

# Adaptiver Schichtabtrag poröser Materialproben unter Verwendung multiskaliger Topographiedaten

Johannes Stegmann\*, Romy Lowitzer\*, Lennart Hinz\* und Eduard Reithmeier\*

\*Institut für Mess- und Regelungstechnik, Leibniz Universität Hannover

mailto:johannes.stegmann@imr.uni-hannover.de

Die volumetrische Rekonstruktion poröser Materialien erfordert einen präzisen Abtrag im Serienschnittverfahren. Im Gegensatz zum konventionellen, spanenden Materialabtrag ermöglicht ein adaptives Laserbearbeitungsverfahren durch Berücksichtigung der spezifischen Topographie eine reduzierte Probenbeeinflussung. Hierzu werden aus den Topographiedaten Bearbeitungsmasken abgeleitet, welche eine adaptive Laserbearbeitung unter Aussparung der Poren ermöglichen.

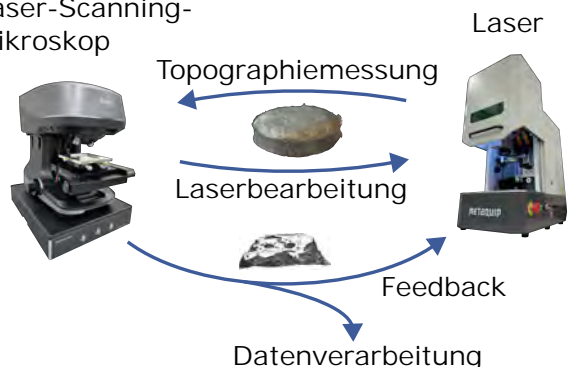
## 1 Einleitung

Poröse Materialien mit lokaler Funktionalisierung sind Gegenstand aktueller Forschung. Neben neuartigen Produktionsprozessen ist hierbei insbesondere die Entwicklung von Rekonstruktions- und Charakterisierungsverfahren wesentlich [1]. Hierzu wird das Material im Serienschnittverfahren schichtweise abgetragen und die Topografie jeder Schnittfläche hochauflösend erfasst. Um eine korrekte Rekonstruktion der Probe zu gewährleisten, dürfen die Poren bei der Bearbeitung nicht beschädigt werden. Im Folgenden wird ein adaptives Laserbearbeitungsverfahren vorgestellt, welches die gemessenen Topographiedaten nutzt, um gezielt Porenbereiche von der Bearbeitung auszunehmen.

## 2 Messung und Vorbereitung

Das Serienschnittverfahren als Kreislauf aus Materialabtrag und Topographiemessung ist in Abbildung 1 dargestellt. Die mittels Fokusvariation oder konfokalem Laserscanning akquirierten Topographiedaten werden sowohl für die volumetrische Rekonstruktion gespeichert als auch für die Parametrisierung der Laserbearbeitung der folgenden Schicht eingesetzt.

Laser-Scanning-Mikroskop

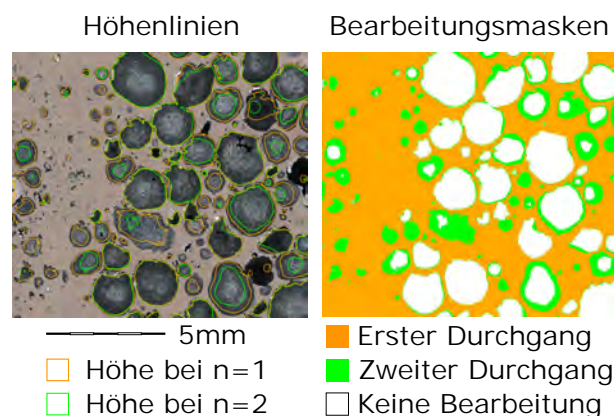


**Fig. 1** Kreislauf aus Messung (links) und Laserbearbeitung (rechts) mit Rückführung der Messdaten (unten).

Damit die Topographiedaten zur Steuerung der Bearbeitung verwendet werden können, muss die Orientierung der gemessenen Topographiedaten im Koordinatensystem des Lasers sichergestellt werden. Hierzu ist außerdem eine eindeutige und wiederholgenaue Positionierung im Mikroskop und Laser erforderlich. Darüber hinaus sind eine geeignete Korrektur der Verzeichnungen und eine präzise Fokussierung des Lasers durchzuführen.

## 3 Verarbeitung der Topographiedaten

Lasermaterialbearbeitung ermöglicht das Sublimieren des Materials, wodurch der Wärmeeintrag minimiert und somit eine Beschädigung des tiefer liegenden Probenmaterials durch Aufschmelzen vermieden wird [2]. Zwischen jedem Messvorgang wird eine Schicht der Höhe  $\Delta Z$  in  $n$  Durchgängen abgetragen. Zur Steuerung des Bearbeitungsprozesses wird für jeden Durchgang eine Bearbeitungsmaske aus den Topographiedaten extrahiert. Abbildung 2 zeigt beispielhaft zwei Bearbeitungsmasken.



**Fig. 2** Bilddaten der Topographie mit Iso-Höhenlinien (links) und resultierende Bearbeitungsmasken (rechts).

Die Masken werden so definiert, dass alle Bereiche, die oberhalb der aktuell zu bearbeitenden Höhe mit Material gefüllt sind, abgetragen wer-

den. Die Porenbereiche werden ausgespart. In Abbildung 2 sind auf der linken Seite die Aufnahme der Probe, sowie aus der Topographie abgeleitete Iso-Linien mit konstanter Höhe dargestellt. Die resultierenden Bearbeitungsmasken sind auf der rechten Seite gezeigt. Tieferliegende Masken beinhalten jeweils die Flächen höher liegender Masken. In Abbildung 2 sind lediglich Bearbeitungsmasken für zwei Durchgänge dargestellt, wobei für den Abtrag eine deutlich größere Anzahl notwendig ist.

