

# Akustische Überwachung für die Lasermaterialbearbeitung

Alleine durch Erfassen der Luftschallemission im Frequenzbereich von 10 Hz bis 1 MHz werden vollkommen neue Wege zur Kontrolle von maschinellen Prozessen ermöglicht. Durch einen akustischen Sensor ist es möglich, Probleme und Störungen zu erkennen, welche von herkömmlichen, optischen oder auch temperaturbasierten Kontrollsystemen nicht mehr erfasst werden. Das optische Mikrofon macht genau das möglich und stellt eine neue Art der Prozessüberwachung für Laserapplikationen dar.

**Keywords:** Lasermaterialbearbeitung, -schneiden, -schweißen, -strukturieren, optisches Mikrofon, Prozessüberwachung, Prozessentwicklung

## Einführung in die Technologie

Das optische 'Mikrofon' ist ein kontaktloser Sensor, der es zulässt, Schallwellen in Luft in Frequenzbereichen zu messen, die herkömmlichen Mikrofonen nicht zugänglich sind. Ermöglicht wird das durch die Verwendung eines Laser-Interferometers zur Detektion der Schallwelle, anstatt der sonst schwingenden Membran. Innerhalb des 2 mm großen Interferometers, das gegenüber der umliegenden Luft offen ist, wird durch die schallwellenbedingte Dichteschwankung der Luft die Wellenlänge des Lasers moduliert. Dadurch wird die reflektierte Lichtintensität im Interferometer direkt proportional zur Amplitude der einlaufenden Schallwelle verändert.

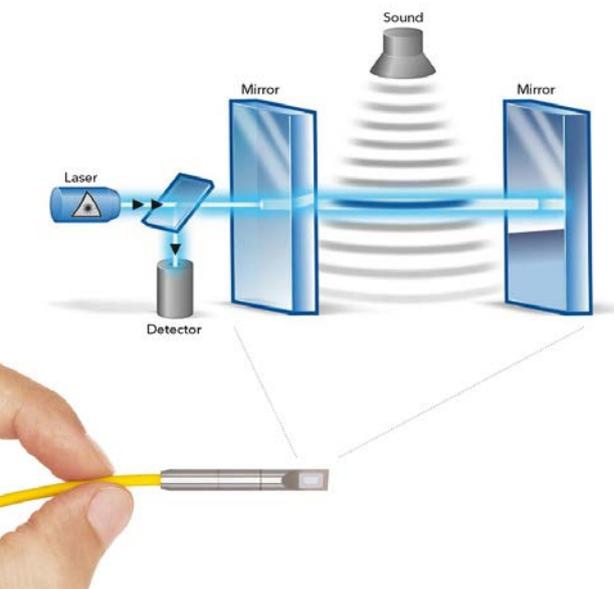
Durch diese kontaktlose und mem-

branfreie Methode können sowohl Signale im Hörbereich ab 10 Hz, als auch im hochfrequenten Ultraschallbereich bis hin zu 1 MHz gemessen werden, während herkömmliche Mikrofone und piezobasierte, luftgekoppelte Sensoren entweder nur tieffrequent oder lediglich schmalbandig detektieren können. Gerade die Breitbandigkeit ist aber für die Messung von Laserprozessen von enormer Bedeutung [1]. Durch Echtzeit-Frequenzanalyse kann der Prozess kontinuierlich überwacht und jede Unregelmäßigkeit erkannt werden. Oberflächenbedingungen, wie Zinkbeschichtungen, sowie die Keyhole-Bildung beeinflussen das emittierte akustische Signal und werden durch das optische Mikrofon aufgezeichnet. Dazu muss das optische Mikrofon neben dem Laserprozess platziert und auf die Laserzone gerichtet werden.

Die größte Beschränkung derzeitiger Methoden zur akustischen Emissionsanalyse ist die erreichbare Bandbreite. Durch die neue Technik von XARION ist es möglich, diese bis zu 1 MHz zu vergrößern, was ungefähr das Zehnfache des bisherigen Maximums darstellt, und so neue Anwendungen zur Prozessüberwachung zu entwickeln:

- Echtzeit-Erkennung von Rissbildung in Laserschweißprozessen;
- Feststellen von Spritzerbildung bei Schweißprozessen, bedingt durch z.B. Beschichtungsreste;
- Erkennen hochfrequenter Vibrationen in der Schmelze, die zu Unebenheiten beim Laser Metal Deposition (LMD) führen können;
- Erkennen von unregelmäßigen Abtragraten bei Markier- und Strukturierungsanwendungen, die z.B. durch Variation der Fokusposition verursacht werden.

## Prozessüberwachung



Sensorkopfgröße und schematische Darstellung des Funktionsprinzips des optischen Mikrofons.

### Folgende drei Laserprozesse wurden getestet

Aufgrund der Tatsache, dass aus den breit gefächerten Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie in einer Vielzahl von Prozessen (auch ohne Laser) ein Vorteil gezogen werden kann, bestand das Teilnehmerfeld beim Optoprim Open Lab sowohl aus Vertretern von Systemherstellern, Endanwendern als auch Forschungsinstituten.

