

# Laserengraving - Die Fertigungstechnologie der Zukunft

Zur Herstellung von Werkzeugen, Formenkavitäten für Mikrowerkzeuge oder zur Mikrostrukturierung verschiedener Teile, stossen mechanische Zerspanungstechnologien an ihre Grenzen. Am Zentrum für Prozessgestaltung Aargau (ZPA) wird die alternative Fertigungstechnologie Laserengraving untersucht und weiterentwickelt.

Das ZPA ist ein Kompetenzzentrum der Fachhochschule Aargau Nordwestschweiz. Es befasst sich einerseits mit Aufgabenstellungen der Unternehmenslogistik und andererseits mit Fertigungsprozessen. Das Fachgebiet Unternehmenslogistik beschäftigt sich schwerpunktmässig mit der Prozess- und Organisationsgestaltung sowie mit der Entwicklung und Umsetzung von IT-Konzepten. Das Fachgebiet Fertigungsprozesse hat seinen Schwerpunkt im Bereich des Werkzeug- und Formenbaus. Die Forschungstätigkeiten liegen bei neuen Fertigungstechnologien zur Herstellung von Klein- und Mikrowerkzeugen. Hierzu werden Prozesse wie Laserengraving sowie innovative Werkzeugtechnologien für Mikromontage-spritzguss untersucht und weiterentwickelt. Diese Arbeiten werden in der Regel immer mit Industriepartnern durchgeführt, die die Neuentwicklungen in ihrem Betrieb implementieren oder aktuelle Problemstellungen in die Projekte einbringen. Ein aktueller Transfer der F & E Resultate erfolgt in die Aus- und Weiterbildung. Gleichfalls werden Beratungsleistungen für Industrieunternehmen im Bereich der diskreten Fertigung erbracht. Für die Forschungstätigkeiten stehen dem ZPA gepulste Festkörperlaser zur Verfügung, die bei Wellenlängen von 1064 nm (infrarot), 532 nm (grün) und 355 nm (ultraviolett) funktionieren. Der Laserstrahl wird für die Erzeugung verschiedenster Geometrien in unterschiedlichen Materialien eingesetzt, wobei derzeitige Anwendungen im Bereich der Formen für die Replikation von Kunststoffmikroteilen liegen. Neben diesen heute industriell einsetzbaren Lasern betrachtet man am ZPA auch Anwendungen von speziellen Lasertypen (Piko- und Femtosekunden-Laser).

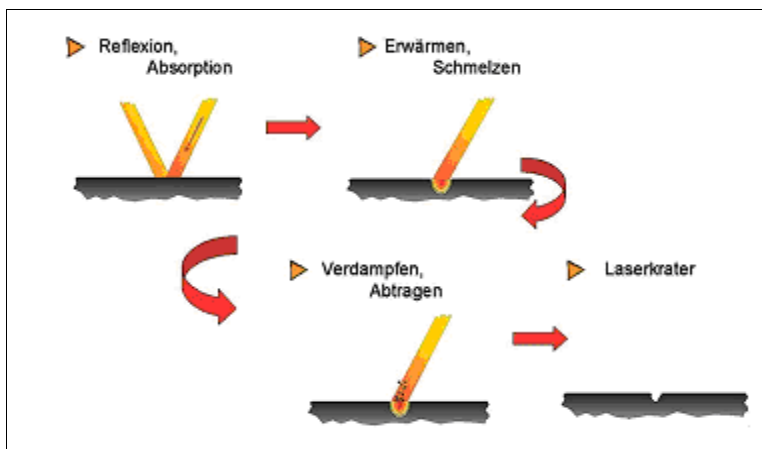


Abb. 1: Funktionsweise des Materialabtrags mit dem Laser

## Laser zur Herstellung von Kavitäten und Strukturen

Der Begriff Laserengraving bezeichnet einen kontrollierten Materialabtrag, der mittels eines gepulsten Laserstrahls stattfindet. Der Strahl wird dabei sehr stark fokussiert (Spots von 0,01–0,1 mm). Im Brennpunkt

werden sehr hohe Temperaturen ( $> 2000\text{ °C}$ ) erreicht. Demzufolge wird das Material lokal geschmolzen und verdampft (Abb. 1). Ziel bei der Parameterwahl ist das Erreichen eines Dampfdrucks in der Kavität, der ein vollständiges Austreiben von Schmelzresten erlaubt.

