



Verbundwerkstoffe mit Multi-Metallmatrix: Neue Chance für MMCs?

Joachim Hausmann, Martin Heimeier
DLR, Köln



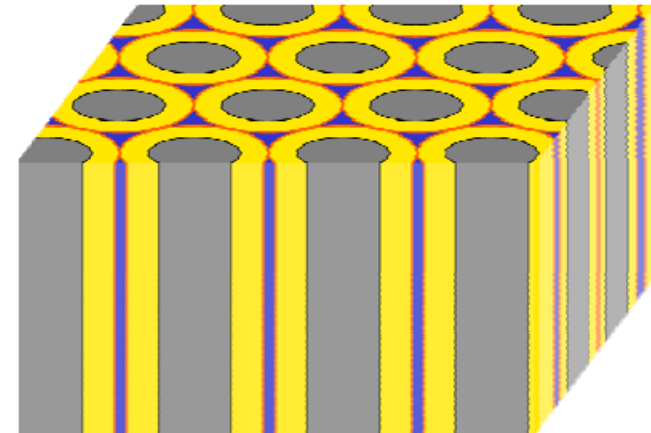
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Fokus

- Vorstellung eines Metallmatrix-Verbundwerkstoffs
 - mit verschiedenen Faservolumengehalten
 - mit unterschiedlichen Multi-Metallmatrizes
 - hergestellt durch neues Fertigungsverfahren
 - mit Potential für Hochtemperatur-Anwendungen

- Herstellung
- Mikroanalytik
- Zugversuche

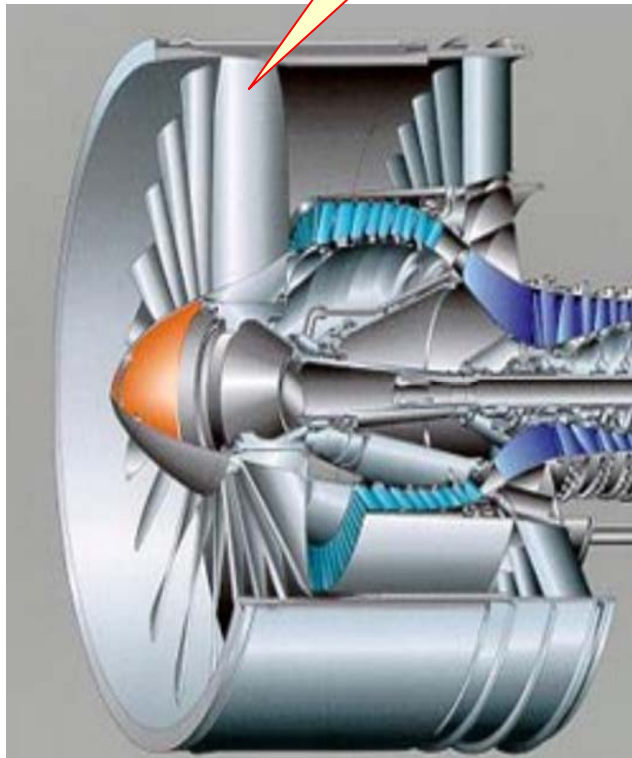




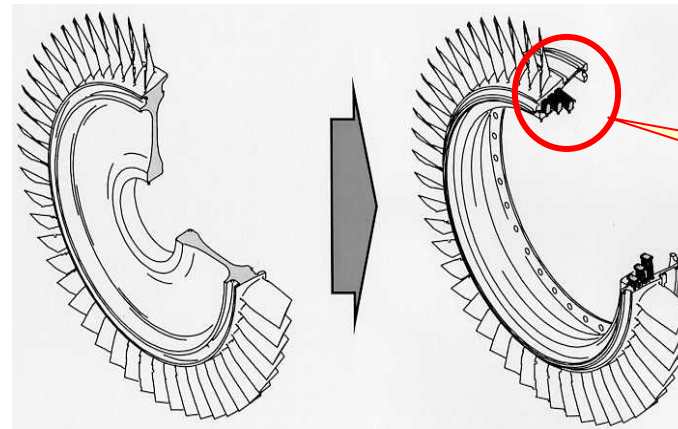
Einsatzmöglichkeiten Titan-MMC (TMC) im Triebwerk

Fan- und Verdichterblätter

• TMCs

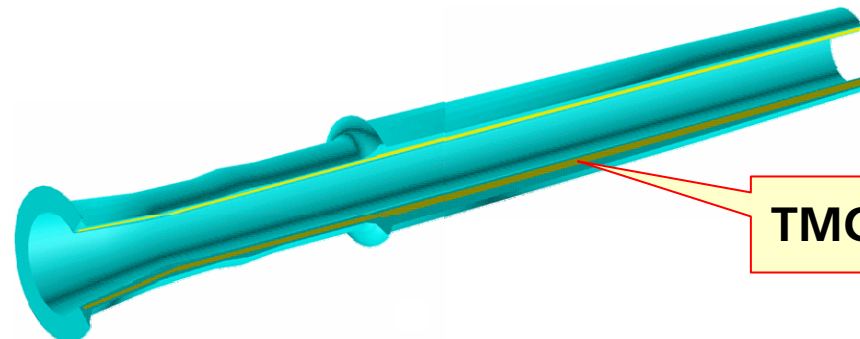


Bling-Technologie



TMCs

Faserverstärkte Welle



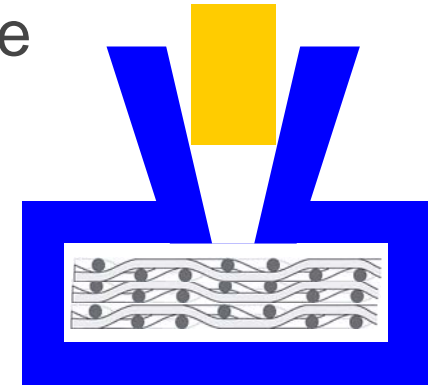
TMCs



Stand der Technik

Herstellverfahren für faserverstärkte Metalle

- Niedrigschmelzende Matrizes (z.B. Al o. Mg)
 - schmelzflüssige Infiltration von Faserbündeln →
- Hochschmelzende Matrizes (z.B. Ti o. Ni)
 - Verfahren über Feststoffroute
 - Konsolidierung matrixbeschichteter Monofilamente liefert hohe Qualitäten
 - ➔ hohe Kosten, Verzug während Konsolidierung



