



# Abschlussbericht

im Verbundprojekt

## FSW-Ship

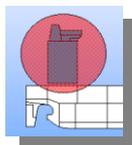
### *Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten*

#### Teilprojekt 4

Bau und Erprobung von Labormustern rührreibgeschweißter  
Leichtbaustrukturen

Förderkennzeichen: 03SX302C  
Laufzeit des Vorhabens: 01.12.2010 bis 30.11.2012  
Berichtszeitraum: 01.12.2010 bis 30.11.2012

Revision	Datum	Änderung	Bearbeiter	Freigabe für Anwendung	
				Name	Datum
00	10.03.2013	Erstellung	Boywitt		



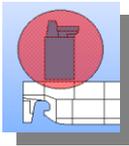
## 1 Kurzdarstellung des Teilprojektes 4

### 1.1 Aufgaben und Ziele der GSI mbH, NL SLV Berlin-Brandenburg

Die Aufgaben GSI SLV Berlin-Brandenburg beinhalteten den Bau und die Erprobung von Labormustern rührreibgeschweißter Leichtbaustrukturen. Diese Musterschweißungen bestanden in erster Linie aus Aluminiumblechen bzw. Werkstoffkombinationen aus Aluminium- und Stahlblechen. Im Wesentlichen sollte die Machbarkeit derartiger Verbindungen nachgewiesen werden um den Konstrukteuren neue Gestaltungsmöglichkeiten zu liefern. Neben den Schweißversuchen gehörten aber auch die Erarbeitung von Prozessparametern und der Anforderungsprofile für eine Rührreibschweißanlage, der Sensorik, sowie die Werkzeugentwicklung und deren Bau zu den weiteren Aufgabengebieten. Genauere Angaben sind im AP 400 einzusehen (Tabelle 1-1).

**Tabelle 1-1: Aufgaben der GSI SLV Berlin-Brandenburg im Verbundprojekt**

<b>Arbeitspaket</b>	<b>400</b>	<b>Bau und Erprobung von Labormustern rührreibgeschweißter Leichtbaustrukturen</b>
<b>Verantwortlich</b>	<b>SLV B-B</b>	
<b>Zeitplan</b>	PS + 3M bis PS + 18M <sup>1</sup>	
<b>Personal</b>	SLV: 22 PM Ing. 15 PM FL <sup>2</sup>	
<b>Ziel</b>	<b>Beurteilung der Fertigungsgerechtigkeit der in AP 200 konstruierten Strukturen / Gestaltung des Fügeprozesses / Untersuchung Bauteilverhalten / Ermittlung Fertigungsaufwand und Anlagenkonfiguration</b>	
<b>Aufgaben</b>	410	Ermittlung der Prozessparameter für die Fertigung ausgewählter Strukturen
	420	Fertigung von Labormustern (Strukturbereiche)
	430	Erprobung der Labormuster
	440	Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen für die Bauteilkonstruktion
	450	Ermittlung des Fertigungsaufwandes für das Fügen der Strukturen
	460	Bestimmung der Produktparameter (Qualität)
	470	Erstellung eines Mock-ups



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

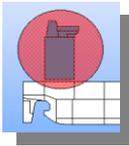
Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für  
Schiffsaufbauten - FSW - Ship



## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Die GSI SLV Berlin-Brandenburg verfügte während der Projektlaufzeit über 27 Mitarbeiter, davon gehörten 12 Mitarbeiter zum Ingenieur-technischen Personal (GSI mbH gesamt: 390 Mitarbeiter, davon 60 Prozent Ingenieur-technisches Personal). Für die Bearbeitung des Forschungsthemas war damit genügend Fachwissen vorhanden um hier die wissenschaftlich-technische Komponente sicherzustellen, zumal auch auf einen großen Personalpool innerhalb der GSI mbH hätte zurückgegriffen werden können. Ebenfalls sind große Erfahrungen und Kompetenzen im Bereich Rührreibschweißen (FSW) vorhanden. Die SLV Berlin-Brandenburg beschäftigt sich seit 1996 mit diesen Verfahren und war auch einer der ersten Lizenznehmer (vom TWI, UK) in Deutschland. Zusätzlich zur Industrieforschung, Kleinserien und Serienvorbereitung bei Projekt- bzw. Industriepartnern wurden bereits mehrere öffentlich geförderte Projekte im Bereich FSW erfolgreich bearbeitet. Zu nennen wären da folgende Themen: Matech, Badstütze, Industrieller Leichtbau, Einfluss von Fertigungstoleranzen, FSW von Stahl mit induktiver Vorwärmung und FSW-Steel. Neben der Parameterentwicklung, Schweißmöglichkeitsuntersuchungen an verschiedenen Legierungen, Probeschweißungen und Parameteroptimierung für externe Kunden stehen auch die Konstruktion und Erprobung von Rührreibwerkzeuge im Fokus der SLV Berlin-Brandenburg. Hierzu gehören technische Zeichnungen (mit Inventor), Erprobung von Materialien, Herstellen und Härten der Werkzeuge. Wichtig ist ebenfalls der Nachweis der Einsatztauglichkeit, z.B. Standzeitermittlung, um nicht nur gute Testergebnisse zu erzielen, sondern zu helfen den Prozess in eine Produktionskette zu etablieren. Alle Ergebnisse werden ständig überprüft und dokumentiert. Für die Werkstoff-technischen Untersuchungen stehen in unseren akkreditierten Prüflabor folgende Prüfmöglichkeiten zur Verfügung: Röntgen, Ultraschall, Farbeindringprüfung, Schlitze (Mikro, Makro), Zugversuch, Biegeversuch, Härteverläufe, Dauerschwingversuche, Korrosionsuntersuchungen, Salzkammersprühtest, Klimaschrank, Raster-Elektronen-Mikroskopie (REM).

Für die Bearbeitung des Teilprojektes 4 im Rahmen des Verbundprojektes FSW-Ship wurden zwei verschiedene Maschinen (Anlagen) zum Rührreibschweißen eingesetzt.



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Anlage 1:

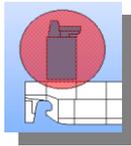
ESAB LEGIO 3UT (Bild 1-1). Hersteller ist die Firma ESAB aus Schweden, mit der auch eine Kooperationsvereinbarung besteht. Baujahr der Anlage ist 2006.



Bild 1-1: Rührreibschweißanlage ESAB LEGIO™ FSW-3UT

## Technische Beschreibung der Anlage

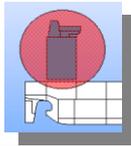
Reibschweißverfahren sind mechanische Schweißverfahren und so bestanden die ersten Anlagen oft aus umgebauten bzw. zweckentfremdeten Bearbeitungsmaschinen. Beim Rotationsreibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb waren es jahrelang Drehmaschinen und so verwundert es kaum, dass die ersten FSW-Maschinen Senkrechtfräsmaschinen waren. Doch genauso wie die Drehmaschinen beim Rotationsreibschweißen durch stabilere, größere und besser auf die Bedürfnisse und Kräfte angepasste Spezialmaschinen ersetzt wurden, so ist dieser Wandel auch beim Rührreibschweißen im Gange. Einer der wenigen



Hersteller solcher FSW-Anlagen ist der schwedische Hersteller ESAB. Die SLV Berlin-Brandenburg besitzt eine Maschine vom Typ LEGIO™ FSW-3UT. Die Maschinen vom Typ LEGIO™ sind modular aufgebaut. Die Zahl „3“ und Buchstaben „U“ und „T“ am Ende der Typenbezeichnung stehen für den Aufbau. „U“ bedeutet, dass die Maschine in X- und Y-Richtung, somit also in der Ebene (2 D), arbeiten kann. So lassen sich auch kreisförmige oder mehreckige Schweißnahtverläufe abfahren, z.B. um einen Behälter mit einem Deckel zu versehen. Maschinen mit einem „S“ statt dem „U“ können nur lineare Schweißungen vornehmen. Dafür gibt es diese Maschine auch mit zwei Schweißköpfen als „33ST“ für das Längsschweißen von Hohlprofilen, wichtig u.a. für Anwender im Schiffbau. Das „T“ steht für den Untertisch, der vom Werk aus an der Anlage angebracht ist und auf dem die Bauteile aufgespannt werden können. Alternativ kann die Anlage auch ohne diesen Tisch bestellt werden, wenn sie für Schweißnähte an großen Maschinen oder Fahrzeugen, wie Flugzeugen oder auch Schiffen genutzt werden soll. Ausgehend von diesem System können diese Maschinen von ESAB auf spezielle Kundenwünsche angepasst werden. Eine Übersicht der Leistungsdaten von der in der SLV Berlin-Brandenburg vorhandenen ESAB-Maschine befindet sich in der Tabelle 1-2.

**Tabelle 1-2: Technische Daten Rührreißchweißanlage ESAB LEGIO™ FSW-3UT**

<b>Merkmale</b>	<b>Beschreibung</b>
Maschinerahmen	Stabile Struktur, vorbereitet für Erweiterungen
Schweißnahtlänge (netto)	2000 mm
Schweißgeschwindigkeit	Bis zu 4000 mm/min
Arbeitsbereich in Y-Richtung (Breite)	400 mm
Arbeitsbereich in Z-Richtung (Höhe)	340 mm (Option 440 mm)
Mögliche Materialdicken	1,0 – 15,0 mm (Aluminium)
Spindelleistung	11 kW
Axiale Werkzeugkraft	30 kN
Führungsgröße	Alternativ: Werkzeugposition oder Kraft
Drehzahl des Werkzeuges	500 – 5000 U/min



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship

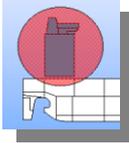


Besonders wichtig ist für FSW-Anlagen eine hohe Positioniergenauigkeit in Z-Richtung. Würde sich ein Rahmen in Form eines C-Gestelles aufgrund der wirkenden Kräfte zu stark aufbiegen, würde das die Einhaltung einer genauen Schweißtiefe schwierig gestalten und Fehler auf der Nahtunterseite wären die Folge. Diese nicht durchgeschweißten Nahtstellen stören den Kraftfluss im Bauteil durch ihre starke Kerbwirkung. Besonders dynamisch belastete Bauteile neigen hier zum Aufreißen der Wurzel. Deshalb achtete ESAB auf einen besonders steifen Rahmen und eine spielfreie Lagerung. Für sehr große Bauteile hat die Firma darüber hinaus die SuperStir™-Anlagen im Programm. Diese sind als Portalschweißanlagen ausgelegt und können durch diesen Aufbau mit höheren Kräften arbeiten und größere Spannweiten überbrücken, ohne dadurch die Positionsgenauigkeiten in Z-Richtung zu verlieren.

Aufgrund der Erfahrungen, welche die SLV Berlin-Brandenburg mit dieser Anlage (LEGIO™ FSW-3UT) von ESAB gemacht hat, konnten hier für unsere Forschungsaufgabe Aussagen getroffen werden, die gewisse Fehlerquellen oder Störeinflüsse (von außen) erkennbar oder konstruktive Mängel sichtbar aufzeigten. Diese Erfahrungen halfen bei allen Versuchen und Probeschweißungen. Während die Schweißungen an den reinen Aluminiumverbindungen problemlos abgearbeitet werden konnten, traten immer wieder nicht beherrschbare Probleme bei den Aluminium/Stahl-Verbindungen auf. Diese lagen in der Konstruktion der ESAB-Rührreibschweißanlage begründet. Bei den Versuchen konnte festgestellt werden, dass die für diese Verbindung notwendige sichere seitliche Positionsführung nicht gehalten werden konnte. Deshalb wurde für Aluminium/Stahl-Verbindungen auf die zweite Anlage zurückgegriffen. Hier trat dieses Positionsproblem nicht mehr auf und es konnten qualitativ bessere Verbindungen hergestellt werden.

### **Anlage 2:**

TOLEDO M.R.F. MODELL FBF-1750 (Bild 1-2). Hersteller ist die Firma M.R. Farinäs aus Spanien. Baujahr der Anlage ist 1985. 1997 wurde diese Anlage komplett geometrisch wie auch elektrisch überholt. Zusätzlich wurde eine neue CNC-Steuerung vom Typ Heidenhain TNC 155 installiert.



