

## Relevanz des Fokusshift für die Produktion

Reinhard Kramer, Thomas Umschlag, Ruben Hartwig, Stephan Holesch  
PRIMES GmbH, Max-Planck-Straße 2, 64319 Pfungstadt

*Exzellentes Prozessverständnis und ständige Prozesskontrolle sind der Schlüssel zum Erfolg in der Lasermaterialbearbeitung. Ein neues Konzept für das Offline- und Online-Fokustracking der PRIMES GmbH soll ständige Prozessüberwachung ermöglichen. Verbesserte Prozesskontrolle führt zu weniger Ausschuss, steigender Verfügbarkeit, macht Service planbar und reduziert unter dem Strich die Gesamtkosten der Produktion.*

*Excellent process understanding and steady process control are the keys to success in laser material processing. PRIMES GmbH designed a new concept for offline and online focus tracking to enable constant process monitoring. Improved process control leads to less scrap parts, increased uptime, enables preventive maintenance and reduces the overall costs of production.*

Basis für die Herstellung gleichbleibend hochwertiger Produkte ist ein exzellentes Prozessverständnis und regelmäßige Prozesskontrolle. Ein wichtiger Bestandteil für die laserbasierte Fertigung sind etablierte, robuste Prozessparameter, durch die Unternehmen höchste Produktqualität bei angemessenem Produktionsdurchsatz erzielen. Der Schlüssel zum Erfolg in der Lasermaterialbearbeitung aber ist das Wissen um den Einfluss der wesentlichen Prozessschwankungen, Systemkenngrößen sowie Bauteiltoleranzen. Daraus resultiert eine Sicherheitsreserve für den Prozess, die sich positiv auf Produktivität und Prozesslaufzeit auswirkt. Eine Verbesserung der Prozessstabilität bzw. der Prozesskontrolle führt zu weniger Ausschuss, steigender Verfügbarkeit und reduziert unter dem Strich die Gesamtkosten für jedes einzelne Bauteil.

Die im Laserprozess auftretende Variation der Fokussposition in Bezug auf das Werkstück, kurz Fokusshift (siehe Abbildung 1), ist als zentraler Parameter und häufige Ursache für Qualitätsprobleme bekannt. Eine thermisch bedingte Verschiebung der Fokusslage um wenige Prozent der Rayleighlänge ist normal. Kritisch kann es werden, wenn Optiken im Strahlweg verschmutzen. Dies erzeugt eine lokale Erwärmung und hat einen sprunghaften Anstieg des Fokusshift zur Folge.

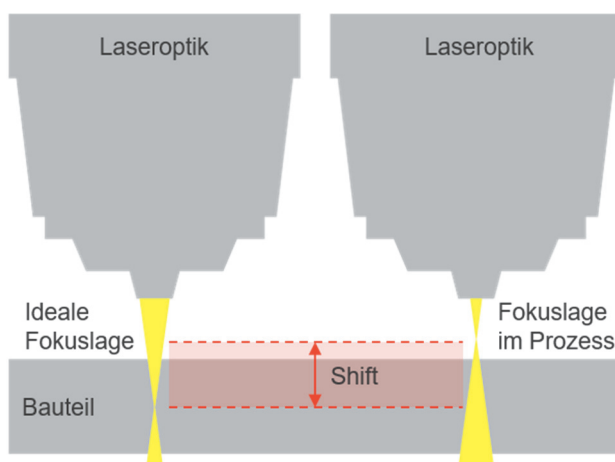


Abbildung 1: Messaufgabe des FocusTracker

Dadurch kann das Prozessfenster während der Bearbeitung binnen Bruchteilen einer Sekunde verlassen werden. Für diesen Fall ist eine Produktionsunterbrechung zum Tausch der optischen Komponenten in der Regel die einzige Option. Übertragen auf eine reale Produktionsumgebung muss der Fokusshift während der gesamten Produktionsdauer möglichst gering sein, um höchste Qualität der Bauteile zu gewährleisten. Eine Verschmutzung der Optik und damit einhergehend, stetiger oder spontan erhöhter Fokusshift kann allerdings auch in stabilen Prozessen nie ausgeschlossen werden.

