



Mobile Laseranwendungen im Schiffbau – von der Vision zur Realisierung

F. Roland, Hamburg; G. Pethan, Papenburg; A. Dominguez, Puerto Real; J. Neubert, Halle; H. Staufer, Wels;
C. Rasmussen, Kopenhagen; J.O. Nokleby, Oslo; L. Mraz, Bratislava; R. Ahlers, Bremen; C. Schmid, Hannover;
O. Madsen, Aalborg; A. Sumpf, U. Jasna, Rostock

Veröffentlicht im DVS-Berichte Band 240 (ISBN-13: 978-3-87155-699-9):

„Schweißen und Schneiden 2006“

Vorträge der gleichnamigen
Großen Schweißtechnischen Tagung
in Aachen vom 20. bis 22. September 2006

Mobile Laseranwendungen im Schiffbau – von der Vision zur Realisierung

F. Roland, Hamburg; G. Pethan, Papenburg; A. Dominguez, Puerto Real; J. Neubert, Halle; H. Stauer, Wels; C. Rasmussen, Kopenhagen; J.O. Nokleby, Oslo; L. Mraz, Bratislava; R. Ahlers, Bremen; C. Schmid, Hannover; O. Madsen, Aalborg; A. Sumpf, U. Jasna, Rostock

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes „DOCK-LASER“ wurden mit Festkörperlasern Anwendungsmöglichkeiten unter den rauen Bedingungen des Schiffbaus erschlossen.

Die im Projekt untersuchten Anwendungsfälle für den Einsatz von Festkörperlasern umfassen dabei

- Die Entwicklung einer Mobilen Laser Basisstation mit mehreren Lichtleitfaserausgängen zur gleichzeitigen Ankopplung mehrerer Applikationen
- Einsatz eines Schweißtraktors für das Laserstrahl-MSG-Hybridschweißen langer geradliniger Schweißnähte,
- Manuell geführtes Laserstrahlschweißen und -schneiden für die Schiffsausrüstung,
- Manuell zu positionierendes automatisches Laserstrahl-Heftschweißen für Stumpf- und T-Stöße in der Vor-montage und
- Heften und Nahtschweißen von Rohren aus rostfreiem Stahl mittels Laser an bestehender Ausrüstung als Ersatz für den WIG-Prozeß.

1 Mobiler Lasereinsatz im Schiffbau – die Idee

Hervorgegangen ist dieses Projekt aus der Idee, daß dank der flexiblen Strahlübertragung mittels Lichtleitfasern die Nutzung des Werkzeuges LASER in der Bearbeitung von Großstrukturen in der Baustellenfertigung inzwischen möglich geworden ist. Durch die rasch fortschreitende Entwicklung der Festkörperlaser im Hochleistungsbereich lassen sich auch schiffstypische Blechdicken bearbeiten. Dies konnte im Projekt in praktischen Untersuchungen auf zwei europäischen Werften nachgewiesen werden.

Neben der Schaffung komfortablerer Arbeitsbedingungen für die Bediener durch Reduzierung der Emission von Rauch, Gasen, Wärme und UV- Strahlung sollte der Einsatz des Lasers im Bereich der Schiffsmontage eine Erhöhung der Effektivität der Produktion, sowie eine Steigerung der Qualität durch reduzierte Deformationen und Oberflächenbeschädigungen ermöglichen.

Der Arbeitsplan sah nach einer Analyse des Ist-Zustands und einer Definition des Bedarfs die Prozess- und Geräteentwicklung für die identifizierten Anwendungsfälle vor. In Labor- und Praxistests wurden die Lösungen zur Einsatzreife gebracht. Daneben wurden die für die Verfahrenszulassung wichtigen Fragen der Arbeitssicherheit behandelt.

Am Projekt beteiligt waren neben Werften als Endanwender der Lasertechnologie (Meyer Werft sowie Navantia – Spanien) Forschungsinstitute (SLV M-V; SLV Halle; VUZ Bratislava – Slowakei), Geräteentwickler (Fronius – Österreich, OMCB – Dänemark), ein auf Arbeitssicherheit spezialisiertes Unternehmen (FORCE Technology – Dänemark) und eine Klassifikationsgesellschaft (DNV – Norwegen). Das Konsortium wird unterstützt vom Center of Maritime Technologies e.V., Hamburg und BALance Technology Consulting, Bremen.

