



# **Einfluss der Mikrostruktur auf die mechanischen Eigenschaften einer Nb-reichen $\gamma$ -TiAl-Legierung**

*S. Lenser<sup>1</sup>, J. Hausmann<sup>1</sup>, W. Smarsly<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Werkstoff-Forschung, Köln*

*<sup>2</sup>MTU Aero Engines GmbH, München*



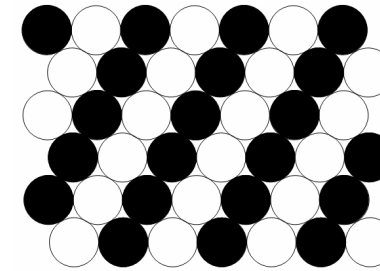
# Outline

- Was kennzeichnet  $\gamma$ -TiAl?
- Zugversuche
- Probenpräparation und Gefüge (REM)
- Gitterfehler (TEM)
- Röntgendiffraktometrie
- Zusammenfassung



# Was kennzeichnet $\gamma$ -TiAl?

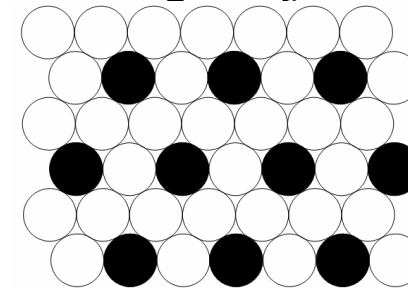
$\gamma$ -TiAl



TiAl (111)

geordnete hexagonale D019-Kristallstruktur

$\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al

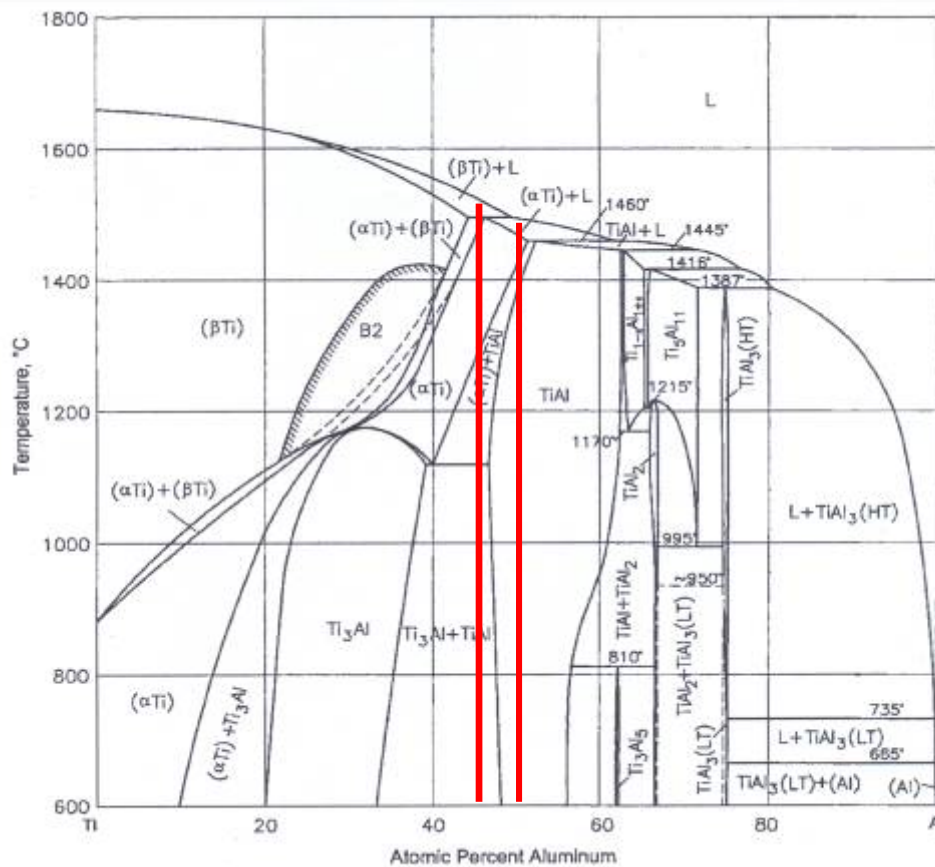


Ti<sub>3</sub>Al (00.2)

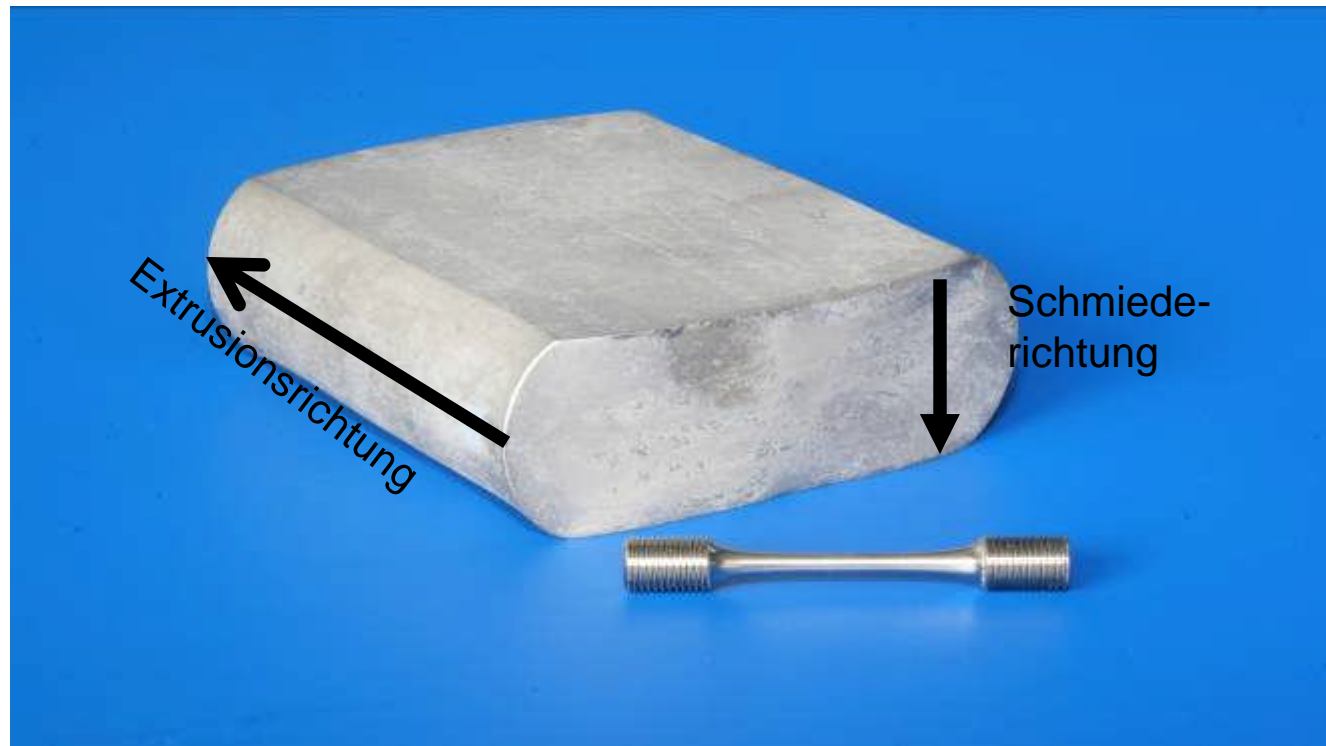
geordnete tetragonale-flächenzentrierte

L10-Kristallstruktur

(• Al-atoms, ○ Ti-atoms)



