

## Prozessüberwachung beim Remote-Laserstrahlfügen – Erfahrungen mit CO<sub>2</sub>- und Festkörperlaser-Applikationen

Markus Kogel-Hollacher, Thomas Nicolay, Axel Kattwinkel, Jürgen Müller-Borhanian

Precitec Optronik GmbH, Rodgau

Die stark verbesserten Strahlqualitäten der modernen Festkörperlaser-Systeme, bzw. die sehr guten Strahlqualitäten der CO<sub>2</sub>-Laser haben einer neuartigen Fertigungsstrategie den Weg in die industrielle Produktion gebahnt, dem Remote-Laserstrahlfügen mit großen Fokuslängen. Mit diesem Verfahren können im Vergleich zum konventionellen Punktschweißen Taktzeiten um bis zu 60% verkürzt werden. Das alleine macht diese Technologie schon für Bereiche wie den Karosserierohrbau interessant.

In Hinblick auf die Sicherung der Bearbeitungsqualität werden mit dieser Technik zwangsläufig neue Fragen aufgeworfen. Kann aus der großen Entfernung eine zuverlässige Überwachung des Fügeprozesses erfolgen? Sind die bereits für die herkömmlichen Laseroptiken entwickelten Systeme ohne Modifikation im Bereich der Remote-Bearbeitung einsetzbar?

Dieser Beitrag zum LAF'06 beschreibt die Ergebnisse beim Einsatz von Systemen zur Prozessüberwachung an industriellen Beispielen und die notwendigen Modifikationen, damit eine größtmögliche Übereinstimmung zwischen den Forderungen der Anwender und den Möglichkeiten der Systeme erreicht wird.

### 1 Einleitung

Der Einsatz der Remote-Technologie beim Laserstrahlfügen bedeutet für die Überwachung dieser Prozesse keinen grundsätzlich neuen Ansatz. Die hervorragenden Strahlqualitäten und die großen Fokuslängen haben keinen Einfluss auf die grundsätzlichen, physikalischen Vorgänge bei der Strahl-Stoff-Wechselwirkung. Daher sind für die Systeme zur Prozessüberwachung auch nur bedingt Modifikationen, bzw. Neuentwicklungen notwendig.

Für den Bereich der Prozessüberwachung ist der wesentliche Unterschied zu den herkömmlichen Bearbeitungssystemen der große Abstand zwischen Bearbeitungskopf und Werkstückoberfläche. Die Qualität und Zuverlässigkeit der Aussage über den aktuellen Prozesszustand ist eng verknüpft mit der Größe des/der Sensorsichtfeld/er in Bezug auf die Wechselwirkungszone. Bei großen Fokuslängen sollten daher auch die Abbildungsverhältnisse der Sensoren zur Prozessüberwachung optimiert werden. Zusätzlich ist für den potentiellen Anwender von sehr großem Interesse, wie zuverlässig ein Fehler bei der Bearbeitung von dem normalen Prozesszustand unterschieden werden kann. Von Vorteil bei den derzeitigen Anwendungen ist, dass ausschließlich die Nahtgeometrie der I-Naht am Überlappstoß geschweißt wird. Damit kann algorithmisch eine starke Fokussierung auf die nahttypischen Effekte bei dieser Geometrie erfolgen.

Im Folgenden werden Beispiele für den Einsatz von Systemen zur Prozessüberwachung bei Remote-Anwendungen dargestellt mit den für den jeweiligen Einsatzfall eingesetzten Sensorkonfigurationen und den Modifikationen, sofern diese applikations- oder systembedingt notwendig waren.

## 2 Prozessüberwachung bei CO<sub>2</sub>-Laser Remote-Anwendungen

### 2.1 Sensorkonfiguration und -integration

Bei den Großfeldscanner-Systemen mit Fokusslängen von bis zu 1600mm ist es in Hinblick auf die Überwachung des Prozesses absolut notwendig, die Wechselwirkungszone immer coaxial zum Bearbeitungslaser zu beobachten. Nur mit dieser Anordnung ist gewährleistet, dass der jeweilige Sensor ausschließlich die Bearbeitungszone im Messfeld hat.