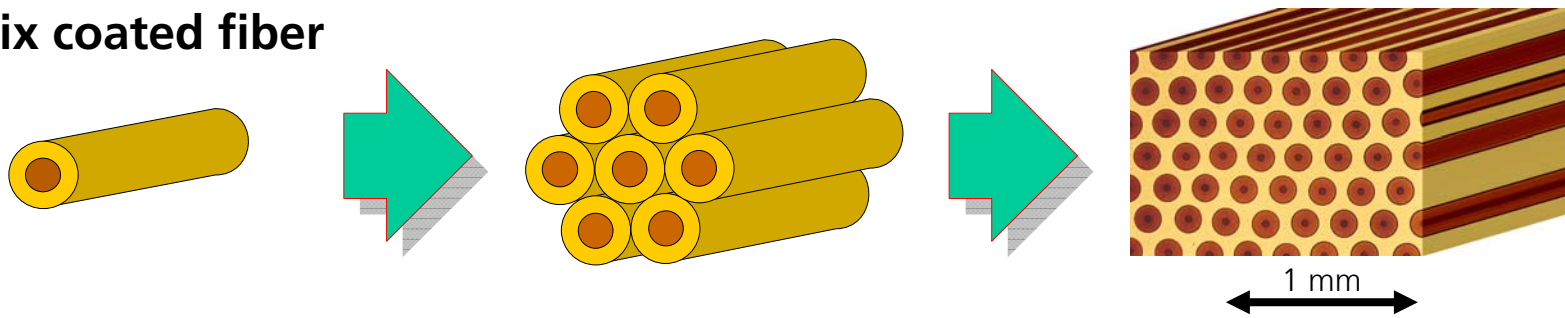


Stand der Technik

Herstellverfahren für faserverstärkte Metalle

- Niedrigschmelzende Matrizes (z.B. Al o. Mg)
 - schmelzflüssige Infiltration von Faserbündeln
- Hochschmelzende Matrizes (z.B. Ti o. Ni)
 - Verfahren über Feststoffroute
 - Konsolidierung matrixbeschichteter Monofilamente liefert hohe Qualitäten
 - ➔ hohe Kosten, Verzug während Konsolidierung