2 Entwicklung der Prototypen

Für die verschiedenen Anwendungsfälle wurde eine Mobile Laser Basisstation (MBS) entwickelt, welche die gleichzeitige Ankopplung von 3 verschiedenen Laseranwendungen ermöglicht. Die Abfrage der Laserleistung erfolgt dabei nacheinander. In einem 40“ Container wurden dazu ein Trumpf HL4006 Nd:YAG- Laser mit 4,5 kW Ausgangsleistung und die erforderliche Kühltechnik untergebracht. Gleichzeitig bietet der Container Stauraum für sämtliche im Rahmen des Projektes „DOCKLASER“ entwickelten Peripheriegeräte, so daß mittels eines Trailers das gesamte Equipment jederzeit auf der Werft oder von Werft zu Werft umgesetzt werden kann. In der Endphase des Projektes wurde aufgrund der Verfügbarkeit leistungsfähigerer Faserlaserquellen eine zweite MBS, Bild 1, an der SLV Mecklenburg-Vorpommern entwickelt und auf den Werften NAVANTIA und Meyer Werft erprobt, die mit einem 10 kW IPG Faserlaser YLR 10.000 bestückt ist und bei einem Drittel der Größe gegenüber der ersten MBS die 2,5-fache Ausgangsleistung mit einem erheblich höheren Wirkungsgrad bereitstellt. Bei dieser Laserkonfiguration ist nur der Anschluß einer Applikation möglich.



Bild 1. Mobile Laser Basisstation zweiter Generation

Für die Fertigung langer Laserstrahl-MSG-Hybridnähte in den Positionen PA und PB wurde entsprechend den Werftanforderungen von der Firma Fronius ein robustes Traktorschweißsystem entwickelt, Bild 2. Dieses ist ausgerüstet mit einem Laserstrahl-MSG-Hybridschweißkopf, einem 3-Linien-Lasersensor MTH 20 der Firma META zur Nahtverfolgung und einem Drahtvorschubkoffer. Über einen separaten Steuer-schrank ist der Traktor verbunden mit der Mobilen Laser Basisstation, einer TPS 9000 Schweißstromquelle mit 900 A Maximalleistung bei 60% ED und der Sensorsteuereinheit. Gesteuert wird der Traktor und der Schweißprozeß über ein Programmierhandgerät.

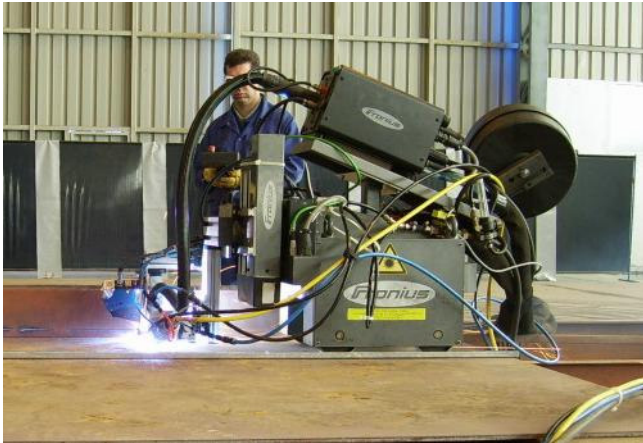


Bild 2. Laserstrahl-MSG-Hybridschweißtraktor in der Erprobung bei NAVANTIA, Spanien

Basierend auf den Erfahrungen mit handgeführten, in der Automobilindustrie seit einigen Jahren angewendeten Laserschweißköpfen und entsprechend den Werftanforderungen entstand ein modularer Laserschweiß- und -schneidkopf mit integriertem Vortrieb, der durch den Bediener manuell entlang der entsprechenden Kontur geführt wird. Dabei war das Hauptaugenmerk auf den Einsatz in der schiffbaulichen Ausrüstung gerichtet, um Befestigungen für Kabelkanäle und Rohre an das entsprechende Deck zu schweißen oder nachträgliche Ausschnitte an Deck vorzunehmen. Der Vorzug dieser Technologie gegenüber herkömmlichen Verfahren wie MAG- Schweißen oder Autogenbrennschnitt liegt dabei eindeutig in der geringeren Wärme-einbringung in das entsprechende Material und dem damit verbundenen geringeren Verzug bzw. dem Erhalt existierender Korrosionsschutzanstriche. Mit einem Eigengewicht <5 kg ermöglicht das Gerät bei maximaler Laserleistung von 3,5 kW Einschweißtiefen bis 5 mm und gute

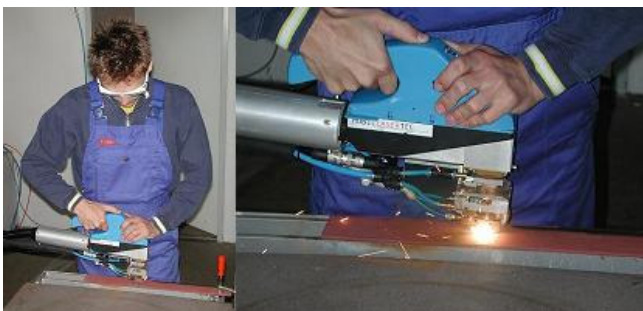


Bild 3. Manuell geführter Laserhandschweißkopf

Schnittqualität in Schiffbaustahl bis 6 mm Materialstärke. Die Vorschubgeschwindigkeit liegt bei maximal 2,5 m/min und ist stufenlos regulierbar. Die Bedienung des Gerätes erfolgt unter Beachtung der Arbeitssicherheit im Zweihandbetrieb.