Als Beispiel für derartige Scannersysteme können die TrumaScan L4000 der Firma Trumpf, bzw. das Remote Welding System RWS der Firma Rofin Sinar angeführt werden. Neben großen Arbeitsbereichen in der Ebene bieten beide Scannersysteme auch eine Variation der Z-Position des Laserstrahls an. Für eine Integration von Sensorik in den Strahlengang bedeutet dies, dass die Sensoreinheit immer den richtigen Abstand zur Werkstückoberfläche haben muss. Sinnvoll ist daher eine direkte mechanische Verknüpfung der Sensorelemente mit der Fokussiereinheit. Diese Anbauposition ist schematisch für die beiden angesprochenen Remote-Systeme in den folgenden Abbildungen dargestellt.

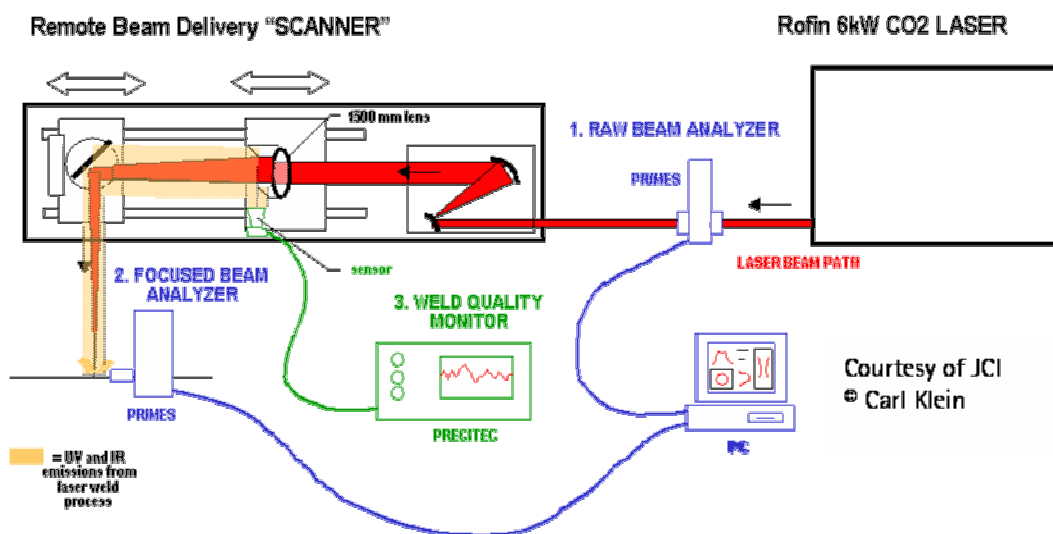


Bild 1: Schematische Darstellung der Sensorposition für den RWS von Rofin Sinar

Die technische Umsetzung dieser Forderung für den Scanner RWS von Rofin Sinar ist in Bild 2 dargestellt. Der Sensorblock ist auf der beweglichen Einheit des Scanners montiert, die auch die Fokussiereinheit trägt, weiterhin ist mit dieser Position die coaxialen Beobachtung der Wechselwirkungszone optimal gewährleistet.

