

Innovativer Leichtbau durch energie-reduziertes Fügen mit Lasersystemen neuester Generation (LEICHTER)

Die Schonung von Ressourcen ist - nicht nur in der Fahrzeugindustrie - ein allgemeines Thema, dem sich jeder Energieverbraucher stellen muss. Beim Betrieb von Verkehrsmitteln ist die Reduzierung des Betriebsenergiebedarfes sehr eng an die beiden Schwerpunkte "Verbesserung der Antriebe" und "Reduktion des Fahrzeuggewichts" gekoppelt. Die größten Einsparpotentiale des Gesamtfahrzeuggewichtes liegen dabei vor allem im Bereich der Rohkarosse als auch im Fahrwerk- und Aggregatebereich.

Seit März 1999 läuft am Institut für Strahlwerkzeuge ein umfangreiches BMBF-Projekt zu dem Thema "Innovativer Leichtbau durch energiereduziertes Fügen mit Lasersystemen neuester Generation" (LEICHTER). Im Rahmen dieses Vorhabens soll das Schweißen von Leichtmetalllegierungen für den Verkehrsmittelbau mit Nd:YAG-Lasern neuester Generation grundlegend untersucht werden. Ziel ist es, Tragwerke und Struk-

turen hoher Festigkeit und Steifigkeit in Bezug auf Gewichtsreduktion und einen optimalen Einsatz dieser Laser zu erarbeiten. Die Partner für das Projekt kommen aus den hierfür relevanten Branchen. Beteiligt sind, angefangen vom Werkstofflieferanten über System- und Komponentenhersteller bis hin zu den Erzeugern von "Endprodukten" (Automobil-, Schienenfahrzeug- und Schiffbau), auch eine Reihe von weiteren Forschungsinstitutionen (s. Abb.1). Dies dokumentiert den ganzheitlichen Charakter des Projekts. Die für eine erfolgreiche Umsetzung notwendige Vernetzung zwischen Konstruktion, Werkstoff und verarbeitenden Technologien ist damit durchgängig hergestellt.

Laser neuester Generation

Lampengepumpte cw-Nd:YAG-Laser sind derzeit für typische cw-Bearbeitungen eine relativ kostenintensive Alternative zu CO₂-Lasern, da sie mit Gesamtwirkungsgraden von 2% etwa um den Faktor 5 ineffizienter sind und vergleichsweise hohe Investitions- und Betriebskosten verursachen.

Diodengepumpte Festkörperlaser bieten da ein erhebliches Potential. Aufgrund der direkten Anregung

des aktiven Lasermediums mit nur einer Wellenlänge der Laserdiode entstehen geringere thermische Belastungen im Festkörperlasermaterial. Damit verbunden sind deutlich bessere Strahlqualitäten als bei lampengepumpten Systemen (bis zu Faktor 10). Durch den hohen optischen Wirkungsgrad der Anregung von bis zu 50% entstehen hohe Gesamt-

wirkungsgrade von mehr als 10%. Durch die hohe Lebensdauer der Diodenlaser von derzeit 10.000h und deren nur von der tatsächlichen Materialbearbeitungsdauer abhängigen Degradation sind die Wartungskosten deutlich geringer. Vor allem die höhere Strahlqualität ist ein entscheidender Faktor für die Prozesseffizienz und Flexibilität der Laserbearbeitung. Die Eigenschaft eines Laserstrahls, sich gut fokussieren zu lassen, wird durch die Strahlqualität charakterisiert. So kann bei gleicher Brennweite mit den neuen Laserstrahlquellen der Fokusbereich erheblich verkleinert werden. Eine Steigerung der Strahlqualität um den Faktor

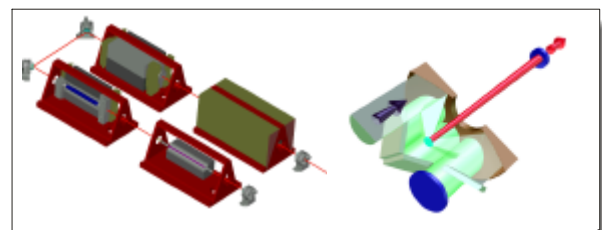


Abb. 2: Festkörperlaser neuester Generation: Diodengepumpter Stab laser (li), diodengepumpter Scheibenlaser (re)

wirkungsgrade von mehr als 10%. Durch die hohe Lebensdauer der Diodenlaser von derzeit 10.000h und deren nur von der tatsächlichen Materialbearbeitungsdauer abhängigen Degradation sind die Wartungskosten deutlich geringer.

Vor allem die höhere Strahlqualität ist ein entscheidender Faktor für die Prozesseffizienz und Flexibilität der Laserbearbeitung.