Entsprechend den Anforderungen der Werften und basierend auf bereits realisierten MAG-Heftgeräten entstand an der SLV Halle ein Laserheftkopf, der sowohl für Stumpfstoß-Heftschweißungen als auch, nach geringfügigen Umbauten, für T-Stoß-Heftschweißungen geeignet ist. Der Brennweite der Laserfokussierung beträgt 100 mm. Der Schweißkopf ist von Hand über der Naht zu positionieren. Nach Freigabe durch den Bediener wird automatisch eine Heftnaht von 40 - 50 mm Länge geschweißt. Einstellbar sind Leistungen bis 4 kW bei Schweißgeschwindigkeiten im Bereich von 0,5..2,5 m/min. Die Einstrahlposition an T-Stößen ist dabei auf 45° beschränkt. Der Schweißprozeß ist komplett gekapselt, eine Querluftstromdüse zum Schutz der Optik und eine Schweißrauchabsaugvorrichtung sind integriert.

Das interne Optikmodul des Heftkopfes kann gleichzeitig für die Adaptation an eine bestehende Rohrschweißeinrichtung auf der NAVANTIA Werft, Spanien, genutzt werden, um stumpf verschweißte Rohrverbindungen aus CrNi- Stahl bis 6 mm Wandstärke herzustellen.



Bild 4. Manuell zu positionierendes Laserstrahl - Heftschweißgerät

3 Prozessqualifikation unter Laborbedingungen

Aus den initialen Laborversuchen wurden zunächst grobe qualitative Aussagen über die Prozessparameter ermittelt. Damit Aussagen über die Qualitätsmerkmale (z.B. Aufhärtung, Nahtgeometrie) in Abhängigkeit von den Prozessparametern sowie über die Prozessstabilität getroffen werden konnten, wurden mit der Methode der statistischen Versuchsplanung für das traktorgeführte Schweißen von konventionellen Kehl- und Stumpfnahten sowie Stößen von Sandwichpaneelen der Meyer Werft statistische Prozessmodelle entwi-

ckelt. Die Reproduzierbarkeit der erzielten Ergebnisse und somit die Richtigkeit der Modelle konnte später beim Test des Equipments auf den Werften nachgewiesen werden.

Hatten die statistischen Versuche bereits sehr zufriedenstellende Ergebnisse geliefert, so mussten zur Erlangung der Verfahrenszulassung außerdem Nachweise der Dauerfestigkeit erbracht werden. Unter Aufsicht von DNV wurden im Labor der SLV Mecklenburg-Vorpommern Probeschweißungen mit drei unterschiedliche Probentypen angefertigt und anschließend bei DNV untersucht:

- Einseitig geschweißte Stumpfnähte, Zugbeanspruchung auf der Seite der Raupe
- Einseitig geschweißte Stumpfnähte, Zugbeanspruchung auf der Seite der Wurzel (Blechdicke jeweils 7 mm)
- Einseitig geschweißte Kehlnähte, voll durchgeschweißt (Blech 8,0 mm, Steg 4,8 mm)

Als Prüfverfahren wurde in allen Fällen der 4-Punkt-Biegeversuch angewandt. Beim 4-Punkt-Biegeversuch wird eine gleichmäßige Biegebeanspruchung im Bereich zwischen den inneren Auflagern und damit im Bereich der Schweißnaht erzielt. Dabei betrug der Abstand der äußeren Auflager 280 mm und der Abstand der inneren Auflager 130 mm.

Die meisten Proben wurden zwischen dem Schweißen und der Dauerfestigkeitsuntersuchung nicht bearbeitet, nur bei drei Proben wurde vor der Untersuchung ein einstündiges Spannungsarmglühen bei 600 °C durchgeführt. Die Proben wurden jeweils mit einem Spannungsverhältnis $R(=\sigma_{\min}/\sigma_{\max})=0,2$ bei einer Frequenz um 15-20 Hz beansprucht.

