

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Szelagowski, Peter**

## **Nasses Schweißen und Qualitätssicherung: Ein Widerspruch an sich?**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105551>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

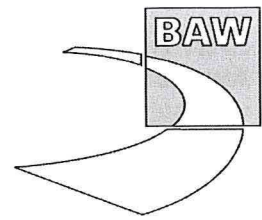
Szelagowski, Peter (2002): Nasses Schweißen und Qualitätssicherung: Ein Widerspruch an sich?. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktueller Stand und Entwicklungstendenzen im Stahlwasserbau und Korrosionsschutz. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 19-38.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





**Dr.-Ing. Peter Szelagowski, Ingenieurbüro für Unterwassertechnik, Geesthacht**  
**Nasses Schweißen und Qualitätssicherung: Ein Widerspruch an sich?**

**Abstrakt:**

*Das Lichtbogenhandschweißen in nasser Umgebung gewinnt ständig an Bedeutung. Eine steigende Anzahl von Richtlinien, Vorschriften und Normen in Europa und der gesamten Welt dokumentieren diese wachsende Bedeutung und ein zunehmendes Qualitätsbewusstsein. Gezielte Untersuchungen im letzten Jahrzehnt haben Schweißnahtqualitäten in nasser Umgebung möglich gemacht, die denen atmosphärisch geschweißter Nähte in der Regel vergleichbar sind. Mit der nachfolgenden Präsentation soll an ausgewählten Beispielen der Entwicklungsstand dargestellt und gleichzeitig neue Entwicklungsrichtungen (z.B. nasses Fülldrahtschweißen) aufgezeigt werden.*

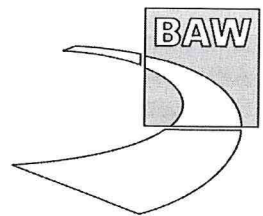
Der derzeitige Stand der Normen (ISO, CEN, DIN) und Richtlinien (DVS, AWS) für diesen Sondereinsatzbereich der Schweißtechnik wird dargestellt und gleichzeitig die erforderliche gezielte Schulung des Personals und Managementanforderungen der Tauchunternehmen unterstrichen.

Wachsende Zukunftschancen kann nur ein Verfahren für sich verbuchen, für das überzeugende Qualitätsnachweise vorhanden sind, zur sicheren Anwendung gut geschultes Personal vorgehalten werden kann und für das es sichere Beurteilungskriterien gibt, an denen die Qualität zu bemessen ist.

**1. Einleitung:**

Zu Beginn der 80er Jahre setzte die Erforschung des hyperbar nassen wie trockenen Schweißens wegen der zwischenzeitlich erforderlich werdenden Reparaturmaßnahmen an Unterwasserstrukturen und Pipelines verstärkt ein. Weder die Schweißzusätze noch die Schweißgeräte entsprachen zu dem Zeitpunkt den Erfordernissen der hyperbaren Anwendung. Aus Sicherheitserwägungen war lediglich der ausschließliche Einsatz von Gleichstrommaschinen mit einer maximalen Leerlaufspannung von 65 V festgeschrieben, ohne dass man diese Forderungen mit gezielten Ergebnissen aus intensiven Untersuchungen belegen konnte. Als Schweißzusätze wurden in der Regel Werkstoffe verwendet, die für den Einsatz unter atmosphärischen Bedingungen entwickelt waren, ein Umstand, der auch heute noch vielfach besonders bei kleineren Tauchunternehmen an der Tagesordnung ist. Einflüsse der Umgebung auf Abbrand und Nahtaufbau waren ebenso unbekannt, wie für das hyperbar trockene Schweißen der erforderliche Schutzgasfluss oder die Gaszusammensetzung und ihre Einflüsse auf den Tropfenübergang, den Lichtbogen und die Gefügestruktur der Naht.

Trotz umfangreicher, neuer Erkenntnisse, neuer internationaler Normen, Vorschriften und Richtlinien wird das nasse Schweißen in Deutschland heute vielfach, basierend auf Unkenntnis, noch als Verfahren angesehen, mit dem nur eine minderwertige Nahtqualität er-



zielbar ist. Besonders die Wasserstoffschädigung des Schweißgutes, die durch die Zersetzung des den Lichtbogen umgebenden Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff prozessbedingt unvermeidbar ist, wird auch heute vielfach noch als Ablehnungsgrund für diesen Schweißprozess herangezogen.

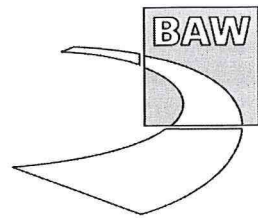
Nur durch die kontinuierliche Durchführung von intensiven Forschungsaktivitäten war es möglich, detailliertere Kenntnisse über den Ablauf des Schweißprozesses und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen zu ziehen, die dann zu einer Verbesserung der Nahtqualität führten. Dennoch bedarf es weiterer gezielter Anstrengungen, das Image des nassen Schweißens zu verbessern, da trotz der erzielten immensen Verbesserungen sowohl die ausführenden Betriebe als auch die privaten und öffentlichen Auftraggeber sich bei der Vergabe von Unterwasserschweißarbeiten noch sehr zurückhaltend zeigen. Dieses bedingt weiterhin gezielte Aktivitäten auf der einen Seite zur Verbesserung des Kenntnisstandes dieses Personenkreises als auch eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung des Schweißprozesses und der Schweißzusätze auf der anderen Seite.

Die bisher erzielten Ergebnisse haben in neuen Normen und Richtlinien sowohl national wie international Eingang gefunden. Die umfangreichen, wissenschaftlichen Untersuchungen waren im bisherigen Umfang nur durch die finanzielle Unterstützung der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen der Projektförderung der Thermieprogramme gezielt möglich. Die erzielten sehr guten Ergebnisse können dennoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Entwicklung der Schweißzusätze und Schweißverfahren für das nasse Schweißen wegen der Vielfalt der Anwendungs- und Einsatzbereiche noch lange nicht abgeschlossen ist.

## **2. Versuchsdurchführung:**

Schweißversuche in verschiedenen Wassertiefen bei Einsatz von handelsüblichen und neu entwickelten Stabelektroden zum nassen Schweißen wurden unter verschiedenen Prozesstechniken (Strichraupentechnik, Temper-Bead-Technik) an einem Offshore eingesetzten typischen Grundwerkstoff (RSt 52-3) durchgeführt. Nach anfänglicher Bestimmung der mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften (Härte, Zugfestigkeit, erzielbarer Biegewinkel, Kerbschlagzähigkeit) wurden die Untersuchungen auch auf das Dauerschwingverhalten nass geschweißter Bauteilmuster ausgedehnt. Die Wassertiefen wurden jeweils in sinnvollen Schritten (6m, 20m, 30m, 55m und 100m) in den entsprechenden Versuchskampagnen gesteigert. Dabei erfolgten die Schweißungen sowohl in Süßwasser wie auch in natürlichem Salzwasser). Eine Verfahrens- und Prozessverifikation erfolgte abschließend durch einen Seeversuch vor der Küste Nigerias in 65 m WT.

Es wurde bei allen Versuchen besonderer Wert darauf gelegt, dass die eingesetzten Unterwasserschweißer einen hohen Ausbildungsstand hatten und nach Möglichkeit selten ausgetauscht wurden. Es konnte über die gesamte Periode der Forschungsarbeiten gewährleistet werden, dass immer wieder mit gleicher Tauchermannschaft die Versuche



durchgeführt werden konnten. Dadurch ist eine hohe Vergleichbarkeit der Ergebnisse und damit eine hohe Zuverlässigkeit der daraus gezogenen Schlüsse sichergestellt.

Aufgrund der überwiegend positiven Beurteilung der Schweißzusätze aus austenitischen und Nickel-Basis-Werkstoffen für Verbindungsschweißungen an Baustählen konzentrierten sich eine Vielzahl von Bemühungen internationaler Institutionen und Firmen auf die Weiterentwicklung dieser Zusätze für den nassen Einsatz. Derartigen Zusatzwerkstoffen wird eine höhere Wasserstoff-Speicherkapazität als den ferritischen Schweißzusätzen zugesprochen. Die bis heute bekannt gewordenen Ergebnisse derartiger Untersuchungen decken sich mit eigenen Beobachtungen, dass sich diese austenitischen Zusätze wegen der vorgefundenen Porosität sowie der Rissbildung infolge extrem hoher Eigenspannungskonzentrationen und der damit verbundenen Festigkeitsabnahme nur für nasse Einsätze bis zu einer maximalen Wassertiefe von ca 20 m eignen.

