

## Lextra

# Laserbasierte additive Fertigung von Bauteilen für extreme Anforderungen aus innovativen intermetallischen Werkstoffen

Laufzeit 01.02.2017 – 31.01.2020



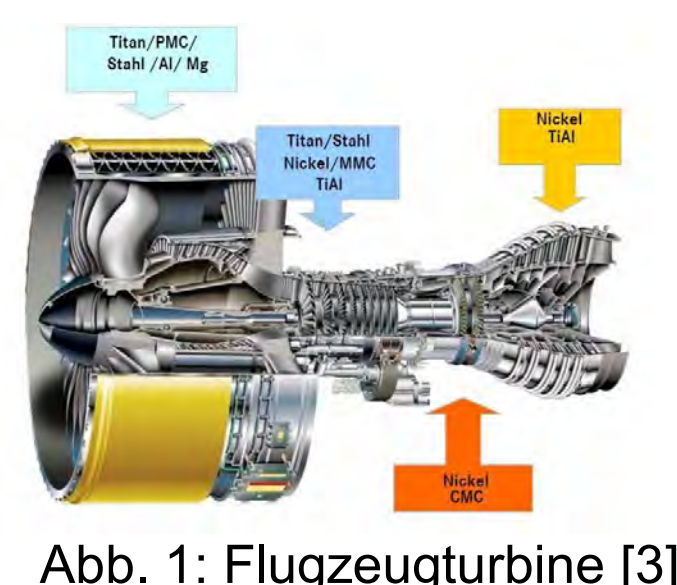
## Additive Fertigung gasverdünster Mo-Si-B Pulver durch Laserauftragschweißen

J. Schmelzer<sup>1\*</sup>, S.-K. Rittinghaus<sup>2</sup>, A. Weisheit<sup>2</sup>, M. Stobik<sup>3</sup>, J. Paulus<sup>4</sup>, K. Gruber<sup>4</sup>, E. Wessel<sup>5</sup>, C. Heinze<sup>5</sup>, M. Krüger<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg. <sup>2</sup>Fraunhofer – Institut für Lasertechnologie, Aachen. <sup>3</sup>NANOVAL GmbH & Co.KG, Berlin. <sup>4</sup>Dr. Kochanek Entwicklungsgesellschaft, Neustadt a. d. Weinstraße. <sup>5</sup>Siemens AG, Berlin. <sup>6</sup>Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-2), Jülich.