# Ausgangsmaterial

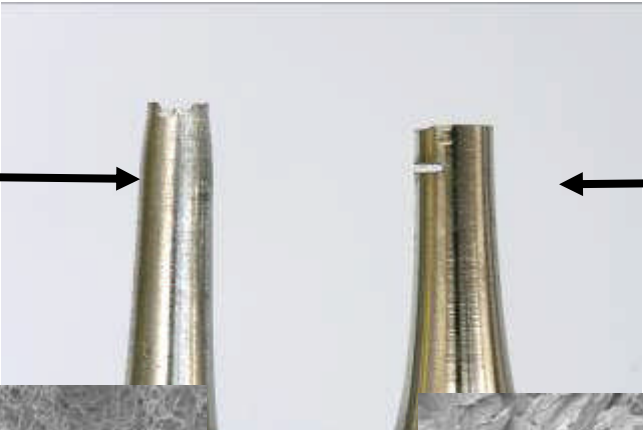


Nominelle Zusammensetzung: Ti-45Al-5Nb-0.2C-0.2B  
TNB-V5

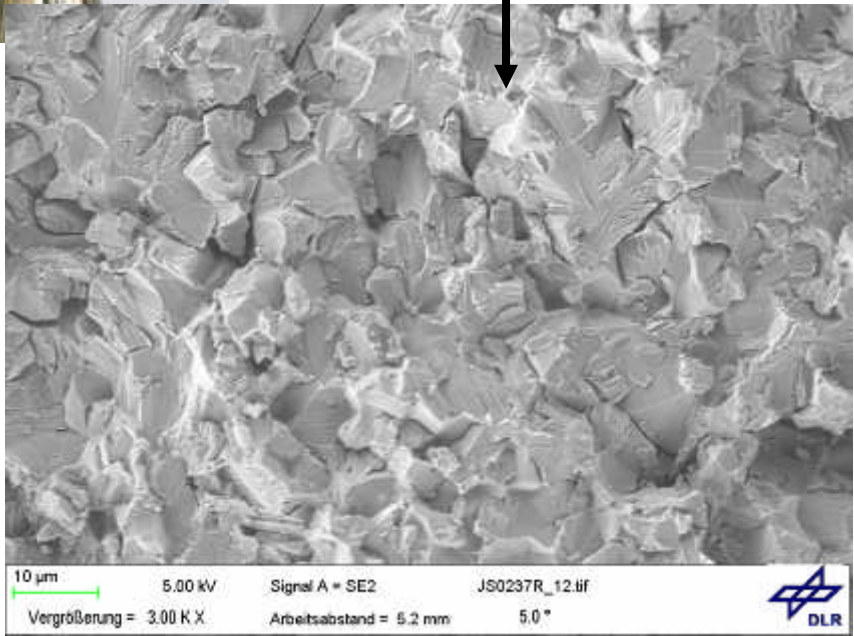
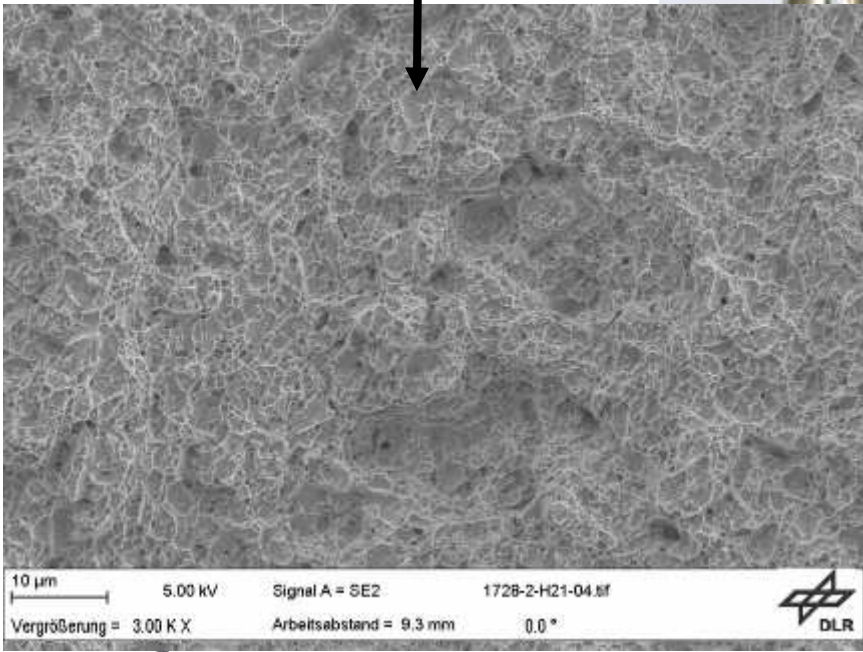


# Zugversuch Bruch

Ti-6242  
(near  $\alpha$ -Ti-Legierung)