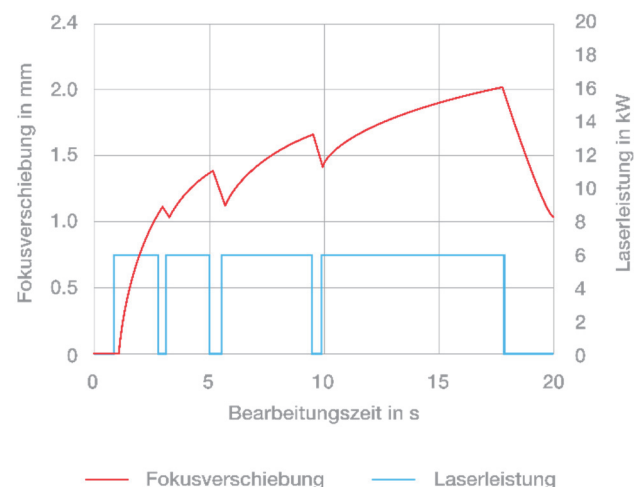


Abbildung 2: Fokusshift - Simulation zum Laserschneiden

Mit dem System FocusTracker ist man in der Lage, den Fokusshift für einen Prozess in Echtzeit zu verfolgen. Sowohl offline als auch online, während der Produktion, lassen sich Abweichungen mit einer Abtastrate von 10 Hz bis zu 50 Hz nachvollziehen. In Abbildung 2 wird eine entsprechende Simulation auf Basis realer Daten dargestellt. Für einen beliebigen Schneidprozess wird die Fokusverschiebung (rote Kurve) im Verlauf der Bearbeitung mit 6 kW Laserleistung (blaue Kurve) erfasst. Man kann erkennen, wie sich die Fokusslage im Verlauf der Bearbeitung kontinuierlich ändert. Kurze Unterbrechungen der Bearbeitung, für Positionswechsel in der Arbeitsebene, bringen gleichermaßen eine Abkühlung und die entgegengesetzte Fokusverschiebung mit sich.

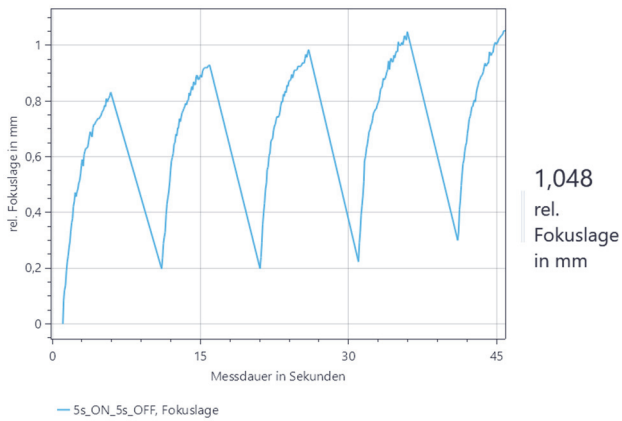


Abbildung 3: Messung der Fokusslage bei 3 kW Laserleistung

Messungen an einem 3 kW Laser belegen das Verhalten der simulierten Daten. In Abbildung 3 werden mit der Messung die Fokusslage, relativ zur Bearbeitungsebene und das thermische Verhalten beim Ein- bzw. Ausschalten der Laserquelle dargestellt. Für den gemessenen Bearbeitungsschritt war der Laser wechselweise jeweils 5 Sekunden ein- und ausgeschaltet. Innerhalb der aufgezeichneten fünf Arbeitsgänge shiftet der Fokus um jeweils etwa 0,8 mm. Absolut wurde im Vergleich mit der Ausgangsposition ein Shift von 1,048 mm in Richtung der Fokussieroptik gemessen. Das Messsignal zeigt sich mit geringen Schwankungen im Bereich weniger Mikrometer sehr stabil und robust. Ein wichtiger Aspekt für die Qualitätssicherung kritischer Prozessschritte, wenn es darum geht, kurzzeitige, signifikante Ausschläge schnell und sicher zu erkennen.

