

## Teilprojekt A9

### Titel

Simulation hochdynamischer Vorgänge in der Schmelze beim Laserstrahlschmelzschnitten zur Reduktion der Riefen- und Bartbildung

### Projektleitung/-bearbeitung

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schulz/Dr. rer. nat. Ulrich Halm  
Lehr- und Forschungsgebiet Nichtlineare Dynamik der Laser-  
Fertigungsverfahren NLD, RWTH Aachen University

### Aufgabenstellung

Wesentliche Elemente der zweiten Phase sind eine Vertiefung des Prozessverständnisses und eine Verfeinerung entwickelter Modelle. Im zurückliegenden Berichtszeitraum umfasst das im Wesentlichen:

- Analyse von Ursache-Wirkungszusammenhängen zwischen Dynamik der Schmelzfront am Scheitel und der Oberflächenrauheit.
- Modellierung realer Strahlverteilungen als Eingang für die Simulation.

### Vorgehensweise

Fasergeführte Laserstrahlung weist insbesondere bei großen Faserquerschnitten eine Vielzahl von transversal-elektrischen Fasermoden auf, die räumlich kohärent überlagern. Durch thermische und mechanische Effekte innerhalb der Faser und der Einkopplung in die Faser fluktuiert die Modenzusammensetzung auf einer sehr kurzen Zeitskala und führt bei einer Intensitätsvermessung zu einer zeitlichen Mittelung des Intensitätsprofils. Zur Simulation dieses Profils wird daher eine Modenverteilung rekonstruiert und anschließend gestört. Die inkohärente Überlagerung vieler solcher Profile entspricht der Intensitätsverteilung, die ein Strahlvermessungsgerät aufnimmt. Aufgrund der wesentlich größeren Zeitskalen in der Schmelze wirkt diese gemittelte Verteilung auch im Prozess. Die so rekonstruierte Strahlverteilung kann anschließend genutzt werden, um lokal zeitlich gemittelte Poynting-Vektoren zu berechnen, die die Eingangsgröße für das Raytracing in der Schnittfuge darstellen. Eine rekonstruierte Strahlvermessung ist in Bild 1 dargestellt.

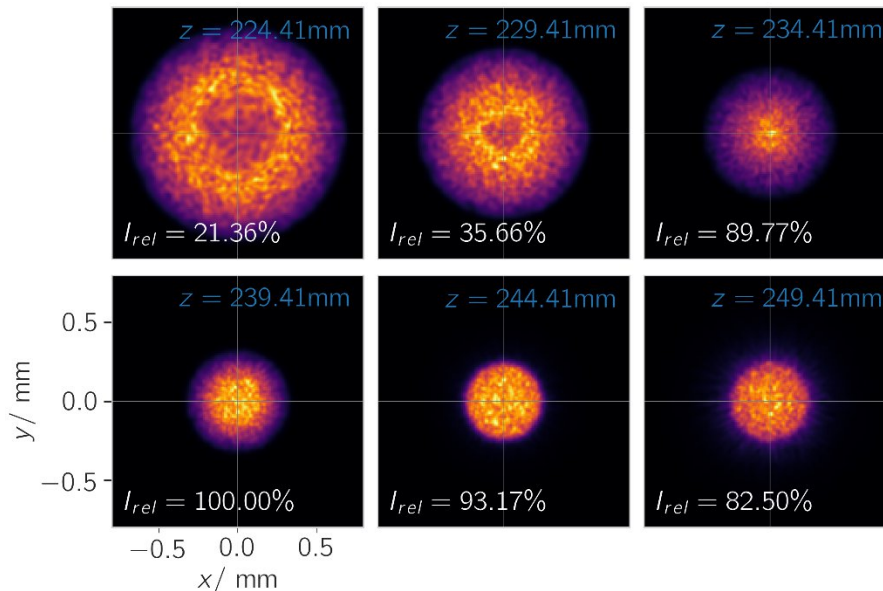


Bild 1: Zeitlich gemittelte Überlagerung der Intensität einer gestörten Moden-Verteilung, die kohärent vom Faserausgang durch die Fokussieroptik propagiert wird. Faserdurchmesser:  $a = 200 \mu\text{m}$ , Kollimation:  $f_{col} = 142 \text{ mm}$ , Fokussierung:  $f_{foc} = 255 \text{ mm}$ , Anzahl Moden mit Gewicht  $\rho > 0$ :  $N_M = 1686$ . Verschobene Fokusposition bedingt durch sphärische Aberration.

