

# Laserstrahlschweißen einer Pipeline im Raum Greifswald

Von Hendrik Neef, Steffen Keitel, Hans-Jürgen Kocks und Andreas Raschke

Der kombinierte Prozess aus Laserstrahlschweißen und Prüfen von Rundnähten bei der Herstellung von Rohrleitungen ist seit 2012 Gegenstand mehrerer Teilprojekte unter der Federführung der SLV Halle. Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde das Laserstrahlschweißen im rauen Baustellenalltag erfolgreich getestet. Für dieses Pilotprojekt bot sich der Bau einer Gashochdruckleitung der ONTRAS Gastransport GmbH bei Greifswald geradezu an. Die Schweißverbindungen wurden dabei auf dem für eine Gashochdruckleitung angemessenen Niveau geprüft. Über die Erfahrungen auf der 1.000 m langen Versuchsstrecke wird in diesem Beitrag berichtet. Mit dem Projekt ging weltweit erstmals eine laserstrahlgeschweißte Gashochdruckpipeline in Betrieb.

## Einleitung

Die wohl bedeutendste Form der Verbindung zweier Konstruktionselemente aus Stahl ist die Schweißverbindung. Dies gilt insbesondere auch für das Verbinden von Rohren zur Herstellung von Leitungen zum Transport von Energieträgern, wie Gas oder Fernwärme, aber auch zum Transport von Öl und seinen Folgeprodukten oder wässrigen Medien. Das Verschweißen von Rohren ist Handarbeit und wird bisher nur im Falle größerer Rohrdimensionen im Projektgeschäft vereinzelt durch automatisierte Orbitalschweißeinrichtungen übernommen. Hinzu kommt je nach Anwendung ein nicht zu unterschätzender Prüfaufwand, der in vielen Fällen an den Baustellen logistisch eine Herausforderung darstellt. Erst nach einer solchen Prüfung kann dann der Rohrverbindungsreich ggf. korrosionsgeschützt werden. Berücksichtigt man die Wärmeentwicklung der Handschweißung, wird deutlich, dass Schweißen, Prüfen und Nachumhüllen in jedem Fall zeit-

lich versetzte Prozesse darstellen, zumal diese Prozesse auch unterschiedlichen Zuständigkeiten zugeordnet sind. Ein automatisierter Prozess, der zumindest das Schweißen und die Schweißnahtdokumentation verbindet, ist im Bereich der Kunststoffrohre bekannt, wo mit geeigneten Schweißaggregaten einerseits der Schweißprozess automatisiert abgewickelt und die Schweißparameter bzw. die Schweißung automatisch protokolliert werden. Eine ähnliche Vorgehensweise wäre für den Schweißprozess bei Stahlrohren nur wünschenswert. Die Dokumentation der Schweißparameter allein erfüllt jedoch nicht die erforderliche Schweißnahtprüfung im Sinne der gesetzlichen Verordnungen.

Mit dem Laserstrahlschweißen steht inzwischen eine Technologie zur Verfügung, die aufgrund des geringen Wärmeeintrages eine Kombination von Schweiß- und Prüfvorgängen mit entsprechender Protokollierung der Schweißparameter und Prüfergebnisse beim Stahlrohr



