

# Laserschweißen neu gedacht

## Steigerung der Prozesseffizienz durch Advanced Quasi-Simultanschweißen

Die Evosys Laser GmbH hat sich eine neue Variante des Laserschweißens patentieren lassen, bei der zwei Laserstrahlquellen und -wellenlängen kombiniert werden. Dieser Ansatz ist nicht nur auf das Konturschweißen beschränkt, sondern zielt besonders darauf ab, beim Quasi-Simultanschweißen die Schweißzeiten signifikant zu reduzieren und das Prozessfenster zu erweitern.

Blick in das Innere  
einer Laserschweiß-  
anlage von Evosys

© Evosys



**D**as Laserschweißen von Kunststoffen ist aufgrund seiner zahlreichen Vorteile ein etabliertes und bevorzugtes Fügeverfahren in der Kunststofftechnik. Das vorwiegende Prinzip beim Fügen von Kunststoffen mittels Laserstrahlung ist das sogenannte Durchstrahlschweißen, bei dem die Teile in überlappender Anordnung mit einer einzigen Laserquelle verbunden werden. Der Laserstrahl wird dabei durch die obere Lage auf die Kontaktfläche des laserabsorbierenden unteren Fügepartners fokussiert. Die Strahlungsenergie wird dort absorbiert und in Wärme umgewandelt, wodurch das Unterteil aufschmilzt. Über Wärmeleitung wird der obere Fügepartner ebenfalls

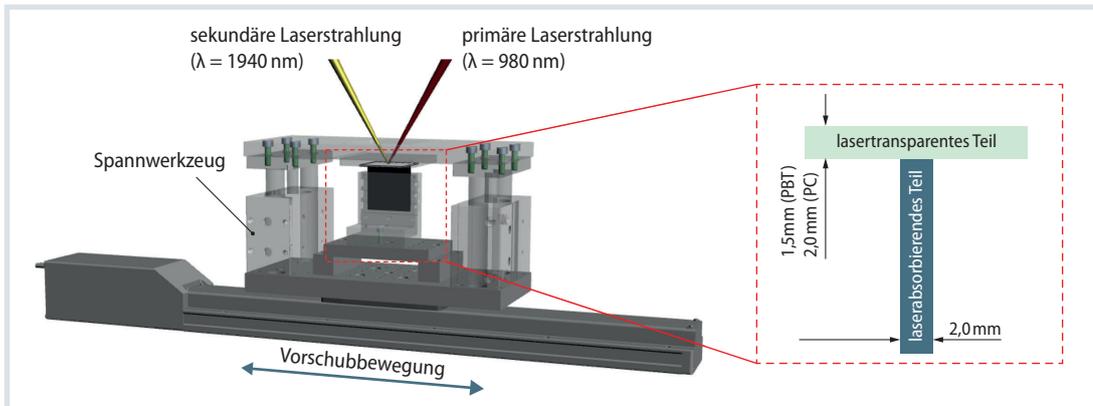
plastifiziert – die Schmelzen verbinden sich und ein Stoffschluss entsteht.

Bevorzugte Laserquellen sind Diodenlaser, die in einem Wellenlängenbereich von ca. 800 nm bis 1000 nm emittieren. In diesem Bereich sind die meisten technischen Thermoplaste im Ausgangszustand durchlässig genug, um als transparentes Fügepartner eingesetzt werden zu können. Die Absorptionseigenschaften hingegen werden in der Regel durch die Zugabe von laserabsorbierenden Additiven, wie z.B. Partikelruß, eingestellt.

Dieses Verfahrensprinzip birgt verschiedene Nachteile in sich. Besonders bei der Variante des Konturschweißens ohne Schweißweg müssen die Teile im

Kontaktbereich geometrisch sehr genau sein, da Luftspalte nur schwer überbrückt werden können. Weiter ist der Temperaturgradient zwischen den beiden Bauteilen vergleichsweise hoch, was sich ungünstig auf Eigenspannungen in der Schweißnaht auswirken kann. Insgesamt begrenzen diese Nachteile das Prozessfenster.