Matrix coated fiber



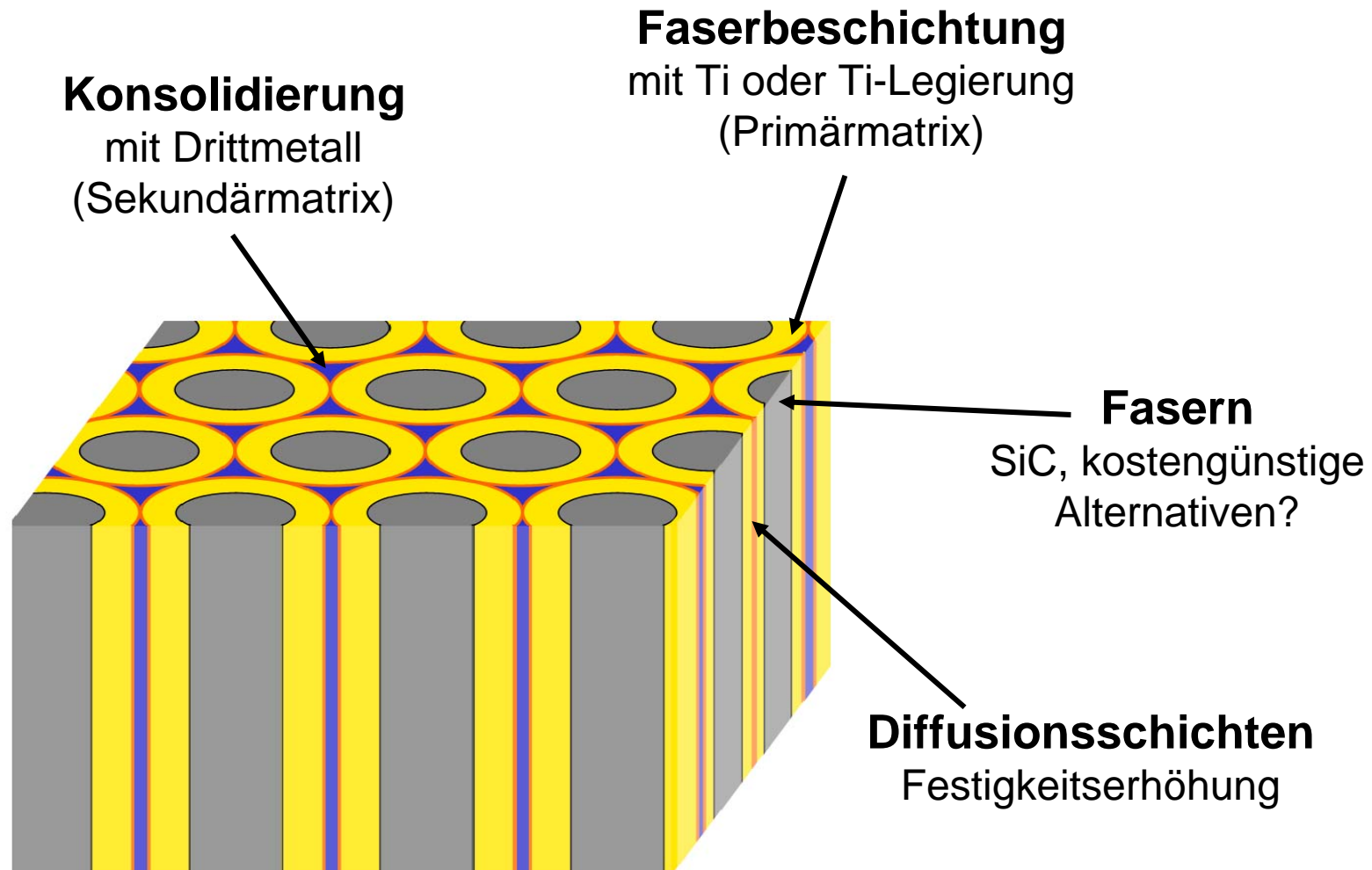


Motivation für ein neues MMC-System

- Reduktion des Aufwandes der gesamten Fertigungskette
- Dazu Bereitstellung eines Werkstoffsystems, das folgende Anforderungen erfüllt:
 - reproduzierbare Qualität, homogene Faserverteilung
 - Temperaturbeständigkeit der Matrix
 - Faserschonendes Verfahren, Konsolidierung ohne Verdichtung
 - Hoher Nutzungsgrad der eingesetzten Materialien



Werkstoffkonzept des Multi-MMC





Zweck der metallischen Faserbeschichtung

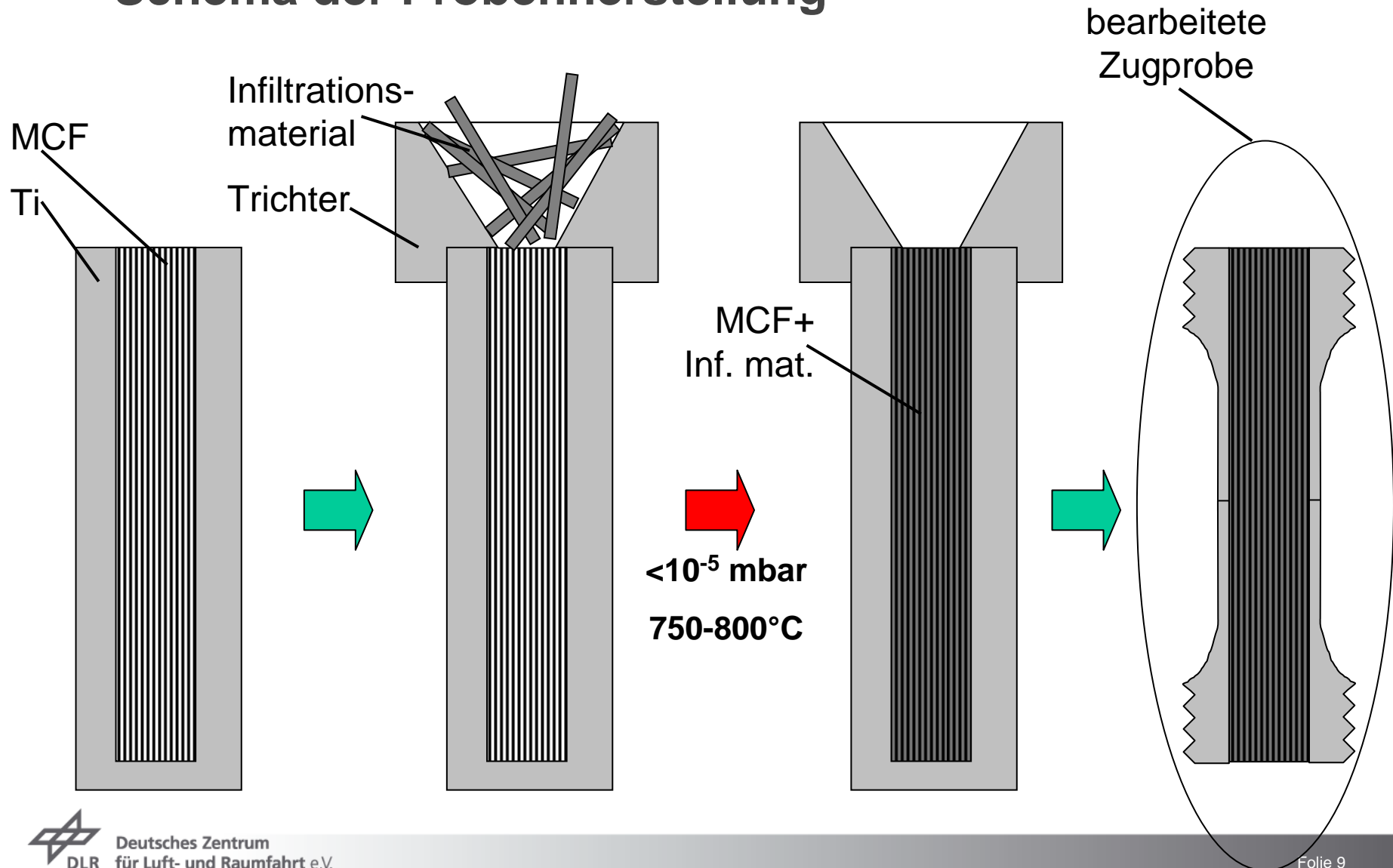
- **Metall (Titan)** mit hohem Schmelzpunkt zur mechanischen und thermischen Stabilität → **Primärmatrix**
- **Infiltrationsmaterial** (z.B. AgCu-Basis) mit niedrigerem Schmelzpunkt zur Herstellung des kompakten Verbundes → **Sekundärmatrix**

