

Großrohre für den CO₂-Transport

Herausforderungen und Entwicklungsansätze

Christoph Bosch und Andreas Mondry

Carbon-Management, CO₂-Transport, Rohrleitungen, Großrohre, Rissausbreitung

Rohrleitungen sind die bei weitem ökonomischste Methode für den Transport großer CO₂-Mengen im CCS-Kontext. Das Onshore- und Offshore CO₂-Leistungsdesign sowie die -konstruktion folgen dabei etablierten Methoden und nutzen Know-How und Erfahrung aus dem Betrieb von Erdgasleitungen. Während der Transport von gasförmigem CO₂ in der Regel keine über das klassische Design hinausgehenden Anforderungen an den Rohrwerkstoff stellt, liegen die besonderen Herausforderungen an Leitungsröhrstählen beim Transport von CO₂ in der flüssigen oder dichten Phase neben Korrosionsaspekten vor allem in den hohen Anforderungen an die Zähigkeit im Grundwerkstoff, um duktile Rissausbreitung zu verhindern.

Während Korrosion von Leitungsröhrstählen vor allem durch eine geeignete Spezifikation der CO₂-Zusammensetzung unter besonderer Berücksichtigung eines geringen Wassergehalts beherrschbar ist, muss die Thematik der duktilen Rissausbreitung aufgrund der verzögerten CO₂-Dekompression beim Transport in der flüssigen Phase gesondert betrachtet werden.

Der Fachbericht gibt eine Übersicht über den derzeitigen Kenntnisstand zur Eignung längsnahtgeschweißter Großrohre für den CO₂-Transport und zeigt Entwicklungsansätze aus der Perspektive eines Rohrherstellers auf.

1. Phasenverhalten von CO₂

Das Phasenverhalten von CO₂ in Abhängigkeit von Temperatur und Druck ist in **Bild 1** gezeigt.

Die Sättigungslinie zwischen dem kritischen Punkt P_c und dem Tripelpunkt P_t beschreibt das Verhalten bei Druckentlastung (Druck- und/oder Temperaturänderung). Um sicherzustellen, dass das CO₂ während des Transports ausschließlich in der flüssigen Phase vorliegt, muss die Rohrleitung zu jeder

Zeit oberhalb der Sättigungslinie betrieben werden, um den Übergang in den gasförmigen Zustand zu verhindern. Dies ist nicht nur aus ökonomischen Gesichtspunkten wichtig, sondern auch erforderlich, um die Kondensation vorhandener Begleitstoffe („Verunreinigungen“) zu verhindern. Eine Obergrenze des Wassergehalts von 500 ppm wird trotz der im Vergleich zu flüssigem CO₂ stark verringerten Löslichkeit von Wasser in gasförmigem CO₂ als technisch ausreichend betrachtet. Details finden sich in der Literatur [1].

Das Vorkommen weiterer Begleitstoffe hängt von der Herkunft des CO₂ und den zur Abscheidung eingesetzten Verfahren ab. Die Übersicht in **Tabelle 1** [2] dient zur Orientierung.

Die im Folgenden beschriebenen Aspekte erfordern jedoch teils eine weitere Aufbereitung des CO₂ im Sinne einer Verminderung kritischer Begleitstoffe. Dies betrifft vor allem die Reduktion des Wassergehalts auf 30 bis 50 ppm bei maximalem Gehalt von Sauerstoff, NO_x und SO_x von jeweils 10 ppm. Im CO₂ enthaltene Begleitstoffe beeinflussen zudem das Phasenverhalten, indem die Sättigungslinie im Vergleich zu reinem CO₂ zu höheren Drücken verschoben sowie die Bildung eines Zweiphasengebietes begünstigt wird.