Um diesen Effekten beim Laserdurchstrahlschweißen entgegenzuwirken, ist ein homogeneres Temperaturfeld vorteilhaft, bei dem der obere Fügepartner nicht nur durch Wärmeleitung aus der Fügezone erhitzt wird, sondern sich auch verstärkt räumlich erwärmt. Eine Lösung dafür verfolgt das sogenannte Hybrid-



**Bild 1.** Versuchsaufbau und Fügeanordnung für das Advanced Quasi-Simultanschweißen

Quelle: Evosys;  
Grafik: © Hanser

schweißen, welches beim Konturschweißen bereits Stand der Technik ist. Hier wird dem primären Bearbeitungslaser eine weitere Strahlungsquelle hinzugefügt. Deren Sekundärstrahlung kann z. B. aus Licht mehrerer Wellenlängen bestehen, mit dem Ziel, dass auch im oberen Füge- teil bestimmte Anteile absorbiert und in Wärme umgewandelt werden.

### Bessere Prozesskontrolle durch selektive Einbringung der Energie

Ein neuer Ansatz für das Laserschweißen mit mehreren Strahlquellen wird von der Evosys Laser GmbH entwickelt. Im Gegensatz zur beschriebenen Technik wird das Werkstück nicht gleichzeitig von den Primär- und Sekundärquellen beaufschlagt, sondern die Strahlung in einem bestimmten Zeitraster abwechselnd zwischen beiden hin- und hergeschaltet. Durch diese Bestrahlungsstrategie und eine gezielte Auswahl der applizierten Wellenlängen kann die selektive Einbringung der Energie in das ein oder andere Füge- teil besser kontrolliert und auf die gewünschten Prozessergebnisse abgestimmt werden. Da diese Entwicklung insbesondere auf einen quasi-simultanen Schweißprozess abzielt, wird als sekundäre Strahlungsquelle ebenfalls ein Laser eingesetzt, da er die Integration in die gängigen Strahlführungssysteme, wie z. B. einen galvanometrischen Scanner, erleichtert.

Im Mittelpunkt dieses „Advanced Quasi-Simultaneous Welding“ (AQW) genannten Verfahrens steht die Erweiterung heutiger Prozessgrenzen, mit dem Hauptziel, einen effizienteren, zuverlässigeren und schnelleren Schweißvorgang zu ermöglichen. Hierzu wurden Versuche an den Materialien Polybutylentere-

phthalat (PBT) sowie Polycarbonat (PC) durchgeführt, um gezielt die Schweißzeit zu verkürzen und die Qualität der Füge- verbindung zu erhöhen (letztere charakterisiert durch die Zugfestigkeit der Schweißnaht). Dabei wurde der Einfluss auf beide Kriterien in Abhängigkeit bestimmter Prozessparameter untersucht. PBT ist ein teilkristalliner Thermoplast, der z. B. in der Automobilindustrie für Baugruppen mit hoher Belastung eingesetzt wird. Aufgrund seiner hohen Kristallinität und der niedrigen Transparenz ist das vorhandene Prozessfenster begrenzt, da das Material zu Verbrennungen an der Oberfläche neigt. Im Gegensatz dazu ist PC ein amorphes, optisch hochtransparentes Polymer, das insbesondere für Displays oder Beleuchtungen eingesetzt wird, die eine hohe Transparenz erfordern. Letztere begünstigt den hohen Temperaturgradienten in der Fügezone, der nach dem Abkühlen wiederum zu hohen Eigenspannungen und letztlich Spannungsrissen nahe der Schweißnaht führen kann.

Verwendet wurde für die Versuche ein weitläufig eingesetzter 980 nm Diodenlaser als Primärquelle zusammen mit einem 1940 nm Faserlaser als Sekundärquelle. Die beiden Materialien weisen nahe der Sekundärwellenlänge von etwa 2  $\mu\text{m}$  eine deutlich niedrigere Transmissionsrate im Vergleich zur Primärstrahlung auf, sodass durch die Sekundärstrahlung eine direkte räumliche Erwärmung des oberen Fügepartners zu erwarten ist.

### Versuchsaufbau mit zwei Platten

Im Versuchsaufbau wird die typische Fügegeometrie eines quasi-simultanen Schweißprozesses realisiert, in dem zwei flache Musterplatten zu einem T-Stoß

angeordnet werden. Sie werden mit einem Spannwerkzeug fixiert und aufeinandergepresst, wodurch der thermische Kontakt im Fügebereich sichergestellt wird. Die Laserstrahlen der Primär- und Sekundärquelle werden durch einen geeigneten optischen und mechanischen Aufbau auf dieselbe Stelle des Bauteils fokussiert, und die T-Stoß-Proben mitsamt der Spanntechnik mehrmals und mit hoher Vorschubgeschwindigkeit unter den Laserspots bewegt (Bild 1).