- ➔ Titanbeschichtung auf SiC-Fasern, um
 - bekannte Interface-Eigenschaften zu nutzen
 - gute Benetzbarkeit der Fasern zu erreichen
 - regelmäßige Faseranordnung zu ermöglichen
 - Festigkeitssteigernde Wechselwirkung mit Infiltrationsmaterial zu erzielen

- Hier: Verwendung von Primärmatrix-beschichteten SiC-Fasern (PVD)
- Zukünftig: Ersatz von PVD durch Schmelzfluss-Galvanik



Schema der Probenherstellung





Infiltration im Vakuumofen

Aufbau



Fasern und Primärmatrix:

SCS-6-Fasern PVD-beschichtet mit Reintitan (cp-Ti) und Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti-6-2-4-2)

Sekundärmatrix:

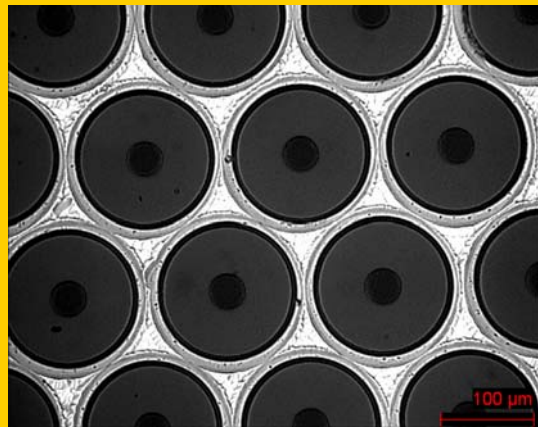
AgCuSn- und AgCu-Drähte als Infiltrationsmaterial
($T_m \sim 700^\circ\text{C}$, bzw. 780°C)

Hülle:

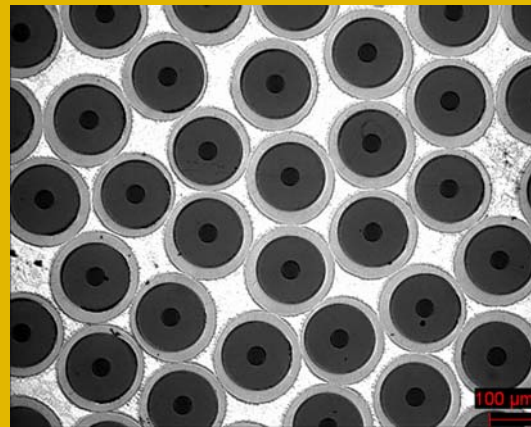
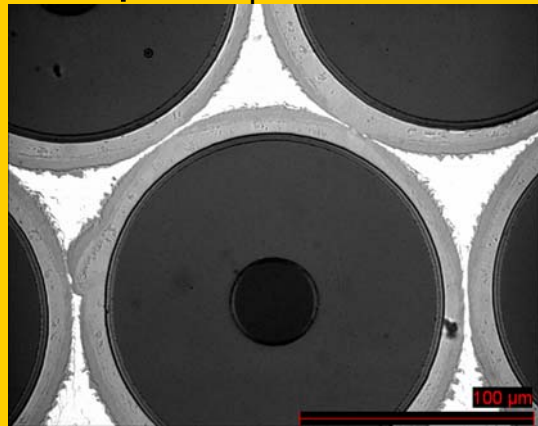
Ti-6-2-4-2-Kapseln

Lichtmikroskopische Schliffbilder

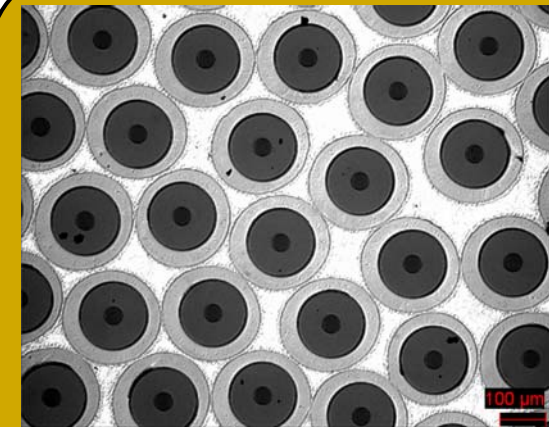
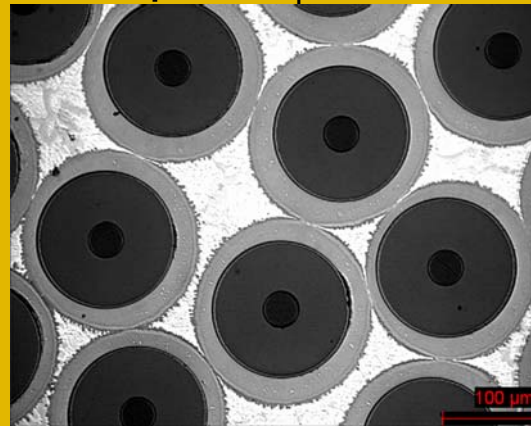
Matrixsystem: cp-Ti/AgCuSn



