

# Kamerabasierte Prozessüberwachung in der Lasermaterialbearbeitung

Die Lasermaterialbearbeitung ist heute eine etablierte Technik, um Materialien berührungslos zu schneiden, zu bohren oder zu schweißen. Damit ein Laserstrahl ohne mechanische Bewegung des Systems auf verschiedene Positionen des Bearbeitungsfelds fokussiert werden kann, werden hauptsächlich 2-Spiegel Scanköpfe verwendet. Ein F-Theta Objektiv wird genutzt, um den Strahl auf eine plane Bearbeitungsfläche zu fokussieren.

Um das Ergebnis des Laserprozesses direkt während der Bearbeitung beobachten und auch darauf reagieren zu können, werden unter anderem kamerabasierte Prozessüberwachungsmethoden eingesetzt. Abhängig von der Anwendung sind dabei verschiedene Methoden möglich: Die koaxiale Beobachtung durch das Scanobjektiv, die seitliche Beobachtung schräg auf das Bearbeitungsfeld oder im Spezialfall die Beobachtung durch ein transparentes Bearbeitungsobjekt.

## Die koaxiale Beobachtung

Bei der koaxialen Beobachtung durch das Scanobjektiv wird ein Teil des Lichts ausgehend von der Bearbeitungsfläche über das Scanobjektiv durch den Scankopf gelenkt und über einen Strahlteiler und ein Teleobjektiv auf einen Sensor abgebildet. Das Beobachtungsfeld wird somit immer zusammen mit dem Laserstrahl über das Bearbeitungsfeld geführt. Die Verzeichnung, die durch das Spiegelssystem und das F-Theta Objektiv verursacht wird, kann durch eine Korrektur der Spiegelpositionen kompensiert werden.

Die Verzeichnung des Beobachtungsfelds und der laterale Farbfehler, der durch den Unterschied zwischen Laser- und Beobachtungswellenlänge entsteht, bleiben dabei jedoch erhalten. Da das F-Theta Objektiv in den meisten Fällen ausschließlich für eine Laserwellenlänge korrigiert ist und die Sensorebene in der Regel eine ebene Fläche ist, entsteht zusätzlich eine Objektfeld-Wölbung für den Abbildungsstrahlengang.

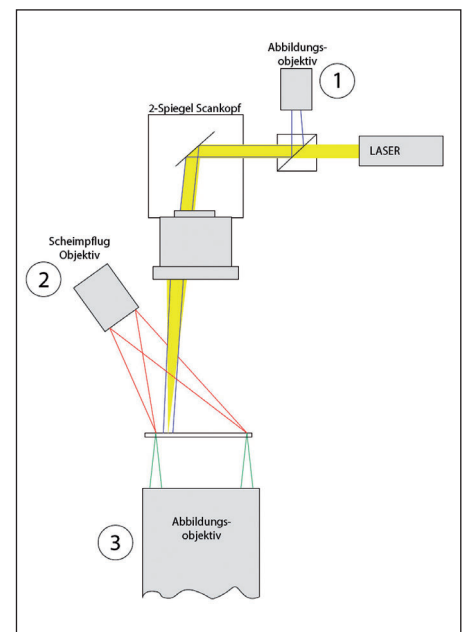
Falls die Schärfentiefe des Objektivs nicht ausreicht, kann die Wölbung der Objektebene durch ein multispektrales Scanobjektiv kompensiert werden. Alternativ ist es auch möglich, die z-Position über ein Abbildungsobjektiv mit veränderbarer Brennweite, z. B. fokusvariable Linse, nachzuführen oder einen gekrümmten Sensor zu nutzen.

Um eine möglichst gute Abbildungsleistung zu erreichen, sollten folgende Spezifikationen bei der Optikauswahl beachtet werden:

- Der Abbildungsmaßstab des Gesamtsystems wird aus dem Quotienten der Brennweite des Abbildungsobjektivs und der Brennweite des Scanobjektivs errechnet. Um einen möglichst hohen Abbildungsmaßstab zu erreichen, werden daher hauptsächlich langbrennweitige Abbildungsobjektive genutzt.
- Das Abbildungsobjektiv muss für die Beobachtungswellenlänge ausgelegt sein. Dies gilt für die Vergütung der Linsen aber auch für das Linsendesign selbst.
- Die Blendenposition eines Objektivs trägt maßgebend zum Verlauf des Strahlengangs bei. Bei der koaxialen Beobachtung wird das Gesamtsystem meist durch die Eingangsapertur des Scankopfs begrenzt. Um Vignettierung an den Rändern des Sensors zu vermeiden, wird empfohlen die Objektivblende auf die Eingangsseite des Objektivs zu setzen. Die Auflösung des Abbildungsobjektivs wird durch die Apertur des Scankopfs begrenzt.