Sämtliche laserhybridgeschweißte Proben mit einer Dicke von bis zu 8 mm wiesen bessere Dauerfestigkeitseigenschaften auf als die jeweils geltenden Standard-Wöhlerkurven für konventionell geschweißte Nähte angeben. Bei den Stumpfnähten ergaben sich für die Tests mit Zugbeanspruchung auf der Seite der Wurzel etwas geringere Lastspielzahlen als bei jenen mit Zugbeanspruchung auf der Seite der Obernaht. Dies deutet darauf hin, dass bei Stumpfnähten der die Dauerfestigkeit limitierende Faktor in der Wurzel besteht. Die Bruchstellen der Kehlnahtproben hatten – bis auf zwei Ausnahmen – ihren Ausgangspunkt jeweils am Fußpunkt der Obernaht.

Die Versuchsergebnisse sind in Bild 4 dargestellt. Die gestrichelten Linien geben die Verläufe der für unterschiedliche konventionell geschweißte Konstruktionen verlangten mittleren Dauerfestigkeit an. Jede einzelne Probe zeigte Werte oberhalb dieser Linien.

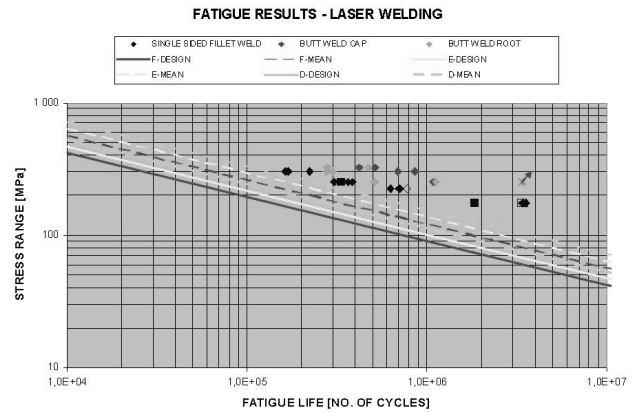


Bild 5. Standard-Wöhlerkurven und Dauerfestigkeitswerte der untersuchten Proben

Für die geprüften Blechdicken liegt die Dauerfestigkeit von Schweißnähten, die im Laserhybridverfahren mit dem Traktor hergestellt werden, über den Werten, die in den entsprechenden Standard-Kennlinien der DNV-Konstruktionsrichtlinien für konventionell geschweißte Nähte verlangt werden. Auch wenn die Standardkurven, die auf Proben von 25 mm Dicke beruhen, den tatsächlich verwendeten Probendicken entsprechend mit einem Korrekturfaktor nach oben anzupassen sind, liegen dennoch die ermittelten Werte auf oder über den so korrigierten Kurven.

Die beschriebenen Ergebnisse bestätigen frühere Untersuchungen zur Dauerfestigkeit lasergeschweißter Konstruktionen [1].

4 Erfahrungen aus dem Werfteinsatz

4.1 Laserstrahl-MSG-Hybridschweißen von T-Stößen mittels Schweißtraktor

Die Anforderung „Schweißen von T-Stößen“ war eine der Hauptanwendungen in dem Projekt.

Nachdem die erste Phase der Geräteentwicklung abgeschlossen war, führte man erste Laborschweißversuche durch. Diese wurden, als eine gute Nahtqualität erreicht war, bewertet und mittels Statistik optimiert, sowie eine Reproduzierbarkeit nachgewiesen. Einige der Proben mit den optimierten Nähten wurden anschließend für Dauerschwingfestigkeitsuntersuchungen verwendet. Somit waren die Voraussetzungen für eine umfangreiche Testaktion bei den Werften mit den zu untersuchenden Aufgaben gegeben.

Untersucht wurden insbesondere die Überbrückbarkeit von Luftspalten, das Schweißen der üblichen großen Schweißlängen, die Verschweißbarkeit der mit Plasmatechnik geschnittenen Kanten, sowie das Schweißen von beschichteten Blechen.

Auf den Werften machte man zunächst kurze Schweißproben, die anschließend untersucht und im Falle eines positiven Ergebnisses auf 10 m lange Bauteile übertragen wurden. Die ersten Versuche wurden alle mit einem 4 kW Festkörperlaser durchgeführt. Die dazugehörigen Schliffbilder sind im Bild 5 oben dargestellt.