Die eigenen Bemühungen richteten sich auf die Weiterentwicklung ferritischer Schweißzusätze mit rutiler Umhüllung und der Verbesserung der Festigkeitseigenschaften des hiermit erstellten Schweißgutes. Dabei wurde sowohl der Kerndraht modifiziert als auch die Zusammensetzung der Umhüllung verändert. Ferritische, rutil umhüllte Elektrodenzusammensetzungen unterschiedlicher Hersteller wurden sowohl in Süß- wie in Salzwasser in den o.g. Wassertiefen verschweißt. Besondere dehydrierende und desoxidierende Legierungszusätze haben die Wasserstoffaufnahme und den Legierungsabbrand im Schweißgut reduziert und damit besonders für höherfeste Baustähle in Verbindung mit einer besonderen Prozessführung die Wasserstoffrisanfälligkeit vermindert.

### **3. Ergebnisse:**

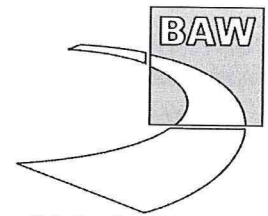
#### **3.1 Allgemeine Anmerkungen:**

Im europäischen Offshorebereich werden im Gegensatz zu den vergleichbaren amerikanischen Anwendungen ausschließlich höherfeste Baustähle eingesetzt, die aufgrund ihrer Zusammensetzung zur Wasserstoffversprödung und damit zur wasserstoffinduzierten Kaltrissbildung neigen. Als Beurteilungs-Kriterium hierfür wird das vom International Institute of Welding (IIW) verabschiedete Kohlenstoffäquivalent, errechnet nach folgender Formel:

$$C\ddot{a} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 (\%)$$

angesehen.

Als unempfindlich gegen Wasserstoffrisbildung gelten Stähle mit einem Kohlenstoffäquivalent <0,40 % und niedrigem Kohlenstoffgehalt (< 0,15%). Liegt das Kohlenstoffäquivalent in Verbindung mit einem höheren Kohlenstoffgehalt über diesem Wert, ist bei Nichtbeachtung einer besonderen, ausgefeilten Prozesstechnik eine Schädigung der Schweißverbindung durch spontane Kaltrissbildung gegeben.



Aufgrund des besonderen Einflusses der Umgebungsbedingungen (Vollständige Umschließung des Bauteils durch das umgebende Wasser, und die damit verbundene wesentlich erhöhte Abkühlgeschwindigkeit und Härtesteigerung des Schweißgutes, die unvermeidbare Kontaminierung des Schweißgutes durch Wasserstoff) sind besondere Schweißzusätze und Prozessvarianten in nasser Umgebung anzuwenden, um zu den atmosphärischen Schweißungen vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. In der Regel ist beim Unterwasserschweißen ein Umdenken in konstruktiver und verfahrensbedingter Sicht erforderlich, wodurch häufig altgewohnte Arbeits- und Konstruktionspraktiken ad absurdum geführt werden. Diese Erkenntnisse haben dazu geführt, dass neue Ausbildungsrichtlinien und Normen, die gerade diesen besonderen Bedingungen Rechnung tragen, derzeit für die Konstrukteure und Schweißaufsichtspersonen in Bearbeitung sind und für die Unterwasserschweißer zwischenzeitlich abgeschlossen beraten und weltweit einheitlich eingeführt wurden. Selbst die bis dato als feste Norm im Offshorebereich eingeführte Amerikanische Norm (AWS D3.6-99: Specification for Underwater Welding) wurde zwischenzeitlich den neuen Erkenntnissen angepasst und ins metrische Maßsystem übergeführt.

### 3.2. Schweißguteigenschaften

Die Optimierung der Stabelektrodenzusammensetzung und des Stabelektroden-durchmessers bei gezieltem Einsatz der Mehrlagen-Strichraupentechnik an Werkstoffen geringer Wasserstoffrisanfälligkeit haben eine wesentliche Verbesserung der Schweißgutqualität (verminderte Härte, erhöhte Zugfestigkeit, ausreichende Duktilität sowie mit dem Grundwerkstoff vergleichbare Festigkeitseigenschaften) ergeben. Diese Ergebnisse konnten dann auf höherfeste Baustähle erfolgreich übertragen werden.

Höherfeste Baustähle erfordern bei der Verschweißung unter atmosphärischen Bedingungen in der Regel ein Vor- und/oder Nachwärmen des Bauteils. Dieses ist bei Unterwasserarbeiten in nasser Umgebung jedoch nicht möglich. Hier musste eine alternative Technik gefunden werden, um einen vergleichbaren Effekt zu erzielen. Mit den Elektroden muss deshalb, trotz der rapiden Abkühlung durch das umgebende Wasser, eine einwandfreie Durchwärmung des jeweils eingebrachten Schweißgutes ermöglicht werden, um die erforderliche Qualitätsverbesserung in der Naht (z.B. Reduzierung der Härte und der Wasserstoffkontaminierung, Verbesserung der Gefügestruktur und der Duktilität), sowie der Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Schweißgutes (Festigkeit, Kerbschlagzähigkeit, Dauerschwingfestigkeit) zu erzielen. Ausgehend von der Mehrlagen-Strichraupentechnik für normale Baustähle konnte die Mehrlagen-Temper-Bead-Technik als spezielle Arbeitstechnik für höherfeste Baustähle (vergl. Abschn. 3.1) weiterentwickelt werden, um abnehmbare Schweißnähte in reproduzierbarer Qualität zu ermöglichen.

Hieraus wird es verständlich, dass eine sehr sorgfältige Arbeitsplanung vor Beginn der Ausführung der Arbeiten erforderlich wird. Die mit der jeweiligen Technik erzielbaren Nahteigenschaften sind denen des Grundwerkstoffes vergleichbar, die erzielten Härtewerte in

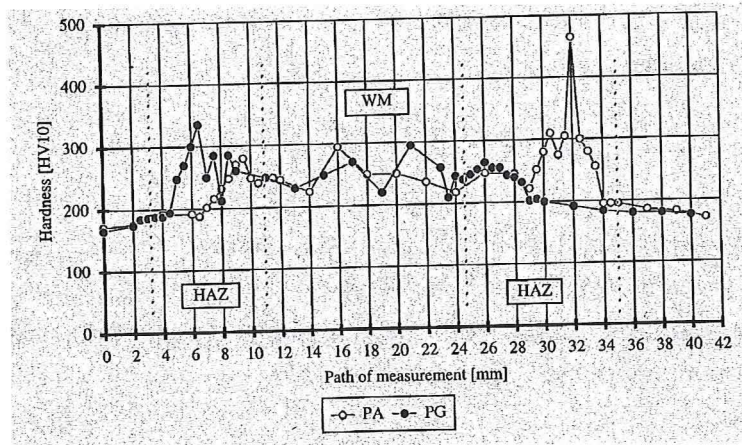


Bild 1: Härteverlauf über eine nass geschweißte Verbindungsnaht

Naht und Wärmeeinflusszone liegen im Bereich des Grundwerkstoffes und sind selbst bei höherfesten Baustählen unkritisch (Bild 1).

Eine Vergleichbarkeit der Kerbschlagzähigkeit des Schweißgutes und der Wärmeeinflusszone (ermittelt bei 0°C) sowie der Dauerschwingfestigkeit ist ebenfalls entsprechend atmosphärischer Schweißungen gegeben (Bild 2).

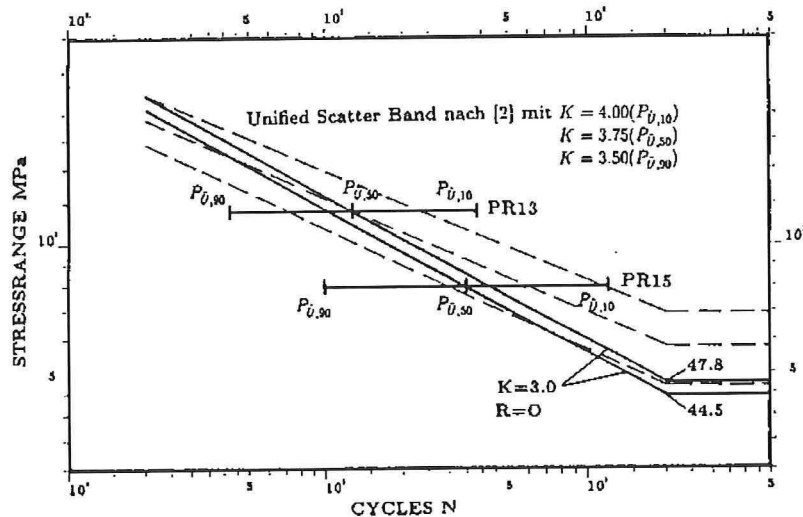


Bild 2: Dauerschwingfestigkeit nass geschweißter Bauteile

Desoxidierende Elemente in der Ummantelung der Elektrode sollen den Legierungsabbrand aufgrund des erhöhten Sauerstoffangebots und die damit verbundene Festigkeitsabnahme der Schweißnaht senken. Die Menge der Zuschläge dieser Elemente sollte der Einsatztiefe angepasst sein, so dass die Ausgasung rechtzeitig und ausreichend erfolgen kann und die entstehenden, ausgeschwemmten Oxide ( $MnO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ) in der Schlacke angelagert werden können. Dennoch kann die erforderliche zusätzlich Menge an desoxidierenden Legierungselementen zur Erzielung eines porenfreien Gefüges nicht direkt proportional zur Arbeitstiefe zugeschlagen werden. Aufgrund der Löslichkeitsgrenzen und nicht genau

definierbarer Abkühlbedingungen werden sich bestimmte Sättigungsbedingungen einstellen, die noch genauer zu untersuchen sind.