#### 4 Adaptive Laserbearbeitung

Abbildung 3 zeigt die Topographie einer Probe nach der Laserbearbeitung. Um den Abtrag zu verdeutlichen, ist nicht die gesamte Fläche, sondern lediglich ein Teilbereich abgetragen.

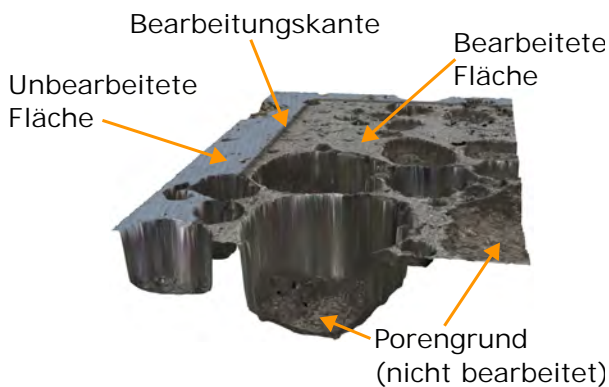


Fig. 3 Probestopographie nach der Laserbearbeitung.

In den bearbeiteten Bereichen liegt die Oberfläche konsistent ca.  $30\ \mu\text{m}$  unterhalb der ursprünglichen Höhe. Die Fläche ist homogen, ein Aufschmelzen des umliegenden Materials ist nicht ersichtlich. Zu beobachten ist eine Änderung der optischen Eigenschaften des bearbeiteten Bereiches. Die Poren sind von der Bearbeitung ausgenommen, was an den unveränderten Oberflächeneigenschaften innerhalb der Poren erkennbar ist.

#### 5 Diskussion

Die Laserbearbeitung kann ihre Wirksamkeit in der präzisen Bearbeitung poröser Materialproben zeigen. Im Vergleich zur mechanischen Bearbeitung führt sie zu einer Veränderung der optischen Eigenschaften. Die Reduktion der Oberflächen spiegeln steigert die optische Kooperativität der bearbeiteten Fläche mit den eingesetzten Messverfahren und ermöglicht dadurch eine verbesserte Erfassung der Topographie.

Abbildung 4 zeigt zwei unerwünschte Effekte bei der Erstellung von Bearbeitungsmasken. Auf der linken Seite ist die Diskretisierung durch den Abtrag von Masken der Höhe  $\Delta z$  dargestellt. Durch eine Anpassung der Laserparameter kann die Höhe und somit der resultierende Fehler minimiert werden. Auf der rechten Seite ist ein Hinterschnitt in der Poren-

struktur dargestellt. Dieser kann in der Messung durch das Mikroskop nicht detektiert werden und wird somit auch in den Bearbeitungsmasken nicht berücksichtigt. Dies resultiert in fehlerhaften Bearbeitungsmasken und somit in einer Beschädigung des Porengrundes durch den Laser. Eine weitere Herausforderung stellt die präzise Positionierung der zu bearbeitenden Probe dar. Selbst geringe Abweichungen in Position oder Rotation wirken sich direkt negativ auf das Bearbeitungsergebnis aus.

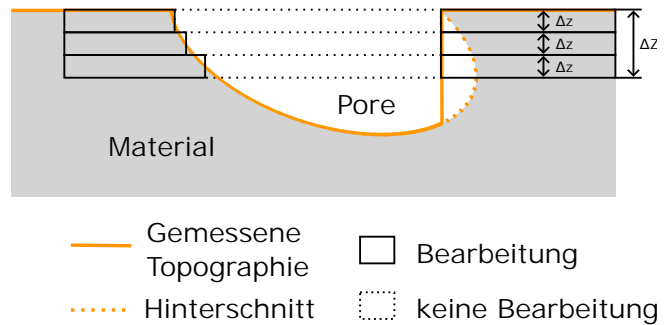


Fig. 4 Bearbeitungsmasken im Querschnitt mit Diskretisierungsfehler (links) und Hinterschnitt (rechts).

#### 6 Ausblick

Mit Hilfe einer Interpolation der bekannten Porenbereiche sollen Hinterschnitte geschätzt und die Bearbeitungsmasken korrigiert werden. Darüber hinaus soll ausgehend von den Topographiedaten die Verwendung von adaptiven Laserparametern basierend auf Stegbreiten oder Flankenwinkeln ermöglicht werden. Hierdurch soll die Beschädigung angrenzender Porenbereiche und der Diskretisierungsfehler weiter verringert werden. Eine Messung der Probenposition in Mikroskop und Laser mittels optischer Marker kann genutzt werden um die notwendige Präzision bei der Positionierung durch algorithmische Kompensation zu verringern.

#### 7 Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Finanzierung des Projektes – Project-ID 511263698 – TRR 375.

Die Autoren sind verantwortlich für den Inhalt dieser Veröffentlichung.

#### References

- [1] G. Lange, *Metallschäume: Herstellung, Eigenschaften, Potenziale und Forschungsansätze - mit Schwerpunkt auf Aluminiumschäume* (De Gruyter, 2020).
- [2] J. Bliedtner, H. Müller, and A. Barz, *Lasermaterialbearbeitung* (Carl Hanser Verlag, 2013).