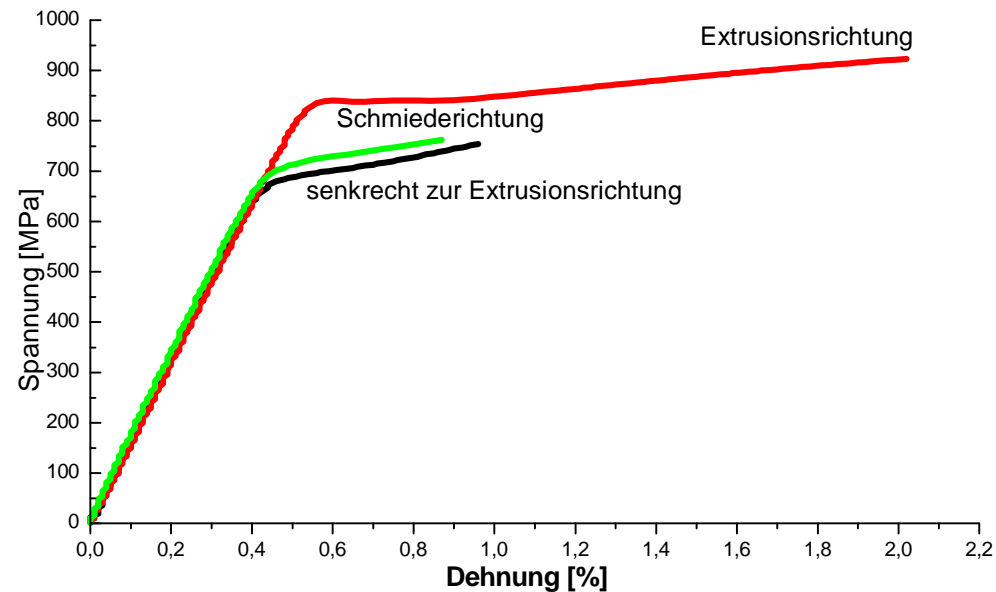


$\gamma$ -TiAl



# Zugversuch

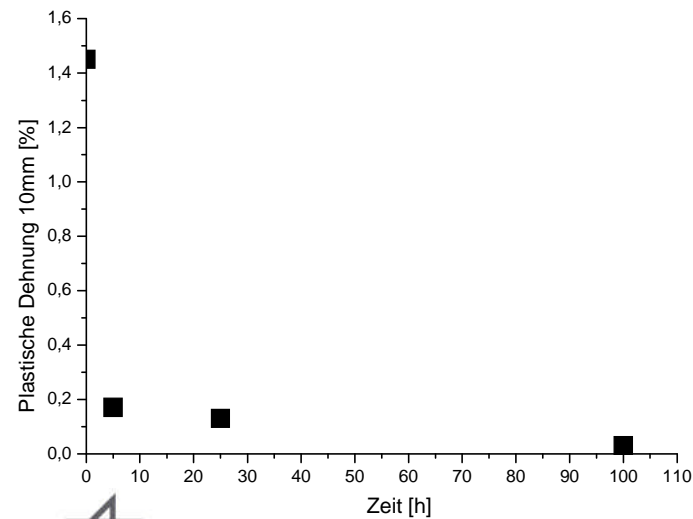
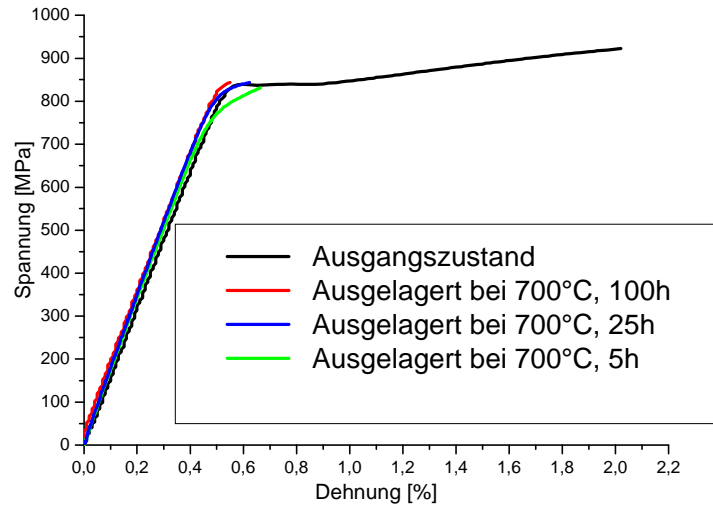
## Spannungs-Dehnungs-Kurven / Ausgangszustand



Richtung	Elastizitäts-Modul	Zugfestig-keit	Plastische Dehnung 10mm	Bemerkungen
	GPa	MPa	%	
Extrusion	162	923	1,45	Ausgangszustand
Schmiede	166	762	0,40	Ausgangszustand
Senkrecht	161	753	0,49	Ausgangszustand

# Zugversuch

## Spannungs-Dehnungs-Kurve / Auslagerung



Extrusions-  
richtung

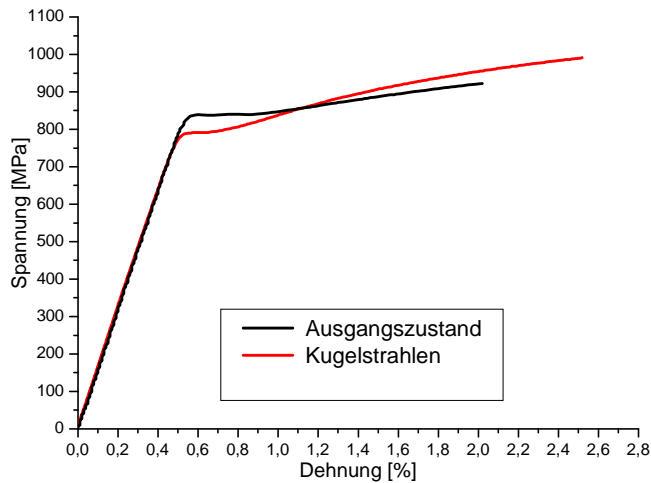
Richtung	Elastizitäts-Modul	Zugfestigkeit	Plastische Dehnung 10mm	Bemerkungen
	GPa	MPa	%	
Extrusion	162	923	1,45	Ausgangszu- stand
Extrusion	162	846	0,03	700°C, 100h
Extrusion	171	844	0,13	700°C, 25h
Extrusion	167	831	0,17	700°C, 5h



