

# 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

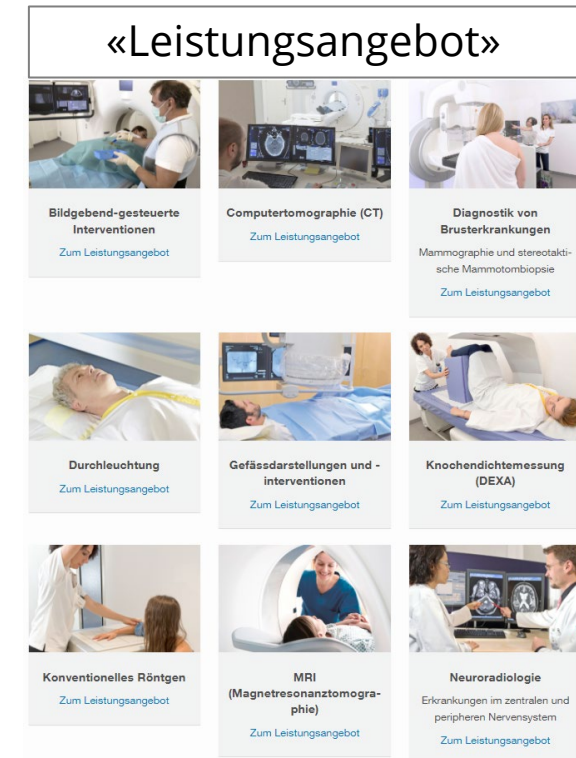
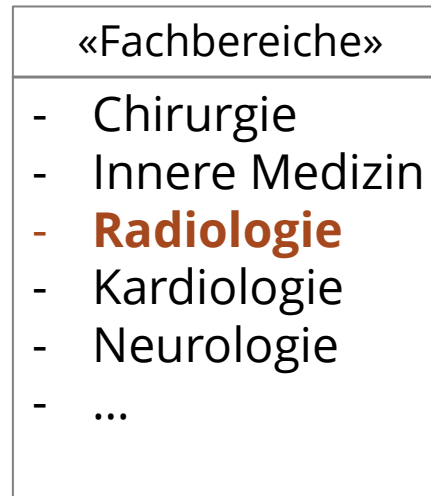


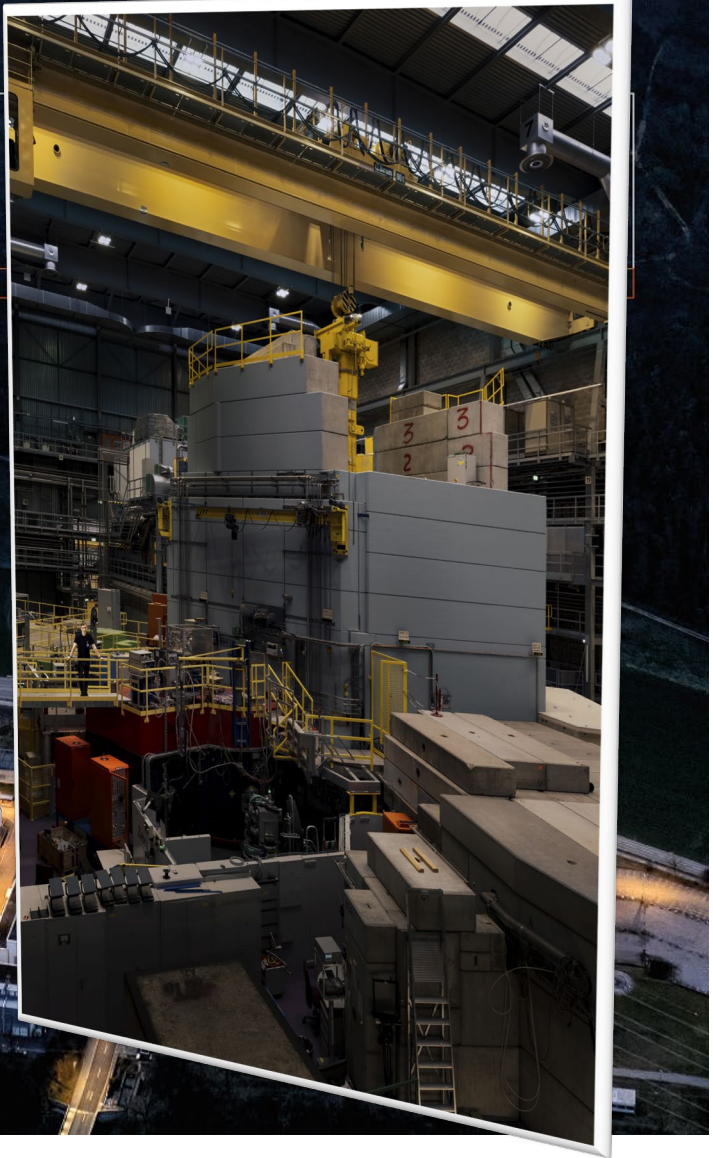
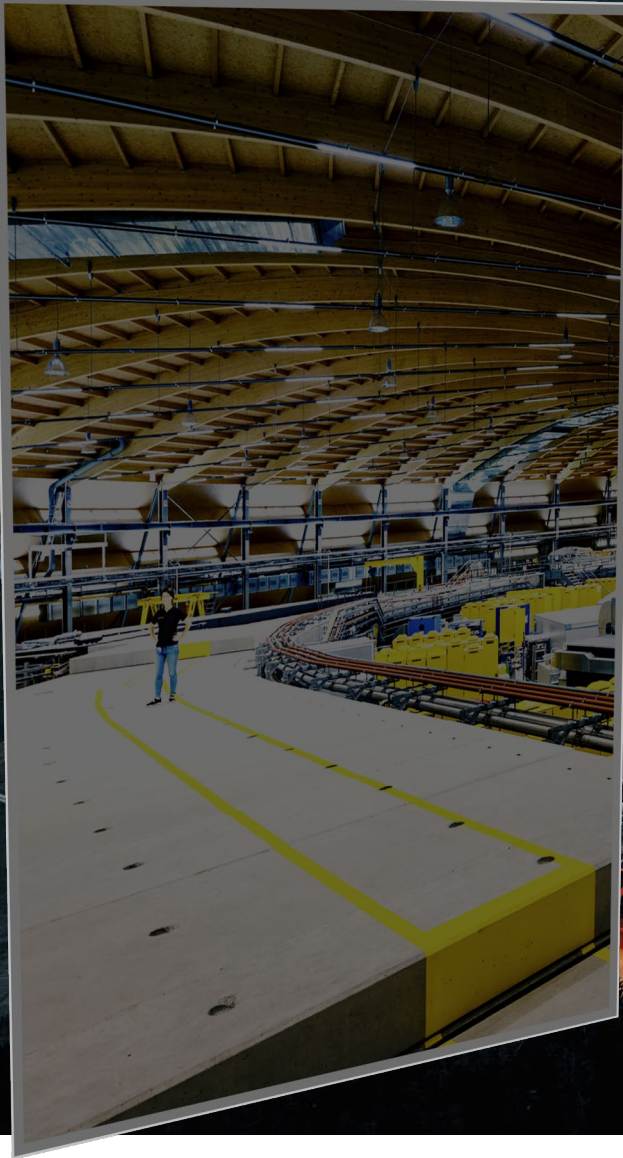
- ✗ ... ist ein **Wissens- und Technologietransferzentrum**.
- ✗ ... wurde 2019 vom **Paul Scherrer Institut (PSI)**, der **Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)**, dem **Swiss Nanoscience Institute (SNI)** und dem **Kanton Aargau** gegründet.
- ✗ ... bietet der Industrie Zugang zu fortschrittlichen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





