

# Randzonencharakterisierung mittels schneller Röntgenmesstechnik auf HM- und HSS-Werkstoffen

Rico Dobrenko, Stresstech GmbH

2022-06-02



*Measure for success*

# Inhalt

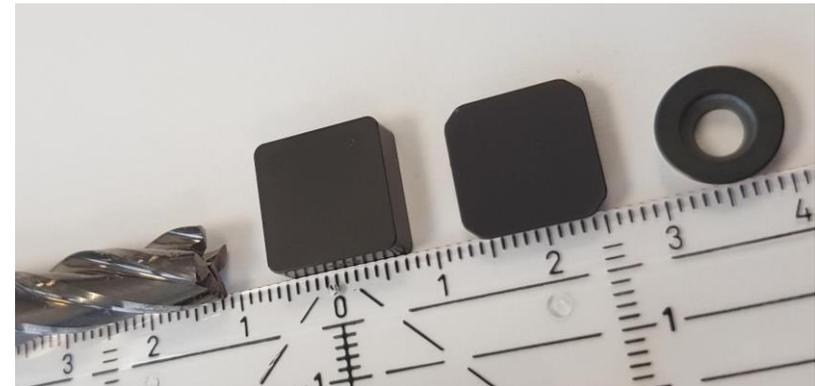
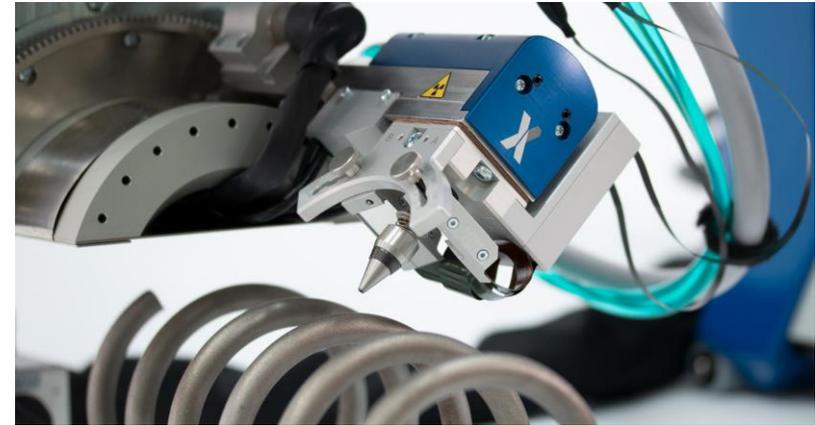
---

**1. Eigenspannungen**

**2. Röntgendiffraktion**

**3. Anwendungen**

**4. Ausblick**



# Inhalt

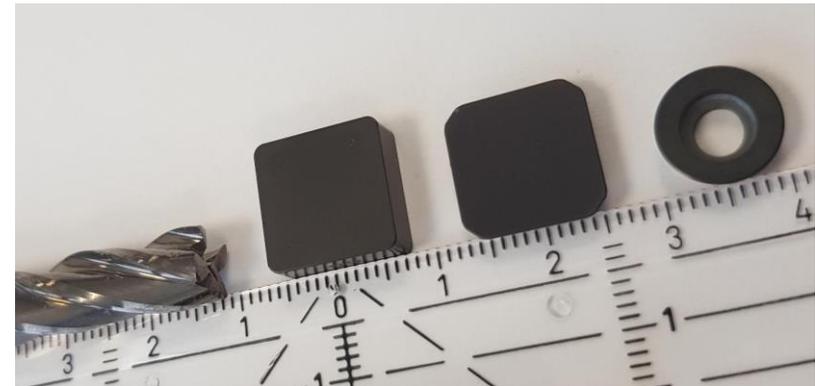
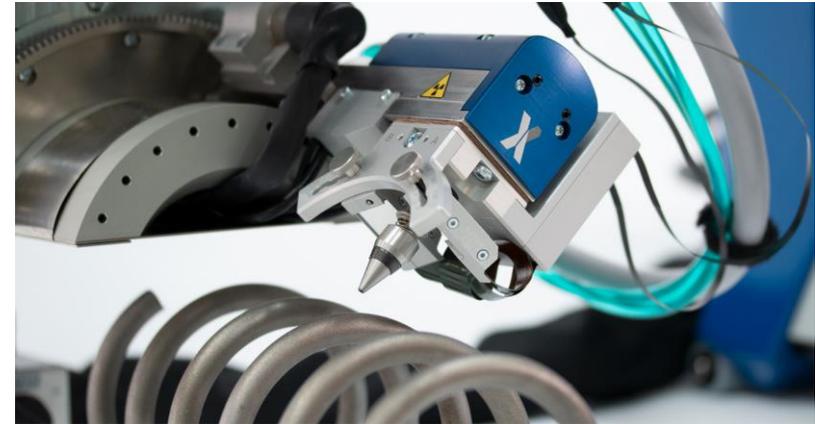
---

## 1. Eigenspannungen

## 2. Röntgendiffraktion

## 3. Anwendungen

## 4. Ausblick



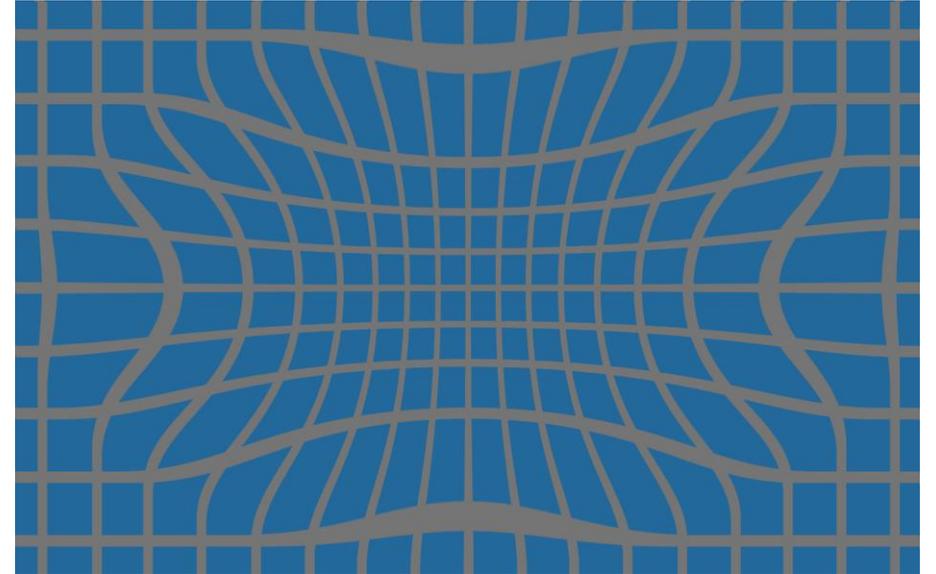
# 1. Was sind Eigenspannungen?

## Eigenspannungen und Dehnungen

**Eigenspannungen** - innerhalb eines lastfreien Körpers vorhandene mechanischen Spannungen

Sie erzeugen **Gitterdehnungen**

Wirken keine äußeren Kräfte, kompensieren sich die Eigenspannungen innerhalb des Körpers



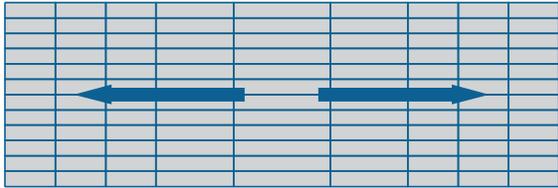
## Entstehung

Bearbeitungsinduzierte Eigenspannungen entstehen durch

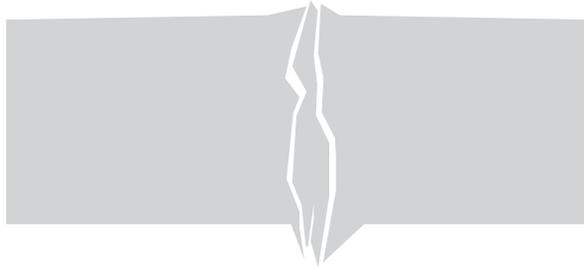
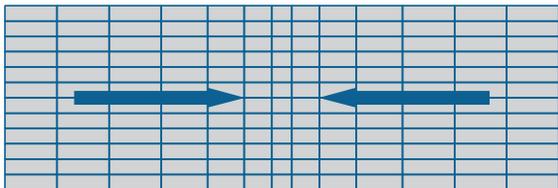
- **mechanische** (Drehen, Schleifen, Kugelstrahlen...)
- **thermische** (Phasentransformation, Wärmebehandlung von Stahl, ...)
- **chemische** Prozesse (Beschichtung, Oxidation, Korrosion, ...).