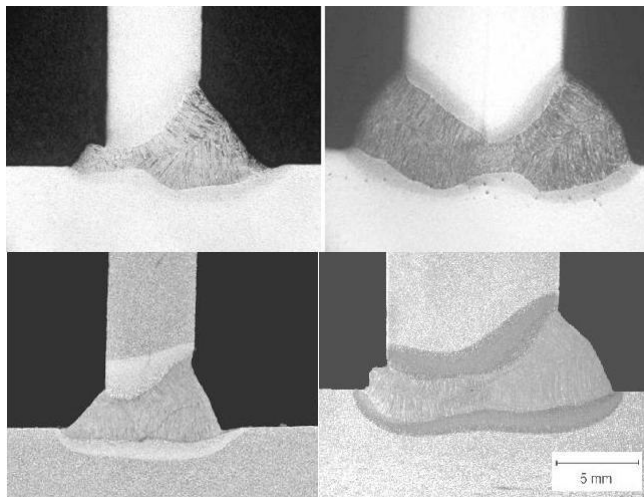


Bild 6. Schweißbilder mittels Traktor hybridgeschweißter Kehlnähte, oben mit 4 kW Nd:YAG-, unten mit 10 kW Faser-Laser

Wie man erkennt, ist eine einseitige Durchschweißung bei Steifen der Stärke 5 mm problemlos mit einer Schweißgeschwindigkeit von 1,5 m/min möglich. 10 mm starke Steifen können aufgrund der zu geringen Laserleistung nicht von einer Seite mit Vollanschluss verschweißt werden.

Im Bild 5 unten hingegen sind die Schweißbilder zweier Proben zu sehen, die mit einem 10 kW Faserlaser geschweißt wurden. Es wird deutlich, dass beide Nähte einseitig mit Vollanschluss geschweißt wurden. Die Schweißgeschwindigkeit betrug bei den 10 mm Steifen immerhin noch 1,2 m/min. Eine derartige Naht lässt sich mit dem Laser bis 12 mm Stegstärke realisieren. 5 mm Steifen konnten mit einer Schweißgeschwindigkeit von 2,0 m/min bearbeitet werden.

Da dieser Laser nur einen Monat lang auf den Werften zur Verfügung stand, ist mit weiterem Optimierungspotential zu rechnen.

Als zusätzliche Stütze bei den Auswertungen wurden 9 mm dicke Steifen mit beiden Lasertypen untersucht.

Festgestellt wurde weiterhin, dass eine Spaltüberbrückbarkeit bis 2 mm möglich ist, jedoch nur zu Lasten der Schweißgeschwindigkeit. Mittels Plasmaschneidverfahren hergestellte Kanten sind mühelos schweißbar.

Die Primerbeschichtung muss vom Gurtblech entfernt werden, da sonst eine Porenbildung in der Wurzel die Folge ist. Wird der Primer auch vom Steg durch Schleifen entfernt, kommt es zu Rückreflexion der Laserstrahlung, die den Nahtverfolgungssensor in seiner Funktionalität beeinflusst.

Bei langen Nähten ist in diesem Zusammenhang eine Abschottung des Sensors vom Prozess erforderlich, da auch nach längerem Schweißen die Strahlung vom Prozess den Sensor beeinflusst.

4.2 Laserstrahl-MSG-Hybridschweißen von Stumpfstößen mittels Schweißtraktor

Der Traktor-Prototyp wurde an der SLV Mecklenburg-Vorpommern im Laborbetrieb an plasmageschnittenen

Stumpfstößen getestet. Dabei wurden statistische Versuchsreihen mit anschließender Prozessoptimierung durchgeführt. Mit den gewonnenen Daten wurden reproduzierbare Schweißnähte hergestellt, an denen Dauerschwingfestigkeitsuntersuchungen vorgenommen wurden (siehe unten).

Im Ergebnis wurden bei Einsatz des 4 kW Nd:YAG-Lasers Schweißgeschwindigkeiten von 1,5 m/min für 7 mm Stumpfstöße erreicht, Bild 6. Es wurde nachgewiesen, dass plasmageschnittene Schweißnahtflanken nicht nachteilig für den Schweißprozess sind, sondern durch die leichte V-Form der Plasmafuge Vorteile hinsichtlich Schweißgeschwindigkeit, Eindringtiefe und Nahtform zu erreichen sind. Das Verbleiben der Primerbeschichtung an den Schnittkanten wirkte sich ebenfalls nicht nachteilig auf den Schweißprozess und aufgrund der verringerten Reflexion der Laserlinien sogar vorteilhaft für das Nahterkennungssystem aus. Der Sensor muss jedoch gegenüber der Prozessstreuungstrahlung abgeschirmt werden, da diese störend bis zum Verlust des Datensignals auf die Kamera einwirken kann.