Bild 1: Pipelineverlegung

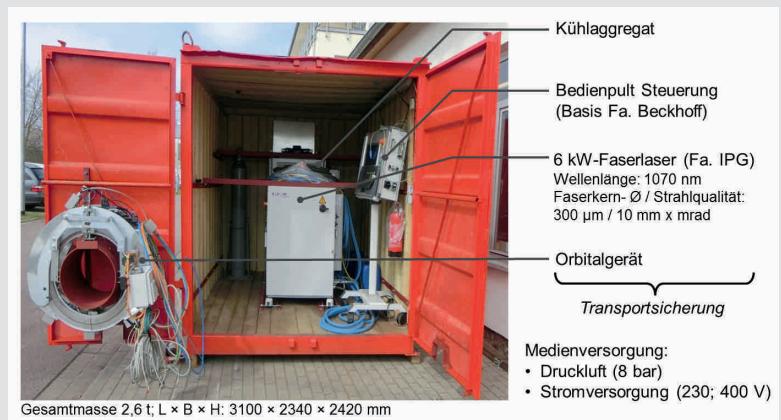


Bild 2: Rohreinzug einer Wasserleitung DN 500





**Bild 3:** Versuchsaufbau zur Verlegesimulation



**Bild 4:** Mobile Gesamteinheit

ermöglicht. Das Laserstrahlschweißen bietet signifikante Vorteile hinsichtlich der Reduzierung des Nahtvolumens und damit der Lagenanzahl und ermöglicht deutlich tiefe und gleichzeitig schmale Einbrandprofile, wodurch die Herstellung der Schweißverbindung in einem mechanisierten Umlauf mit definiertem Werkzeug ermöglicht wird. Unterstützt wird dies durch die Weiterentwicklung der Laserstrahlquellen, insbesondere auf dem Gebiet der Festkörperlaser. Mit dem Faserlaser steht ein System zur Verfügung, das neben seinen technologischen Vorteilen, wie hohen Leistungen bei exzellenter Strahlqualität und gutem Wirkungsgrad, auch aufgrund seiner kompakten Bauweise für mobile Anwendungen im Baustelleneinsatz geeignet ist. Die Verlegung in der Strecke beim Pipelinebau oder aber bei der grabenlosen Rohrverlegung bieten sich für eine derartige Vorgehensweise geradezu an, siehe **Bild 1** und **Bild 2**.

Zusammenfassend ergibt sich eine Vielzahl technischer Vorteile wie:

- » Geringere Belastungen für die Schweißer (Über-Kopf-Position, liegende Position im Rohrgraben)
- » Witterungsunempfindlicheres Schweißverfahren
- » Kleinerer Strömungswiderstand im Rohr aufgrund des fehlenden Wurzeldurchhangs beim Laserstrahlschweißen
- » Aufgrund des fehlenden Wurzeldurchhangs besteht bei Kabelschutzrohren ein geringeres Beschädigungsrisiko beim Einschub der Kabel
- » Automatische Schweißnahtdokumentation
- » 100 %ige Schweißnahtprüfung
- » Mögliche Designvorteile aufgrund der geringeren Wärmeeinbringung (Endenausführung, Nachumhüllungssysteme)
- » Personalengpässe, insbesondere bei der Suche nach geeigneten Schweißern, werden vermieden
- » Automatisiertes Schweißverfahren. Kein Schweißer, sondern „Bedienpersonal“ für den Betrieb der Anlage
- » Naheigenschaften schweißpositionsunabhängig

- » Schnelle Verlegung durch geringere Schweißzeiten und verbesserte Baustellenlogistik
- » Vorteile für die grabenlose Verlegung. Aufgrund der Schweißgeschwindigkeit sind kürzere Rohre einsetzbar. Das ermöglicht kleinere Baugruben, Rohreinzug ist im Takt des Rohreinzugs möglich
- » Keine Störzeiten beim Rohreinzug, da keine Wartezeiten für die Verbindungsprüfung erforderlich sind
- » In Kombination mit einer automatisierten Nachumhüllung kann ein grabenloser Einzug ohne Vorstrecken erfolgen

Seit 2012 wurde die Umsetzung einer kombinierten Schweiß- und Prüfeinrichtung in mehreren Teilprojekten verfolgt.