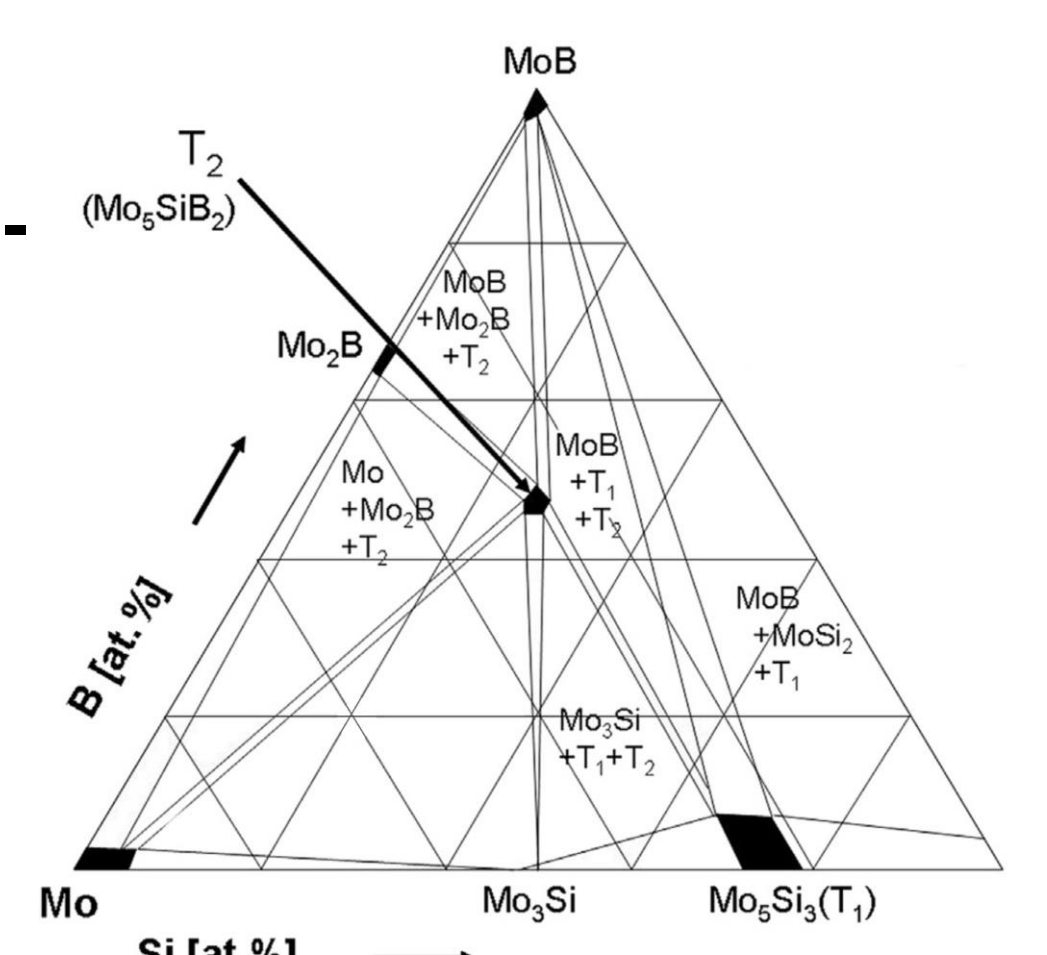
### Motivation & Ziele

- **Mo-Si-B Legierungen** zeigen Potenzial für Anwendungen "beyond Ni-superalloys" → **bessere Hochtemperaturfestigkeit und Kriechbeständigkeit** [1, 2]
- **Anwendung:** - Steigerung des Wirkungsgrades von Gasturbinen durch Erhöhung der Heisgastemperatur
- **Herausforderung:**
  - sehr hoher Schmelzpunkt (ca. 2000 °C)
  - hochpräzise, „near-net-shape“ Bauteile mit **komplexen Geometrien** in einem **einstufigen Prozess** direkt aus dem Pulvermaterial



### Mo-13,5Si-7,5B

- **nah-eutektische Legierungszusammensetzung**
- lokalisiert im **Dreiphasengebiet** zwischen **Mo Mischkristallphase (Mo<sub>SS</sub>)** und den Siliziden **Mo<sub>3</sub>SiB** und **Mo<sub>3</sub>Si**, im sogenannten „Berczik-Dreieck“
- Balance zwischen Raumtemperatureigenschaften, wie Bruchzähigkeit und Spröd-Duktil-Übergangstemperatur, sowie Hochtemperatureigenschaften, wie Kriech- und Oxidationsbeständigkeit [4]



### Pulver

- Herstellung: **Inertgasverdünnungsprozess** ausgehend von elementaren Feststoffen