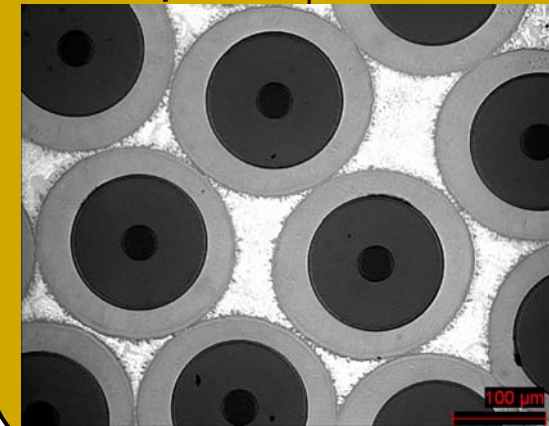
12 μm, $v_f = 46\%$



22 μm, $v_f = 34\%$



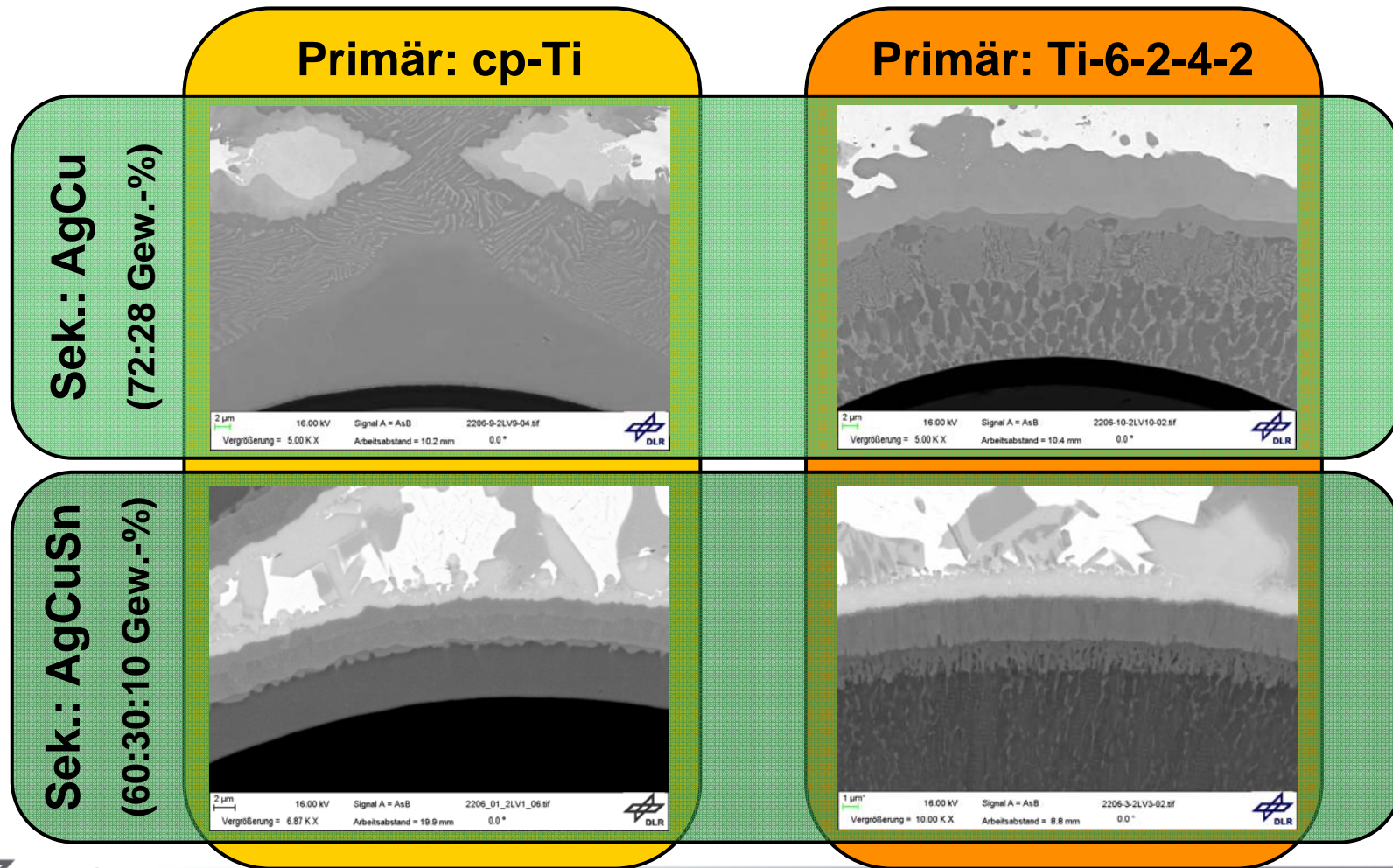
30 μm, $v_f = 28\%$



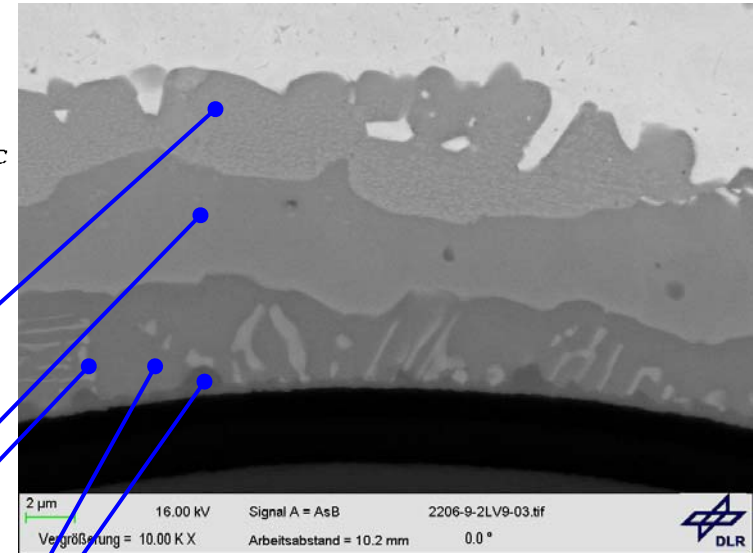
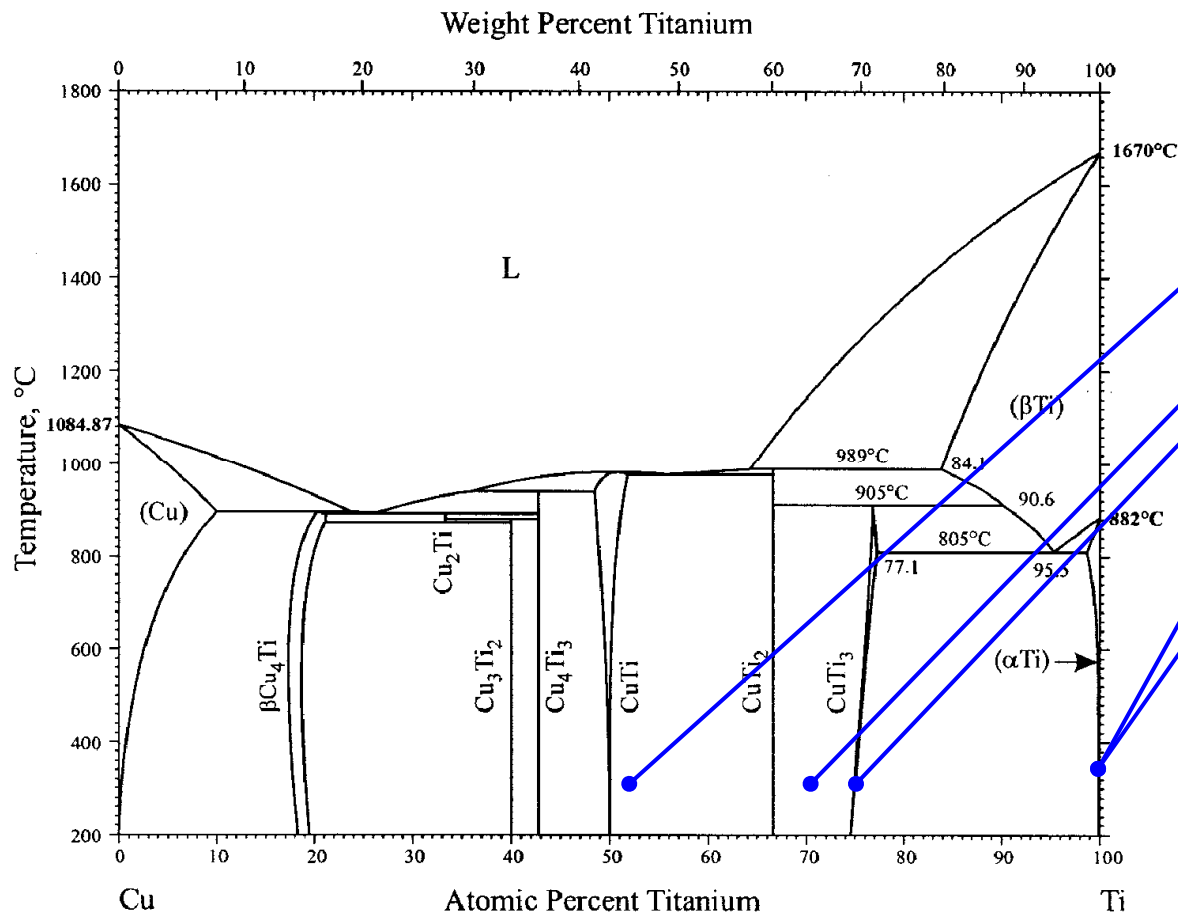


Matrix-Kombinationen

