

Längsnahtgeschweißte HFI-Stahlrohre für Wasserstoffanwendungen

Abb. 1 Vorbereitungen für die Verlegung der neuen Hochdruck-Gasleitung von Walle nach Wolfsburg

Mannesmann Line Pipe

Bei der erfolgreichen Umsetzung der klimaneutralen Energiewende und dem Erreichen der gesteckten Klimaziele kommt dem Energieträger Wasserstoff eine zentrale Bedeutung zu. Dabei wird der vorgesehene Start in das neue Energiezeitalter mit einer drastischen Reduzierung der CO₂-Belastung mehr und mehr vorverlegt. Dieser Beitrag beleuchtet daher den aktuellen Stand rund um das Thema Transport und Speicherung des Wasserstoffs in Stahlrohrleitungen und diskutiert aktuelle Fragestellungen, die sich in Bearbeitung befinden. Abschließend wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Entwicklungen und zu klärende Aufgaben gewagt.

Die Zukunft der Energieversorgung

Als Treibhausgas wird Kohlenstoffdioxid (CO₂) weltweit als einer der Hauptverursacher für die globale Klimaerwärmung anerkannt. Daher beschäftigt sich die Klimapolitik auf internationaler Ebene mit Maßnahmen, um die Entstehung des Gases zunächst zu verringern, und auf mittelfristige Sicht gänzlich zu vermeiden. Hierzu zählen vor allem Änderungen in den Sektoren Strom, Wärme, Industrie und Verkehr. In Deutschland ist bei der Umstellung der Energieversorgung auf eine CO₂-freie Zukunft die lokale Energieerzeugung oftmals die angestrebte Variante der Wahl. Jedoch ist abzusehen, dass dies aus unterschiedlichen Gründen nicht hundertprozentig

gelingen kann. So stehen in Ballungsgebieten häufig nicht genügend Flächen für die Energiegewinnung zur Verfügung. Vor allem sind in Deutschland die potenziellen Kapazitäten nicht ausreichend, um den gesamten Energiebedarf zu decken. Daher ist eine dezentrale Verlagerung der Erzeugung, auch verbunden mit einem Energieimport, notwendig.

Folglich muss diskutiert werden, wie die Energie zum Verbraucher transportiert werden soll. Am häufigsten wird elektrische Energie aus erneuerbaren Energien wie Sonne, Wind, Wellen oder Gezeiten gewonnen. Diese kann über Starkstromkabel, sogenannte „Stromautobahnen“, über längere Entfernungen gut transportiert werden. Allerdings

erfordert dies einen massiven Ausbau der Stromtrassen, was nicht immer (geografisch) möglich, finanzierbar oder gewünscht ist. Auch steht der Strom nicht immer dann zur Verfügung, wenn er benötigt wird, bzw. stehen der erzeugten Menge nicht immer genügend Verbraucher gegenüber. Weiterhin ist ein Transport von großen Mengen elektrischer Energie ohne Stromkabel nicht sinnvoll. Verschiedene Aspekte können folglich eine Versorgung mit elektrischer Energie unattraktiv machen.

Alternativ können jedoch chemische Transportmedien verwendet werden. Dabei ist Wasserstoff die derzeit sinnvollste Variante. Dieser kann z. B. über Elektrolyse direkt aus Strom gewonnen

werden und entweder in einem geschlossenen Behälter-System oder direkt über Rohrleitungen zum Verbraucher transportiert werden. Dabei hängt die Transportform u. a. von Faktoren wie der benötigten Energiemenge, dem Entstehungs- und Verwendungsort, der Nutzungsart, aber auch dem technologischen Reifegrad ab. Hierzu gehören beispielsweise Ammoniak NH_3 , Metallhydrid MH, komplexe Hydride, Alkali, flüssige organische Wasserstoffträger LOHC, flüssiger Wasserstoff LH_2 und gasförmiger Druckwasserstoff H_2 . Letzterer wird nach heutigem Stand die Hauptenergieträgerform sein. Als wesentliche Vorteile seien hier sowohl die gute Speichermöglichkeit großer Mengen z. B. in Gaskavernen als auch die Verwendung der etablierten und vielfach vorhandenen Gasleitungs-Infrastruktur genannt.

Daher liegt einer der Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der Mannesmann Line Pipe GmbH im Bereich der alternativen Energien, und im Speziellen auf den Untersuchungen zur Wasserstofftauglichkeit der mit dem Hoch-Frequenz-Induktions-(HFI-) Verfahren hergestellten längsnahtgeschweißten Stahlrohre.

