

•• ONTRAS

Ermittlung der Wasserstofftauglichkeit von Gasleitungen

Bruchmechanische Bewertung

Maximilian Metzner

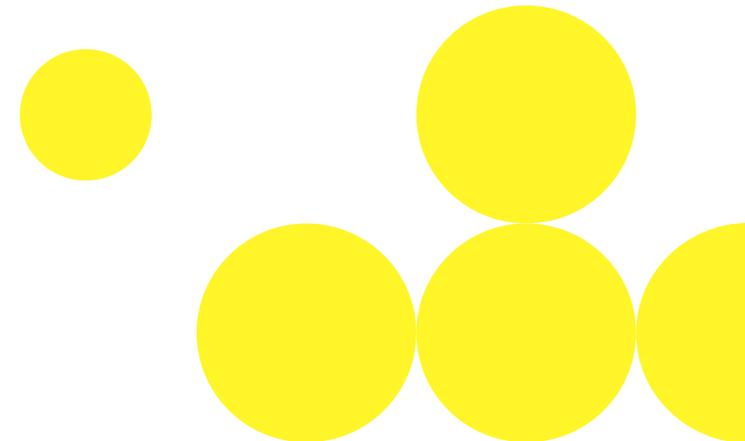
Fachingenieur Gashochdruckleitungen

Leipzig, 22.09.2022



Warum ist eine bruchmechanische Bewertung notwendig?

- Wasserstoff hat einen negativen Einfluss auf die bruchmechanischen Eigenschaften von Rohrleitungsstählen (Wasserstoffversprödung)
→ Bruchzähigkeit reduziert → Risswachstumsgeschwindigkeit erhöht
→ Restlebensdauer verringert
- Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass bereits geringe Mengen an Wasserstoff im Gasstrom zu einer vollständigen Wasserstoffschädigung des Rohrleitungsstahls führen
- Die bruchmechanische Bewertung liefert einen Integritätsnachweis eines rissbehafteten Rohres und beugt so Schadensfällen vor



Zugrunde liegende DVGW-Regelwerke

- **DVGW G 409 (M)** - ist das maßgebliche Merkblatt für Gashochdruckleitungen > 16 bar, welche für den Wasserstofftransport umgestellt werden sollen
→ **bruchmechanische Bewertung generell erforderlich**
- **DVGW G 463 (A) Anhang C** - ist das maßgebliche Arbeitsblatt für die Errichtung von Gashochdruckleitungen > 16 bar für den Erdgas- und Wasserstofftransport
→ **bruchmechanische Bewertung erforderlich, wenn:**
 - dynamische Beanspruchung vorliegt und
 - der Werkstoff eine Mindeststreckgrenze > 360 N/mm² aufweist und
 - der Sicherheitsbeiwert bei der Auslegung $S < 2,0$ ist.
- **DVGW G 464 (M) Entwurf** - ist das maßgebliche Merkblatt für das bruchmechanische Bewertungskonzept für Gasleitungen aus Stahl mit einem Auslegungsdruck von mehr als 16 bar für den Transport von Wasserstoff
- **DVGW G 466-1 (A)** - beschreibt die allgemeinen Grundsätze für den Betrieb und die Instandhaltung von Erdgas- und Wasserstoffleitungen (z. B. Verifizierungsintervall der bruchmechanischen Bewertung und Druckaufzeichnung)