### 3.3 Einfluss des Wasserstoffs.

Das Schweißen in nasser Umgebung erfolgt unter direktem Einfluss des Wassers auf den Lichtbogen, wobei das Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff dissoziiert wird, der Wasserstoff ins Schweißgut und in die Wärmeeinflusszone eindringt und der Sauerstoff für entsprechenden Legierungsabbrand sorgt. Dieses wirkt sich negativ auf die Schweißgutqualität aus. Da diese Beeinflussung unvermeidbar und für den nassen Schweißprozess typisch ist, können nur gezielte Maßnahmen in der Werkstoffzusammensetzung der Schweißzusätze eine Verbesserung der Schweißgutqualität bewirken.

Mit der Zugabe von dehydrierenden Elementen in der Elektrodeumhüllung kann die Wasserstoffaufnahme des Schweißgutes reduziert werden. Mit einer exakten Schweißprozessführung und einem Mehrlagenaufbau der Naht ist die Wasserstoffkontaminierung des Schweißgutes in bestimmten Grenzen beherrschbar und eine Rissbildung vermeidbar.

Um diese Beeinflussung näher zu untersuchen, sind Proben in 6 m Wassertiefe geschweißt worden und auf deren Wasserstoffbeladung in Anlehnung an ISO 3690 ausgewertet worden. Die Probenform und die Raupenzahl wurde im Vergleich zu den Vorgaben der Norm leicht modifiziert und den wahren Einsatzverhältnissen beim nassen Schweißen angepasst. Eine vorgefertigte V-Naht mit einer Tiefe und einer Wurzelbreite von jeweils 4 mm bei einem Öffnungswinkel von 60° ist mit einer sowie mit drei Strichraupen verschweißt worden. Diese Probenform ermöglichte dem Unterwasserschweißer eine exakte Elektrodenführung und die Simulation des wirklichen Nahtaufbaus.

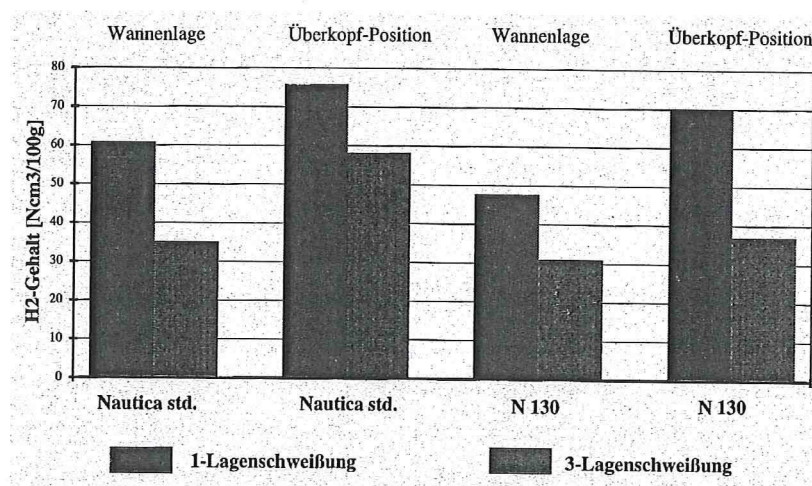
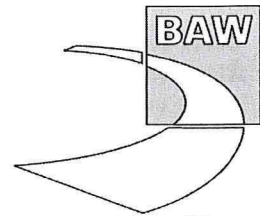


Bild 3: Wasserstoffkontamination in Abhängigkeit von Schweissposition und Lagenzahl.

Wie vermutet konnte eine bemerkenswert hohe Wasserstoffreduzierung bei der Mehrlagenschweißung gegenüber der Einlagenschweißung nachgewiesen werden. Die Re-



duzierung lag in der Größenordnung von ca. 40% des Eintrags der Einlagenschweißung (Bild 3). Das Schweißen in anderen Positionen zeigte in der Überkopfposition im Durchschnitt eine ca. 50% höhere Wasserstoffkontamination als die übrigen Positionen. Damit ist für die erhöhte Rissanfälligkeit der Nähte aus dieser Schweißposition eine plausible Erklärung gefunden: der erhöhte Wasserstoffanteil im Schweißgut ist für die Rissbildung (besonders bei höherfesten Baustählen) verantwortlich, was bedeutet, dass für Unterwasserschweißungen die Konstruktionen so auszulegen sind, dass ein Schweißen in Überkopfposition nach Möglichkeit zu vermeiden ist (eine Forderung, die so konsequent für atmosphärische Schweißungen in keiner Weise relevant ist).

Die Begründung für die erhöhte Wasserstoffkontamination in der Überkopfschweißung kann darin gesehen werden, dass der durch Dissotiation im Lichtbogen gebildete Wasserstoff nicht schnell genug aus dem Bereich des Schmelzgutes entweichen kann und die geringere Verzögerung bereits ausreicht, um die erhöhte Kontamination zu bewirken.

Zur Erklärung der Poren- und Rissbildung im Schweißgut lässt sich folgender Zusammenhang annehmen: Die Löslichkeit des Wasserstoffs hängt stark von der Temperatur des Schweißgutes und dem Umgebungsdruck ab: Je höher der Druck und die Temperatur, desto größer ist die Gasaufnahme. Der diffusible Wasserstoff lagert sich in strukturellen Defekten des Schweißgefüges an und rekombiniert mit weiteren Wasserstoffatomen zum molekularen Wasserstoff. Dieser molekulare Wasserstoff ist nicht in der Lage, aus dem rapide abkühlenden Schweißgutgefüge zu diffundieren. Durch steigende Anlagerungen steigt der Druck im Gefüge und führt beim noch verformungsfähigen Werkstoff zur Gasblasenbildung oder Pore und später bei höherfesten Baustählen zur Rissbildung. Diese Rissbildung kann dabei spontan auftreten, solange der interne Druck im Gefüge höher ist als die Streckgrenze des Werkstoffs. Poren und Versetzungen im Gefüge können jedoch zum anderen auch zu „Rissfallen“ werden und einen Rissfortschritt verhindern.

#### **4. Neue Entwicklungen auf dem Gebiet des Nassschweißens.**

Im Rahmen der Untersuchungen mit Stabelektroden konnte nachgewiesen werden, dass besonders im Endkrater einer Schweißbraupe aufgrund der extremen Umgebungsverhältnisse feine Risse auftraten, die der Unterwasserschweißer mit bloßem Auge nur bedingt erkennen kann. Das Ansetzen einer Folgeraupe braucht dabei nicht dazu zu führen, dass diese Risse verschweißt werden, sondern nur überdeckt werden. Je mehr Stop-Start-Stellen in einer Schweißnaht auftreten, desto höher ist die Gefährdung bezüglich der Rissbildung. Ein kontinuierliches Schweißverfahren, wie z.B. das manuelle Schutzgasschweißen mit Fülldrähten könnte deshalb hier erhebliche Vorteile bringen. Ein derartiges Verfahren hat zusätzlich den besonderen Vorteil, dass es sowohl manuell wie auch mechanisiert einsetzbar ist. (Bild 4)



