

Forschungsergebnisse

# Photonik, Mikroelektronik, Informationstechnik: Intelligente optische Sensorik

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

---

Online Regelung der Fokusslage relativ zur Werkstückoberfläche  
bei der Laser-Materialbearbeitung

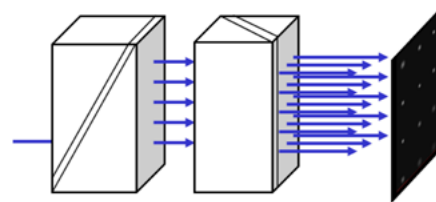
# Online Regelung der Fokusslage relativ zur Werkstückoberfläche bei der Laser-Materialbearbeitung

**Im Rahmen des von der Baden-Württemberg Stiftung finanzierten Projekts „Fokus-Pokus“ wurde eine Regelung der Fokusslage relativ zur Werkstückoberfläche während des Laser-Schweißens realisiert.**

Bei Laseranwendungen mit hoher mittlerer Laserleistung kommt es aufgrund von Restabsorption in Optikelementen wie Linsen oder Schutzgläsern zu einer lokalen Erwärmung des Glasmaterials. Da der Brechungsindex temperaturabhängig ist, führt dies zu einer thermisch induzierten Änderung der Brennweite. Bei den üblicherweise verwendeten Materialien Quarzglas oder BK7 verringert sich dadurch die Brennweite und der Fokus wandert vom Werkstück weg. Hinzu kommen – insbesondere bei der Blechbearbeitung – Toleranzen der Werkstückoberfläche im Millimeterbereich. Beide Effekte zusammen sorgen dafür, dass sich die relative Fokusslage von Prozess zu Prozess unterscheiden, oder sich sogar während des Prozesses ändern kann. Dies kann dazu führen, dass der Bearbeitungsprozess aufgrund der verringerten Intensität instabil wird und zum Beispiel eine Tiefschweißung nicht mehr die gewünschte Tiefe erreicht, oder gar in ein anderes Prozessregime wechselt.

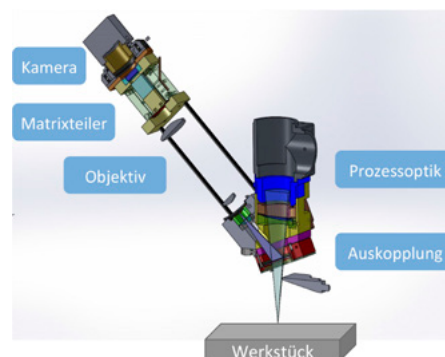
Ziel dieses Projekts war es, die Fokusslage relativ zum Werkstück online zu messen und konstant zu halten. Dazu wurde mit einer speziellen Optik, welche eine schnelle Strahlvermessung mit einem einzigen Kamerabild ermöglicht, die aktuelle Position des Fokus während des Prozesses bestimmt. Gleichzeitig wurde die Position der Oberfläche des Werkstücks relativ zu der Prozessoptik gemessen. Beide Werte wurden miteinander verrechnet und die Laserbearbeitungsanlage entsprechend nachgeregelt.

Zur Echtzeitvermessung der Fokusslage wird der Laserstrahl durch Mehrfachreflektionen an zwei Glasplättchen mit einem sogenannten Mehrfachstrahlteiler in eine definierte Anzahl von Einzelstrahlen aufgespalten. Die Einzelstrahlen werden alle in einem einzelnen Kamerabild aufgezeichnet. Dabei bildet jeder Einzelstrahl eine bestimmte Ebene innerhalb der Strahlkaustik ab. Abbildung 1 verdeutlicht das Messprinzip.



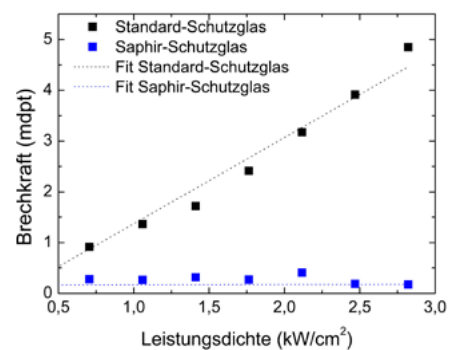
**Abbildung 1: Prinzip des Mehrfachstrahlteilers und Bildebene zur Aufzeichnung der Strahlkaustik mit einem einzelnen Kamerabild.**

Um die Fokusslage während des Bearbeitungsprozesses vermessen zu können, muss nach der Prozessoptik ein geringer Teil der Leistung ausgekoppelt und in den Mehrfachstrahlteiler mit Kamera eingekoppelt werden. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 2 zu sehen.