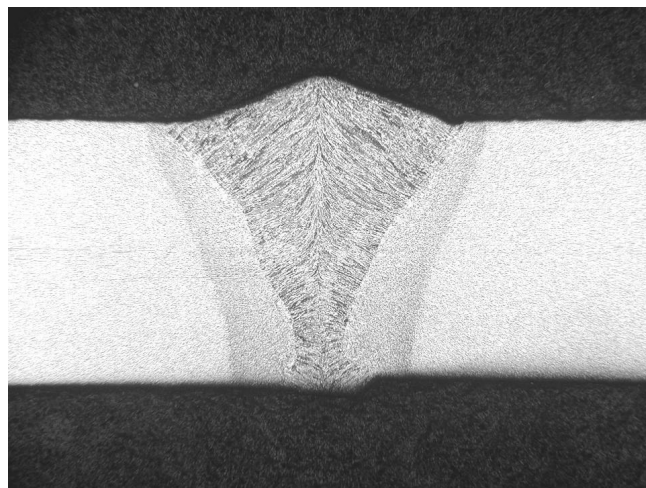


Bild 7. Mittels Traktor geschweißte Stumpfnäht 7 mm, 4 kW Laserleistung, 8 m/min Drahtvorschub, 1,5 m/min Schweißgeschwindigkeit

Nach Erweiterung auf 10 kW Laserleistung konnten Schweißgeschwindigkeiten von 2 m/min für 7 mm und 9 mm Stumpfstöße einlagig realisiert werden, Bild 7 und 8. Bei entsprechender Nahtvorbereitung sind einlagige Schweißungen bis zu 13 mm realisierbar. Die Überschweißung eines Wurzelspalts bis 1 mm ist möglich, geht jedoch deutlich zu Lasten der Schweißgeschwindigkeit. Aufgrund des baulich bedingten sehr großen Abstandes zwischen Sensor und Schweißprozess wurden Kippbewegungen des Traktors durch verstärktes Auftreten von Nahtunregelmäßigkeiten besonders deutlich.

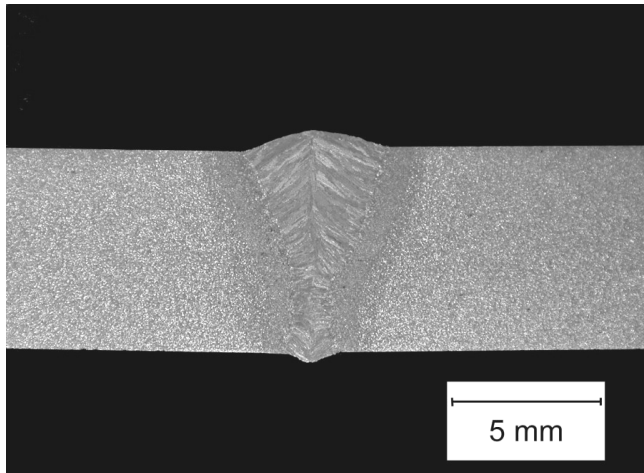


Bild 8. Mittels Traktor geschweißte Stumpfnah 7 mm, 7 kW Laserleistung, 10 m/min Drahtvorschub, 2 m/min Schweißgeschwindigkeit

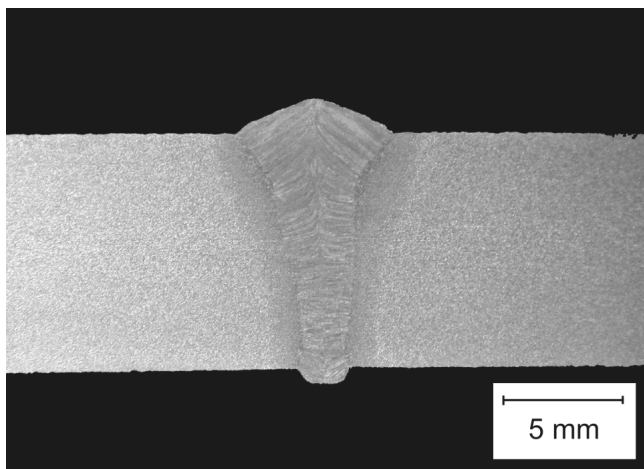


Bild 9: Traktorgeschweißte Stumpfnah 9 mm, 10 kW Laserleistung, 12 m/min Drahtvorschub, 2 m/min Schweißgeschwindigkeit

4.3 Laserstrahl-MSG-Hybridschweißen von Sandwichstrukturen

Das Verbinden von Sandwichpaneelen mittels Hybridverfahren stellt eine besondere Anwendung dar. Da die Paneelgröße „Standard“ aus Blechen der Stärke 2,5 oder 3 mm besteht, sind die Leistungen des Nd:YAG Lasers völlig ausreichend und ein Einsatz des Faserlasers somit nicht erforderlich. Für diesen Paneeltyp mit einer Länge von 10 m gelten Stegmaße von 4 x 40 mm, die in einem Abstand von 120 mm den tragenden Kern dieses so genannten I-core Paneels bilden.