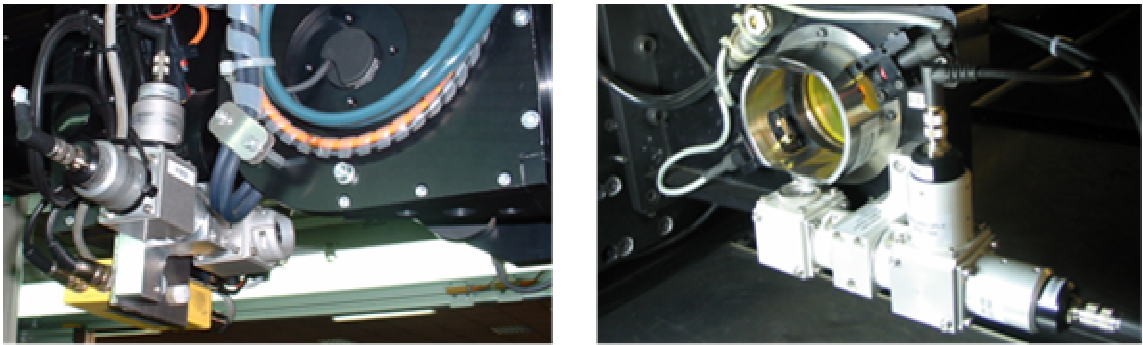


Bild 2: Technische Umsetzung der Sensorkonfiguration für den RWS

Die Lösung für den Scanner TrumaScan L4000 der Firma Trumpf ist schematisch in Bild 3 dargestellt.

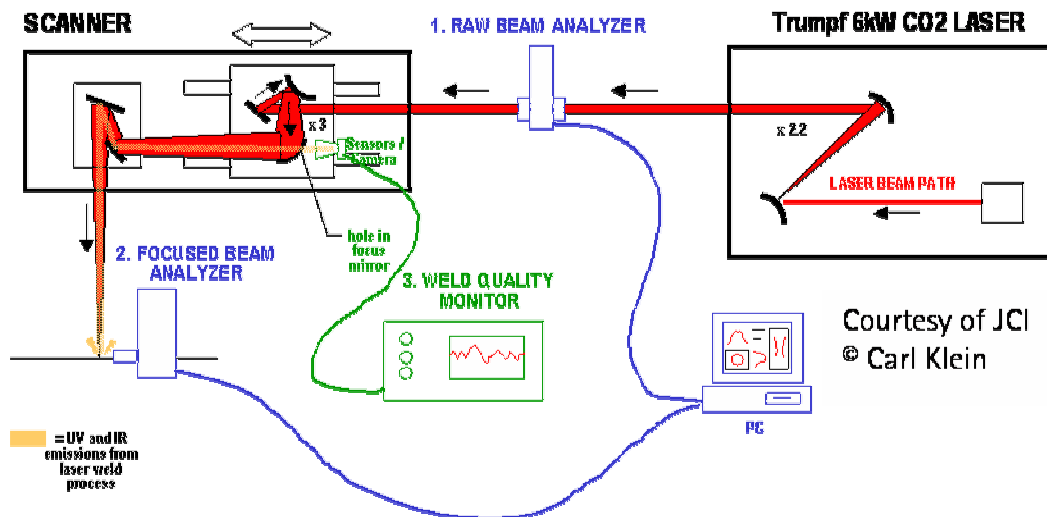


Bild 3: Schematische Darstellung der Sensorposition für den TrumaScan L4000 von Trumpf

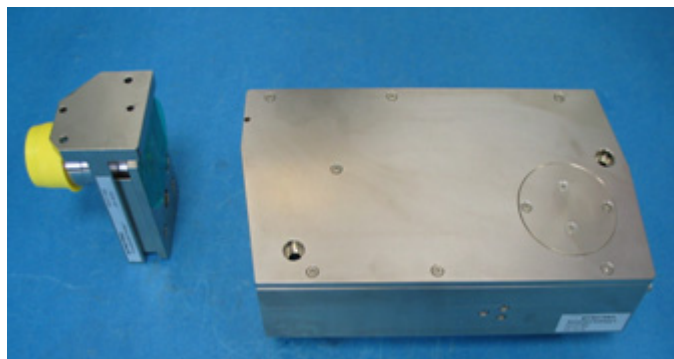
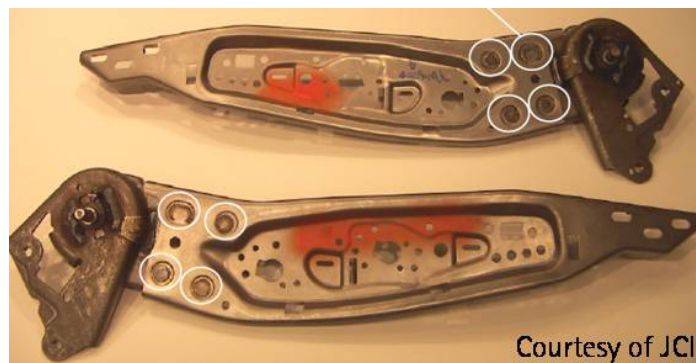