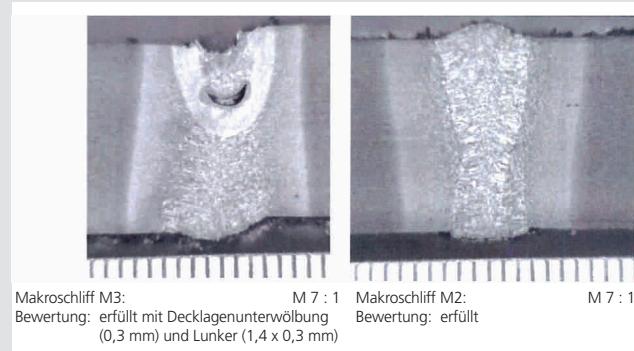
Das Laserstrahlschweißen wurde seit dieser Zeit im DVGW-Arbeitsblatt GW 350 ausdrücklich als Schweißverfahren genannt. Im AGFW-Arbeitsblatt FW 446 für die Fernwärme sind heute andere Schweißverfahren und damit auch ggf. die Laserstrahlschweißung generell zugelassen. Die Rahmenbedingungen sind dann individuell in Absprache zwischen Verleger und Auftraggeber festzulegen [2], [3]. Mit einer derartigen Option im Regelwerk konnte ein weiterer Schritt in die Verlegepraxis umgesetzt werden. Im Zuge der Verlegung einer Gashochdruckleitung der Dimension DN 300 in der Nähe von Greifswald konnte im Oktober 2016 das Laserstrahlschweißverfahren auf einer Leitungslänge von 1.000 m erstmals in der Praxis getestet werden.

### Aufgabenstellung

Im Zeitraum von September 2013 bis August 2015 wurde in der SLV Halle unter der Förderung des BMWi ein Forschungsprojekt mit dem Kurztitel „Rohrschweißen mit Laserstrahlung unter Baustellenbedingungen“ durchgeführt. Zielstellung dieses Forschungsvorhabens war es, einen gerätetechnischen Prototypen zur Anwendungsreife unter Baustellenbedingungen weiterzuentwickeln und die Möglichkeiten einer neuen kombinierten Schweiß- und Prüftechnologie auf Basis des Laserstrahlschweißens sowohl



**Bild 5:** Baustellenanordnung



**Bild 6:** Makroschliffe

experimentell zu erproben als auch potenziellen Anwendern zu demonstrieren. Kernstück hierbei sind Verlegesimulationen, in denen die Ergebnisse der vorgelagerten Entwicklungs- bzw. Optimierungsschritte erprobt, analysiert und demonstriert werden sollen (siehe **Bild 3**).

Innerhalb des Forschungsprojektes wurde eine Lösung für den Transport und die Lagerung des Laserequipments erstellt. Es stellte sich heraus, dass eine Containerlösung die sinnvollste Variante für Transport und Schutz ist (siehe **Bild 4**).

Im April 2015 wurde auf dem Betriebsgelände der ONTRAS Gastransport GmbH zusammen mit der Köster GmbH eine Testbaustelle mit unterschiedlichen Verlegevarianten durchgeführt.

Es kristallisierte sich heraus, dass eine Verlegevariante mit vorlaufendem Richten und Heften und zeitlich versetztem Schweißen zu bevorzugen ist. Durch diese Testbaustelle konnte zusammenfassend festgestellt werden, dass der Laserstrahlschweißprozess bei entsprechender Stoßvorbereitung mit allen im Vorfeld ermittelten Parametern ohne Anpassungen aus den Labor- auf die Baustellen-

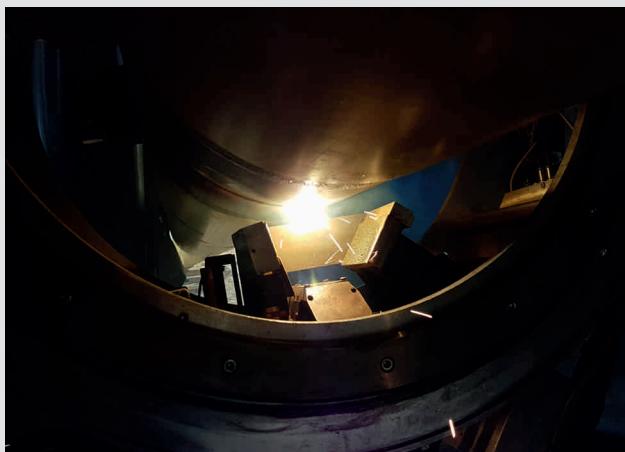
bedingungen übertragbar war. Des Weiteren erfüllten die ermittelten mechanisch-technologischen Kennwerte sowie die inneren und äußeren Nahtqualitäten der Baustellenschweißungen alle Anforderungen an Schweißverbindungen, die in den Regelwerken DIN EN ISO 15614-11, DIN EN ISO 13919-1 Bewertungsgruppe B (Ausnahme Kantenversatz) und DVGW GW 350 verankert sind. Anhand dieser Ergebnisse des Forschungsprojektes sollte nun auch die Baustellentauglichkeit sowie die Erfüllung der Anforderungen an eine Pipeline nachgewiesen werden.