Die Herausforderungen neuer Anwendungen verlangen diese Form der engmaschigen Prozessüberwachung. Mit zunehmendem Vertrauen steigen gleichermaßen die Anforderungen an den Laser als Werkzeug. Prozesskontrolle rückt mit sicherheitskritischen Bauteilen und hohen Kosten für Fehlproduktion oder Produktionsausfall in den Fokus. Die E-Mobilität ist aktuell das populärste Beispiel. Für die Bearbeitung von Batteriezellen und E-Motoren werden in einem sehr engen Prozessfenster sicherheitsrelevante Teile mit hohen Anforderungen an die Genauigkeit und Qualitätssicherung verarbeitet. Mit dem FocusTracker ist neben der Kontrolle zwischen den einzelnen Bauteilen auch eine kontinuierliche Überwachung möglich.

Dabei kann das Messgerät optimal an die Anforderungen im Prozess angepasst werden. Je nach Laserleistung und Verfügbarkeit lässt sich das System entweder aktiv mit Wasser oder passiv luftgekühlt betreiben. Die maximal messbare Laserleistung beträgt aktuell 12 kW. Für den Wellenlängenbereich VIS und NIR kann der FocusTracker für Messungen direkt aus der Faser oder zur Überwachung kompletter Strahlwege eingesetzt werden. Das Messprinzip lässt neben der in Abbildung 4 dargestellten Version als externes Messgerät genauso die Integration in ein optisches System zu. Als integrierte

Lösung kann der FocusTracker an einem Bearbeitungskopf installiert und in den Strahlweg integriert werden. Das Messgerät ist dadurch enorm platzsparend und im Besonderen für die Onlineüberwachung geeignet.

Unser Ziel ist es, durch die Messung der Fokusverschiebung und die Interpretation der Daten, eine besser kontrollierbare und stabilere Produktionsumgebung zu schaffen. Daten der Offline-Fokusshiftmessung können für die Prozessplanung und -optimierung verwendet werden, indem man Rahmenbedingungen für den Prozess robust gegenüber dem Fokusshift gestaltet, den Wartungsaufwand minimiert und die Maschinenverfügbarkeit erhöht. Mit der Online-Überwachung können Qualitätsprobleme während der Bearbeitung der Teile identifiziert werden. Durch das Kennzeichnen der betroffenen Teile und die sofortige Reparatur betroffener Komponenten innerhalb der Strahlführung lassen sich sowohl Fertigungsausschuss als auch Standzeiten in der Fertigung minimieren. Monitoring für den Fokusshift, während der gesamten Produktionsdauer, ermöglicht das Planen einer regelmäßigen, vorbeugenden Wartung.



Abbildung 4: PRIMES FocusTracker (luftgekühlt)

Mit dem vorliegenden Beitrag werden wir die Relevanz des Fokusshift bezogen auf die Leistungsdichte, die Spotgröße auf dem Werkstück sowie das Prozessergebnis in der Produktion diskutieren. Damit möchten wir demonstrieren, wie die Messung der Fokusverschiebung und die Interpretation der Daten genutzt werden kann, um eine besser kontrollierbare und stabilere Produktionsumgebung zu schaffen. Für diese Aufgabe hat die PRIMES GmbH ein neues Konzept für das Offline- und Online-Fokustracking entwickelt. Das Messprinzip lässt sich in einen Bearbeitungskopf integrieren und kann genauso als externes Messgerät eingesetzt werden. Die im Beitrag sowie im Vortrag beschriebenen Messungen wurden mit dem FocusTracker durchgeführt, um den erfolgreichen Einsatz in der Praxis nachzuweisen. Für Fragen rund um den FocusTracker kontaktieren Sie uns gern direkt auf der Ausstellung oder im Nachgang unter:

[info@PRIMES.de](mailto:info@PRIMES.de)