Der Geometrieursprung bildet ein CAD File. Dieses File wird im STL-Format ausgelesen und an die Maschinensteuerung übermittelt. Mit der Maschinensoftware wird das STL-File in Schichten (Sliceprozess in Z-Richtung, Abb. 2) aufgeteilt. Nach Beendigung des Sliceprozesses

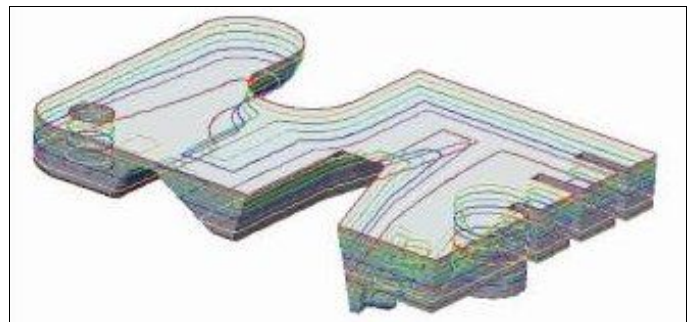


Abb. 2: Eine in Schichten aufgeteilte Form; der fokussierte Laserstrahl fährt jede Schicht ab.

erfolgt die Parametrierung der Laseranlage. Nach Abschluss dieser Prozesse, die auch offline erfolgen können, kann die eigentliche Bearbeitung gestartet werden. Hierbei wird mittels des Laserstrahls die Geometrie Schichtweise abgetragen.

Beim Laserengraving hängt die erreichbare Präzision vorwiegend vom Spotdurchmesser des fokussierten Strahls und von der Genauigkeit des Laserscanners ab. Für beide Parameter sind aber Werte gut unterhalb von 0,1 mm heutzutage üblich. Dadurch eignet sich das Laserengraving zur Herstellung von kleinen Formen und Strukturen, aber auch zur Erzeugung von filigranen Kavitäten auf grösseren Teilen. Da der Materialabtrag auf Grundlage von thermischen Prozessen stattfindet, spielt die Härte des zu bearbeitenden Werkstoffes eine untergeordnete Rolle. Das Verfahren ist für sämtliche Werkstoffe, die im Werkzeug- und Formenbau angewandt werden, einsetzbar.

In der Praxis werden mit dieser Technologie bereits Kavitäten erstellt, bei denen im Vergleich zu konventionellen Verfahren, wie Erodieren, Zeitersparnis von bis zu 60% resultieren.

## Parametrierung des Lasers

Weil Laserengraving auf kontrolliertem Materialabtrag mittels Lasers beruht, ist es verständlich, dass die einfallende Laserintensität (bzw. Energiedichte) die massgebende Grösse dieses Verfahrens ist. Wenn die Intensität unterhalb einer bestimmten Schwelle liegt, bleiben die laserinduzierten Prozesse nur an der Werkstückoberfläche

(Aufwärmen, Umschmelzen des zu bearbeitenden Werkstoffes). Ein Materialabtrag findet in diesem Falle nicht statt.

Wenn aber die Strahlintensität sehr gross ist, findet ein signifikanter Materialabtrag statt und die Formeigenschaften des ganzen Werkstückes werden drastisch ver-

ändert (Bohren, Schneiden).

Zwischen diesen zwei Extrema ergibt sich die Parameterkonfiguration, die im Laserengraving zum Einsatz kommt, um einen Materialabtrag in Verbindung mit einer entsprechenden Oberflächenqualität zu erhalten. Neben Intensität spielt die Wellenlänge des Lasers für den Materialabtrag ebenfalls eine wichtige Rolle. Wenn ein Laserstrahl auf ein Werkstück auftrifft, wird nur ein Teil seiner Energie absorbiert, der restliche Teil an der Ober-