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

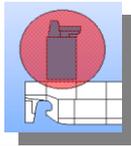
## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship

**GSI SLV**  
Berlin-Brandenburg



**Bild 1-2: Flachbettfräsmaschine TOLEDO M.R.F. MODELL FBF-1750**

Diese Anlage zeichnet sich durch ihre große Robustheit, gute Spannmöglichkeiten und einfacher Bedienung aus. Die sehr stabile Auslegung gestattet es unproblematisch diese Maschine auch zum Rührreibschweißen einzusetzen. Mit ca. 1.400 Millimeter Arbeitslänge ist auch die Herstellung von relativ langen Schweißnähten gewährleistet. Ebenfalls kann mit der Anlage im 2D-Bereich gearbeitet werden. Eine Übersicht von den Leistungsdaten der in der GSI-SLV Berlin-Brandenburg genutzten Flachbettfräsmaschine befindet sich in der Tabelle 1-3.



**Tabelle 1-3: Technische Daten Flachbettfräsmaschine TOLEDO M.R.F. MODELL FBF-1750**

<b>Merkmale</b>	<b>Beschreibung</b>
Maschinerahmen	Stabile Struktur
Schweißnahtlänge (netto)	1440 mm
Schweißgeschwindigkeit	3 zu 1000 mm/min
Arbeitsbereich in Y-Richtung (Breite)	500 mm
Arbeitsbereich in Z-Richtung (Höhe)	500 mm
Mögliche Materialdicken	1,0 – 15,0 mm (Aluminium)
Spindelleistung	12 kW
Axiale Werkzeugkraft	15 kN
Führungsgröße	Werkzeugposition
Drehzahl des Werkzeuges	65 – 2500 U/min

Die bessere Positioniergenauigkeit während einer Schweißung war hier ausschlaggebend, dass diese Anlage für den Zweck FSW an Aluminium/Stahl geeigneter war. Bei diesen Schweißungen wird nur mit einer gewissen Prozentsatz in der Stahlseite gearbeitet, so dass sich relativ hohe Querkräfte ergeben. Die ESAB-Anlage mit ihrer Kraftsteuerung hält zwar diese Querkraft problemlos aus, drückt aber das Werkzeug eben nur gegen die Stahlseite. Die TOLEDO-Anlage hingegen hält die Position, d.h. das Werkzeug wird tatsächlich im Stahl (ca. 0,5 mm) geführt. Daher waren hier die wesentlich besseren Ergebnisse möglich.

### **1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

#### **Ressourcen- und Zeitplanung**

Die jeweils geplanten Aufwände für die im Teilprojekt 4 beschriebenen Arbeitspakete sowie deren zeitliche Einordnung sind in der Tabelle 1-4 dargestellt. Beim Abarbeiten der einzelnen Punkte innerhalb des Arbeitspaketes kam es allerdings zu einigen Verzögerungen, die teils in der schwierigen Beschaffung von Materialien für die Rührreibwerkzeuge lagen oder einfach



der Tatsache geschuldet waren, dass während des Schweißprozesses Problematiken aufgetaucht sind mit denen bei der Planung so nicht gerechnet wurde.

**Tabelle 1-4: Balkenplan für die Arbeitspakete und Aufwandsverteilung Personal (AP)**

Arbeitspaket		TP 4		Zeitplanung																							
AP	Kurzbeschreibung	SLV	2010	2011												2012											
		Ing.	FL	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.
				N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O
400	Bau und Erprobung von Labormustern rührreibgeschweißter Leichtbaustrukturen	22,0	15,0																								
410	Ermittlung der Prozessparameter für die Fertigung ausgewählter Strukturen	6,0	4,0																								
420	Fertigung von Labormustern (Strukturbereiche)	5,0	5,0																								
430	Erprobung der Labormuster	3,0	3,0																								
440	Erarbeitung von Optimierungsvorschlägen für die Bauteilkonstruktion	3,0	3,0																								
450	Ermittlung des Fertigungsaufwandes für das Fügen der Strukturen	3,0	3,0																								
460	Bestimmung der Produktparameter (Qualität)	2,0	2,0																								
470	Erstellung eines Mock-ups		3,0																								
Gesamt:		22,0	15,0																								

## Meilensteinplanung

In die Vorhabenbearbeitung wurden vier Meilensteine mit folgenden inhaltlichen Schwerpunkten eingebaut. Dabei entstand insbesondere Abstimmungsbedarf bezüglich der Arbeiten in folgenden Arbeitspaketen (AP) 200, 400 und 600. Die SLV Berlin-Brandenburg war hier maßgeblich an zwei Meilensteinen (2, 3) beteiligt:

### 1. Meilenstein:

„Systematik der Anwendungsbereiche für rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen“

Zeitplanung: (PS+6 Monate)

Bearbeitung: Andere Projektpartner

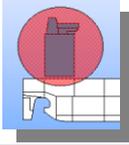
### 2. Meilenstein:

„Designkatalog Leichtbaustrukturen für Aufbauten“

Zeitplanung: (PS+12 Monate)

Bearbeitung: SLV Berlin-Brandenburg und andere Projektpartner

AP 400: Prozessparameter für Fertigung Leichtbaustrukturen als Arbeitsgrundlage für die Fertigung von Labormustern (Strukturbereiche, in AP 200 erarbeitet), Erprobung der Labormuster, Schlussfolgerungen für die Fertigung der in AP 200 ausgewählten und neukonstruierten Leichtbaustrukturen.



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### 3. Meilenstein:

„Labormuster / Mock-up Leichtbaustrukturen“

Zeitplanung: (PS+18 Monate)

Bearbeitung: SLV Berlin Brandenburg und andere Projektpartner

AP 400: Mock-up Leichtbaustruktur als beurteilungsfähige Leichtbaustruktur nach Einarbeitung von Optimierungsvorschlägen, Aufzeigen des Fertigungsaufwandes und Festlegen von Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

### 4. Meilenstein:

„Nachweis Betriebsverhalten Mock-up“

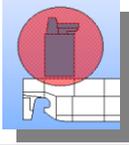
Zeitplanung: (PS+24 Monate)

Bearbeitung: Andere Projektpartner

Die genannten Meilensteine beinhalteten eine Präsentation der jeweiligen Zwischenergebnisse (oder auch Schweißvorführungen in der SLV Berlin-Brandenburg) bei den regelmäßigen Treffen der Projektpartner und dienten der weiteren Zielorientierung des Verbundvorhabens.

## 1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand

Das Rührreibschweißen, welches zu den Pressschweißverfahren gehört, ist ein noch sehr junges Fügeverfahren. Erst 1991 wurde es am The Welding Institute Ltd., TWI in Cambridge (Großbritannien) der Öffentlichkeit präsentiert. Im Sprachgebrauch der Industrie und auch der Forschung hat sich als Abkürzung für das Verfahren die aus dem Englischen stammende Bezeichnung FSW eingebürgert, welche für die im anglo-amerikanischen Sprachraum verwendete Benennung „Friction Stir Welding“ steht. Wenn man diesen englischen Ausdruck ins Deutsche übersetzt, so steht dort zuerst Reibung und dann das Rühren. Nach DIN EN 14610:2004 ist in Deutschland der Name „Rührreibschweißen“ als Unterart der Reibschweißverfahren festgelegt. Das Verfahren wird als: „Pressstumpfschweißen in

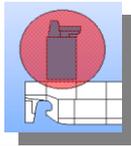


Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship



viskoplastischer Phase, wobei Wärme durch Reibung zwischen einer verschleißfesten rotierenden Werkzeugspindel und den Werkstücken erzeugt wird“ beschrieben. (o.V.: DIN EN 14610:2004 Schweißen und verwandte Prozesse - Begriffe für Metall-Schweißprozesse, Berlin 2004, S. 33). Als Beispiele sind das Rotationsreibschweißen, das Vibrationsreibschweißen oder das Punktreibschweißen zu nennen. Für ältere Patente und Berichte wird jedoch häufig der Begriff Reibrührschweißen benutzt, was Recherchearbeiten zusätzlich erschwert. Eine weitere wichtige Norm ist die DIN EN ISO 4063. Hier ist im Punkt 3 Liste der Prozesse und Ordnungsnummern das Rührreibschweißen unter der Prozessnummer 43 zu finden. Im Allgemeinen werden zum Rührreibschweißen (FSW) weder Zusatzwerkstoff noch Schutzgas benötigt. Ein Merkmal aller Reibschweißverfahren ist, dass der Werkstoff während des Schweißens nicht in die flüssige Phase übergeht. Durch Bewegung und Druck wird Reibungswärme an der Fügestelle erzeugt und das Material in einen plastifizierten Zustand versetzt. Es entfallen somit die Erstarrungsvorgänge. Das Rührreibschweißen nimmt hierbei zusätzlich eine Sonderstellung ein, da nicht die Fügeteile aufeinander reiben, sondern die Schweißung mittels eines speziell geformten Werkzeuges durchgeführt wird, das mechanisch auf den Bereich der Fügezone einwirkt. Die mechanische Belastbarkeit der Rührreibschweißungen ist im Allgemeinen erstklassig, durch viele Veröffentlichungen untermauert und bietet sich somit gerade für hochbelastete Schweißnähte an. Zum Beispiel bestätigen auch die im Vorfeld des Projektes von der SLV Berlin-Brandenburg im Auftrag von mehreren Industriepartnern durchgeführten Versuche diese Feststellung. Genauere Ergebnisse werden in späteren Kapiteln benannt. Da das Material nicht aufgeschmolzen wird, lassen sich auch viele unterschiedliche Materialkombinationen fügen, die mit den konventionellen Schmelzschweißverfahren nicht oder nur schlecht verarbeitbar sind. So sind diverse innovative Bauteilkonstruktionen aus Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik, dem Schiffbau und dem Fahrzeugbau möglich geworden oder konnten ihre Leistungsfähigkeiten deutlich steigern. Aber auch hier besteht weiterer Forschungsbedarf, da lange noch nicht sämtliche Möglichkeiten ausgeschöpft sind. Im Berichtszeitraum ist außerdem die neue FSW-Norm DIN EN ISO 25239 (März 2012) in Kraft getreten. Dadurch konnten einheitliche Bezeichnungen, formelle Vorgaben und mehr Rechtssicherheit für den Anwender eingeführt werden.

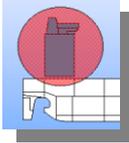


## Forschungsarbeiten der SLV Berlin-Brandenburg

Die SLV Berlin-Brandenburg hat zum Thema Rührreibschweißen in den zurückliegenden Jahren insbesondere FuE-Projekte im Bereich Verfahrens- und Produktentwicklung bearbeitet. Darunter fallen, wie bereits kurz erwähnt, neben der reinen Industrieforschung auch im größeren Umfang öffentlich geförderte FuE-Vorhaben. Teilweise konnten gewisse Erkenntnisse aus diesen Forschungsarbeiten genutzt werden (Tabelle 1-5).

**Tabelle 1-5: Öffentlich geförderte FuE-Vorhaben der SLV Berlin-Brandenburg**

FuE-Arbeiten SLV Berlin-Brandenburg
<p>“Rührreibschweißen von Stahl und Stahl-Werkstoffkombinationen mit lokaler induktiver Erwärmung“</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• FKZ: DVS-Nr.: 05.036 / IGF-Nr.: 14.574 N</li><li>• Förderung durch BMWi</li><li>• Laufzeit vom 01.04.2006 bis 30.06.2008</li><li>• Zielsetzung: Ausweitung des Rührreibschweißens auf Stahlwerkstoffe, Erhöhung der Werkzeugstandzeiten, Reduzierung der Prozesskräfte</li></ul>
<p>“Untersuchung des Einflusses von Fertigungstoleranzen und Verzug auf die Festigkeitseigenschaften reibrührgeschweißter Verbindungen an hochfesten Al-Legierungen der 5000er und 7000er Serie bis 15 mm“</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• FKZ: DVS-Nr.: 09.035 / IGF-Nr.: 14.571 N</li><li>• Förderung durch BMWi</li><li>• Laufzeit vom 01.04.2006 bis 31.03.2008</li><li>• Zielsetzung: Ermittlung von stabilen Prozessparametern unter Berücksichtigung Fertigungstoleranzen wie z.B. Spalte, Versatze, Fügestellenbeschaffenheit (gefräst, gesägt, geschert, Oxide)</li><li>• Zweite Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig Institut für Füge- und Schweißtechnik</li></ul>



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für  
Schiffsaufbauten - FSW - Ship

**GSI SLV**  
Berlin-Brandenburg

#### FuE-Arbeiten SLV Berlin-Brandenburg

##### “Wirtschaftlicher Leichtbau durch Reibrührschweißen“

- FKZ: DVS-Nr.: 09.039 / IGF-Nr.: 13.717 N
- Förderung durch BMWi
- Laufzeit vom 01.05.2003 bis 30.04.2005
  