Komponente	Post-Combustion	Pre-Combustion	Oxyfuel
	ppmv	vol.-%	vol.-%
CO	10	0,4	Spuren
H ₂ S	Spuren	3,4	Spuren
H ₂	Spuren	3	Spuren
O ₂	100	Spuren	3,0
NO _x	50	0	0,25
SO _x	10	0	2,5
CH ₄	100	0,035	0
Ar	Spuren	0,05	5,0
N ₂	1700	0,60	7,0
CO ₂	> 99 (Vol.-%)	> 95,6	> 90

Tabelle 1: Übliche CO₂-Zusammensetzungen nach der CO₂-Abscheidung aus industriellen Prozessen [2]

2. Korrosionsaspekte

Um Korrosion zu vermeiden, muss das transportierte CO₂ trocken sein. Dies erfordert, dass der Wassergehalt unter jegli-

chen Betriebsbedingungen unterhalb der Löslichkeitsgrenze des CO_2 liegt. Wenn ein Flüssig-Gas-Phasenübergang während des Betriebs nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, muss der Wassergehalt folglich unterhalb der Löslichkeitsgrenze des gasförmigen CO_2 liegen.

Eine starke Limitierung des Sauerstoffgehalts ist, wie beim Erdgastransport, eine geeignete Maßnahme, um Sauerstoffkorrosion zu verhindern. Die Begrenzung von NO_x und SO_x vermindert die Gefahr der Säurekorrosion, da die Möglichkeit der Bildung von Salpeter- und Schwefelsäure eingeschränkt wird.

Für den Fall, dass sich eine mit CO_2 gesättigte Wasserphase ausbildet, ist mit starker abtragender Korrosion zu rechnen. Korrosionsprüfungen können im Labormaßstab in Autoklaven unter stagnierenden oder auch unter simulierten Fließbedingungen durchgeführt werden. Dabei wird die erwartete CO_2 -Zusammensetzung reproduziert, so dass Korrosionsaspekte mit direktem Bezug zur Art und Konzentration bestimmter Begleitstoffe untersucht werden können [3].

3. Duktile Rissausbreitung beim CO_2 -Transport

Für die Beurteilung des Risikos für das Auftreten von langlaufenden duktilen Rissen ist die Werkstoffzähigkeit als Maß für den Widerstand gegen Aufreißen unbestritten. Ein semi-empirisches Modell, das „Battelle Two Curve Model“ (BTC-Modell), wurde bereits in den frühen 1970er Jahren entwickelt [4-6]. In diesem Modell wird die Rissgeschwindigkeit durch die Theorie der plastischen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit beschrieben. Dabei wird angenommen, dass die Schlagarbeit bzw. die spezifische Schlagenergie im Kerbschlagbiegeversuch der Freisetzungsrates der Formänderungsarbeit infolge des Rissfortschritts direkt proportional ist. Zur Berech-

nung wurde eine Formel für den Transport von Erdgas („lean gas“) entwickelt [4-6]. Das Modell wird nach wie vor genutzt. Für moderne und besonders für hochfeste Leitungsrohrstähle werden allerdings empirische Korrekturfaktoren verwendet.

Die Anwendung des BTC-Modells ist schematisch in **Bild 2** gezeigt.

In **Bild 2** wird die Dekompression des Erdgases mit der duktilen Rissfortschrittsgeschwindigkeit verglichen. Für den Fall, dass der Rissfortschritt schneller ist als die Dekompression, tritt kein Rissarrest ein. Im umgekehrten Falle einer schnelleren Dekompression sagt das Modell Rissarrest vorher. Die Rissfortschrittsgeschwindigkeit hängt wiederum vom Widerstand des Werkstoffs gegen Rissfortschritt ab, der durch die CVN-Kerbschlagzähigkeit beschrieben wird. Der Grenzzustand ist dann gegeben, wenn sich Risswiderstands- und Dekompressionskurve in einem tangentialen Punkt treffen. Die Risswiderstandskurve, die zu diesem Zustand führt, wird erreicht, wenn das Rohrmaterial die erforderliche Mindestzähigkeit für Rissarrest aufweist. Das BTC-Modell kann für die Vorhersage von Rissarrest für den Erdgastransport in Leitungsrohren bis zur Güte X70 und Anforderungen an die CVN-Kerbschlagenergie von ca. 200 bis 250 J herangezogen werden.

Soll das BTC-Modell auch für die Vorhersage von Rissarrest für den Transport von CO_2 in der flüssigen oder dichten Phase Anwendung finden, muss beachtet werden, dass CO_2 -Dekompressionskurven, bedingt durch den Flüssig-Gas-Phasenübergang, signifikante Dekompressionsverzögerungen im Vergleich mit Erdgas zeigen, die durch Ausbildung eines Plateaus gekennzeichnet sind (**Bild 3**). Dies führt dazu, dass die Anwendung des BTC-Modells zu besonders hohen Anforderungen an die Kerbschlagzähigkeit im Grundwerkstoff des Leitungsrohrs führt.

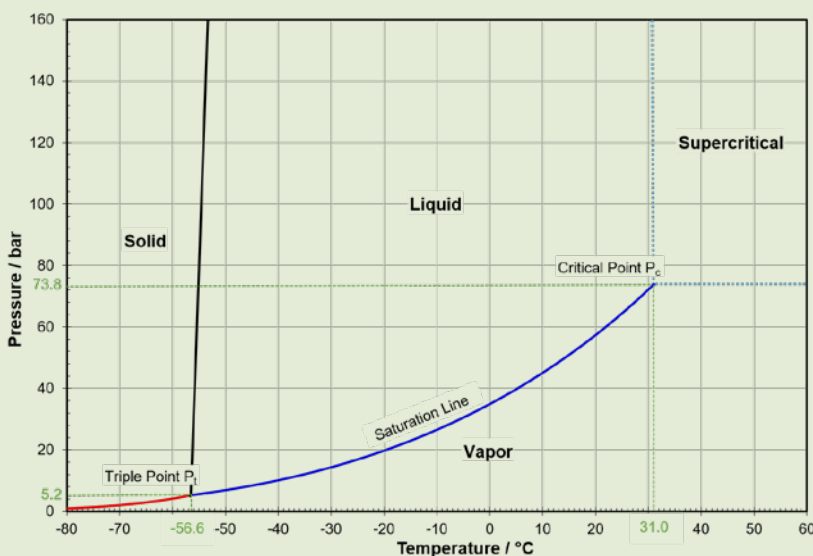


Bild 1: Phasendiagramm von CO_2

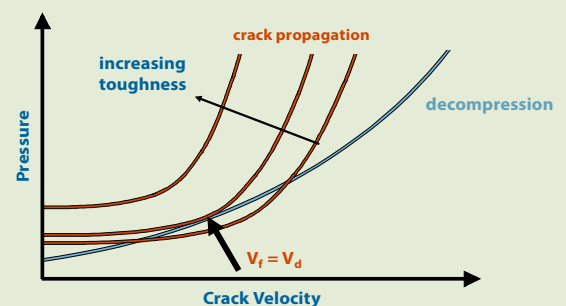


Bild 2: Anwendung des „Battelle Two Curve Model“ (BTC-Modell)

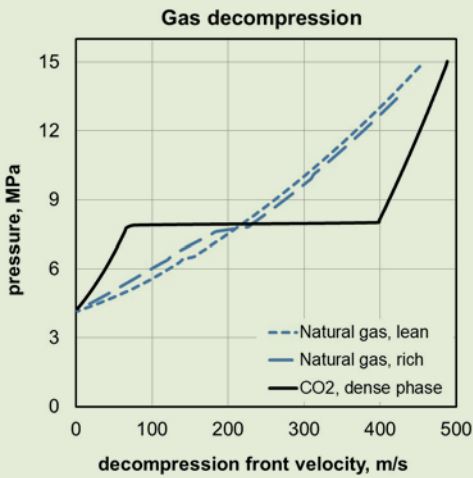


Bild 3: Dekompressionskurven von Erdgas und CO₂ im Vergleich



Bild 4: Unvollständig zerschlagene Probe nach dem Kerbschlagbiegeversuch

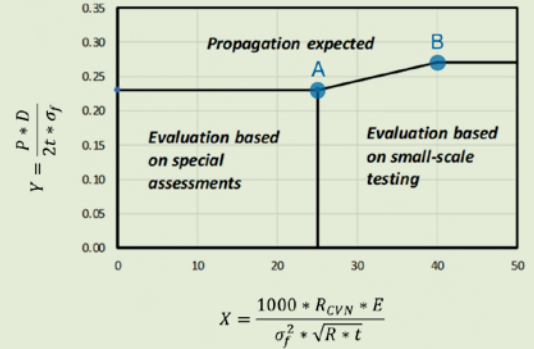


Bild 5: Auftragung der normierten Auslastung Y gegen die normierte, CVN-basierte Zähigkeit X, basierend auf DNV- RP-F104:2021 [7]

Formal können moderne Leitungsrohrstähle Anforderungen an eine hohe CVN-Kerbschlagzähigkeit bis ca. 400 J im Grundwerkstoff erfüllen. Jedoch wird an Kerbschlagproben oberhalb von ca. 200 bis 250 J häufig unvollständiges Zerschlagen, verbunden mit starker Verformung, beobachtet (Bild 4). Dabei wird die kinetische Energie des Pendelhammers durch Reibung zwischen Probe und Lagern und plastische Verformung absorbiert und nicht durch Vorantreiben des Risses. In diesen Fällen beschreibt die CVN-Kerbschlagenergie somit den Widerstand des Werkstoffs gegen Aufreißen nicht mehr quantitativ, wodurch die Anwendbarkeit als Kennwert im BTC-Modell in Frage gestellt ist.

Die DNV Recommended Practice RP-F104:2021 [7] beschreibt das Vorgehen zur Beurteilung duktilen Rissfortschritts anhand von Kriterien für die Abschätzung von Grenzen für Rissarrest auf der Basis von Full-Scale-Berstversuchen. Dieses wird grafisch als Auftragung der normierten Auslastung Y gegen die normierte, CVN-basierte Zähigkeit X dargestellt (Bild 5). X und Y basieren auf dem BTC-Modell und beinhalten als Eingangsgrößen den Druck P an der Risspitze, den

Rohr Außendurchmesser D bzw. -radius R, die Rohrwanddicke t, die Fließspannung σ_f , die charakteristische CVN-Energie R_{CVN} sowie den E-Modul.

Rissarrest wird für X-Werte von 25 oder größer erwartet, wenn die zugehörigen Y-Werte auf oder unterhalb der Grenzkurve liegen. Die Beurteilung in diesem Gebiet erfolgt auf der Basis von Laborversuchen. Rissarrest ist auch für X-Werte von weniger als 25 möglich. Für diesen Bereich gibt es allerdings keine Datenbasis aus Full-Scale-Berstversuchen, weshalb eine spezifische Bewertung erforderlich ist, die auch die Durchführung von Full-Scale-Tests nicht ausschließt.

Von besonderem Interesse in Bild 5 sind die dort eingezeichneten Punkte A (X=25; Y=0,23) und B (X=40, Y=0,27). Für ein Rohr bestimmter Güte und festgelegtem Außendurchmesser beschreibt Punkt A die Mindestanforderung an die CVN-Energie und die dafür benötigte Wanddicke, während Punkt B die minimal benötigte Wanddicke und die dafür benötigte CVN-Energie beschreibt. Die für die Punkte A und B ermittelten Wanddicken und CVN-Energien sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Für die Berechnungen wurden Leitungs-

Punkt A (Bild 5)			Punkt B (Bild 5)		
D in mm	t in mm	CVN in J	D in mm	t in mm	CVN in J
609,6	17,87	193	609,6	15,23	285
711,2	20,85	225	711,2	17,76	333
762,0	22,34	241	762,0	19,03	356
812,8	23,83	257	812,8	20,30	380
914,4	26,81	290	914,4	22,84	428

Tabelle 2: Für die Punkte A und B aus Bild 5 ermittelte Wanddicken und CVN-Energien für X65/L450 bei einem CO₂-Sättigungsdruck von 70 bar

rohre der Güte X65/L450 im Durchmesserbereich von 609,6 bis 914,4 mm (24 bis 36 Zoll) zugrunde gelegt. Als CO₂-Sättigungsdruck wurde 70 bar angenommen. Dieser Wert wird z. B. bei einem Gehalt von 6,0 % N₂ im CO₂ und einer Temperatur von 17 °C erreicht [8].

Die in **Tabelle 2** gezeigten Berechnungen machen deutlich, dass innerhalb des Gebietes, in dem Rissarrest zu erwarten ist, die Verwendung von Rohraußendurchmessern von mehr als ca. 700 mm CVN-Kerbschlagenergien erfordert, bei denen im Kerbschlagbiegeversuch nicht mehr mit vollständigem Probenbruch gerechnet werden kann. Eine Optimierung des Designs im Sinne minimal benötigter Wanddicke führt bereits bei einem Rohrdurchmesser von 610 mm zu CVN-Mindestwerten mit fragwürdiger quantitativer Aussagekraft.

4. Alternativer Ansatz zur Charakterisierung des Risswiderstands

Vor dem Hintergrund, dass, wie oben dargestellt, die CVN-Kerbschlagenergie einen Kennwert mit fraglicher Belastbarkeit liefern kann, erscheint es sinnvoll, ein geeigneteres Zähigkeitsmaß oder einen alternativen Modellansatz zu finden. Schon bei der Etablierung des BTC-Modells [4] wurde dies in Betracht gezogen [5, 6]. Man war der Meinung, dass die in instrumentierten Drop-Weight Tear (DWT)-Tests gemessene Schlagenergie für Rohrwerkstoffe mit höheren Zähigkeitsniveaus ein relevanteres und genaueres Widerstandsmaß darstellt als die CVN-Kerbschlagenergie [9].

Im Rahmen langjähriger Untersuchungen wurde bei der Salzgitter Mannesmann Forschung (SZMF) gemeinsam mit EUROPIPE eine Modifizierung des bekannten BTC-Modells entwickelt [10]. Als Zähigkeitsmaß wird hierbei die bruchmechanische Zähigkeitsgröße J-Integral gewählt. Im Mittelpunkt des Ansatzes steht die Risspitzenbelastung des laufenden duktilen Risses. Diese wird hauptsächlich bestimmt durch die elastische Dehnung der Rohrwand aufgrund der Innendruckbelastung an der aktuellen Position der Risspitze (elastischer Anteil). Einen zusätzlichen Beitrag liefert die Druckbelastung auf den aufklappenden Rohrwänden hinter der Risspitze (plastischer Anteil). Bei Rohren mit großem Durchmesser und geringer Wanddicke (großes D/t-Verhältnis) hat der Steifigkeitseffekt keinen nennenswerten Einfluss, während er bei kleinem Durchmesser und großer Wanddicke (kleines D/t-Verhältnis) berücksichtigt werden muss.

Die Zähigkeitsanforderung für einen gegebenen Auslegungsfall, d. h. eine vorgegebene Rohrgeometrie und einen gewünschten Betriebsdruck der Leitung, wird analog dem BTC-Modell in einer Grenzzustandsbetrachtung ermittelt. Auch hier ist der Grenzzustand dann gegeben, wenn sich Risswiderstands- und Dekompressionskurve in einem tangentialen Punkt treffen. Anders als im originalen BTC-Modell wird die Zähigkeit, wie dargelegt, aus der Risspitzenbelastung J abgeleitet. Im Labormaßstab kann die Zähigkeit in dieser Weise aus instrumentierten DWT-Versuchen am Rohrmaterial bestimmt werden. Dabei wird statt der üblichen DWT-Probe

mit eingepresstem Kerb (pressed notch, PN-DWT) eine Probenform verwendet, die analog zu bruchmechanischen Proben, beispielsweise SENB-Proben, einen eingeschwungenen Ermüdungsanriss aufweist. Bei SZMF wird dafür eine Probe mit einem a/W-Verhältnis von 0,3 verwendet. Im dynamischen Versuch wird die Schlagenergie ermittelt und zu einem Zähigkeitswert auf Basis des J-Integrals umgewertet, bezeichnet mit J-DWT.

Eine detaillierte Darstellung des Bewertungsmodells kann den Veröffentlichungen [10] und [11] entnommen werden. Die Kalibrierung erfolgte auf Basis einer Datenbank mit Ergebnissen aus 38 Full-Scale-Berstversuchen (FSBT) unterschiedlicher Rohrgeometrien, Festigkeiten und Innendrucke. Für jedes der Versuchsrohre, bei denen entweder ein durchlaufender Riss oder Rissarrest beobachtet werden konnte, wurde die Zähigkeit in instrumentierten CVN- und DWT-Versuchen bestimmt.

Jedoch war nur für eine begrenzte Zahl an Berstversuchen das jeweilige Rohrmaterial für Fallgewichtversuche mit beiden Probentypen verfügbar. Für insgesamt 16 verfügbare Versuchsrohre wurde eine Korrelation zwischen Energiewerten aus PN-DWT-Versuchen und dem Zähigkeitsmaß J-DWT ermittelt. Die Korrelation ermöglicht es, Ergebnisse aus Berstversuchen auch dann mit dem modifizierten BTC-Modell zu bewerten, wenn lediglich Energiewerte aus instrumentierten Fallgewichtversuchen an der Standard-Probengeometrie PN-DWT vorliegen. Allerdings ist eine Korrelation immer mit einem Verlust an Modellgenauigkeit verbunden, was die Aussagefähigkeit negativ beeinflusst. Aus diesem Grund wird die Korrelation gegenwärtig laufend verbessert, indem weiteres Rohrmaterial in beiden Probenvarianten getestet wird. **Bild 6** stellt die Vorhersagen für Arrest bzw. laufenden Riss auf Grundlage der gemessenen und durch das modifizierte BTC-Modell bewerteten Materialzähigkeit dar. Die Vorhersage auf Grundlage des J-DWT-Zähigkeitsmaßes gelingt dabei erkennbar besser als lediglich auf Grundlage der PN-DWT-Energie.

In den für die Erstellung des modifizierten BTC-Modells berücksichtigten Berstversuchen sind die Ergebnisse aus lediglich sechs Versuchen mit dense-phase CO₂ enthalten. Der Grund dafür ist, dass bislang nicht mehr Versuchsergebnisse öffentlich zugänglich sind. Das Modell ist damit am besten kalibriert für Anwendungsfälle, in denen Erdgas (lean und rich) transportiert werden soll. **Bild 7** stellt die Vorhersage für die CO₂-Berstversuche dar, die ähnlich gut gelingt wie für die Gesamtheit der Berstversuche. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass hier lediglich ein Rohrdurchmesserbereich von 610 mm bis 914 mm Außendurchmesser erfasst ist.

Es ist nun geplant, das modifizierte BTC-Modell für Leitungsröhranwendungen, in denen dense-phase CO₂ transportiert wird, besser anzupassen. Damit dies kurzfristig auch ohne die Verfügbarkeit von neuen Berstversuchsergebnissen gelingen kann, können „virtuelle“ Berstversuche mit einem angepassten numerischen Modell auf Basis der Finite-Elemente-Simulation berücksichtigt werden. Dazu wird derzeit

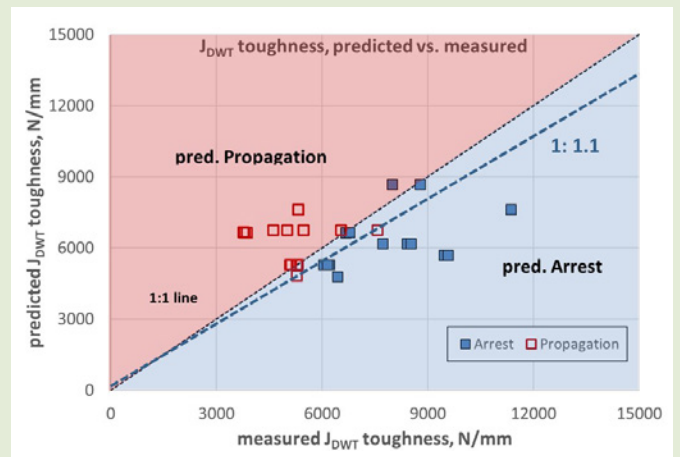
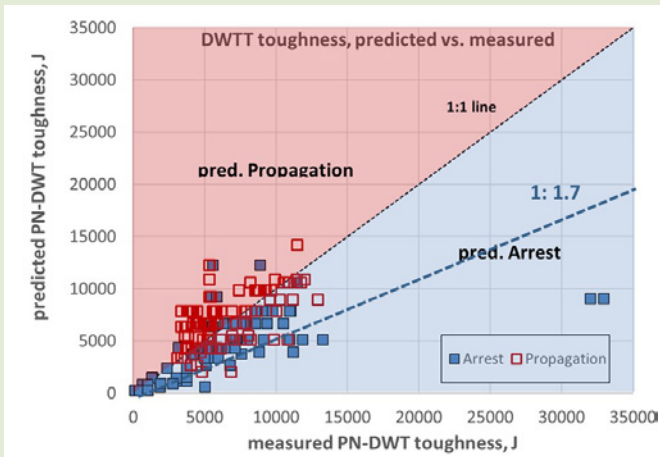


Bild 6: Vorhersagen für das Rissverhalten (Arrest/laufender Riss) für alle Berstversuche in der berücksichtigten Datenbasis. Grundlage ist der Zähigkeitskennwert PN-DWT Energie (links) bzw. J-DWT (rechts)

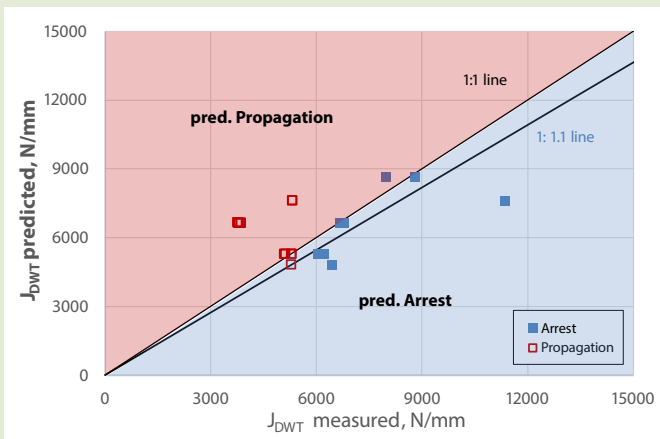


Bild 7: Vorhersagen für das Rissverhalten (Arrest/laufender Riss) für alle CO₂-Berstversuche (dense phase) in der berücksichtigten Datenbasis. Grundlage ist der Zähigkeitskennwert J-DWT

FE model of pipe section	Implementing...	
	Pipe geometry Outer diameter, wall thickness	
	Material model Elastic-plastic behavior: flow curve of pipe material	
	Damage model → toughness / fracture resistance Cohesive zone model (CZM) with parameters cohesive strength T_0 and separation energy Γ_0 fitted at small-scale experiments	
	Pipe depressurization model Decompression ahead of crack tip Pressure decay behind crack tip	

Bild 8: FE-Modell zur numerischen Simulation von langlaufenden duktilen Rissen in Leitungsrohren

ein bei SZMF entwickeltes numerisches Modell zur Simulation langlaufender duktiler Risse in Leitungsrohren (Bild 8) für die Besonderheiten bei unter Druck stehendem CO₂ modifiziert. Angepasst wird das Modell an einen Berstversuch, der im Rahmen des RFCS-Projektes SARCO2 durchgeführt worden ist [8].

5. Zusammenfassung

Längsnahtgeschweißte Großrohre sind für den CO₂-Transport grundsätzlich geeignet, wenn sichergestellt werden kann, dass im Transportmedium keine wässrige Phase vorhanden ist und Korrosion somit vermieden wird. Dabei stellt der Transport von gasförmigem CO₂ in der Regel keine über das

klassische Design hinausgehenden Anforderungen an den Rohrwerkstoff.

Beim Transport von CO₂ in der flüssigen oder dichten Phase stellt das Design jedoch besondere Anforderungen an die Zähigkeit der Leitungsrohre im Grundwerkstoff, um duktile Rissausbreitung zu verhindern. Da die üblicherweise herangezogene CVN-Kerbschlagenergie bei hohen Zähigkeitsanforderungen einen Kennwert mit fraglicher Belastbarkeit darstellt, werden Entwicklungsansätze gezeigt, die auf einem geeigneteren Maß für die Zähigkeit und einem alternativen Modellansatz basieren. Der alternative Modellansatz verwendet anstelle der CVN-Kerbschlagenergie die in instrumentierten Drop-Weight Tear (DWT)-Tests ermittelten Zähigkeiten.

Im nächsten Schritt wird das alternative Modell für den Transport von CO₂ in der flüssigen/dichten Phase optimiert. Dabei werden auch „virtuelle“ Berstversuche aus einem angepassten numerischen Modell auf Basis der Finite-Elemente-Simulation berücksichtigt.

Literatur

- [1] *De Visser, E. und Hendriks, C.*: DYNAMIS CO₂ quality recommendations, 2007
- [2] *Seevam, P. N.; Race, J. M. und Downie, M. J.*: Transporting the Next Generation of CO₂ for Carbon, Capture and Storage – The Impact of Impurities on Supercritical CO₂ Pipelines. Calgary, Proceedings of IPC 2008, IPC2008-64063
- [3] *Jäger, S. und Bosch, C.*: Requirements for safe and reliable CO₂ transportation pipeline, Proceedings Pipeline Technology Conference 2011, Berlin, 2011
- [4] *Maxey, W.A.*: Fracture initiation, propagation, and arrest. in Proc. of the 5th Symposium on Line Pipe Research, Houston, Texas, November 1974
- [5] *Maxey, W. A.; Kiefner, J. F.; Eiber, R. J. und Duffy, A. R.*: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DUCTILE FRACTURES IN PIPING. Proceedings of the 12th World Gas Conference (1973) IGU/C 34-73, International Gas Union, Nice/FR
- [6] *Maxey, W. A.; Kiefner, J. F.; Eiber, R. J. und Duffy, A. R.*: Ductile Fracture Initiation, Propagation, and Arrest in Cylindrical Vessels. Proceedings of the 1971 National Symposium on Fracture Mechanics, Part II, STP514 (1971) pp. 70 – 81, Fig. 9, ASTM, Philadelphia/USA
- [7] DNV Recommended Practice DNV-RP-F104, Edition Februar 2021, Amended September 2021, Det Norske Veritas, 2021
- [8] *Di Biagio, M. et al.*: Requirements for safe and reliable CO₂ transportation pipeline (SARCO2), Final report, 2017
- [9] *Maxey, W. A. und Eiber, R. J.*: Fractures in Pipeline – Main Influencing Factors. Proceedings of an International Seminar on Fracture in Gas Pipelines, Moscow, USSR (1984) pp. 49-81, CBMM, São Paulo/BR
- [10] *Golisch, G.; Erdelen-Peppler, M.; Mondry, A. und Kalwa, C.*: Toughness Assessment in Pipelines – a Novel Approach on the Arrest of Running Ductile Fracture., in Proc. Technology for Future and Ageing Pipelines Conf., Gent, Belgium, 2018
- [11] *Golisch, G. und Kalwa, C.*: Fracture control of natural gas and CO₂ pipelines using modified DWT tests: 3R International, Technical journal for piping system integrity and efficiency, Special 01/2020

Autoren



Dr.-Ing. **Christoph Bosch**
EUROPIPE GmbH |
Mülheim an der Ruhr |
Tel.: +49 208-976-4520 |
christoph.bosch@europipe.com



Dipl.-Ing. (FH) **Andreas Mondry**
Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH |
Duisburg |
Tel.: +49 203 999-3174 |
a.mondry@du.szmf.de



Gas Wasser Fern- und Nahwärme
Dampf Strom Abwasser GIS
Asset Management

Netzberechnung zur Planung, Analyse und Optimierung

Stationäre und dynamische Simulation	Dynamischer Längsschnitt und Druckschaubild
Druckstoßberechnung	Umfangreiches Schnittstellenmodul zum Import von GIS-Daten
Qualitätsverfolgung und Laufzeiten für Brennwerte und Inhaltsstoffe	Hintergrundinformationen aus Raster- und Vektordaten sowie Onlinediensten
Löschmengenberechnung für Grund- und Objektschutz	Verwaltung von Netzvarianten und Rechenfällen
Berechnung von Schwachlast und Gleichzeitigkeitsfaktoren (Fernwärme)	

Fischer-Uhrig Engineering GmbH

Württembergallee 27 14052 Berlin
info@stafu.de www.stafu.de