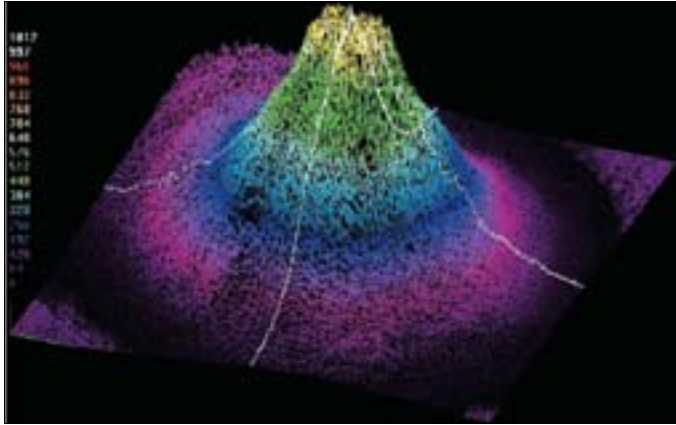


Abb. 3: Energieverteilung in einem Laserstrahl

fläche reflektiert. Der Absorptionsgrad wiederum hängt vom Werkstoff und von der Wellenlänge des verwendeten Lasers ab. So wird bei Stahl zum Beispiel bei einem Laser mit der Wellenlänge 1064 nm nur 40 % der Energie absorbiert, das heisst 60 % der Energie wird nicht genutzt. Demzufolge ist die Auswahl geeigneter Wellenlängen ein äusserst wichtiger Schritt in der Festlegung der Bearbeitungsstrategien. Heutzutage werden meist gepulste Festkörperlaser im Bereich des Laserengravings verwendet. Diese Laser können lampen- oder diodengepumpt arbeiten und sind Industriestandard. Ihre Ursprungswellenlängen befinden sich im IR-Bereich, können aber mittels spezifischer optischer Kristalle bis in den Ultraviolett-Bereich (UV) gebracht werden. Dies ist sowohl wegen der Absorptionseigenschaften verschiedener Materialien, als auch wegen der Fokussierbarkeit vorteilhaft. UV-Laserstrahlen können im Vergleich zu IR-Laserstrahlen auch auf kleinere Spotdurchmesser fokussiert werden, welches noch filigranere Bearbeitungen zulässt.

### Positionierung des Laserengraving im Werkzeug- und Formenbau

Bedingt durch den sehr feinen Bearbeitungspot, eignet sich das Laserengraving zur Herstellung von kleinen filigranen Kavitäten (max. 50 mm x 50 mm) und zur Strukturierung von Formeinsätzen. Zur Herstellung von mittleren und grossen Formen ist dieses Verfahren durch den punktuell zu kleinen Materialabtrag (Laserspotdurchmesser) nicht geeignet, respektive unwirtschaftlich. Ausgenommen davon dürfte jedoch eine Teilbearbeitung (Hybridbearbeitung) von filigranen Teilbereichen bei grösseren Formen sein. Typische Einsatzgebiete des Laserengraving sind die Herstellung von:

- kleinen Spritz- und Druckgusskavitäten;
- Mikroumformwerkzeuge;
- Strukturierung von Werkzeugen und Kavitäten;
- Mikrostrukturierungen.

In diesen Anwendungen ist der Nutzen des Laserengraving insbesondere mit der Vielseitigkeit des Lasers ver-

bunden. Im Vergleich zur Funkenerosion entfallen aufwändige Prozesse wie die Elektrodenherstellung und die damit verbundene CAM-Programmierung. Dies wirkt sich in kürzeren Durchlaufzeiten aus, verbunden mit signifikant niedrigeren Herstellkosten. Die Materialhärte spielt sowohl für die Funkerosion als auch für den Laserabtrag eine untergeordnete Rolle, aber man ist im Laserengraving nicht mehr auf elektrisch leitenden Materialien beschränkt. Für den Werkzeug- und Formenbau kann man die Vorteile der Laserengraving-Technologie wie folgt zusammenfassen:

- Hartmetall, gehärtete Stähle, Keramiken sind ohne Härtebegrenzung bearbeitbar.
- Herstellung von kleinen oder filigranen Konturen (Laserstrahl <0.1 mm fokussierbar).
- Werkzeugverschleissfreie Bearbeitung.
- Bis zu 60 % kürzere Prozesszeiten im Vergleich mit EDM (Elektroden und CAM-Prozesse entfallen).

### Aktuelle Forschungstätigkeiten am ZPA

Die F & E-Tätigkeiten werden zum grössten Teil im Rahmen von KTI-Projekten mit Industriebeteiligung durchgeführt. Ebenfalls werden anwendungsbezogene Aufgabenstellungen und Machbarkeitsstudien mit Werkzeug- und Formenbauern durchgeführt. Durch diese Aktivitäten hat sich das ZPA als Ansprechstelle für Fragen des Laserengravings in der Schweiz und im nahe gelegenen Ausland etabliert.

Da die Fragestellung im Laserengraving stark mit physikalischen Eigenschaften des Laserstrahls (z.B. Modenstruktur, Fokussierbarkeit) verbunden ist, verfügt das ZPA über die entsprechende Ausrüstung. Strahleigenschaften und Fokussierbarkeit von verschiedenen Strahlquellen können untersucht werden (Abb. 3).