- Zielsetzung: Ermittlung der Schwingfestigkeit von Rührreibschweißverbindungen an unterschiedlichen Al-Legierungen (Werkstoffe der 5000 und 6000 Reihe, Nenndicken 3, 12 und 20 mm). Untersuchung mehrerer Kerbfälle
  
- Zweite Forschungsstelle: Technische Universität Clausthal Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit

##### “Fitness for Purpose“

- FKZ: DVS-Nr.: 9.020 / AIF-Vorhaben-Nr.: 12189 N
- Förderung durch BMWi
- Laufzeit vom 01.12.1999 bis 31.05.2000
  
- Zielsetzung: Bewertung von modernen Schweißverfahren für Al-Strangpressprofile mit Schweißbadsicherung; Untersuchung des Festigkeitsverhaltens unter besonderer Berücksichtigung von Fertigungsimperfectionen, deren Detektion und ihrer bruchmechanischen Bewertung
  
- Zweite Forschungsstelle: IWM Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik

##### “MATECH Welding and Fatigue of Aluminium for Comercial Vehicle“

- FKZ: 03 N 30479
- Förderung durch BMBF
- Laufzeit vom Juli 1999 bis Juli 2002
  
- Zielsetzung: Grundlagen für den Leichtbau energiesparender Nutzfahrzeuge auf Basis neuartiger Schweiß- und Auslegungsverfahren für Aluminiumkonstruktionen
  
- Weitere Forschungsstellen: LBF Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit; Institut für Schweißtechnische Fertigungsverfahren (ISF) der RWTH Aachen; Institut für Schweißtechnik (IfS) der TU Braunschweig

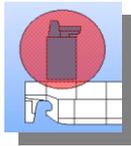


## Schutzrechte

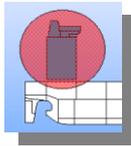
Die derzeit bestehenden Schutzrechte des TWI (The Welding Institute, UK) beziehen sich lediglich auf das Verfahren „Rührreibschweißen“ und laufen spätestens im Jahr 2015 aus. Ein maßgebliches Patent lief bereits Anfang 2012 aus, das zweite maßgebliche Patent läuft dann im Jahr 2015 aus. Damit entfallen ab 2015 die bisher aufzubringenden Lizenzkosten (ca. 26.000 engl. Pfund pro Anlage, oder mehr) für den Bau und den Verkauf von Anlagen für das Rührreibschweißen. Die o.g. Schutzrechte behinderten jedoch in keiner Weise die Bearbeitung der im Vorhaben gesetzten Arbeitsschwerpunkte sowie die beabsichtigte Ergebnisverwertung, da die SLV Berlin-Brandenburg über eine gültige Lizenz des TWI verfügt. Weiterhin gibt es eine Vielzahl von kleineren Einzelpatenten, die meist in den einzelnen Unternehmen direkt angesiedelt sind. Diese berührten die Forschungsarbeiten nicht. Für eventuelle zukünftige Arbeiten oder Anwendungen sollte zumindest an das Vorhandensein solcher Patente gedacht werden. Bisher ist noch kein Fall bekannt, in dem es zu Problemen mit Patentinhabern kam.

## Benutzte Fachliteratur bzw. andere Quellen

- 1 Widmann, J.: Fachdidaktik Metalltechnik – Rührreibschweißen.  
<http://fdmt.iwb.mw.tu-muenchen.de>, eingesehen am 31.03.2011
- 2 Winkel, H.-J.: Friction Stir Welding - Rührreibschweißen von Aluminium – Vorteile gegenüber dem Schmelzschweißen. Vortrag zum DVS-Seminar in der SLV Berlin Brandenburg, DVS-Seminar, 2002
- 3 Dahl, O.A.: Putting a new spin on fabricating ships hulls.  
Welding & Metall Fabrication, Nov./Dez. 1998
- 4 Engel, D.: Reibrührschweißen, Anwendungsmöglichkeiten und Qualitätssicherung im Schiffsbau. Germanisch Lloyd, Hamburg, GKSS/TWI Workshop Geesthach, 1999
- 5 Faust, B. und Linder, H.: Leichtbau in Aluminium Produktionsnaher Einsatz des FSW-Verfahrens. WKW Erbslöh Automative GmbH, Velbert, 2001



- 6 O. Blach und F. Senne Reibrührreischweißen aus der Sicht eines Anwenders im Schienenfahrzeugbau, Alstom LHB GmbH, Salzgitter, GKSS Workshop, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, 2002
- 7 Lohwasser, D.. FSW im Flugzeugbau, Airbus Deutschland GmbH, Bremen GKSS Workshop, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, 2002
- 8 Lohwasser, D.: FSW in der Flugzeugindustrie. Bericht, Airbus Deutschland GmbH, Bremen, 2001
- 9 Schofer, E.: Rührreischweißen. Bericht, ESAB GmbH, Solingen, 2002
- 10 N.N.: [http://www.boeing.com/companyoffices/gallery/images/space/delta\\_iv/delta\\_iv\\_mfg.htm](http://www.boeing.com/companyoffices/gallery/images/space/delta_iv/delta_iv_mfg.htm), eingesehen am 07.04.2012
- 11 N.N.: <http://www.boeing.com/defensepace/space/delta/id/inde0601.pdf>, eingesehen am 08.04.2012
- 12 Cedeqvist, L.: FSW to seal 50mm thick canisters, a weld lasts for 100,000 years. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co., 5<sup>th</sup> International Symposium on Friction Stir Welding, France, 2004
- 13 Engelhard, G. und Hiller T.: Orbital- Reibrührreischweißen von Aluminiumrohren. Framatome ANP Erlangen, Siemens AG, Erlangen, 2002
- 14 Stephan, K.: Friction Stir Welding – Process and Applications. GKSS/TWI Workshop, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, 1999
- 15 Palm, F.: Reibrührschweißen von Al- und Mg- Werkstoffen mit Blick auf zukünftige Anwendungen. EADS Deutschland GmbH, Zentrale Forschung, Ottobrunn, 2002
- 16 Schilling, C. et al.: Robotic Friction Stir Welding, Vortrag, GKSS Forschungszentrum, Geesthacht, 2001
- 17 N.N.: <http://www.esabcutting.com>, eingesehen am 05.05.2011
- 18 Thomas, W. M. et al.: Skew-Stir variation on a theme. <http://www.twi.co.uk/j32k/getFile/c1133.html>, eingesehen am 31.03.2011

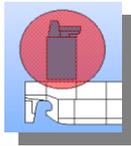


Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

- 
- |    |                                     |   |
|----|-------------------------------------|---|
| 19 | Kallee, S.W. und<br>Nicholas, E.D.: | Reibrührschweißen: Erfindung, Innovation und<br>Anwendung, TWI Ltd, Granta Park, UK, 2002   |
| 20 | Fukumoto, M. et al.:                | Butt welding between dissimilar metals by friction stir<br>welding. Toyohashi University of Technology, Japan, 5th<br>International<br>Symposium on Friction Stir Welding, France, 2004 |
| 21 | Schoer, H.:                         | Schweißen und Löten von Aluminiumwerkstoffen.<br>Düsseldorf, DVS-Verlag, 1998, S.103  |
| 22 | Sorensen, C. D. et al.:             | Innovative technology applications in FSW of<br>high softening temperature materials. 5th International<br>Symposium on<br>Friction Stir Welding, France, 2004                          |
| 23 | Sorensen, C. D. et al.:             | Tool material testing for FSW of high-temperatur<br>alloys. 3th International Symposium on Friction Stir,<br>Welding, Japan, 2001   |
| 24 | N.N.:                               | <a href="http://www.esab.com">http://www.esab.com</a> , eingesehen am 05.05.2011  |

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Kooperation mit den anderen Projektpartnern kann aus Sicht der GSI mbH, Niederlassung SLV Berlin-Brandenburg durchweg als positiv und sehr angenehm beurteilt werden. Zu nennen sind da die Bereitstellung Materialien (Aluminium, Stahl) durch Abeking & Rasmussen in Lemwerder, die Zusammenarbeit bei der Parameterfindung und der Probenauswertung mit dem HZG in Geesthacht, der Austausch von Fachwissen über den Schiffbau mit Neptun Ship Design aus Rostock. Ebenfalls erwähnenswert ist die Zusammenarbeit mit den Germanischen Lloyd in Hamburg, bei dem immerhin die Anerkennung der FSW-Norm DIN EN ISO 25239 für den Schiffbau vereinbart wurde. Mit den Projektpartnern ist eine weitere Zusammenarbeit vereinbart worden. Weiterhin ist eine gemeinsame öffentliche Veranstaltung geplant, bei der die Forschungsergebnisse präsentiert werden.



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für  
Schiffsaufbauten - FSW - Ship



## 2 Eingehende Darstellung des Teilprojektes 4

### 2.1 Wichtige wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere erzielte Ergebnisse

#### **Aufgaben und Ziele der SLV Berlin-Brandenburg, NL der GSI mbH**

Zu den Aufgaben und Zielen innerhalb des Projektes gehörten der Bau und die Erprobung von Labormustern rührreibgeschweißter Leichtbaustrukturen. Das waren im Wesentlichen Bleche, die als Stumpfstoß gefügt wurden. Diese wurden als reine Aluminium/Aluminium-Verbindungen und als Mischverbindungen Aluminium/Stahl ausgeführt. Im Anschluss wurden an allen Verbindungen Werkstoff-technische Untersuchungen durchgeführt. Diese bestanden aus Sichtprüfungen, Röntgenprüfungen, Herstellung von Schlifften, Zugprüfungen, Biegeprüfungen und Dauerschwinguntersuchungen. Letztere und die Zugversuche wurden am HZG in Geesthacht durchgeführt. Zu den Ergebnissen der Prüfungen, die die SLV Berlin-Brandenburg vorgenommen hat wird an späterer Stelle eingegangen. Weiterhin gehörten zu den Aufgaben der SLV Berlin-Brandenburg die Erarbeitung von Prozessparametern und des Anforderungsprofils für eine mögliche Anlage, des Werkzeuges, einer entsprechenden Sensorik, sowie Werkzeugentwicklung und -bau. Genauere Angaben können im Arbeitspunkt (AP) 400 eingesehen werden.

#### **Arbeitsschwerpunkte**

Zu den wichtigsten Arbeitsschwerpunkten gehörten:

1. Spezifizierung der zu untersuchenden Strukturen
2. Ermittlung von Prozessparametern für reine Aluminiumverbindungen und für Mischverbindungen (Aluminium/Stahl)
3. Bestimmung der Anlagen- und Werkzeugparameter
4. Werkzeugentwicklung
5. Prototypische Anfertigung von Werkzeugen.



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship

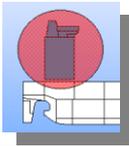


Diese Schwerpunkte konnten im Wesentlichen erfolgreich abgearbeitet werden. Einschränkungen gab (gibt) es bei den Aluminium/Stahl-Verbindungen. Hier konnten Fortschritte gemacht werden, aber die große industrielle Verwendbarkeit ist noch nicht zu 100 Prozent gegeben.

Ein Nutzen für den Anwender ist hier aber trotzdem vorhanden: Die Einführung von Rührreißchweißen für Leichtbaustrukturen im Schiffbau in Übereinstimmung mit dem Germanischen Lloyd (GL). Dazu gehören die Aluminium/Aluminium-Verbindungen, die in einer hochwertigen Qualität hergestellt werden konnten. Aber auch die Aluminium/Stahl-Verbindungen sind für den Anwender weiter interessant. Bestimmte Abmessungen, bestimmte Bereiche lassen sich in einer akzeptablen Qualität fügen, so dass zumindest erste Einsätze als Test möglich wären. Ein weiterer Aspekt ist, dass für künftige Anwendungen konstruktive und prozessseitige Lösungen erarbeitet werden konnten. Parameter und andere Daten sind bei den Projektpartnern vorhanden und können jederzeit abgerufen werden.