### Durchführung

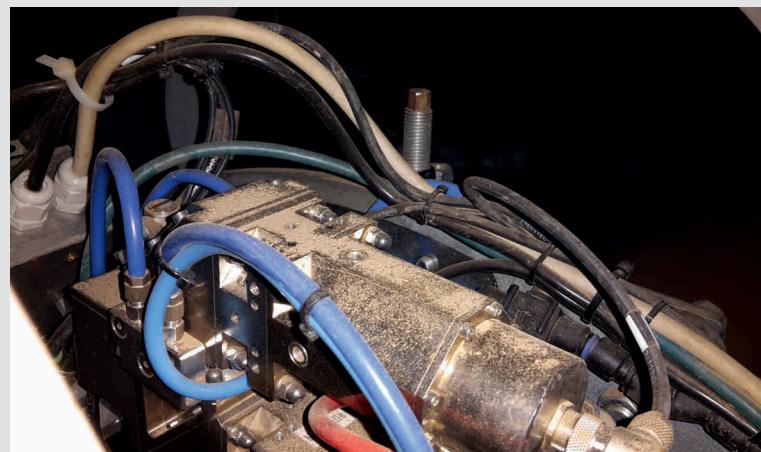
Die Möglichkeit dazu ergab sich im Oktober 2016 bei der Sanierung der Ferngasleitung 98, wobei ein Teilabschnitt im Süden von Greifswald mit einer Länge von ca. 1.100 m unter Einsatz der Laserorbitalschweißtechnik ausgeführt werden sollte. Das Vorhaben wurde mit der ONTRAS Gastransport GmbH, der PPS Pipeline Systems GmbH und der Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH geplant, als überwachendes Organ fungierte die TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

**Tabelle 1:** Zerstörende Prüfung

Prüfverfahren	Probenanzahl	Kennwerte (gemittelt)	Ergebnis
Zugprüfung	2 (quer, RT)	$R_m = 468 \text{ MPa}$	erfüllt (Soll: 415 MPa)
Biegeprüfung	4 (2 x D; 2 x W)	Biegewinkel: 180°	erfüllt (Soll: 180°)
Kerbschlagbiegeprüfung	6 (3 x WEZ; 3 x SG) bei -20 °C	SG: 119 J WEZ: 218 J	erfüllt (Soll: 27 J)
Härteprüfung HV1	2 (je 6 x GW; je 6 x WEZ; je 3 x SG)	GW: 135 HV1 WEZ: 159 HV1 SG: 183 HV1 WEZ: 163 HV1 GW: 140 HV1	erfüllt
Gefügeuntersuchung	Makroschliff und Mikroschliff		fehlerfreier Nahtaufbau, einwandfreie Durchschweißung, frei von Rissen und Gefügefehlern



**Bild 7:** Schweißen



**Bild 8:** Verstaubte Laseroptik

Bevor dieses jedoch geschehen konnte, mussten erst einmal die normalen Formalitäten, wie die Anmeldung zur Anwendung von nichtionisierender Strahlung beim Landesamt, die Erstellung einer pWPS und die Durchführung einer Verfahrensprüfung gemeistert werden.