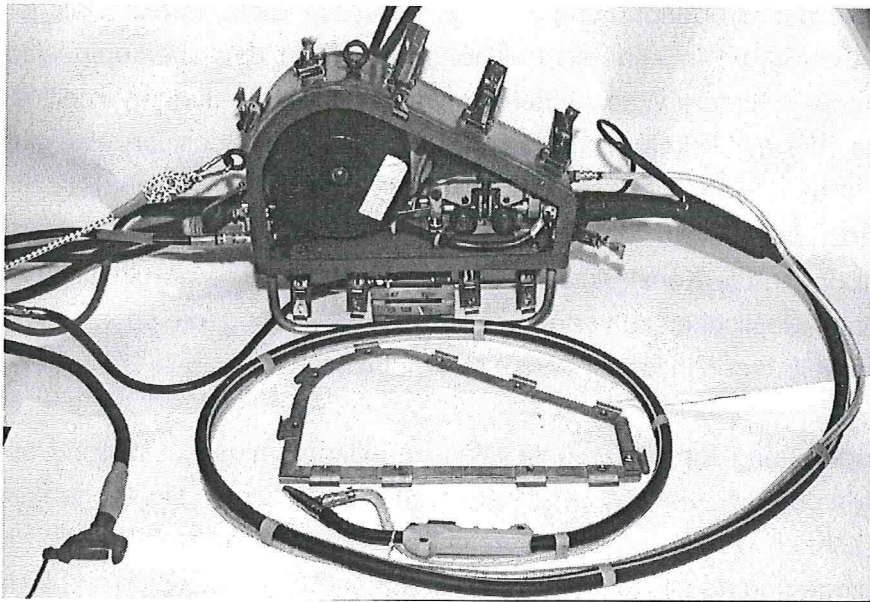
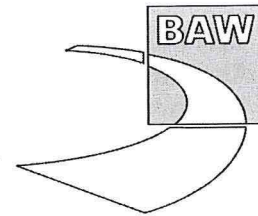


Bild 4: Drahtvorschubeinheit für das nasse Fülldrahtschweißen  
im Unterwassereinsatz

Die Entwicklungen zum nassen Fülldrahtschweißen sind inzwischen so weit fortgeschritten, dass zu erwarten ist, dass die Schweißgutqualität bei weiterer Optimierung der entsprechenden Zusatzwerkstoffe Nahtqualitäten hervorbringt, die denen des nassen Lichtbogenhandschweißens mit Stabelektroden wesentlich überlegen sind. Zusätzlich wird mit diesem neuen, patentierten Verfahren auch in größeren Wassertiefen eine Verminderung der Porosität des Schweißgutes und eine Verbesserung der Verformungsfähigkeit (höhere Dehnungswerte) erzielt werden können.

Ein weiterer, entscheidender Vorteil dieses Verfahrens liegt in dem kontinuierlichen Prozessablauf, dem Schutz des im Röhrchendraht eingebrachten Flussmittels durch Schutzgas und Röhrchen, dem bis zum Austritt aus der Kontaktdüse trocken gehaltenen Fülldraht und damit einem geringerem Einfluss des umgebenden Wassers auf die Wasserstoffkontaminierung des Schweißgutes.

Die Handhabung dieses Systems unterscheidet sich jedoch wesentlich vom Lichtbogenschweißen mit der Stabelektrode. Es wird deshalb vom Unterwasserschweißer eine zusätzliche Ausbildung gefordert werden müssen. Das neue System unterscheidet sich zu dem russischen Mitbewerber dadurch, dass der Drahtvorschubkoffer alle erforderlichen Einbauten (z.B. Drahtspule, Drahtfördereinheit) durch eine tiefenabhängig selbstregelnde Gasversorgung trocken hält. Dadurch wird eine Korrosion des Fülldrahtes während des Einsatzes vermieden und ein störungsfreier Betrieb gewährleistet. Diese Voraussetzungen prädestinieren das System für den mechanisierten Einsatz, was eine gute Nahtqualität und eine hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse verspricht.



4.1 Bisher erzielte Ergebnisse.

Erste Untersuchungen über den, auf die Dissoziation des Wassers zurückzuführenden, Einfluss des Schutzgases auf die Reduzierung des Abbrandes der Legierungselemente hat gezeigt, dass das nasse Fülldrahtschweißen geringfügige erhöhte Abbrandwerte aufwies, wenn kein Schutzgas das Schweißgut umspülte (Bild 5). Wurde dagegen nur eine geringe Schutzgasmenge zugegeben, konnte der Abbrand reduziert werden.

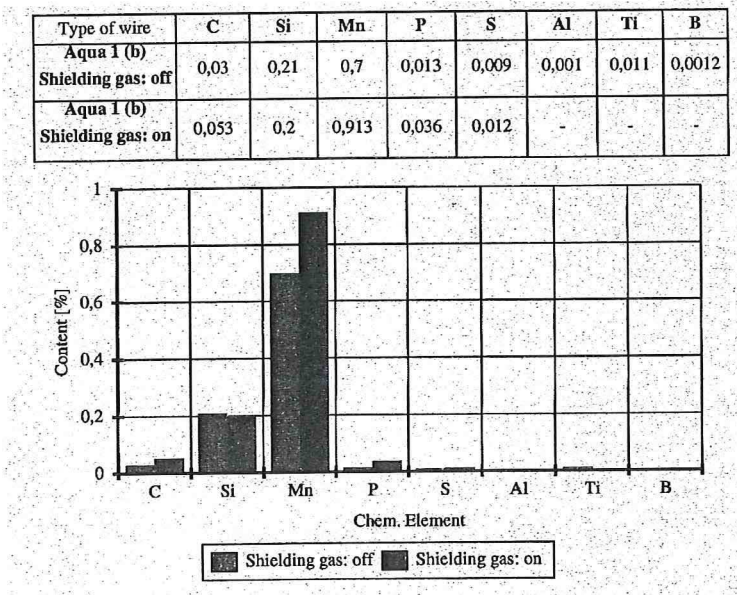


Bild 5: Chemische Analyse eines mit dem nassen Fülldrahtsystem geschweißten Schweißgutes (erstellt mit und ohne Schutzgas)

Eine weitere Untersuchung erzielte Härtewerte, die denen des Grundwerkstoffes gleich waren (Bild 6). Lediglich in der Wärmeeinflusszone stiegen die Messwerte wie auch bei den Lichtbogenhand-Schweißungen an. Die Messwerte lagen jedoch noch immer unterhalb der Maximalwerte, die für hyperbar trockene nach AWS D3.6-99 der Class A-Qualifikation zugelassen sind. (trockene, hyperbare Schweißungen)

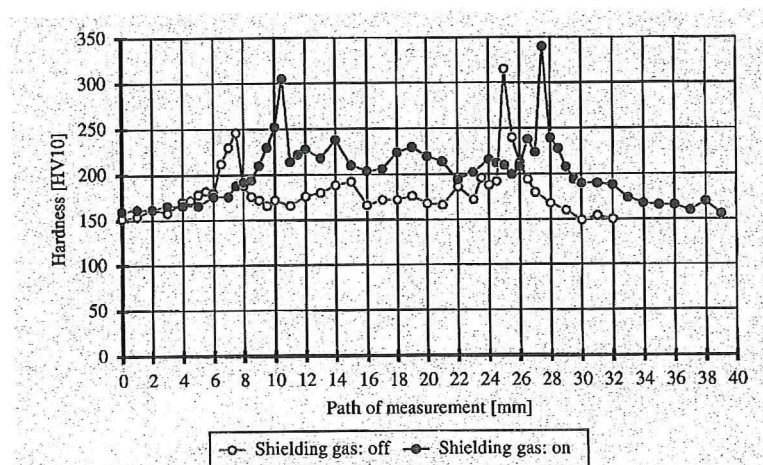


Bild 6: Einfluss des Schutzgases auf die Härtewerte einer nassen Fülldrahtschweißung

Erste Vergleichsmessungen zur Wasserstoffkontamination einer nassen Fülldrahtschweißung zu dem nassen Schweißen mit Stabelektroden haben bewiesen, dass eine Reduzierung des Wasserstoffeintrags in das Schweißgut durch den Fülldrahtprozess erzielt wird. (Bild 7)

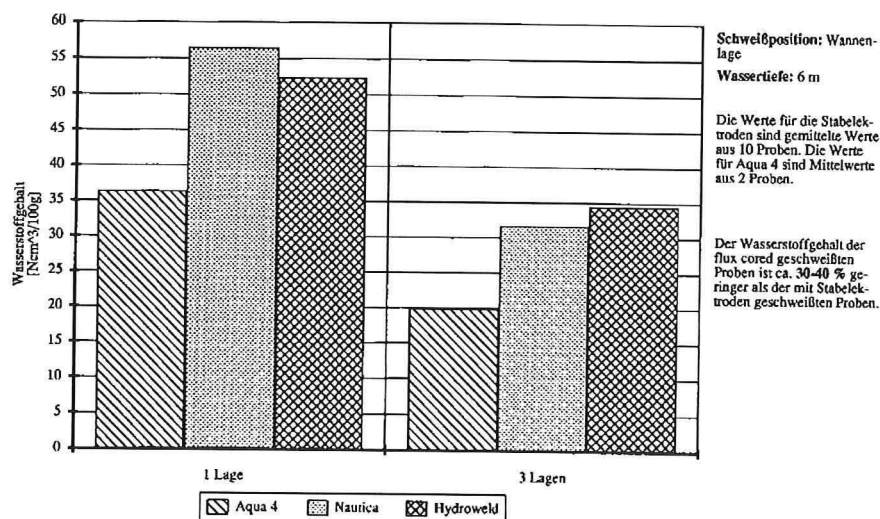


Bild 7: Vergleich des Wasserstoffeintrags in das Schweißgut zwischen Fülldrahtschweißung und Schweißung mit Stabelektrode