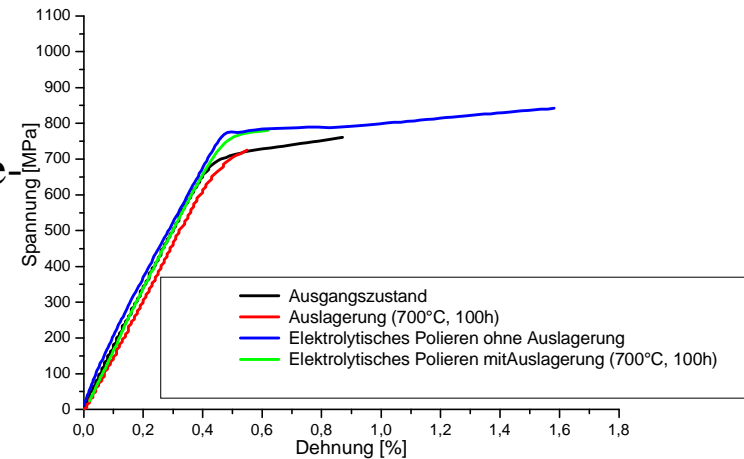
# Zugversuche

## Gibt es Verbesserungsmöglichkeiten?

Extrusions-  
richtung



Schmiede-  
richtung



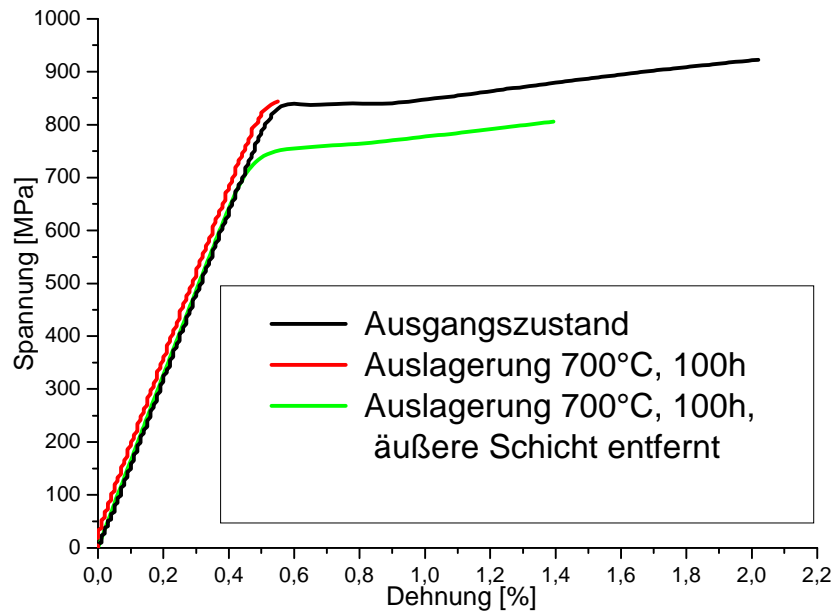
Elastizitäts-Modul	Zugfestig-keit	Plastische Dehnung 10mm	Bemerkungen
GPa	MPa	%	
166	934	1,45	Ausgangszustand
166	945	2,09	Kugelstrahlen, ohne Auslagerung

Elastizitäts-Modul	Zugfestig-keit	Plastische Dehnung 10mm	Bemerkungen
GPa	MPa	%	
166	762	0,40	Ausgangszustand
158	727	0,09	Auslagern bei 700°C, 100h
160	842	1,09	Elektr. Polieren, ohne Auslagerung
167	769	0,06	Elektr. Polieren, 700°C, 100h



# Zugversuche

## Gibt es Verbesserungsmöglichkeiten?

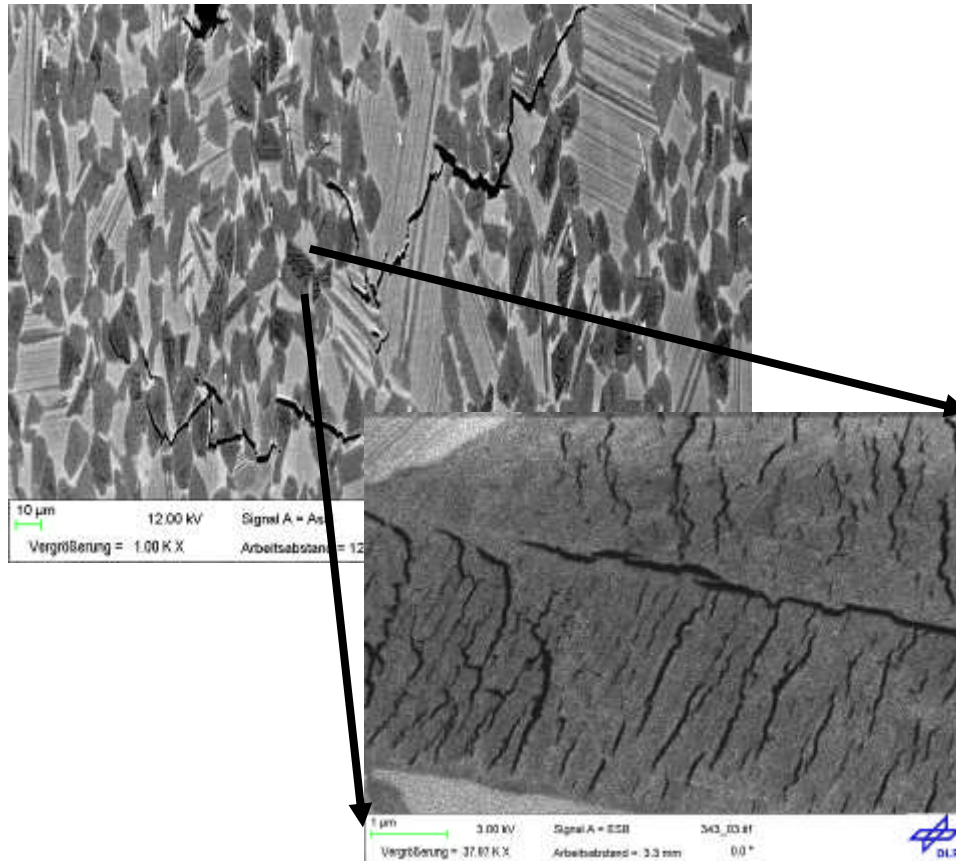


Richtung	Elastizitäts-Modul	Zugfestigkeit	Plastische Dehnung 10mm	Bemerkungen
	GPa	MPa	%	
Extrusion	162	923	1,45	Ausgangszu-stand
Extrusion	162	846	0,03	700°C, 100h
Extrusion	168	837	0,84	700°C, 100h Schicht entfernt