# 1. Arten von Eigenspannungen

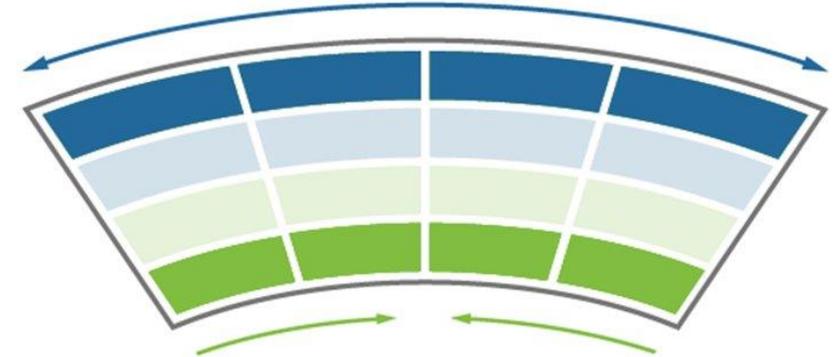
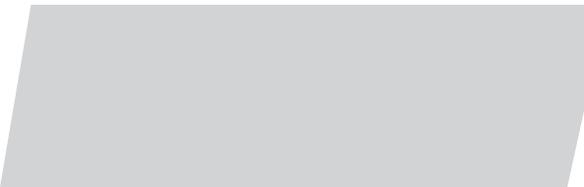
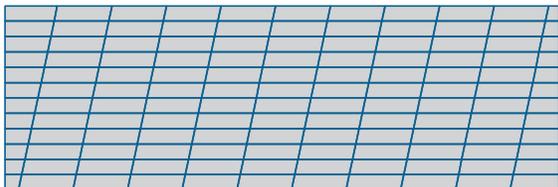
- **Zugeigenspannungen**



- **Druckeigenspannungen**



- **Scherspannungen**



# 1. Randzone und Eigenspannungen

Bedeutung der Randzone

→ wesentlicher **Einfluß auf die Leistungsfähigkeit** hoch beanspruchter Oberflächen

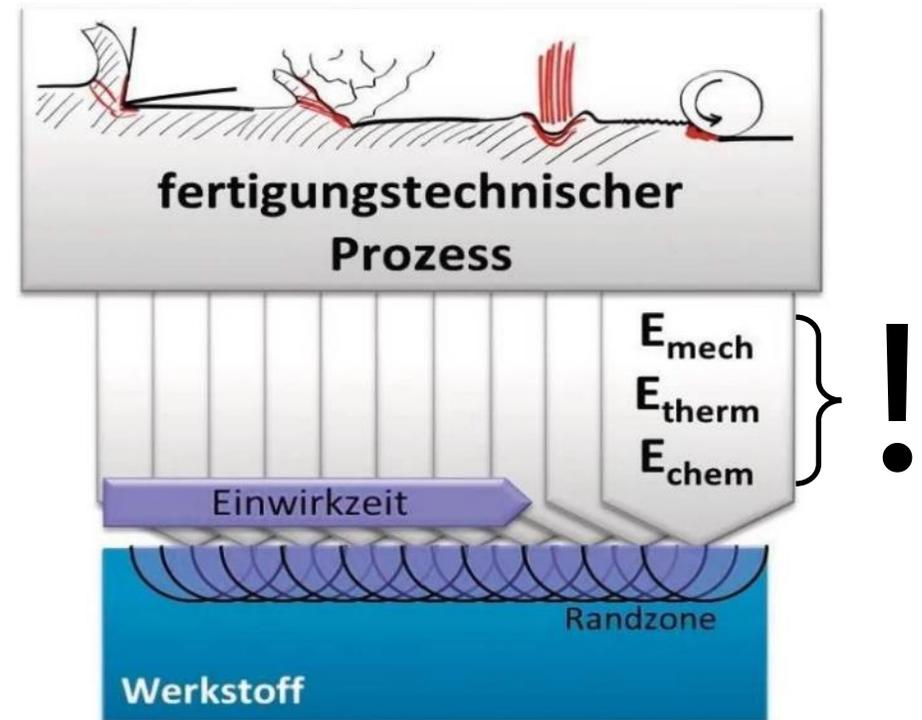
Wichtige Eigenschaften der Randzone

→ Allgemein der **Gefügestand (Härte)**

→ **Eigenspannungen** - bis in die funktionsrelevante Tiefe

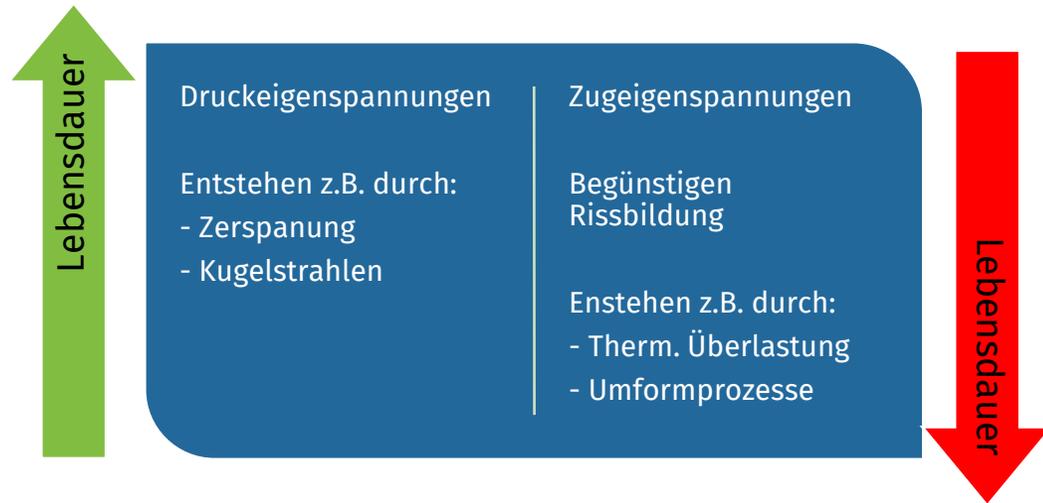
Qualitätskontrolle der Randzone bedeutet

→ **Kontrolle** dieser Eigenschaften



Randzonenbeeinflussung nach Klocke / Schneider

# 1. Arten von Eigenspannungen



➔ Überwachung der Eigenspannung nötig!

Die **röntgenographische Eigenspannungsanalyse** nach DIN EN 15305 bietet ein präzises zerstörungsfreies Prüfverfahren für Messungen im Oberflächenbereich.



Röntgenographische Eigenspannungsanalyse

# Inhalt

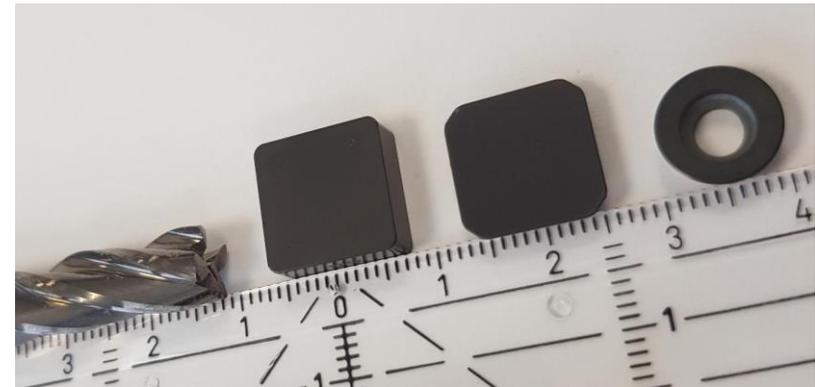
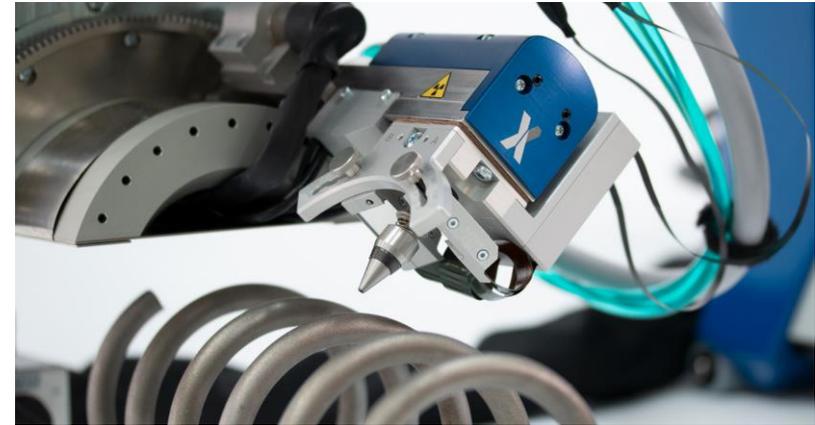
---