Erforderliche Eingangsparameter für eine bruchmechanische Bewertung

■ Betriebsparameter

- Betriebsdruck OP
- Druckverlauf

■ Werkstoffparameter

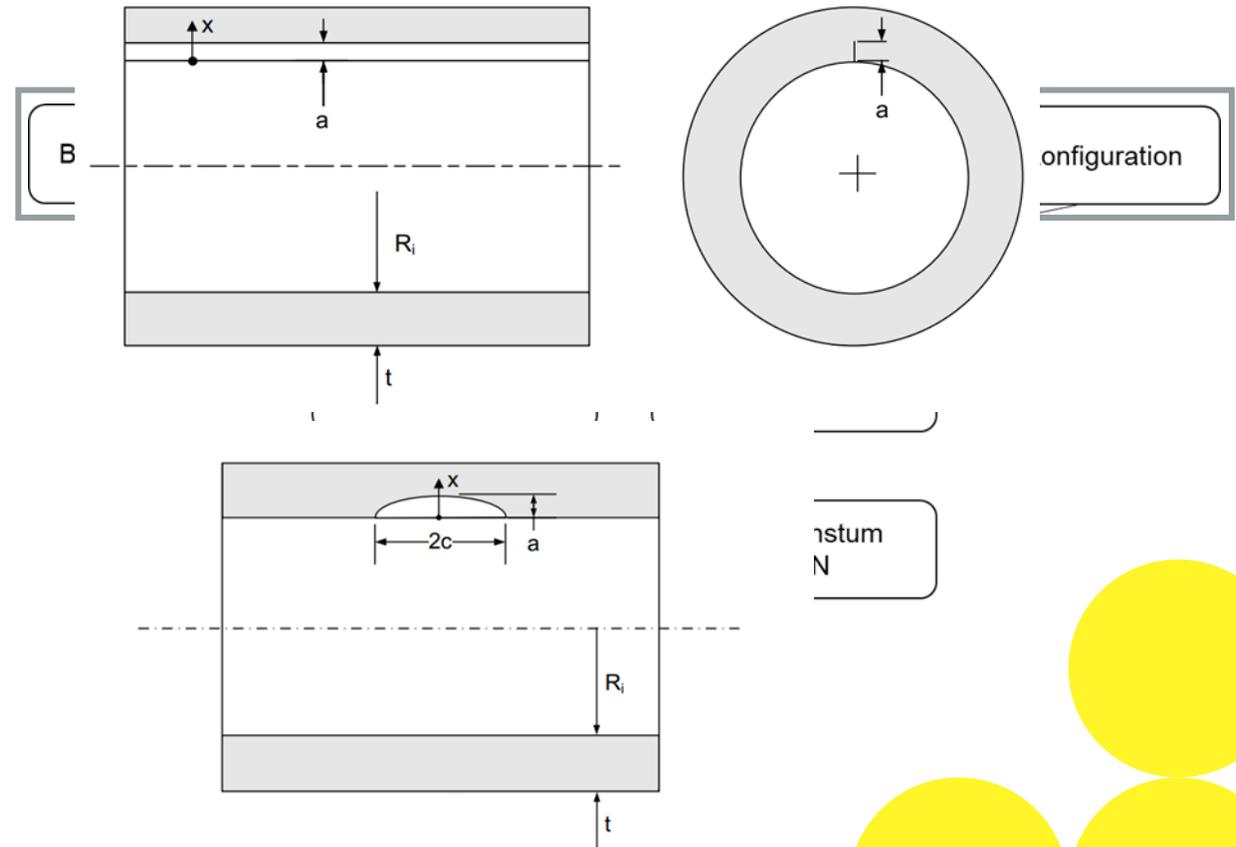
- Bruchzähigkeit K_{Ic}
- Streckgrenze $R_{t0,5}$

■ Rohrgeometrie

- Außendurchmesser D_a , Innendurchmesser D_i
- Wanddicke t

■ Risskonfiguration

- Unendlich langer Innenriss, halb elliptischer Innenriss
- Risstiefe a
- Risslänge $2c$



