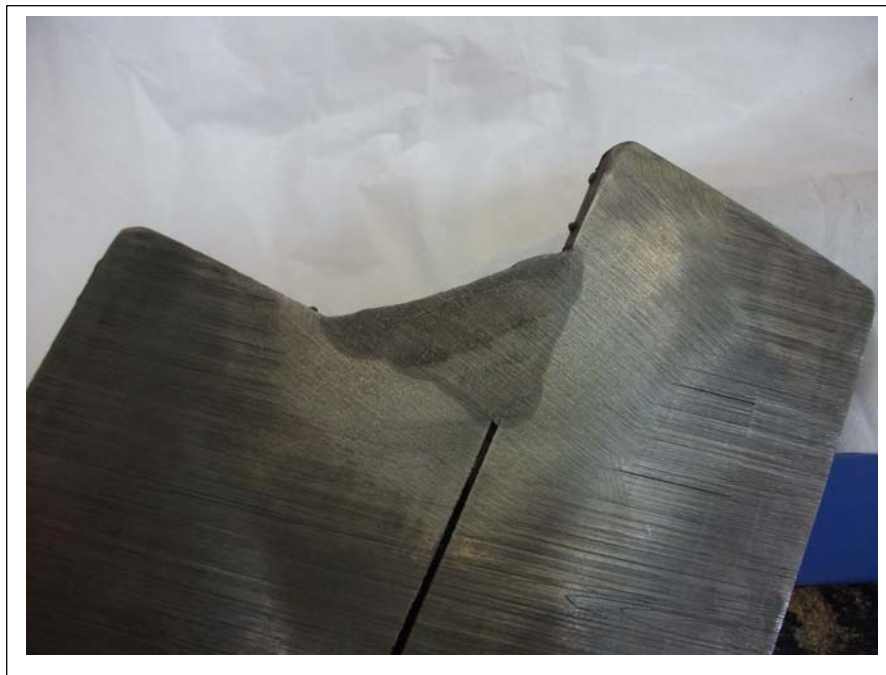


## **Forschungsprojekt KU2700201TL0 Entwicklung der technologischen Voraussetzungen für das Elektrodenhandschweißen und das MAG-Fülldrahtschweißen in Überdruck**

Projektkoordinator Schweißfachingenieur: Gunnar Retzlaff  
12 Oktober 2012

### **Abschlussbericht Für den Zeitraum 01.08.2011 bis 31.07.2012**



#### **1. Entwicklung der technologischen Voraussetzungen für das hyperbare Schweißen mittels Elektroden- bzw. Fülldraht-Handschweißen**

Gemeinsam mit den Kooperationspartnern wurden die Rahmenbedingungen für die Schweißanforderungen besprochen und detailliert definiert. (siehe Zwischenbericht)

In Abstimmung mit dem Hersteller von Tunnelvortriebsmaschinen, der Firma Herrenknecht AG in Schwanau, konzentrierten wir uns auf den Werkstoff S 355.

Für das Schweißen dieses Werkstoffes in Überdruck und unter Berücksichtigung zu erwartender Montagebedingungen, wie feuchte Umgebung und/oder schlechte Bewitterung sowie Verschmutzungen vor Ort, wurden insbesondere basische Schweißelektroden der Firmen ESAB, Oerlikon und Böhler Schweißtechnik ausgewählt.

- 1.ESAB OK 53.16 Spezial
- 2.Oerlikon Spezial
- 3.Böhler Phoenix Spezial

Für das Schweißen mit Fülldraht-Schweißelektroden wurde unter dem Gesichtspunkt zu erwartender Rauchgase und der möglichen Vor-Ort-Bedingungen dem geschlossenen Metallpulverfülldraht der Vorzug für die Tests gegeben:

- 1.Stein - MEGAFIL 710 M
- 2.FILEUR - AMC 01

Als geeignete Schweißgerätetechnik wurde eine schweißtechnische Kombination der Firma AMT Aachen eingesetzt.

Die Ziele mit den Qualitätsanforderungen wurden definiert für den Verfahrens- und Produktionseinsatz, insbesondere der Anwendungsbereich Schneidarme der Schneidräder von Tunnelbohrmaschinen.



## 2. Spezifizierung einer geeigneten technischen Einrichtung für die Schweißuntersuchungen

### Die Druckkammer:

In einem ersten Schritt wurde die Verfügbarkeit einer geeigneten Druckkammer ermittelt.