Wasserstoff und Stahlrohre

Rohre aus Stahl sind ideal für den Transport und die Speicherung von Gasen geeignet und haben sich seit vielen Jahrzehnten bewährt. Zu den Pipeline-Stahlrohren existiert weltweit ein umfassendes Regelwerk, welches sich im Rahmen der Energieversorgung im Wesentlichen mit dem Medium Erdgas beschäftigt. Noch sehr selten sind die Regelwerke auf das Medium Wasserstoff-Druckgas ausgelegt. Seit einigen Jahren laufen jedoch intensive Aktivitäten, die Regelwerke rund um das Thema Wasserstoff beim Gastransport über Rohrleitungen zu aktualisieren oder gänzlich neu zu gestalten. Die Regelwerke, die für die Stahlrohre in den Pipelines maßgebend sind, unterteilen sich im Wesentlichen danach, ob die Leitung an Land (onshore) oder in der See (offshore) betrieben werden soll, welche Druckstufe verwendet werden soll (Nieder-/Mitteldruckleitungen bis 16 bar und Hochdruckleitungen über 16 bar) sowie ob die Leitung neu verlegt, oder ob eine bestehende Leitung des Erdgas-Netzes auf den Transport von Wasserstoff umgestellt werden soll. Innerhalb der Regelwerke erfolgen oft weitere

Unterteilungen nach dem Wasserstoffgehalt im Gas, der Auslastung der Leitung und dem verwendeten Werkstoff. Für Hochdruckleitungen sind als maßgebende Regelwerke zur Auslegung von neuen Leitungen in Nordamerika und Europa die ASME B31.12, die EIGA IGC/DOC 121/14, die EN 1594 sowie das DVGW-Arbeitsblatt G463 und das Merkblatt G464 zu nennen. Diese enthalten Details zur Prüfung der Wasserstofftauglichkeit, zu den entsprechenden Prüfverfahren und Prüfnormen sowie zu Bewertungskriterien.

Um eine möglichst sichere und ökonomische Nutzung der Leitungen zu gewährleisten, sind im Vorfeld neben den bekannten mechanisch-technologischen Eigenschaften auch bruchmechanische Betrachtungen anzustellen, die dann für eine Lebensdaueranalyse beim Leitungsdesign genutzt werden. In diesem Zusammenhang wird u. a. die Qualifizierung der Materialien über den Nachweis verlangt, dass ein Mindestwert der Spannungsintensität unter Wasserstoffdruckgasatmosphäre erreicht wird. Für die sich anschließende Lebensdaueranalyse ist dann der Nachweis gefordert, dass das Rissfortschrittsverhalten unter Was-

Individuelle Lösungen

PLASSON

www.plasson.de

Serie 18 Klemmfittings

Die mechanische Verbindungstechnik in der Trinkwasserversorgung für Rohre aus PE 80, PE 100, PE 100 RC.



- breitestes Produktprogramm auf dem Markt
- jahrzehntelange Praxiserfahrung, bestens bewährt
- einfache, schnelle und sichere Montage ohne aufwändige Gerätetechnik
- zahlreiche Sonderbauteile zur Realisierung von Speziallösungen verfügbar
- Dimensionen von d 16 bis d 125 mm

Hymax / HymaxGrip Mehrbereichskupplungen

Für die komfortable Verbindung von Rohren aus gleichen oder unterschiedlichen Materialien und Durchmesser sowie zur Kompensation einer Vielzahl an Schäden.



- geeignet für Rohrwerkstoffe aus Guss, Stahl, PE, PVC und AZ (nur Hymax)
- radiales Klemmprinzip, dadurch keine Rohrlängsbewegung
- einzigartiges Verschlussystem ermöglicht eine einfache und schnelle Montage
- zweistufige Dichtung für mechanische und hydraulische Dichtwirkung
- Kompensation unterschiedlicher Rohraußendurchmesser durch entfernbare / ausklappbare Dichtung
- keine Unterrohr-Montage erforderlich

WZS – Wasserzählerschächte

Für die komfortable Integration in Grün- und Abstellflächen oder Hauszufahrten.



- komfortable Bedienung und einfaches Anheben und Absenken der WZ-Garnitur durch Leitungspaket mit verschweißten PE-Drehgelenken
- komfortable Bedienung durch patentiertes Leitungspaket mit verschweißten Drehgelenken
- Befahrbarkeit bis Klasse B 125
- Zugang zur Wasserzähleranlage außerhalb des Gebäudes
- frostfreier Betrieb durch 2 Deckelsystem
- optional druckwasserdichte Ausführung

serstoffdruckgasatmosphäre mindestens einer vorgegebenen konservativen Kurve genügt. Weiterhin wird eine konkrete Vorgabe für die Größe des in der bruchmechanischen Lebensdauer-Berechnung anzunehmenden Ausgangsrisses gemacht. Die angegebene Geometrie orientiert sich an den Vorgaben für die im Rohrwerk vorzunehmende Ultraschallprüfung auf mögliche Ungängen im Rohr. Mit diesen Randbedingungen ergibt sich folglich ein klarer werdendes Bild, welche Kriterien Stahlrohrhersteller für ihre Produkte erfüllen bzw. nachweisen müssen.

