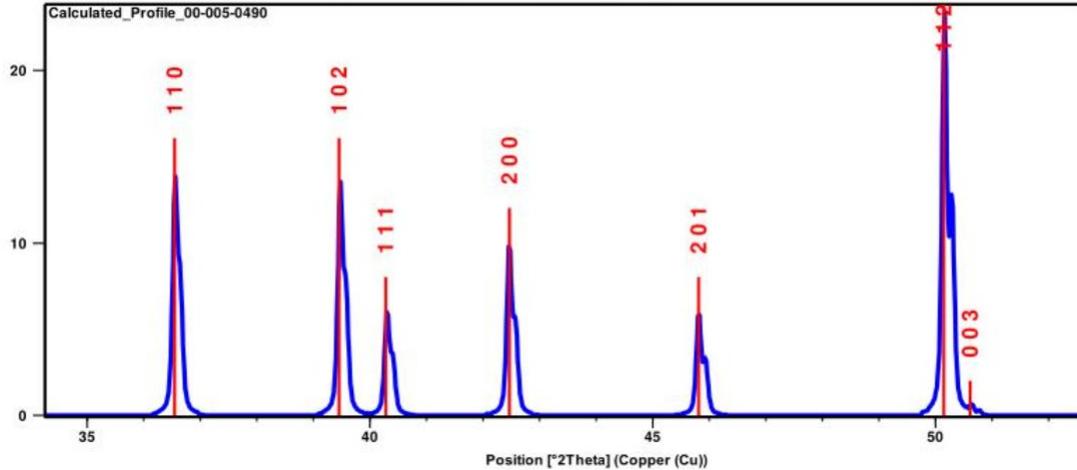
**$\sigma$**  – stress components

$E$  – Young's modulus

$\nu$  – poisson's ratio



## Diffraction Pattern of Cu



Miller Indices ( $hkl$ )

✗ Strain lässt sich berechnen aus

$$\varepsilon_{hkl} = \frac{d_{hkl} - d_{0,hkl}}{d_{0,hkl}}$$

✗ Spannungen lassen sich berechnen mit Generalisierte Hooke's Law

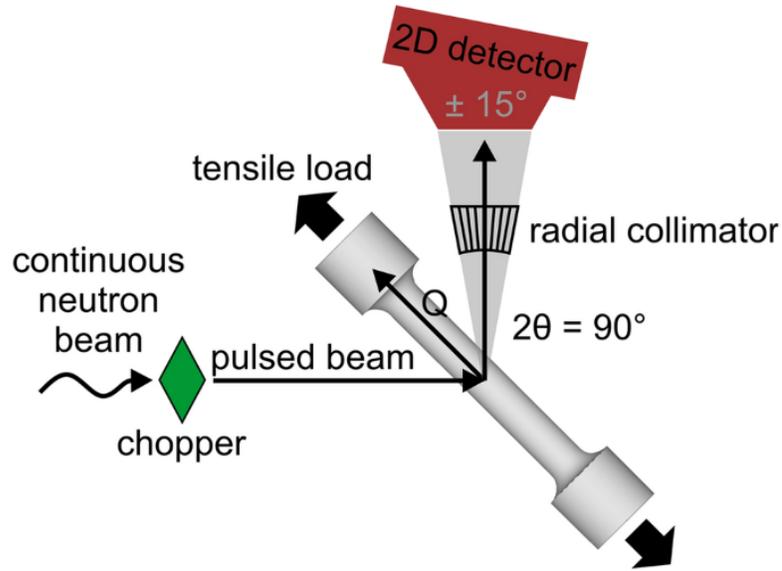
$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{pmatrix} 1 - \nu & \nu & \nu \\ \nu & 1 - \nu & \nu \\ \nu & \nu & 1 - \nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \end{pmatrix}$$