Eingesetzt wurde eine Druckkammer der Nordseetaucher GmbH mit einem maximalen Überdruck von bis zu 5,5bar. Mit den Beteiligten des Forschungsvorhabens wurde die notwendige technische Ausstattung für die Schweißversuche festgelegt.

Die erforderliche Gerätetechnik für das Fülldraht-Schweißen wurde in die Kammer integriert und die erforderlichen Kabel und Schläuche mittels eines Flansches in die Kammer eingeführt.

Als Schweißgerätetechnik wurden schweißtechnische Komponenten der Firmen AMT Aachen eingesetzt.

Eine Atemluftversorgungsanlage für die Taucher und Techniker, Messtechnik für die Druck- und Atemgasüberwachung, sowie die Technik für die Absaugung der Schweißgase über als auch unter dem Schweißtisch wurden installiert.

Zusätzlich wurden eine permanente Kommunikation mittels Sprechverbindung mit den Tauchern und Technikern in der Druckkammer während der Schweißversuche, sowie eine Videoüberwachung eingebaut.



Die Druckkammer wurde durch den Germanischen Lloyd abgenommen und für Schweißversuche freigegeben.

### 3. Bestimmung des Schutzgasdurchflusses beim Schweißen in Räumen mit Überdruck

In Zusammenarbeit mit dem Air Liquide Unternehmen, der ALTEC GmbH, wurde eine Bestimmung des Schutzgasdurchflusses beim Schweißen in Räumen mit atmosphärischem Überdruck von bis zu 5,5 bar, vorgenommen.

Dabei wurden zwei mögliche Varianten durchgespielt:

- a) Das Messröhrchen bzw. der Druckminderer befindet sich innerhalb des Überdrucks
- b) Das Messröhrchen bzw. der Druckminderer befindet sich außerhalb des Überdrucks

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, dass die Schweißstromquellen und Druckminderer aus arbeitssicherheitstechnischen Gründen sich außerhalb des Überdruckbereiches befinden sollten, wurden im Zwischenbericht dargestellt.

#### 4. Tests mit verschiedenen Elektroden-Typen beim hyperbaren Elektroden-Handschiessen für den Werkstoff S 355 :

Für die Tests wurde die Entwicklung der Schweißanweisungen Welding Procedure Specification (WPS) entsprechend Arbeitspaket 7 „**Entwicklung der Schweißtechnologie für das hyperbare Elektroden-Handschiessen**“ vorgezogen.

Die Schweißanweisungen (WPS) wurden in Abhängigkeit der unter Punkt 1 des Zwischenberichts festgelegten Elektrodentypen, dem Überdruck, der Schweißposition, dem Werkstoff (Stahl S 355), der Blechdicke und den damit eventuell notwendigen Vorwärmtemperaturen entwickelt sowie die Schweißnahtprüfungen festgelegt.

#### 5. Verfahrensbeschreibung: MSG (MAG/MAG-F)-MOG-Schiessen in Überdruck

Metall-Schutzgasschweißverfahren (MSG) sowie MOG (ohne Schutzgas, mit selbstschützendem Fülldraht) in Überdruck bis 20 bar mittels Schweißzusatzwerkstoff (Massiv-oder Fülldraht), unter Verwendung speziell dafür entwickelter, überdrucktauglicher Schweiß-Gerätetechnik der Firma AMT Aachen GmbH.

Dazu gehören:

MAG : Metall-Aktivgasschweißen, Verfahrens-Nr. 135

MAG-F: Metall-Aktivgasschweißen mit Fülldraht , Verfahrens-Nr.136

MIG : Metall-Inertgasschweißen, Verfahrens-Nr. 131

MOG: ohne Schutzgas, mit selbstschützendem Fülldraht

Außerhalb des Überdruck-Bereiches befinden sich:

Die kombinierte AMT- Schweißstromquelle Hyperbar 600 für das E-Hand- und das Metall Schutzgasschweißen.

Diese ist aus Arbeitssicherheitsgründen mit einer Leerlaufspannungsbegrenzung von max.65 V und einem Kabel mit NOT-AUS-Druckknopf für den Anlagenfahrer ausgestattet sowie eine Gasflasche mit Schutzgas und Druckminderer.