Bild 4: Technische Umsetzung der Sensorkonfiguration für den TrumaScan L4000

Im Gegensatz zu der Lösung aus **Bild 2** weist die kundenspezifische Lösung für den TrumScan L4000 einen gefalteten Strahlengang auf. Damit ist sichergestellt, dass das Sichtfeld der Kombination aus Temperatur- und Plasmasensor auf der Werkstückoberfläche ausschließlich die Wechselwirkungszone und angrenzende Bereiche umfasst. Auch ist die Position der Sensoreinheit auf dem beweglichen Fokussiermodul des Scannersystems.

## 2.2 Applikationsergebnisse

Das folgende Beispiel zeigt mit dem Remote-Verfahren gefügte Seitenteile eines Sitzrahmens. Auf jedem Bauteil sind 4 Schweißvorgänge sichtbar.



**Bild 5:** Mit dem Remote-Verfahren geschweißte Seitenteile eines Sitzrahmens

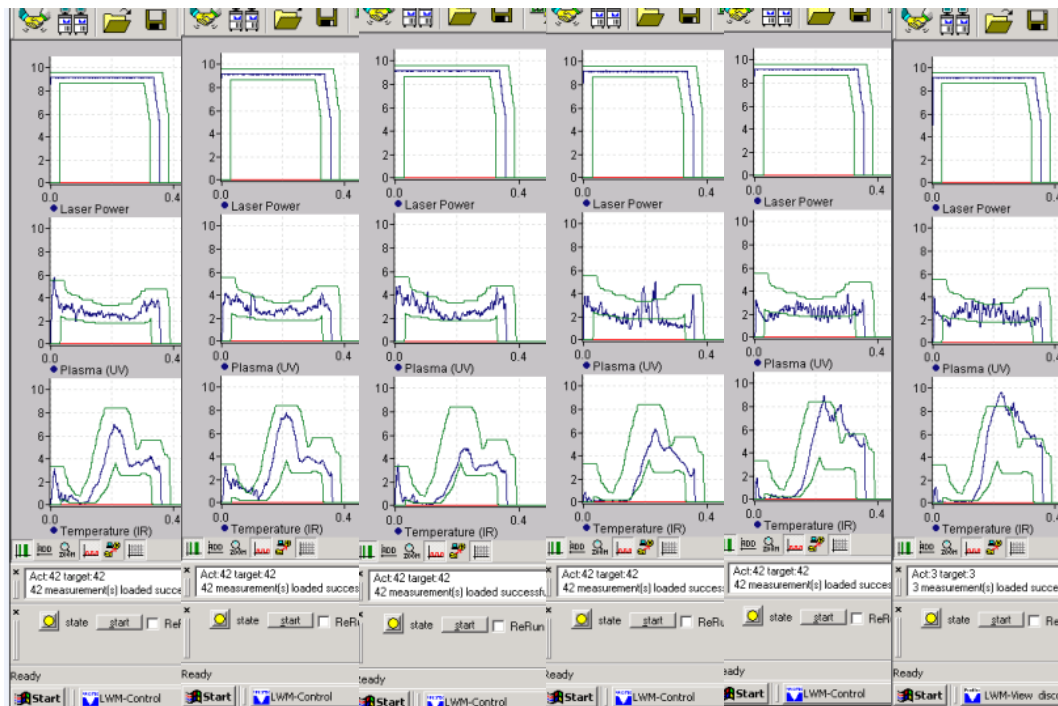
Bei der Überwachung der Qualität dieses Prozesses wird die Multi-Sensor Technologie verwendet, d.h. die Beobachtung erfolgt mit UV empfindlichen (Plasma) und IR empfindlichen (Temperatur) Sensoren. Der Vorteil dieser Multi-Sensor Technologie wurde schon in verschiedenen Anwendungen demonstriert (siehe [1.] [2.] [3.]).