Qualifizierung von HFI-Leitungsrohren

Slow-Strain-Rate-Tensile (SSRT) Test Um die Eignung von Rohrleitungen für den Transport von Wasserstoff zu bewerten, hat die Mannesmann Line Pipe GmbH mithilfe der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) die Beständigkeit gegen wasserstoffinduzierte Korrosion an aktuellen Mannesmann H2ready-Werkstoffen aus HFI-Rohren unterschiedlicher Festigkeitsklassen untersucht. Im SSRT-Versuch wird eine Zugprobe mit deutlich reduzierter Dehnrate belastet. Verglichen wird das Materialverhalten im gasförmigen

reinen Wasserstoff bei 80 bar mit der Prüfung in einem inerten Medium (hier 100 % Stickstoff bei 80 bar).

Insgesamt wurden 45 Versuche an Längsproben aus dem Grundwerkstoff und 22 Versuche an Querproben aus der HFI-Schweißnaht durchgeführt. Die Duktilitäts- und Festigkeitskennwerte der Proben sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Der negative Einfluss des Wasserstoffs lässt sich, wie bereits aus früheren Studien und Veröffentlichungen bekannt [1-3], anhand der Kennwerte Brucheinschnürung RAR (reduction of area ratio) und relative plastische Dehnung EPR (plastic elongation ratio) beobachten. Bei der überwiegenden Anzahl der Proben ist eine Abnahme der beiden Parameter zu erkennen. Diese liegt aber stets über 55 %. Ein deutlich negativer Einfluss des Wasserstoffs auf die Zugfestigkeit wird in keinem der Tests beobachtet. Mit einem Unterschied von weniger als 2 % zwischen den beiden Testmedien liegen die meisten Werte im Streubereich. Damit zeigen die Slow-Strain-Rate-Zugversuche bei 80 bar keine erhöhte Anfälligkeit gegen H₂ im konstruktiv relevanten Bereich der elastischen Verformung unterhalb der Streckgrenze.

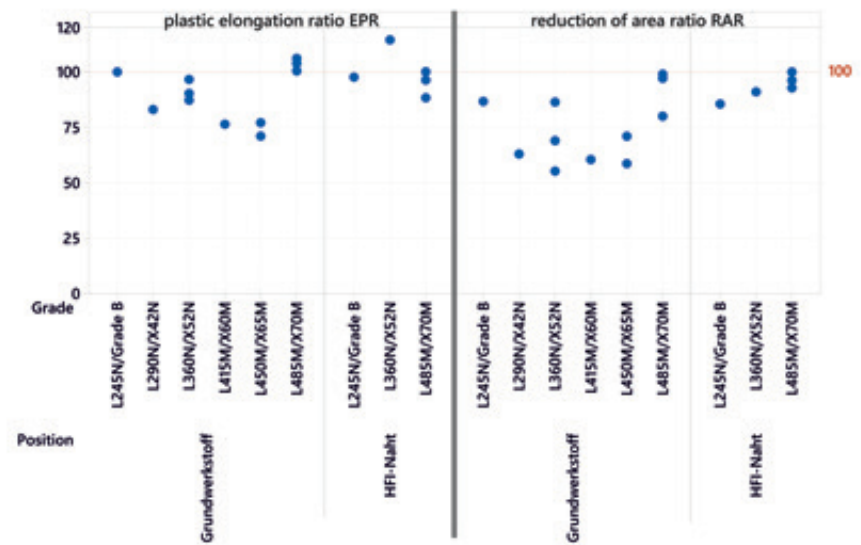


Abb. 2 Einfluss von Wasserstoff auf die plastische Dehnung und die Brucheinschnürung im Slow-Strain-Rate-Zugversuch an Proben aus dem Grundwerkstoff und der HFI-Naht (dargestellt ist das Verhältnis der Werte aus dem Versuch in H₂ zum Versuch in N₂)

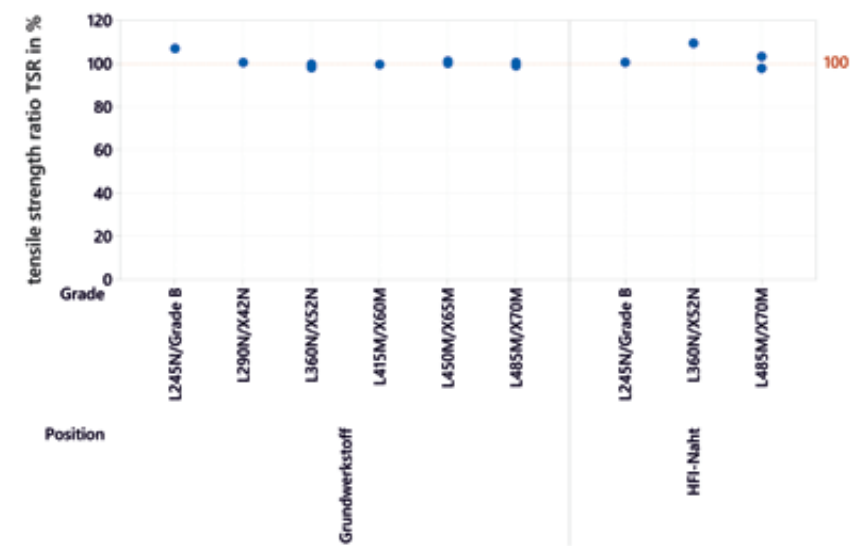


Abb. 3 Zugfestigkeitsverhältnis an Proben aus Grundwerkstoff und HFI-Schweißnaht im Slow-Strain-Rate-Zugversuch in reinem H₂ im Vergleich zum inerten Medium N₂