## 5. Qualitätsverbessernde Maßnahmen beim nassen Schweißen

### 5.1. Konstruktive Maßnahmen.

Die erfolgreiche Durchführung einer nassen Schweißung erfordert eine detaillierte Planung und Vorbereitung der einzelnen Arbeitsschritte. Dass hier eine exakte Vorbereitung und Anpassung der zu fügenden Teile eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Schweißung darstellt, lässt sich bereits aus den vorangegangenen Ausführungen ableiten. Spalten zwischen den einzelnen zu fügenden Teilen sind in der Regel primär die Ausgangspunkte für Wurzelfehler (Schlauchporen, Bindefehler). Als Sekundärfehler tritt dann die Rissbildung in Erscheinung. Auch fördert eine exakte Nahtvorbereitung die Erzielung eines ausreichenden Einbrandes.

Stumpfnähte werden im nassen Einsatz nur in den seltensten Fällen vorkommen. Überlappschweißungen (Muffenverbindungen) oder Kehlnaht-Schweißungen sind deshalb die Regel. Sie müssen vor Verarbeitung eine saubere Passform aufweisen.

Da Rohr-/Platten- oder Rohr-/Rohrverbindungen in der Regel nur einseitig verschweißt werden können, sollten sie als ½ HV-Naht mit einem Flankenwinkel von ca. 45° vorbereitet werden. Diese Nahtvorbereitung muss auf die gesamte Dicke der Rohrwand bezogen werden, wobei im Fußbereich ein abgeschrägter Steg (Bild 8), ausgehend von 2-4 mm auf eine maximale Restdicke von ca. 1,0 mm auslaufen muss.

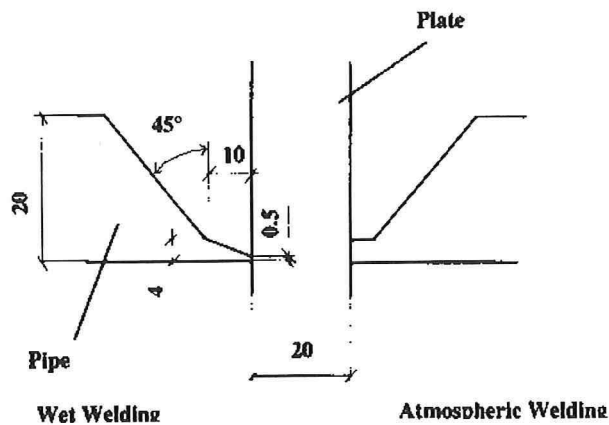


Bild 8:  $\frac{1}{2}$  HV-Nahtvorbereitung bei beschränkter, einseitiger Zugänglichkeit  
(z.B. für eine Rohr-/Blechverbindung)

Die vorgenannte Nahtvorbereitung muss so gewählt werden, damit bei einer derartigen Schweissverbindung eine sichere Wurzelschweißung mit einwandfreier Einbrandtiefe erzielt werden kann. Wird der Stegauslauf dicker gewählt, ist keine einwandfreie Wurzeldurchschweißung zu erzielen und der verbleibende Restspalt kann sich später bei dynamischer Belastung als künstlicher Anriss auswirken. Ein zu dünner Stegauslauf dagegen kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Durchstechen des Lichtbogens und damit einen schwer reparierbaren Schweißfehler bewirken.

Phasen an den zu fügenden Teilen sollten vermieden werden, da hier die Gefahr besteht, dass bei der Wurzelschweißung sich eine Schlauchpore und zusätzliche Schlackeneinschlüsse ausbilden könnten, die ebenfalls wieder als Ausgangspunkte für eine Rissbildung anzusehen sind.

Überkopf-Schweißungen sind grundsätzlich auf ein Minimum zu reduzieren. Diese Forderung kann zu verlängerten Nähten führen, gibt jedoch eine hohe Gewähr der Vermeidung einer Wasserstoff-induzierten Kaltrissbildung. Genaue konstruktive Überlegungen sind deshalb vor Arbeitsbeginn vorzunehmen, wobei auch zu berücksichtigen ist, wie der Unterwasserschweißer die zu fertigende Naht anbringen kann. Guter Zugang zur Naht und gute Beobachtungsmöglichkeit des Lichtbogens, während des gesamten Schweissvorgangs, ist eine unabänderliche Forderung und Grundvoraussetzung für eine hochwertige Nahtqualität.

## 5.2 Personelle Voraussetzungen.

Das Schweißen in nasser Umgebung erfordert in vielen Fällen Maßnahmen, die ein Umdenken zu den bisher bekannten Vorstellungen und Kenntnissen notwendig machen. Das Schweißen in nasser Umgebung ist in seiner Handhabbarkeit und Beherrschung ein extrem schwieriger Prozess, der in der Regel eine Abkehr von Althergebrachtem und Gewohntem erfordert. Allein die auf den Taucher wirkenden äusserst widrigen Umgebungsbedingungen

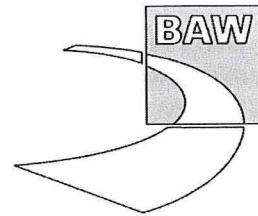
sind ein entscheidender Faktor für die Ausbildung und Erzielung einer abnahmefähigen, nassen Schweißung, die grundsätzlich in reproduzierbarer Qualität zu fertigen ist. Sowohl die Wassertemperatur (Auskühlen des Unterwasserschweißers) als auch die Sichtigkeit des Wassers kann sich negativ auf die Nahtqualität auswirken. Eine Sicht von ca 150mm ermöglicht einem gut ausgebildeten und gut trainierten Unterwasserschweißer die sichere Anfertigung abnahmefähiger Schweißraupen in reproduzierbarer Qualität.

Besonders wichtig ist bei diesem Fügeprozeß die exakte Beobachtung des Lichtbogens und die sofortige Reaktion des Unterwasserschweißers auf einen unregelmäßig brennenden Lichtbogen. Nur dadurch sind Bindefehler, Schlackeeinschlüsse und sonstige Unregelmäßigkeiten zu vermeiden. Senkrechte Nähte sind beim nassen Lichtbogenhandschweißen mit Stabelektrode grundsätzlich fallend zu schweißen. Beim Einsatz von Fülldraht in nasser Umgebung können dagegen völlig andere Schweißpositionen möglich werden, was jedoch noch nicht ausreichend untersucht wurde.

Die langjährigen Versuche haben gezeigt, dass das Lichtbogenhandschweißen mit Stabelektrode in nasser Umgebung eines der am schwierigsten zu handhabenden Schweissverfahren darstellt. Dieses Verfahren setzt den Einsatz von hochqualifizierten und hochmotivierten Unterwasserschweißern voraus, die eine gründliche und intensive Ausbildung hinter sich gebracht haben müssen. Eine derartige Ausbildung wird nach den Richtlinien der European Welding Federation (EWF 570-01) auf der Basis der Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren (DVS) oder der American Welding Society (AWS) ermöglicht. Diese Institutionen haben entsprechende qualifizierte Ausbildungsrichtlinien schon erstellt, nach denen Unterwasserschweißer gezielt ausgebildet werden können. Die Prüfung der Unterwasserschweißer für das nasse Schweißen erfolgt nach DIN EN ISO 15 618-1 oder AWS D 3.6-99.

Eine erfolgreich abgeschlossene Ausbildung gibt jedoch noch keine Gewähr dafür, dass der Unterwasserschweißer jederzeit qualifizierte Nähte erstellt. Es ist unbedingt erforderlich, dass er konstant im Training bleibt und sich in der Handhabung des Prozesses ständig weiter qualifiziert. Eine längere Arbeitspause muss grundsätzlich eine ausreichende Trainingsphase nach sich ziehen, bevor mit der Ausführung einer Schweissaufgabe in nasser Umgebung begonnen wird. Entsprechende Arbeitsproben, die vor Aufnahme der Arbeiten zu fordern und abzulegen sind, geben einen genauen Aufschluss über die vorhandene Handfertigkeit des Schweißers. Mangelhafte Handfertigkeit muss einen Ausschluss des Unterwasserschweißers von der Durchführung der Aufgabe bewirken.