# Was macht ANAXAM eigentlich?









## 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





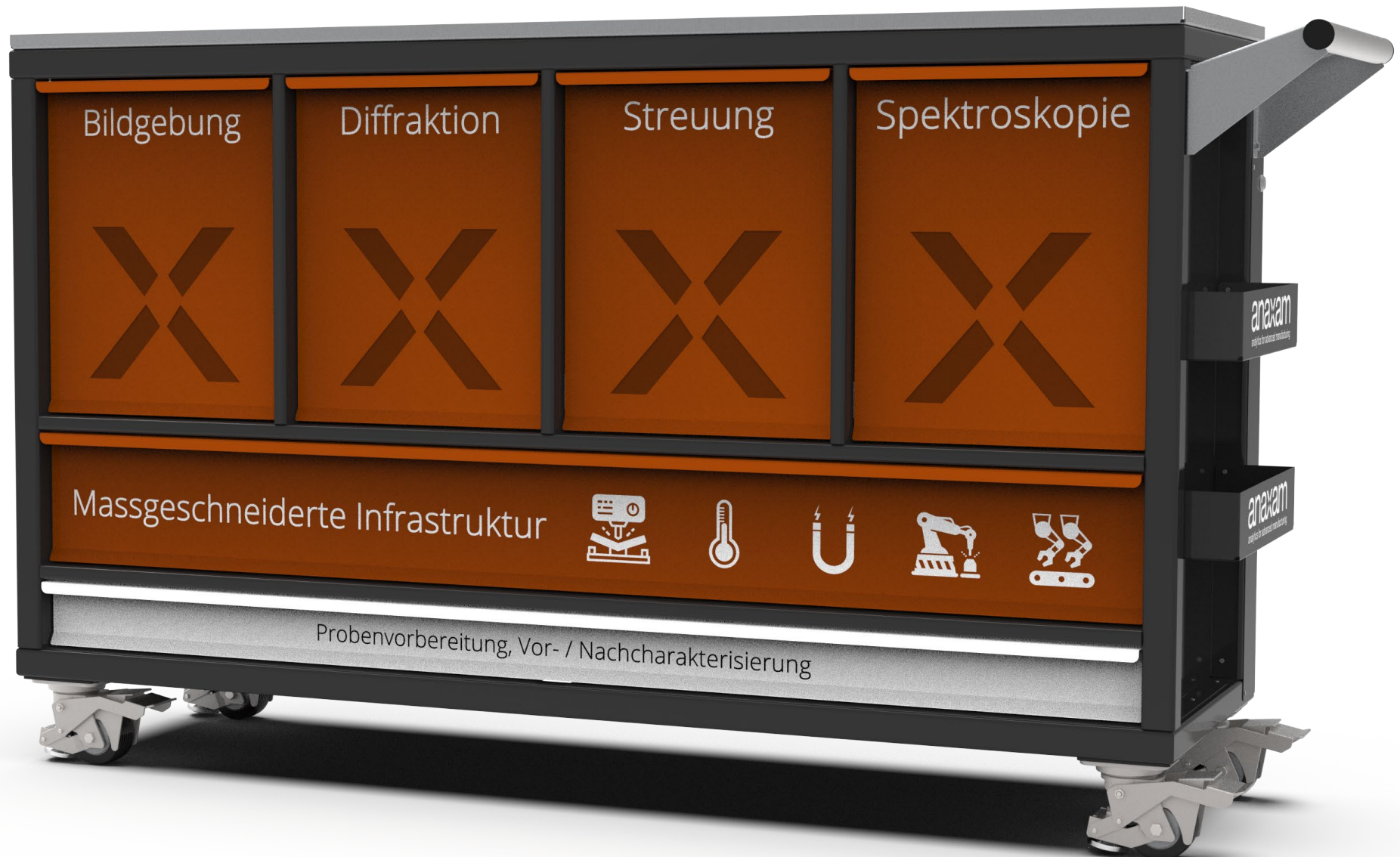
## Spektroskopie

- Chemische Bildgebungsanalyse
- Chemische Charakterisierung



Massgeschneiderte Infrastruktur

«...um die Kundenrealität zu reproduzieren»

