

TRUST IN EVERY DIMENSION

HFI-GESCHWEISSTE STAHLROHRE

für den Transport
und die Speicherung
von Wasserstoff



MANNESMANN
LINE PIPE

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

HFI-GESCHWEISSTE STAHLROHRE

für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff

Produktbeschreibung

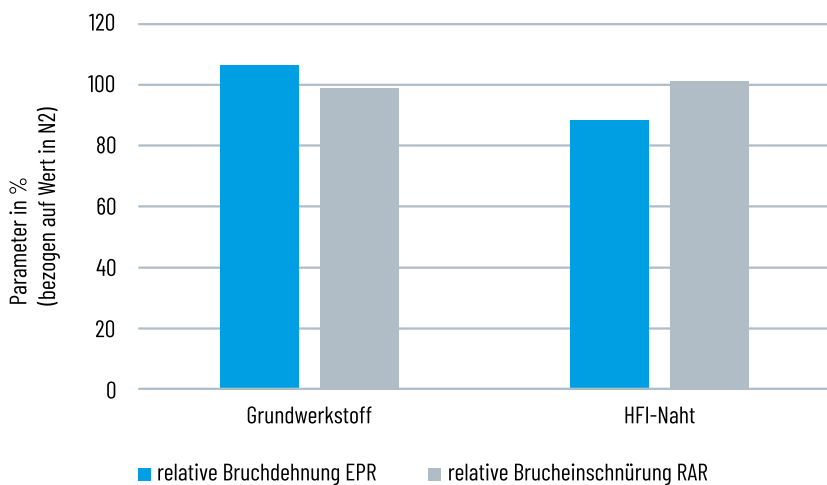
„Mannesmann H2ready®“ Stahlrohre von Mannesmann Line Pipe bieten höchste Flexibilität und Sicherheit für den Transport und die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff oder als Beimischung von Wasserstoff zum Erdgas.

Unsere Rohre bieten eine optimale Lebensdauer. Bereits frühere Untersuchungen und bestehende Normen zeigen die Verwendung von Leitungsrohrgüten bis API 5L X52 (L360) als unkritisch. Aber auch die Verwendung von höherfesten Materialien der Güte X70 (L485) für die „Mannesmann H2ready®“ Stahlrohre für reinen Druckwasserstoff sowie Wasserstoff-/Erdgas-Gemische ist Gegenstand von Untersuchungen. So zeigen sowohl Grundwerkstoff als auch HFI-Naht bzw. Rundnaht u. a. in Slow-Strain-Rate-Zugversuchen bei 80 bar keine erhöhte Anfälligkeit gegen Wasserstoff im konstruktiv relevanten Bereich.

Wasserstoff besitzt lediglich circa ein Drittel des Brennwertes von Erdgas. Das heißt, um eine annähernd gleiche Energiemenge wie beim Erdgas-Transport befördern zu können, müsste der Druck in der Pipeline entsprechend erhöht werden. Dies ist jedoch aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Alternativ besteht

die Möglichkeit, die Wasserstoffleitung mit einer höheren Fließgeschwindigkeit zu betreiben. Um dies zu erleichtern, kann auf der Rohrinneiseite eine Beschichtung aufgetragen werden, die die Reibung zwischen Rohrwand und Medium verringert. Mannesmann Line Pipe bietet hier mit der Flow Coat-Beschichtung die passende Lösung.

Das konzerneigene Forschungsinstitut, die Salzgitter Mannesmann Forschung, wird zur Prüfung und Realisierung höchster Qualitätsansprüche von uns eingebunden. Zusammen arbeiten wir kontinuierlich an der Erweiterung der Wissensbasis. So konnte zunächst in Untersuchungen mit Druckwasserstoff nachgewiesen werden, dass der in der ASME B31.12 geforderte Mindestwert für die Spannungsintensität K_{IH} für unsere „Mannesmann H2ready®“ Werkstoffe eingehalten und sogar übertroffen wird. Zusätzliche Rissfortschrittversuche und JR-Versuche zur Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors bei weltweiten renommierten Versuchslaboren bestätigen die herausragenden Eigenschaften unserer Werkstoffe. Details zu diesen Versuchen sind auf Seite 4 und 5 dargestellt.