Ebenfalls werden verschiedene Bearbeitungsstrategien untersucht, um unausweichbare Probleme der Laserphysik kompensieren zu können. So wurde eine Strategie entwickelt, die das Laserherstellen von Formen mit senkrechten Wänden ermöglicht. Vorversuche für KMU aus dem Werkzeug- und Formenbau, die an der Laser-

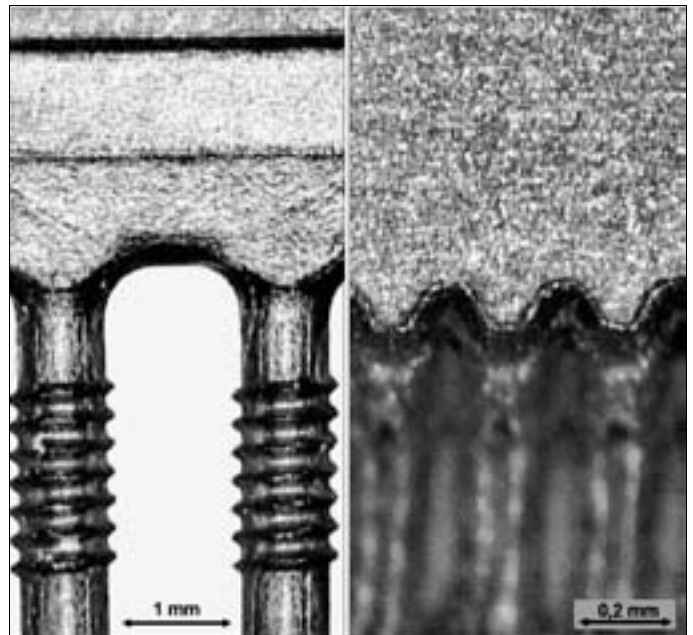


Abb. 4: Links: Kunststoffspritzgussteil; rechts: Detail der dazugehörigen Spritzgussform (mittels Laserengraving hergestellt)

technologie Interesse haben, werden ständig durchgeführt (Abb. 4).

Durch die oben erwähnten Forschungstätigkeiten und engen Kontakte im Werkzeug- und Formenbau wurde ein Bedarf nach einer kostengünstigen Herstellungstechnik hochpräziser Kavitäten und Strukturen festgestellt (im  $\mu\text{m}$ - und sub- $\mu\text{m}$ -Bereich). Dieses Thema wird seit kurzem am ZPA behandelt und dabei wird die schon gegebene Synergie mit dem Paul Scherer Institut (PSI) und dem Zentrum für Kunststofftechnik der Fachhochschule Aargau genutzt.

Erste Vorversuche lieferten vielversprechende Resultate. Mit einem UV-Laserstrahl war es möglich,  $1\ \mu\text{m}$  Poren auf Stahl (sowohl unbeschichtet als auch TiN-beschichtet) zu produzieren. Mit einem derart laserstrukturierten Formeinsatz wurden anschliessend Spritzgussteile hergestellt. Die REM-Analyse der Bauteile zeigte, dass die Spritzgussteile die  $\mu\text{m}$ -Strukturen übernahmen.

### **Ausblick**

Betrachtet man die verschiedenen Technologieentwicklungen im Werkzeug- und Formenbau, so können folgende Trends grundsätzlich festgehalten werden: schneller – genauer – flexibler – vielseitiger – günstiger. Auch im Rahmen dieser Trendentwicklungen platziert das ZPA seine Zukunftsaussichten: eine erhöhte Genauigkeit im Laserengraving, eine breitere Palette von Materialien, die mittels Lasers bearbeitet werden kann, und die Herstellung noch kleinerer Strukturen ( $\leq 10\ \mu\text{m}$ ).

Im Allgemeinen und auf Grund der in diesem Beitrag erwähnten Vorteile, ist es anzunehmen, dass das Laserengraving in nächster Zeit weiter an Bedeutung gewinnen wird. Einige der heutigen klassischen Fertigungstechnologien werden durch das Laserengraving substituiert. Ein komplettes Wegfallen der bestehenden Technologien wird jedoch nicht der Fall sein. Nach wie vor verfügen Mikrofräsen und Erodieren über einige unbestrittene Vorteile, und es ist nicht realistisch zu denken, dass das Laserengraving sie komplett ersetzen wird. Die Wirtschaftlichkeit in jeder Anwendung wird entscheidend sein.

### **Autoren**

Markus C. Krack,  
Dr. Gabriel Dumitru  
ZPA, Fachhochschule Aargau, Nordwestschweiz,  
5210 Windisch  
[m.krack@fh-aargau.ch](mailto:m.krack@fh-aargau.ch)  
[g.dumitru@fh-aargau.ch](mailto:g.dumitru@fh-aargau.ch)

**ZPA Zentrum für Prozessgestaltung Aargau  
der Fachhochschule Aargau  
Steinackerstr. 5  
CH-5210 Windisch**

**Sekretariat:**

Frau Patrizia Hostettler  
Tel. 056 462 41 50  
Fax. 056 462 41 51

[www.zp-aargau.ch](http://www.zp-aargau.ch)  
Email: [p.hostettler@fh-aargau.ch](mailto:p.hostettler@fh-aargau.ch)