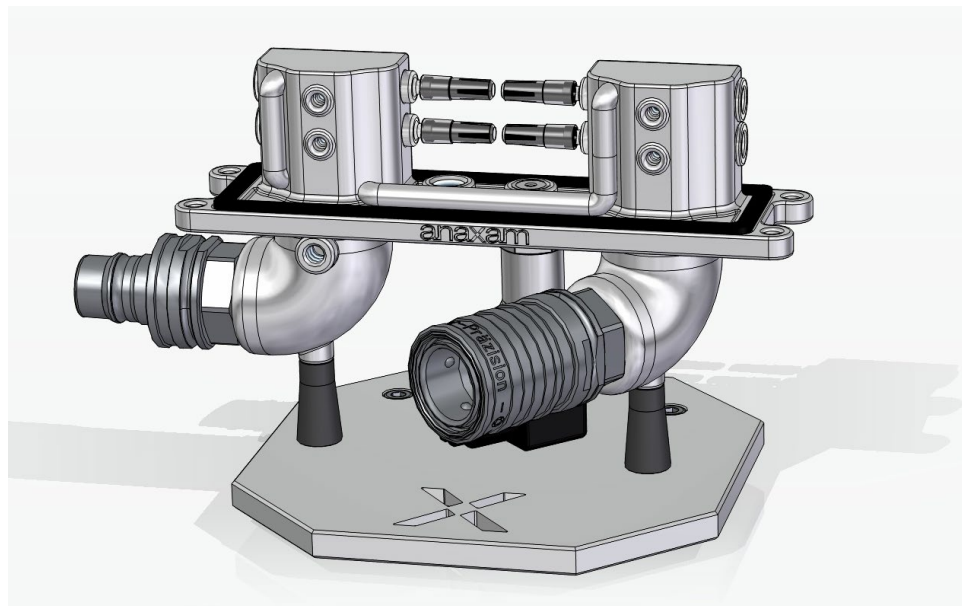
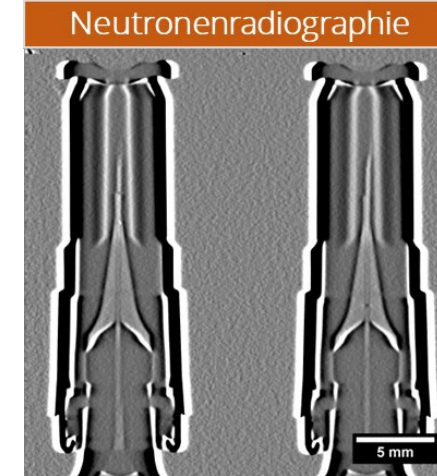


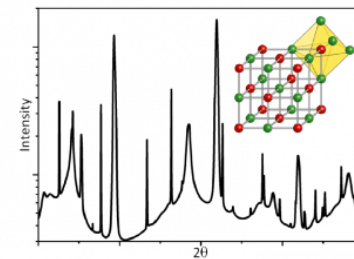
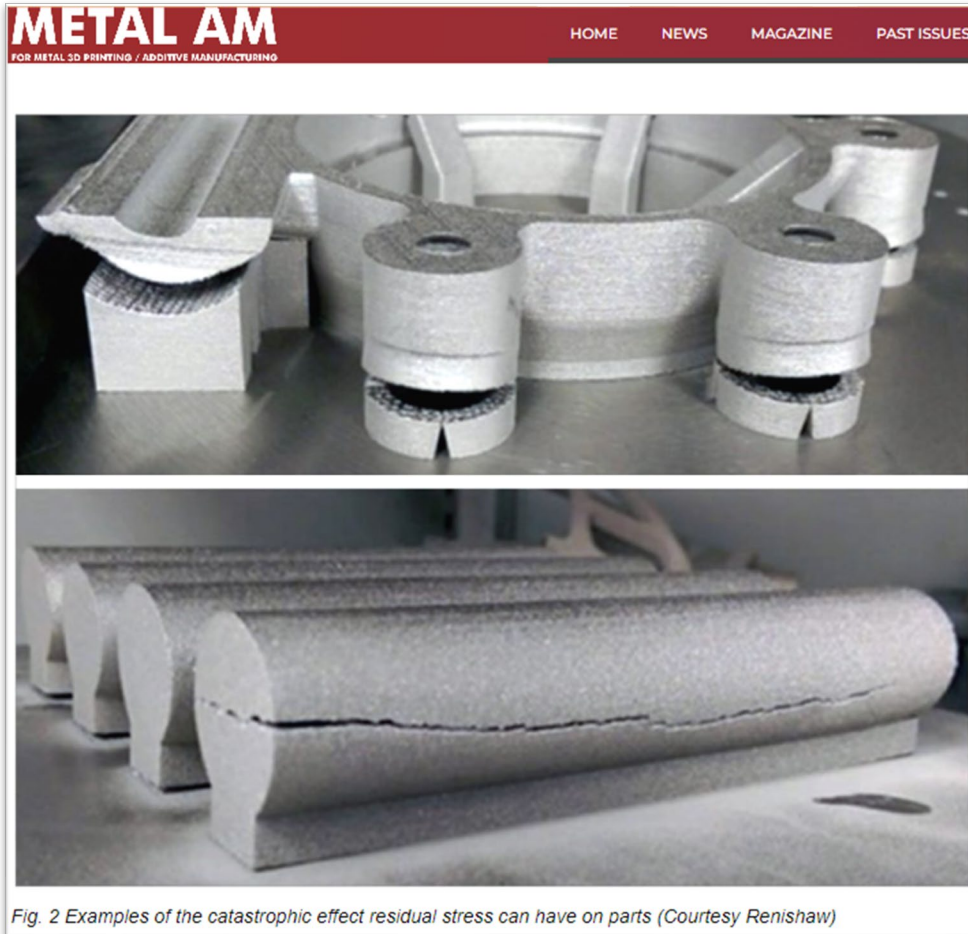