Eine qualifizierte Ausbildung nach den vorab genannten Vorschriften und Richtlinien ist die Grundvoraussetzung für qualitätsbildende Maßnahmen.



## **6. Maßnahmen des Qualitätsmanagements:**

In jedem Jahr werden von den Betreibern oder Besitzern von Stahlkonstruktionen im maritimen Umfeld erhebliche Aufwendungen vorgenommen, um die Strukturen zu inspizieren, zu warten und zu reparieren. Die Bestrebungen zur Minimierung der erforderlichen Aufwendungen durch den Einsatz besonders qualifizierter Unternehmen oder Firmen ist verständlich. Es ist ebenso verständlich, dass vom Auftraggeber eine hohe Effektivität des Auftragnehmers bei der Bearbeitung der in Auftrag gegebenen Arbeiten erwartet wird, die nur dann erzielt werden kann, wenn die Arbeiten auf der Basis von sinnvoll entwickelten und im Detail geplanten Arbeitsprozeduren mit hochqualifiziertem Personal ausgeführt werden. Dabei muss jedoch auch der Auftraggeber sich darüber im Klaren sein, dass eine qualitative hochwertige Arbeit ihren Preis fordert.

Präventive Managementmaßnahmen und Arbeitstechniken sind bei richtiger Anwendung ein wichtiges, kostensenkendes Element.

Es ist häufig der Fall, dass der Betreiber einer Stahlkonstruktion nicht mit der erzielbaren Qualität von Unterwasserschweißungen vertraut ist und somit auch nicht in der Lage ist, dem Tauchunternehmen alle erforderlichen Informationen zur Ausarbeitung eines Angebots oder zur Planung der Arbeiten zur Verfügung zu stellen. In diesem Zusammenhang gibt es dann immer noch Tauchunternehmen, die sich mit den geringen und wenig fundierten Informationen zufrieden geben und sich auf die vorliegenden Angaben abstützen, um die Anfrage entsprechend zu bearbeiten und zu beantworten. Das Angebot wird dann auf lückenhaften Informationen ausgearbeitet. Welche Folgen diese Vorgehensweise haben kann und was dabei herauskommt, sollte hinlänglich bekannt sein.

Mit Hilfe von Normen, Vorschriften und Richtlinien, die zwischenzeitlich weltweit angewendet werden und als ISO-Norm vorliegen, wird eine hohe Qualität der nassen Schweißungen ermöglicht. Entscheidend ist jedoch, dass auf diese Norm-Vorgaben vom Auftraggeber Bezug genommen wird und dieser die Durchführung seiner Aufträge nach diesen Vorschriften, Normen und Richtlinien konsequent fordert und überwacht. In Deutschland ist ein entsprechendes Eingehen auf diese Vorstellungen seit einiger Zeit bei den Auftraggebern zu verzeichnen, zumal diese erkannt haben, dass eine wesentliche Qualitätsverbesserung bei den nassen Schweißungen erzielt worden ist. Die Forderung nach qualifizierten und gut ausgebildeten Unterwasserschweißern wird in Ausschreibungen zunehmend für die mögliche spätere Auftragserteilung als Bedingung gefordert. Dabei wird auch verstärkt auf eine kompetente, unabhängige Abnahme der Arbeiten nach Beendigung des Auftrages verwiesen, um die geforderte Qualität nachgewiesen zu bekommen.

## 6.1 Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems

Der höchste Grad der Qualitätssicherung bei Unterwasserschweißarbeiten ist die absolut umfassende Beachtung aller die Schweiß- und Verbindungstechnik beeinflussenden Größen. Dieses erfordert von jedem einzelnen Mitarbeiter im Unternehmen einen besonders hohen Grad an effektiver und verantwortungsbewusster Arbeitsauffassung. Diese Arbeitsauffassung ist als Herausforderung anzusehen.

Es ist sinnvoll, zunächst die wichtigsten Einflussgrößen unter folgende Schlagworte einzuordnen:

Ausführung, Qualität, Sicherheit und Kosten

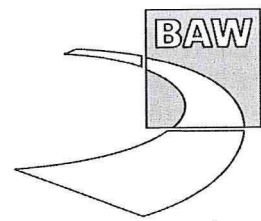
### 6.1.1 Ausführung:

In Bezug auf die Ausführung gilt als erstes wichtiges Kriterium: das Vorhalten von gut geschultem, verantwortungsbewusst agierenden Personal: Die Stärken und Schwächen dieses Personals sind die kritischen Elemente in dem Aufbau eines Qualitätssicherungssystems.

Das zweite zu beachtende Kriterium beinhaltet die Struktur des technischen Managementsystems (Einsatzplanung) des Tauchunternehmens: Die qualifizierte Spezifikation der Schweißprozedur, die Schweißerqualifikation, die metallurgische Qualifizierung (hauseigen oder Fremdauftrag), die Qualifikation zur Ausführung der Arbeiten (hauseigen oder Fremdauftrag) stellen dabei die Grundlage für dieses Managementsystem und den vorgesehenen Personaleinsatz dar.

Wie bereits vorher schon ausgeführt, reicht es nicht aus, einige Taucher auf der Lohnliste zu haben, die „wissen, wie man unter Wasser schweißt“ und dabei davon auszugehen, dass dieses gleichzeitig die Anerkennung der Kompetenz und Professionalität des Tauchunternehmens beinhaltet. Dieses ist absolut nicht der Fall und wird in keiner Weise dem Auftraggeber die Sicherheit dafür geben, dass die von ihm gewünschte Qualität bei der Ausführung der Reparaturarbeiten automatisch geliefert wird.

Der Unterwasserschweißer eines Tauchunternehmens sollte als Minimalvoraussetzung eindeutige und gültige Dokumente über seine Unterwasserschweißausbildung und ein vernünftiges, kontinuierliches Training zum Erhalt und zur laufenden Verbesserung seiner Handfertigkeit vorweisen können. Dieses stellt die Grundvoraussetzung des Qualifikationsnachweises eines Tauchunternehmens dar. Die Qualifikationsnachweise sollten dem wirklich aktuellen Stand entsprechen und die Beurteilungskriterien der anzuwendenden Normen oder Richtlinien grundsätzlich erfüllen. Diese Nachweise vor Auftragsvergabe einzufordern und zu überprüfen sollte ein vorrangiges Ziel des Auftraggebers sein.



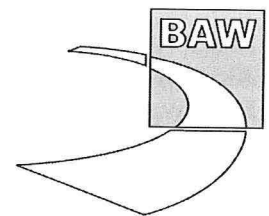
Die durch nasses Schweißen durchzuführenden Unterwasserreparaturen einer Struktur beinhalten in der Regel nur einen kleinen, aber sehr kritischen Abwicklungsanteil in der Reparaturmaßnahme. Der Unterwasserschweißer muss daneben auch nachweisbare Erfahrungen darüber besitzen, eine Vielzahl dem Schweißvorgang vorlaufende Aufgaben ausführen zu können, wie z.B. das Einrichten der Baustelle, das Vermessen der Reparaturstelle, das Lesen von Zeichnungen, die Durchführung von Überwachungs- und Inspektionsarbeiten, die Vorbereitung der einzubauenden Teile an der Oberfläche, die sichere Durchführung von Unterwassermontagen sowie andere zusätzlich Anforderungen: er muss ein absolut professionell ausgebildeter und verantwortungsbewusst handelnder Berufstaucher sein. Durch eine strenge Beachtung dieser Kriterien wird es den Tauchunternehmen wesentlich vereinfacht, sich von den häufig in Deutschland anzutreffenden, berufsmässig agierenden Sport-, DLRG,- THW- oder sonstigen Tauchern zu distanzieren. Dieses wird durch eine nachweisliche straffe Struktur des Berufs-Tauchunternehmens, sein Qualitätsmanagementsystem und seine auf die jeweilige Aufgabe abgestellte, übersichtliche und klar definierte Arbeits- und Einsatzplanung nachhaltig die besondere Kompetenz des Unternehmens untermauern.