Durch spezielle Flanschverbindungen an der Druckwand werden alle Schweißkabel, Massekabel, Fernreglerkabel, Schutzgasschlauch, Atemluft, Reserveluft, Absaugung, Kommunikation, Licht , Video usw. in den Überdruckbereich geführt und dort bei Bedarf mit überdruck-tauglichem AMT-Drahtvorschubkoffer mit integriertem Schutzgasmengen-Regler und Schweißbrenner (wassergekühlter MAG-Brenner, 4m oder wassergekühlter Push-Pull-Brenner, 8m), mit Vorwärmatten sowie mit dem Fernregler für Stromstärke und Drahtvorschubgeschwindigkeit, dem integrierten NOT-AUS – Druckknopf für den Schweißer und mit dem Schweißer-Druckluft-Helm verbunden.





## 6. Abschlussbericht

Die Ergebnisse der Abarbeitung der Arbeitspakete AP 1 – AP 7 sind in dem Zwischenbericht vom 26. Juli 2011 zusammengefasst und wurden der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. bzw. der AiF Projekt GmbH bereits übermittelt.

Bei diesem Abschlussbericht konzentrieren wir uns deshalb auf die Arbeitspakete AP 8 - AP 14 bzw. auf Ergebnisse des Zeitraumes 01.08.2011 bis 31.07.2012 und fassen die wichtigsten Erkenntnisse zusammen.

Wir weisen darauf hin, dass einige der Betrachtungen zu den gewonnenen Erkenntnissen nur allgemein formuliert werden können, da noch nicht alle technischen und technologischen Ergebnisse als Gebrauchsmuster, bzw. als Patent geschützt, angemeldet sind.

**6.1** Da es Regeln und Zertifikate für das Schweißen unter atmosphärischen Bedingungen und auch für das Schweißen Unterwasser gibt, aber bis heute keine für das Schweißen in Überdruck, wurde zur Auswertung der Schweißergebnisse die DIN EN ISO 5817, Ausgabe Oktober 2006, „Schweißen-Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahl-schweißen) -Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003+Cor.1: 2006); Deutsche Fassung EN ISO 5817: 2003 +AC:2006“ Bewertungsgruppe C, herangezogen. **(Anlage 2)**

Die Auswertung der Schweißergebnisse durch zerstörende Prüfungen ergab, dass es keine gravierenden Qualitätsunterschiede bzw. kaum unterschiedliche Schweißnahtgüten bei Proben, die bei 3,5 und bei 5bar Überdruck geschweißt wurden, festgestellt werden konnten.

Als positiv wurde bei der Auswertung der zerstörenden Prüfungen bemerkt, dass mit zunehmenden Überdruck der Lichtbogen beim Schweißen eingeengt wird, was sich aber insbesondere auf das Schweißen der Wurzel günstig auswirkt hat. Damit konnten sowohl die Blechkanten aufgeschmolzen, also gut „erfasst“ werden und der gewünschte bzw. zugelassene Einbrand durch den Schweißer erreicht werden.

Bei der Auswertung der Prüfergebnisse und der Schweiß Eigenschaften der Elektroden unter Überdruck, bei den o.g. Druckstufen, den Schweißpositionen, durch unterschiedliche Schweißer getestet, schnitt die ESAB-Elektrode „OK 53.16 Spezial“ am besten ab. **(Anlage 3)**

Für das Schweißen mit Elektroden unter Überdruck mussten die Schweißanweisungen kaum optimiert werden, da es auch von Schweißer zu Schweißer in Abhängigkeit seiner Erfahrungen mit Arbeiten in Überdruck, seinen Fähigkeiten und den Bedingungen unterschiedliche Schweißergebnisse gibt, die nicht durch Änderungen der Schweißanweisungen (WPS) beeinflusst werden können.

Aus diesen und anderen Gründen sind dringend Grundlagen zum Erwerb der Schweißprüfbescheinigungen für das Schweißen in Überdruck durch ein akkreditiertes Unternehmen, zum Beispiel durch den Germanischen Lloyd, zu schaffen, um das Personal entsprechend auszubilden.



6.2 Die Ergebnisse der Arbeitspakete AP 9 – AP 11 werden hier zusammengefasst.

Schweißen mit verschiedenen Fülldrähten: (Anlage 4)

1. Metallpulver-Fülldraht
2. Basischer Fülldraht
3. Rutiler Fülldraht

Grundwerkstoff: S 355 J2 + N , Blech 60 mm

Auf Grund der gesammelten Erfahrungen beim Schweißen mit Elektroden in Überdruck, konzentrierten wir unsere Schweißanweisungen auf das Schweißen mit den Fülldrähten bei 5bar Überdruck. (Anlage 5+6)

Gleichzeitig konnten wir eine weitere Erfahrung aus den Schweißversuchen mit den Elektroden einbringen.