Einerseits ist eine derartige Nahtart, bei der ein Vierkanthrohr als Verbindungselement und als Schweißbad-sicherung an den I-core Paneelen dient (Bild 9, links), sehr gut mit Geschwindigkeiten von 2,0 – 2,5 m/min schweißbar. Ein konstanter Luftspalt zwischen den Deckblechen von 2 mm ist dabei hilfreich. Entsprechende Schliffbilder sind in der unten dargestellten Bild 6, rechts zu sehen.

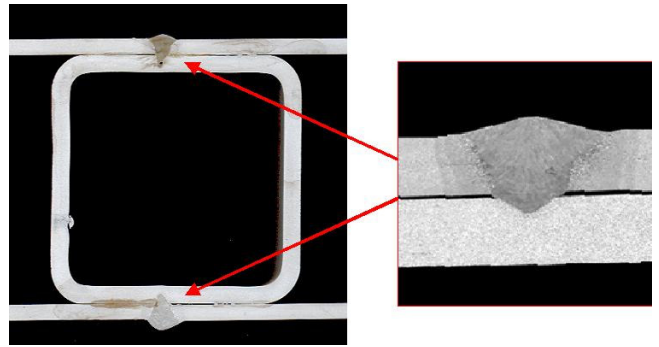


Bild 10. Querschnitt des Verbindungselements mit Makroschliff

Auf der anderen Seite bereitet ein nicht konstanter Luftspalt Probleme, die, sofern keine adaptive Prozessregelung vorhanden ist, nur mit einer Geschwindigkeitsreduzierung lösbar sind. Kann man auf der Oberseite des Sandwichpaneels die Luftspalte beim Zusammenstecken der Bauteile noch einigermaßen ausgleichen, so wird dieses Problem auf der Unterseite, die nicht genau mit der Oberseite übereinstimmt, verstärkt.

Insgesamt jedoch überzeugt das System mit hohen Schweißgeschwindigkeiten bei guter Nahtqualität an diesen langen Bauteilen. Verbessert werden könnte der Prozess noch durch eine Anpassung der MSG Stromquellenkennlinie an diese Anwendung mit den relativ dünnen Blechen und verhältnismäßig großem Luftspalt.

4.4 Manuell geführtes Laserstrahlschweißen und -schneiden

In der Ausrüstungsphase von Schiffskomponenten werden Halterungen für Kabelbahnen, Rohrleitungen etc. an Decks und Wände geschweißt. Da speziell bei nachträglichen Änderungen Beschädigungen an der Oberfläche auftreten, wurde das Laserschweißverfahren mit dem die Beschädigungen minimiert werden können, getestet. Untersucht wurden sowohl Stichnähte als auch Kehlnähte.

Es stellte sich heraus, dass das Schweißen am Überlappstoß an metallisch blankem Material keine Probleme bereitet. Selbst 5 mm dickes Blech ist noch mit einer Schweißgeschwindigkeit von bis zu 1,0m/min, bei einer Laserleistung von 4 kW zu verschweißen.

Optimierungsbedarf hingegen besteht beim Verschweißen von verzinkten oder geprimerten Stählen. In diesem Fall ist die Gefahr von Porenbildung sehr groß.

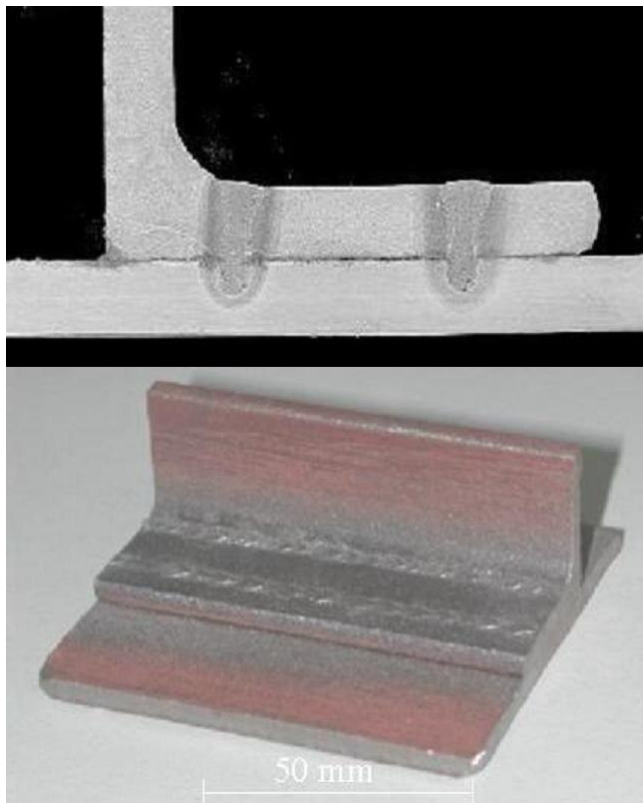


Bild 11. Mittels Laserhandkopf erzeugte Lasernähte für Halterungen an Deck, Blech 4 mm, Anschlussbreite je 1,05 mm, Schweißgeschwindigkeit 1 m/min, Laserleistung 3,5 kW