#### 6.1.2 Qualität:

Für die Durchführung von Schweißarbeiten unter atmosphärischen Bedingungen ist es seit langem Stand der Technik, dass nur zugelassene Betriebe Schweißarbeiten ausführen dürfen. Unzählige Betriebe haben sich nach EN 29000 ff überprüfen und zertifizieren lassen und damit bestätigt, dass sie ein hochwertiges Qualitätsmanagementsystem zur Demonstration ihrer hohen Leistungsfähigkeit bereits installiert haben. Dieser Zustand muss von entsprechend zertifizierenden Institutionen überwacht werden. Die Überwachung im Bereich der Schweißtechnik stützt sich dabei weiter auf die europäische Norm DIN EN 729 ff, in der die verschiedenen „Schweißtechnischen Qualitätsanforderungen: Schmelzschweißen metallischer Werkstoffe“ eindeutig festgelegt sind. Hierin sind auch die Qualifikationsanforderungen an die entsprechenden ausführenden und aufsichts-führenden Personen eindeutig festgelegt, was auch für das Schweißen unter Wasser anzuwenden ist.

Zwischenzeitlich haben auch Tauchbetriebe eine Zertifizierung nach EN 29000 ff oder ISO 9000 ff erlangt. Diese Zertifizierung ist auch hier als Qualitätssiegel gedacht und erfordert ein entsprechendes Handeln im Betrieb und auf der Baustelle, in diesem Fall besonders vom Betriebs-Management. Das Zertifikat ist, richtig eingesetzt, ein vertrauensbildendes Merkmal, das dem Kunden bescheinigen soll, ein verlässliches Unternehmen für die Durchführung seines Auftrages gefunden zu haben. Dieses Unternehmen hat ein Qualitätsmanagementsystem für die Auftragsabwicklung eingeführt und besitzt entsprechend geschultes und qualifiziertes Personal für die Bearbeitung des Auftrages. Somit sollte die Erstellung einer Qualitätsarbeit garantiert sein. Dieses Vertrauen in den Auftragnehmer ist bei Unterwasserarbeiten um so wichtiger, als der Auftraggeber in den seltensten Fällen selbst in der Lage ist, die Ausführung der Arbeiten zu überwachen. Häufig genug kommt es vor, dass diese Arbeiten nicht weiter überwacht oder abgenommen werden und dem ausführenden Unter-





nehmen in seiner Arbeitsleistung vertraut wird. Dieses bedeutet eine hohe Verantwortung für den Auftragnehmer und sein Betriebsmanagement. Ein gut geführtes Unternehmen wird sich dieser hohen Verantwortung bewusst sein und seine Firmenpolitik danach ausrichten.

Eine Garantie für eine einwandfreie und hochwertige Arbeitsausführung wird es jedoch erst dann geben, wenn schon in der Planungsphase der Ausschreibungen die Besonderheiten des Arbeitens unter Wasser und die damit verbundenen Forderungen zur Einhaltung spezieller, anwendungsbedingter Entwurfs- und Ausführungskriterien beachtet werden. Immer wieder kommt es vor, dass Reparatur-Schweißungen nach Gesichtspunkten der Schweißausführung unter Atmosphärenbedingungen ausgeschrieben und vergeben werden. Der ausschreibende Ingenieur (seines Zeichens auch Schweißfachingenieur) geht dabei von Voraussetzungen aus, die ihm aus seiner Tätigkeit für atmosphärische Schweißungen bekannt, die aber für den Unterwassereinsatz in keiner Weise anwendbar sind. So kommt es vor, dass aus Unkenntnis Grundwerkstoffen gewählt werden, die extrem schwierig unter Wasser geschweißt werden können. Man hat dabei nur die Festigkeit des Bauteils und möglicherweise an Materialeinsparungen aus Kostengründen gedacht, ohne sich über die weiteren, evtl. notwendig werdenden späteren Arbeitsschritte Gedanken zu machen. Auftretende Schwierigkeiten beim Verschweißen eines höherfesten Bauteils in nasser Umgebung werden dann schnell auf das nasse Schweißverfahren oder die „Unfähigkeit“ des Unterwasserschweißers geschoben, der nicht in der Lage ist, eine vernünftige Schweißnaht unter Wasser zu erstellen. In der Regel kann eine Befragung sachkundiger Personen diese Probleme einfach vermeiden. Weder dem gewählten Schweißverfahren noch dem Unterwasserschweißer ist in diesem Fall jedoch ein Versagen der Schweißung anzulasten: angelastet werden muss ein mögliches negative Ergebnis dem sorglos agierenden ausschreibenden „Fachmann“, der sich nicht ausreichend genug mit der Problematik von Unterwasserreparaturen auseinandergesetzt hat. Eine intensive und sorgfältige Planungsphase mit umfangreichen Recherchen ist jedoch unabdinglich, bei der ein gut ausgebildeter Unterwasserschweißer schon mit seinen Kenntnissen und Erfahrungen erste Hilfestellungen bei der Planung geben kann.

Jedes Tauchunternehmen sollte sich verpflichtet fühlen, dem Auftraggeber nur hochwertige Leistungen zukommen zu lassen. Für den Fall, dass entsprechendes Personal nicht im eigenen Unternehmen vorhanden ist, sollte man auf einige der wenigen unabhängigen, sachverständigen Personen oder Beratungsinstitutionen zurückgreifen. Diese Institutionen sollten dann durch eine objektive Beurteilung der Ausführung die Gewähr für eine gute Qualität übernehmen. Die Qualifikation dieser Institutionen sind bereits in der Planungsphase leicht zu überprüfen.

Es sollte außerdem, bei allem Vertrauen in den Auftragnehmer, vom Auftraggeber verstärkt auf eine kompetente, unabhängige Abnahme der Arbeiten nach Beendigung des Auftrages geachtet werden, um die Ausführung der Arbeiten entsprechend der geforderten Qualität bestätigt zu bekommen. Es muss sichergestellt und nachgewiesen werden können, dass der Unternehmer das ausführt, was er angeboten und versprochen hat. Ein sehr gutes Beispiel ist hierfür die Reparatur einer Ölpier im Hamburger Hafen (Bild 9), bei der die Stüt-

zen der Pier durch in nasser Umgebung aufgebrauchte Plattierungsbleche versteift wurden. Die gesamten Schweißungen wurden während der Reparaturphase durch einen unabhängigen Sachverständigen überwacht und nach Fertigstellung abgenommen.

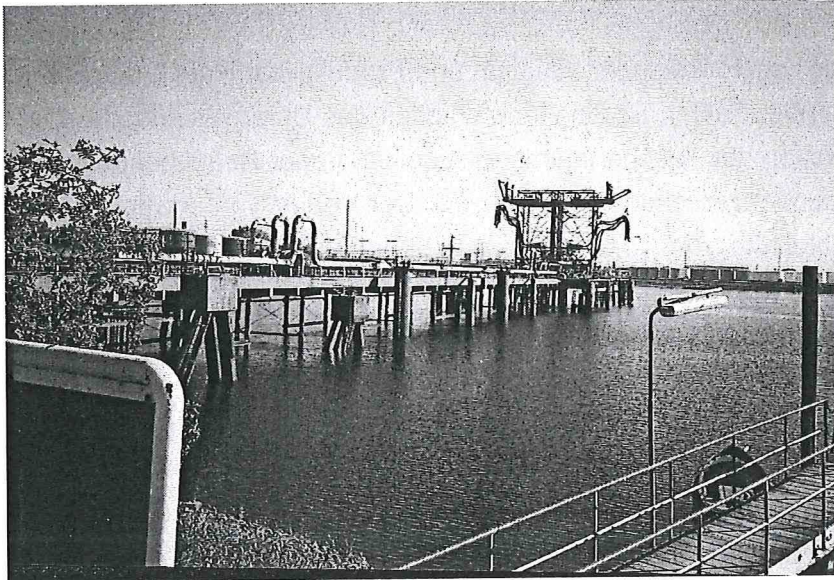


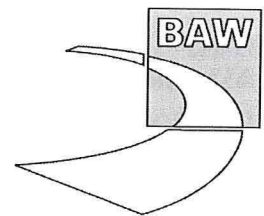
Bild 9: Durch Schweißen in nasser Umgebung reparierte Ölpier.

Das Tauchunternehmen, das Unterwasserschweißarbeiten seinen Kunden anbietet, muss das liefern, was der Kunde wünscht, egal wann er die Leistung zu erbringen hat oder wann sie benötigt wird; kurz gesagt: die Tauchunternehmen müssen die Leistung und Qualität abliefern, die von ihnen erwartet wird. Der beste Weg, Qualität und Leistung abzuliefern, ist der, ein Auftragnehmer zu werden, der voll auf die Kundenwünsche eingeht, den Kunden sachkundig berät und sich vom Kundenwunsch leiten lässt.