Um den Effekt polarisierter Strahlung auf die Fugenform zu ermitteln wird die Entwickelte 3D-Simulation des Laserstrahlschmelzschneidens erweitert (Bild 2) und mit experimentellen Ergebnissen verglichen.

### Ergebnisse

Die Strahlrekonstruktion aus einer optimierten Modenverteilung ermöglicht die Berechnung zeitlich gemittelter Intensitäten und Poynting-Vektoren als Eingang für das Raytracing in der Schnittfuge. Dieses Ergebnis ist auf alle Prozesse übertragbar, in denen fasergeführte, fokussierte Laserstrahlung eingesetzt wird. Die Untersuchung des Polarisationsinflusses beim Schneiden erfolgt in Zusammenarbeit mit der Firma Trumpf im Rahmen einer externen Masterarbeit. Erste Ergebnisse bestätigen, dass in Vorschubrichtung polarisierte Strahlung die benötigte Laserleistung am Werkstück reduziert und gleichzeitig die gemittelte Rautiefe verbessert.

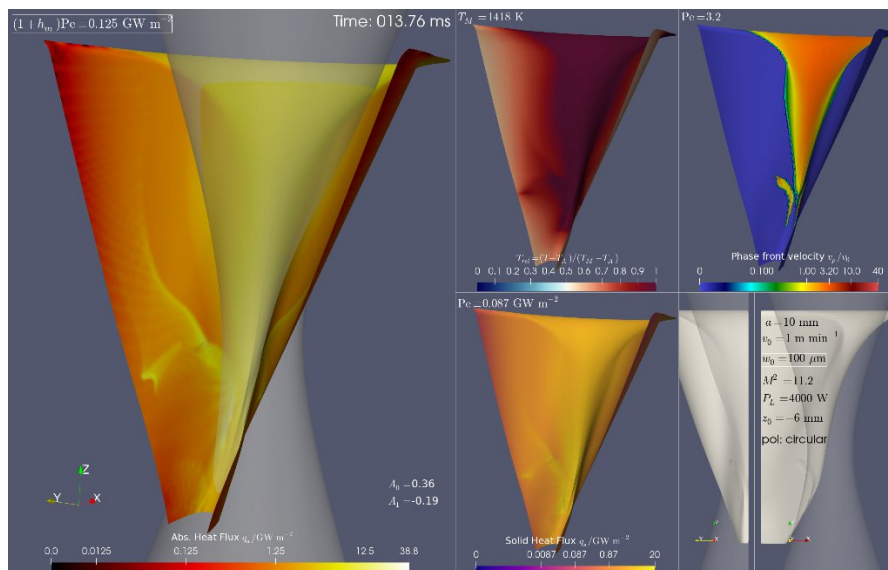


Bild 2: Simulation der Fugenform beim Laserstrahlschmelzschnitten. Die 3D Simulation mit integriertem Raytracer ermöglicht die Untersuchung des Effekts polarisierter Strahlung.

### Zusammenfassung und Ausblick

Künftige Analysen umfassen den Einfluss des Polarisierungseffekts mit einem zwei-Phasen-Prozessmodell mit Schmelzfilm unter Verwendung eines rekonstruierten Strahlprofils.

Durch die eingehende Analyse simulierter Schnittfugen kann das Zusammenwirken von Laserstrahlung und Schneidfront dynamisch untersucht werden und das Prozessverständnis beim Laserstrahlschmelzschnitten vertieft werden.

### Veröffentlichungen

Halm, Ulrich; Arntz-Schroeder, Dennis; Gillner, Arnold; Schulz, Wolfgang: "Towards Online-Prediction of Quality Features in Laser Fusion Cutting Using Neural Networks". Intelligent Systems and Applications (2020).

U. Halm, M. Nießen, W. Schulz: „Simulation of melt film dynamics in laser fusion cutting using a boundary layer approximation“.

International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 168, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120837>.