Spannungsintensität Obwohl der SSRT-Versuch eine Bewertung der Anfälligkeit von Rohrleitungsstählen zulässt, werden keine Kerben oder Ermüdungsanrisse berücksichtigt, welche die Lebensdauer erheblich senken können [4-8]. In den Regelwerken werden daher Prüfungen an Proben mit einem Anriss in Wasserstoff-Atmosphäre gefordert, um Rohrleitungswerkstoffe für die Auslegung in Wasserstoff zu qualifizieren. Untersuchungen zum Werkstoffverhalten unter dem Vorhandensein von Rissen und einer Last unter der Einwirkung von Druckwasserstoff wurden bei der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH durchgeführt, wobei eine Vielzahl an Mannesmann H2ready-Güten untersucht wurden. Als Kriterium ist eine Spannungsintensität K_{IH} von 55 MPa·√m als im Versuch zu erreichender Mindestwert für die einmalige Qualifizierung der Werkstoffgüte in der ASME B31.12 festgelegt. Hintergrund ist die spätere Lebensdaueranalyse, bei der dieser Wert als Abbruchkriterium genutzt wird. Der Schwellenwert des Spannungsintensitätsfaktors K_{IH} wurde für die vorliegenden Untersuchungen mit der Methode der konstanten Verschiebung bestimmt, wie in ASTM E1681 und ASME BPVC Section VIII Division 3,

Artikel KD-10 beschrieben. Präparation und Versuchsdurchführung des statischen Versuchs kann [9] im Detail entnommen werden.

Für alle untersuchten Stahlgüten liegt der erreichte Wert deutlich höher als die geforderten 55 MPa√m (Tab. 1). Alle Stahlgüten sind folglich für die Verwendung in Wasserstoff qualifiziert. Ein Test an der Stahlgüte X60M mit einer weitaus höheren aufgebrachten Verschiebung zeigt, dass das Material den geforderten Wert um mehr als 30 MPa√m übersteigt. Zusammenfassend bestätigen die Versuche die überragende Beständigkeit der geprüften Werkstoffe gegen Wasserstoffversprödung unter den gewählten Bedingungen.

Als Alternative wird im DVGW-Arbeitsblatt G463 die Ermittlung des Materialkennwert K_{JIC} über Risswiderstandsversuche (J-R) nach ASTM E1820 gefordert. Bei dieser Prüfmethode wird der Widerstand eines Risses in Wasserstoff ermittelt. Die genaue Versuchsbeschreibung kann [10] entnommen werden, Ergebnisse an diversen Bestandsleitungen aus Deutschland [11]. Aktuell laufen entsprechende Untersuchungen an den Mannesmann H2ready-Güten.

Rissfortschritt da/dN

Der Transport von Gasen findet in Rohrleitungen unter hohen Drücken statt. Während des Transports kann es betriebsbedingt zu Druckschwankungen kommen, die eine zyklische Beanspruchung der Leitung in Umfangsrichtung nach sich ziehen. Insbesondere an möglicherweise vorhandenen Kerben oder Rissen kann zyklische Beanspruchung zu Ermüdungsrisswachstum führen, was schließlich die Lebensdauer der Rohrleitung begrenzt. Um das Risswachstum bemessen zu können, werden Rissfortschrittsuntersuchungen in Druckwasserstoff bei praxisnahen Betriebsbedingungen durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen der Risswachstumsrate da/dN und dem Spannungsintensitätsfaktor ΔK kann in Ermüdungsversuchen beispielsweise nach ASTM E647 ermittelt werden. Generell zeigen Werkstoffe unter dem Einfluss von Druckwasserstoff vor allem bei geringer Prüffrequenz beschleunigtes Risswachstum [5]. Um den Effekt von Wasserstoff auf den Werkstoff bewerten zu können, werden die Versuche daher bei Frequenzen von höchstens 1 Hz durchgeführt.

Abbildung 4 zeigt Ergebnisse von Rissfortschrittuntersuchungen aus Grund-

werkstoff und HFI-Naht an den Mannesmann H2ready-Güten X52 bis X70. Für die meisten Proben liegt der Rissfortschritt pro Zyklus niedriger als die in der ASME B31.12 definierte obere Grenzkurve (schwarz gestrichelte Linie). Lebensdauerberechnungen auf Basis der tatsächlichen Rissfortschrittsparameter entsprechen daher dem realen Verhalten der Werkstoffe. Der Werkstoff X60M zeigt teils schnellere Rissfortschrittsraten als die Upper-Bound Kurve, wie auch einige der Prüfungen, auf denen die Grenzkurve der ASME B31.12 basiert. Berechnungen (im nächsten Kapitel) mit den realen Werten im

Vergleich zur oberen Grenzkurve führen dennoch zu höheren ertragbaren Lastwechseln als mit der Grenzkurve.