Das Vorwärmen von dicken Blechen, in unserem Fall S 355 J2+N, Blech 60 mm, das ist die Blechdicke, die dann auch in der Realität im Tunnel geschweißt werden muss, ist unbedingt notwendig.

Zunächst musste jedoch geklärt werden, mit welchem Verfahren, mit welcher Technik wird vorgewärmt. Das Vorwärmen mit einem Acetylen-Sauerstoff-Gemisch funktioniert unter Überdruck nicht, zusätzlich stellt Sauerstoff in engen Räumen immer eine erhöhte Brandgefahr dar. Blieb also nur das elektrische Vorwärmen. Das ist eine einfache, bewährte, effektive und kostengünstige Lösung.

Hierfür konnten wir das Unternehmen Thermoprozess aus Mühlheim/Ruhr als Partner gewinnen. Es wurden diverse Heizmatten mit unterschiedlichen Abmessungen und mit unterschiedlichen Leistungen ausprobiert. Je nach örtlichen Begebenheiten und der Schweißaufgabe bzw. Zugänglichkeit sind die Heiz- oder Vorwärmatten auszuwählen. Für unsere Versuche wurde eine Variante mit Haftmagneten bevorzugt.

Siehe auch angefügte Thermoprozess – Unterlagen. (Anlage 7)

Die Vorwärmtemperaturen haben wir den allgemein zugänglichen Quellen entnommen und sind auch beigefügt. (Anlage 8)

Für den Stahl S 355J2+N, mit einem Kohlenstoffäquivalent Ce von 0,45 wird bei einer Blechstärke von 60 mm, eine Vorwärmtemperatur von ca. 200°C empfohlen. Dies spiegelt sich auch in den Schweißanweisungen (WPS) wieder.

Für das Schweißen mit Fülldraht standen uns Schweißer mit gültiger Schweißer-Prüfbescheinigung für das Verfahren 136, also MAG-M, zur Verfügung. Hier ergab sich jedoch ein kleines Problem. MAG-M bedeutet, die Schweißerprüfung wurde mit einem Metallpulver-Fülldraht durchgeführt. Das ist derzeit Standard an den Ausbildungsstätten. Der Unterschied ist das Metallpulver-Fülldrähte „stechend“ geschweißt und rutiler Fülldrähte als auch basische Fülldrähte „schleppend“ geschweißt werden. Siehe beigefügte Darstellungen der Firma Drahtzug Stein. (Anlage 9)

Bei den ersten Versuchen fiel der basische Fülldraht wegen der starken Rauchgasentwicklung durch und wurde in der Folge auch nicht mehr getestet.

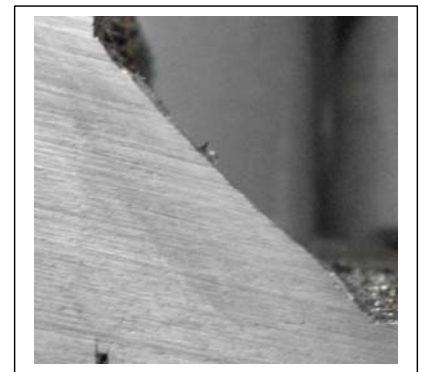
Grundsätzlich konnten wir dann feststellen, dass mit zunehmenden Druck in der Arbeitskammer es nicht mehr möglich war, die benötigte Schutzgasmenge von ca. 15 – 17 Liter / min kontinuierlich fließen zu lassen.

Gelöst haben wir das Problem mit unserem Projekt-und Kooperationspartner der Firma AMT Aachen GmbH, der Firma Altec GmbH/Air Liquide und der Firma Vulkan Schweißtechnik GmbH, indem wir den vorhandenen Druckminderer gegen eine größere Bauart getauscht haben und in der Druckkammer haben wir eine Anlage installiert um die Schutzgasmenge zu messen und bei Bedarf nach regulieren zu können.

Bei den Schweißversuchen mit Metallpulverfülldraht erwies sich für den Schweißer in Überdruck von 5 bar als besonders vorteilhaft, dass bei der möglichen Einsatzzeit von ca. 60, max.90 min, durch das schlackelose Schweißgut, das Entfernen der Schlacke, beim Schweißen mit der Elektrode und wie auch beim Schweißen mit rutilem Fülldraht nötig, hier entfällt.



Die Schweißproben mit Metallpulver-Fülldraht wurden sowohl zerstörungsfrei als auch zerstörend untersucht.



Entsprechend den Kriterien der Bewertungsgruppe C der DIN EN ISO 5817 können wir mit den Ergebnissen zufrieden sein. Die Technik funktioniert.

