

KURZBERICHT

# Simulation des Schmelzbads bei der additiven Fertigung von Metallteilen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden bedeutende Fortschritte in der pulverbettbasierten additiven Fertigung mittels Laser erzielt. Die Integration dieser Technologie in industrielle Produktionsprozesse ist ein Zeugnis ihrer fortschreitenden Reife. Parallel dazu konzentriert sich die Forschung auf die wissenschaftliche Durchdringung des Verfahrens. Das Projekt fokussierte sich speziell auf die Simulation des Schmelzbades und dessen experimentelle Validierung. Untersuchungsgegenstände waren dabei die verbreiteten Materialien Stahl (316L), Aluminium (AlSi10Mg) und Titan (TiAl6V4).

Die Simulationsmodelle basierten auf thermophysikalischen Materialparametern und wurden individuell angepasst. Das vom Fraunhofer IWM entwickelte Ausgangsmodell wurde hierfür weiterentwickelt und optimiert. Simulationsergebnisse wurden durch experimentelle Untersuchungen validiert und mit den Vorhersagen der kommerziellen Simulationssoftware Flow3D verglichen.

Das Projektziel bestand darin, ein detailliertes Prozessverständnis zu entwickeln, um die limitierten Beobachtungsmöglichkeiten der hohen Verfahrensgeschwindigkeiten zu kompensieren. Langfristig soll dieses Wissen dazu beitragen, den Einfluss spezifischer Materialparameter auf das Fertigungsergebnis zu ermitteln und so die Entwicklung maßgeschneiderter Materialien zu erleichtern.

### Simulation

Für eine realitätsnahe Simulation wurde das experimentell untersuchte und beschriebene Pulverbett möglichst genau nachgebildet. Als Grundlage diente hierfür experimentell ermittelte Korngrößenverteilungen und Pulverschüttdichten. Auf Basis dieser Kennwerte wurde dann zunächst eine Startkonfiguration des Pulvers wie in Abbildung 1 gezeigt erstellt.

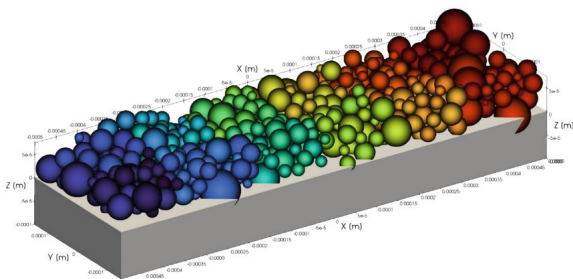


Abb. 1: Exemplarisches Pulverbett der Simulation mit farbigem Hervorheben einzelner Pulverpartikel

Das Simulationsmodell des IWM wurde mit einer Referenzsimulation mit der kommerziellen Software Flow3D am fem verglichen (Abb. 2). Beide Software-Pakete bilden die gleiche Physik ab, verwenden jedoch eine unterschiedliche Methoden. Beide Pakete produzierten ein ähnliches Simulationsergebnis.

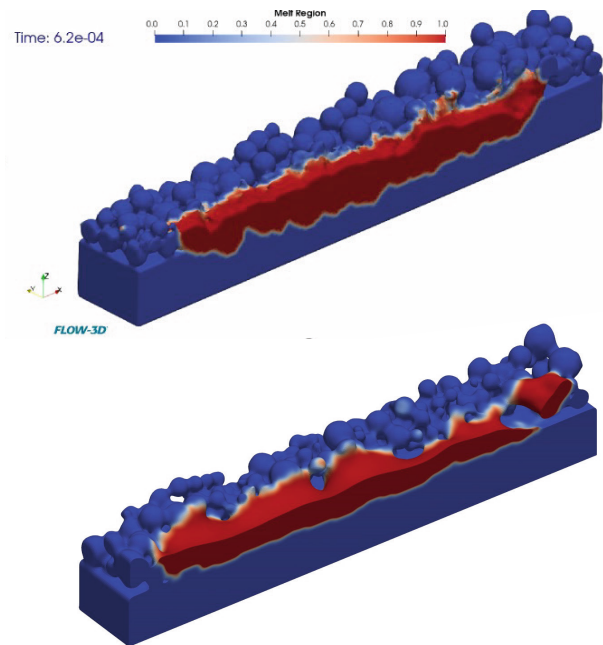


Abb.2: Vergleich zwischen den Simulationen von Flow3D (oben) und SimPARTIX (unten). Die Abbildung zeigt einen Schnitt entlang des Schmelzbads. Die rote Region bezeichnet den Teil des Pulverbetts, der während des Prozesses geschmolzen und wieder erstarrt ist.

In einem weiteren Schritt wurden die Simulationen mit Experimenten validiert. Hierfür wurde die Schmelzbadgestalt verwendet. Abbildung 3 zeigt die Ermittlung der Schmelzbadkontur aus metallographischen Schläfen.