Wie schon angedeutet, ist die Nahtgeometrie in dieser und anderen Applikationen die I-Naht am Überlapstoß, d.h. neben den typischen Primärparametern wie Laserleistung, Schweißgeschwindigkeit und Fokusslage sind für die Festigkeit der Schweißung der Parameter Spalt zwischen den Fügepartnern und der Volumenstrom des Schutzgases (in diesem Fall Helium) wichtige Indikatoren. Ein Schweißvorgang mit nicht optimalem Spaltmaß ist in **Bild 6** dargestellt.



**Bild 6:** Nahtefall aufgrund eines zu großen Spaltes

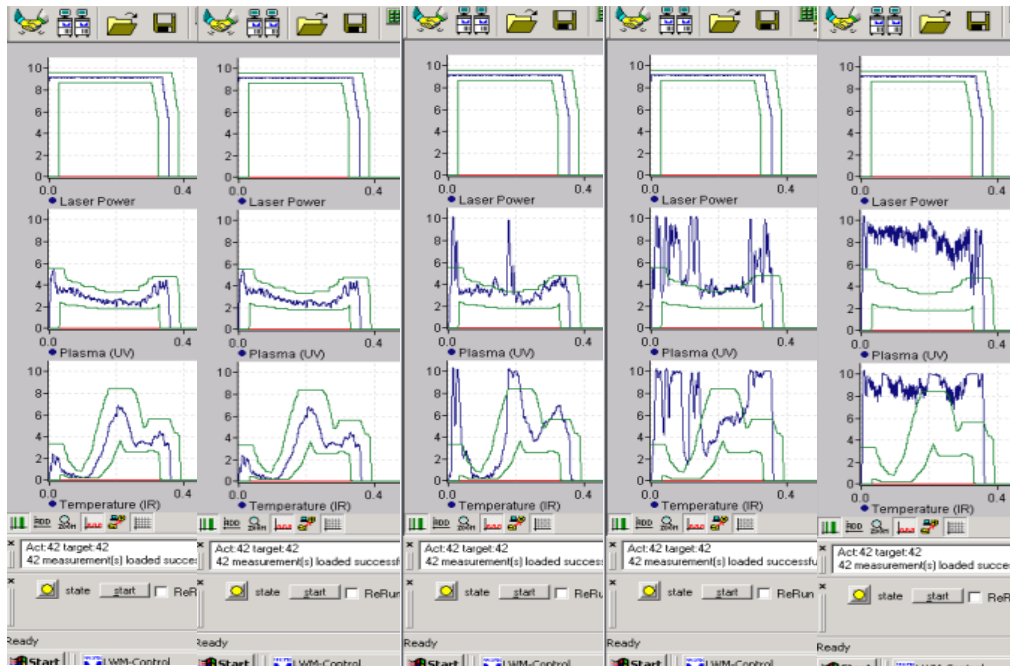
Wie sich die Sensorsignale im dem in **Bild 6** beschriebenen Fall und im Falle unzureichender Schutzgasabdeckung verhalten, zeigen die beiden folgenden Darstellungen.



**Bild 7:** Signalverhalten bei Änderung des Spaltmaßes zwischen 0 mm und 0.5 mm (von links nach rechts)

Das unterschiedliche Verhalten der Signalkurven für den Plasma-Sensor (Reduktion der Signalamplitude) und den Temperatur-Sensor (Anstieg der Signalamplitude) rechtfertigt die Verwendung der beiden Sensoren. Somit kann speziell für diesen Fehlerfall eine nahezu eindeutige Aussage getroffen werden.

Wie sich die Sensorsignale im Falle variierenden Schutzgases verhalten, ist im folgenden Bild dargestellt.