10 bedeutet eine Steigerung des möglichen Arbeitsabstandes um den gleichen Wert, was die Zugänglichkeit erheblich verbessert. Die Prozesseffizienz wird ebenfalls gesteigert, was sich in höherer Bearbeitungsgeschwindigkeit oder geringerem Leistungsbedarf niederschlägt. Ein weiterer Effekt ist die Erhöhung der erreichbaren Prozesstoleranz

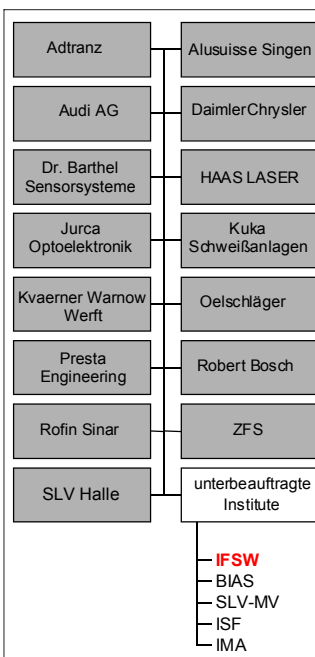


Abb. 1: Projektpartner und unterbeauftragte Forschungsinstitute

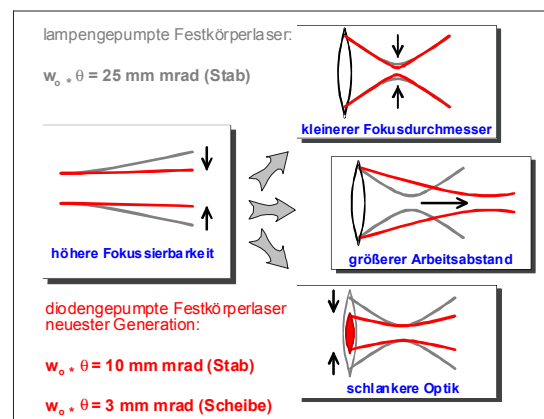


Abb. 3: Vorteile hoher Strahlqualität. Kleines Strahlparameterprodukt $w_0 \cdot \Theta$ kennzeichnet hohe Strahlqualität



durch hohe Bearbeitungsintensitäten und große Tiefenschärfen. Die hohe Strahlqualität ermöglicht die Konstruktion von schlanken, kompakten Bearbeitungsköpfen. Dadurch wird die Zugänglichkeit verbessert und die Integration in die Anlagentechnik erleichtert.

Diodengepumpte Festkörperlaser in Scheibenkonfiguration der Firma HAAS-Laser mit Leistungen bis 6 kW stehen weltweit erstmals während der Laufzeit des Projektes zur

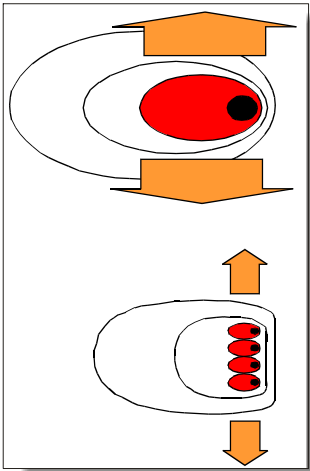


Abb.4: Reduzierung der Wärmeleitverluste durch Fokusmatrix

Verfügung. Ziel des Projektes ist es daher, das Anwendungspotential von diodengepumpten Festkörperlaser mit hoher Strahlqualität zur wirtschaftlichen Herstellung von Leichtbaustrukturen aus Leichtmetallen für verschiedene Verkehrsmittel aufzuzeigen. Durch reine Substitution kann jedoch das Potential der neuen Strahlquellen nur zu einem kleinen Teil ausgeschöpft werden. Für die vollständige Nutzung der Möglichkeiten ist die Erarbeitung von Verfahrenstechniken und Systemkomponenten erforderlich.

Fokusmatrix- Technologie

Ein verfahrenstechnischer Ansatz, der sich erstmals ausreichend effizient und anwendungsfreundlich realisieren lässt, ist die Fokusmatrix-Technik, bei der ein Einzelstrahl durch ein fasergeführtes Strahlbündel ersetzt

wird. Damit lassen sich beim Schweißen Wärmeleitungsverluste und Wärmeschädigungen des Bauteils minimieren (s. Abb.4). Weitere Vorteile sind

- die Erhöhung der Einkoppeleffizienz,
 - größere Verfahrensflexibilität und
 - höhere Prozesssicherheit.
- Zum Beispiel erlaubt die durch variable Anordnung der Fokuspunkte erreichte Flexibilität eine Anpassung der Nahtbreite an das lokal erforderliche Maß und die Überbrückung von vorfertigungsbedingten Spalten. Die Erhöhung der Prozesssicherheit und damit verbunden eine drastische Erhöhung der Nahtqualität durch Doppelfokustechnik konnte bereits in zahlreichen Laboruntersuchungen und in industriellen Anwendungen nachgewiesen werden.