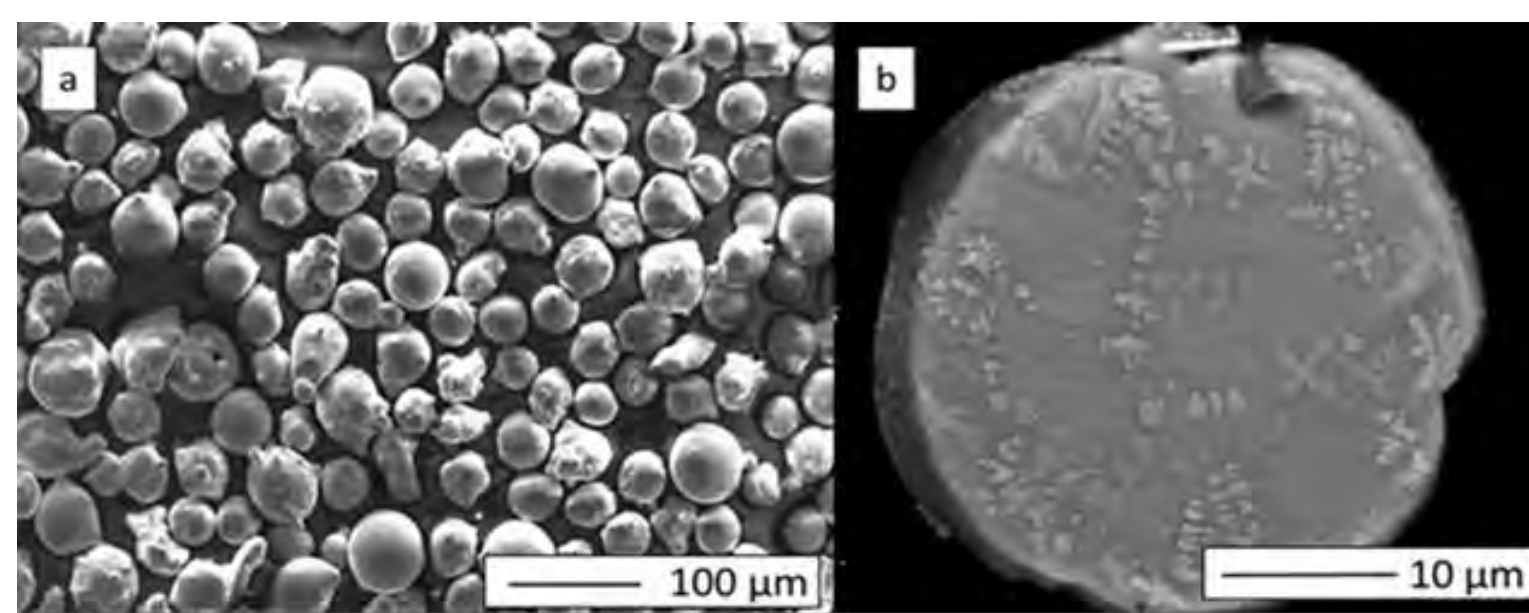


Abb. 3: REM Aufnahme der verdünsten Mo-13,5Si-7,5B Pulverpartikel: Morphologie der Pulverpartikel (REM-SE), b) Schliffbild Pulverpartikel (REM-BSE).

#### Pulvereigenschaften nach dem Verdünnungsprozess

Chemische Zusammensetzung:

Mo	78,48 at. %
Si	13,5 at. %
B	7,49 at. %
Verunreinigungen ( Cu, Mg, Al, Zr, Fe)	0,53 at. %
Sauerstoffgehalt	1054 ± 353 ppm
Partikelgröße:	
d <sub>10</sub>	13,7 ± 0,09 µm
d <sub>50</sub>	23,8 ± 0,2 µm
d <sub>90</sub>	40,7 ± 0,22 µm
Sphärizität	0,94
Fließfähigkeit ffc	10,8 (= frei fließend)