In den Untersuchungen an diversen Bestandsleitungen aus Deutschland [11] sind ebenfalls Risswachstumskurven ermittelt worden. Im Vergleich mit den Ergebnissen an den H2ready-Güten lässt sich abschätzen, dass die Bestandswerkstoffe tendenziell höhere Risswachstumsraten aufweisen (Abb. 5). Daher wurde in [11] zusätzlich eine neue obere Grenzkurve („Master Curve SyWeSt H2“) eingeführt. Diese liegt konservativer als die Kurve aus der ASME B31.12 („Master Curve ASME B31.12“)

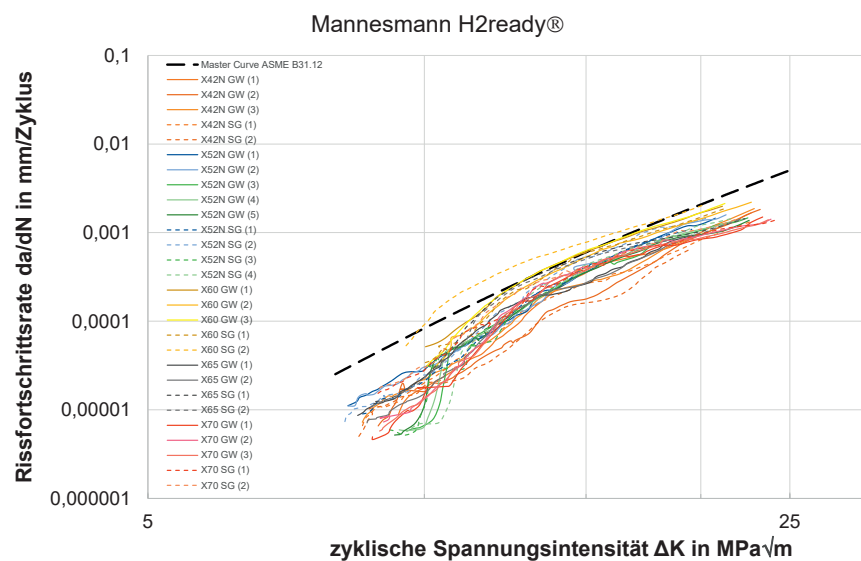


Abb. 4 Rissfortschrittsrate da/dN in Abhängigkeit von ΔK verschiedener Mannesmann H2ready-Stahlgüten (100 % H_2 , 100 bar)

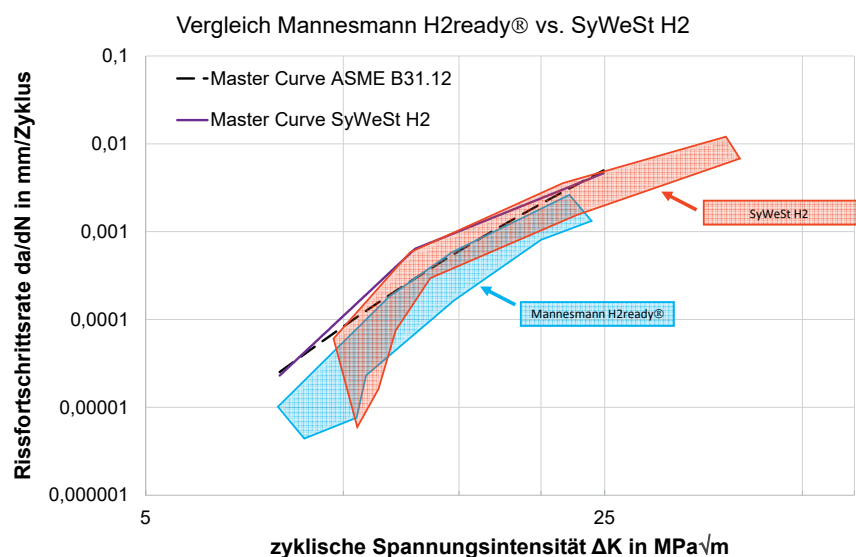


Abb. 5 Vergleich des Rissfortschrittsverhalten der Mannesmann H2ready-Stahlgüten mit den Ergebnissen aus [11]