**Bild 8:** Signalverhalten bei Reduktion des Schutzgasvolumenstroms von 8 l/min auf 1 l/min (von links nach rechts)

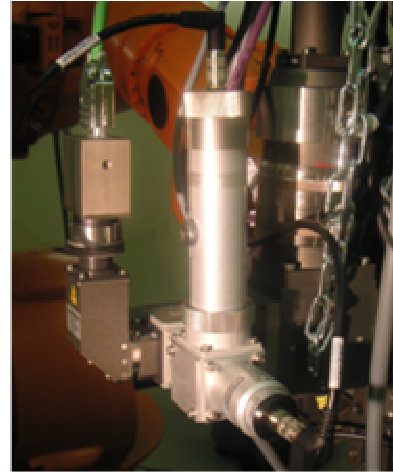
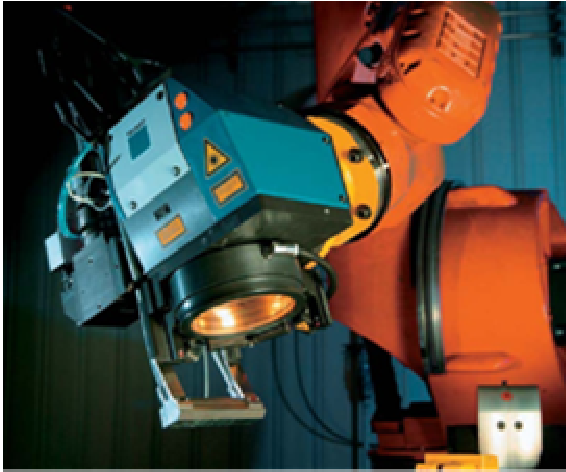
### 2.3 Fazit

Für die kommerziellen Großfeldscanner Systeme sind in Bezug auf die Überwachung des Schweißprozesses Lösungen verfügbar, die direkt integrierbar sind. Die Erfahrungen aus den industriellen Applikationen zeigen, dass für die wesentlichen Bearbeitungsfehler eine eindeutige Erkennung gewährleistet ist.

## 3 Prozessüberwachung bei Festkörperlaser Remote-Anwendungen

### 3.1 Sensorkonfiguration und -integration

Der Einsatz von Sensorik zur Prozessüberwachung bei Applikationen mit Festkörperlasern unterscheidet zwischen der Integration der Sensoren in Scanneroptiken oder in „Standard“-Schweißoptiken mit großen Brennweiten. Ein Anbau zur koaxialen Beobachtung der Wechselwirkungszone ist aufgrund der transmissiven Optiken in beiden Varianten einfach realisierbar.



**Bild 9:** Anbau von Sensorik zur Prozessüberwachung an eine Scanner-Optik – kamerabasiert oder als Kombination mit Fotodioden

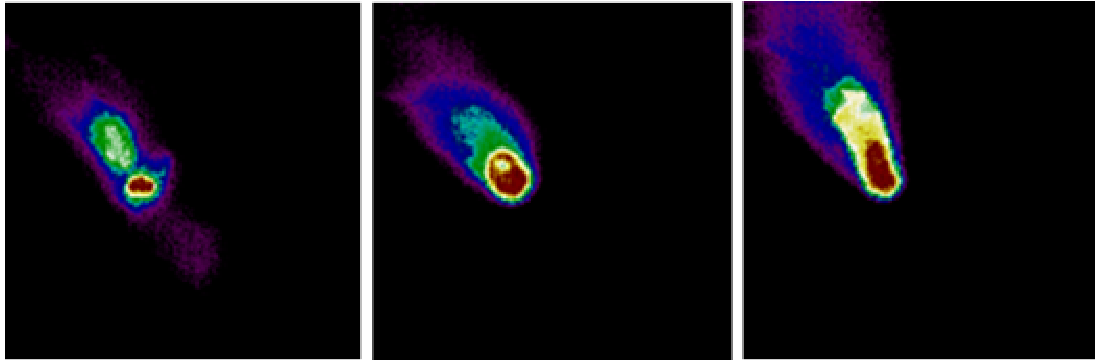
In **Bild 9** sind nicht nur die Anbaumöglichkeiten der Sensorik an die Bearbeitungsköpfe dargestellt, auch die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Sensortechniken werden angesprochen. Bei der Entwicklung einer Überwachungsstrategie für die Applikationen im Bereich „RobScan“ wurde erstmalig die Kombination der beiden Techniken realisiert. Dass der Einsatz von Kamertechnik grundsätzliche Verbesserungen bei der Zuverlässigkeit der Fehlerdetektion bringt, konnte schon in verschiedenen Anwendungen und Präsentationen gezeigt werden (siehe auch [4.], [5.], [6.]).