$\sigma$  – stress components

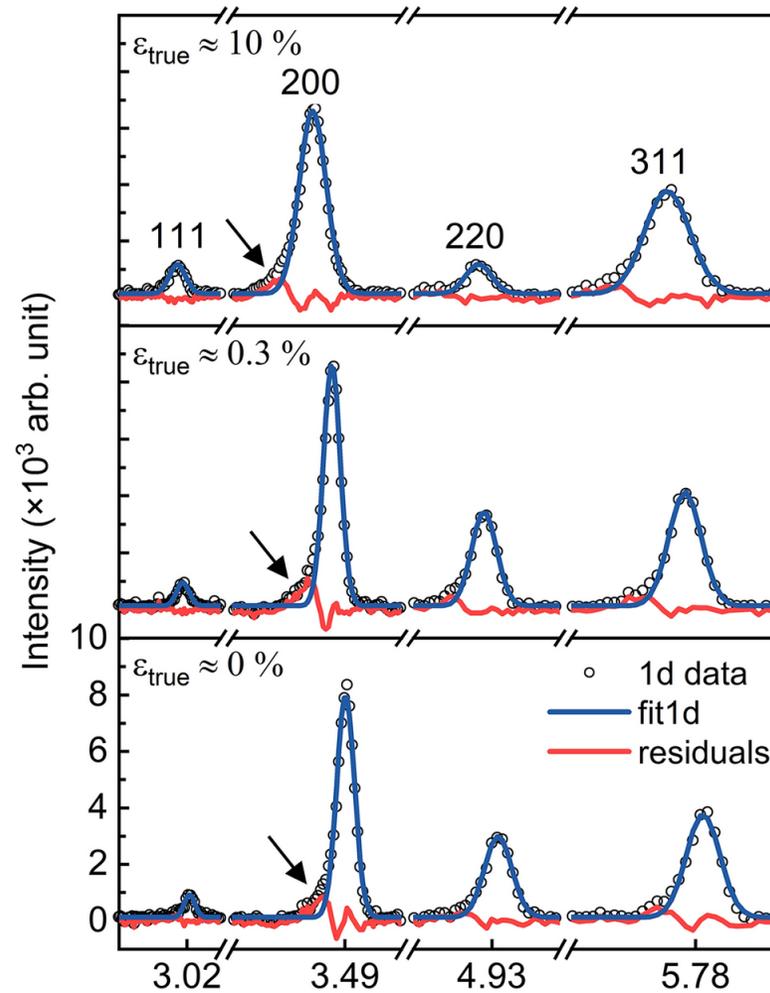
$E$  – Young's modulus

$\nu$  – poisson's ratio

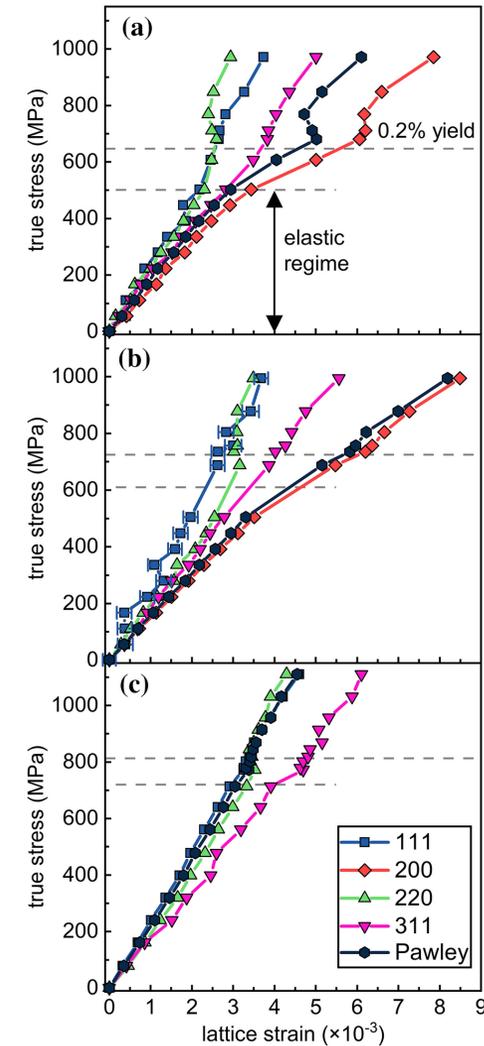
## In-situ tensile test at POLDI



## Diffraction pattern with different strain

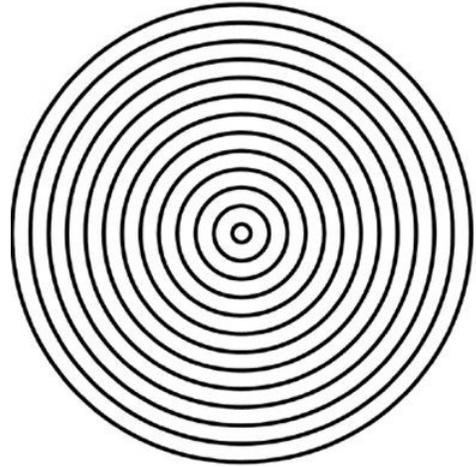