1. Eigenspannungen

**2. Röntgendiffraktion**

3. Anwendungen

4. Ausblick



# 2. Röntgendiffraktion

## Röntgendiffraktion – “XRD”

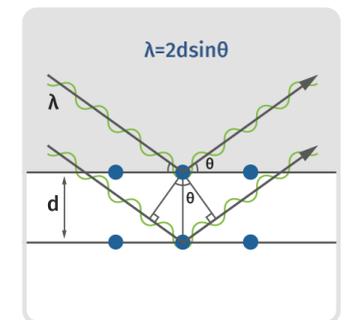
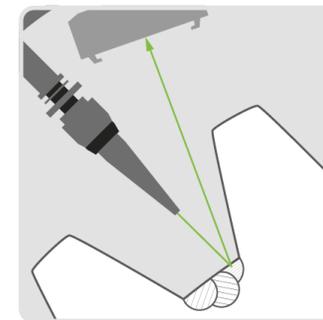
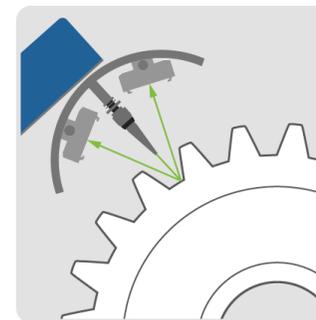
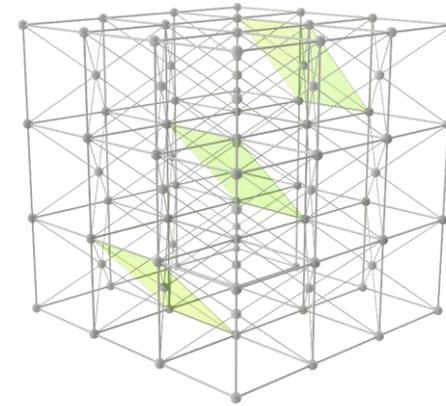
- ✓ Die (an der Oberfläche zerstörungsfreie) **Röntgendiffraktion** produziert absolute Eigenspannungswerte.
- ✓ Röntgenstrahlen ermöglichen die Vermessung der **Gitterdehnungen** in kristallinem Material.
- ✓ Mithilfe der Gitterdehnung lassen sich **Eigenspannungen** berechnen



# 2. Beugung von Röntgenstrahlung

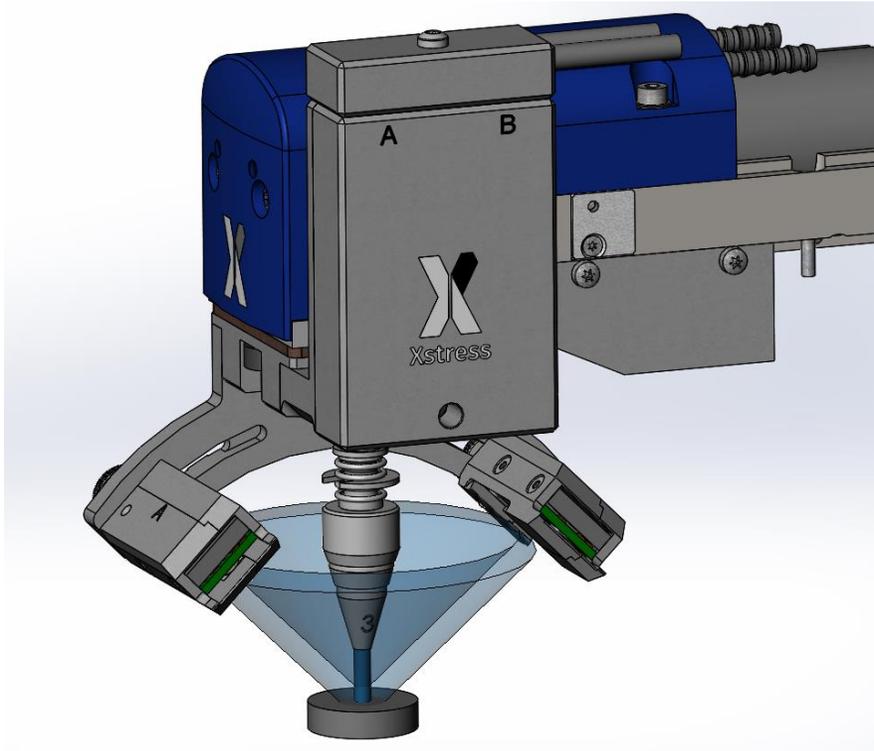
## Röntgendiffraktion

- ✓ Metalle sind in der Regel Materialien mit **geordneter Kristallstruktur**. Die kleinsten in sich geschlossenen Einheiten als Kristallite oder Körner genannt.
- ✓ Gedachte Ebenen durch diese Kristallite werden **Gitterebenen** genannt und über die Miller Indizes (hkl) beschrieben.
- ✓ Ermittlung der Kristallgitterdehnungen durch **Beugung** von Röntgenstrahlen an den **Netzebenen**.
- ✓ Das Braggsche Gesetz ( $\lambda=2d\sin\theta$ ) beschreibt die Beugung von Wellen am Kristallgitter.