**Schweißen:** Ein spezieller Fokus wurde auf die Anwendung beim Schweißen gelegt. Bei diesem Laserprozess ist es besonders schwer festzustellen, ob das Endprodukt die gewünschte Qualität erreicht hat. Das ist dadurch bedingt, dass das Resultat des Vorgangs bisher nur schwierig inspiziert werden konnte, ohne es zu zerstören. Laserschweißen ist sehr vielseitig und findet oft in sehr individuellen Bereichen Anwendung, was zur Folge hat, dass die Voraussetzungen, unter denen der Prozess stattfinden muss, stark variieren. In der Demonstration wurde von Zink beschichteter Stahl geschweißt. Mit dem optischen Mikrofon konnte eine Methode vorgeführt werden, um einerseits die Fokusslage des Lasers während des Vorgangs eindeutig festzustellen und andererseits zu erörtern, ob die Zinkentfernung im jeweiligen Schweißbereich zufriedenstellend ausfiel.

**Schneiden:** Während des Schnittvorgangs gibt es häufig große Schwierigkeiten bei der Feststellung der Prozesseffizienz. Es ist davon auszugehen, dass diese noch weiter erhöht werden kann, doch ist es aufgrund der Maschinengeometrie oft schwierig Messungen durchzuführen, um die Probleme zu ermitteln. Um nur einige Beispiele zu nennen: Durchstoßzeit des Lasers (Piercing), Menge des Materialverlusts beim Schneiden, optimaler Gasdruck, etc. Während der Demo konnte anhand der Messung der Durchstoßzeit gezeigt werden, dass das optische Mikrofon auch hier Abhilfe schafft.

**Strukturieren:** Bei der Laserstrukturierung kann der neue Sensor ebenfalls vielseitig eingesetzt werden. Sowohl die Ermittlung des Fokuspunkts als auch ein Echtzeit-Parametercheck von z.B. der Repetitionsrate, der Scangeschwindigkeit oder das Feststellen des Ablationsvolumens kann mit dem optischen Mikrofon vollzogen werden. Zur Demonstration wurde die akustische Emission in der angrenzenden Luft bei verschiedenen Laserleistungen beurteilt.

### Messaufbau beim Schweißen

Der Aufbau bestand aus einem nLIGHT 3 kW Faserlaser mit einem Prozessfaserdurchmesser von 100 µm, dem Schweißkopf FiberMINI von LaserMech (ausgestattet mit 75 mm Kollimation und 200 mm Fokusslänge) und dem ABB IRB2400 Roboterarm. Die Schweißgeschwindigkeit betrug 8 m/min und die Dicke der Zinkbeschichtung 1,5 mm.

### Schweißen – Ergebnisse (I)

Wird die Fokusposition kontinuierlich innerhalb einer Schweißung variiert, können die verschiedenen Phasen beobachtet werden:

- Der Laser wird eingeschaltet und eine Schmelze geformt während der Roboterarm noch nicht in Bewegung ist. Es kommt zum Einstich. Dadurch wird das Schweißbad vergrößert.
- Der Roboter startet die Bewegung und während anfänglich thermisch gute Bedingungen für die Aufschweißung herrschen, erreicht man dann den Bereich, in

## laservision

Laser  
Schutz  
Fenster

**P1P16**  
CE EN 60825-4

Der neue  
**Gold-Standard**

200-470nm | T2  
800-1108nm | T2

Stand  
B2:501

**LASER** World of  
**PHOTONICS**

uvex-laservision.de

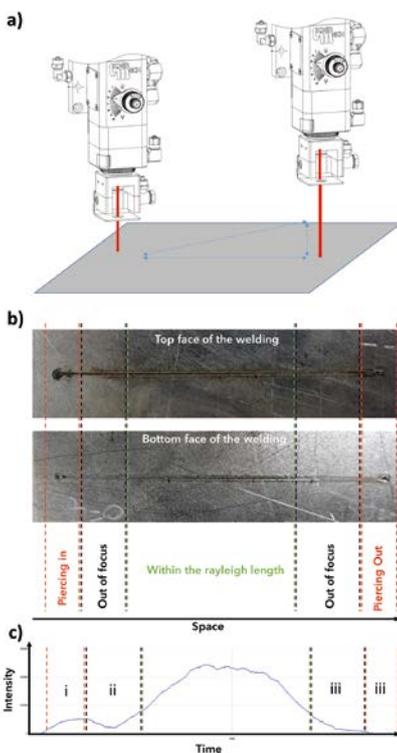
protecting people

dem sich die Fokusslage während der Bewegung des Roboters als zu tief erweist. Durch den schlechten Fokus ist die Energie nicht hoch genug, um eine gute Schweißung zu erreichen.