Spannungs-Dehnungs-Verhalten im Slow-Strain-Rate-Zugversuch von X70 in 100 % Wasserstoff (H_2) im Vergleich zur inerten Stickstoff-Atmosphäre (N_2) an Grundwerkstoffproben und HFI-Nahtproben



Anwendung

Neben einem weltweit steigenden Energiebedarf führen besonders die politischen Bestrebungen, den Ausstoß von Treibhausgasemissionen zu minimieren, zu einer steigenden Nachfrage nach alternativen Energieträgern. Damit einher geht ein Rückgang an grundlastfähigen Erzeugungskapazitäten, der in Deutschland durch den forcierten Ausstieg aus der Kernenergie noch beschleunigt wird.

In einem verstärkt regenerativen Energiemix sind der technische Ausgleich der fluktuierenden Stromproduktion und der bedarfsgerechte Transport zu entfernten Energieverbrauchsstätten von zentraler Bedeutung. Innovationen in den Bereichen Energiespeicherung und Energietransport werden damit entscheidend für das Gelingen der Energiewende.

Im Bereich Power-to-Gas erweist sich insbesondere Wasserstoff als nützliches Speicher- und Transportmedium. Neue Anwendungsfelder finden sich z. B. in der Rückverstromung, dem Wärmemarkt, dem Mobilitätssektor, der Stahlindustrie, der Glasindustrie, der chemischen Industrie sowie der Lebensmittelindustrie.



Besonders in Deutschland ist die verstärkte Nutzung von Wasserstoff aus mehreren Gründen sinnvoll:

- Über 100 Jahre Erfahrung in der kommerziellen Handhabung von Wasserstoff
- Weltweit in der Führungsgruppe bei der Entwicklung von H₂- und Brennstoffzellen-Technologien
- Chemieindustrie auf der Suche nach Wasserstoff aus zunehmend kohlenstoffextensiveren Quellen
- Vorhandensein oder Umstellung von Kavernen für großvolumige H₂-Speicherung in Norddeutschland (anders als in Kalifornien oder Japan)
- Energieintensive Premium-Stahlproduktion und -weiterverarbeitung

Der verstärkte Einsatz von Wasserstoff erfordert allerdings auch eine entsprechende Infrastruktur für den Transport und die Speicherung des Mediums. Damit entsteht ein enormer Bedarf an neuen Gasleitungen, die für den Wasserstofftransport geeignet sind.

HFI-geschweißte „Mannesmann H2ready®“ Leitungsrohre von Mannesmann Line Pipe, mit speziell für den Transport von Wasserstoff angepassten chemischen, mechanischen und geometrischen Eigenschaften, eignen sich hervorragend für den anstehenden Ausbau der Leitungskapazitäten. Die erprobte Schweißtechnologie und der Einsatz von modernen Stahlgüten, die beständig gegen den korrosiven Einfluss von Wasserstoff sind, machen unsere Leitungsrohre zu einer wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Lösung.

Produkteigenschaften

Der Werkstoff Stahl zeichnet sich durch eine extrem hohe Zähigkeit, Langlebigkeit und eine hohe Resistenz gegen äußere Einflüsse aus. Unser Lieferprogramm mit einem breiten Abmessungsspektrum an Stahlrohren von DN 100 bis DN 600 bietet alle Möglichkeiten für breit gefächerte Anwendungen und besondere Einsatzmöglichkeiten. Durch eine optimierte Material- und Gütenkombination sind unsere „Mannesmann H2ready®“ Rohre nicht nur sauber und sicher, sondern auch wirtschaftlich.

RISSWIDERSTAND VON „MANNESMANN H2READY®“ ROHREN in reinem Wasserstoffdruckgas

Einleitung

HFI-geschweißte „Mannesmann H2ready®“ Leitungsrohre von Mannesmann Line Pipe bieten eine maximale Flexibilität und Sicherheit für den Transport und die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff sowie Wasserstoff-/Erdgas-Gemischen.