**Abbildung 2: Aufbau zur Vermessung der Strahlkaustik während des Bearbeitungsprozesses.**

Bei der Stahlauskopplung ist zu beachten, dass das Auskoppellement selbst eine thermisch induzierte Fokussverschiebung verursachen kann. Daher wird in dem in diesem Projekt entwickelten Aufbau der Messstrahl an der Rückseite eines speziellen Saphir-Schutzglases ausgekoppelt. Im Vergleich zu einem Standard-Schutzglas aus Quarz ist die thermisch induzierte Brechkraft dieses Saphir-Schutzglases signifikant geringer, sodass der Prozessstrahl durch dieses Element nicht messbar beeinflusst wird. In Abbildung 3 ist die Brechkraft eines Standard-Schutzglases und des Saphir-Schutzglases in Abhängigkeit der Leistungsdichte verglichen. Bis zu einer maximalen Laserleistung von 8 kW zeigt das Saphir-Schutzglas keine messbare thermisch induzierte Brechkraft und eignet sich daher gut als Auskoppellement.



**Abbildung 3: Thermisch induzierte Brechkraft in Abhängigkeit der Leistungsdichte auf dem Schutzglas.**

Die Strahlvermessung geschieht online mit einer im Projekt entwickelten Software. In Abbildung 4 ist ein Screenshot der Software zu sehen. Die linke Hälfte zeigt das Kamerabild mit den Strahlquerschnitten aus den Strahlteilern. Die Kreise um die einzelnen Querschnitte sind die ausgewertete ROI.

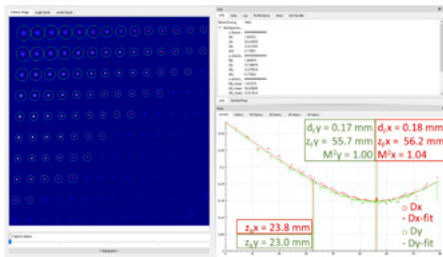


Abbildung 4: Screenshot der Software zur Bestimmung der Strahlparameter. Links ist das Kamerabild zu sehen und rechts die vermessene Strahlkaustik.

Die Auswertung der Strahleigenschaften, im rechten Teil des Bildes dargestellt, erfolgt online und mit den 25 Hz der verwendeten Kamera.

Zur Messung der Distanz der Werkstückoberfläche relativ zu der Prozessoptik wurde ein OCT der Firma Precitec eingesetzt. Die beiden Messsysteme wurden an eine Schweißoptik der Firma Trumpf (BEO D70) angebaut. Abbildung 5 zeigt den kompletten Aufbau, bestehend aus der Strahlcharakterisierung zur Messung der Fokusslage (blau) und dem OCT zur Abstandsmessung (grün).

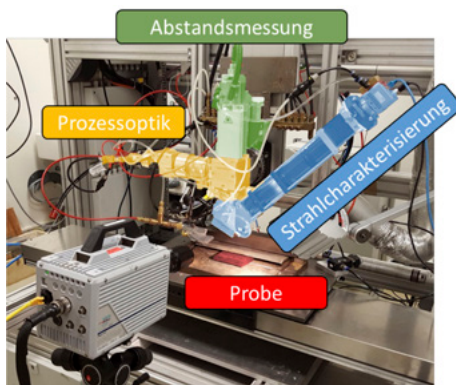


Abbildung 5: Gesamtaufbau zur Messung und Regelung der relativen Fokusslage während des Bearbeitungsprozesses.

Da Laserschweißen von Kupfer besonders empfindlich auf die Fokusslage ist, wurde die Tauglichkeit des Systems mit einer Einschweißung in ein gebogenes Kupferblech bei einem Vor-

schub von 1 m/min und einer Leistung von 8 kW demonstriert. Eine wichtige Erkenntnis war, dass weder die Messung der Fokusslage noch die Messung des Abstands zur Werkstückoberfläche durch das Prozessleuchten während der Bearbeitung beeinflusst wurden.

Abbildung 6 zeigt einen Zeitschnitt des Prozesses, bei welchem eine bestimmte, vertikale Linie im Raum als Funktion der Zeit aufgezeichnet wird.

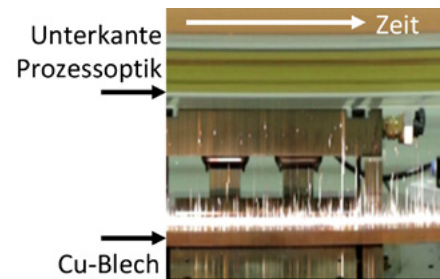


Abbildung 6: Stabile Einschweißung in ein gebogenes Kupferblech mit geregelter relativer Fokusslage.

Es ist deutlich zu erkennen, wie dank der Regelung die Unterkante des Prozesskopfes (mit dem oberen Pfeil markiert) der Biegung des Bleches folgt und durch die konstante relative Fokusslage über die gesamte Länge ein stabiler Schweißprozess ermöglicht wird.

PD Dr. Rudolf Weber  
Leiter Verfahrensentwicklung  
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)  
Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 43  
D-70569 Stuttgart  
Germany

Tel.: +49 711 685 66844  
Fax: +49 711 685 56844  
rudolf.weber@ifsw.  
uni-stuttgart.de  
www.ifsw.uni-stuttgart.de