- Wird dann die optimale Distanz des Roboterarms zur Oberfläche erreicht, also jene, bei der der Fokus ausreicht, um genügend Energie für die Schweißung zur Verfügung zu stellen, ist die Positionierung ideal, um ein gutes Keyhole auszubilden.

- Entfernt sich der Fokus immer weiter von der Oberfläche, wird schließlich der Punkt erreicht, wo die Energie erneut nicht ausreicht, um eine zufriedenstellende Schweißung zu bilden.

Dieses Verhalten zeichnet sich auch in der Beobachtung der Ultraschallemission im Frequenzbereich von 40 kHz - 1 MHz ab.



a) Schematische Versuchsdarstellung,  
b) Ober- und Unterseite der geschweißten Platte,  
c) Integral der akustischen Emission.

Die einzelnen Phasen sind deutlich unterscheidbar: (i) Die Einstichphase mit dem anfänglichen Überspringen sowie Beginn der out-of-focus Fahrt (ii) Optimierte Fokusslage und Bildung des Keyholes. Das Verhalten zeigt sich symmetrisch. (iii) Kontinuierlich abfallendes Signal, welches bedeutet, dass der Fokus wieder zu hoch ist, um die Einstich- oder Keyhole-Bedingung beizubehalten.

### Schweißen - Ergebnisse (II)

Im Automobilbereich wird aufgrund der hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen häufig Zink beschichteter Stahl verwendet. Jedoch hat Zink einen niedrigeren Schmelzpunkt als Stahl, was zu Spritzern nahe dem Schweißbereich und infolgedessen zu einer erhöhten Porosität führen kann. Das sind Effekte, die nicht auftreten sollen. Aus diesem Grund wird die Zinkschicht vor dem Schweißprozess entfernt. Bleiben dennoch dabei Zinkreste zurück, führt das meist zu Unstetigkeit in der Schweißnaht, was eine mangelhafte Qualität bedeutet. Deshalb wurde als zweites Anwendungsbeispiel die Echtzeitüberwachung von Schweißungen mit und ohne Zinkrückständen demonstriert. Bei Vergleich der Ergebnisse wird in den akustischen Spektrogrammen der Schweißungen mit der abgetragenen und vorhandenen Zinkbeschichtung der Unterschied deutlich.

### Messaufbau beim Schneiden

Der Aufbau bestand aus einem nLIGHT 4 kW CORONA Faserlaser mit der Möglichkeit, verschiedene Energieverteilungsmoden einzustellen, um die Schnittkanten und die Geschwindigkeit zu verbessern (<http://www.nlight.net/products/corona/>) und aus einem Schnittkopf FIBER-CUT2D von LaserMech, (ausgestattet mit einer 100 mm Kollimation und 150 mm Fokusslänge). Das optische Mikrophon wurde seitlich des Schnittkopfs oberhalb der Probe (einer 10 mm MS Platte) positioniert. Als Prozessgas

diente Sauerstoff. Zusätzlich wurde eine Kamera installiert, die anhand des Streulichtes erkannte, wann der tatsächliche Durchstoß erfolgt ist.

### Messaufbau beim Strukturieren

Die letzte Demonstration bestand aus einem mit 20 W betriebenen Pulslaser von Raycus und einem basiCube Scan-Kopf von Scanlab (ausgestattet mit einer F-Theta Linse 163 mm). Mehrere gleichartige rechteckige Proben wurden bei konstanter Scangeschwindigkeit von 1000 mm/s und einer Impulsfolgefrequenz von 20 kHz bei verschiedenen Laserleistungen (5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 %) strukturiert.

### Fazit

Mit dem breitbandigen optischen Mikrophon ist es möglich, verschiedene Laserprozesse in Echtzeit zu analysieren und zu bewerten. Dabei wird die akustische Emission in Luft gemessen und anhand der Datenkurven eine Aussage über Parameter wie das Vorhandensein von Zinkrückständen beim Laserschneiden oder die tatsächliche Impulsfolgefrequenz des Lasers beim Laserstrukturieren getroffen. Das optische Mikrophon kann neue Lösungen in der Echtzeit-Prozesskontrolle ermöglichen, indem nicht nur mehr beobachtet, sondern fortan auch zugehört wird.

**Hinweis:** Bei Bedarf bietet OptoPrim eine ausführlichere Version mit Ergebnissen und Grafiken für alle Prozesse.

Autoren: *Stefano Zarini - OptoPrim srl*  
*Ryan Sommerhuber - XARION Laser Acoustics GmbH*  
*Christian Schröter - OptoPrim Germany GmbH, cschroeter@optoPrim.de*  
*Mobil: +49 (0)160 96216120*

OptoPrim Germany GmbH  
[www.optoPrim.de](http://www.optoPrim.de)

Quellenverzeichnis:

[1] B. Fischer, W. Rohringer, N. Panzer, S. Hecker: Acoustic Process Control for Laser Material Processing; Laser Technik Journal 5/2017, 21-25.