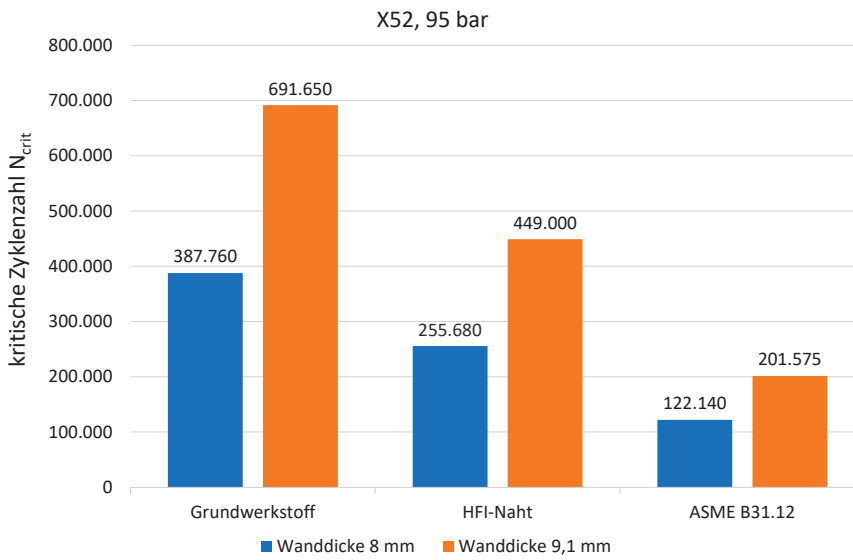


Abb. 6 Einfluss der Wanddicke für einen X52 mit Außendurchmesser 406,4 mm bei 95 bar Betriebsdruck auf die kritische Zyklenzahl in Abhängigkeit der gewählten Rissfortschrittcurve

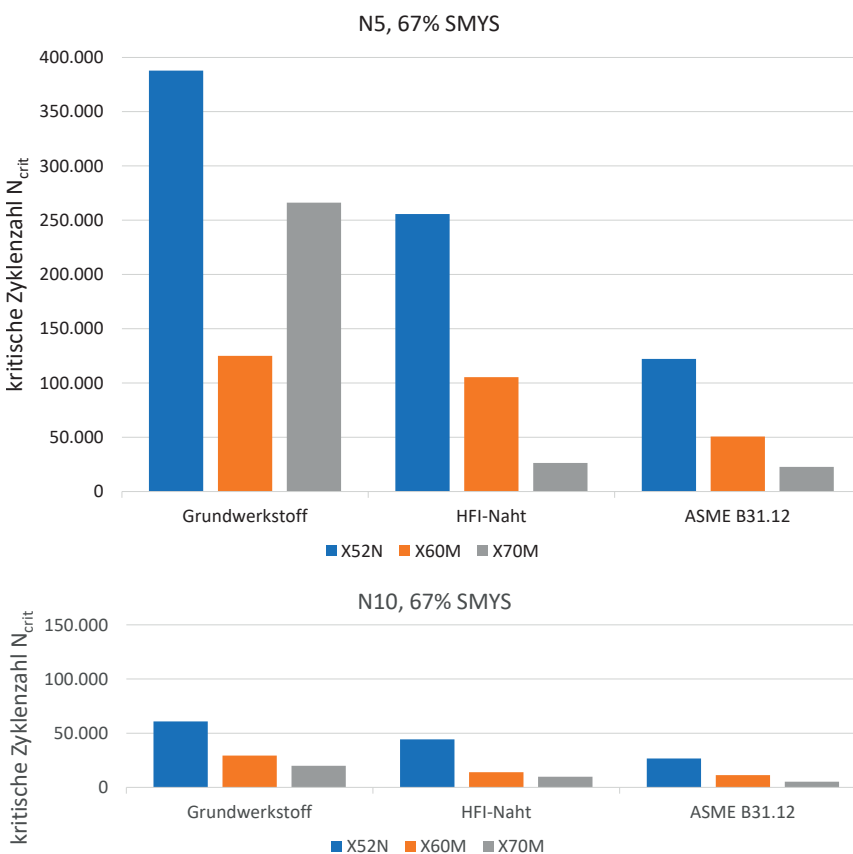


Abb. 7 Einfluss der Rissfortschrittsparameter und Rohrgüte bei Fehlertiefe 10% (N10) und 5% (N5) der Wanddicke und gleichem Auslastungsgrad auf die kritische Zyklenzahl

und ergibt somit geringere zulässige Lastwechsel.

Lebensdauerberechnung

Bei der möglichst ökonomischsten Auslegung einer Rohrleitung für den Transport von Druckwasserstoff muss ein

potenzieller Rissfortschritt in Abhängigkeit von der Auslastung berücksichtigt werden. In diesem Fall wird die Nutzungsdauer der Rohrleitung auf Basis des berechneten theoretischen zyklischen Risswachstums ermittelt. Hat der angenommene Anriss eine bestimmte

Tiefe erreicht, bzw. die Spannungsintensität an der Rissspitze den Wert von 55 MPa√m überschritten, ist eine weitere Verwendung der Rohrleitung im Sinne der Auslegung nicht mehr zulässig. Der Auslastungsgrad kann über Absenkung des Betriebsdrucks, durch Erhöhung der Wanddicke oder Nutzung einer höheren Festigkeitsklasse reduziert werden. Die oben genannte, in der ASME B31.12 angeführte obere Grenzkurve bildet die in den Versuchen größte erhaltene Rissfortschrittsrate ab, was bei Anwendung in der Auslegung zu einer kürzeren aber konservativen Nutzungsdauer gegenüber der Verwendung des realen Materialverhaltens führt. Zusammen mit dem Wissen um das tatsächliche Werkstoffverhalten lässt sich so die vorhandene Sicherheitsreserve abschätzen.