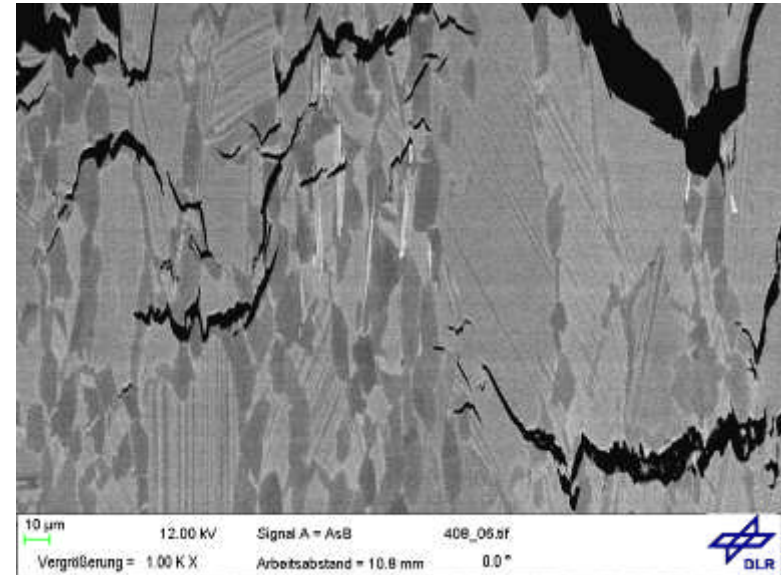


# REM

## Ist die Präparation wichtig?



Risse in globularen Körnern  
MasterMet 2

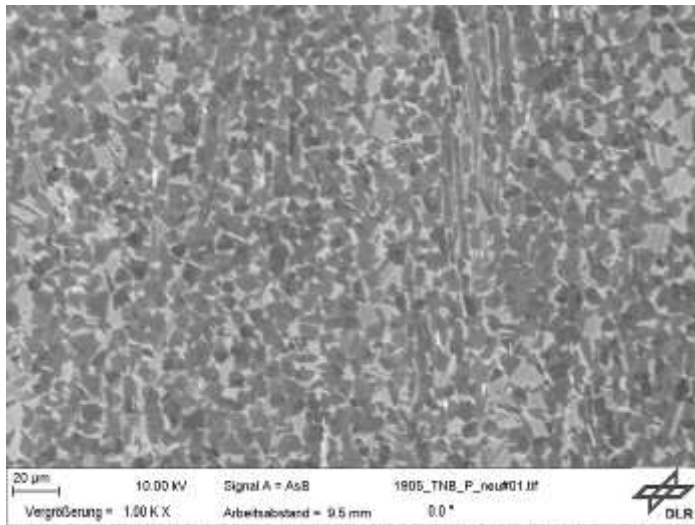


keine Risse in globularen Körnern  
MasterPolish

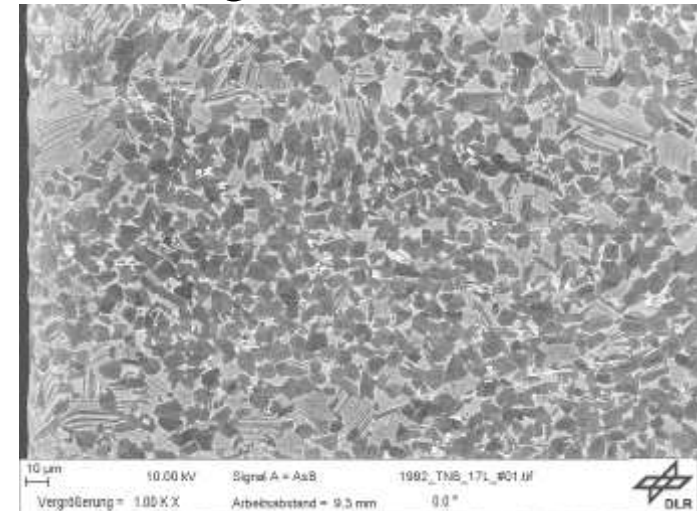


# REM Gefüge

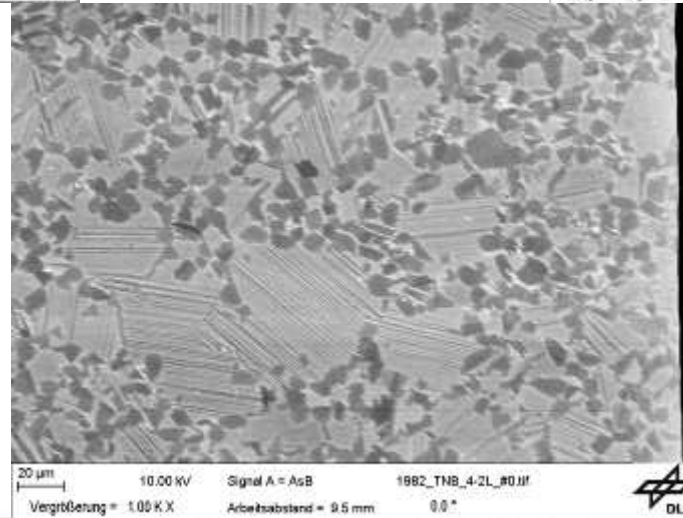
Extrusionsrichtung\*



Senkrecht zur Extrusions-  
richtung\*

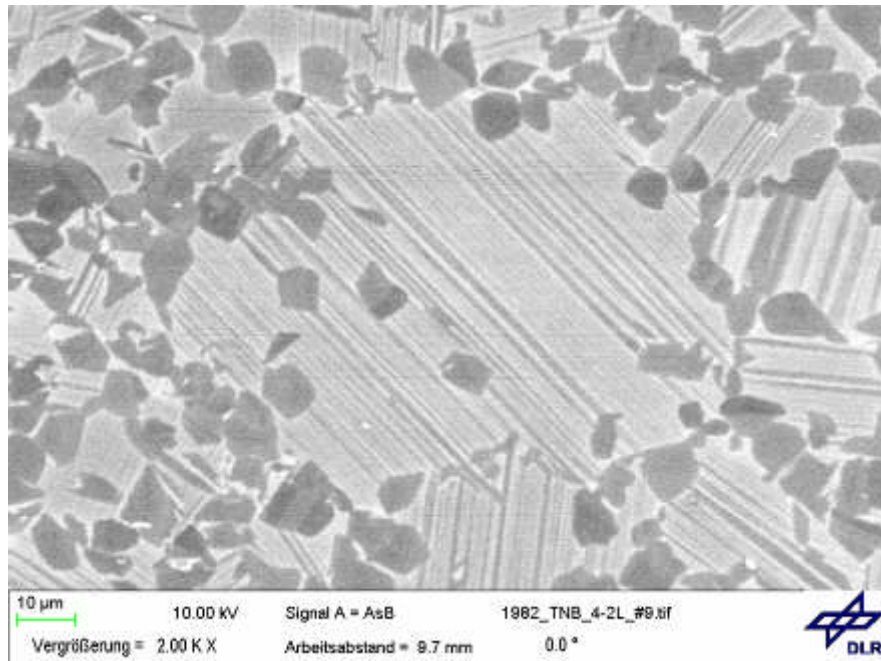


Schmiede-  
richtung\*