### **Ermittlung von Prozessparametern**

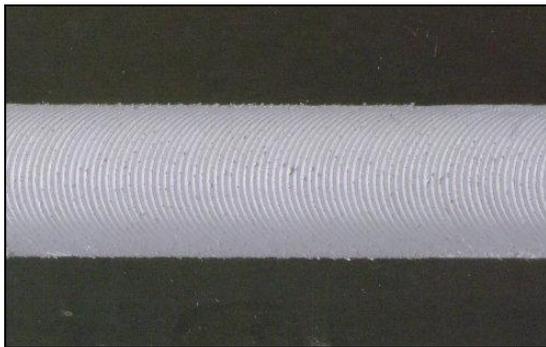
Die Ziele dieser Aufgabe waren die Erarbeitung der Prozessparameter und Aussagen zu dem Anforderungsprofil der benötigten Rührreißschweißanlage, der Werkzeuge und der Sensorik. Dazu wurden verschiedene Schweißversuche durchgeführt. Zum einen die reinen Aluminium/Aluminium-Verbindungen und zum anderen zusätzlich reine Stahl/Stahl-Verbindungen. Diese Versuche sollten helfen, optimale Voraussetzungen für die anstehenden Nachfolgeversuche an Aluminium/Stahl-Verbindungen zu schaffen. Für die Aluminium/Aluminium-Verbindungen wurden Werkzeuge aus warmfesten Werkzeugstahl (1.2344) verwendet. Dagegen wurden bei den Stahl/Stahl-Verbindungen zwei verschiedene Werkzeugwerkstoffe eingesetzt. Wolfram-Rhenium mit 5% Rheniumanteil (WRe5), ein beim Rührreißschweißen von Stahl sehr oft eingesetzter Werkstoff und eine neuartige Tantal-Basislegierung.



## Ergebnisse mit Werkzeugen aus Werkzeugstahl für die Aluminiumschweißungen

Die Ermittlung von stabilen Parametern konnte abgeschlossen werden. Dabei wurde festgestellt, dass geringere Drehzahlen deutlich bessere Ergebnisse brachten. Günstig erwies sich auch der Einsatz der Kraftsteuerung, beim Schweißen unter Positionssteuerung musste nachgeregelt werden. Diese Erkenntnis ist vor allem wichtig bei der Wahl einer späteren Einsatzmaschine für die Produktion. Eine zweite wesentliche Erkenntnis gehört zur Werkzeugentwicklung und -konstruktion bzw. zum Werkzeugbau: Die Werkzeuge (Schweißstifte) müssen strukturiert sein.

Letztlich konnten als Ergebnis Bleche geschweißt werden, die, neben guten Nahteigenschaften, auch ein gutes gleichmäßiges Nahtaussehen aufwiesen (Bild 2-1).

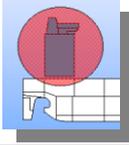


**Bild 2-1: Oberfläche einer Schweißung an 6,0 mm Aluminium (5083) mit Werkzeug aus 1.2344**

Die wichtigsten Parameter, die auch bei den folgenden Versuchen als Einstiegswerte Verwendung fanden, können der Tabelle 2-1 entnommen werden.

**Tabelle 2-1: Wichtige Parameter Aluminium**

Kraft in Z-Richtung (kN)	Drehzahl (U/min)	Eindringgeschwindigkeit (mm/min)	Verweilzeit Plastifizierung (sek)	Schweißgeschwindigkeit (mm/min)
18	750	20	1,0	150



## Ergebnisse mit Werkzeugen aus Wolfram-Rhenium (WRe5) für die Stahlschweißungen

Die Ermittlung von Parametern wurde noch einigen Versuchen abgebrochen, der Schweißvorgang lief sehr unruhig und war damit für einen späteren Einsatz an den Aluminium/Stahl-Verbindungen nicht unbedingt geeignet. Das Rührwerkzeug aus WRe wurde durch diesen unruhigen Lauf sehr stark belastet. Es waren Auswaschungen an der Schulter des Werkzeuges zu erkennen. Zum Schutz der Schweißnaht und des Werkzeuges vor Oxidation kam Argon zum Einsatz. Insgesamt ergab sich ein sehr grobes Nahtaussehen (Bild 2-2).



**Bild 2-2: Oberfläche einer Schweißung an 4,2 mm Schiffbaustahl mit Wolfram-Rhenium-Werkzeug**

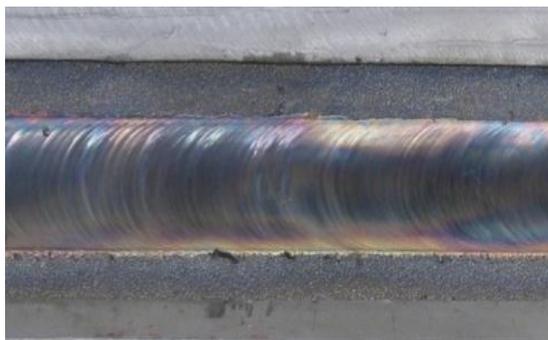
Da hier das gesamte Nahtaussehen und der Schweißvorgang an sich nicht den angestrebten Ergebnissen und Erwartungen entsprachen, wurde erst mal auf eine weitere Verwendung dieser Werkzeuge verzichtet. Wenn doch mit diesen Werkzeugen geschweißt werden sollte, wäre eine Vorwärmung beim Eintauchen des Werkzeuges empfehlenswert. Ein Pilotloch ist ungünstiger da der Rührstift beim Start zu sehr auf Abscherung belastet wird.

## Ergebnisse mit Werkzeugen aus der Tantal-Basislegierung für die Stahlschweißungen

Die Ermittlung von stabilen Parametern konnte hier mit guten Ergebnissen abgeschlossen werden. Die Versuche mit den Rührreibwerkzeugen aus Tantal (Ta) ließen sich mit anderen,



wesentlich günstigeren Parametern durchführen. Die Tantal-Werkzeuge waren auch nach mehreren Schweißversuchen noch intakt. Zum Schutz der Schweißnaht und des Werkzeuges vor Oxidation kam auch hier Argon zum Einsatz. Weitere positive Effekte, die sich während den Versuchen ergaben waren z.B. kein Anhaften der Schweißnähte an der Unterlage da diese mit einer Walzzunderhaut versehen war (wurde extra dafür beschafft). Die Röntgenauswertungen der Schweißnähte bescheinigten fehlerfreie Ergebnisse. Mehrere Biegeversuche über die Wurzellage ergaben eine hundertprozentige Erfassung der Wurzel, und damit die Erfassung der gesamten Blechdicke im Schweißnahtbereich. Hier konnte auch bei höheren Schweißgeschwindigkeiten ein feines Nahtaussehen bei gleichbleibender Qualität erreicht werden (Bild 2-3).



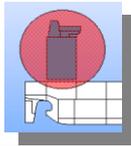
**Bild 2-3: Oberfläche einer Schweißung an 4,2 mm Schiffbaustahl mit Tantal-Werkzeug**

Eine Vorwärmung beim Eintauchen des Werkzeuges (zur Schonung) ist allerdings auch hier empfehlenswert. Die wichtigsten Parameter, die wiederum für die nachfolgenden Versuche als Einstiegswerte Verwendung finden sollen, sind aus der Tabelle 2-2 zu entnehmen.

**Tabelle 2-2: Wichtige Parameter Stahl**

Kraft in Z-Richtung (kN)	Drehzahl (U/min)	Eindringgeschwindigkeit (mm/min)	Verweilzeit Plastifizierung (sek)	Schweißgeschwindigkeit (mm/min)
20	700	10	0,5	120

Für diese ersten Schweißversuche in dem Projekt konnte teilweise auf Erfahrungen aus



anderen Projekten zurückgegriffen werden. Ziel war es vor allem erste Ansätze und Werte für die folgenden Schweißungen zu erhalten. Diese wurden in einem Versuchsplan (Tabelle 2-3, Gelb unterlegt) festgelegt.

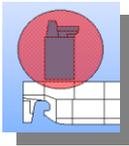
**Tabelle 2-3: Versuchsplan**

Konfiguration	Werkstoffe					Verantwortlich
	Cr-Ni-Mo-Stahl (1.4571)	GL-A36 (Deck)	AlMg45 (3.3547) (Seitenwand)	AlMg55 (Alustar)	AlMgS1 (3.2315)	
(1) Stumpfstoß Al/St	✓	✓	✓			GSI-SLV-BB
(1) Stumpfstoß Al/Al			✓	✓		GSI-SLV-BB
(2B) T-Stoß			✓	✓	✓	HZG
(3) TWB		✓ (falls möglich)	✓	✓	✓	HZG
(4) = (2A) Überlapp		✓	✓	✓		HZG

Bei diesen ersten Testschweißungen wurde Material verwendet, dass in seinen Eigenschaften den des späterem Einsatzmaterial entsprach und das zu dem Zeitpunkt in der SLV Berlin-Brandenburg vorhanden war. Das Originalmaterial war zu diesem Zeitpunkt noch nicht verfügbar, wurde aber sehr schnell von Abeking & Rasmussen zur Verfügung gestellt. Desweiteren wurden während dieser ersten Phase für die nachfolgenden Versuche die Werkzeuggeometrien festgelegt, Werkzeugwerkstoff beschafft und auch die ersten Werkzeuge hergestellt. Diese Versuche waren weiterhin notwendig um Rückschlüsse auf die Standfestigkeit und Haltbarkeit der Werkzeuge beim Einsatz an den kommenden Aluminium/Stahl-Verbindungen ziehen zu können.

**Erarbeitung von Parametern für die Verbindung Aluminium/Stahl**

Während die Aluminium/Aluminium-Verbindungen und die Stahl/Stahl-Verbindungen abgeschlossen werden konnten, für einige weiterführende Untersuchungen wurden nochmals Probebleche geschweißt (dies sowohl bei den Aluminium/Aluminium-



Verbindungen als auch bei den Stahl/Stahl-Verbindungen). Die Probebleche aus dem Aluminiumbereich wurden für weitere Untersuchungen an das HZG in Geesthacht geschickt.

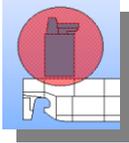
Aufgrund all dieser Versuche konnten optimale Voraussetzungen für die Nachfolgeversuche an den Aluminium/Stahl-Verbindungen geschaffen werden. Für die Stahl/Stahl-Verbindungen wurden wie beschrieben anfangs zwei unterschiedliche Werkzeugwerkstoffe eingesetzt:

1. Wolfram-Rhenium mit 5% Rhenium (WRe5)
2. Tantal-Basislegierung.

Die Ergebnisse dazu wurden auch schon ausführlich beschrieben und dokumentiert. Die Tantal-Basislegierung erwies sich bei den Versuchen als geeignet und sollte nun auch bei den Aluminium/Stahl-Verbindungen der favorisierte Werkstoff für die zu erarbeitenden Werkzeuge (Geometrien) sein. Allerdings stellten sich während den ersten Versuchen an Aluminium/Stahl unerwartet wesentliche Probleme mit der Haltbarkeit der Tantal-Werkzeuge ein.

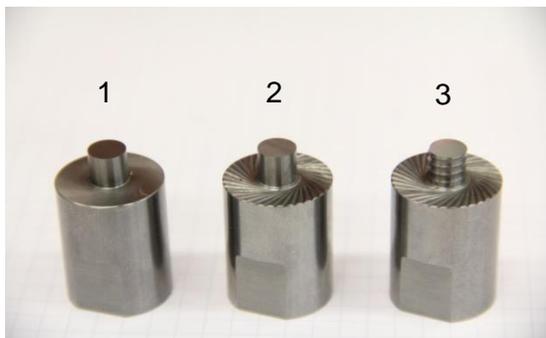
Eine kurze Erklärung zum Ablauf beim Rührreißschweißen von Verbindungen an Aluminium/Stahl: Die Werkzeuge werden asymmetrisch in der Schweißnaht geführt. Das Werkzeug arbeitet hauptsächlich im „weichen“ Aluminium. Der Stahl wird hingegen nur „angeschabt“. Man spricht dann von einer Aktivierung der Oberfläche. Es wird ca. 0.1 mm bis 0,3 mm im Stahl gearbeitet.

Hier könnte eine Ursache für die folgenden Probleme gelegen haben. Es zeigte sich, dass diese einseitige Belastung der Tantal-Werkzeuge zu deren völligen Zerstörung führte. Die Werkzeuge waren innerhalb kürzester Zeit abgenutzt (Bild 2-4). Diese Versuche wurden wiederholt um sicher zu gehen, dass das aufgetretene Problem nicht von einmaliger Natur war, sondern hier ein genereller Fehler vorlag.