### Prozess

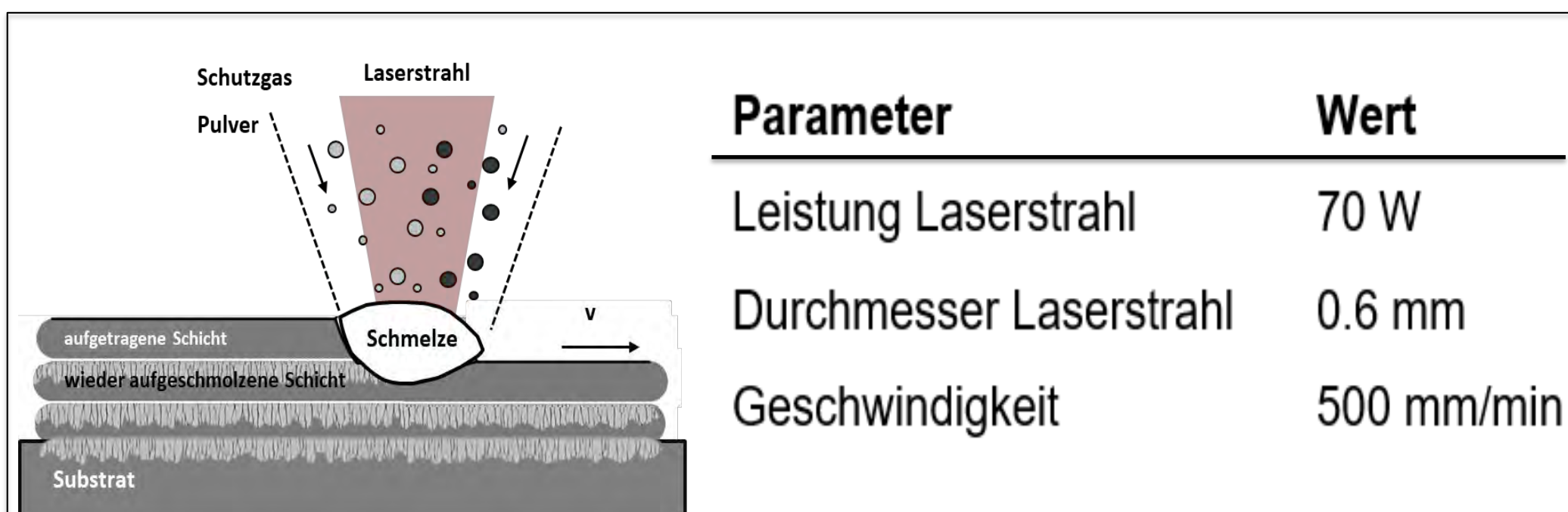


Abb. 4: Verfahrensprinzip Laserauftragschweißen

### Kompaktwerkstoff

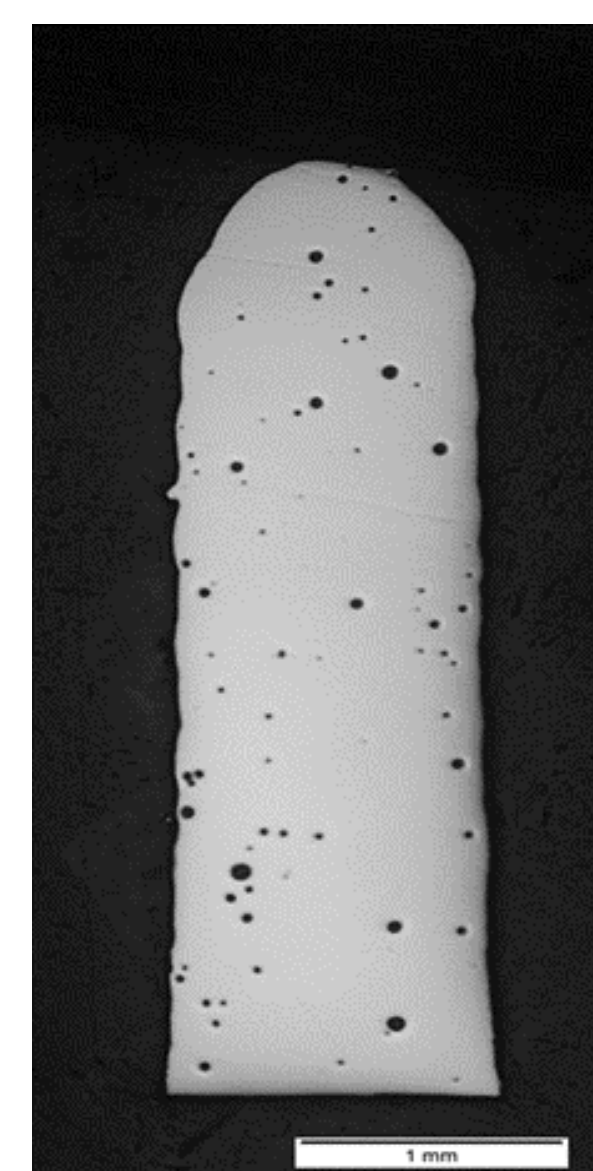


Abb. 5: Schliffbild Kompaktwerkstoff Mo-13,5Si-7,5B mit Porenanteilen

- rissfreie Kompaktproben
- Porengröße: 10 µm – 50 µm
- Porenanteil: 2,1 %
- Dichte: ca. 8,26 g/cm<sup>3</sup> (archimed. Prinzip)
- theoretische Dichte nach Phasenanteilen: 8,85 g/cm<sup>3</sup>
- Entstehung primär erstarrter Mo<sub>SS</sub> Dendriten umgeben von eutektischen Bereichen