in Bezug auf

- ✗ Echtzeituntersuchungen
- ✗ Probendurchsatz
- ✗ Ortsauflösung
- ✗ Kontrastmodalität

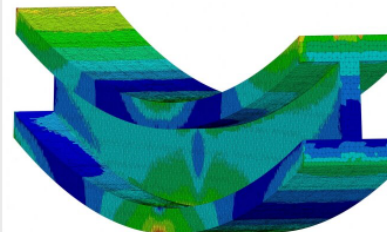






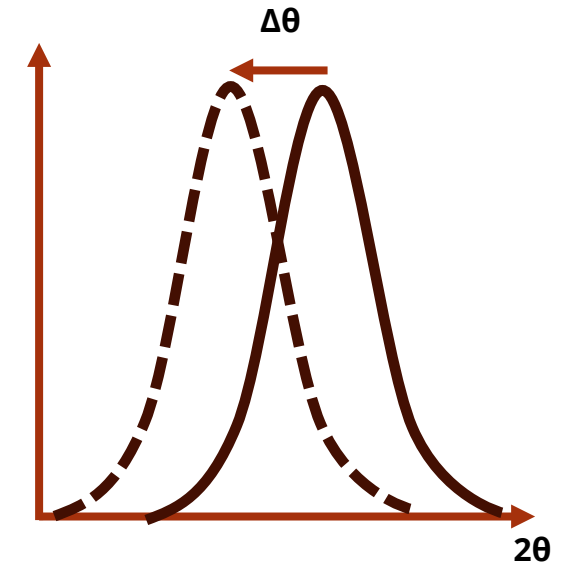
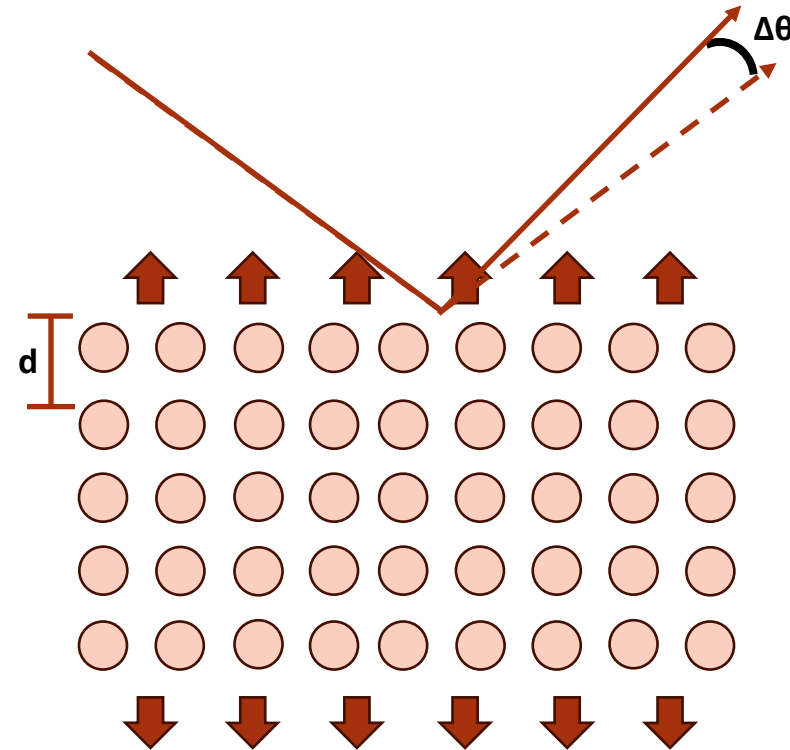
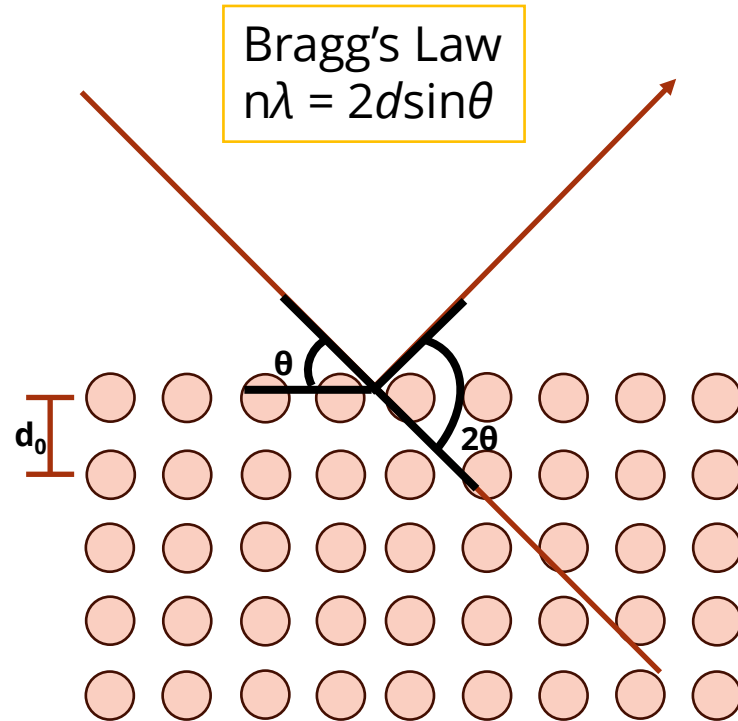
## Atomare Phasen- und Strukturcharakterisierung