**Bild 2-4: Zerstörtes Tantal-Werkzeug**

Deshalb wurde nach einer möglichen Lösung mit einem anderen Werkstoff gesucht. Es zeigte sich, dass Vollhartmetall (VHM) diese Haltbarkeit bei einseitiger Belastung aufbringen konnte. Bei allen weiteren Versuchen im Bearbeitungszeitraum an den Stahl/Aluminium-Verbindungen wurden diese Vollhartmetall-Werkzeuge mehr und mehr erfolgreich eingesetzt. Durch Erarbeitung von verschiedenen Geometrien wurden diese Werkzeuge immer haltbarer (Bild 2-5). Es konnten positive Effekte und Ergebnisse mit allen Werkzeugen erzielt werden, wobei meist aber immer nur ein Teil des Querschnitts der Schweißnaht voll angeschlossen werden konnte (Geometrie 1 und 2).



**Bild 2-5: Werkzeuge aus Vollhartmetall (Geometrie 1 bis 3)**

Bei den letzten Versuchen setzte sich das Werkzeug mit der Geometrie 3 weitestgehend durch (Bild 2-5). Damit wurden die besten Ergebnisse erzielt. Es gab auch noch andere Varianten der Werkzeuge, abweichend von den Geometrien 1 bis 3. Diese führten aber nicht zu einer Verbesserung der Ergebnisse und wurden nicht weiter erprobt. Weiterhin wurden auch verschiedene Blech-Geometrien getestet, z.B. besondere Nahtvorbereitungen der zu



verschweißenden Flanken am Aluminium bzw. am Stahl. Hier handelte es sich um bestimmte Winkelstellungen, die beim Schweißen Druck erzeugen sollten um die Anbindung des gesamten Querschnittes der Naht zu gewährleisten. Ebenfalls wurden „Rattermarken“ in den Flanken eingearbeitet. Diese sollten den Aktivierungsprozess auf der Nahtoberfläche verstärken. Allerdings konnte zu diesem Zeitpunkt noch nicht ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden.

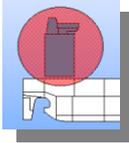
### **Kurze Zusammenfassung der ersten Ergebnisse mit Werkzeugen aus Vollhartmetall**

Es konnten nutzbare Parameter erarbeitet werden. Alle VHM-Werkzeuge waren auch nach mehreren Schweißversuchen noch intakt.

Die Röntgenauswertung der Schweißnähte brachte im Wesentlichen positive Ergebnisse. Im Bild 2-6 kann man die Erfassung des Stahles und die ins Aluminium eingeriebenen Partikel deutlich erkennen. Es gab hier allerdings Probleme bei der Erkennung von Tunneln. Die gleichen Schwierigkeiten bestanden auch in der Erkennung der Anbindung an den jeweiligen Fügepartner.

Desweiteren wurden Zug- und Biegeversuche durchgeführt. Hier zeigte sich sehr schnell das es zu Fehlern in den Schweißungen gekommen war, die so nicht bei der Röntgenprüfung erfasst wurden (Bild 2-7 und 2-8). Der Stahl konnte jeweils nur im unteren Drittel angebunden werden. Die Zugfestigkeiten lagen im normalen Bereich. Die Werte erreichten 200 MPa (214 MPa als höchster Wert, ein Ausreißer bei 158 MPa). Die Biegeproben zeigten allerdings die Fehler eindeutig auf. Bei den Untersuchungen konnte eine nicht hundertprozentige Erfassung der gesamten Blechdicke (obere Hälfte) beobachtet werden. Der Biegewinkel über der Wurzel ist bereits sehr groß, der Biegewinkel über die Decklage ist dagegen eher klein (Bild 2-9).

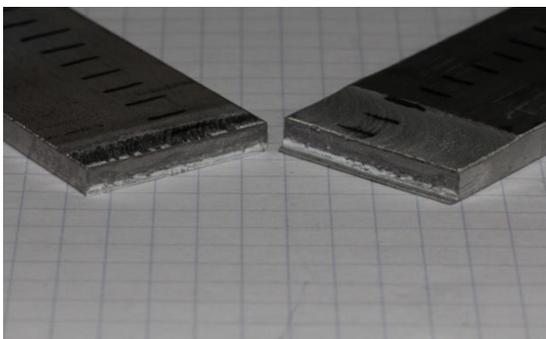
Bei den Schliffbildern wiederum waren keine gravierenden Fehler festzustellen (Bild 2-10). Anzumerken ist hier noch, dass in den Schliffen der helle Bereich immer die Aluminiumseite ist. Man kann dadurch deutlich die in die Aluminiumseite eingeriebenen Stahlpartikel erkennen.



**Bild 2-6: Röntgenauswertung**



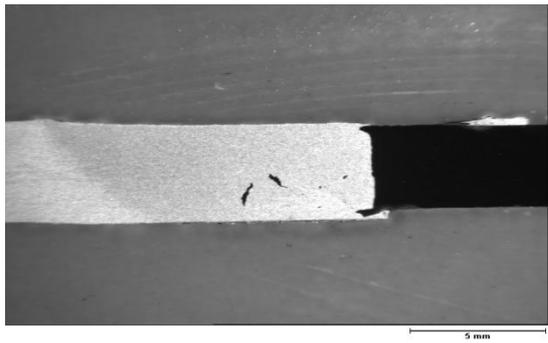
**Bild 2-7: Zugproben nach der Prüfung**



**Bild 2-8: Zugversuche, unteres Drittel ist angeschlossen**



**Bild 2-9: Biegeproben über Wurzel (erste und zweite Probe von oben) und über Decklage**



**Bild 2-10: Schliff, der helle Bereich ist Aluminium**

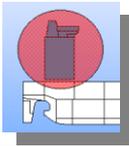
### **Fazit der ersten Versuche zu der Verbindung Aluminium/Stahl**

Es konnten weitgehend positive Erfahrungen gemacht und auch verwertbare Ergebnisse erzielt werden. Die eigentliche Problematik der ersten Versuche war die nicht zu einhundert Prozent gelungene Anbindung von Aluminium an Stahl. 30 oder auch 50 Prozent reichten für die Erfüllung der Aufgabenstellung nicht aus, obwohl die Zugversuche durchweg gute Ergebnisse erzielten. Bei den Biegeversuchen war dann allerdings ist ein eindeutiges Versagensbild ersichtlich. Die Schlitze dagegen waren als positiv zu beurteilen, allerdings kann man daraus den Grad der Verbindung nicht eindeutig beschreiben.

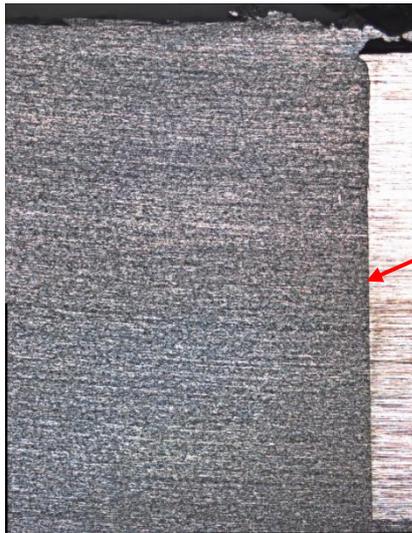
### **Weiterführende Versuche zu der Verbindung von Aluminium/Stahl**

In der letzten Phase des Projektes wurde von der SLV Berlin-Brandenburg in erster Linie an der Optimierung der Aluminium/Stahl-Verbindungen (als wichtigste Verbindungsvariante) gearbeitet. Um diese Problematik in den Griff zu bekommen wurden nochmals neue Werkzeuge konstruiert. Diese konnten mehr Druck auf den oberen Bereich der Fügestelle ausüben. Die Ergebnisse hier blieben auch wieder hinter den Erwartungen zurück. Weitere spezielle Nahtvorbereitungen, die ein besseres Arbeiten des Werkzeuges an den schwierigen Bereichen gewährleisten sollten, brachten ebenfalls nicht den gewünschten Erfolg.

Da die Arbeiten mit den Werkzeugen der Geometrie 3 (Bild 2-5) bei den den ersten Versuchen zumindest ansatzweise brauchbare Ergebnisse ergaben, wurden nochmals Untersuchungen mit diese Werkzeugen durch geführt.

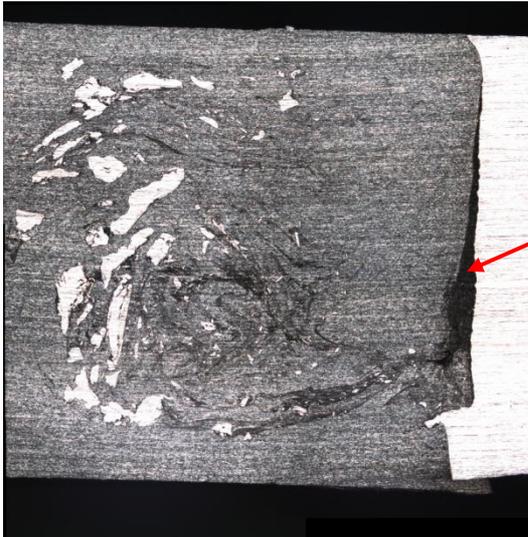
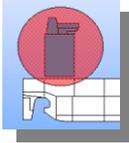


Die wichtigste Änderung hierbei war jetzt der Einsatz unserer Flachbettfräsmaschine für diese Versuche. Die ersten Tests wurden allerdings noch mit der Rührreibschweißmaschine durchgeführt, mit den ähnlichen schon bekannten Problemen der Anbindung (Bild 2-11), da ein Problem, dass die hier eingesetzte Rührreibschweißmaschine hat, noch nicht erkannt worden war.



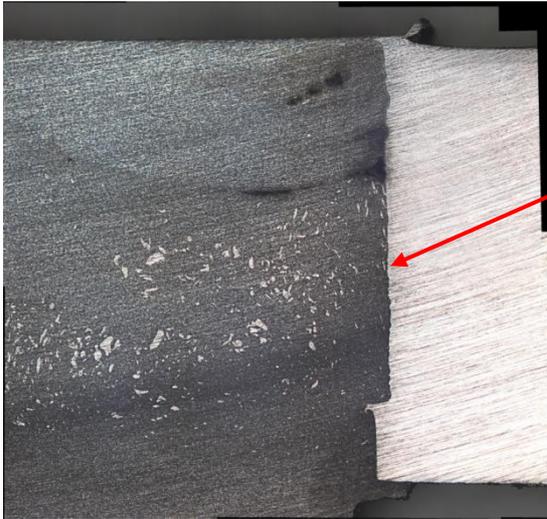
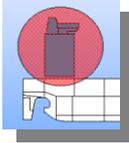
**Bild 2-11: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl (t = 6 mm),  
deutliche scharfe Trennungslinie (Pfeil)**

In den nächsten Versuchen wurden alle Kanten überfräst. Damit sollte ein hundertprozentiges Zusammenpassen der Fügepartner gewährleistet werden. Auch hier kam noch die Rührreibschweißmaschine zum Einsatz. Das Ergebnis war nicht wesentlich besser, teilweise mit sehr deutlichen Fehlern wie man im Bild 2-12 unschwer erkennen kann.



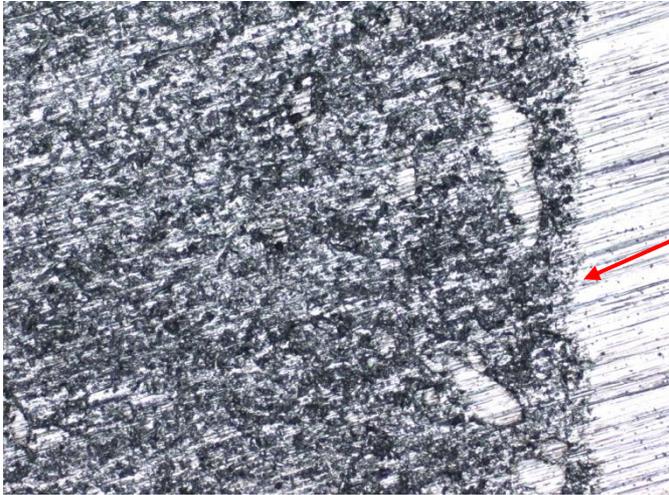
**Bild 2-12: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl ( $t = 6 \text{ mm}$ ),  
deutliche Fehler im Nahtbereich (Pfeil)**

Bei diesen Tests wurde als Problem herausgearbeitet, dass die Rührreibmaschine nicht gut die seitliche asymmetrische Position halten kann. Das Werkzeug wurde sozusagen zyklisch hin und her bewegt und kann dadurch nicht optimal mit der benötigten Kraft in der Fügezone wirken. Der Schweißstift wurde zwar gegen die Stahlflanke gedrückt aber das leichte Eindringen von ca. 0,1 bis 0,3 mm als Aktivierungsbereich wurde nicht erreicht. Die Führung der Y-Achse ist an ESAB-Anlage zu ungenau. Als Konsequenz wurde auf die TOLEDO-Flachbettfräsmaschine umgestiegen. Diese ist in Bereich der Y-Achse wesentlich genauer und auch robust genug. Gleich die ersten Versuche hier zeigten eine deutliche Verbesserung der Schweißnahtqualität (Bild 2-13).