Zum einen mussten für die Verfahrensprüfung folgende Vorschriften und Normen eingehalten werden:

- » AD 2000-Merkblatt HP 2/1 [6]
- » VdTÜV-Merkblatt 1052 [7]
- » DVGW-Arbeitsblatt GW 350 [2]
- » DIN EN ISO 15614-11 [4]
- » DIN EN ISO 13919-1 Bewertungsgruppe B [5]

Zum anderen wurden aufgrund der Neuartigkeit der Anwendung des Laserorbitalschweißens weitere Anforderungen an die Verfahrensprüfung gestellt. Es mussten die originalen Rohre und das komplette auf der Baustelle eingesetzte Equipment einschließlich dem auf der Baustelle eingesetzten Personal verwendet werden (siehe **Bild 5**). Der Baustellenzug bestand aus einem Seitenbaum (Rohrverlegefahrzeug), einem Raupenfahrzeug mit Kran und Stromversorgung, dem Schweißzelt mit Laser-Orbitalgerät, einem Anhänger mit Container für Laserequipment und Steuerung sowie einem Kompressor.

Die zu verschweißenden Rohre hatten folgende Kennwerte:

- » längsnahtgeschweißt
- » Grundwerkstoff L245NE (EN ISO 3183, Anhang M)
- » Nennweite 300 ( $D_A = 323,9$  mm)
- » Nennwandstärke 6,3 mm
- » Länge 18 m
- » Nahtvorbereitung I-Stoß (ab Werk)
- » Kunststoffummantelung (ca. 150 mm entfernt)

Das vor Ort geschweißte Rohr erfüllte alle Anforderungen an die Verfahrensprüfung (siehe **Tabelle 1** und **Bild 6**).

Nach erfolgreich bestandener Verfahrensprüfung konnten unmittelbar die Schweißarbeiten auf der Baustelle beginnen. Der Arbeitsablauf bestand immer im Ausrichten der Rohre und Verspannen mittels Innenzentrierung und Außenzentrierung. Hierdurch wurden unzulässige Werte beim Kantenversatz vermieden.

Danach wurden die Rohre mit vier Heftschweißungen im WIG-Verfahren ohne Zusatzwerkstoff fixiert und das Orbitalgerät auf der Schweißstelle platziert.

Nach dem Programmieren der Schweißbahn wurde zuerst eine Laserschweißung über den kompletten Umfang bei umlaufend konstanter Leistung von 1.000 W und Geschwindigkeit von 0,65 m/min im Sinne einer Heftschweißung erstellt. Die eigentliche Schweißung (siehe **Bild 7**) des Stoßes erfolgte dann mit umlaufend konstanten Parametern von:

- »  $P = 3.700$  W;  $v = 0,65$  m/min
- » Arbeitsabstand  $160 + 2$  mm
- » freie Strahllänge 78 mm

Die Schweißnähte wurden alle einer Sichtprüfung, Ultraschallprüfung und Röntgenprüfung unterzogen. Insgesamt wurden drei reparaturpflichtige Unregelmäßigkeiten festgestellt, die alle mittels WIG-Schweißen ausgebessert wurden. Auch diese Reparatur wurde entsprechend qualifiziert.

Neben den „normalen“ Herausforderungen einer Baustelle bemühte sich das Wetter, die optimalsten Voraussetzungen für den Nachweis der Baustellentauglichkeit zu erbringen. Man darf davon ausgehen, dass derartige Bedingungen für den Einsatz von Lasertechnik bisher kaum toleriert wurden.

In den drei Wochen des Baustelleneinsatzes wurden Orkanböen von über 130 km/h bei zuerst komplett ausgetrocknetem Boden und später bei Dauerregen gemessen. Dies hatte zur Folge, dass sich die komplette Mechanik und die Laseroptik mit Staub zusetzte (siehe **Bild 8**).



**Bild 9:** Eingesunkener Baustellenzug



**Bild 10:** Lichtleitfaserschlauchpaket im durchnässten Boden

In den weiteren Wochen wurde der Wind von einem vollkommen durchweichten Boden und Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt abgelöst ( $4^{\circ}\text{C}$ ), (siehe **Bild 9** und **Bild 10**).