Berechnung nach API 579

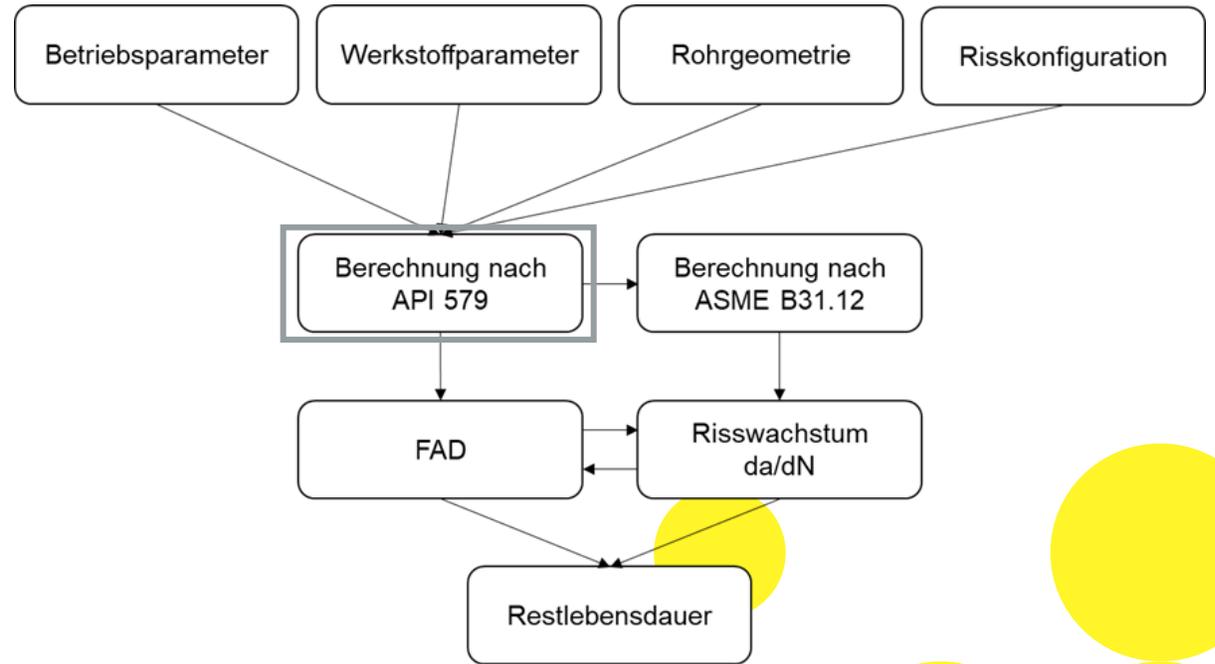
- Ermöglicht den Nachweis der strukturellen Integrität von in Betrieb befindlichen Bauteilen mit Rissen
→ stützt sich dabei auf das FAD
- Für einen unendlich langen Innenriss in axialer Richtung eines mit Innendruck beanspruchten Rohres gelten folgende Berechnungsgleichungen:

Spannungsintensitätsfaktor K_I

$$K_I = \frac{pR_o^2}{R_o^2 - R_i^2} \left[2G_0 - 2G_1 \left(\frac{a}{R_i} \right) + 3G_2 \left(\frac{a}{R_i} \right)^2 - 4G_3 \left(\frac{a}{R_i} \right)^3 + 5G_4 \left(\frac{a}{R_i} \right)^4 \right] \sqrt{\pi a}$$

Referenzspannung σ_{ref}

$$\sigma_{ref} = \frac{P_b + [P_b^2 + 9(M_s \cdot P_m \cdot (1 - \alpha)^2)^2]^{0,5}}{3(1 - \alpha)^2}$$



Failure-Assessment-Diagramm (FAD)

- Praxisorientierte Vorgehensweise zur Einordnung rissbehafteter Bauteile aus sicherheitstechnischer Sicht

- Plastizierungsgrad (x-Achse):

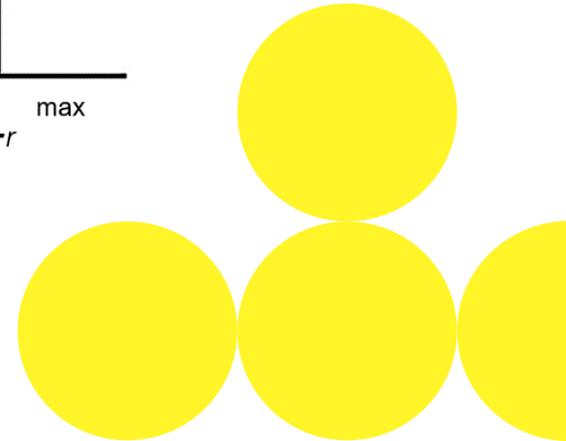
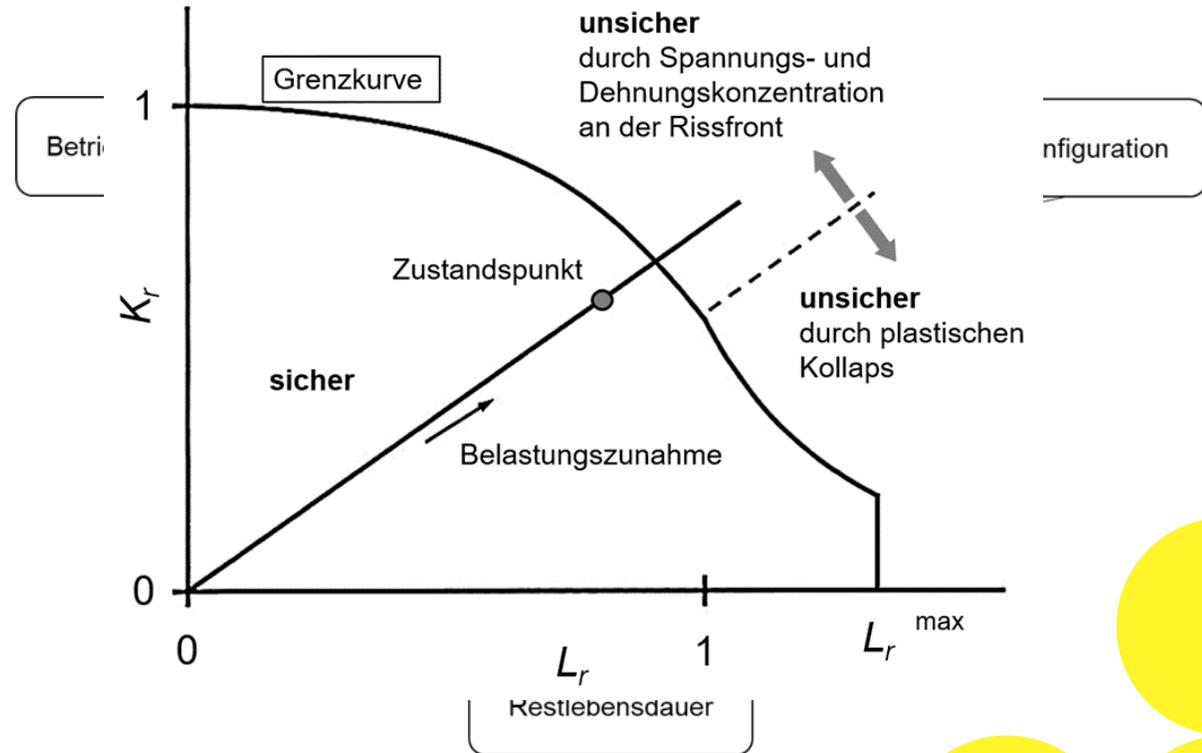
$$L_r = \frac{\sigma_{ref}}{R_{t0,5}}$$