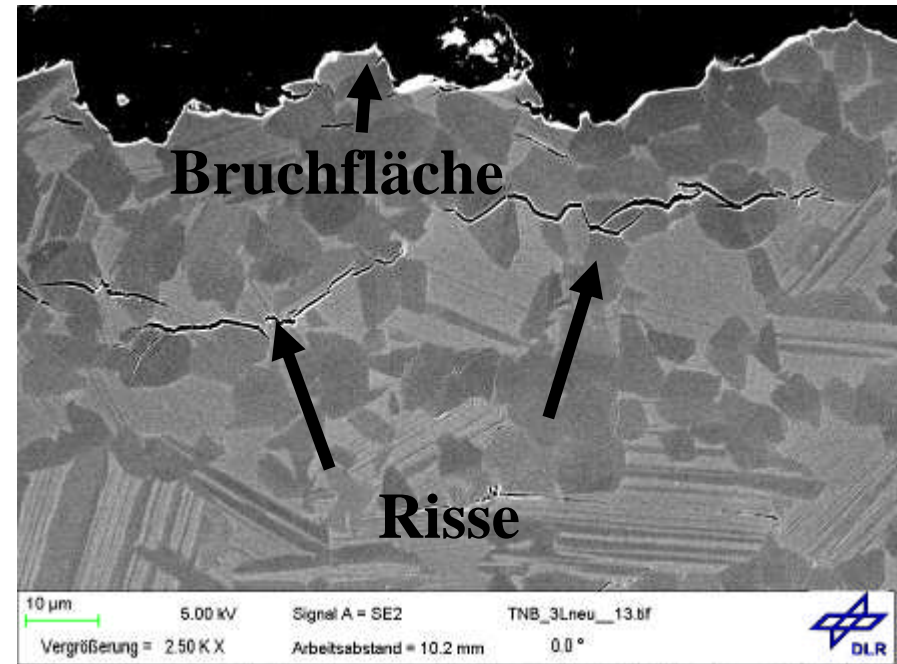


\**Längsschliff*

# REM Besonderheiten



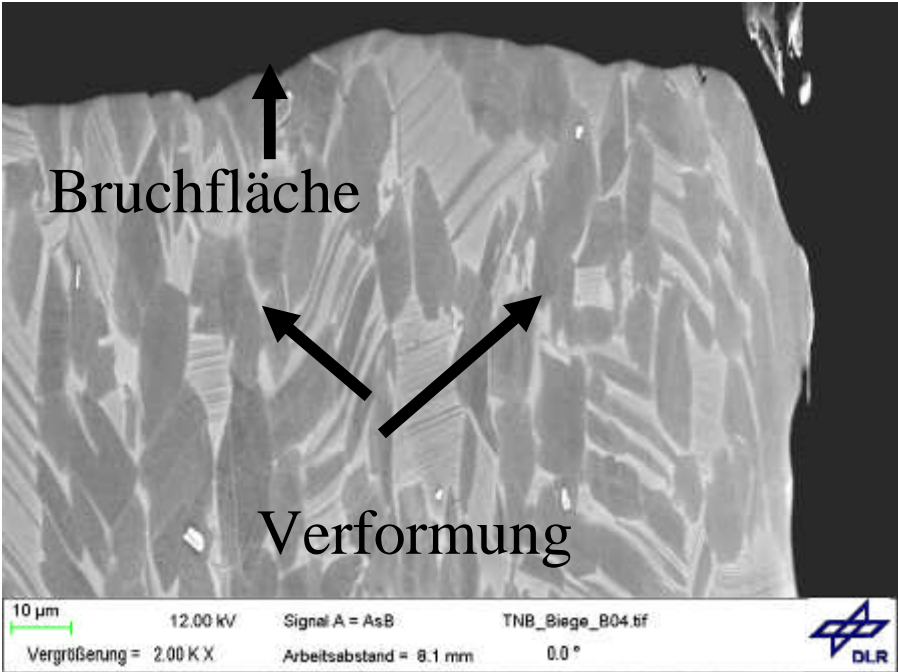
Korngröße, Zwillinge und  
Lamellendicke



Risse / nach Zugversuch



# REM Besonderheiten

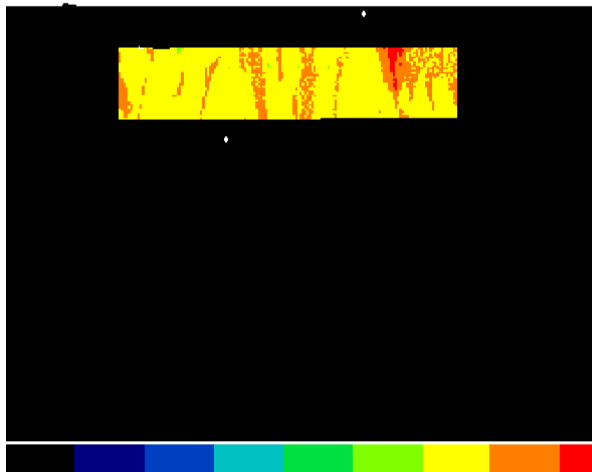
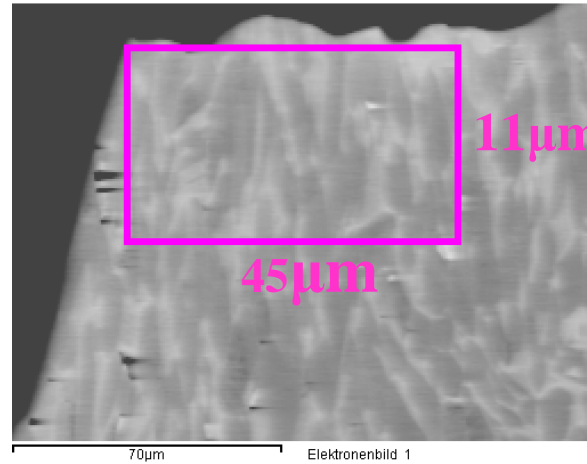


Verformungen des lamellaren Gefüges

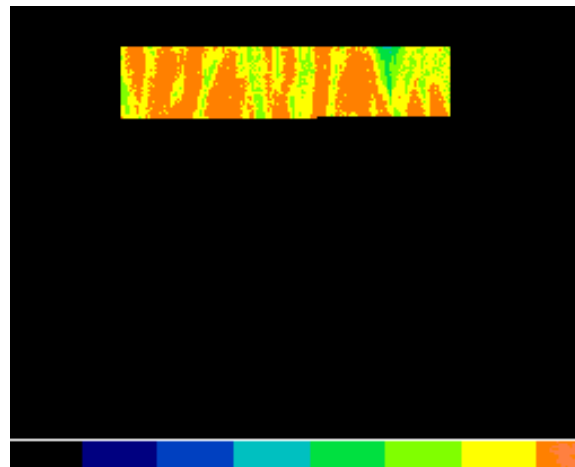


# REM

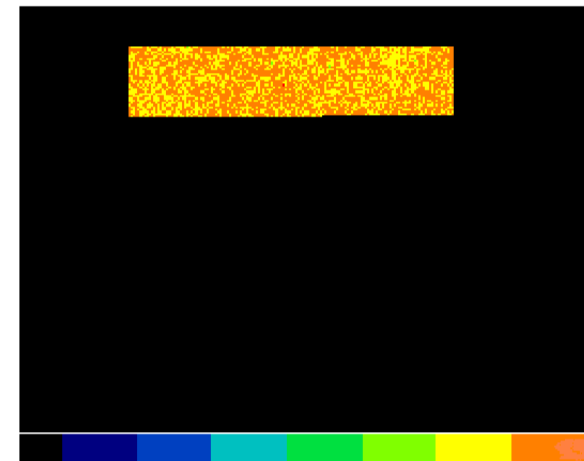
## Elementverteilung/ über mehrere Körner