## True stress–lattice strain for different build direction

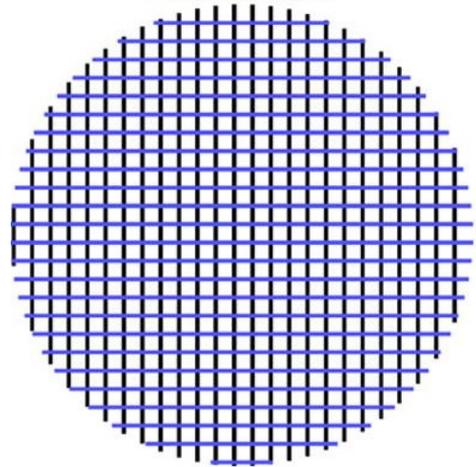


Printing strategy

Concentric CO

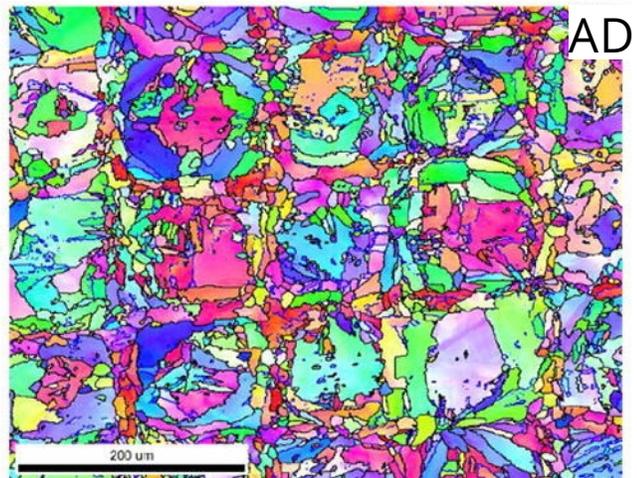
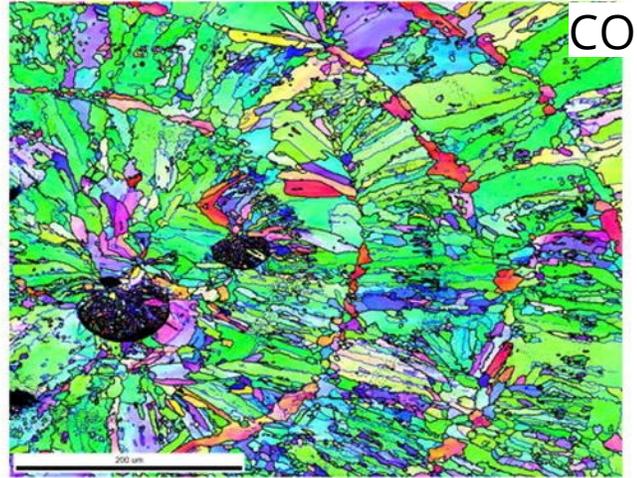


Alternate AD

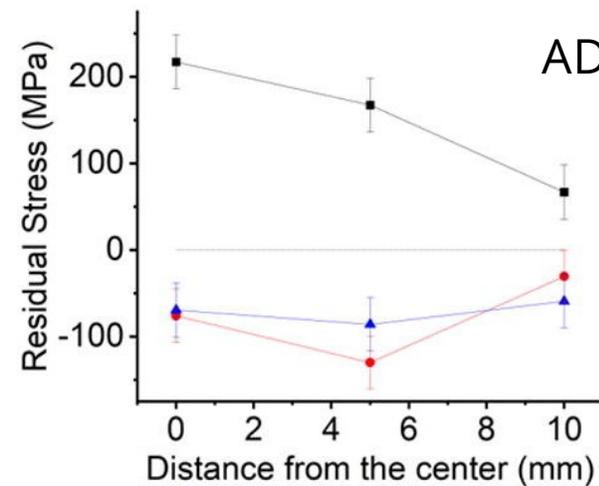
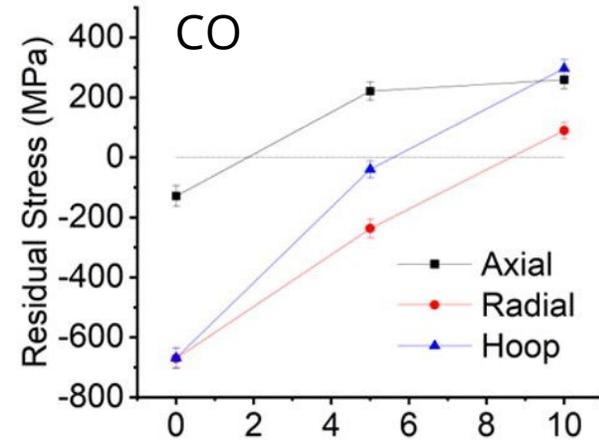