### 3.2 Applikationsergebnisse

Die Ergebnisse beziehen sich auch hier auf eine Anwendung aus dem Rohbaubereich in der Automobilindustrie. Es werden beidseitig verzinkte Bleche verschweißt, so dass auch hier das Spaltmaß zwischen den Blechen ein äußerst sensibler Parameter ist.

Im Verlaufe der Entwicklung konnten die einzelnen Sensormodule bei der Fehlererkennung die folgenden Fähigkeiten nachweisen:

Photodioden basierte Sensorik:	Unzureichenden Durchschweißung Schmelzbadauswürfe Leistungsverlust
Kamera basierte Sensorik:	Spaltmaß zwischen den Blechen Fehlendes Bauteil (zu nahe an der Bauteilkante) Nahtefall bis zur vollständigen Trennung



**Bild 10:** Video Bilder einer koaxial zum Bearbeitungslaser angebauten Kamera für folgende Spaltmaße: 0mm, 0.15mm, 0.4mm (von links nach rechts)

Das Potential der kamerabasierten Sensorik, den Spalt zwischen den beiden Fügepartnern zu detektieren, zeigt **Bild 10**. Es wird deutlich, dass Information über das Spaltmaß in der Ausdehnung der keyhole-nahen Schmelze liegt. Die Vermessung dieses Schmelzbades gelingt nur mit einem flächigen Sensor.

### 3.3 Fazit

Die angeführten Beispiele konnten darstellen, dass für die Überwachung des Remote-Prozesses keine vollständig neue Sensorik notwendig ist. Zumindest die Integration der Sensormodule in die Bearbeitungssysteme ist ein Unterschied zu der herkömmlichen Technik.

Wichtig ist jedoch, dass mit der Kombination von verschiedenen Sensortechniken ein großer Schritt in Richtung klassifizierter Fehlererkennung gegangen wurde. Das sind wichtige Bausteine für eine vollständige Prozessregelung bis hin zu sogenannten „Autonomen Produktionszellen“.

## 4 Schrifttum

- [1.] Hatwig, A., Kutzner, R., Jurca, M.: Laser Magazin 4 (1990) 20
- [2.] Griebisch, J., Schlichtermann, L., Jurca, M., Hoving, W., Nillesen, W.: Quality Assurance of Industrial Spot Welding with a Pulsed Nd:YAG-Laser; Proceedings ICALEO 1996 164
- [3.] Griebisch, J., Hügel, H., Dausinger, F., Jurca, M.; Quality Assurance in Pulsed Laser Welding; Proceedings ICALEO 1995, 603-612
- [4.] Goth, K.; Herzinger, T.; Kogel-Hollacher, M: "Online quality assurance of laser welded edge joints in series production", EALA 2002
- [5.] Dietz, C.; Jurca, M.; Schlichtermann, L.; Kogel-Hollacher, M.; Breitschwerdt, S.; Schmid, C.; Rowold, L.; "Closed-Loop Control System for Laser Welding of Transmission Parts", Proc. ICALEO 1998, LIA Vol. 85c
- [6.] Kaierle, S.; Abels, P.; Kapper, G.; Kratzsch, C.; Michel, J.; Schulz, W.; Poprawe, R.; ICALEO 2001 (2001) E-12