Diese wetterbedingten Einflüsse hatten keine gravierenden Auswirkungen auf die Schweißergebnisse und das Equipment. Alle notwendigen Anpassungen und Reparaturen konnten direkt auf der Baustelle realisiert werden.

### Zusammenfassung

In einem Zeitraum von zwölf Arbeitstagen wurden insgesamt 60 Schweißnähte mit einer Rohrstranglänge von 1.152 m gefertigt. Der Zeitbedarf für eine Schweißung betrug gemittelt 57 Minuten, wobei sich die Zeiten in folgende Arbeitsschritte aufteilten:

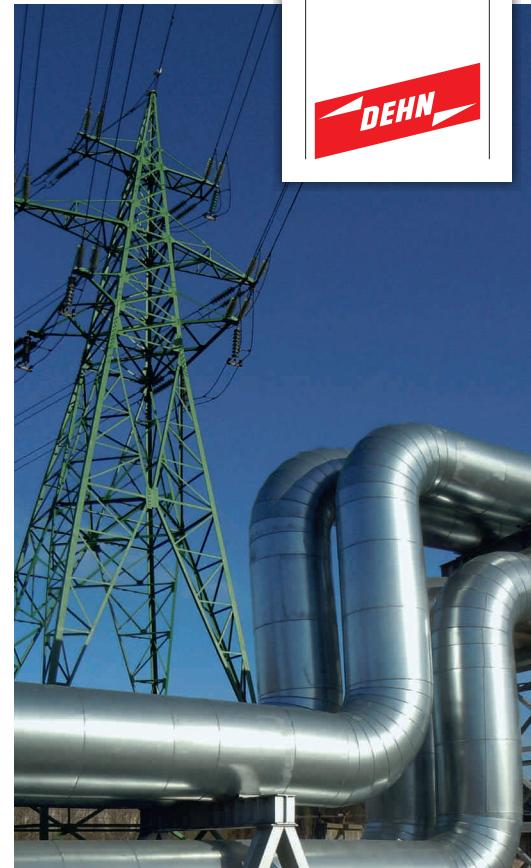
- |                              |        |
|------------------------------|--------|
| » Vorrichten                 | 25 min |
| » Gerät aufsetzen/ausrichten | 15 min |
| » Programmierung             | 15 min |
| » Heften                     | 70 s   |
| » Schweißen                  | 70 s   |

Zusammenfassend kann man sagen, dass durch den Baustelleneinsatz der Nachweis erbracht wurde, dass sich reproduzierbare Schweißergebnisse aus dem Labor auf die Testbaustelle und bis zum realen Pipelinebau übertragen ließen.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass Witterungsbedingungen sich nicht auf den Schweißprozess auswirkten und dass das Laserstrahlschweißverfahren sogar den konventionellen Verfahren zum Teil überlegen ist (bei Orkanböen Abbruch beim Schutzgassschweißen). Weitere Aspekte, die durch diesen Praxistest nachgewiesen werden konnten, sind, dass sich die Lasertechnik als kaum störanfällig herausstellte und sich die konventionellen Vorrichtwerkzeuge zum Herstellen von Laserstrahlschweißverbindungen eignen. Auch wurde der Beweis erbracht, dass sich die hergestellten Standardrohre nach heutigem Stand der Technik für Laserstrahlschweißverbindungen eignen. Die erstellte Pipeline wurde den üblichen Funktionsprüfungen erfolgreich unterzogen und ist inzwischen im Betrieb.

Zu den Schwachpunkten muss man sagen, dass der Prototyp noch nicht für Dauerbelastung ausgelegt ist und der zeitaufwendige Programmierungsprozess optimiert werden muss.

Um eine weitere wirtschaftliche Optimierung zu erzielen, müssen Verbesserungen an der Orbitaltechnik durchgeführt werden und ein verbessertes Zusammenspiel der konventionellen Verlegetechnik mit der Laserorbitaltechnik erfolgen. Die reinen Schweißzeiten haben sich durch den Einsatz des Laserstrahlschweißens auf weniger als 10 % redu-



ziert. Der Wärmeeintrag beim Schweißen ist deutlich geringer und daraus resultierend auch die durch das Schweißen verursachten Spannungen. Die Schweißnähte sind in ihrer geometrischen Form blechen.