- Risspitzenbelastung (y-Achse):

$$K_r = \frac{K_I}{K_{Ic}}$$

- Grenzkurve:

$$K_r(L_r) = (1 - 0,14L_r^2)[0,3 + 0,7exp(-0,65L_r^6)]$$



Risswachstumsberechnung

Berechnungsschleife

I. K_I, σ_{ref} (nach API 579)

II. K_r, L_r

III. FAD

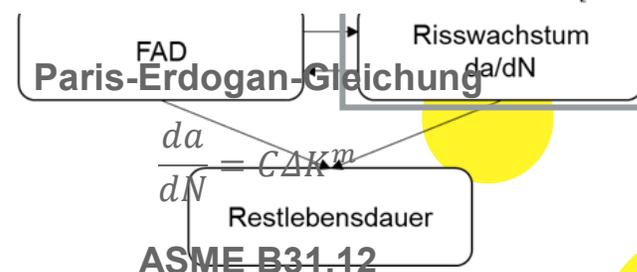
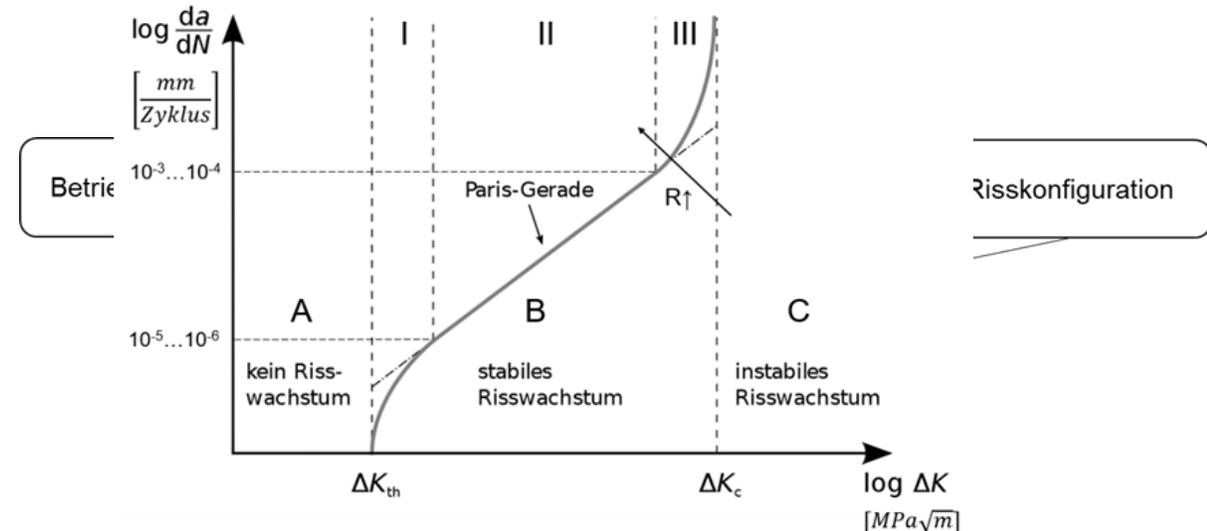
IV. da/dN (nach ASME B31.12)

V. $a_{i+1} = a_i + da/dN$

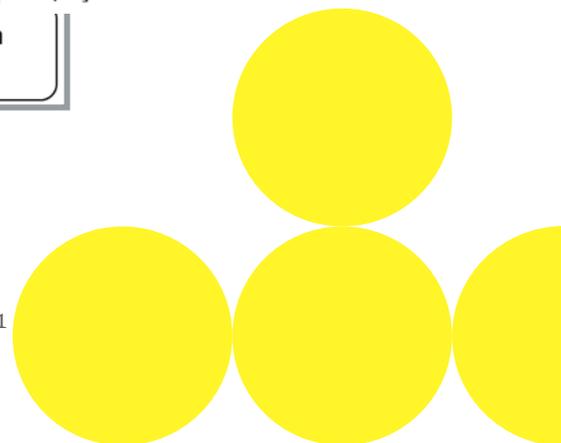
Abbruchkriterien:

- Überschreiten der Grenzkurve
- Überschreiten der Gültigkeitsgrenzen der Berechnungsgleichungen nach API 579