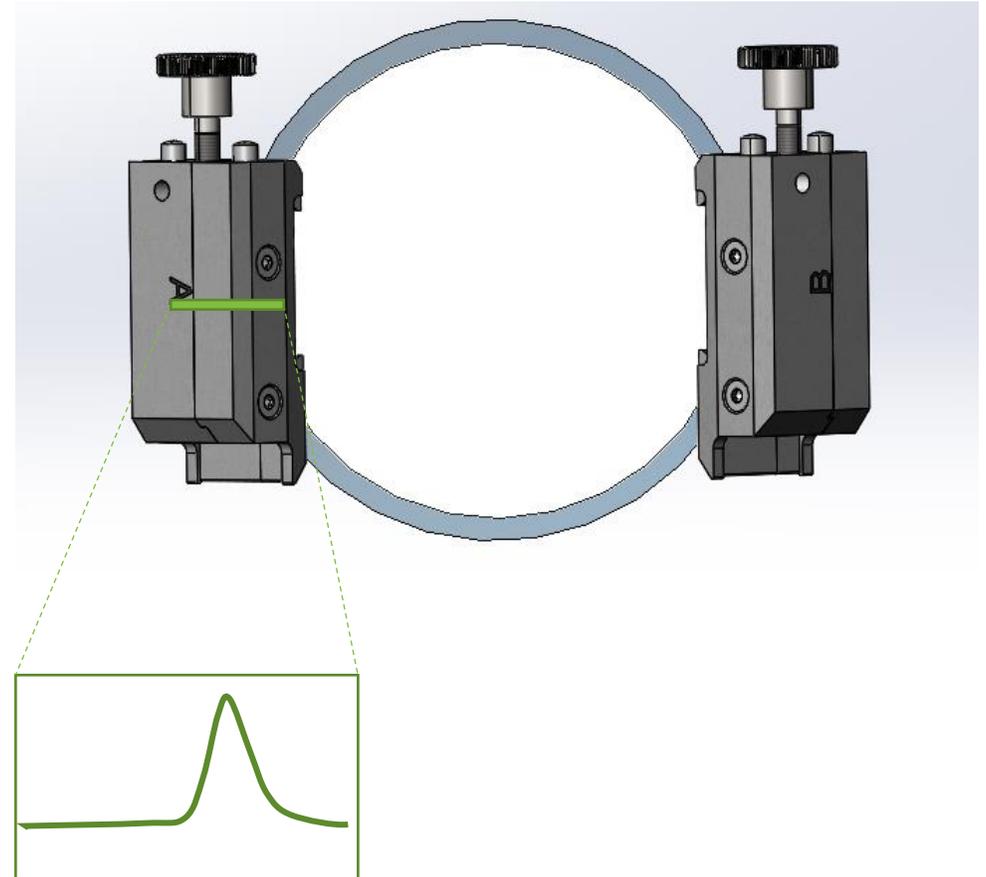


# 2. Beugung von Röntgenstrahlung

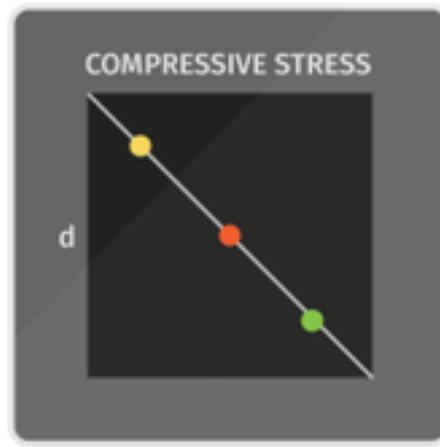
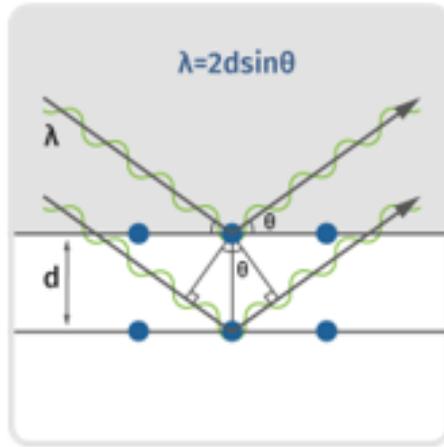
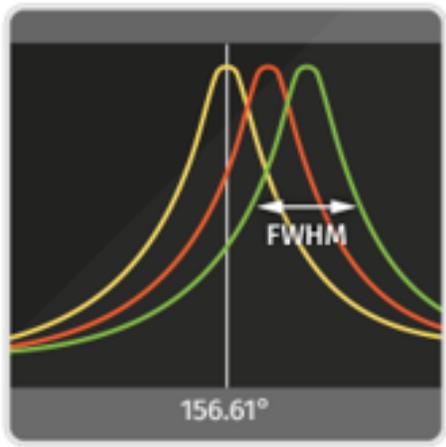
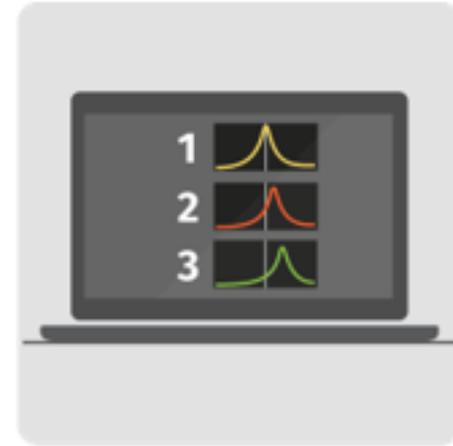
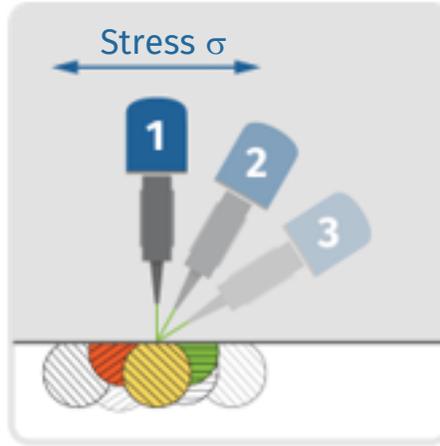
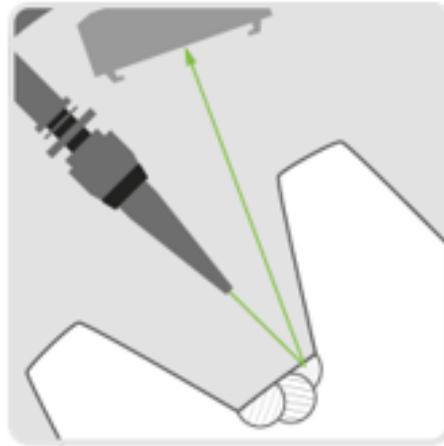
Beugungskegel und Detektoren



Draufsicht



# 2. Röntgenographische Eigenspannungsanalyse



Stress $\sigma$	-601.2 $\pm$ 3.4
FWHM	3.42 $^\circ$ $\pm$ 0.16 $^\circ$
$d_0$	0.1171983
$2\theta$	156.61 $^\circ$

# Inhalt

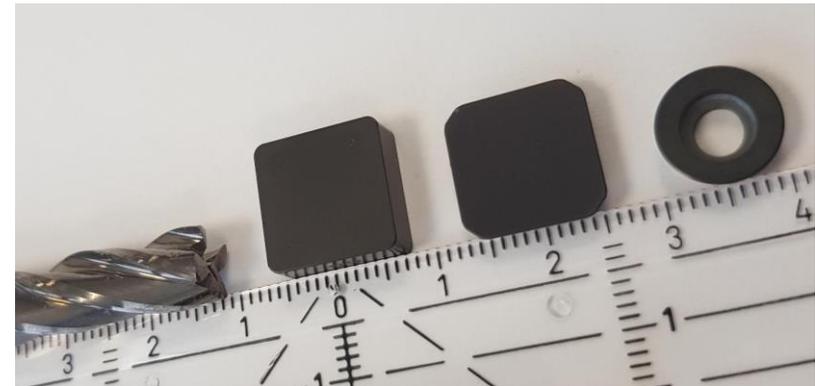
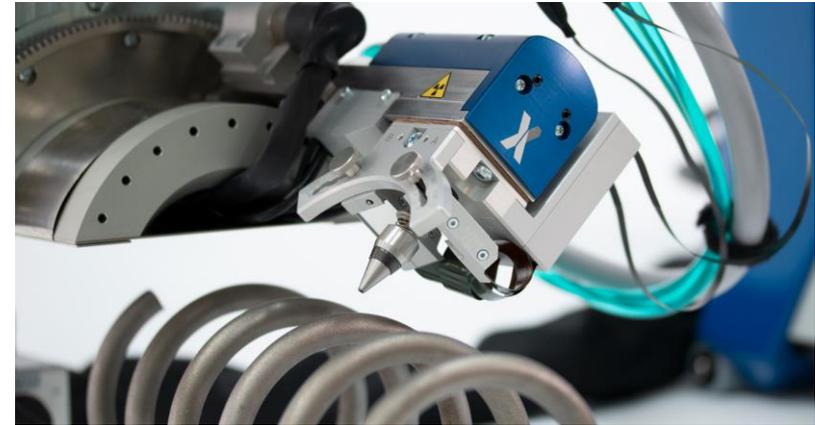
---

1. Eigenspannungen

2. Röntgendiffraktion

**3. Anwendungen**

4. Ausblick



# 3. Messung – Beispiel HSS

## Kettenglieder einer Kettensäge, Material HSS

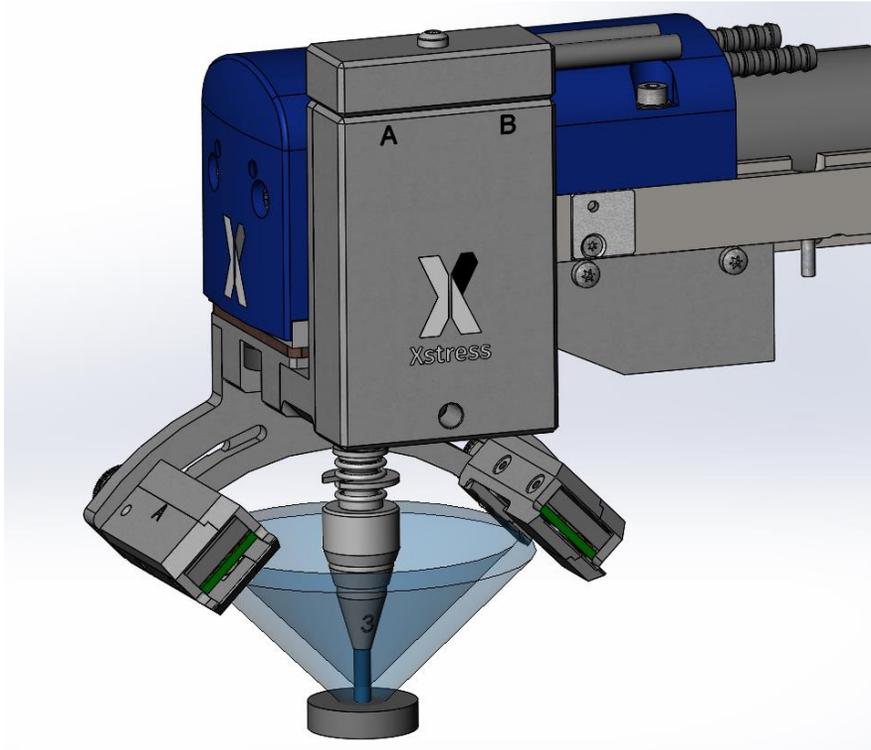
- Aufgabe: Charakterisierung von kleinflächigem Schleifbrand (Messbereich  $<1\text{mm}^2$ )
- G2R Röntgendiffraktometer mit Zeilendetektor, Kollimator 0,5mm



Goniometer	G2R - Standard
Kollimatorgröße	0,5 mm
Belichtungszeit	60 s
Komplette Messzeit	> 10 min
Example Stress	-303,0 MPa
Example FWHM	3,7 Deg

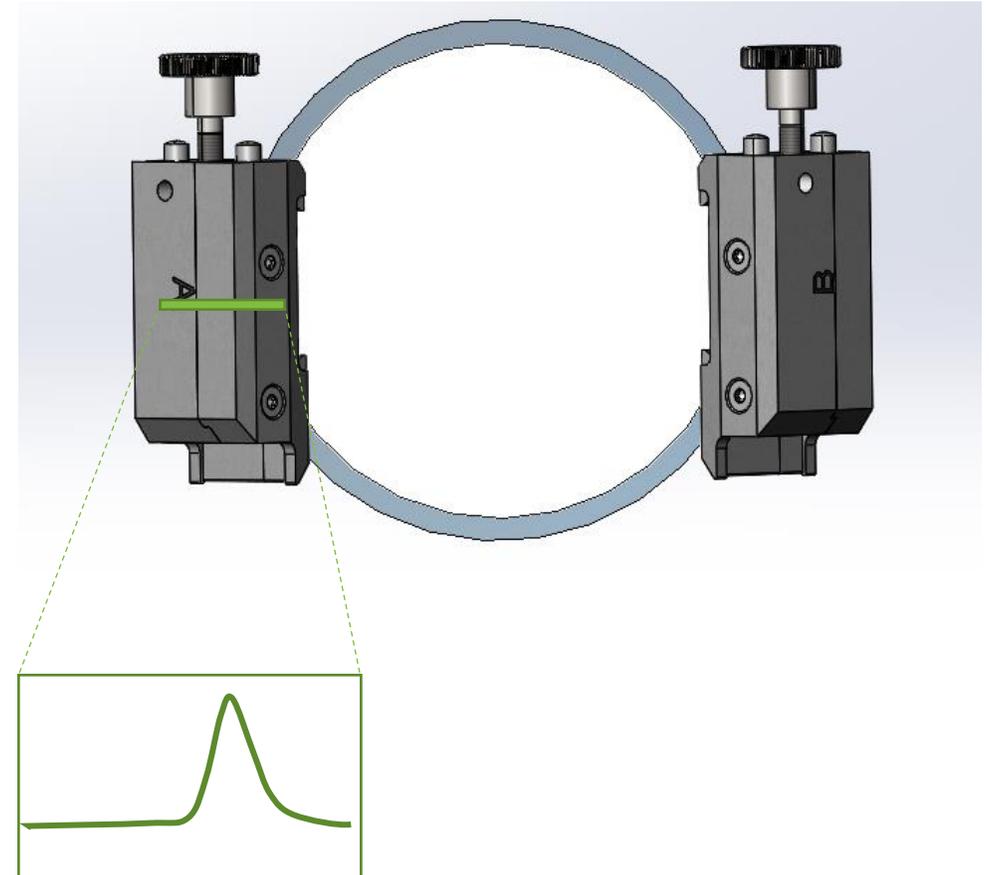
# 3. Exkurs Detektortechnik - Zeilendetektoren

