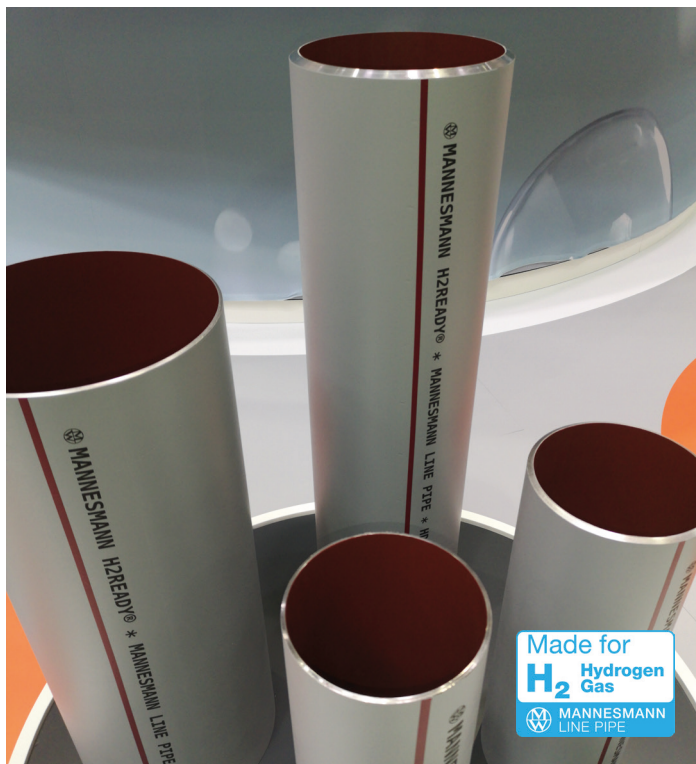


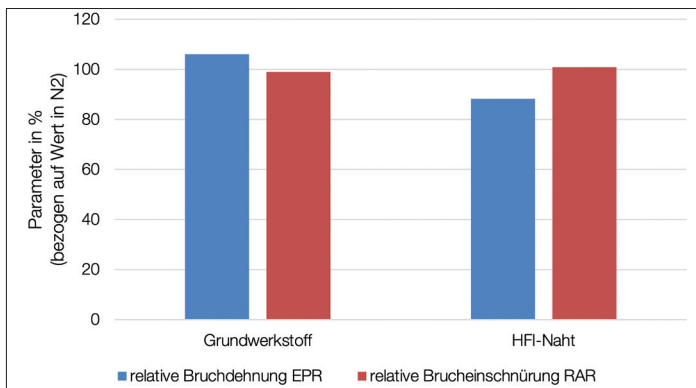
für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff

**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.

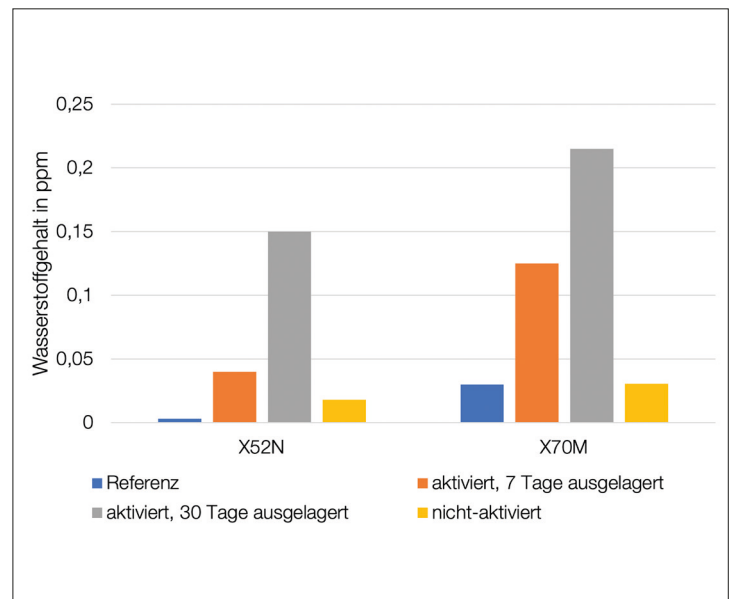


Unsere Rohre bieten eine optimale Lebensdauer. Bereits frühere Untersuchungen und bestehende Normen zeigen die Verwendung von Leitungsrohrgütern bis API 5L X52 (L360) als unkritisch. Aber auch die Verwendung von höherfesten Materialien der Güte X70 (L485) für die „Mannesmann H2ready®“ Stahlrohre für



Spannungs-Dehnungs-Verhalten im Slow-Strain-Rate-Zugversuch von X70 in 100 % Wasserstoff (H<sub>2</sub>) im Vergleich zur inerten Stickstoff-Atmosphäre (N<sub>2</sub>) an Grundwerkstoffproben und HFI-Nahtproben

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. Durch die natürliche Oxidschicht wird keine nennenswerte Aufnahme von Wasserstoff in das Material gefunden.



Einfluss des Oberflächenzustandes auf die vom Stahl aufgenommene Wasserstoffmenge: Nur im Fall der aktivierten Probenoberfläche wird eine Eindiffusion von Wasserstoff nachgewiesen; die Menge liegt im erwarteten niedrigen 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 konzerninterne 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 in jüngsten Untersuchungen nachgewiesen werden, dass der in der ASME B31.12-2019 geforderte Mindestwert für die Spannungsintensität  $K_{IH}$  für eine Vielzahl unserer „Mannesmann H2ready®“ Werkstoffe eingehalten und sogar übertroffen wird. Details sind auf Seite 3 dargestellt.

### für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff

#### 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, der Automobilindustrie (Brennstoffzellentechnologie), 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 H<sub>2</sub>- und Brennstoffzellen-Technologien
- Chemieindustrie auf der Suche nach Wasserstoff aus zunehmend kohlenstoffextensiveren Quellen

- Salzkavernen für großvolumige H<sub>2</sub>-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.

So wird beispielsweise in einer Simulation einer Wasserstoff-Netzinfrastruktur mit Großspeichern ein mögliches Zukunftsszenario für Deutschland ermittelt: Bei einer kompletten Umstellung der Mobilität auf Wasserstoff als Energieträger bis zum Jahr



2052 mit 33,9 Mio. Brennstoffzellen-Fahrzeugen würden für eine komplette Flächenabdeckung 9.450 H<sub>2</sub>-Tankstellen benötigt. Da auch in den Ländern mit extrem hoher Verkehrsdichte wie USA, Japan, China und Indien die Wasserstofftechnologie ernsthaft vorangetrieben wird, steht die Notwendigkeit von neuen Rohrleitungssystemen außer Frage.

HFI-geschweißte „Mannesmann H<sub>2</sub>ready®“ 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 Stahlgütern, die beständig gegen den korrosiven Einfluss von Wasserstoff sind, machen unsere Leitungsrohre zu einer wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Lösung.

**für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff**

**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 ( $K_{IH}$ ) 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 bewertet. Zu diesem Zweck wurde eine Testserie an der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH durchgeführt, welche die Tauglichkeit des Materials zeigt, die Spezifikation aus der ASME B31.12 zu erfüllen.

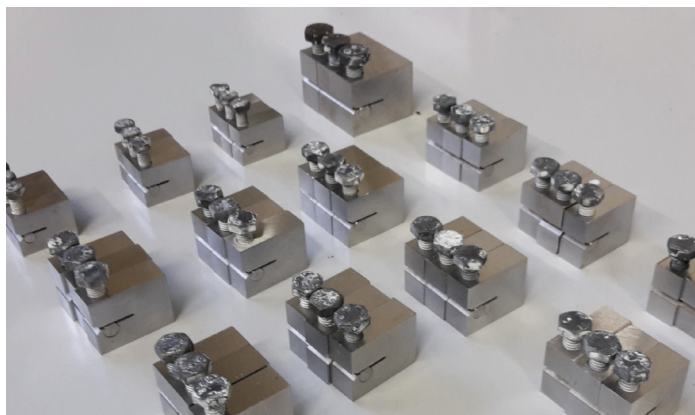
**Tests**

Der hier beschriebene 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 spezifizierte Mindestwert von 55 MPa√m des Spannungsintensitätsfaktors und erfüllt damit die Qualifikationsanforderung der ASME B31.12. Ein Versuch am X60M mit einer deutlich erhöhten Belastung zeigt, dass der Werkstoff die Anforderung des Standards um mehr als 30 MPa√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.



| Materialgüte | Probenposition | $K_{IH}$ , aufgebracht in MPa√m | $K_{IH}$ , erreicht in MPa√m |
|--------------|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| X42N         | Grundwerkstoff | 125–131                         | 62–65                        |
| X52N         | Grundwerkstoff | 116–127                         | 58–64                        |
| X60M         | Grundwerkstoff | 124–126                         | 62–63                        |
| X60M         | Grundwerkstoff | 170–172                         | 85–86                        |
| X65M         | Grundwerkstoff | 125–129                         | 63–65                        |
| X70M         | Grundwerkstoff | 125–129                         | 62–64                        |
| X60M         | HFI-Naht       | 127–145                         | 63–72                        |

für den Transport und die Speicherung von Wasserstoff

## FlowCoat-Innenbeschichtung

### 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.



Flow Coat-Beschichtung auf der Rohrin-nenseite



Auftragen der Flow Coat-Beschichtung

### Beständigkeit der Beschichtung gegenüber Gasdruckänderungen

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

#### Mannesmann Line Pipe GmbH

In der Steinwiese 31  
D-57074 Siegen

Tel.: +49 271 691-0

Fax: +49 271 691-299

E-Mail: [manuel.simm@mannesmann.com](mailto:manuel.simm@mannesmann.com)

[www.mannesmann-innovations.com](http://www.mannesmann-innovations.com)

[www.mannesmann-linepipe.com](http://www.mannesmann-linepipe.com)

### Test 1

Prüfung der Beständigkeit der Beschichtung in gasförmiger Wasserstoffumgebung in Anlehnung an DIN EN 10301 Anhang C

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.



Autoklav zum Testen der Flow Coat-Beschichtung

### Test 2

Prüfung der Beständigkeit der Beschichtung unter Einsatz flüssiger Medien nach DIN EN 10301 Anhang D

Bewertet wird das Verhalten der Beschichtung nach einer Behandlung mit Druckwasserstoff in flüssiger Umgebung (Wasser/ Calciumcarbonat (CaCO<sub>3</sub>)). Dazu wird die mit Flow Coat beschichtete Probe in einer gesättigten CaCO<sub>3</sub>-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.



**MANNESMANN. Das Rohr.**



Hier finden Sie weitere Informationen.