

Besonderheiten bei der Planung von CO₂-Leitungen

ISO 27913 – Ein neuer Standard zum leitungsgebundenen CO₂Transport



© Baumewerd

Inhalt

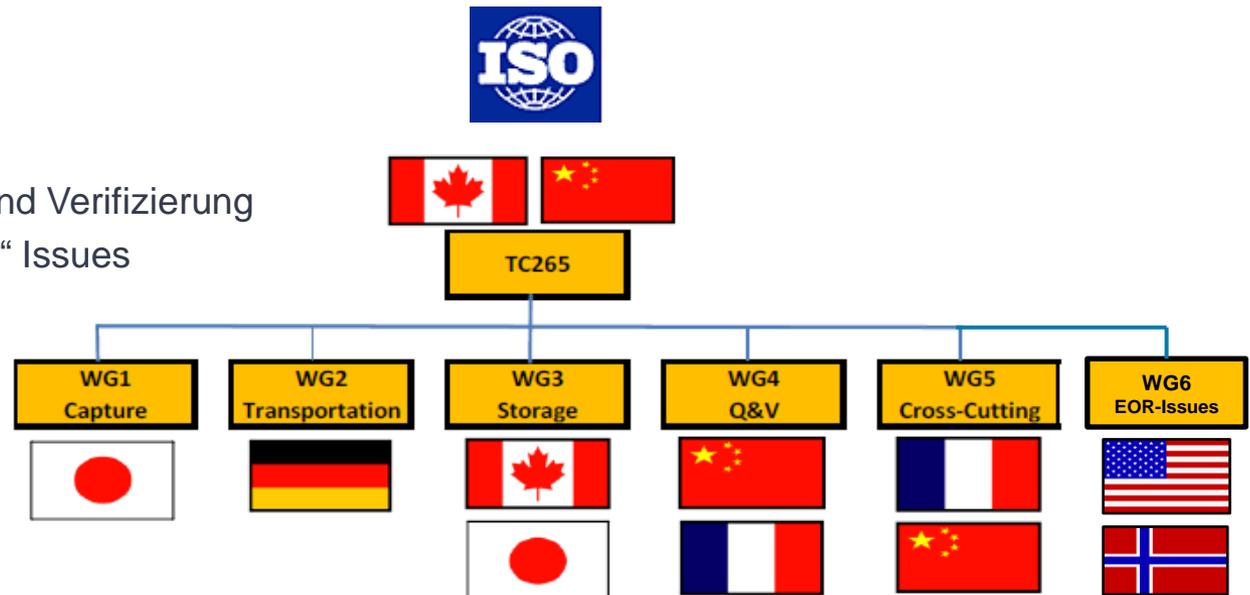
- Eine kurze Geschichte vorab
- CO₂ – Transport und zentrale Fragestellungen
 - Systemgrenzen
 - Rissarrest
 - Korrosion
 - Diskriminierungsfreier Transport