Ausbildung der (intermetallischen) Zwischenphasen



Analyse der Diffusionsschichten (EDX)



- ➔ Gute Anbindung
- ➔ Gefahr von spröden Phasen

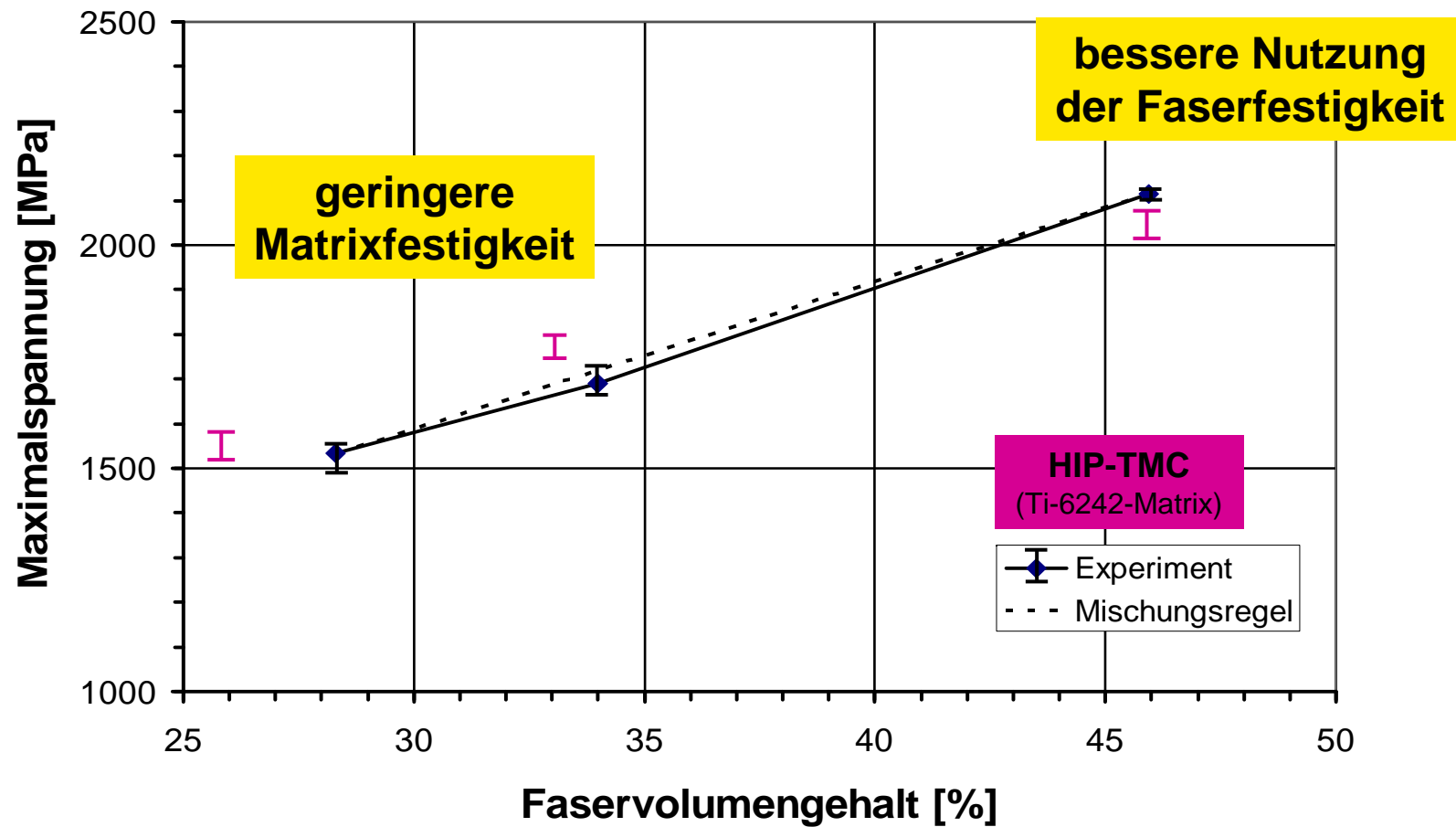
[H. Okamoto, Journal of Phase Equilibria, Vol. 26, No. 3, 2002]