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



## Eigenstressanalyse

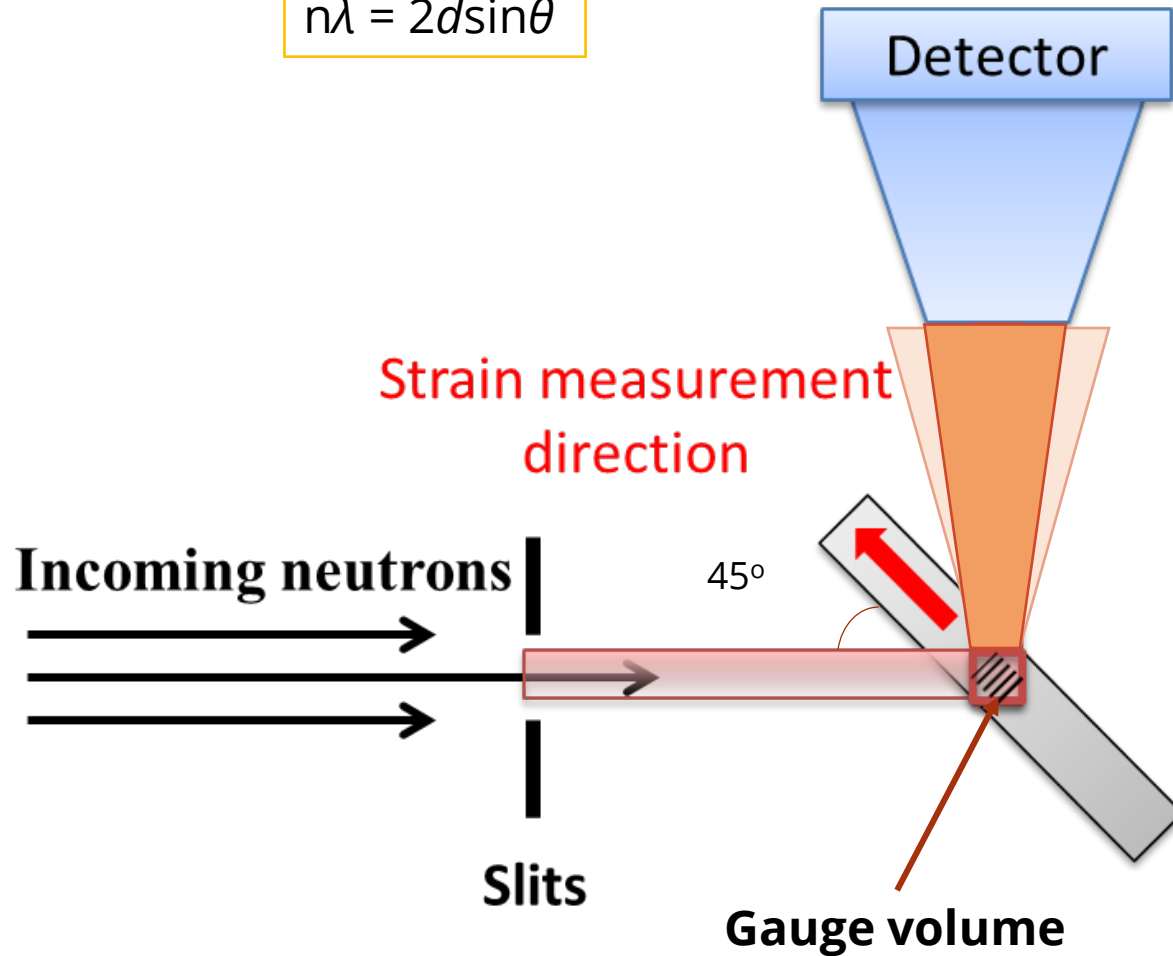
- Quantitative Analyse der Spannungen in Proben
- Differenzierung von Regionen mit unterschiedlichen Eigenstressungen