Das Schweißen mit Metallpulver- Fülldraht und das nicht mehr nötige Entfernen der Schlacke, lässt in der Praxis eine Steigerung der Arbeitsleistung von ca. 30 – 50 % erwarten!

Das Schweißen mit rutilem Fülldraht hat sich besonders in der Schweißposition PF (steigend) durch die schnell erstarrende Schlacke des mikrolegierten Rutil-Fülldrahtes als vorteilhaft erwiesen. Der einzige Nachteil ist, dass der Rutil-Fülldraht Schlacke führend ist. Diese Schlacke ist aber leicht zu entfernen, von daher ergibt sich nur ein leichter Mehraufwand.

**Fazit:** Der Einsatz von Metallpulver-Fülldraht ist insgesamt vorteilhafter.  
Das Entfernen der Schlacke entfällt.  
Nahtlose Fülldrähte sind absolut unempfindlich gegen Feuchtigkeitsaufnahme.  
Kein Rücktrocknen nach langer Lagerung nötig.  
Die Ausbildungsstätten für Schweißer bieten standardmäßig MAG-M (Metallpulver-Fülldraht) für eine Schweißer-Prüfbescheinigung mit Fülldraht an.



## 7.0 Zusammenfassung

### 7.1 NORDSEETAUCHER GmbH / Ingenieurbüro für Schweißtechnik-Retzlaff

Das Schweißen in Überdruck ist sowohl mit Elektroden als auch mit Fülldraht möglich! Beide Schweißverfahren haben je nach Arbeitsaufgabe, Zugänglichkeit und anderer Bedingungen vor Ort ihre Einsatzberechtigung.

Durch die Entwicklung einer kombinierten Schweißstromquelle für das E-Hand-Schweißen mit Elektroden und für das MSG-Schweißen, zum Beispiel MAG-Schweißen mit Fülldraht, mit einem überdruck-tauglichen Drahtvorschubgerät, eröffnen sich für Reparaturschweißungen an Tunnel-Vortriebsmaschinen vor Ort völlig neue Perspektiven.

Durch immer weiter in die Tiefe gehende Tunnelbau-Projekte wird sich der Überdruck vor Ort weiter erhöhen, so dass sich die möglichen Einsatzzeiten für das Personal verkürzen und die Dekompressionszeiten verlängern werden. Trotzdem kann in den Einsatzzeiten vor Ort, nach den gewonnenen Erkenntnissen, die Schweißleistung gesteigert werden.

Da es mit neuer Technik und effektiverer Leistung aber nicht getan ist, sind kurzfristig von den Gremien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik oder anderen international anerkannten Organisationen, wie dem Germanischen Lloyd, Regeln und Normen für die Anerkennung der Schweißverfahren „Schweißen in Überdruck mit Schweiß-Zusatzwerkstoffen“ als eigenständige Schweißverfahrensgruppe zu entwickeln.

Dazu werden dann das E-Hand- und MSG-Schweißen (MIG, MAG und MAG mit Fülldraht) sowie eventuell das MOG-Schweißen ohne Schutzgas, mit selbstschützenden Fülldrähten gehören.

Die Qualifizierung von Personal mit Schweißer-Prüfbescheinigung „Geprüfter Schweißer in Überdruck“, siehe beigefügtes Muster, (Anlage 10) sowie die Zertifizierung, z.B. Herstellerqualifikation von Unternehmen für das Schweißen in Überdruck, aber auch Arbeitssicherheits-Vorschriften, zum Beispiel max. 65 V Leerlaufspannung und Arbeitsschutz-Verordnungen, zum Beispiel das Tragen von Leder-Schweißerschutzanzügen, und spezieller Druckluft-Schweißerschutzhelme usw., sind kurzfristig zu formulieren und für verbindlich zu erklären.

Für die Oberflächen-Rissprüfung der in Überdruck geschweißten Kehlnähte wurde im Rahmen des Teilprojektes der Firma HELLING GmbH die erforderliche Prüfmethodik und Prüfgeräte entwickelt.

Als besonders geeignete und wirtschaftlichste technische Lösung, hat sich die Magnetpulver Prüfung herauskristallisiert. Aber auch hier sind für die Hyperbare – Magnetpulver-Prüfung spezielle Prüfanweisungen, Prüfprotokolle und Lehrgänge durch die Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfungen (DGZfP) noch zu entwickeln bzw. anzubieten.