Ti K\_SERIES



Al K\_SERIES

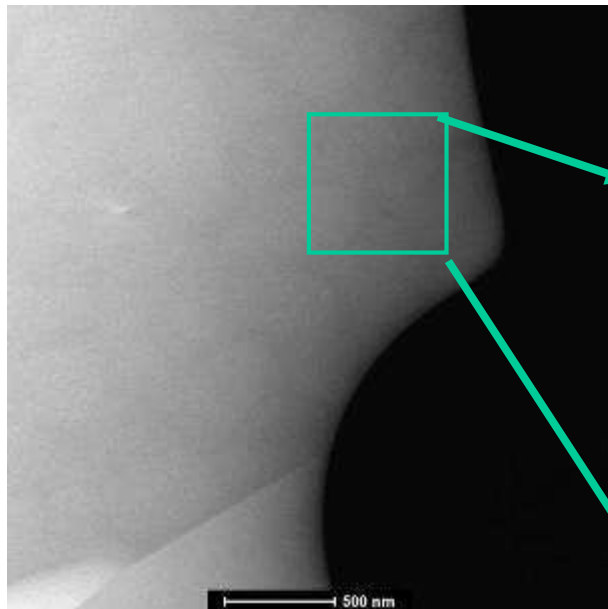


Nb L\_SERIES

*Längsschliff / EDX*

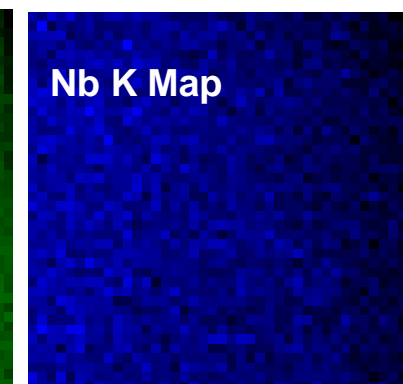
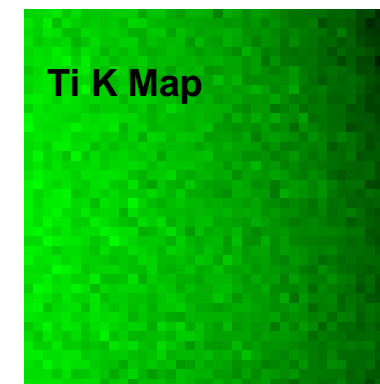
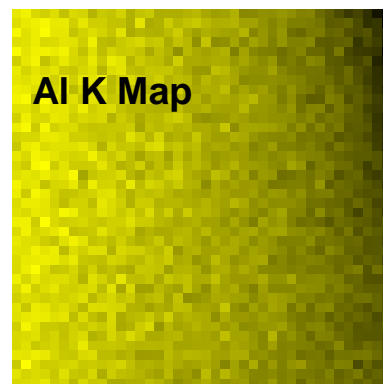
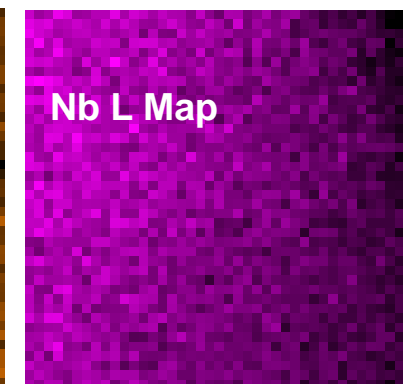
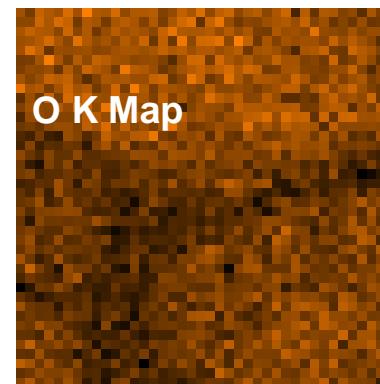
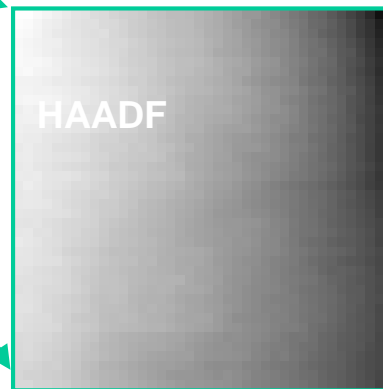
# TEM

## Elementeverteilung / Korn

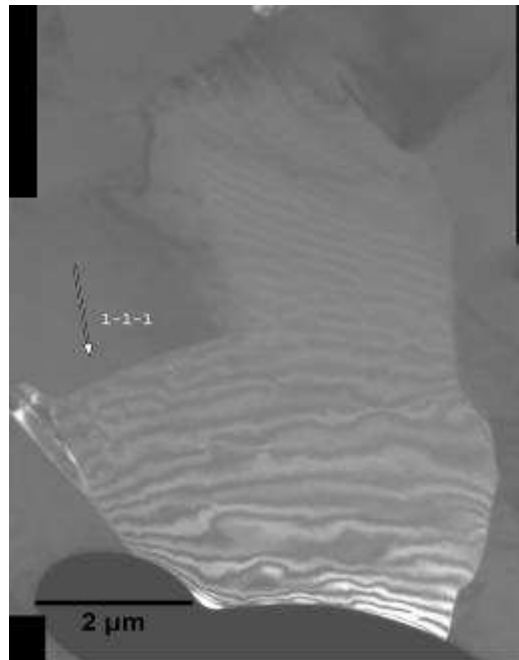


HAADF-Bild  
(High Angle Annular Dark Field)