Volumengehalte der drei Hauptkomponenten

Probenserie	# 1	# 2	# 3
Außendurchmesser [mm]	4	4	4
Dicke Titanschicht [μm]	12	22	30
Faservolumengehalt [%]	46	34	28
Volumengehalt Primärmatrix [%]	17	25	29
Volumengehalt Titan insgesamt* [%]	40	48	53
Volumengehalt Sekundärmatrix [%]	14	18	19

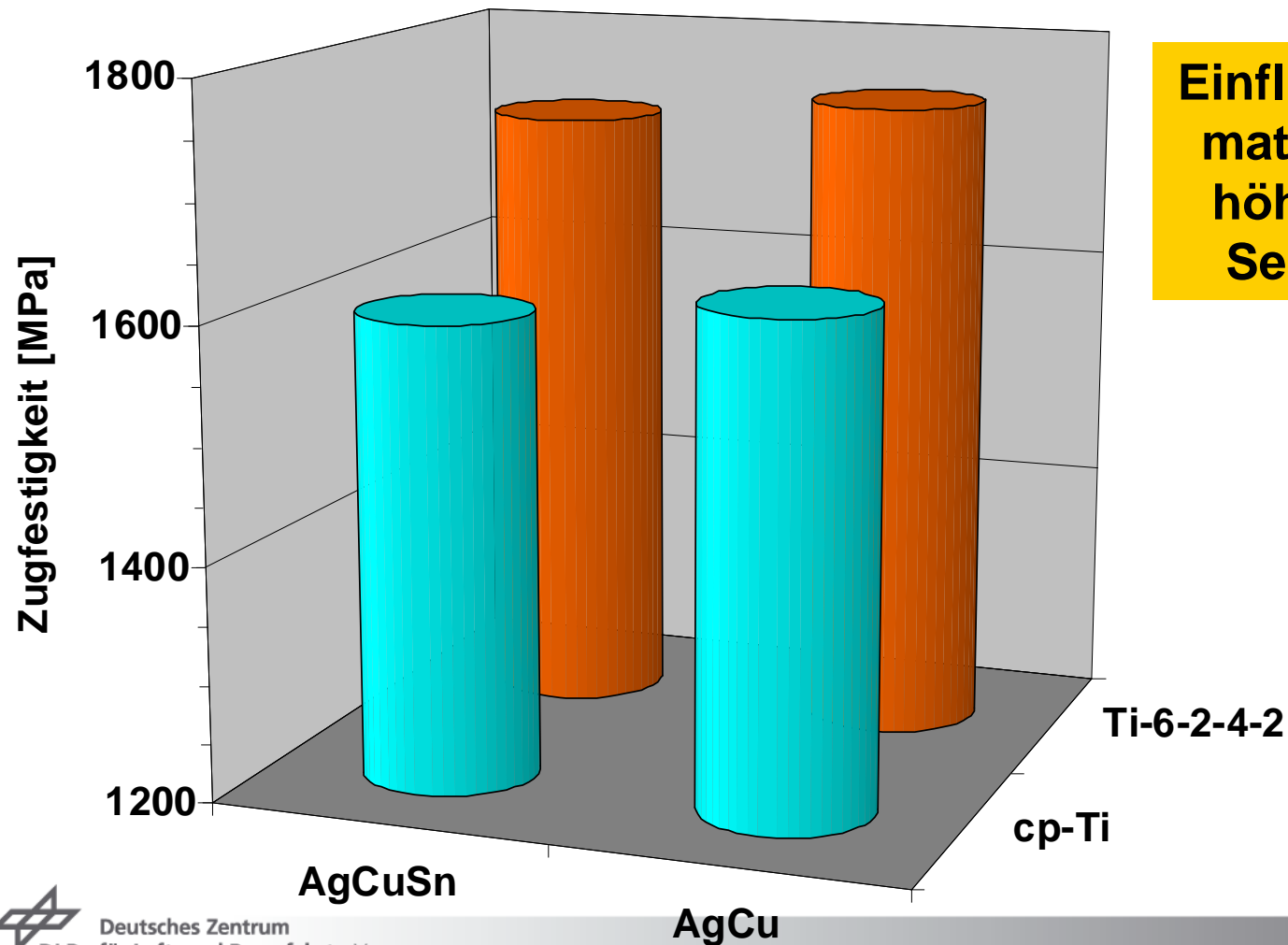
Ergebnisse der Zugversuche (3 Proben/Spec.) Einfluss des Faservolumengehaltes (cp-Ti/AgCuSn)