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

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

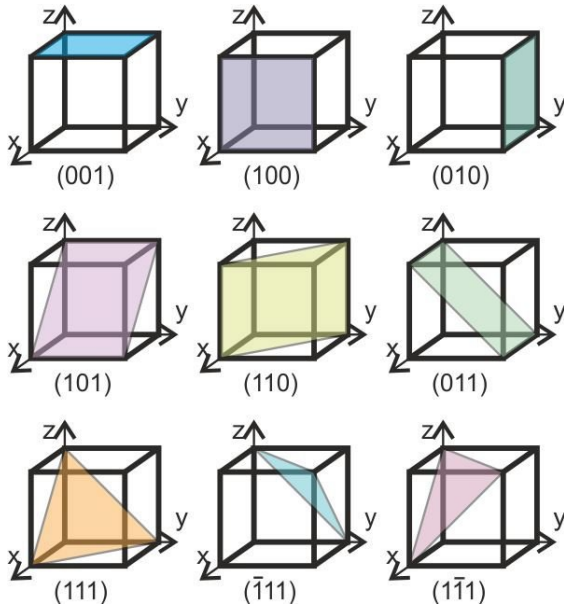
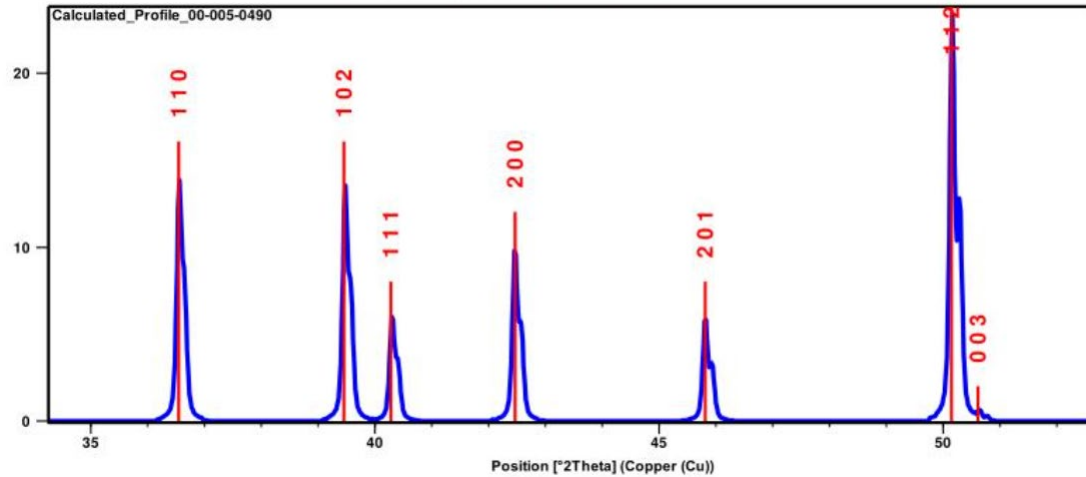
**$\sigma$  – stress components**

$E$  – 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

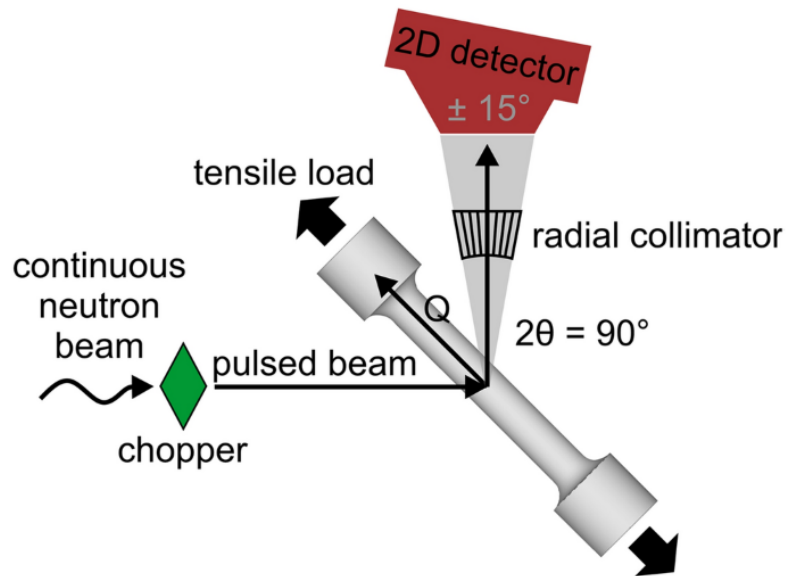
$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \end{pmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{pmatrix} 1-\nu & \nu & \nu \\ \nu & 1-\nu & \nu \\ \nu & \nu & 1-\nu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \end{pmatrix}$$