Beugungskegel und Detektoren



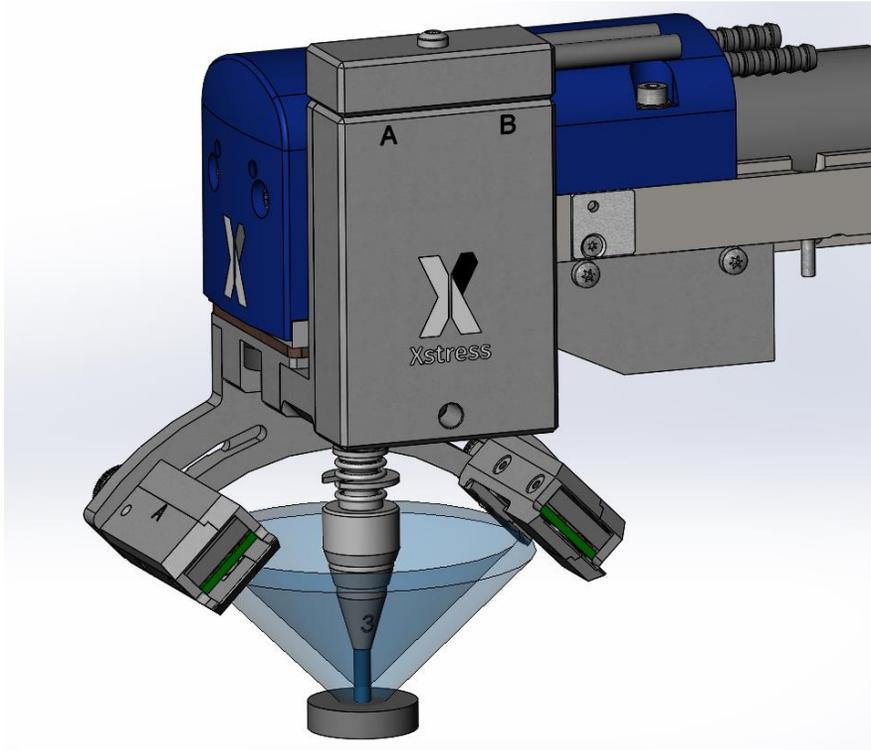
Belichtungszeit richtet sich nach **Intensität**

Draufsicht

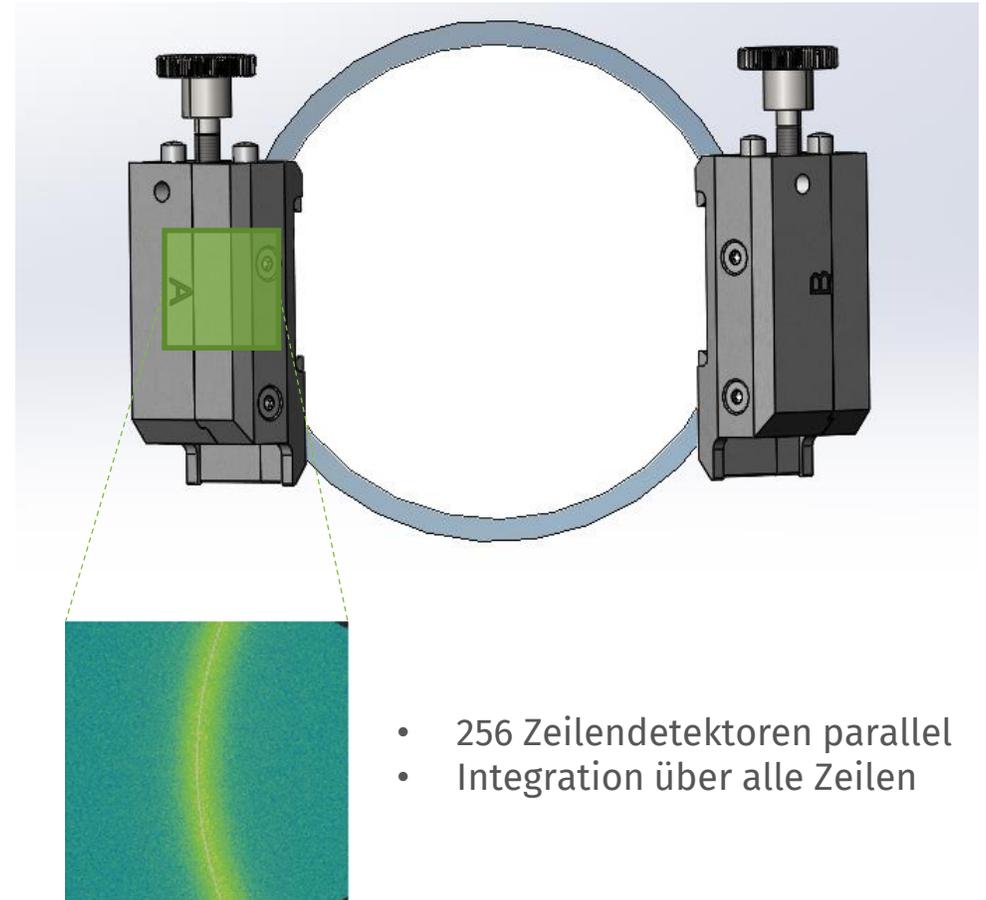


# 3. Exkurs Detektortechnik - Flächendetektoren

Beugungskegel und Detektoren



Draufsicht



- 256 Zeilendetektoren parallel
- Integration über alle Zeilen

# 3. Xstress DR45 – Beispiel HSS

## Kettenglieder einer Kettensäge, Material HSS

- Aufgabe: Charakterisierung von kleinflächigem Schleifbrand (Messbereich <math><1\text{mm}^2</math>)
- Mit dem DR45 kann ein Messfleck-Durchmesser von 0,35mm auf der Probe analysiert werden
- Die speziell optimierte, extrem kurze Messzeit erlaubt eine engmaschige Produktionsüberwachung

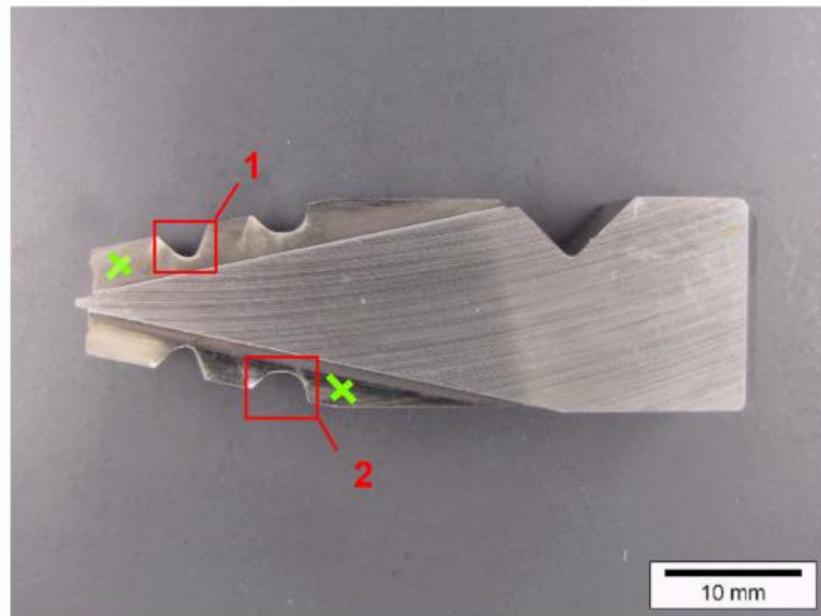


Goniometer	G2R - Standard	DR45
Kollimatorgröße	0,5 mm <sup>1</sup>	0,35 mm
Belichtungszeit	60 s	1 s
Komplette Messzeit	> 10 min	41 s
Example Stress	-303,0 MPa	-307,7 MPa
Example FWHM	3,7 Deg	3,6 Deg