Eine kurze Geschichte zu ISO TC 265

Gründung: 2012

Stand: 2018

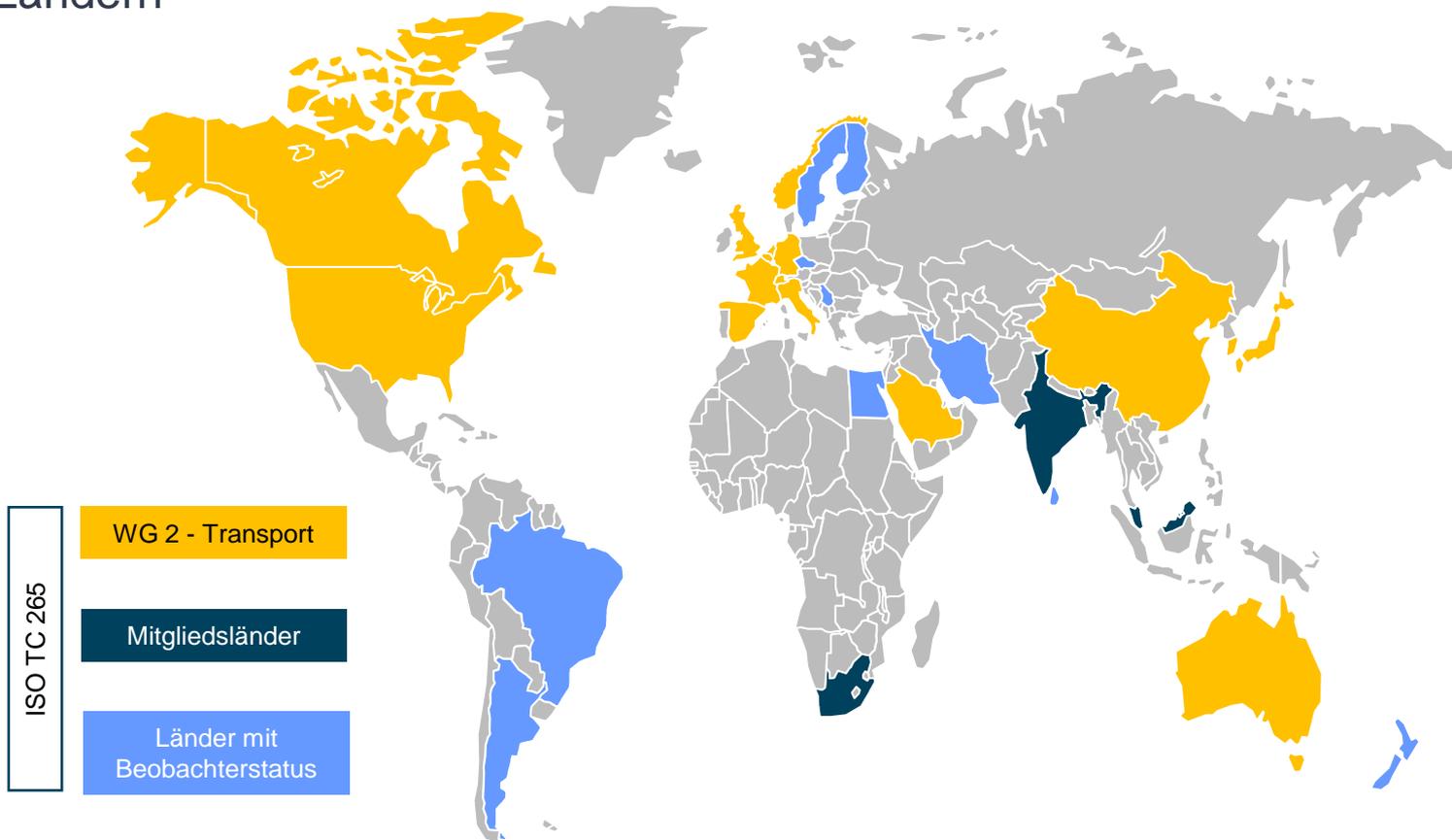
- WG 1 Abscheidung
- **WG 2 TRANSPORT**
- WG 3 Speicherung
- WG 4 Bilanzierung und Verifizierung
- WG 5 „Cross-Cutting“ Issues
- WG 6 EOR



¹ Enhanced Oil Recovery (EOR)