Der Einfluss von Wasserstoff auf den Risswiderstand einer Vielzahl von „Mannesmann H2ready®“ Güten wird anhand verschiedener wasserstoffspezifischer Versuche untersucht. Das so ermittelte Materialverhalten wird über Lebensdauerberechnungen für die Bewertung der Eignung von Stählen für den Wasserstofftransport und das Leitungsdesign in den entsprechenden Regelwerken verwendet.



Proben für die Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors K_{IIC}



Probe für die Bestimmung des Spannungsintensitätsfaktors K_{IH}



Autoklav zum Testen der K_{IH} -Proben

Spannungsintensitätsfaktor K_{IH}

Dieser Test wird verwendet, um den Widerstand gegen Rissbildung in Wasserstoffdruckgas nachzuweisen, wie in Kapitel „PL-3.7.1 Steel Piping Systems Design Requirements, Option B (performance-based design method)“ der ASME B31.12-2019 beschrieben. Es wird auf den Schwellenwert des Spannungsintensitätsfaktors K_{IH} geprüft, wobei die Methode der „konstanten Verschiebung“ (constant displacement) verwendet wird, wie in der ASME BPVC Section VIII Division 3-2013,

article KD-10 und der ASTM E1681-2013 beschrieben. Dabei werden die Proben auf eine bestimmte konstante Verformung mittels einer Schraube vorgespannt. Die Versuche werden in reinem Wasserstoffgas bei 100 bar für 1.000 Stunden hauptsächlich an Proben aus dem Grundwerkstoff durchgeführt. Für jede Materialgüte wird jeweils ein Satz aus drei Proben verwendet. Ein Satz ist aus der HFI-Naht entnommen.

Ergebnisse

Der aus den Testergebnissen errechnete K_{IH} -Wert ist in allen Fällen signifikant höher als der spezifizierter Mindestwert von $55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ des Spannungsintensitätsfaktors und erfüllt damit die Qualifikationsanforderung der ASME B31.12 (Tabelle 4). Ein Versuch am X60M mit einer deutlich erhöhten Belastung zeigt, dass der Werkstoff die Anforderung des Standards um mehr als $30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ übertrifft. Somit kann den geprüften Materialien ein überlegener Widerstand

gegen Wasserstoffversprödung unter den gewählten Bedingungen attestiert werden. Um die Nutzbarkeit aller „Mannesmann H2ready®“ Stähle für das Design von Wasserstoff-Pipelines gemäß ASME B31.12 nachzuweisen, laufen derzeit weitere Tests an verschiedenen Stahlgüten oder können zukünftig nach den verschiedenen Bedürfnissen der jeweiligen Anwendung entsprechend angepasst durchgeführt werden.

Tabelle 4: Spannungsintensität K_{IH} in 100 % Wasserstoff nach 1000 Stunden, ermittelt an „Mannesmann H2ready®“ Rohrgüten

Stahlgüte	Testdruck in bar	K_{IH} erreicht in $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$		
		Grundwerkstoff	HFW-Naht	Wärmeeinflusszone
X42N/L290N	100	62 – 65	59 – 62	58 – 59
X52M/L360M	100	57 – 64	58 – 61	57 – 61
	180	58 – 59	59 – 60	58 – 59
X52M/L360M	100	58 – 61	57 – 59	57 – 61
	180	55 – 56	58 – 59	58 – 58
X60M/L415M	100	57 – 63 85 – 86	58 – 72	58 – 60
X65M/L450M	100	58 – 63	58 – 59	58 – 60
X70M/L485M	100	62 – 64	58 – 60	58 – 59

Spannungsintensitätsfaktor K_{JIC}

Einige der „Mannesmann H2ready®“ Werkstoffe wurden zusätzlich im JR-Versuch nach ASTM E1820 unter Verwendung der Compliance Methode in 100 % Wasserstoff bei 100 bar geprüft. Der hierbei ermittelte Wert der Spannungsintensität K_{JIC} berücksichtigt auch das plastische Verformungsverhalten des Werkstoffes während eines Rissfortschritts und gibt an, bei welcher Spannungsintensität ein Rissfortschritt von 0,2 mm aufgetreten ist. Die ermittelten Werte zeigt Tabelle 5. Auch dieser Versuch hat Eingang in die entsprechenden Rohrnormen gefunden (z. B. DVGW G463).