# 3. Xstress DR45 – Beispiel HSS

## Räumnadel, Material HSS

- Aufgabe: Kontrolle von lokalen Schleifbrandanzeigen (Messbereich <math><1\text{ mm}^2</math>), detektiert mittels Barkhausenprüfung
- Mit dem DR45 wird ein Messfleck-Durchmesser von 1 mm auf der Probe analysiert
- Nachweis von kleinflächigem Schleifbrand in weniger als 2 min



Messung	i.O.-Bereich	n.-i.-O.-Bereich
Collimator Size	1,0 mm	1,0 mm
Exposure Time	10 s	5 s
Total Measurement Time	2 min	1,2 min
Example Stress (0° / 90°)	-1.223 / -1.741 MPa	-1.021 / -1.024 MPa
Example Deviation	7 / 17 MPa	8 / 14 MPa
Example FWHM	5,7 Deg	4,1 Deg

Eigenspannung, und insbesondere Halbwertsbreite FWHM kennzeichnen bereits an der Oberfläche den geschädigten Bereich

# 3. Xstress DR45 – Anwendung Hartmetall

## Hartmetallwerkzeuge

- Aufgabe: Charakterisierung des oberflächennahen Eigenspannungszustandes (Messbereich ca. 5mm<sup>2</sup>)
- Messfleck-Durchmesser von 3 mm mit dem DR45 auf der Probe analysiert
- Tiefenprofil durch Materialentfernung nicht durchführbar
- Aufnahme von Eigenspannungstiefenprofilen durch Variation der Röntgenenergie (d.h. der Messtiefe)
- Unterscheidung unterschiedlicher Bearbeitungszustände von WC-Co(7,5%): "A", "B", "C", "D", "E"



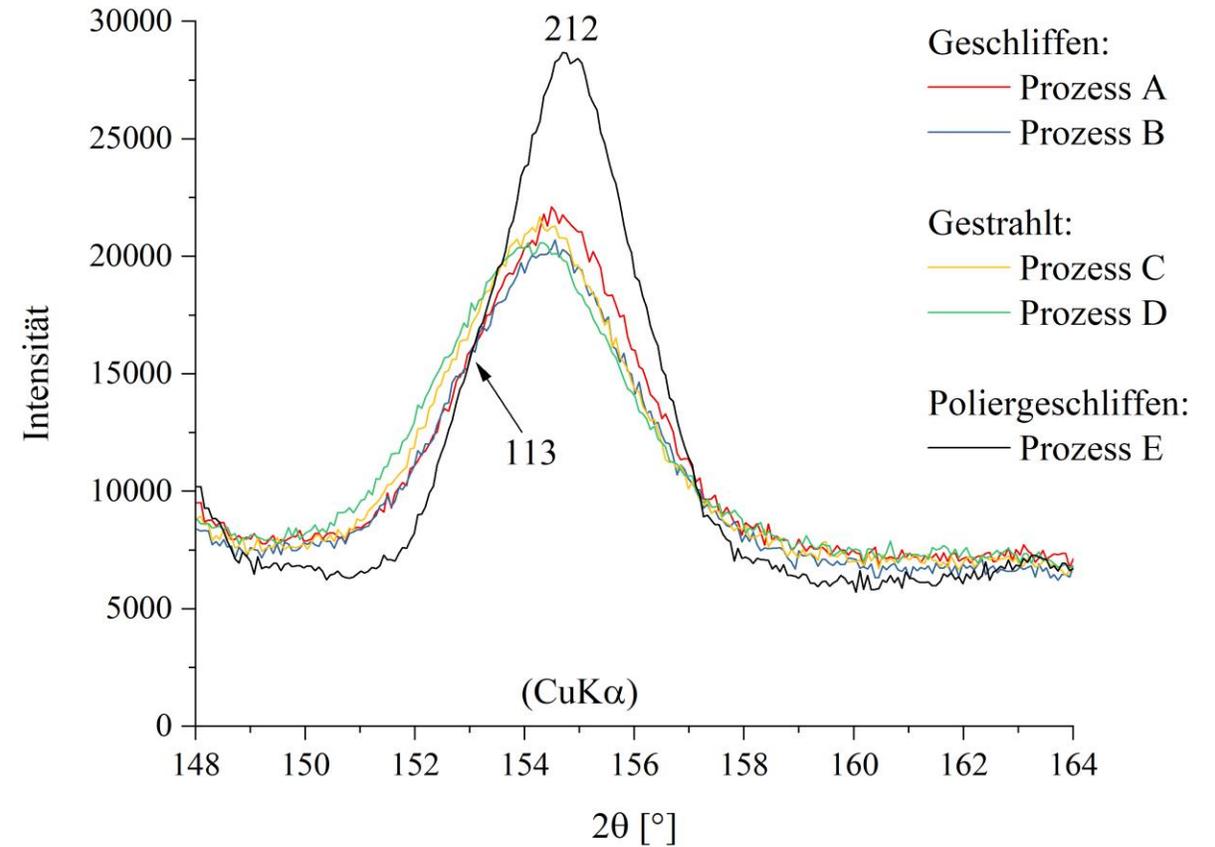
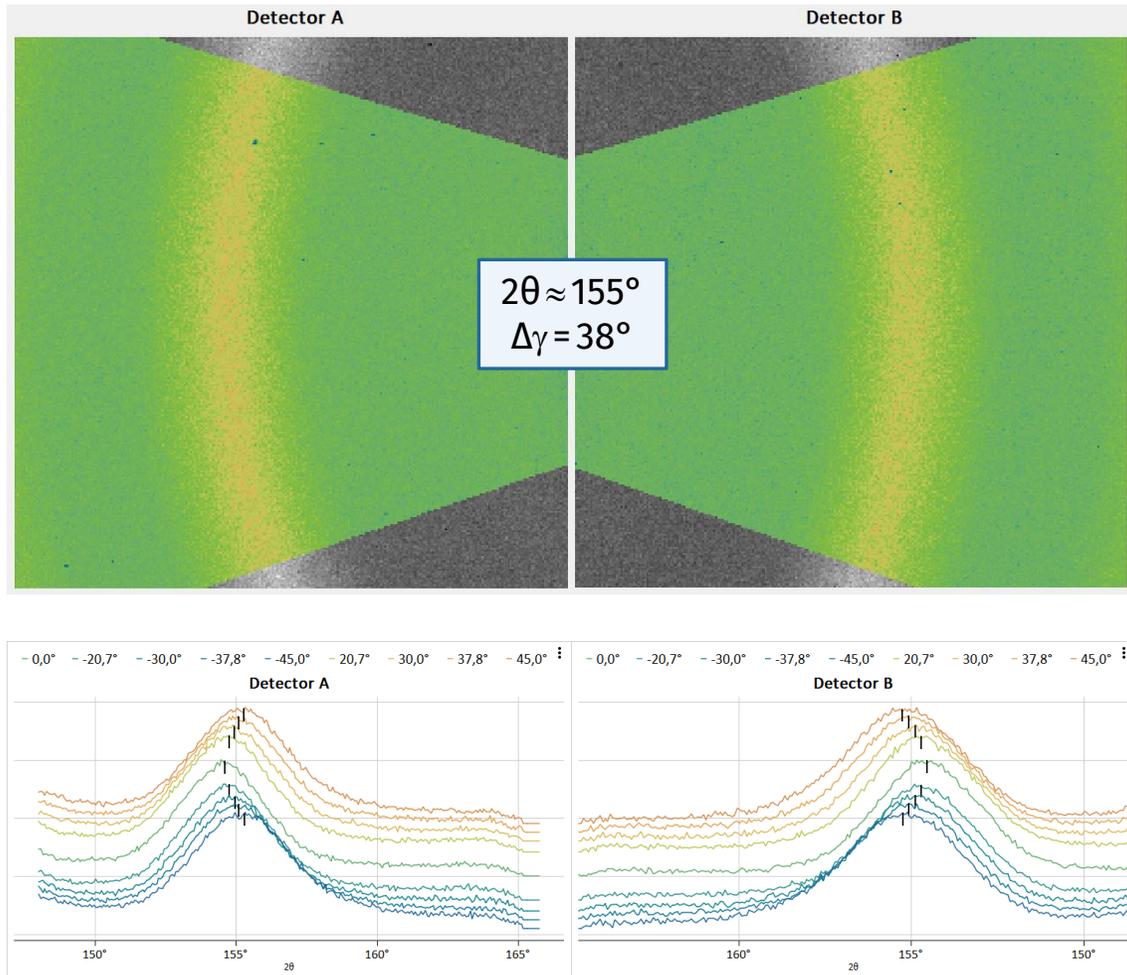
Bearbeitung	Schleifen	Strahlen	Polierschleifen
Prozesse	A B	C D	E
Proben	A1, A2, A3 B1, B2, B3	C1, C2, C3 D1, D2, D3	E1, E2, E3

Röntgenstrahlung	CuKα	MnKα	CrKα	TiKα
Energie [keV]	8,04	5,90	5,41	4,51
mittlere Eindringtiefe [µm]	1,62	0,63	0,53	0,35
Beugungsreflex	212	201	102	110