### 6.1.3 Kosten

Realistisch gesehen sollten die Kosten von Unterwasserschweißarbeiten für den Betreiber/Auftraggeber eher von untergeordneter Bedeutung sein, obwohl diese Kosten den Verkaufspreis eines Produktes und den Gewinn beeinflussen können. In der Regel sollten die Kosten einer Unterwasserreparaturschweißung nicht von einer Marktlage bestimmt werden (d.h. durch die Auswahl des günstigen Angebotes), weil jede Reparaturaufgabe in sich einmalig ist und die verschiedenen Auftragnehmer sich nach unterschiedlichsten Qualitäts- und Wertvorstellungen sowie Anforderungen an die Reparatur leiten lassen. Um es nochmals zu wiederholen: eine gute Arbeit erfordert seinen Preis.

Die Kosten von Unterwasserschweißarbeiten sind oftmals nicht leicht zu ermitteln. Sie sind wegen der unterschiedlichsten Einflussgrößen zudem schwer zu kontrollieren. In der Planungs- und Entwurfsphase besteht jedoch die beste Möglichkeit, diese Dinge genauer zu erfassen. Diese Phase ermöglicht eine genaue Analyse der anfallenden Ausführungskriterien, die damit die Entscheidungen für eine spezielle Ausführungsform beeinflussen. Es ist



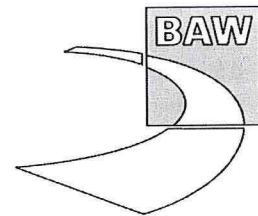
unbedingt ratsam, mögliche Auftragnehmer oder sachkundigem Berater mit in die Planungsphase der Arbeiten einzubinden, da diesen die Probleme und begrenzten Möglichkeiten, denen der Auftragnehmer sich bei der Ausführung häufig gegenübergestellt sieht, wohl bekannt sind.

Ein weniger hervortretender, Qualität und Produktivität einer Unterwasserschweißung stark beeinflussender Faktor, ist die Handfertigkeit des Unterwasserschweißers und die zugehörige Qualifikation der Tauchermannschaft selbst. In der Regel besteht eine hohe Fluktuationsrate der Taucher zwischen den Betrieben. Der Verlust von erfahrenem und hoch qualifiziertem Personal sollte vom Unternehmen unbedingt durch gleichwertig qualifiziertes Personal ersetzt werden, um auch weiterhin einen hohen Leistungsstandard zu garantieren. Dieses beinhaltet durchaus ein großes Problem. Nur ein kontinuierliches Training des Personals kann diese Problem lösen.

Möglicherweise kann der Bau und Einsatz eines im Maßstab 1:1 gefertigten Modells (Mock-ups) durch den Auftragnehmer als effektives Planungsmittel den Auftraggeber und Kunden von der hohen Qualität der Ausführung der Arbeiten an seinem Projekt wesentlich eher und besser überzeugen. Die Entwicklung eines Operationsplans an einem Mock-up, basierend auf den Erfahrungen des hochqualifizierten Personals, kann schließlich zu einer zeitsparenden Maßnahme bei der aktuellen Reparatur werden. Mögliche Handfertigungsdefizite des vorgesehenen Personals durch das Trainingsszenario am Mock-up werden rechtzeitig hervortreten und können so vor Reparaturbeginn abgestellt werden. Ein derartiges Mock-up führt weiter zum Erkennen von möglichen kostentreibenden Einflussgrößen während der gesamten Ausführung und zu entsprechenden rechtzeitigen Gegenmaßnahmen zur Minimierung dieser Einflüsse. Es führt zur Bewertung der Effektivität der vorgesehenen konstruktiven Maßnahmen durch das Erkennen von kritischen Variablen (z.B. Zugänglichkeit zur Schweißstelle, Ausführungsvorschlag der Schweißverbindung, Prüfmöglichkeiten und -Methoden, Anforderungen an den Aufbau der Arbeitsstelle unter Wasser, etc.) Dennoch können kritische Situation nicht vollständig ausgeschlossen werden. Es sollte jedoch alles getan werden, um diese zu minimieren.

#### 6.1.4 Sicherheit:

Bei jeder Unterwasserreparatur ist die Arbeitssicherheit stark abhängig von der Struktur und dem ausführenden Personal. Es ist ein unabdingbares Muss einer jeden Unterwasserarbeit, dass von vorne herein eine absolut sichere Arbeitsdurchführung geplant und gewährleistet wird. Es ist die Pflicht eines jeden Tauchunternehmens, Sicherheitsüberprüfungen und Gefahrenanalysen vor Durchführung eines jeden einzelnen Arbeitsschrittes vorzunehmen, um dadurch sicherzustellen, dass die Qualitätsanforderungen durch ein ungestörtes, sicheres Arbeiten unter Wasser erfüllt werden. Die Überprüfung dieser Analyse ergibt für den Auftraggeber eine höhere Vertrauensbasis zu dem beauftragten Unternehmen.



Die Arbeitssicherheit bei Unterwasserschweißaufgaben ist ein kritisches Element bei der Qualitätssicherung für den Kunden. Die Entwicklung eines ausgefeilten Management-Control-System vor Arbeitsaufnahme ist daher die beste Qualitätssicherungs-Maßnahme.

## **7. Zusammenfassung**

Intensive Forschungsaktivitäten, die, gefördert durch die Europäische Gemeinschaft, in enger Kooperation mit der einschlägigen Industrie durchgeführt wurden, haben das Lichtbogenhandschweißen mit Stabelektrode in nasser Umgebung durch Verfahrens- und Schweißzusatzentwicklungen zu einem zertifizierbaren Verfahren reifen lassen und sind in das nationale und internationale Regelwerk eingeflossen. Die erzielbaren Nahtqualitäten sind besonders im Flachwasserbereich zu einer ernst zu nehmenden Alternative für das kostenintensive, trockene, hyperbare Schweißen weiterentwickelt worden. Die Beachtung besonderer Kriterien bei der Auslegung und Durchführung der nassen Schweißungen garantieren eine qualitativ hochwertige Schweißverbindung.

Die Weiterentwicklung der nassen Fülldrahtschweißens als manuell oder mechanisiert einzusetzendes Verfahren lässt eine weitere Qualitätsverbesserung der Verbindungsnahte erwarten, zumal durch die angestrebte Mechanisierung eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Nahtqualität erwarten. Dieses Verfahren könnte dann auch für Schiffsreparaturen problemlos eingesetzt werden kann, um die hohen Dockkosten und damit die Maintenancekosten wesentlich reduzieren zu können.

Diverse Tauchbetriebe haben eine Zertifizierung nach EN 29000 ff oder ISO 9000 ff erlangt. Diese Zertifizierung wird als Qualitätssiegel gesehen und bedingt demnach ein entsprechendes Handeln im Betrieb und auf der Baustelle. Es sollte als ein vertrauensbildendes Merkmal angesehen werden, ein verlässliches Unternehmen wird sich an die damit verbundenen Vorgaben halten.

Durch das Qualitätsmanagementsiegel sollte sich damit das zertifizierte Unternehmen automatisch verpflichtet fühlen, eine hohe Arbeits- und Leistungsqualität zu garantieren. Die Richtigkeit der Verleihung dieses Siegels sollte täglich neu durch extrem gute Leistungen und absolute Verlässlichkeit und Vertrauenswürdigkeit des Unternehmens nachgewiesen werden. Dazu gehört auch zuverlässige und hoch qualifizierte Unterwasserschweißer, die sich mit ihrer Aufgabe vollständig identifizieren und die gewillt sind, sich immer nach dem neuesten Stand der Technik weiterzubilden.

Wachsende Zukunftschancen werden zukünftig nur Unternehmen für sich verbuchen können, die überzeugende Qualitätsnachweise vorweisen können und in denen zur sicheren Ausführung der gestellten Aufgaben gut geschultes Personal vorhanden ist. Es sollte deshalb im Interesse eines jeden Tauchunternehmens stehen, sein Personal und seine einzusetzende Technik auf den höchsten Eignungsstand zu schulen und zu erhalten, um dem Kunden die erforderliche Qualität seiner Arbeit zu garantieren. Es ist die unabdingliche Auf-

gabe eines jeden Unternehmens, seinen Kunden das höchste Maß an Qualität und die beste Leistung zu bieten und zu gewährleisten, und so ein besonderes Vertrauensverhältnis zu dem Kunden aufzubauen.

Anmerkung:

Die dargestellten Ergebnisse wurden als Verbundprojekte der Forschungsförderung der Europäischen Union im Rahmen der Thermie-Programme den Partnern:

- 1.) Fa. Stolt-Comex-Seaway, S.A., Marseille,
  - 2.) Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, Prof. Dr.-Ing. HJ.Petershagen
  - 3.) GKss Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht
- finanziert.