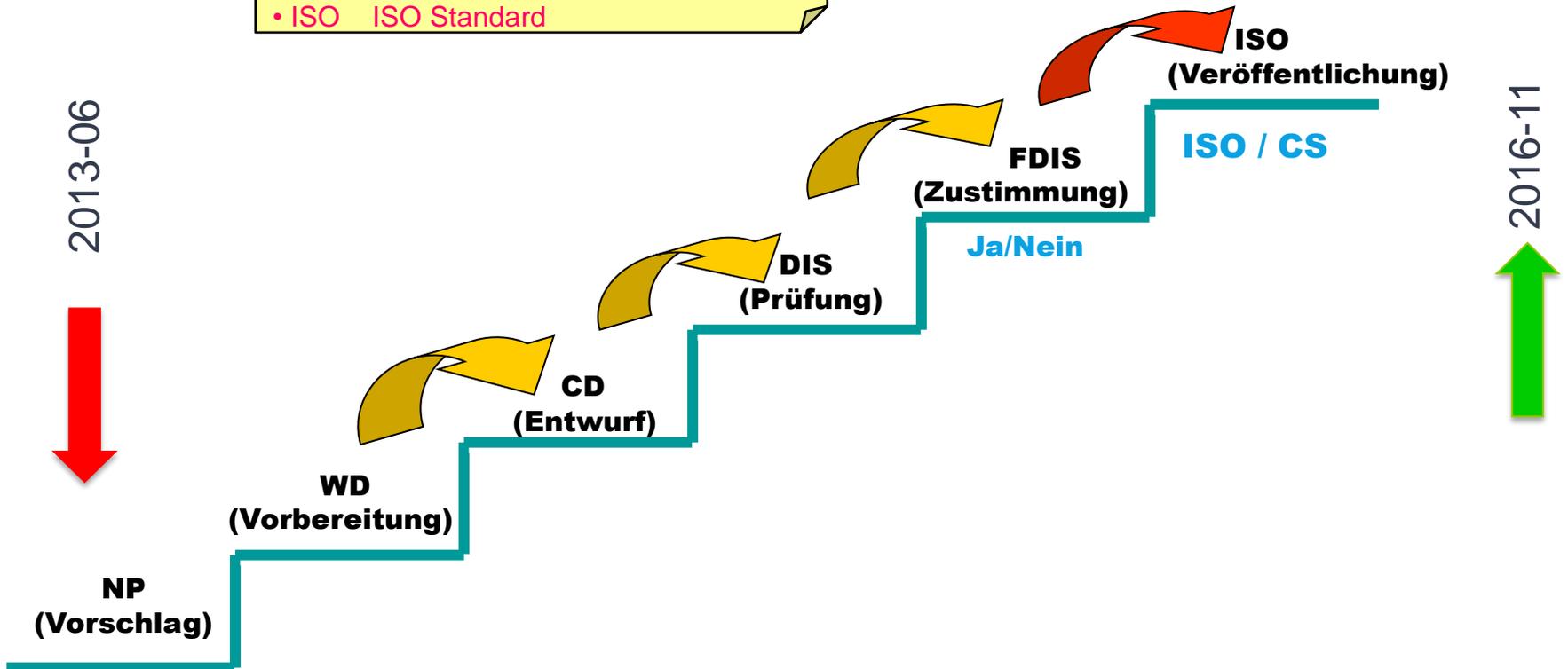
WG 2: Arbeitsgruppe CO₂ Transport

44 Experten aus
14 Ländern



Entwicklung eines ISO Standards

- NP New Work Item Proposal
- WD Working Draft
- CD Committee Draft
- DIS Draft International Standard
- FDIS Final DIS
- ISO ISO Standard



INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
27913

Anmerkung: Feiertag → First edition
2016-11-01

**Carbon dioxide capture, transportation
and geological storage — Pipeline
transportation systems**

*Captage du dioxyde de carbone, transport et stockage géologique —
Systèmes de transport par conduites*

Basis für ISO 27913 - CO₂ Transportsysteme

Bestehende Standards für Pipelines, e.g.:

- ISO 13623
- EN 1594
- ISO 3183
- AS 2885
- ...



INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
27913

First edition
2016-11-01

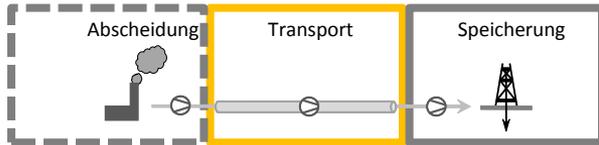
**Carbon dioxide capture, transportation
and geological storage — Pipeline
transportation systems**

*Captage du dioxyde de carbone, transport et stockage géologique —
Systèmes de transport par conduites*

Der neue ISO 27913 Standard enthält **zusätzliche CO₂ spezifische Anforderungen und Empfehlungen** die von bisherigen Regelwerken nicht abgedeckt werden