#### Bestimmung der Phasenanteile:

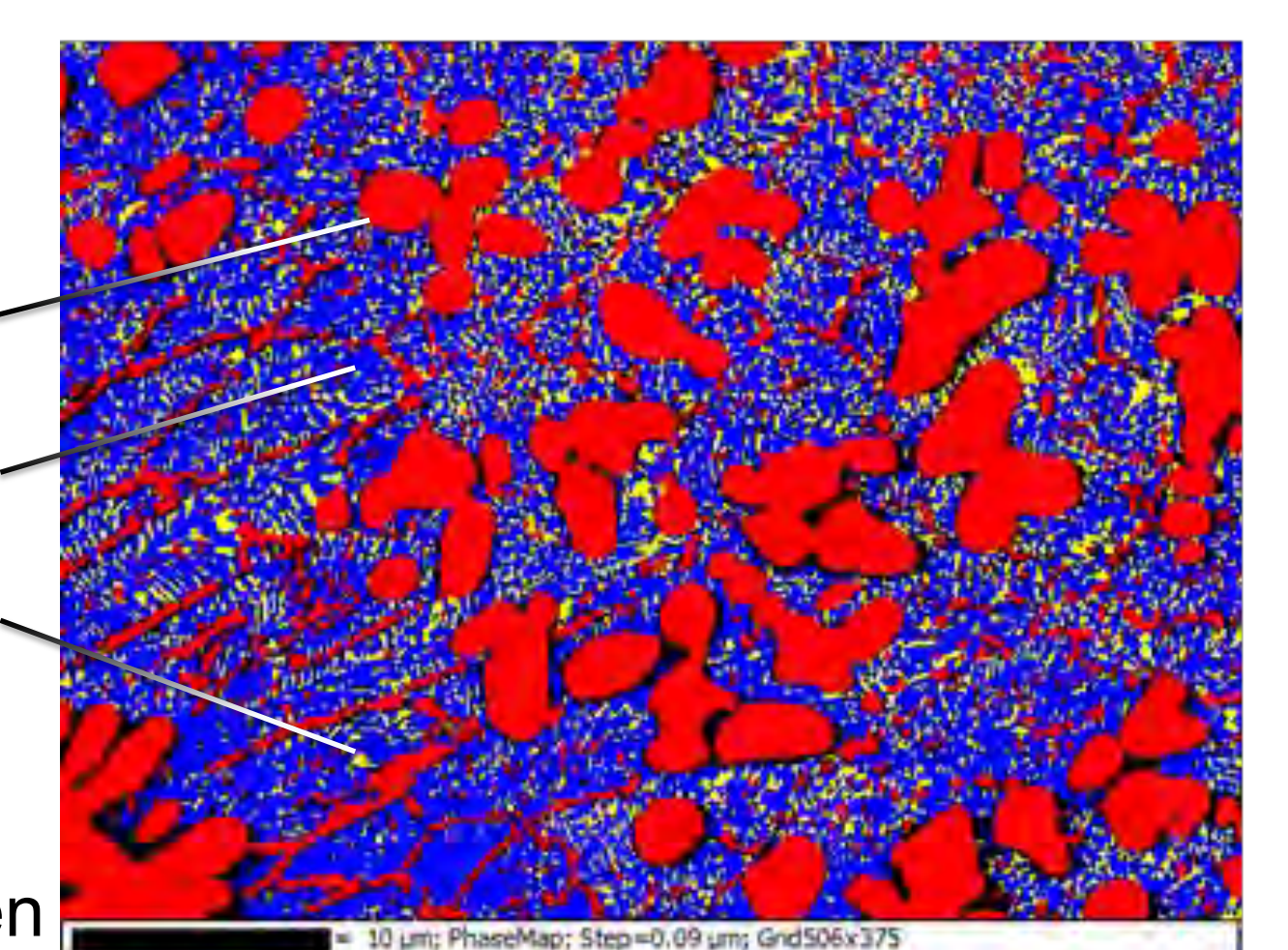


Abb. 7: EBSD Bild mit farbig codierten Phasenanteilen: Mo<sub>SS</sub> (rot), Mo<sub>3</sub>Si (blau) und Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub> (gelb).