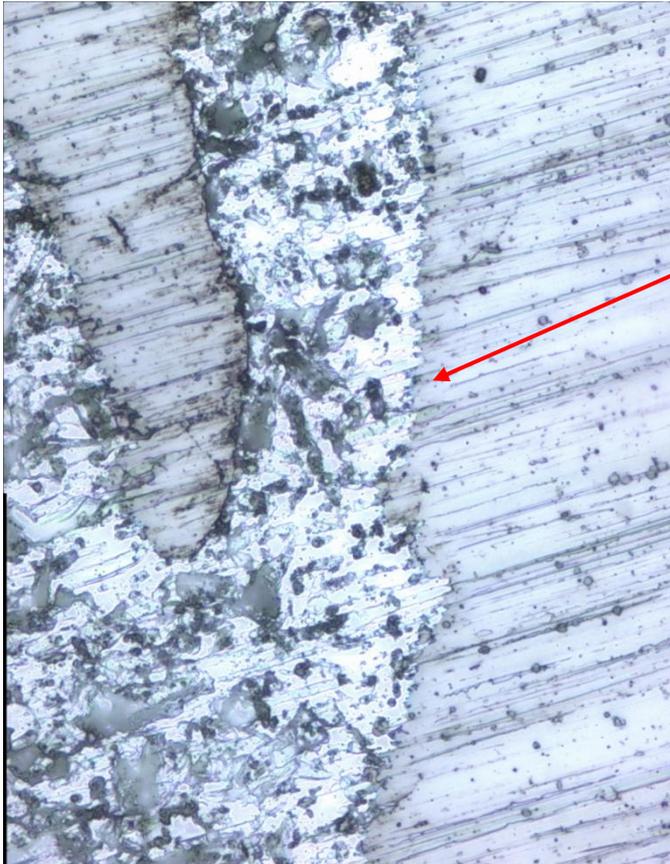
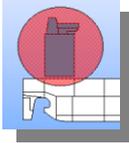


**Bild 2-13: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl ( $t = 8$  mm),  
keine scharfe Trennungslinie (Pfeil)**

Alle weiteren Versuche und die hergestellten Schiffe bestätigen diesen Trend. Es wurde mit 6 mm und auch mit 8 mm dicken CrNi-Stahl gearbeitet (Bilder 2-14 und 2-15).

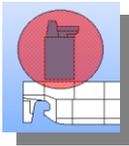


**Bild 2-14: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl ( $t = 8$  mm),  
keine scharfe Trennungslinie (Pfeil)**



**Bild 2-15: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl (t = 8 mm), keine scharfe Trennungslinie, deutliche Verbindungen bzw. Rührstrukturen sind erkennbar (Pfeil)**

Auf den folgenden Schliffbildern sind weitere positive Ergebnisse und Entwicklungen erkennbar. Bei den Versuchen wurde auch nach und nach auf eine größere Schweißnahtlänge abgezielt. Damit sollte der Eindruck vermieden werden, dass diese Arbeiten nur unter Laborbedingungen an kurzen Proben möglich ist. Für die Aluminium/Stahl-Verbindungen wurde letztlich immer eine Schweißnahtlänge von 1000 Millimeter herangezogen. Das war notwendig um bessere, praxisnahe Bedingungen zu erzeugen. Daraus ließen sich Erkenntnisse und Ergebnisse ableiten, die für einen späteren Einsatz wichtig werden können. Im Wesentlichen sind hier einmal die exakte Aufspannung (über eine lange Distanz) und das für den Prozess günstigeren Verschweißen von unterschiedlichen Blechdicken (z.B. Aluminium 8 mm, Stahl 6 mm). Zum Ersteren lässt sich folgendes sagen: Der Schweißstift muss beim Schweißvorgang sicher in seiner Position



Gefördert durch:



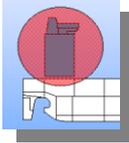
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

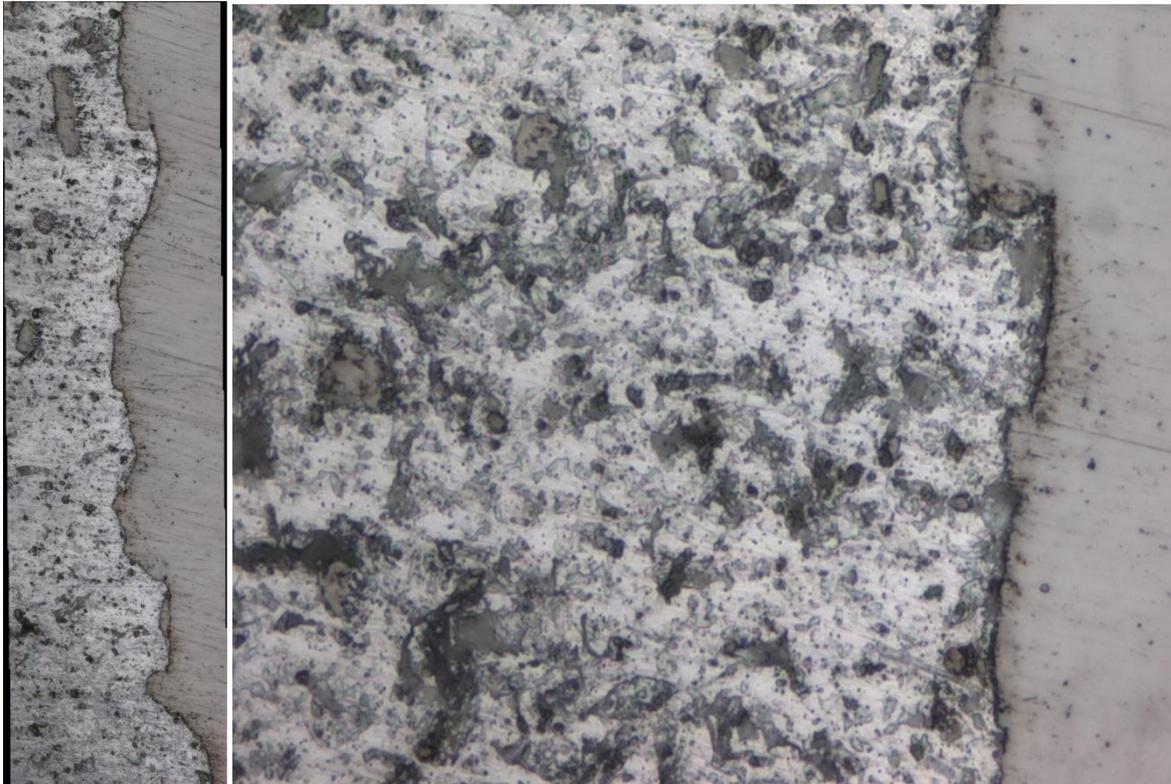
## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship



gehalten werden. Daraus folgen eine entsprechend genaue Aufspannung der Bauteile, sehr wichtig in der seitlichen Position (siehe hier die beschriebenen Probleme mit der Kraftsteuerung der ESAB-Anlage) und eine steife Maschinenkonstruktion in Verbindung mit dem Rührreibwerkzeug. Zu den unterschiedlichen Blechdicken führte die Überlegung, dass es für das Werkzeug besser ist auf eine Art Pufferschicht aus Aluminium zu arbeiten. Diese Methode führte zu relativer Verschleißfreiheit und damit zu einer längeren Lebensdauer der Werkzeuge. Zusätzlich wurde auf der Schweißunterlage in Längsrichtung (Schweißrichtung) eine 1 Millimeter tiefe Stufe gefräst die gleichzeitig zur besseren Positionierung diente. Am Beispiel Aluminium 8 mm, Stahl 6 mm würde das heißen: Das Aluminiumblech wird gegen die Stufe geschoben und verspannt. Danach wird das Stahlblech gegen das Aluminiumblech geschoben und ebenfalls verspannt. Das heißt, die Längskante des Stahlbleches sitzt genau in der Mitte der Längskante des Aluminiumbleches. Geschweißt wurde dann so, dass die Gleichlaufseite der Schweißnaht (advancing side of weld) immer aluminiumseitig und die Gegenlaufseite der Schweißnaht (retreating side of weld) immer stahlseitig ist. Damit wurde gewährleistet, dass das Werkzeug zum Stahl dreht, daraus folgt die Aktivierung der dortigen Oberfläche mit einem seitlichen Eindringen des Schweißstiftes von ca. 0,1 Millimeter. Durch den oberen Überstand des Aluminiumbleches von einem Millimeter über dem Stahlblech wurde beim Schweißen dann ein Puffer gebildet auf dem die Werkzeugschulter verschleißfrei geführt werden konnte. Der entstehende Grat wurde nach Abschluss des Schweißvorganges abgearbeitet. Der untere Überstand bewirkte eine bessere Positionierung (Fixierung gegen die Stufe in der Unterlage) und verhinderte ein Anhaften bzw. Verschweißen der Bleche mit der Unterlage.



**Bild 2-15: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl ( $t = 8 \text{ mm}$ ), ebenfalls keine scharfe Trennungslinie, deutliche Verbindungen bzw. Rührstrukturen sind erkennbar (Pfeil)**



**Bild 2-16: Verrührte und angebundene Strukturen**



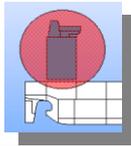
**Bild 2-17: Schliff, der helle Bereich ist CrNi-Stahl ( $t = 8 \text{ mm}$ ), ebenfalls keine scharfe Trennungslinie, deutliche Verbindungen bzw. Rührstrukturen sind erkennbar (Pfeil)**

Alle Ergebnisse waren reproduzierbar und konnten auch später immer wiederholt werden. Interessant war, dass diese Ergebnisse auch an 8 mm dicken CrNi-Stahl erreicht wurden. Dabei stellte sich heraus, dass hier ca. 80 bis 90 Prozent der Nahtfläche fehlerfrei angebunden wurden.

Auch die Biegeprüfungen ergaben jetzt bessere Werte als bei den vorangegangenen Versuchen (Bild 2-17).



**Bild 2-18: Biegeversuch (rechts CrNi-Stahl)**



Bei den abschließenden Versuchen wurden die geschweißten Bleche auf eine einheitliche Dicke gefräst bzw. es wurde der Nahtbereich überfräst. Die dickeren CrNi-Bleche (8 mm) erlaubten es auf 6 mm Materialdicke (oder 6 mm Dicke im Nahtbereich) herunter zu fräsen. Dadurch konnten bei den Zug- und Biegeprüfungen eindeutige bessere Ergebnisse erzielt werden. Die Schlibfbilder dazu zeigten durchweg gute Ergebnisse (siehe Schlibfbilder oben). Die Röntgenuntersuchen waren als ebenfalls positiv zu bewerten.

Die wichtigsten Parameter die bei den Versuchen für die Aluminium/Stahlverbindungen als Einstiegswerte ermittelt wurden können aus den Tabellen 2-4 und 2-5 zu entnehmen.

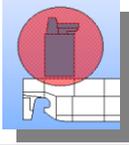
Für die Versuchsschweißungen wurde ausschließlich Material verwendet, das in seinen Eigenschaften den des späterem Einsatzmaterial entspricht. Desweiteren wurde Originalmaterial verwendet, das vom Projektpartner Abeking & Rasmussen zur Verfügung gestellt wurde.

**Tabelle 2-4: Wichtige Parameter Aluminium/Stahl (8mm gegen 6 mm)**

Werkzeug Position (mm)	Drehzahl (U/min)	Eindringgeschwindigkeit (mm/min)	Verweilzeit Plastifizierung (sek)	Arbeit im Stahl (mm)	Schweißgeschwindigkeit (mm/min)
-7,0	800	10	0,0	0,5	150

**Tabelle 2-5: Wichtige Parameter Aluminium/Stahl (10mm gegen 8 mm)**

Werkzeug Position (mm)	Drehzahl (U/min)	Eindringgeschwindigkeit (mm/min)	Verweilzeit Plastifizierung (sek)	Arbeit im Stahl (mm)	Schweißgeschwindigkeit (mm/min)
-9,0	900	10	1,0	0,5	100



## Fazit der abschließenden Versuche zu der Verbindung Aluminium/Stahl

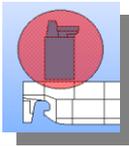
Als wichtigste Ergebnisse bzw. Erkenntnisse im Teilprojekt 4 können folgende Sachverhalte zu den Aluminium/Stahl-Verbindungen angeführt werden:

1. Ermittlung der einsetzbaren Werkzeugwerkstoffe
2. Ermittlung der Einsatzkriterien für die dazu notwendige Rührreibschweiß-Anlage
3. Erarbeitung von geeigneten Prozessparametern
4. Erarbeitung einer geeigneten Spannvorrichtung/Unterlage
5. Herstellung von brauchbaren Verbindungen
6. Verschickung von geschweißten Blechen an Abeking & Rasmussen für die Herstellung eines Mock-ups.