Zentrale Fragestellungen

Systemgrenzen der CO₂ Abscheidung und Speicherung



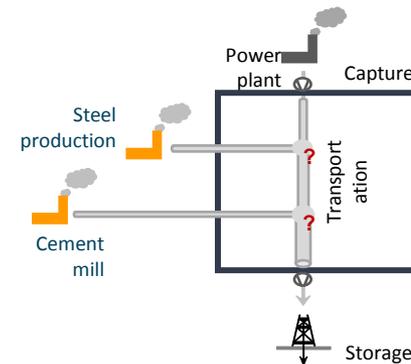
Rissarrest



Korrosion

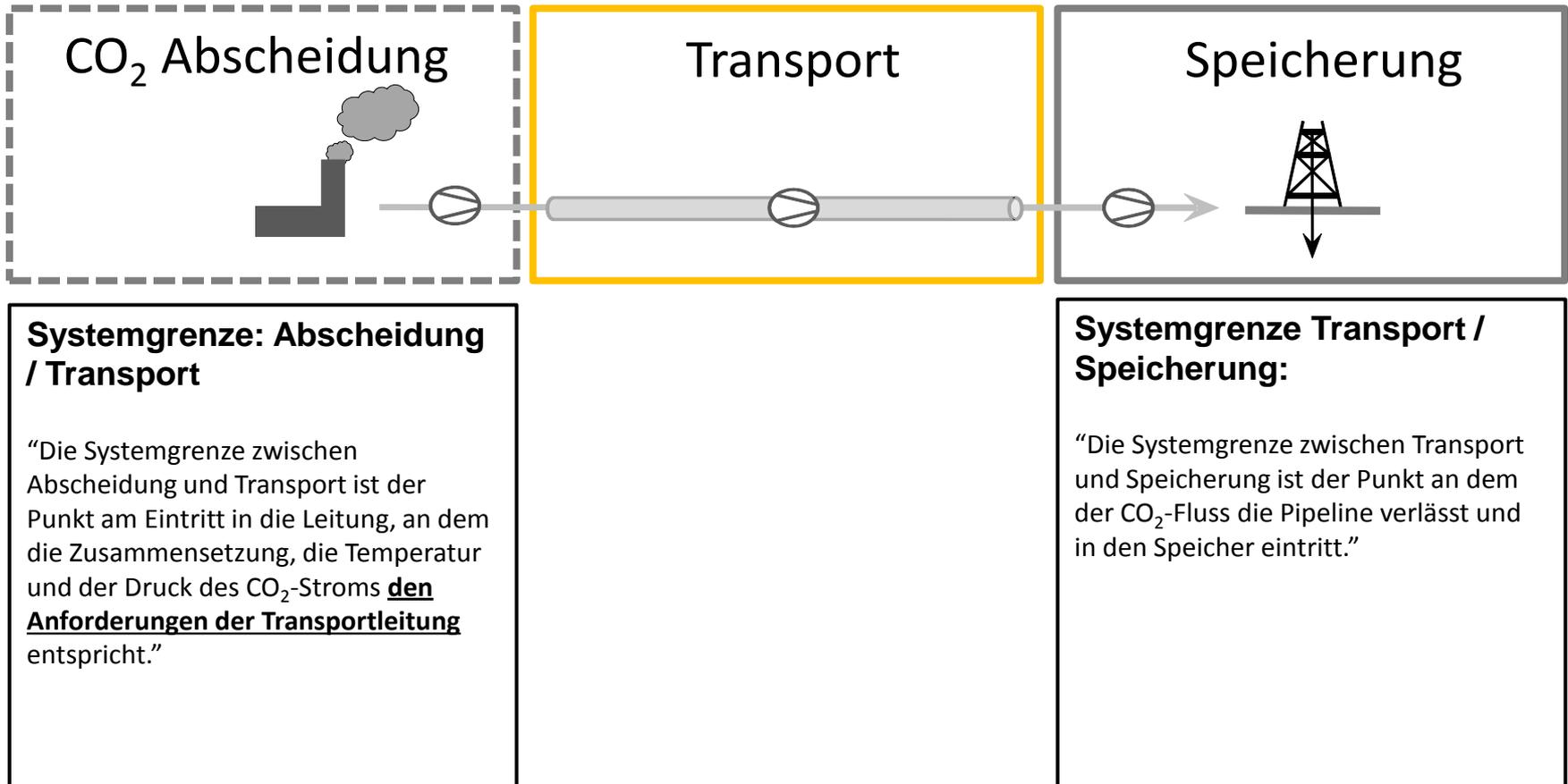