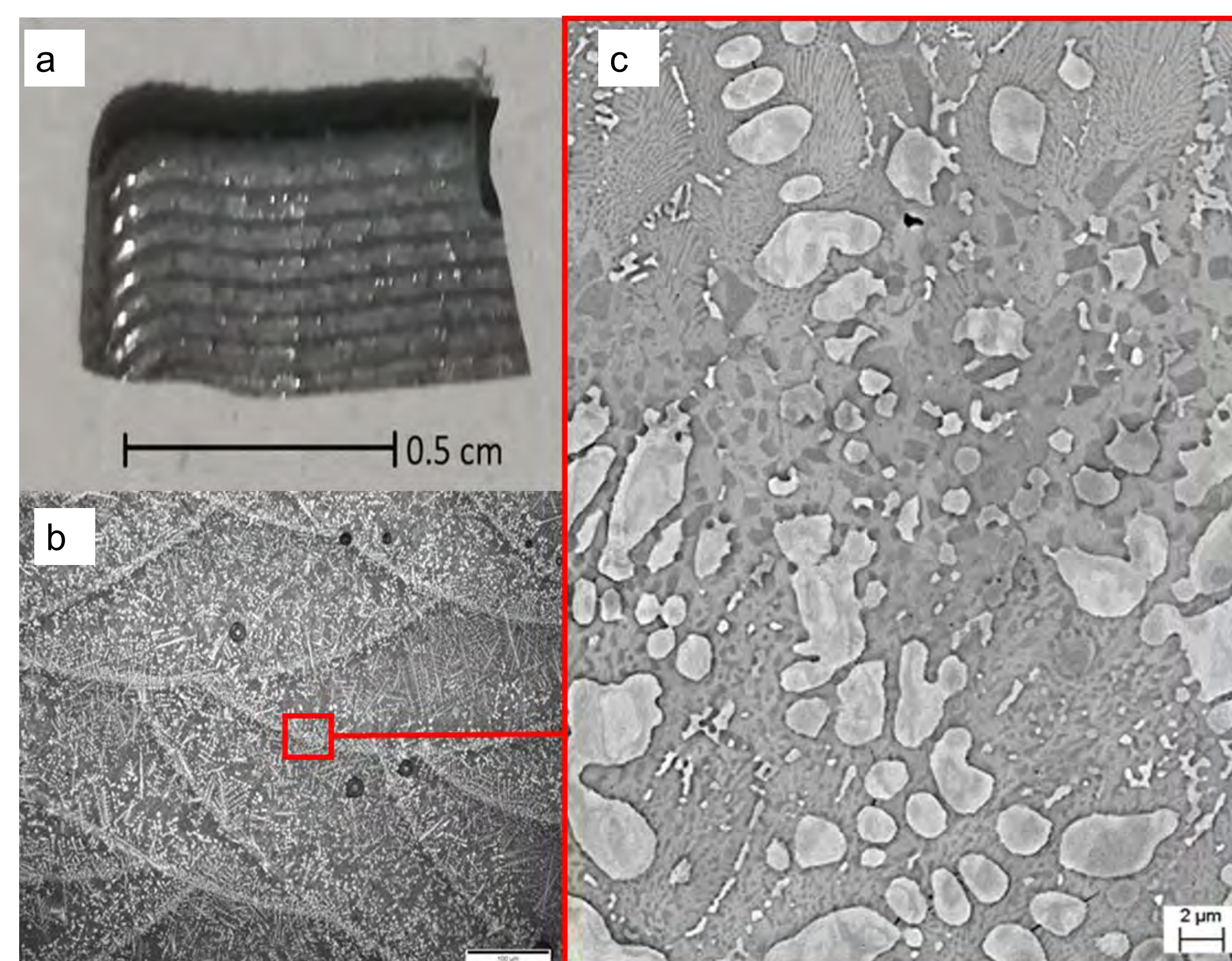


Abb. 6: a) Additiv gefertigte Mo-13,5Si-7,5B Probe; b) typische Lagenstruktur nach dem Laserauftragschweißen und daraus resultierende Mikrostruktur (c)

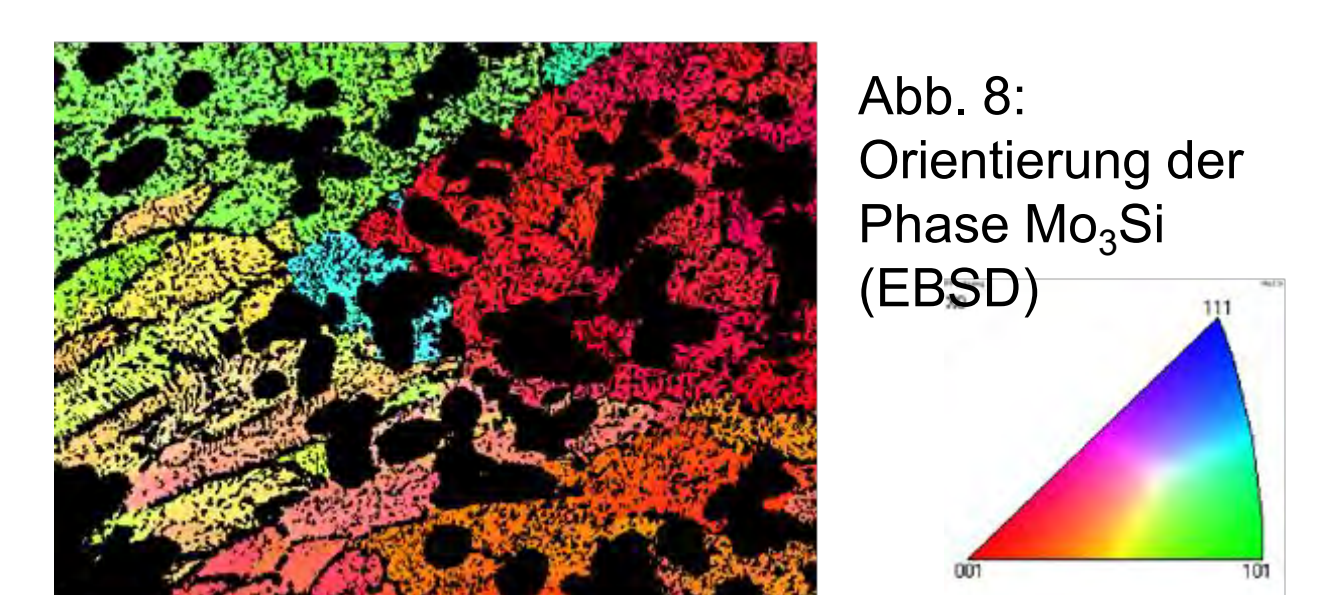


Abb. 8: Orientierung der Phase Mo<sub>3</sub>Si (EBSD)

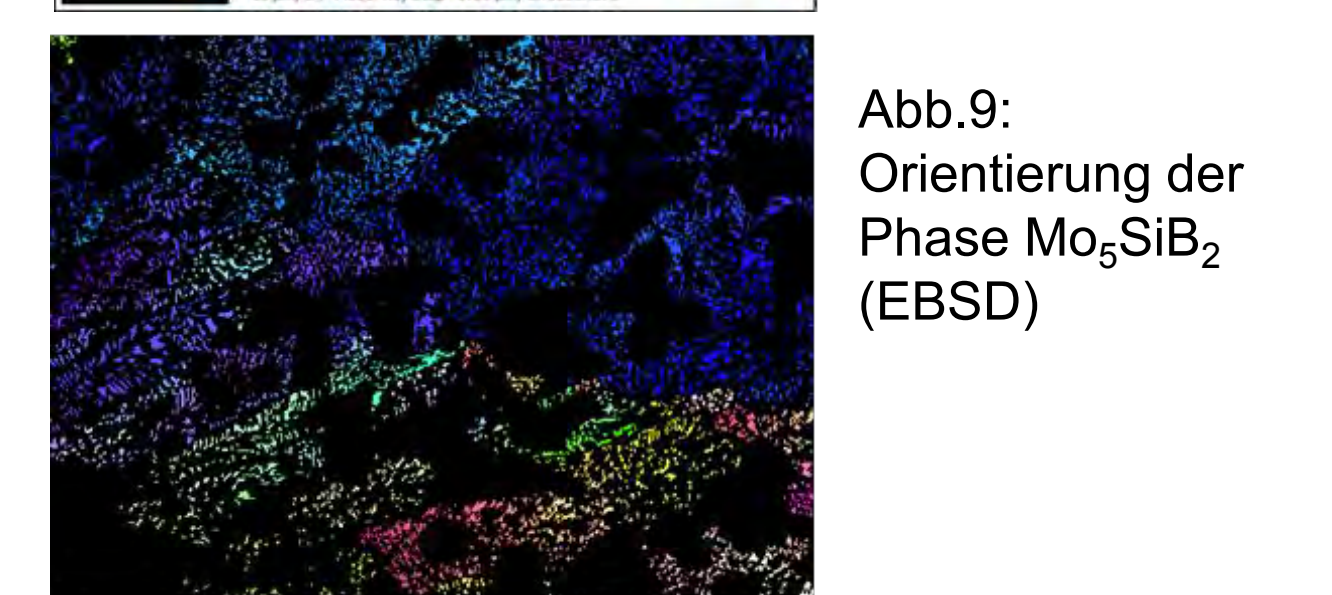


Abb. 9: Orientierung der Phase Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub> (EBSD)