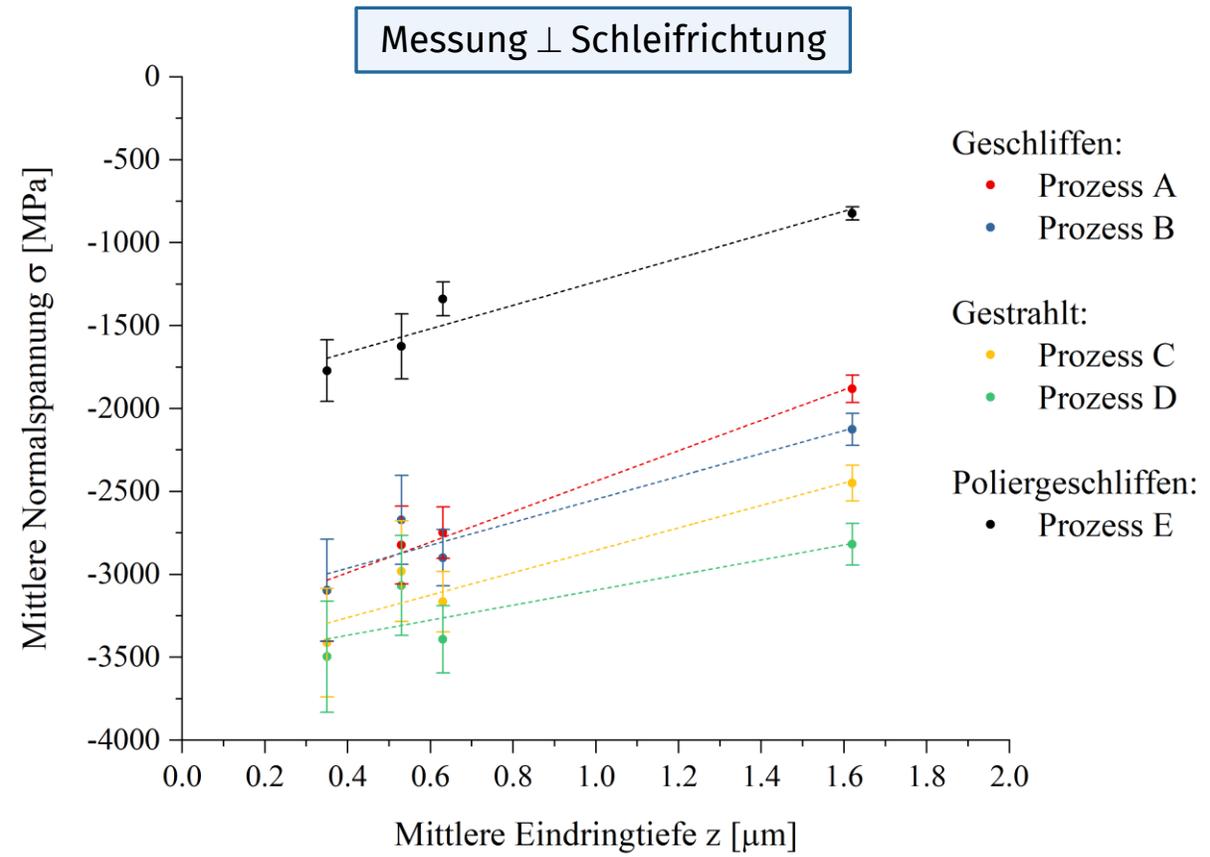
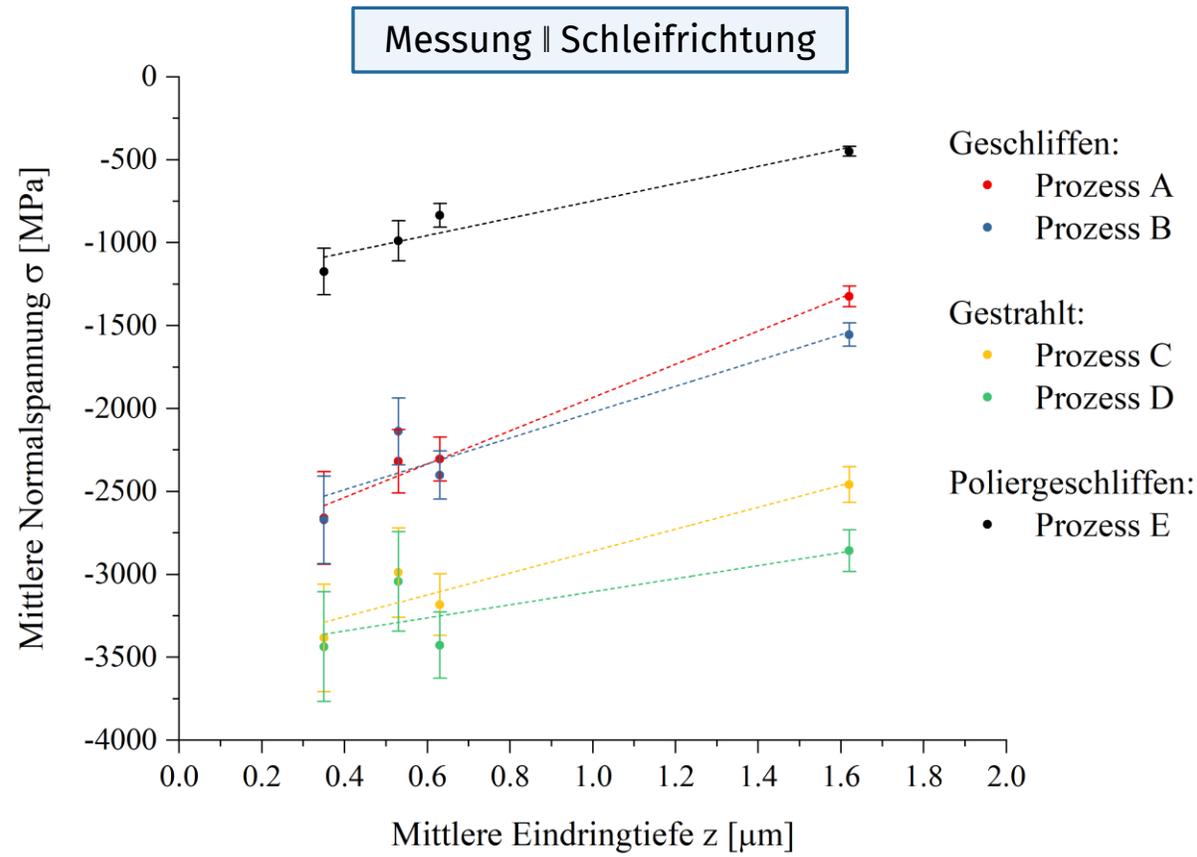
# 3. Eigenspannungsmessungen WC-Co(7,5%)

Röntgenstrahlung	CuK $\alpha$	MnK $\alpha$	CrK $\alpha$	TiK $\alpha$
Energie [keV]	8,04	5,90	5,41	4,51
<b>Eindringtiefe [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>1,62</b>	<b>0,63</b>	<b>0,53</b>	<b>0,35</b>
Beugungsreflex	212	201	102	110
REK $1/2S_2$ [ $10^{-6}\text{MPa}^{-1}$ ]	$1,50 \pm 0,10$	$1,60 \pm 0,13$	$1,22 \pm 0,13$	$1,76 \pm 0,25$
REK $S_1$ [ $10^{-6}\text{MPa}^{-1}$ ]	$-0,31 \pm 0,02$	$-0,32 \pm 0,07$	$-0,26 \pm 0,08$	$-0,22 \pm 0,08$
Unsicherheit $U(\sigma)/\sigma$ [%]	4,8	6,2	9,6	10,1
Diffraktometer	DR45	DR45	DR45	G2R
Detektorsystem	2D	2D	2D	1D
Anzahl Kippungen	9	9	9	9
<b>Belichtungszeit [s]</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>60</b>
Anzahl Messrichtungen	2	2	2	2
<b>Gesamtmesszeit [min]</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>20</b>

# 3. Messungen mit CuK $\alpha$ -Strahlung



# 3. Gemessene Eigenspannungstiefenprofile



Röntgenstrahlung	CuK $\alpha$	MnK $\alpha$	CrK $\alpha$	TiK $\alpha$
Energie [keV]	8,04	5,90	5,41	4,51
mittlere Eindringtiefe [ $\mu\text{m}$ ]	1,62	0,63	0,53	0,35