## Die seitliche Beobachtung

Steht genügend Bauraum seitlich des Scankopfs und des F-Theta Objektivs zur Verfügung, kann der Laserprozess auf der Bearbeitungsfläche auch durch ein verkipptes Objektiv beobachtet



▲ Schematische Darstellung der kamerabasierten Prozessüberwachung: 1) mit koaxialer Beobachtung; 2) mit Scheimpflug Objektiv; 3) durch ein transparentes Werkstück.

werden. Hierdurch ist es möglich, das komplette Bearbeitungsfeld auf einen Blick zu betrachten oder durch den Einsatz von mehreren Kamerasystemen Teilbereiche abzudecken. Durch die schräge Betrachtung entsteht – abhängig von Kippwinkel, Arbeitsabstand und Feldgröße – eine Weglängendifferenz vom Objektiv zu den unterschiedlichen Bearbeitungsfeld-ecken. Im besten Fall kann diese Differenz durch eine ausreichend große Schärfentiefe des Objektivs ausgeglichen werden. Besonders bei einem



▲ Anordnung des Beobachtungsobjektivs mit Scheimpflugadapter gegenüber dem Scanobjektiv.

hohen Abbildungsmaßstab, großer Blendenöffnung und hoher benötigter Auflösung ist die Schärfentiefe eines Objektivs jedoch sehr gering und somit wird nur noch ein schmaler Streifen entlang der Kippachse scharf abgebildet. Laut dem Scheimpflug-Prinzip kann die Unschärfe einer gekippten Objektebene durch eine ebenfalls verkippte Sensorebene kompensiert werden. Sill Optics löst dies über einen Adapter, der in das Objektiv integriert wird. Die Distorsion, die durch das Objektiv und den schrägen Einfallswinkel entsteht, kann hierdurch jedoch nicht kompensiert werden. Um die Verzeichnung ebenfalls zu eliminieren bzw. gering zu halten, müssen telezentrische Objektive eingesetzt werden. Ein nahezu verzeichnungsfreies System kann im Scheimpflug-Aufbau nur über ein beidseitig telezentrisches Objektiv erreicht werden.

Die sensorseitige Verkippung kann entweder über eine Modifikation am Abbildungsobjektiv oder über eine

Kippung des Sensors in der Kamera erfolgen. Sill Optics setzt zur Verkippung der Sensorebene kundenspezifische Scheimpflug-Adapter ein, die in die Mechanik des Objektivs integriert werden, um das Auflagemaß zum Sensor weiterhin zu erhalten. Um eine hohe Stabilität im Prozess zu gewährleisten, werden die Adapter speziell für eine Anwendung und somit mit einem bestimmten Winkel konstruiert und auf das Abbildungsobjektiv angepasst. Falls der erforderliche Bauraum verfügbar ist, kann diese Art der Prozessbeobachtung bei jedem bestehenden System nachgerüstet werden.

### Beobachtung durch ein transparentes Bearbeitungsobjekt

Für transparente Werkstücke gibt es außerdem die spezielle Möglichkeit, die Bearbeitungsfläche von unten durch das Objekt zu betrachten. Da dabei jedoch nicht nur die Beobachtungswellenlänge sondern auch die Laserstrahlung in das Abbildungsobjektiv tritt, muss das Objektiv speziell-

le Designkriterien erfüllen. So muss das Linsenmaterial ebenfalls für die teils sehr hohen Laserleistungen ausgelegt sein und zusätzlich dürfen keine Kitt-Achromate eingebaut werden, um Absorptionsspitzen zu vermeiden. Ein besonderes Augenmerk sollte außerdem auf interne Foki gelegt werden: Sie dürfen nicht innerhalb einer Linse oder sehr nah einer Linsenoberfläche liegen. Des Weiteren müssen die Form des transparenten Bearbeitungsmaterials und der Brechungsindex bekannt sein.

Es gibt verschiedenste Methoden, einen Laserprozess zu beobachten. Zur Auslegung der optischen Komponenten ist es daher besonders wichtig, die Anwendung und auch die äußeren Umstände zu kennen. Besonders die Auflösung, die Beleuchtungsart und -wellenlänge spielen dabei eine wichtige Rolle, da das Objektiv entsprechend ausgelegt werden muss.

Möchte man neben einer normalen Prozessbeobachtung auch eine Marker-Erkennung durchführen, ist es aufgrund der Abbildungsfehler wichtig, das System zu kalibrieren. Diese Kalibrierung der Verzeichnung gestaltet sich bei der koaxialen Prozessbeobachtung als besonders schwierig und aufwendig, da für jeden Punkt auf dem Bearbeitungsfeld eine eigene Kalibrierung vorgenommen werden muss. Wenn das Scanobjektiv nicht zusätzlich auf die Beobachtungswellenlänge angepasst ist, kann darüber hinaus die Wölbung der Objektschale zu Fehlinformationen bei der Marker-Erkennung führen.

#### ■ INFO

Autor und Kontakt:  
Katharina Friedrich  
Tel.: 09129 9023-87  
Fax: 09129 9023-23  
E-Mail: [katharina.friedrich@silloptics.de](mailto:katharina.friedrich@silloptics.de)

Sill Optics GmbH & Co. KG  
Johann-Höllfritsch-Str. 13  
90530 Wendelstein  
Tel.: 09129 90 23-0  
E-Mail: [info@silloptics.de](mailto:info@silloptics.de)  
[www.silloptics.de](http://www.silloptics.de)