Ergebnisse der Zugversuche

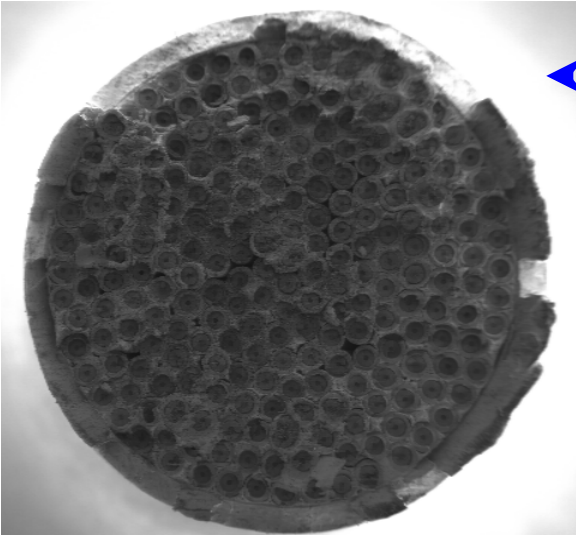
Einfluss des Matrixsystems ($v_f = \sim 32\%$)



Einfluss der Primärmatrix ist deutlich höher als der der Sekundärmatrix



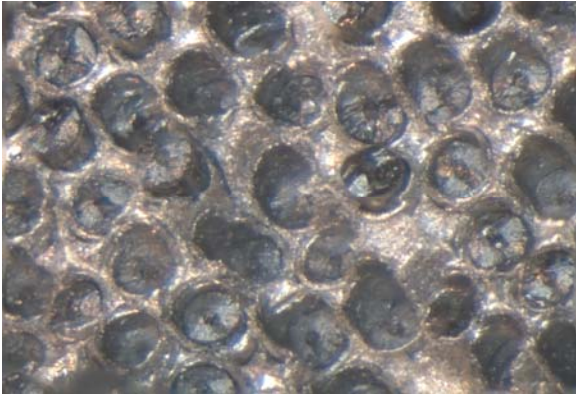
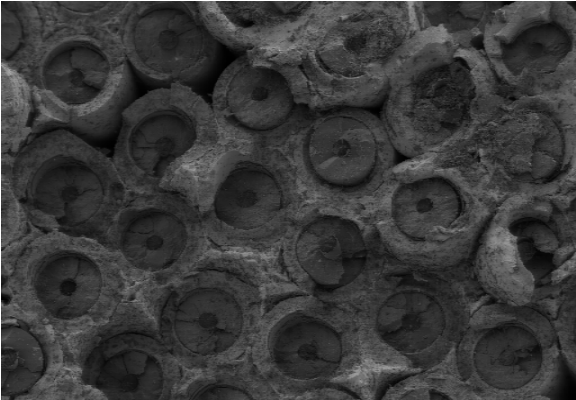
Bruchflächen



1. Probenserie



3. Probenserie





Vergleich Multi-MMC mit HIP-TMC

➤ **HIP-TMC:** **Pros**
ausgereifte Verfahrenstechnik
homogene Matrix
keine Sprödphasen in Matrix

➤ **Multi-MMC:** **Pros**
Einfacher Prozess
sanfte Konsolidierung
hohe Werkstoffausnutzung

➤ **HIP-TMC:** **Cons**
Schrumpfung/Verzug
Faserschädigung
Anlagentechnik
hohe therm. Eigenspannungen

➤ **Multi-MMC:** **Cons**
Bildung von Sprödphasen
Thermische Dauerstabilität???
leicht erhöhte Dichte



Zusammenfassung

- Der Einfluss des Matrixsystems auf die Eigenschaften von Multi-MMCs ist deutlich gegeben, wobei der Einfluss der Primärmatrix höher ist als der der Sekundärmatrix
- Die Mischungsregel zur Bestimmung der Zugfestigkeit ist im Bereich technisch realisierbarer Systeme gültig
- Statische Festigkeiten sind mit denen von HIP-TMCs mindestens vergleichbar
- Dynamische Eigenschaften werden voraussichtlich stark durch intermetallische Phasen beeinflusst; Optimierungsbedarf wird erwartet
- Die Wahl des Matrixsystems eröffnet zahlreiche Möglichkeiten der Anpassung von Eigenschaften
- Weiteres Potential besteht in der Kombination mit weiteren effizienten Prozesstechnologien



Ausblick

- Monofilamente → pyrolytisch hergestelltes amorphes SiCN? (Vortrag Dr. Motz)
- effiziente Faserbeschichtung → Schmelzflusselektrolyse (Vortrag J. Gussone)
- Integrationsmöglichkeit über segmentierten Rotor → Aerolight-Konzept (Vortrag F. Kocian)

- ➔ Elemente zur Entwicklung eines schlüssigen Gesamtkonzepts



Danksagung

➤ Dank an

- die Kollegen der Werkstoffmechanik für die kurzfristige Durchführung der Zugversuche
- die Kollegen der Metallographie und Mikroanalytik für die Probenpräparation und Untersuchungen
- die Kollegen, die mit der Herstellung des Probenmaterials betraut waren
- Prof. Bonnet von der FH Köln für die Betreuung der Diplomarbeit von Herrn Heimeier