Ziel zukünftiger Arbeiten ist es, mit einer dem Laserstrahlschweißen angepassten Spann- und Prüftechnik den Gesamtprozess auf 50 % der heute üblichen Verlegezeiten zu reduzieren.

Der Erfolg des Projektes basiert neben einem neuen Schweißprozess vor allem aber auf dem kooperativen Zusammenwirken der beteiligten Projektpartner. Besonderer Dank gilt deshalb der Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, der ONTRAS Gastransport GmbH und dem Pipelinebauer PPS Pipeline Systems GmbH.

## Literatur

- [1] Neubert, J.; Dr. rer. nat. Kocks, H.-J.: Innovative Verbindungstechnik für Stahlrohre – Automatisiertes Laserstrahlschweißen und Prüfen von Rohrverbindungen. 27. Oldenburger Rohrleitungsforum. Februar 2013
- [2] DVGW-Arbeitsblatt GW 350 „Schweißverbindungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung; Herstellung, Prüfung und Bewertung“ (2015-06)
- [3] AGFW-Arbeitsblatt FW 446 „Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der FernwärmeverSORGUNG – Herstellung, Prüfung und Bewertung“ (geplant)
- [4] DIN EN ISO 15614-11 „Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe – Schweißverfahrensprüfung – Teil 11: Elektronen- und Laserstrahlschweißen“ (2002-10)
- [5] DIN EN ISO 13919-1 „Schweißen – Elektronen- und Laserstrahlschweißverbindungen, Leitfaden für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten – Teil 1: Stahl“ (1996-09)
- [6] AD 2000-Merkblatt HP2/1 „Verfahrensprüfung für Fügeverfahren – Verfahrensprüfung für Schweißungen“ (2012-07)
- [7] VdTÜV-Merkblatt 1052 „Richtlinie für Verfahrens- und Schweißprüfungen und für Prüfung von Testnähten bei der Errichtung von Fern- und Verbindungsleitungen zum Befördern gefährdender Flüssigkeiten; Rohrleitungen 1052“

❖ **SCHLAGWÖRTER:** Gashochdruckleitung, Schweißverbindung, Laserstrahlschweißen

## AUTOREN



**HENDRIK NEEF**

SLV Halle GmbH, Halle/Saale  
Tel. +49 345 5246-382  
hendrikneef@slv-halle.de



**Prof. Dr.-Ing. STEFFEN KEITEL**

SLV Halle GmbH, Halle/Saale  
Tel. +49 345 5246-415  
gf@slv-halle.de



**ANDREAS RASCHKE**

ONTRAS Gastransport GmbH, Leipzig  
Tel. +49 341 27111-2803  
andreas.raschke@ontras.com



**Prof. Dr.-Ing. HANS-JÜRGEN KOCKS**

Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH, Siegen  
Tel. +49 271 691-170  
hans-juergen.kocks@smlp.eu

## DEHN schützt Pipelines

### Korrosion vermeiden – Anlagen hochverfügbar und sicher betreiben

- Schutzlösungen für Pipelines bei Hochspannungsbeeinflussung und Blitzschlag
- Praxisbewährte Schutzkonzepte – individuell auf Ihre Anlage angepasst
- Weltweiter Service und Support

**3R** Besuchen Sie uns beim  
12. Praxistag Korrosionsschutz am 27.06.2018 im  
RuhrCongress Bochum

**DEHN schützt®**  
Überspannungsschutz,  
Blitzschutz/Erdung,  
Arbeitsschutz

**DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.**  
Postfach 1640, 92306 Neumarkt,  
Tel. +49 9181 906 1123,  
[www.dehn.de](http://www.dehn.de), [process.technology@dehn.de](mailto:process.technology@dehn.de)