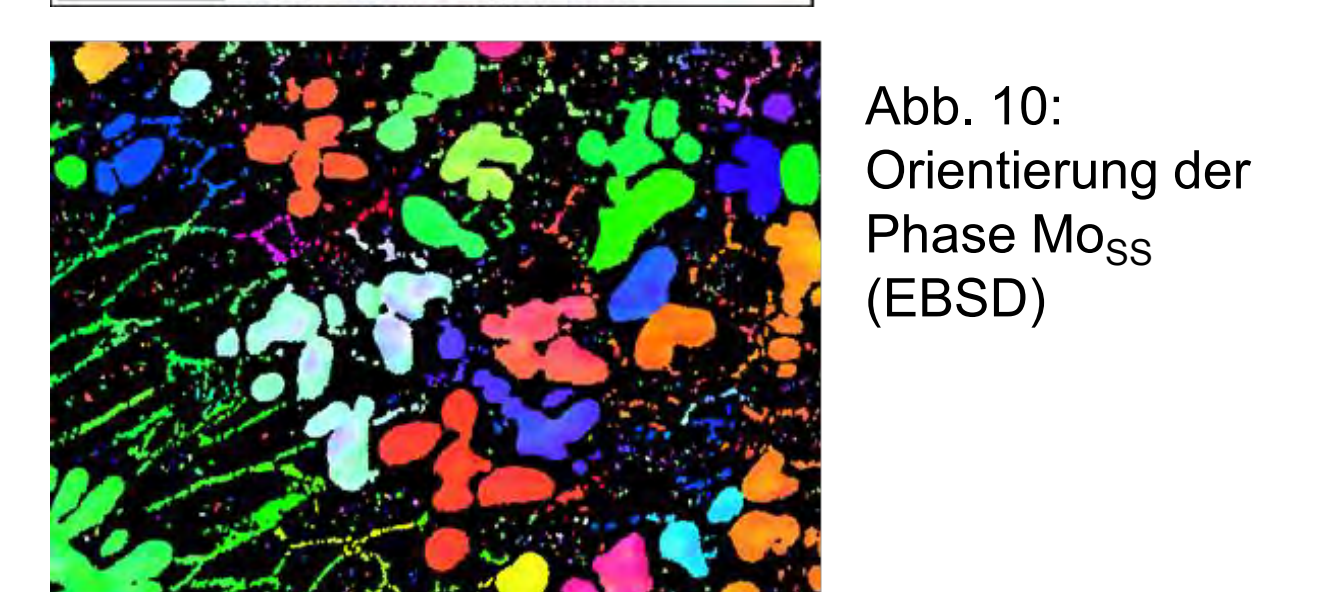


Abb. 10: Orientierung der Phase Mo<sub>SS</sub> (EBSD)

## Ergebnisse & Zusammenfassung

- erfolgreiches Gasverdünnen einer nah-eutektischen Mo-Si-B-Legierung (T<sub>m</sub> ca. 2000 °C) ( Abb. 3a)
- Aufbauten bei erhöhten Bautemperaturen mittels Laserauftragschweißen bzw. Laser Metal Deposition (LMD) rissfrei erzeugt (Abb. 6a - c)
- Aufbauten zeigen ein dichtes Volumen mit einem geringen Anteil an Poren (2,1 %) (Abb. 5)
- Ausbildung primär erstarrter Mo<sub>SS</sub> Dendriten, die von Bereichen binärer Mo<sub>3</sub>Si-Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub> und ternärer Mo<sub>SS</sub>-Mo<sub>3</sub>Si-Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub> Eutektika umgeben sind (Abb. 6c)

## Referenzen

- [1] G. Hasemann, D. Kaplunenko, I. Bogomol, M. Krüger, JOM 2016, 68:11, 2847-2853.
- [2] V. Supatarawanich, D.R. Johnson, C.T. Liu, Mater. Sci. Eng. 2003, A344, 328-339.
- [3] W. Smarsly, Symposium 30 Jahre GWP, Zorneding, 25.5.2007.
- [4] M. Krüger, P. Jain, K. S. Kumar, M. Heilmaier, Intermetallics 2014, 48, 10-18.
- [5] C.A Nunes, R Sakidja, J.H Perepezko Phase stability in high temperature Mo-rich Mo-B-Si alloys M.V Nathal, et al. (Eds.), Structural intermetallics, TMS, Warrendale (PA) (1997), pp. 831-839.