Im Projekt wird der Schweiß-

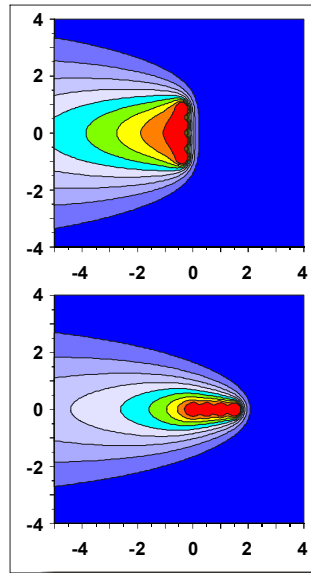


Abb.5: Simulation einer Fokusmatrix

prozess sowohl vorbereitend als auch begleitend zu den praktischen Versuchen simuliert. Das hierdurch insbesondere für das Fokusmatrix-Verfahren gewonnene Prozessverständnis ermöglicht, die Versuche auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren. Gleichzeitig können mit Hilfe

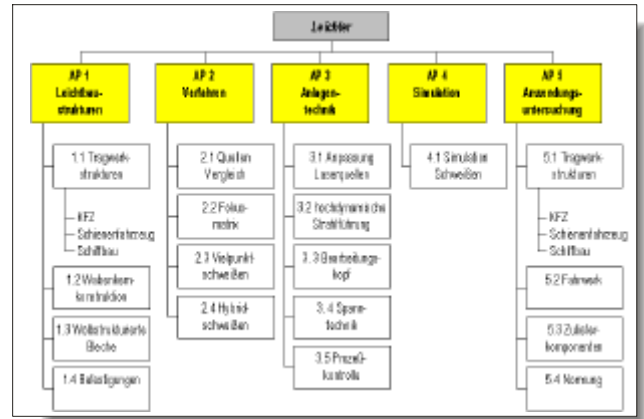


Abb. 6: Wissenschaftliche und technische Ziele des Projektes

der Simulation auftretende Effekte erklärt und gegebenenfalls Änderungsvorschläge erarbeitet werden.

Anlagentechnik

Die hohe Strahlqualität der neuen Festkörperlaser ermöglicht die Konstruktion von schlanken, kompakten Bearbeitungsköpfen. Dadurch wird die Zugänglichkeit in Bauteilstrukturen verbessert und die Integration in die Anlagentechnik erleichtert. Als Folge können neue, bisher nicht herstellbare Leichtbaustrukturen gefertigt werden. Weiterhin wird die Integration von Sensorelementen sowie von Draht- und Gasführungskomponenten erleichtert. Um das Potential der neuen Laserstrahlquellen auszuloten und um hierfür eine optimale Prozess- und Systemtechnik erarbeiten zu können, ist eine gesamtheitliche Vorgehensweise mit unterschiedlichen Schwerpunkten notwendig. Diese Themen sind in Abb. 6 aufgelistet.

Dieses Forschungsprojekt hat dazu geführt, dass die Versuchshalle des IFSW umgebaut werden musste. Dafür wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern ein neues 7-Achs-Robotersystem aufgebaut (siehe LASER MAGAZIN 1/2000) und die vorhandene Ausrüstung an Strahlquellen mit diodengepumpten Festkörperlaser (Scheibenlaser) ergänzt.

Durch die permanente Rückkopplung zwischen den Bereichen Anwendung, Ver-

fahrensentwicklung und Systemtechnik innerhalb des Projektes fließen neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Verfahrensentwicklung direkt in Anwendungen und Systemtechnik ein.

Die frühzeitige Integration und Aufnahme von Normungsaktivitäten innerhalb des Projektes, insbesondere im Schienenfahrzeug- und Schiffbau, soll eine weitere Verbreitung der Anwendung sowohl der Lasertechnik allgemein als auch der im Projekt entwickelten Technologien begünstigen oder erst ermöglichen. Am Projektende stehen die Technologien von Verfahrensseite, Systemseite und Konzepten für eine direkte Umsetzung des lasergestützten Leichtbaus mit Leichtmetallen zur Verfügung.

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Verbundprojekts LEICHTER.

Institutsadresse:
 Institut für Strahlwerkzeuge
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-685 6840
 Fax: +49 (0)711-685 6842

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Matthias G. Müller
 FGSW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge
 Nobelstr. 15
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-687 4321
 Fax: +49 (0)711-685 6842
 E-Mail: matthias.mueller@fgsw.uni-stuttgart.de
<http://www.ifs.uni-stuttgart.de>