Die Berechnung der Lebensdauer basiert auf bruchmechanischen Annahmen. So gehen neben bekannten Größen wie Rohrdurchmesser, Wanddicke und Festigkeit der Stahlgüte auch Faktoren hinsichtlich der Betriebsbedingungen mit ein. Generell werden Auslegungsdruck und Druckschwankungen in Form des R-Wertes als Verhältnis der Unter- zur Oberlast berücksichtigt. Für die Bestimmung der Lebensdauer werden außerdem weitere Parameter benötigt, wie die zu Beginn anzunehmende Ungänge. Die Annahme beruht auf dem Prüfkriterium der zerstörungsfreien Ultraschallprüfung bei der Rohrherstellung aus der DIN EN ISO 10893-11. Als übliches Kriterium wird U3 für Leitungsrohre verwendet, mit einer Tiefe des Fehlers von 10 % der Rohrwanddicke (N10). Eine weitere Möglichkeit ist die Kalibrierung an einem Riss mit einer Tiefe von nur 5 % der Wanddicke (N5).

Beispiele des Einflusses verschiedener Parameter sind in den Abbildungen 6 und 7 gegeben. Abbildung 6 zeigt den Einfluss der Rohrwanddicke auf einen Rohrleitungsstahl X52/L360 mit Außendurchmesser von 406,4 mm und einen Innendruck von 95 bar. Alle Berechnungen beruhen auf einem R-Wert von 0,5. Bei einer Wanddicke von 8 mm ist generell mit einer erheblich geringeren Lebensdauer im Vergleich zu einer Wanddicke von 9,1 mm zu rechnen. In allen Fällen führt die um 1,1 mm dickere Rohrwand zu einer ca. 1,7-mal höheren Lebensdauer.

Abbildung 7 zeigt den Einfluss der Rissfortschrittsrate und der Anfangsfehlertiefe für ein Rohr 406,4 mm x 8 mm und einem R-Wert von 0,5. Der

Stahlgüte	Testposition	$K_{IH,applied}$ in MPa \sqrt{m}	$K_{IH,reached}$ in MPa \sqrt{m}
X42N/L290N	Grundwerkstoff	125 - 131	62 - 65
	HFI-Naht	118 - 123	59 - 62
	Wärmeeinflusszone	116 - 119	58 - 59
X52N/L360N	Grundwerkstoff	114 - 127	57 - 64
	HFI-Naht	116 - 122	58 - 61
	Wärmeeinflusszone	114 - 122	57 - 61
X60M/L415M	Grundwerkstoff	124 - 126	62 - 63
	Grundwerkstoff	170 - 172	85 - 86
	HFI-Naht	127 - 144	63 - 72
	Wärmeeinflusszone	117 - 120	58 - 60
X65M/L450M	Grundwerkstoff	120 - 127	60 - 63
	HFI-Naht	117 - 118	58 - 59
	Wärmeeinflusszone	117 - 120	59 - 60
X70M/L485M	Grundwerkstoff	125 - 129	62 - 64
	HFI-Naht	117 - 121	58 - 60
	Wärmeeinflusszone	117 - 118	58 - 59

Tab. 1 Ergebnisse der K_{IH} -Versuche an Mannesmann H2ready-Güten der Mannesmann Line Pipe GmbH

Auslastungsgrad wurde konstant mit 67 % bezogen auf die Mindeststreckgrenze gewählt. Der Innendruck für die Rohrstähe unterschiedlicher Festigkeiten variiert folglich. Die Berechnungen für den X52N wurden bei einem Innendruck von 95 bar durchgeführt, während für den X60M und den X70M mit 112 bar bzw. 130 bar gerechnet wurde. Bei festgelegtem Auslastungsgrad hat der Innendruck einen maßgebenden Einfluss auf die Lebensdauer. Im Vergleich der Anfangsfehler bedeutet ein kleinerer Anfangsfehler generell eine starke Zunahme der Lebensdauer. So führt beim X52N und beim X60M die Verwendung eines Anfangsfehlers von 0,4 mm (N5) zu einer ca. 5- bis 7-mal höheren Lebensdauer als bei Verwendung von 0,8 mm (N10). Beim X70M zeigt sich sogar eine mehr als 13-mal höhere Lebensdauer. Das ist auf die Rissfortschrittsrate im Grundwerkstoff zurückzuführen, für welche bei kleinen Werten der zyklischen Spannungsintensität ΔK wesentlich geringere Werte erzielt wurden als im Vergleich zur oberen Grenzkurve der ASME B31.12.