EBSD

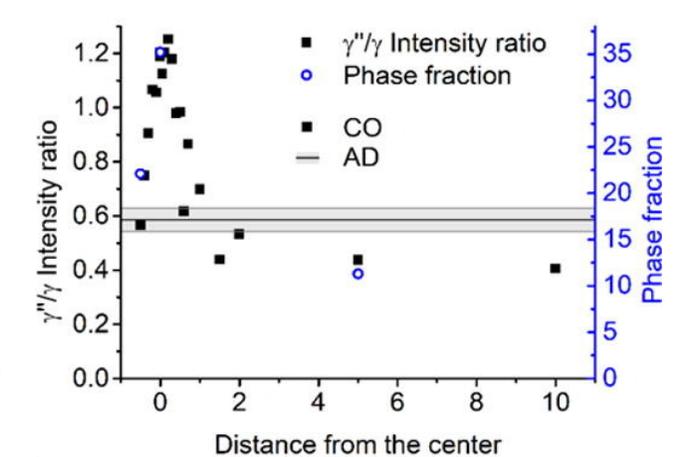
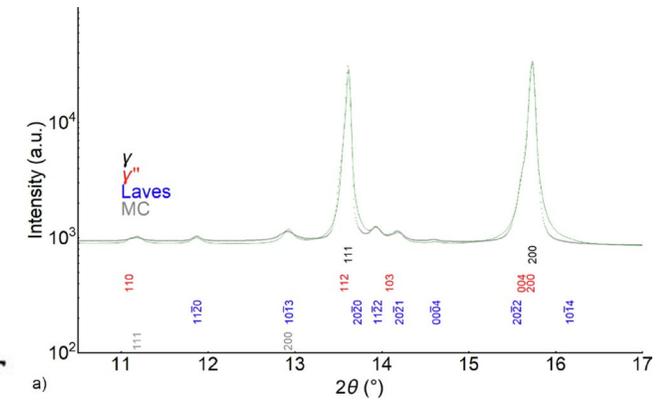
Microstructures



Neutron Diffraction  
Residual Stress



Synchrotron Diffraction  
Phase Fraction





## Untersuchung der Dichtheit von additiv gefertigten Bauteilen mittels Neutronen Diffraktion und Synchrotron-CT

condenZero GmbH

Starttermin: 01.04.2021 Industrie: Additive Fertigung (3D-Druck)

Technik: Neutronen Diffraktion und Synchrotron-CT

“ Die additive Fertigung (AM) ist ein Schlüsselprozess in unserer Produktionskette und die Vakuumdichtigkeit unserer Bauteile ist von entscheidender Bedeutung. Dank ANAXAM wurden modernste Analysewerkzeuge eingesetzt, um die Eigenschaften und die Mikrostruktur unserer AM-Teile hinsichtlich der Dichtigkeit zu untersuchen.”

Dr. Denys Sutter, CEO,  
— condenZero GmbH



## Untersuchung von Eigenspannungen in additiv hergestellten Superlegierungen, welche in Industriegasturbinen verwendet werden, mittels Neutronendiffraktion

LINCOTEK

Starttermin: 01.07.2021 Industrie: Additive Fertigung (3D-Druck)

Technik: Neutronendiffraktion

“ Durch den Einsatz der fortschrittlichen Materialanalytik von ANAXAM erhält Lincotek Additive einen tieferen Einblick und ein besseres Verständnis für SLM-verarbeitete Hochtemperaturmaterialien.”

Dr. Thomas Etter, Expert und Senior Engineer,  
— Lincotek Additive



## Untersuchung der Topographie von additiv gefertigten Einspritzdüsen von Dieselmotoren mittels Synchrotron-CT

WinGD

Projektlaufzeit: 4 Monate Starttermin: 01.08.2022

Endtermin: 30.11.2022 Industrie: Schiffsindustrie

Technik: Synchrotronbildgebung

“ Die von ANAXAM erreichte beispiellose Auflösung war sehr beeindruckend und entsprach unseren Erwartungen. Der Detaillierungsgrad ermöglicht es, die Oberflächentopografie komplexer innerer Merkmale wirklich zu erfassen. Darüber hinaus werden kleine innere Defekte mit einer Auflösung aufgedeckt, die nahe an das herankommt, was von der lichtoptischen Mikroskopie metallografischer Schnitte bekannt ist.”

Dr. Frank Moszner, Expert Materials and Welding,  
— WinGD

- ✘ One-stop shop mentality
- ✘ Single point of entry
- ✘ Vertrauen



Kompetente  
Beratung



Angewandte  
Materialanalytik mit  
Neutronen- und  
Synchrotronstrahlung  
& massgeschneiderter  
Infrastruktur



Datenanalyse und  
Interpretation



Abschliessender  
Bericht





«If you can not measure it, you can not improve it»

(Lord Kelvin 1824 -1907)