Verstärkt wird dieses Problem durch die ungünstige Entgasung beim Schweißen am Überlappstoß, Bild 10. Schnelles Verschmutzen des Schutzglases und das Blockieren des Vortriebsrades des manuell geführten Bearbeitungskopfes durch starke Spritzerbildung kommen noch hinzu.

Beim Laserschneiden verwendet man das gleiche Gerät wie beim Schweißen. Durch den sehr schnellen Austausch eines Bearbeitungsmoduls ist ein Wechsel zwischen den beiden Verfahren Schweißen und Schneiden innerhalb von wenigen Minuten realisierbar. Eingesetzt werden kann auch dieses Gerät im Ausrüstungsbereich. Das Erstellen von Durchführungen durch Wände oder Decks ist hier als Hauptanwendung zu nennen.

Zusammenfassend ist zu den Schneidtests zu sagen, dass generell eine ausreichende Qualität erreicht werden kann. Dieses gilt für sowohl für Stahl (blank oder beschichtet) als auch für Aluminium und hochlegierten Stahl in den Stärken 2 – 5mm.

Sind jedoch besondere Anforderungen an die Schnittkante gestellt, ist das System noch zu verbessern. Insbesondere die stärkere Gratbildung an der Unterseite der Bleche ist mit Maßnahmen wie verbesserte Druckluftzufuhr und Verringerung des Abstands zwischen Düse und Werkstück zu verhindern.

4.5 Laserstrahlheften von Stumpf- und T-Stößen

Voraussetzung für das Laser-MSG-Hybridschweißen von nicht eingespannten Bauteilen ist das Fixieren dieser Bauteile zueinander durch Heftschweißungen. Da übliche MSG-Heftstellen relativ groß sind, ist eine vollständige Aufschmelzung mit dem Hybridprozess nicht möglich. Folglich treten Risse und andere Fehlstellen im Heftbereich auf. Verhindert werden können diese Fehlstellen durch das Heften der Bauteile mit dem verhältnismäßig feinen Laserstrahl.

Erprobt wurden Heftschweißungen an Stumpf- und Kehlnähten mit sehr guten Ergebnissen. Das Gerät ist einfach bedienbar und eine Heftschweißung ist schnell durchgeführt.

Für die Erzeugung einer guten Heftnaht ist jedoch die Vermeidung jeglichen Luftspaltes in der Naht zwingend notwendig.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Projekt DOCK-LASER wurden die grundlegenden technischen Voraussetzungen für den Einsatz mobiler Laser im Schiffbau geschaffen. Zu verschiedenen, von den Endnutzern definierten Anwendungsfällen konnten auch die für den praktischen Einsatz erforderlichen Qualitäts- und Arbeitssicherheitsfragen im Labor und auf den Werften geklärt werden. Mobile Lasergeäte und der Faserlaser zeigen hohes technisches und wirtschaftliches Potential.

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird von den DOCK-LASER - Partnern z.B. in der weiteren Qualifizierung von Hochleistungsfaserlasern für weitere Anwendungsfälle gesehen. Weiter werden ganzheitliche Konzepte für den Einsatz mobiler Laserwerkzeuge und anderer innovativer Technologien im Schiffbau entwickelt und vorangetrieben.

Um das von den einzelnen Projektpartnern erworbene Know-how gemeinsam weiterzuentwickeln und die Verbreitung des Einsatzes mobiler Lasertechnik im Schiffbau zu forcieren, wurde ein Kompetenzzentrum für mobile Laserbearbeitung mit Sitz in Rostock ins Leben gerufen. Die in DOCK-LASER entwickelten Geräte stehen dort den Konsortialpartnern sowie interessierten Dritten für Forschungs-, Beratungs- und Produktionsdienstleistungen zur Verfügung.

6 Schrifttum

- [1] Heikki Remes; Fatigue tests of CO₂-Laser hybrid and submerged arc welded butt joints of RAEX S275 Laser and NVA, Volume 1 and Volume 2. Dissertationsschrift M-278, Helsinki University of Technology. 2003; ISBN 951-22-6355-6