Eine Ausbildungsstätte könnte, unter Federführung des Germanischen Lloyds, in Bremerhaven mit der vorhandenen Druckkammer, gegründet werden. Gerne unterstützen wir alle Bemühungen in diese Richtung.

Ausdrücklich möchten wir uns an dieser Stelle bei dem am Projekt beteiligten Kooperationspartner, der Firma AMT Maschinen-und Gerätetechnik GmbH, insbesondere beim Geschäftsführer Herrn Schütte und bei der Firma HELLING GmbH, insbesondere beim Geschäftsführer Herr Riess und





dem Technischen Direktor Herrn Ivankov, für die sehr kollegiale und unkomplizierte Zusammenarbeit bedanken.

Aber auch bei den Firmen ALTEC GmbH, insbesondere bei Herrn Dr. Fröhlich, der uns bei der Auswahl der Schutzgase und der Aufzeichnung der Schweißparameter bei den Schweißversuchen beraten und unterstützt hat sowie bei der Firma VULKAN Schweißtechnik GmbH, die uns geeignete Druckminderer zur Verfügung gestellt hat und bei der Firma Thermoprozess, die uns mit Vorwärmatten zum Testen unkompliziert unterstützte.

## **7.2 AMT GmbH (Anlage 1)**

Das Forschungsprojekt „Entwicklung der technisch-technologischen Voraussetzungen für das hyperbare Elektroden- und Fülldrahtschweißen und der Oberflächen-Rissprüfung bis 20 bar im Rahmen von Reparaturarbeiten an Tunnelbohrmaschinen“ wurde aus Sicht der AMT-GmbH erfolgreich abgeschlossen.

Besonders erwähnenswert ist hier auch die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern zu nennen, denen wir auf diesem Wege nochmals unseren Dank aussprechen möchten.

Neben den von der AMT GmbH entwickelten und gebauten Funktionsmustern ist es uns gelungen nicht nur eine funktionsfähige Gerätetechnik herzustellen sondern darüber hinaus auch mit unseren Partnern den Nachweis zu erbringen ein anwenderfreundliches Gesamtkonzept erstellt zu haben.

Gerade die gute Zusammenarbeit mit den Anwendungstechnikern der Nordseetaucher GmbH war hier Richtungsweisend für die praxisnahe Geräteentwicklung. So konnten neben den geplanten und in den Arbeitspaketen beschriebenen Funktionsblöcken noch zusätzliche, bei der täglichen Arbeit der Schweißer aber sinnvolle und hilfreiche Zusatzfunktionen, in die Gerätetechnik integriert werden.

Mit der neuen Gerätetechnik ist es nun möglich bei einem Druckgang sowohl Schneid- und Schweißarbeiten mit Elektrode oder Fülldrähten im E-Hand oder MSG Modus durchzuführen als

auch über die zusätzliche Betriebsart „Glühen“ die Werkstücke vor dem Schweißen vorzuwärmen, was letztlich die Schweißnahtgüte noch zusätzlich verbessert. Durch die Anschlussmöglichkeit einer LED-Arbeitsleuchte an die im hyperbaren Bereich angesiedelten Peripheriegeräte konnten wir einem weiteren Wunsch der Anwender entsprechen.

In Zahlreichen Versuchsschweißungen, die in einer Druckkammer unter Überdruck durchgeführt wurden, konnten wir nachweisen, dass die neu entwickelte Gerätetechnik und die damit verbundenen Schweißaufgaben unter diesen äußerst schwierigen Bedingungen unseren Erwartungen und Zielen gerecht wurden.

Abschließend bleibt noch zu erwähnen, dass seitens der Kunden erste Anfragen an die Gerätetechnik an uns herangetragen wurden und wir in den nächsten Wochen die entwickelten Funktionsmuster zu einem neuen verkaufsfähigen Produkt ausbauen.

*Ammersbek, 2012-10-12*

Nordseetaucher GmbH  
Claus Mayer  
Geschäftsführer



- Anlage 1 AMT-Abschlussbericht
- Anlage 2 DIN EN ISO 5817 - Ausgabe 2006 Deckblatt
- Anlage 3 Elektrode OK53.16 Spezial
- Anlage 4 Eigenschaften von Fülldrähte
- Anlage 5 WPS-H-006-2012
- Anlage 6 WPS-H-009-2012
- Anlage 7 Thermoprozess-Vorwärmelement
- Anlage 8 Info-Vorwärmen
- Anlage 9 Vorteile von Fülldrähten-Brennerführung
- Anlage 10 Certificate Hyperbaric Welder