Durch diese Relativbewegung zwischen den Lasern und der Füge- teile wird die Schweißnahtkontur erzeugt (in diesem Fall eine Linie), wobei die mehrfachen Überläufe zu der charakteristischen, (quasi-) simultanen Plastifizierung der gesamten Schweißnaht führen. Die vollständig aufgeschmolzene Schweißnahtkontur erlaubt es dem lasertransparenten Teil, sich unter der Spannkraft in Richtung des absorbierenden Füge- »

## Die Autoren

**Dipl.-Ing. Frank Brunnecker** ist Geschäftsführer & Gesellschafter der Evosys Laser GmbH.

**Dipl.-Ing. Christian Ebenhöf** ist Key Account Manager bei der Evosys Laser GmbH.

## Service

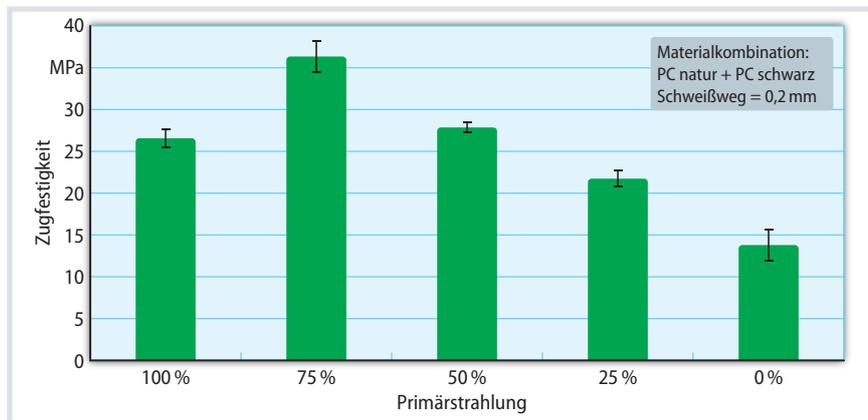
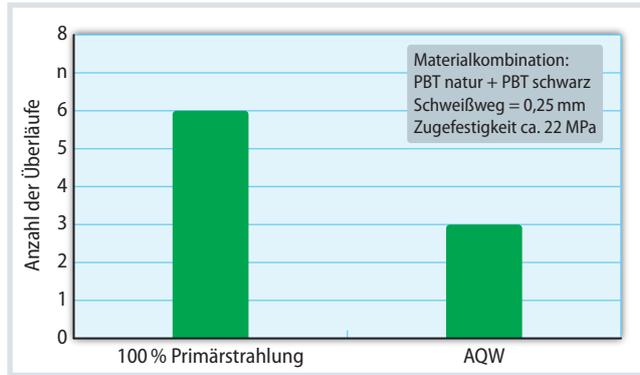
### Digitalversion

» Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/onlinearchiv](http://www.kunststoffe.de/onlinearchiv)

### English Version

» Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

**Bild 2.** Die Anzahl der Überläufe kann mit AQW halbiert werden und sorgt somit für eine kürzere Schweißzeit. Quelle: Evosys; Grafik: © Hanser



**Bild 3.** Die höchste Zugfestigkeit beim AQW wird bei 75% Primärstrahlung erreicht – und liegt im Vergleich zum Standardprozess um ein Drittel höher. Quelle: Evosys; Grafik: © Hanser

partners zu bewegen, was als sogenannter Schweißweg bezeichnet wird. Er ist ein Parameter, der sensorisch erfasst werden kann und häufig zur Prozessregelung eingesetzt wird. Im Laufe des Schweißprozesses werden gleichzeitig die zwei Laserquellen mit hoher Frequenz hin- und hergeschaltet. Kurze Umschaltintervalle stellen dabei sicher, dass die Fügeteile auch in nur einem Überlauf beiden Strahlungswellenlängen ausgesetzt werden.