**$\sigma$  – stress components**

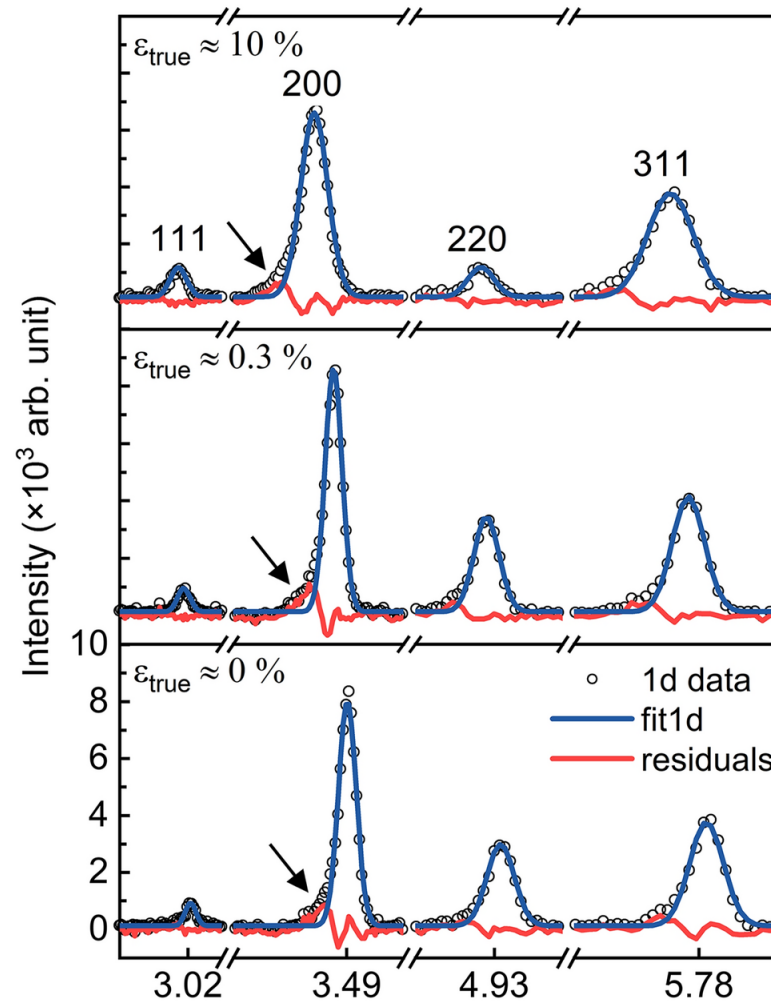
$E$  – Young's modulus

$\nu$  – poison's ratio

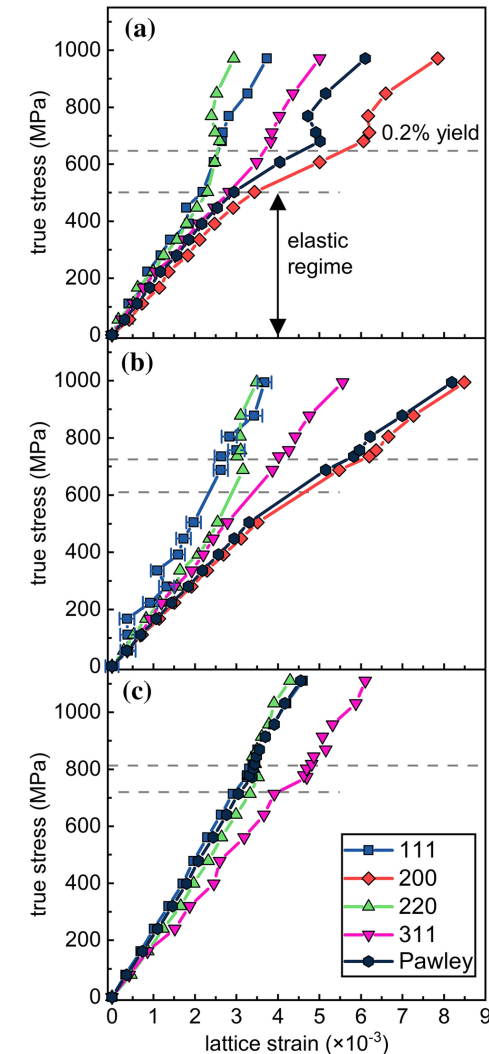
## In-situ tensile test at POLDI



## Diffraction pattern with different strain



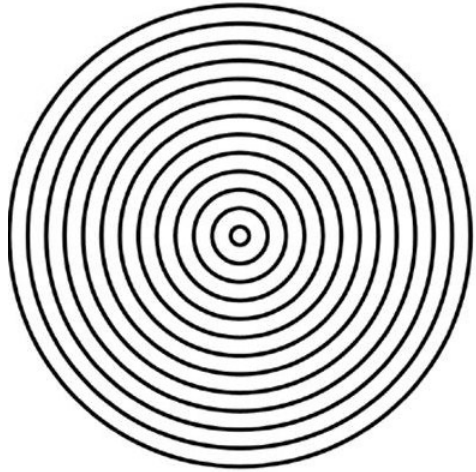
## True stress–lattice strain for different build direction



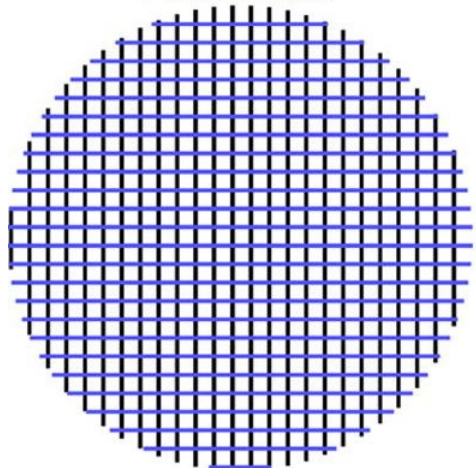


Printing strategy

Concentric CO

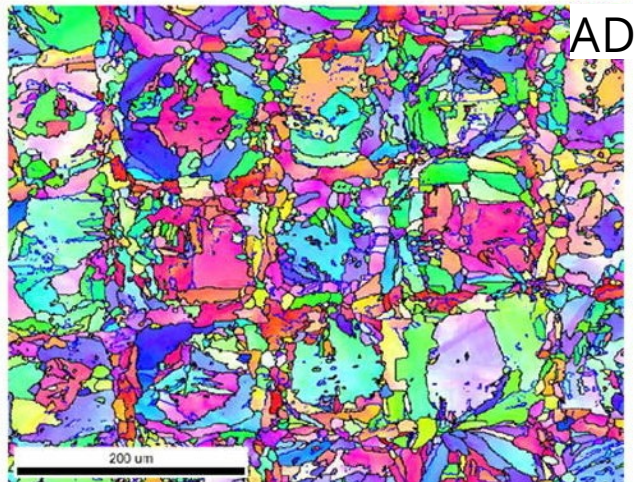
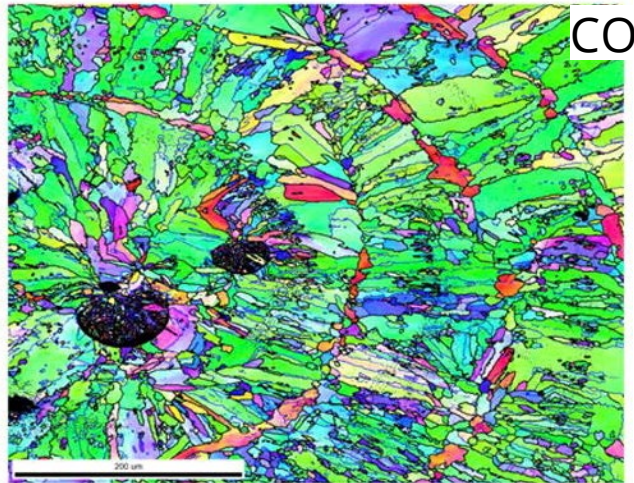