→ Ergebnis: Anzahl der Vollaständerungen N



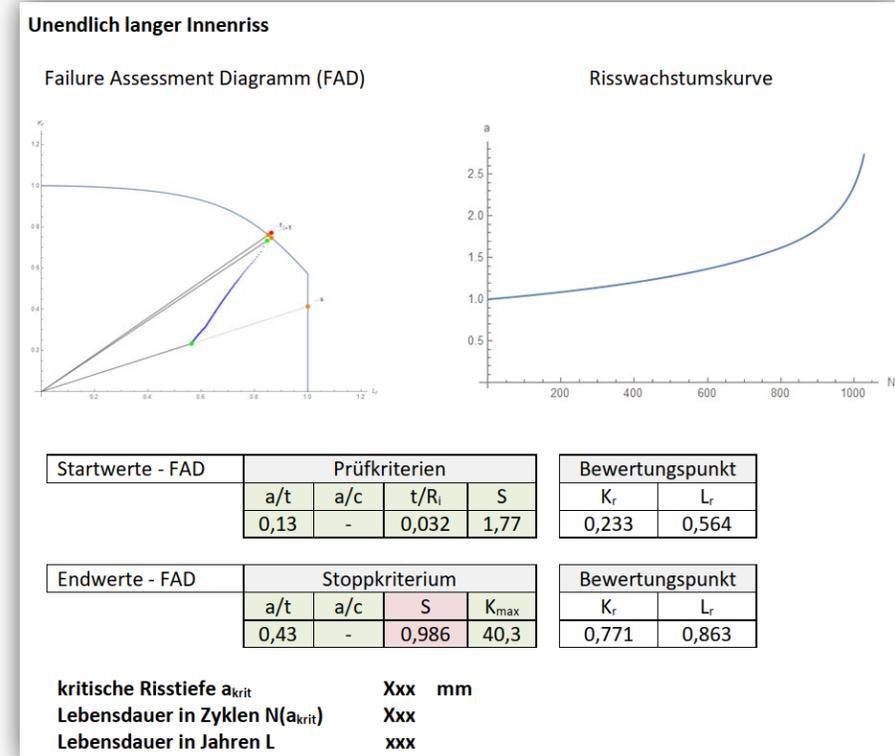
$$\frac{da}{dN} = a_1 \Delta K^{b_1} + \left| (a_2 \Delta K^{b_2})^{-1} + (a_3 \Delta K^{b_3})^{-1} \right|^{-1}$$



Sind ihre Gasleitungen wasserstofftauglich?

- Im Rahmen eigener Umstellungsprojekte hat ONTRAS eine Berechnungssoftware für die bruchmechanische Bewertung von Gasleitungen entwickelt
- Aktuell wird die Berechnungssoftware durch eine Hochschule verifiziert und anschließend durch eine Prüforganisation zertifiziert
- INFRACON bietet die bruchmechanische Bewertung von Gasleitungen nach der Zertifizierung für ihre Kunden an
- Bewertet werden konkrete Rohrkonfigurationen die in Rücksprache mit dem Kunden abgestimmt wurden (aus Dokumentationsdaten)
- Ergebnis ist ein umfangreicher Bericht, welcher Aufschluss über die Restlebensdauer in Zyklen und Jahren der jeweiligen Rohrkonfiguration gibt

Nr.	D _a in mm	t in mm	Werkstoff	R _{t0,5} in MPa	K _{IC} in MPa·m ^{1/2}	Länge in m	Baujahr
1	530				55	7650	1976
2	508				55	10	2010
3	508				55	220	2001
4	508				55	7	2001
5	508				55	260	2001
6	520				55	9200	1972
7	508				55	1400	2001
8	508				55	580	2015
9	530				55	30	2001





Unterwegs in Richtung Wasserstoff!

Maximilian Metzner

Fachingenieur Gashochdruckleitungen

ONTRAS Gastransport GmbH

Maximilianallee 4, 04129 Leipzig

E-Mail: maximilian.metzner@ontras.com

•• ONTRAS