### Versuch zur Reduzierung der Schweißzeit mit Platten aus PBT

Die Untersuchungen zur möglichen Verkürzung der Schweißzeit werden an den Musterplatten aus PBT durchgeführt. Als Schweißzeitreferenz wird die Anzahl der Überläufe ermittelt, die notwendig ist, um einen Schweißweg von 0,25 mm mit 100% Anteil Primärdauerstrahlung zu erreichen (dies entspricht dem herkömmlichen Quasi-Simultan Prozess). Die Vorschubgeschwindigkeit wird dabei konstant gehalten und die Laserleistung so gewählt, dass gerade noch keine Verbrennungen an der Oberfläche entstehen. Somit repräsentiert diese resultie-

rende Schweißzeitreferenz die kürzeste Zeit, die mit einer einzigen Strahlquelle mit 980 nm möglich ist. Nächstes Ziel ist die Zugabe von sekundärer Laserstrahlung, um die Anzahl der notwendigen Umläufe zu reduzieren, wiederum mit der Maßgabe, keine Verbrennung an der Bauteiloberfläche zu provozieren.

### PC im Praxistest für die Schweißnahtfestigkeit

Die Versuche zur Erhöhung der Schweißnahtfestigkeit werden am Material PC durchgeführt. Hierfür werden die Anzahl der Überläufe (und somit die Schweißzeit), die Vorschubgeschwindigkeit und der Schweißweg festgelegt, die Laserleistung von Primär- und Sekundärstrahlung sind die variablen Parameter und werden verschiedentlich miteinander kombiniert. Ausgehend von 100% Primärstrahlung wird diese in verschiedenen Schritten reduziert und insoweit mit Sekundärstrahlung ergänzt, dass immer ein gleicher Schweißweg von 0,2 mm erreicht wird. Alle Proben werden in einem Zugfestigkeitsversuch geprüft, um die Abrisskraft der Schweißnaht zu bestimmen.

### Die Schweißzeit wird halbiert, die Zugfestigkeit steigt um ein Drittel

Durch die zusätzliche Nutzung der Sekundärstrahlung kann die Anzahl der Überläufe und damit die Schweißzeit bei gleichem Schweißweg halbiert werden (**Bild 2**). Auf der Oberfläche des transparenten Bauteils entstehen keine Verbrennungen. Die Zugfestigkeiten sind für beide Verfahrensvarianten vergleichbar, sodass keine Beeinträchtigung der Schweißnahtqualität zu erwarten ist.

In **Bild 3** sind die Zugfestigkeiten der T-Stoßverbindungen aus PC gegen den Anteil der Primärstrahlung aufgetragen, beginnend von links mit 100% nach rechts mit 0% (100% Sekundärstrahlung). Das Diagramm zeigt, dass die Zugfestigkeit der Proben durch die Anwendung des AQW-Verfahrens zunimmt. Der höchste Festigkeitswert wird durch Schweißen der Teile mit 75% Primärstrahlung kombiniert mit Sekundärstrahlung erreicht. Das bedeutet, dass die Festigkeit im Vergleich zum Standardprozess mit nur einer Laserquelle um mehr als ein Drittel gestiegen ist. Bei Verwendung von der gleichen Menge Primär- und Sekundärstrahlung ist die Festigkeit ähnlich wie beim Standardprozess. Eine weitere Erhöhung des Anteils der Sekundärstrahlung verringert die Festigkeit der Schweißnaht, es gibt also ein optimales Verhältnis der beiden Strahlungsanteile.

Die Versuche mit dem Prozess des Advanced Quasi-Simultaneous Welding (AQW) zeigen, dass eine signifikante Verbesserung der Prozesszeit und der Schweißnahtfestigkeit im Vergleich zum Standardprozess mit nur einer Laserquelle möglich ist.

Aufgrund der Wellenlänge der sekundären Laserstrahlung wird während des gesamten Prozesses mehr Energie im transmissiven Fügepartner absorbiert. Dadurch erhöht sich das plastifizierte und aufgeschmolzene Materialvolumen des lasertransparenten Teils. Durch Umschalten zwischen den beiden Strahlungen kann die Gesamtenergie, die in den Verbindungsbereich eingebracht wird, erhöht werden, ohne den absorbierenden oder den transparenten Fügepartner zu beschädigen. Dies führt zu einer schnelleren Plastifizierung und damit zu einem schnelleren und effizienteren Schweißprozess. ■