- Ringstrukturen sind Sauerstoffbasiert

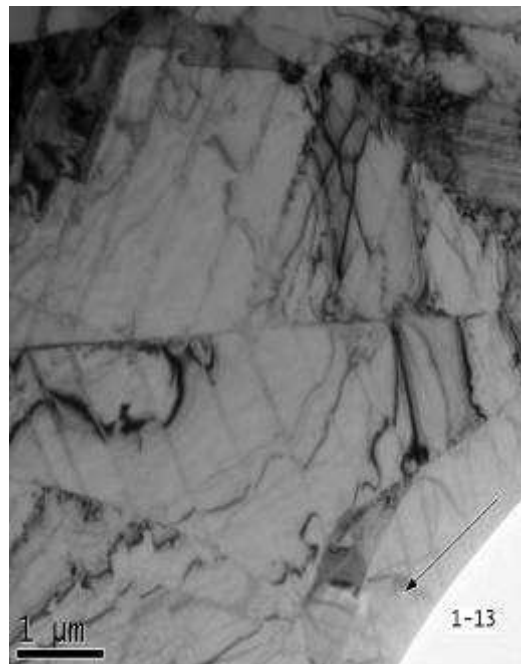


# TEM Gitterfehler



Ungezogene Rund-  
Zugprobe

- Phase:  $\gamma$ -TiAl
- Zwillinge



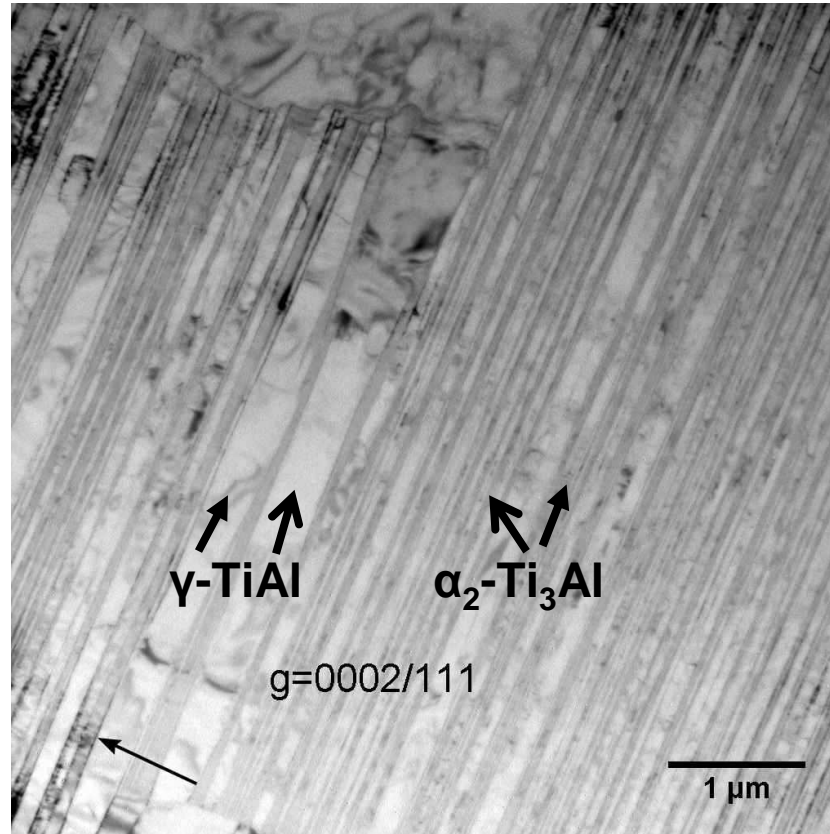
Gezogene Rund-  
Zugprobe, nicht ausgelagert

- viele Stapelfehler auf (111)  $\gamma$ -TiAl
- viele Gleitbänder auf (111)  $\gamma$ -TiAl



Gezogene Rund-  
Zugprobe, ausgelagert

# TEM Lamellen

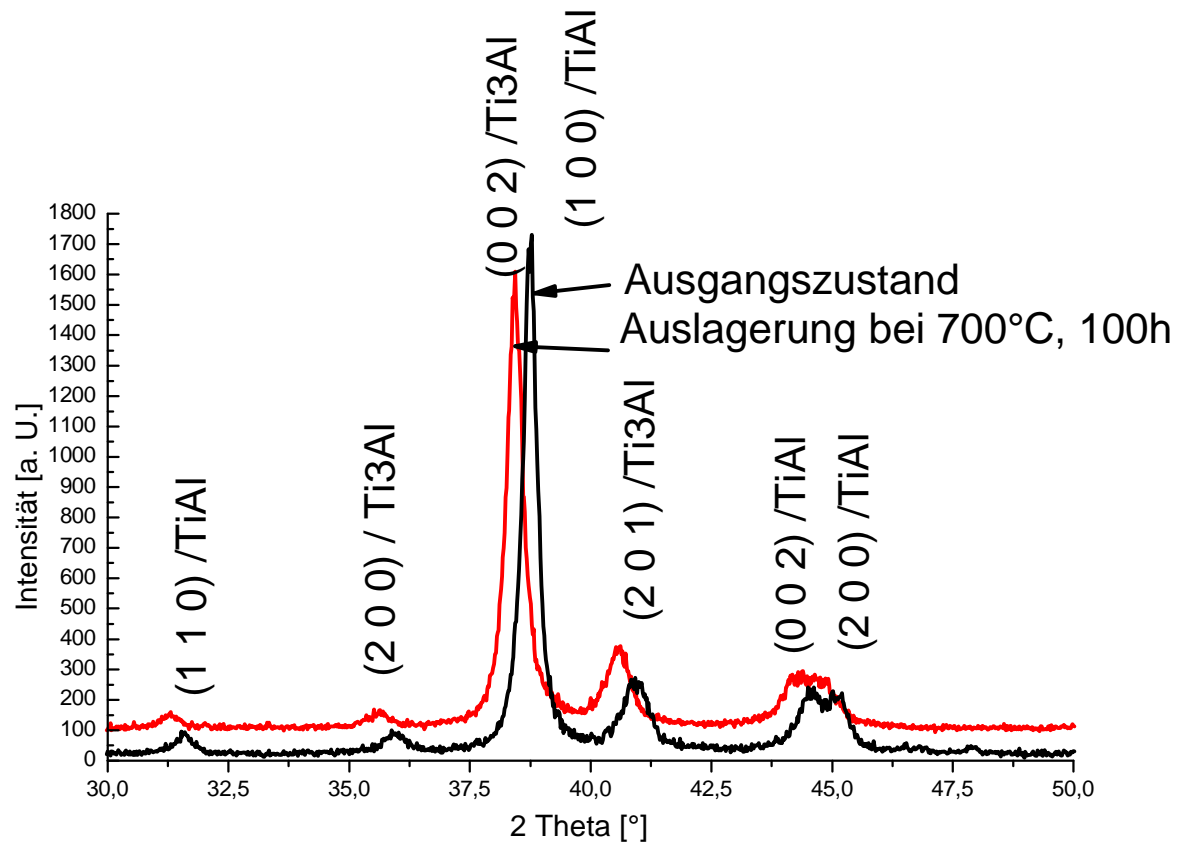


- $\gamma$ -TiAl und  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al
- $\langle 111 \rangle \gamma$ -TiAl || [0001]  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al
- $\langle 110 \rangle \gamma$ -TiAl || [11-20]  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al
- Versetzungen auch in den  $\gamma$ -TiAl-Lamellen

Versetzungen:  $g=(0002)$ ,  $g=(111)$



# Weitere Erklärungsmöglichkeiten? Röntgendiffraktometrie





## Zusammenfassung

- TNB-V5 besteht aus zwei Phasen:  $\gamma$ -TiAl und  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al
- Probenpräparation (REM) gelingt mit neutralen Suspensionen
- Gefüge ist inhomogen und zeigt Cluster und Vorzugsorientierungen
- Gleichmäßige Elementeverteilung innerhalb eines Korns
- Vorliegen von Versetzungen, Zwillingen und Gleitbändern
- mechanische Eigenschaften zeigen ein stark anisotropes Verhalten und sind temperaturabhängig
- Oxidschicht hat Einfluss auf mechanische Eigenschaften
- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften durch Oberflächenbehandlungen möglich



Ich bedanke mich für ihre Hilfe bei:

K. Baumann

U. Fuchs

K. Kelm

U. Krebber

P. Watermeyer

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**