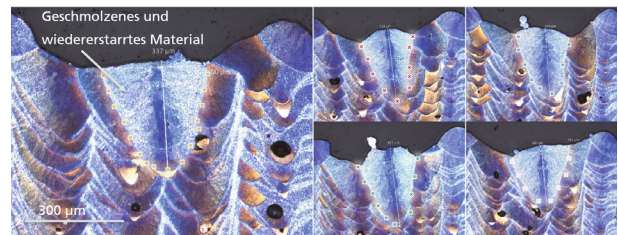


Abb. 3: Schmelzbäder der Einzelspurversuche mit einer Laserleistung von 300 W und einer Geschwindigkeit von 400 mm/s. Die quadratischen sind die extrahierten Koordinaten, die für den Vergleich mit der Simulation verwendet werden.

Aus diesem Schmelzbad wird nun jeweils ein Bereich extrahiert, der repräsentativ für die angewendete Parameterkombination steht. Hierfür wird jeweils ein Teil aus der Mitte des Schmelzbads extrahiert, der weit entfernt von den Rändern ist und dessen Geometrie annähernd konstant in Laserpfad-Richtung ist. Eines dieser extrahierten Teilstücke des Schmelzbads zeigt Abbildung 4.

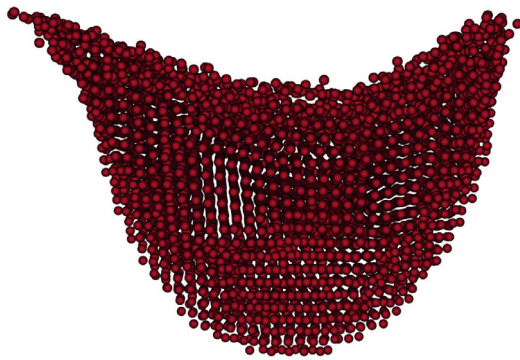


Abb. 4: Extrahierte Form des Schmelzbads.

Die Form des Schmelzbades beim Pulverbettsschmelzen wird durch die Laserparameter und die thermophysikalischen Materialeigenschaften beeinflusst und kann verschiedene Ausprägungen aufweisen. Die Form kann entlang der Bewegungsrichtung des Lasers eher länglich sein oder sich weiter in die Tiefe erstrecken. Abbildung 5 zeigt eine einzelne SLM-Laserspur, die mittels SPH simuliert wurde.

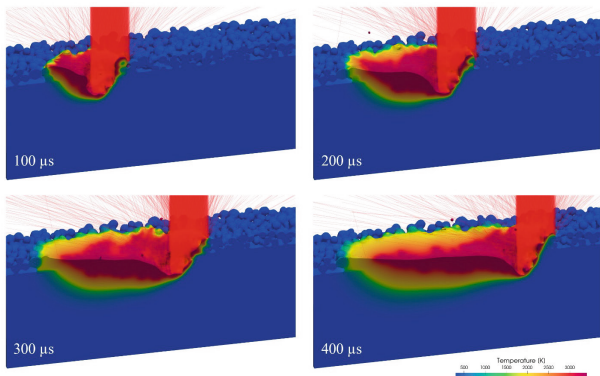


Abb. 5: 3D SLM-Simulation einer Einzelspur im Material Ti6Al4V. Die Farbkodierung zeigt die Temperaturverteilung entsprechend der Farbskala (blau 500 K, rot 3000 K).

Die experimentelle Analyse der Legierungen AlSi10Mg, Ti6Al4V und 316L erfolgte mittels Konfokalmikroskopie, wobei die Topographie automatisiert ausgewertet wurde. Abbildung 6 zeigt, wie die Spuren anhand von Parametern hinsichtlich ihrer Unterbrechungen charakterisiert wurden.

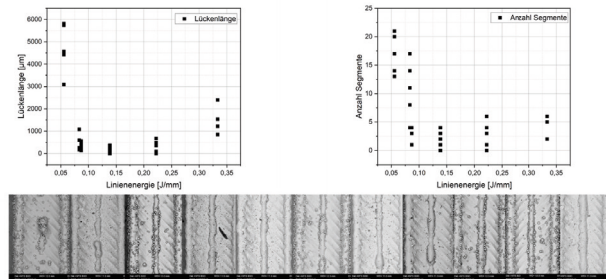


Abb. 6: Experimentelle Auswertung der Lückenlänge und der Anzahl von Segmenten bei Ti6Al4V

### Danksagung

Das IGF-Vorhaben 21470 N der Forschungsvereinigung Edelmetalle + Metallchemie wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

IGF 21470 N

1.11.2020 – 31.10.2023

#### INDUSTRIEPARTNER

3D Laser GbR | Aconity GmbH | Arnd Sauter GmbH | C.HAFNER GmbH + Co. KG | Flow Science Deutschland GmbH | Heraeus Additive Manufacturing GmbH | Rosswag GmbH | Reischauer GmbH | Schmelzmetall Deutschland GmbH

#### FORSCHUNGSPARTNER

IWM | Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik

#### ANSPRECHPARTNER

fem Forschungsinstitut | Katharinenstraße 13–17 | 73525 Schwäbisch Gmünd | Deutschland  
Dr. Miriam Eisenbart, eisenbart@fem-online.de, +49 7171 1006-800