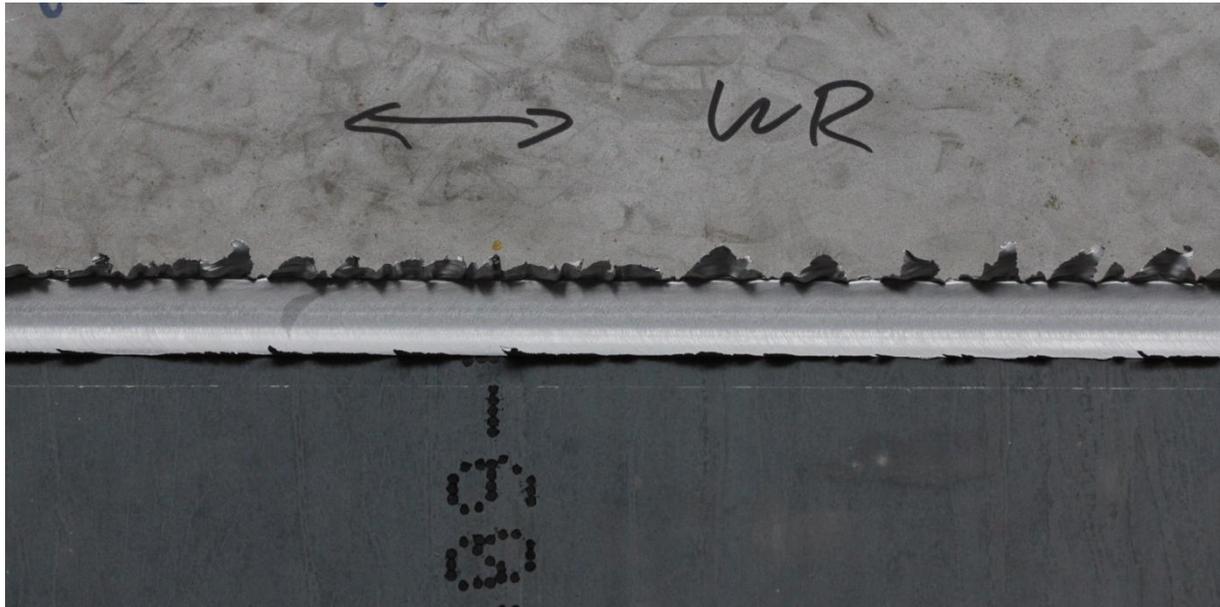
Es wurden, wie beschrieben, Bleche bis einem Meter Länge geschweißt (Bild 2-19). Diese Schweißungen konnten ohne Probleme immer wiederholt werden. Zu achten war dabei allerdings auf eine exakte, nicht verrückbare Fixierung.



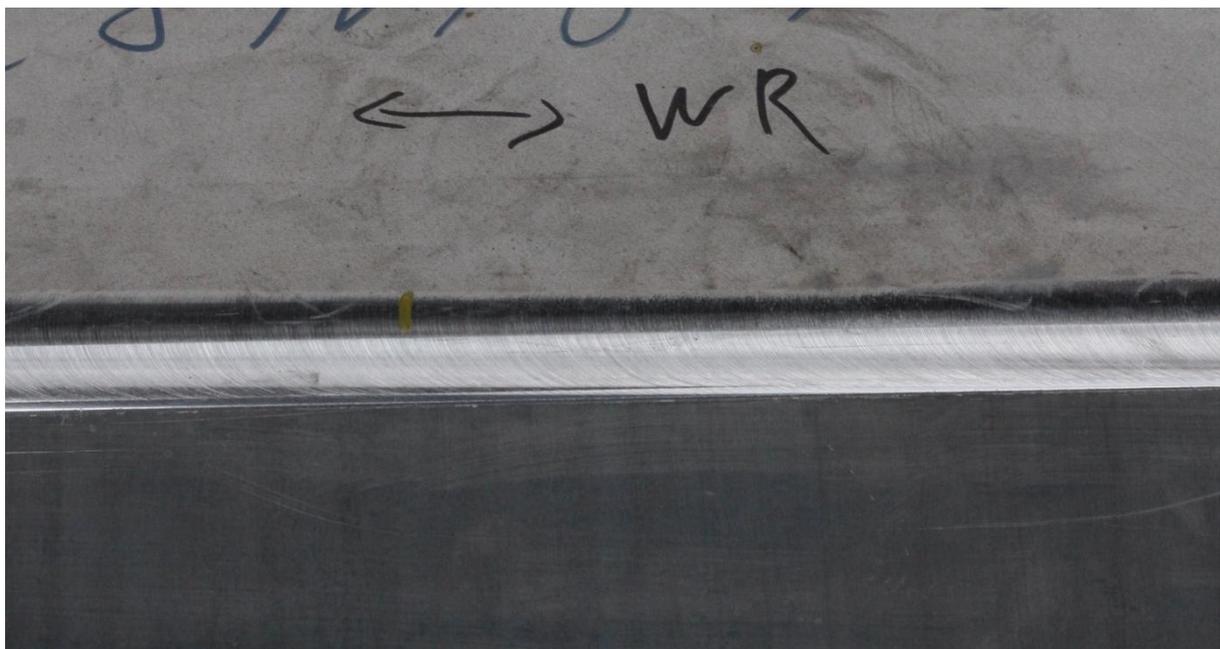
Bild 2-19: Aluminium/Stahl-Verbindung (oberhalb der Schweißnaht CrNi-Stahl)



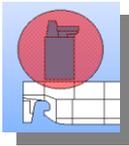
Bei den Schweißungen traten auf Grund der unterschiedlichen Blechstärken (Aluminium dicker als Stahl, siehe auch die detaillierte Beschreibung dazu) teilweise starke Gratbildungen auf. Dieser Grat wurde nach Abschluss der Schweißung abgearbeitet (Bilder 2-20 und 2-21).



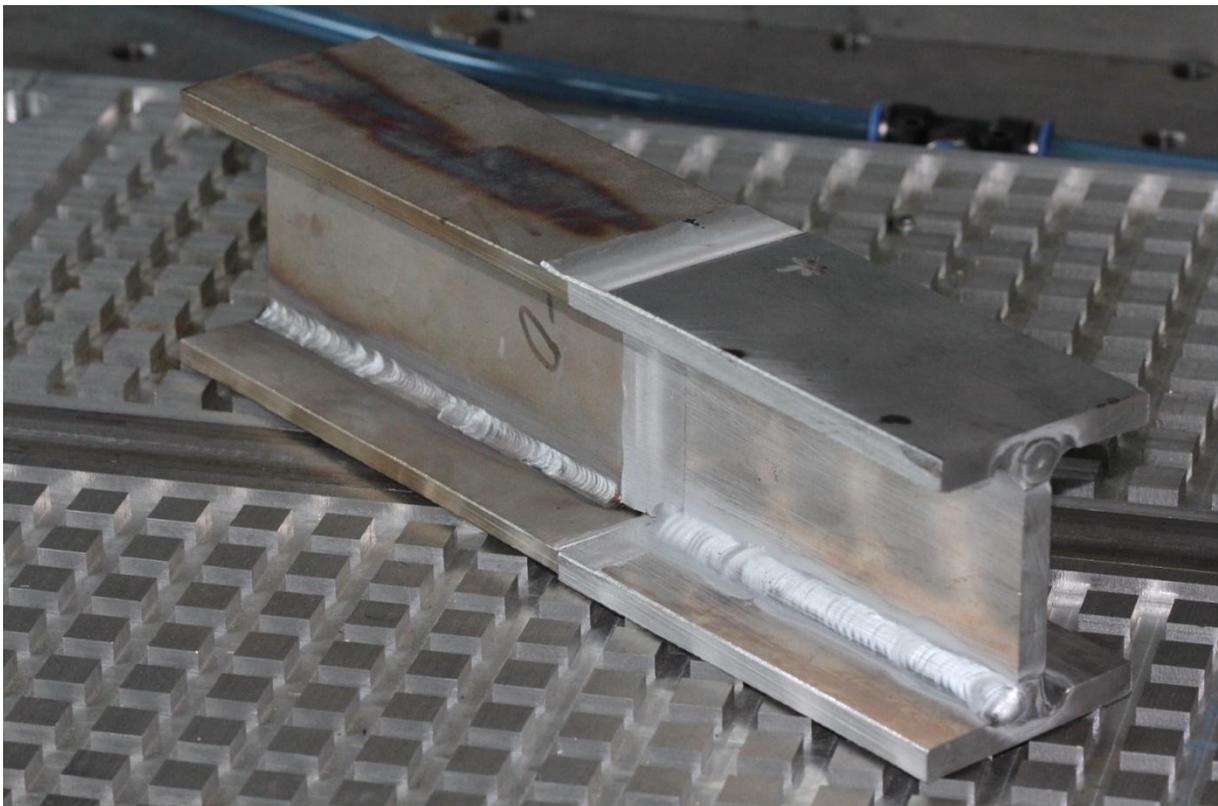
**Bild 2-20: Aluminium/Stahl-Verbindung mit Grat (oberhalb der Schweißnaht CrNi-Stahl)**



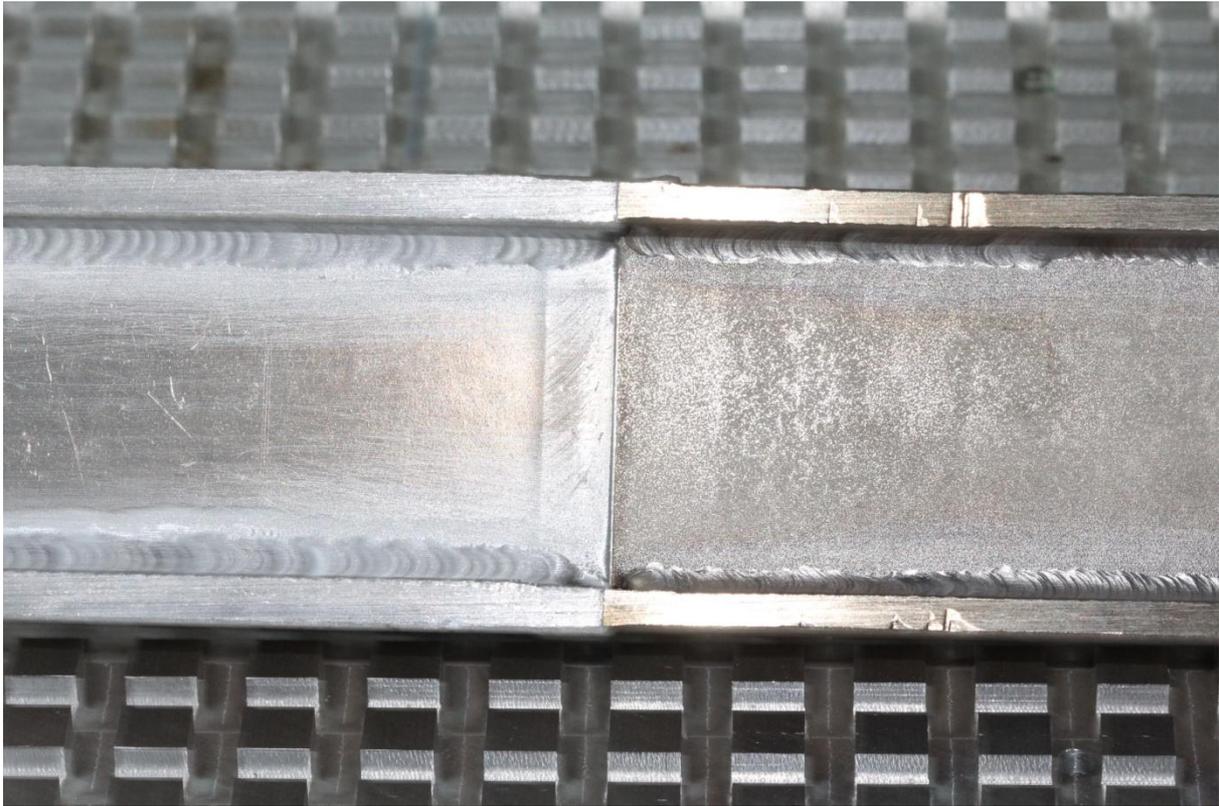
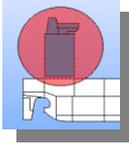
**Bild 2-21: Aluminium/Stahl-Verbindung, Nahtbereich gefräst (oberhalb der Schweißnaht CrNi-Stahl)**