Fazit und Ausblick

Zur Unterstützung unserer Kunden beim Aufbau des Gasnetzes der Zukunft mit Wasserstoff untersucht Mannesmann Line Pipe GmbH im Rahmen seiner Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten seine Mannesmann H2ready-Güten auf das Verhalten in Wasserstoffatmosphäre. Hierbei ist es wichtig, in enger Zusammenarbeit mit den Kunden, Netzbetreibern, Zertifizierungsstellen und Forschungseinrichtungen zu identifizieren, welche charakteristischen Daten benötigt werden, und wie diese genau ermittelt werden sollen, um eine Bewertung der Wasserstofftauglichkeit

durchführen zu können. Bisherige umfangreiche Untersuchungen mit Werkstoffen aus allen gängigen Rohrfestigkeitsklassen bis zum X70/L485 demonstrierten die Wirksamkeit der „Mannesmann H2ready“-Strategie und die grundsätzliche Eignung von längsnahtgeschweißten Stahlrohren, hergestellt mittels Hoch-Frequenz-Induktions-(HFI-) Verfahren, zum Transport von Wasserstoffgas. Durch die Verwendung von höherfesten Güten könnten höhere Transportdrücke oder dünnere Rohrwände verwendet werden, was zu einer Reduzierung des Ressourcen- und Energieverbrauchs bei der Produktion führt. Alternativ lässt sich unter Beibehaltung der gängigen Designregeln der Sicherheitsfaktor erhöhen, oder die konservative Betrachtung aktueller Kriterien minimieren, um Wasserstofftransportleitungen möglichst wirtschaftlich und ökologisch unter Berücksichtigung aller Sicherheitsaspekte zu betreiben. ■

Literatur

- [1] Brauer, H.; Simm, M.; Wanzenberg, E.; Henel, M.: Transport von gasförmigem Wasserstoff via Pipelines? Aber sicher! – H2 by Mannesmann. 3R 10/11 (2018), S. 63/7.
- [2] Träger, M.; Bosch, C.; Brauer, H.: Untersuchungen zur Beständigkeit hochfester HFI-geschweißter Rohre für den Wasserstofftransport. Oldenburger Rohrleitungsforum 2014, S. 233/43 (Proc. Conf.).
- [3] Brauer, H.; Simm, M.; Wanzenberg, E.; Henel, M.: Rohre für den Transport von gasförmigem Wasserstoff – Hy by Mannesmann. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, S. 240/51 (Proc. Conf.).
- [4] Gräfen, H.; Pöpperling, R.; Schlecker, H.; Schlerckmann, H.; Schwenk, W.: CERT-Untersuchungen an Leitungsrohrstählen über eine Korrosionsgefährdung durch wasserstoffhaltige Gase bei hohen Drücken. Werkstoffe und Korrosion, 39, 1988, 517.

[5] Briottet, L.; Moro, I.; Lemoine, P.: Quantifying the hydrogen embrittlement of pipeline steels for safety considerations. International Journal of Hydrogen Energy 37 (2012), 22, S. 17616/23.

[6] Slifka, A. J.; Drexler, E. S.; Stalheim, D. G.; Amaro, R. L.; Lauria, D. S.; Stevenson, A. E.; Hayden, L. E.: The Effect of Microstructure on the Hydrogen-Assisted Fatigue of Pipeline Steels. ASME Paper No. PVP2013-97217, 2013.

[7] Slifka, A. J.; Drexler, E. S.; Amaro, R. L.; Hayden, L. E.; Stalheim, D. G.; Lauria, D. S.; Hrabe, N. W.: Fatigue Measurement of Pipeline Steels for the Application of Transporting Gaseous Hydrogen. ASME J. Pressure Vessel Technol. 140 (2018) 1, p. 021403-1/13.

[8] Wackermann, K.; Schweizer, W.F.; Pfeiffer, W.: Wasserstoffversprödung metallischer Werkstoffe: Adsorption, Diffusion und Werkstoffeigenschaften. gwf Gas + Energie 2-3 (2019), S. 66/75.

[9] Höhler, S.; Wanzenberg, E.; Brauer, H.; Kalwa, C.; Muthmann, E.; Ratke, D.; Völling, A.: Wasserstoffleitungen – Anforderungen und relevante Prüfungen für Stahlrohre. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023 (Proc. Conf.).

[10] Marewski, U.; Silcher, H.: Bruchmechanische Untersuchungen zur Qualifizierung von Werkstoffen für Wasserstoffhochdruckleitungen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, S. 660-675 (Proc. Conf.).

[11] Steiner, M.; Marewski, U.; Silcher, H.: DVGW-Projekt SyWeSt H2: Stichprobenhafte Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit. Abschlussbericht Januar 2023, DVGW Forschungsprojekt G 20200.

Autoren

Dr. Holger Brauer
Mannesmann Line Pipe GmbH
In der Steinwiese 31
57074 Siegen
Tel.: + 49 (0) 2381 420 447
holger.brauer@mannesmann.com
www.mannesmann-linepipe.com

Dr. Georg Golisch
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
Ehinger Str. 200
47259 Duisburg
Tel.: + 49 (0) 203 999 3223
g.golisch@du.szmf.de
www.szmf.de