# Inhalt

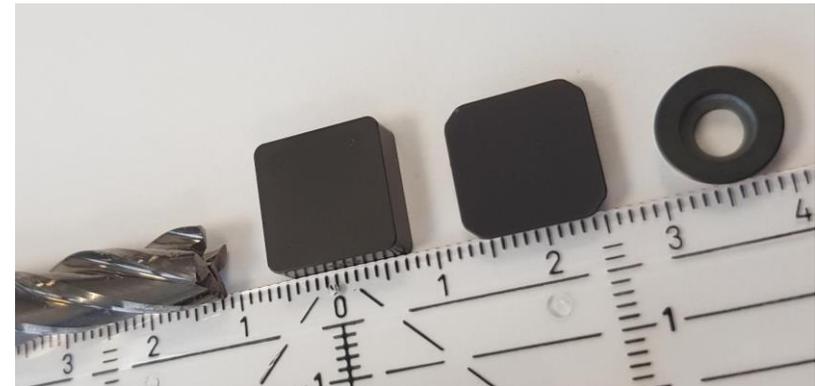
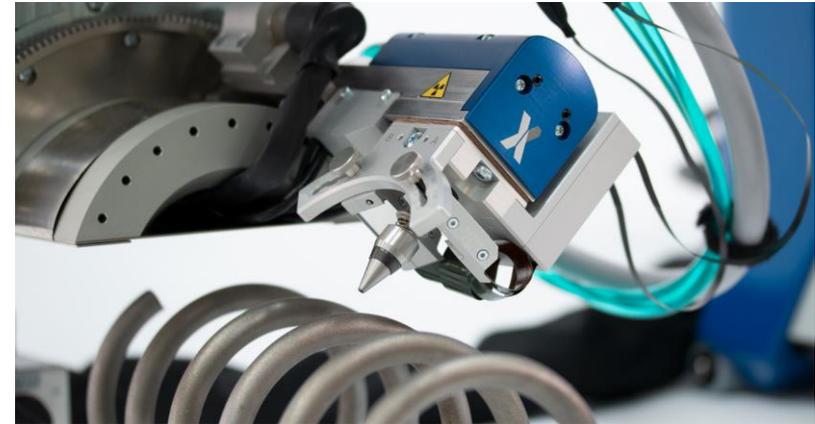
---

1. Eigenspannungen

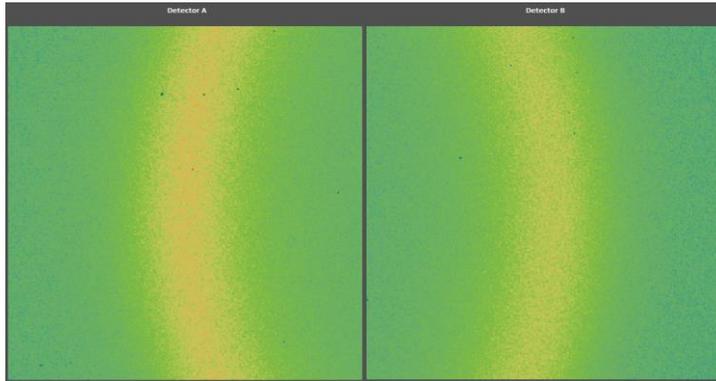
2. Röntgendiffraktion

3. Anwendungen

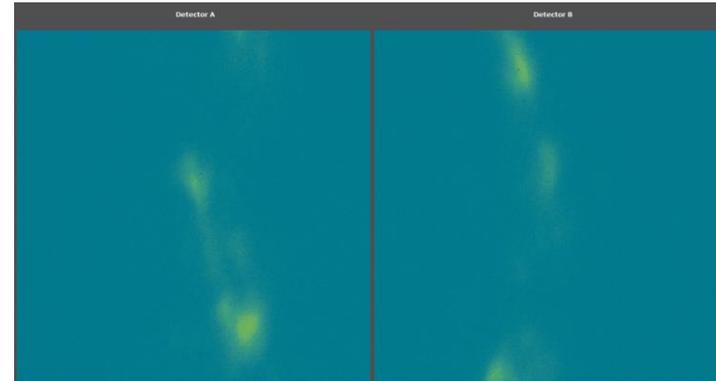
**4. Ausblick**



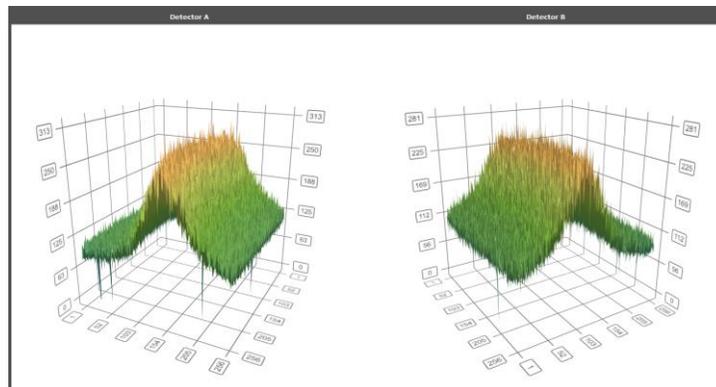
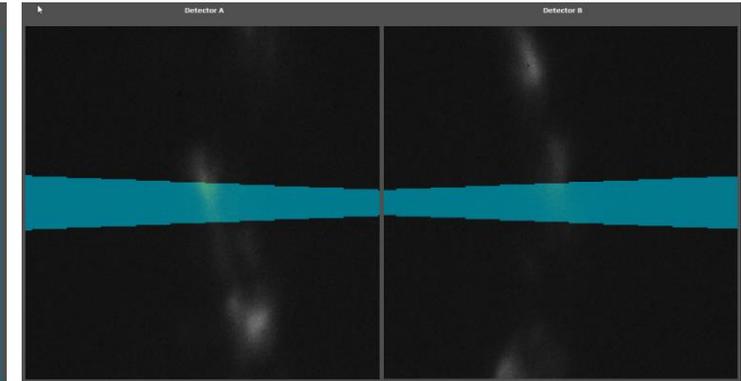
# 4. Ausblick – Xstress45 - Datenqualität



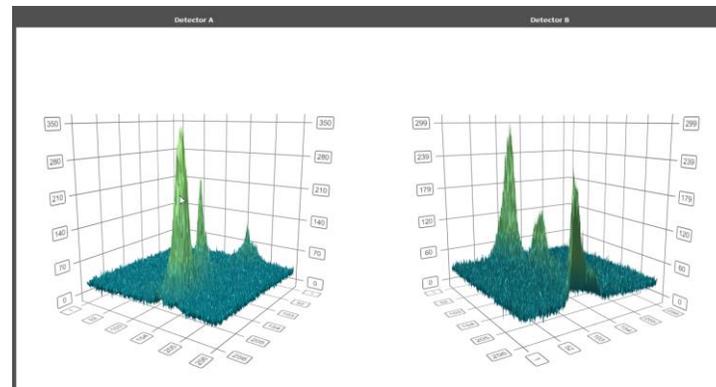
2D Detektordaten



2D Detektordaten an gewalztem Alublech



3D Detektordaten



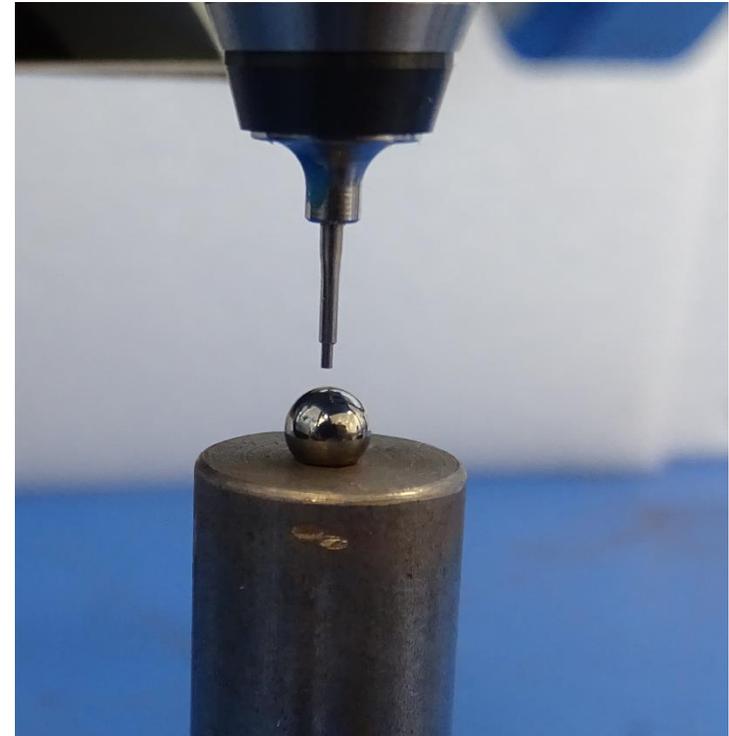
3D Detektordaten

# 4. Ausblick - Xstress DR45 - Geschwindigkeit

## Kurze Messzeiten auch bei kleinsten Messfleck-Durchmessern

### Anwendungsfelder:

- Span- und Freiflächen an Werkzeugen aus HSS und HM
- Festigkeitsgestrahlte Zahnfußausrundungen
- Ventil- oder Spiralfedern mit Drahtdurchmesser 3 mm (erfordert Belichtungsdurchmesser von ca. 0,4mm)
- Wälzkörper, Kugeln, 3 mm Durchmesser
- Laserschweißnähte
- Engmaschiges Mapping an additiv hergestellten Teilen
- Etc.



Vergleich 0,35 mm Kollimator zu  
5 mm Kugeldurchmesser

# 4. Ausblick – Xstress45 - Automatisierung

## Systeme für die Fertigungskontrolle

Eigenspannungsmessungen für:

- ✓ Kontrolle Kugelstrahlen
- ✓ Kontrolle Bearbeitung
- ✓ Automatisierbar
- ✓ gemäß EN 15305





*Herzlichen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit!*