Tabelle 5: Ergebnisse der JR-Versuche in 100 % Wasserstoff bei 100 bar, ermittelt an „Mannesmann H2ready®“ Rohrgüten

Stahlgüte	K_{JIC} ($K_{J0,2\text{mm}}$) in $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$	
	Grundwerkstoff	HFW-Naht
X52N/L360N	102 – 110	122 – 143
X60M/L415M	111 – 114	107 – 112
X70M/L485M	107 – 119	136 – 138

FLOW COAT-INNENBESCHICHTUNG



Flow Coat-Beschichtung auf der Rohr-Innenseite



Auftragen der Flow Coat-Beschichtung

Einleitung

Epoxy Flow Coat wird beim Transport von nicht-korrosiven Gasen in Pipelines als sogenanntes Dünnschicht-Epoxy appliziert. Zweck der Innenauskleidung ist es, eine glatte Rohroberfläche darzustellen, die dem zu transportierenden Medium möglichst wenig Reibung entgegensetzt. Gleichzeitig wird ein verbesserter Durchfluss bei geringerem Energiebedarf erreicht.

Die Epoxy-Auskleidung erleichtert außerdem die visuelle Kontrolle und das Molchen der Rohre. Werden die Rohre gelagert, dient Flow Coat zugleich als Korrosionsschutz.

Zum Einsatz kommt Flow Coat nach API RP 5L2/ISO 15741 mit einer Schichtdicke von ca. 60 μm . Aber auch individuelle Kundenwünsche können hier Berücksichtigung finden.

Einfluss von Wasserstoff auf die Flow Coat Beschichtung

Wasserstoff kann leicht in Beschichtungen eindiffundieren. Um auszuschließen, dass dies bei spontanem Druckabfall zu Blasenbildung führt, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Beständigkeit der Beschichtung gegen Druckwechsel

Die Prüfung der Beständigkeit der Beschichtung in gasförmiger Wasserstoffumgebung gegen Druckwechsel wird in Anlehnung an DIN EN 10301 Anhang C durchgeführt. Gegenstand des Tests sind die visuelle Begutachtung und Ermittlung der Haftfestigkeit der aufgetragenen Beschichtung, nachdem diese einer 10-fachen Behandlung mit Druckänderungen in einer gasförmigen Wasserstoffumgebung unterzogen wurde. Während des gesamten Tests wird die Probe in einer Wasserstoffgas-Atmosphäre ausgelagert. In den Belastungszyklen 1 – 4 und 6 – 9 wird der Wasserstoffdruck für 20 Stunden auf 100 bar erhöht. Nach jedem Zyklus erfolgt eine schnelle Druckentlastung auf Atmosphärendruck, der für 3 Stunden gehalten wird. In Zyklus 5 und 10 hingegen bleibt der Wasserstoffdruck von 100 bar über 68 Stunden konstant.



Langzeitverhalten der Beschichtung

Das Verfahren zur Prüfung der Langzeit-Beständigkeit der Beschichtung ist angelehnt an die DIN EN 10301 Anhang D. Bewertet wird das Verhalten der Beschichtung nach einer Behandlung mit Druckwasserstoff in flüssiger Umgebung (Wasser/Calciumcarbonat (CaCO_3)). Dazu wird die mit Flow Coat beschichtete Probe in einer gesättigten CaCO_3 -Lösung für 24 Stunden mit 100 bar Wasserstoffgas beaufschlagt. Zum Ende des Versuchs erfolgt eine schnelle Druckentlastung. Danach wird die Beschichtung visuell begutachtet und ihre Haftfestigkeit bewertet.

Ergebnisse

Beide Tests ergaben keine Blasenbildungen an den verwendeten Proben.





Benötigen Sie mehr
Informationen?
[Kontaktieren Sie mich!](#)

Dr. Holger Brauer
Innovation, Forschung & Entwicklung

T +49 2381 420-447

E holger.brauer@mannesmann.com

Mannesmann Line Pipe GmbH

In der Steinwiese 31
D - 57074 Siegen
Germany

T +49 271 691-0
F +49 271 691-299

mannesmann.com

MLP Datenblatt Transport und
Speicherung von Wasserstoff
DE 04/2026



MANNESMANN
LINE PIPE

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe