

# Warum Gasleitungen für Wasserstoff tauglich sind

DVGW-Forschungsprojekt G 202006 - SyWeSt H<sub>2</sub>

Überprüfung von Stahlwerkstoffen für Gasleitungen und Anlagen zur Bewertung auf Wasserstofftauglichkeit nach ASME B31.12

H<sub>2</sub> Lunch & Learn, 29.03.2023

Dr. Michael Steiner (Open Grid Europe)

# Agenda

- Hintergrund des DVGW-Forschungsprojektes SyWeSt H<sub>2</sub>
- Warum Bewertung mit Bruchmechanik?
- Prüfungen und Ergebnisse
- Wasserstofftauglichkeit - Beispielbewertung
- Zusammenfassung

# Hintergrund, Aufgabenstellung und Ziele des Projekts SyWeSt H<sub>2</sub>

- Untersuchung auf Wasserstofftauglichkeit gemäß **internationaler Standards** zur bruchmechanischen Bewertung
- **Prüfung aller typischen Stahlsorten** - ca. 200 Prüfungen inklusive Werkstoffbeschreibung (chem. Analyse, mech.-techn. Daten, Härteprüfung der Schweißnähte)
- **Beschreibung des Werkstoff-Verhaltens unter Wasserstoff** zur Übernahme in das DVGW Regelwerk
- **Ziel:** Möglichkeit einer Bewertung der Tauglichkeit unter Wasserstoff



Quelle: MPA Stuttgart



Quelle: DVGW

- Hintergrund des DVGW-Forschungsprojektes SyWeSt H<sub>2</sub>
- **Warum Bewertung mit Bruchmechanik?**
- Prüfungen und Ergebnisse
- Wasserstofftauglichkeit - Beispielbewertung
- Zusammenfassung

# Bruchmechanische Bewertung von Stählen

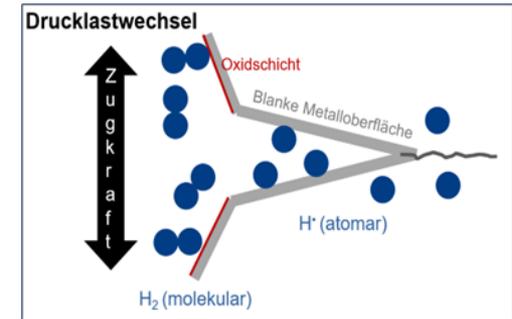
**Phänomen** – erhöhtes Fehlerwachstum unter Wasserstoff mit

- H-Atomen an blanker Innenoberfläche mit scharfkantigem Fehler und
- hoher Spannung aus hohem Innendruck und
- regelmäßigen hohen Betriebsdruckänderungen

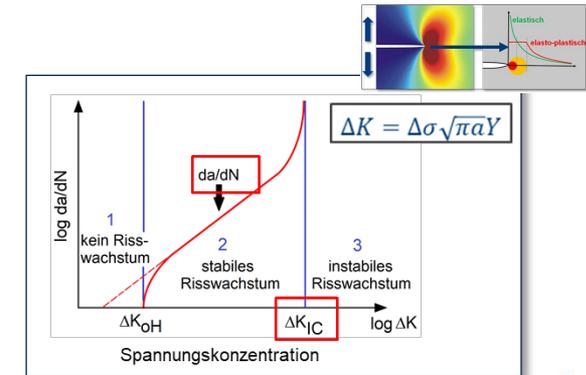
**Parameter** einer bruchmechanische Bewertung (sehr konservativ)

- Risswachstum  $da/dN$  - Wie schnell wächst ein Riss?
- Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  - Wann versagt ein Bauteil?

**Fragestellung:** Ist der Einfluss von Wasserstoff relevant?



Quelle: OGE



Quelle: OGE

# Bruchmechanische Bewertung von Gashochdruckleitungen nach DVGW Merkblatt G 464 (März 2023)

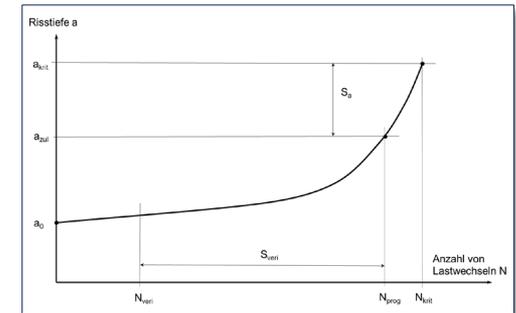
- Bruchmechanische Bewertung d. Gasleitung vor Inbetriebnahme
    - Konservativer Ausgangsfehler
    - Prognose von Betriebsdruckänderungen
    - Vorgehen bei der Bewertung
  - Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte (SyWeSt  $H_2$ )
  - Vorgehen zur Erfassung der Betriebsdruckänderungen
  - Verifizierung der Bewertung
- ➔ Prüfung der Tauglichkeit von Werkstoff und Bauteil  
(DVGW G 464)



DVGW-Information

**GAS Nr. 29** Januar 2023

Erläuterungen zum Begriff „H<sub>2</sub>-ready“ für Gasversorgungsnetze und Gasanwendungen nach DVGW-Regelwerk

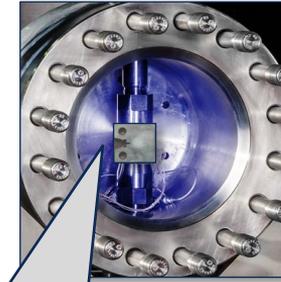


DVGW Merkblatt G 464 - Auszug

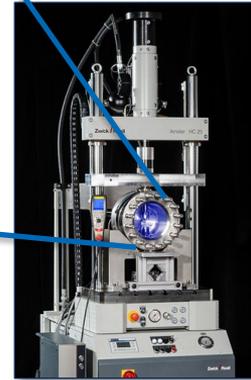
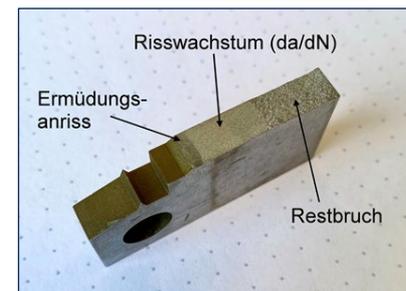
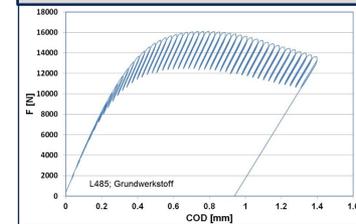
- Hintergrund des DVGW-Forschungsprojektes SyWeSt H<sub>2</sub>
- Warum Bewertung mit Bruchmechanik?
- **Prüfungen und Ergebnisse**
- Wasserstofftauglichkeit - Beispielbewertung
- Zusammenfassung

# Durchführung der bruchmechanischen Prüfungen

- Herstellung genormter Bruchmechanik-Proben mit künstlichem Kerb
- Zyklische Belastung des Kerbs zum scharfen Riss („Anschwingen“)
- Zyklische Prüfung in Autoklav mit Wasserstoff (bis zu 100 bar)
- Bestimmung der Rissverlängerung über COD
- Ermittlung Risswachstum  $da/dN$  aus  $\Delta a$  pro Lastwechsel  $N$
- Ermittlung Bruchzähigkeit  $K_{Ic}$  beim Versagen der Probe



Messung COD  
(Crack Opening Displacement)



# Abdeckung der umfangreichen Untersuchungen

- 207 bruchmechanische Prüfungen an allen Rohrarten

- Risswachstum da/dN
- Bruchzähigkeit  $K_{Ic}$

- Prüfung aller Gefügestände

- Grundwerkstoff
- Schweißnaht
- Wärmeeinflusszone

- Variation der Randbedingungen von

- Wasserstoffpartialdruck
- Mittelspannung (R-Wert)

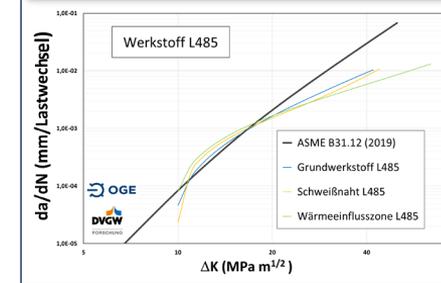
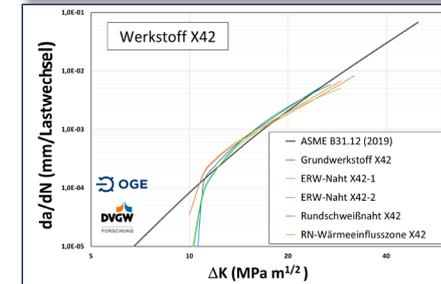
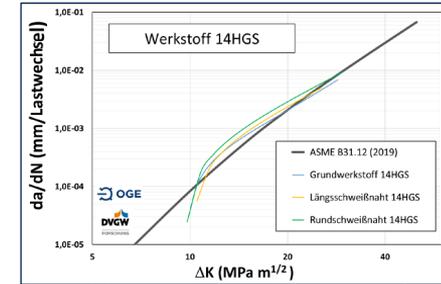
- Rohre aus der Herstellung von 1930 bis heute

Werkstoff	Prüfung da/dN & JR	H2-Prüfdruck [bar]	R-Wert		
L290 NE	GW, SAWL	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><b>Legende</b></p> <p>da/dN Risswachstum</p> <p>JR Bruchzähigkeit</p> <p>GW Grundwerkstoff</p> <p>WEZ Wärmeeinflusszone</p> <p>SAWL UP-Längsschweißnaht</p> <p>SAWH UP-Spiralschweißnaht</p> <p>ERW Electric Resistance Weld</p> <p>RN Rundschweißnaht</p> </div>	0,5		
Grade A	GW, SAWL				
St35	GW				
15k (St.35)	GW, SAWL, RN				
X42	GW, ERW, RN, WEZ				
RR St 43.7	GW				
P355 NH	GW				
L360 NE	GW				
StE 360.7	SAWL, GW				
L360 NB	SAWL, GW				
14 HGS	GW, LN, RN				
TStE 355 N	GW				
WSTE 420	GW				
St53.7	RN, GW				
X56.7	GW, SAWL, RN				
St60.7	GW, RN				
P 460 NH	SAWL, GW				
X70	GW, SAWH, WEZ				
X70	GW, RN, WEZ				
L485	GW, SAWH, WEZ				
GR550/X80	GW, SAWL				
L485 (HV hoch/niedrig)	GW, RN, WEZ				
L415 (Bogen)	GW, SAWL				
P355 NL1 (Armatur)	GW				
GJS 400 (Armatur)	GW				
C22.3 (Armatur)	GW				
GS C25 N (Armatur)	GW				
P460 QL1 (Armatur)	GW				
St35	GW			0 / 0,2 / 1 / 2 / 5 / 10 / 20 / 100	0,1 / 0,5 / 0,7
L485	GW				
L360 NB	GW, SG				
StE 320.7	GW, RN	10 / 100			
StE 480.7 TM	GW, SAWL, RN				
L485	GW	100			
L360	GW				

# Ergebnis: Kein Einfluss von Prüfort sowie Gefügezustand

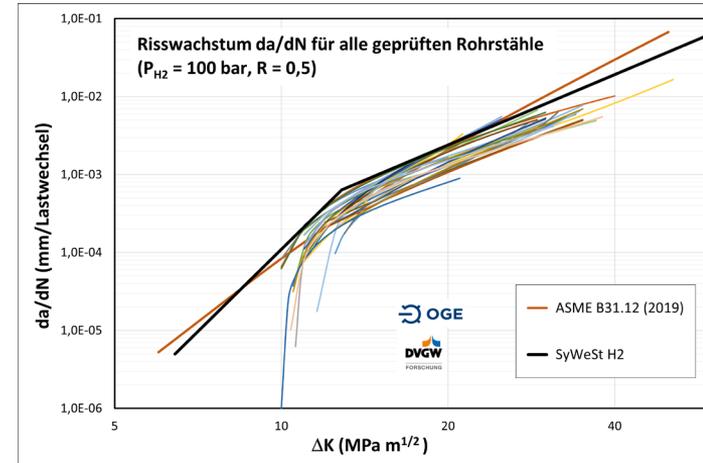
keine relevante Streuung der Prüfergebnisse für

- alle Rohrwerkstoffe
- alle Rohrarten
- alle Prüforte
  - Grundwerkstoff
  - Schweißnaht(arten)
  - Wärmeeinflusszone



# Ergebnis: Beschreibung für das Risswachstum da/dN

- Ergebnis für alle geprüften Rohrstähle
  - ➔ Verhalten der Stähle sehr ähnlich
  - ➔ Risswachstum nach amerikanischem Standard ASME B 31.12 bestätigt
- Bewertung von Stahlleitungen ermöglicht
  - ➔ Risswachstum da/dN gut zu quantifizieren
  - ➔ neues bilineares und konservatives Modell erstellt

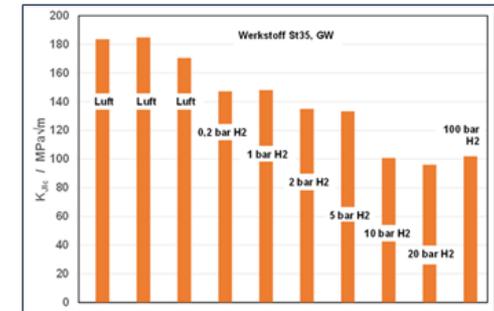
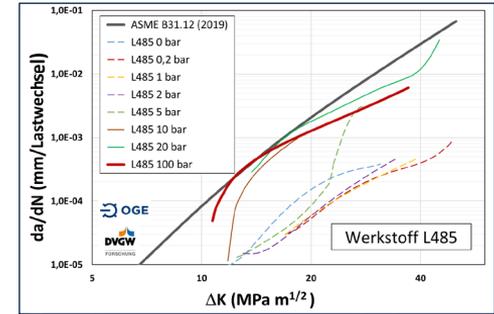


SyWeSt H<sub>2</sub> – Risswachstum da/dN

für $\Delta K \leq [3,6667 \cdot 10^{-6} \sqrt{p_{H_2}}]^{-0,25} MPa\sqrt{m}$	$\frac{da}{dN} = 4,4 \cdot 10^{-13} \cdot (1 + 3 \cdot R) \cdot \Delta K^7 \cdot \sqrt{p_{H_2}}$
für $\Delta K \geq [3,6667 \cdot 10^{-6} \sqrt{p_{H_2}}]^{-0,25} MPa\sqrt{m}$	$\frac{da}{dN} = 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 3 \cdot R) \cdot \Delta K^3$

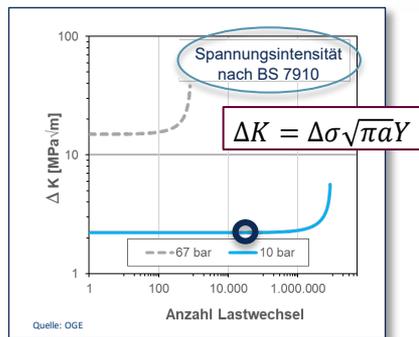
# Ergebnis: Einfluss des Wasserstoffpartialdrucks

- Bei zunehmendem Wasserstoffpartialdruck steigendes **Risswachstum  $da/dN$**
- Einfluss des Wasserstoffpartialdruckes auf **Risswachstum  $da/dN$**  gut zu quantifizieren
  
- Mit zunehmendem Wasserstoffanteil leicht absinkende, aber ausreichend hohe **Bruchzähigkeit  $K_{IC}$**
- Ergebnis aller Prüfungen: **Bruchzähigkeit  $K_{IC}$  weit oberhalb der Forderung von  $55 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$**

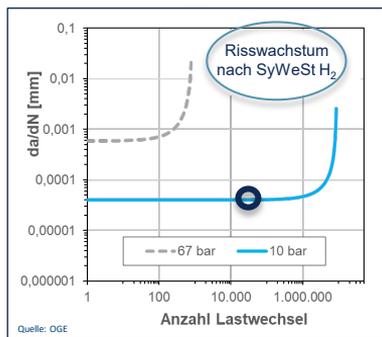


- Hintergrund des DVGW-Forschungsprojektes SyWeSt H<sub>2</sub>
- Warum Bewertung mit Bruchmechanik?
- Prüfungen und Ergebnisse
- **Wasserstofftauglichkeit - Beispielbewertung**
- Zusammenfassung

# Beispiel für Anwendung der Ergebnisse von SyWeSt H<sub>2</sub>



da/dN aus ΔK



Aufsummierung aller da/dN

Stahlrohr

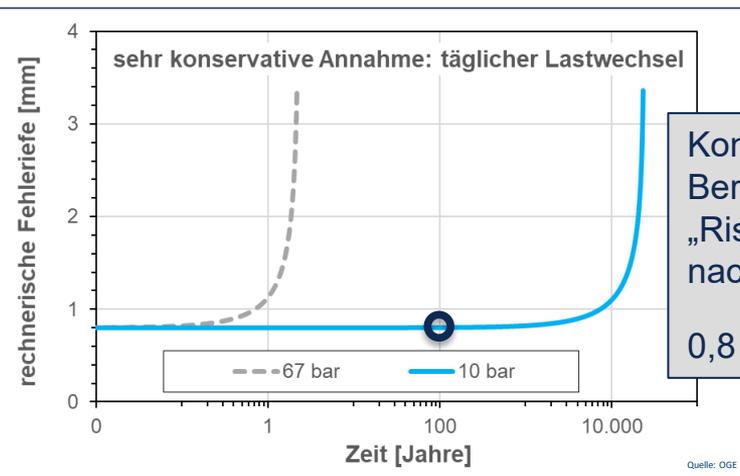
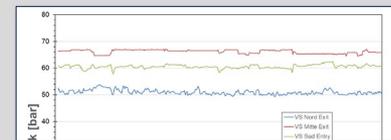
DN 600  
DP 67,5  
Stahl L 415  
Wanddicke 8 mm

angenommener Fehler

50 mm lang  
0,8 mm tief (10% Wd.)

Betrieb mit 100% Wasserstoff

1 LW mit 10 bar pro Tag



Konservative Berechnung „Risswachstum“ nach DVGW G 464

0,8 → 0,802 mm

Konservative Betrachtung: Tägliche! Druckschwankung von 10 bar! über 100 Jahre!  
→ 100%-H<sub>2</sub>-Tauglichkeit bestätigt, da kein relevantes Wachstum (+0,002 mm)

# Agenda

- Hintergrund des DVGW-Forschungsprojektes SyWeSt H<sub>2</sub>
- Warum Bewertung mit Bruchmechanik?
- Prüfungen und Ergebnisse
- Wasserstofftauglichkeit - Beispielbewertung
- **Zusammenfassung**

# Ergebnisse von SyWeSt H<sub>2</sub> - Zusammenfassung

- Sehr ähnliches Verhalten aller Prüfergebnisse für Bruchzähigkeit und Risswachstum 
- SyWeSt H<sub>2</sub>  
→ **100% Wasserstoff-Tauglichkeit** aller typisch verwendeten **Stahlwerkstoffe** 
- Bruchmechanische Berechnungen nach DVGW G 464  
→ **100% Wasserstoff-Tauglichkeit von Gasleitungen** aus Stahl bei üblichem Betrieb 
- **DVGW Regelwerk** für Gashochdruckleitungen unter Wasserstoff angepasst 

Kontakt

Michael Steiner

Open Grid Europe GmbH, Essen

Leiter Integrität

[michael.steiner@OGE.net](mailto:michael.steiner@OGE.net)

+49 201 3642 18290



**Wir gestalten Energieversorgung.  
Heute und im Energiemix der Zukunft.**