Um im Vorfeld der Mock-up-Herstellung zu dem Schweißverhalten dieser Verbindungen gewisse Erkenntnisse zu erlangen wurde ein kleiner Testkörper gebaut. Mit dem Schweißverhalten sind in dem Falle herkömmliche Schmelzschweißverfahren gemeint. Diese sind notwendig, da sich an den rührreibgeschweißten Bauteilen natürlich andere Baugruppen anschließen sollen, die dort schweißtechnisch verbunden werden müssen. Bei artgleichen Materialien stellt das auch weiter kein Problem dar, bei den Aluminium/Stahl-Verbindungen aber sind bestimmte Kriterien zu beachten. Aufgrund der unterschiedlichen Schmelztemperaturen von Aluminium (ca. 650 °C) und Stahl (ca. 1500°C) könnte es zu Problemen beim Schweißen der einzelnen Komponenten kommen, auch wenn diese natürlich separat geschweißt werden. Es stellten sich zwei Fragen: Erstens, wie dicht kann vom Stahl zum Aluminium (oder umgekehrt) geschweißt werden ohne das es zu Ablösungen kommt. Und Zweitens, kommt es zu Verformungen die durch den Wärmeverzug bedingt sind. Auf den folgenden Bildern (2-22, 2-23) ist der Probekörper dargestellt.

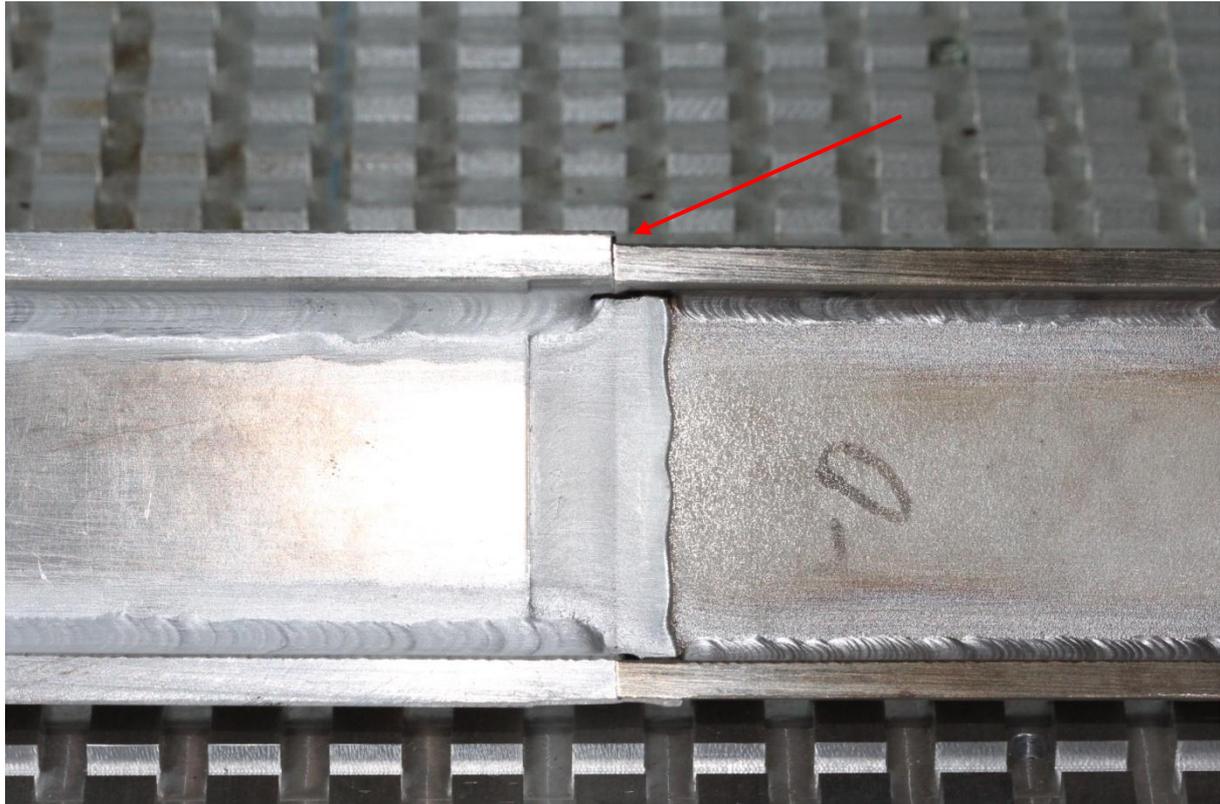
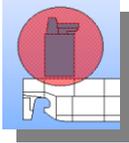


**Bild 2-22: Probekörper aus Blechen einer Aluminium/Stahl-Verbindung**



**Bild 2-23: Probekörper aus Blechen einer Aluminium/Stahl-Verbindung, seitliche Draufsicht**

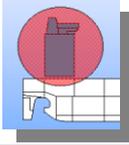
Die Erkenntnis aus der ersten Problematik konnte als positiv bewertet werden. Es gab keine Ablösungen im Bereich der FSW-Naht. Man konnte die Schmelzschweißnaht (WIG-Verfahren) sehr dicht platzieren. In der Praxis sollte aber auch hier ein gewisser Abstand gehalten werden da sich dieses Ergebnis auf einen Probekörper bezieht. Als problematisch erwies sich allerdings der Wärmeverzug. Hier ist es unbedingt notwendig einen geeigneten Abstand zur FSW-Naht einzuhalten, weil der Wärmeverzug im CrNi-Blech in der Lage war, die Aluminium/Stahl-Verbindung zu lösen (Bild 2-24).



**Bild 2-24: Probekörper aus Blechen einer Aluminium/Stahl-Verbindung, Zerstörung der FSW-Naht durch größeren Wärmeverzug im CrNi-Blech (Pfeil)**

## Zusammenfassung

Die im Teilprojekt 4 zu bearbeiteten Problemstellung und Aufgaben konnten durch die GSI-SLV Berlin-Brandenburg im Wesentlichen erfüllt werden. Parameter und Testbleche der Aluminium/Aluminium-Verbindungen wurden in der geforderten Qualität erarbeitet bzw. gefertigt und konnten den Projektpartnern zur weiteren Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden. Teilweise kam aber auch es zu erheblichen Verzögerungen, die vor allem in der Werkzeugproblematik für die Mischverbindung Aluminium/Stahl zu suchen war. Entgegen anderer Annahmen aber auch Erkenntnissen aus Testschweißungen konnten die zuerst favorisierten Werkstoffe nicht eingesetzt werden. Dies bedeutete eine neuerliche Suche und eine sich daran anschließende Testphase für neue Materialien und den daraus hergestellten Werkzeugen. Auch musste die Werkzeugkonstruktion mehrfach geändert werden. Letztlich konnten mit Einführung der VHM-Werkzeuge (Voll-Hart-Metall) und dem Einsatz der



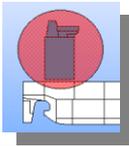
TOLEDO-Anlage (Fräsmaschine) zum Rührreibschweißen doch brauchbare Ergebnisse erzielt werden. Der Schweißprozess (Bild 2-25) konnte immer weiter verbessert und stabilisiert werden, reproduzierbare Parameter konnten erarbeitet werden.



**Bild 2-25: Aluminium/Stahl-Verbindung, während des Schweißprozesses**

Es wurden Bleche für den Bau eines Mock-ups hergestellt und an die Projektpartner (hier Abeking & Rasmussen) verschickt.

Trotz der sich positiv darstellenden Ergebnissituation muss darauf verwiesen werden, dass die Aluminium/Stahl-Verbindungen noch nicht für den industriellen Großeinsatz geeignet sind. Die Problematik des nicht hundertprozentigen Anbindens bestimmter Bereiche ist nach wie vor gegeben, auch wenn bei unseren Versuchen diese Fehlerart weitestgehend eingeschränkt wurde. Es reichen gewisse Ungängen aus um eine Kerbwirkung zu erzeugen, die dann zum Versagen der Naht führen kann. Eine Lösungsvariante wäre das Abarbeiten (Fräsen) der dafür anfälligen Bereiche nach dem Schweißprozess. Ein weiteres Problem ist



Gefördert durch:  
Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für Schiffsaufbauten - FSW - Ship



der Wärmeverzug der einzelnen Werkstoffkomponenten. Hier muss sichergestellt werden, dass der Einfluss beim Schmelzschweißen gegenüber der FSW-Naht (nur bei den Aluminium/Stahl-Verbindungen) gering bleibt. Das kann aber nur in der Praxis erprobt werden und war deshalb auch nicht Gegenstand dieses Projektes. Die GSI-SLV Berlin-Brandenburg wird sich weiter diesem Problem annehmen.

### 2.2 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für die GSI mbH, Niederlassung SLV Berlin-Brandenburg erschließen sich durch die Umsetzung der technischen und technologischen Innovationen, Ergebnissen und Erkenntnisse neue Geschäftsfelder. Dies kann sowohl die Industrieforschung als auch die öffentlich geförderte Forschung betreffen. Die Aktivitäten der GSI-SLV Berlin-Brandenburg werden u.a. auf dem maritimen Bereich ausgeweitet. Zusätzlich können neue Kunden gewonnen und eventuelle Folgeforschungen platziert werden. Bei der Beratungstätigkeit wird auf dem neusten und auch belegbaren Wissen zurückgegriffen. Weiterhin wird die fachliche Kompetenz hinsichtlich des FSW-Schweißens grundsätzlich vertieft, das vorhandene technologische Know-how kann erweitert und bei anderen Aufgabenstellungen genutzt werden. Diese sind z.B.:

1. Gestaltung von Werkzeugen
2. Anforderungen an Werkzeuge in Abhängigkeit der Fügeaufgabe
3. Auswahl von Werkzeug-Werkstoffen
4. Zusammenhang von Schweißnahtgeometrie und Schweißnahtqualität
5. Erweiterung der Palette der schweißbaren Materialien
6. Mischverbindungen.

Eine Vielzahl von Erkenntnissen konnte schon praktisch angewandt werden, andere Anwendungen werden erarbeitet. Die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern soll über



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Rührreibgeschweißte Leichtbaustrukturen für  
Schiffsaufbauten - FSW - Ship

**GSI SLV**  
Berlin-Brandenburg

den Projektzeitraum hinaus erhalten bleiben, um weitere fügetechnische Probleme (hauptsächlich im maritimen Bereich, aber nicht nur) zu erkennen und diese dann mit dem FSW-Prozess in weiterführenden gemeinsamen Projekten bearbeiten zu können.

### **2.3 Bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Projektes bei anderen Stellen**

Neue Erkenntnisse oder Ergebnisse von Außenstehenden (andere Institute usw.), die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind, wurden im Berichtszeitraum nicht bekannt. Ebenfalls ist ein industrieller Einsatz von rührreibgeschweißten Aluminium/Stahl-Verbindungen (Stumpfstöße) nicht bekannt geworden. Bisherige Veröffentlichungen beziehen sich auf Arbeiten mit meist dünnen Blechen (ca.  $t = 1 \text{ mm}$ ) und unter absoluten Laborbedingungen geschweißten Proben mit auch sehr kleinen Längen (ca. 50 mm).

### **2.4 Geplante Veröffentlichungen der GSI-SLV Berlin-Brandenburg**

Von Seiten SLV Berlin-Brandenburg ist eine Veröffentlichung eines Artikels in der branchenüblichen Presse vorgesehen. Das wären die „Schweißen und Schneiden“ und der „Praktiker“. Der Kontakt und Zugang zu diesen Fachzeitschriften erfolgt über den DVS (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren). Zusätzlich ist mit allen Projektpartnern eine öffentliche Präsentation der Ergebnisse beim HZG (Helmholtz Zentrum Geesthacht) geplant.

Ralf Boywitt, Projektleiter

Berlin, 10.03.2013