Alternate AD



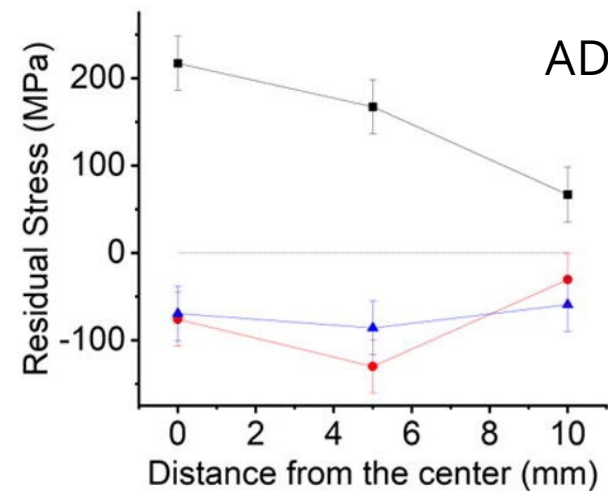
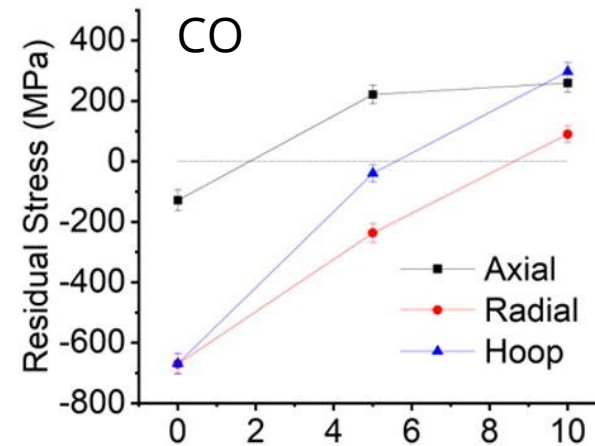
EBSD

Microstructures



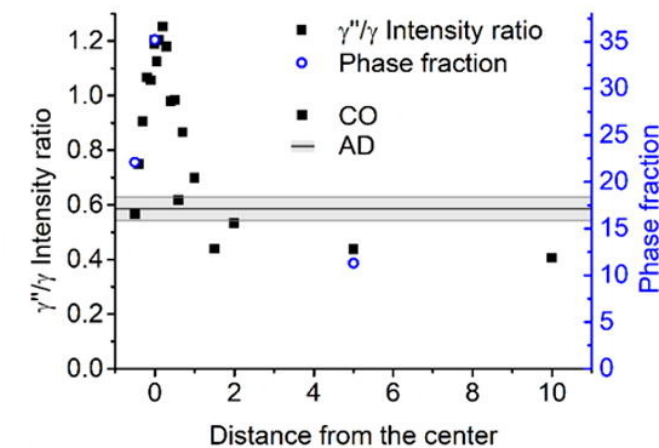
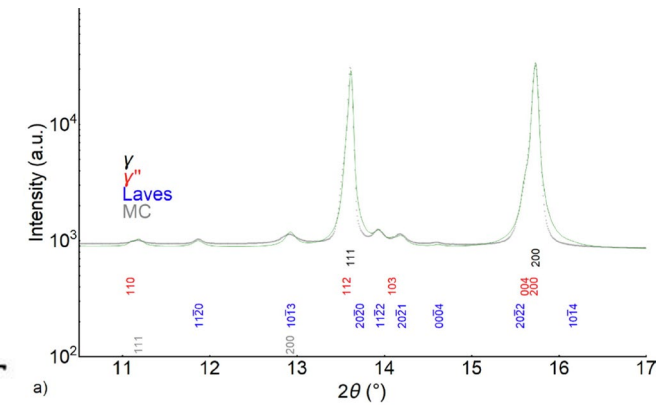
Neutron Diffraction

Residual Stress



Synchrotron Diffraction

Phase Fraction







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

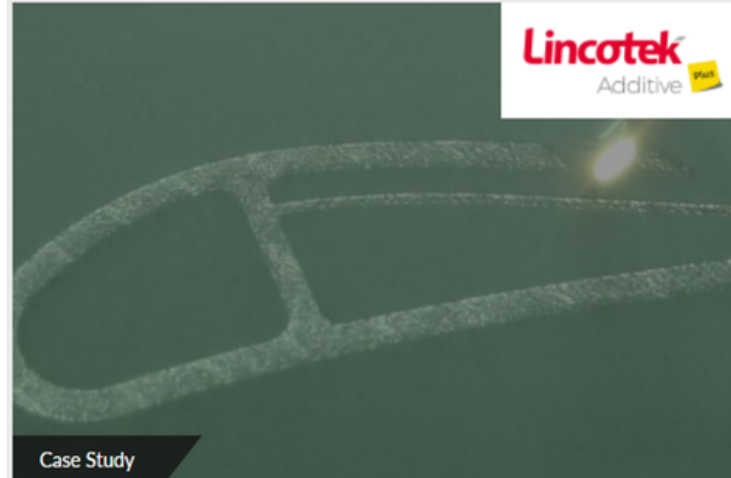
condenZero GmbH

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,  
— condensZero 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







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

(Lord Kelvin 1824 -1907)