Diskriminierungs- freier Transport



CO₂ – Zentrale Fragestellungen

CCS Systemgrenzen 1

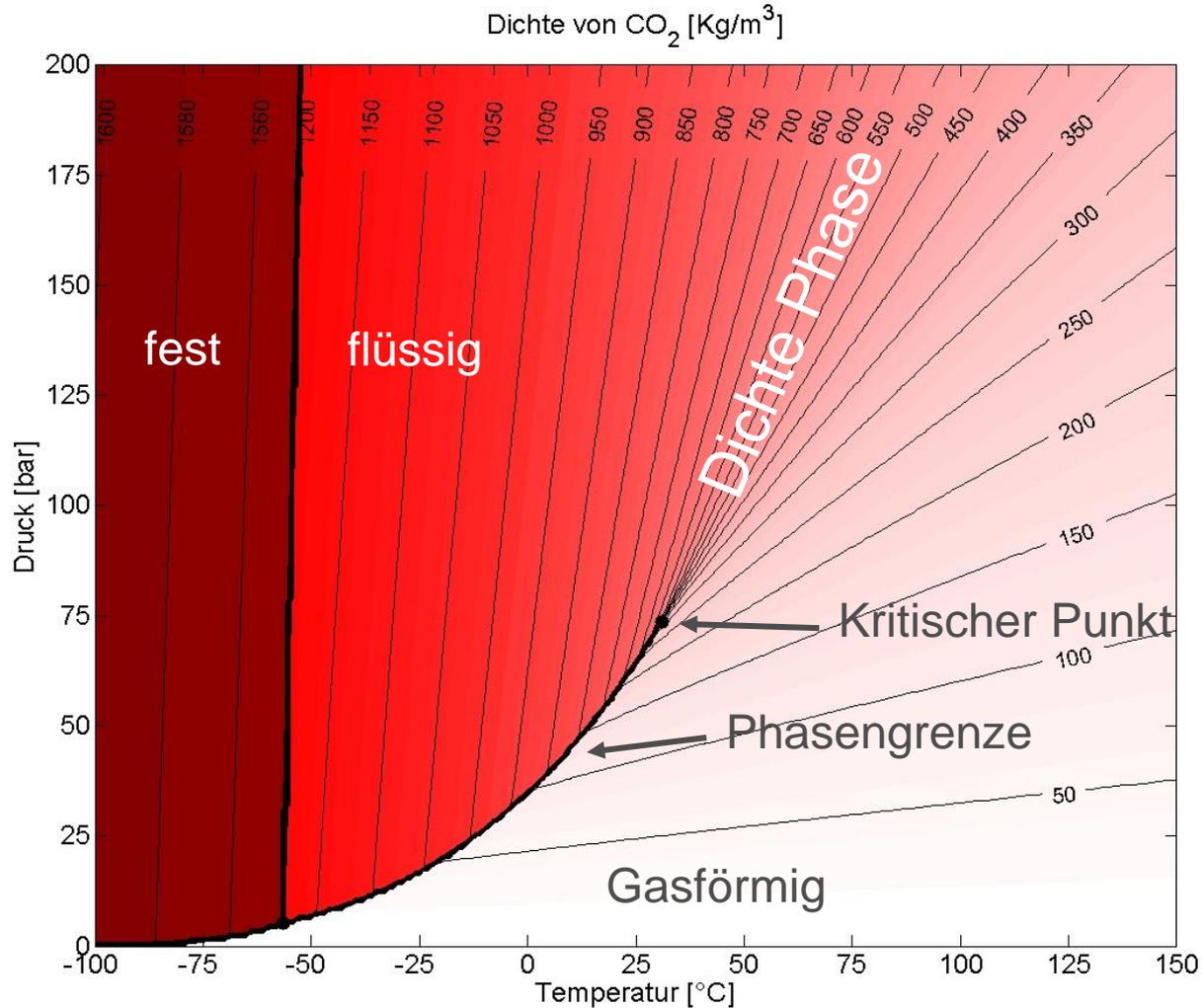


CO₂ – Zentrale Fragestellungen

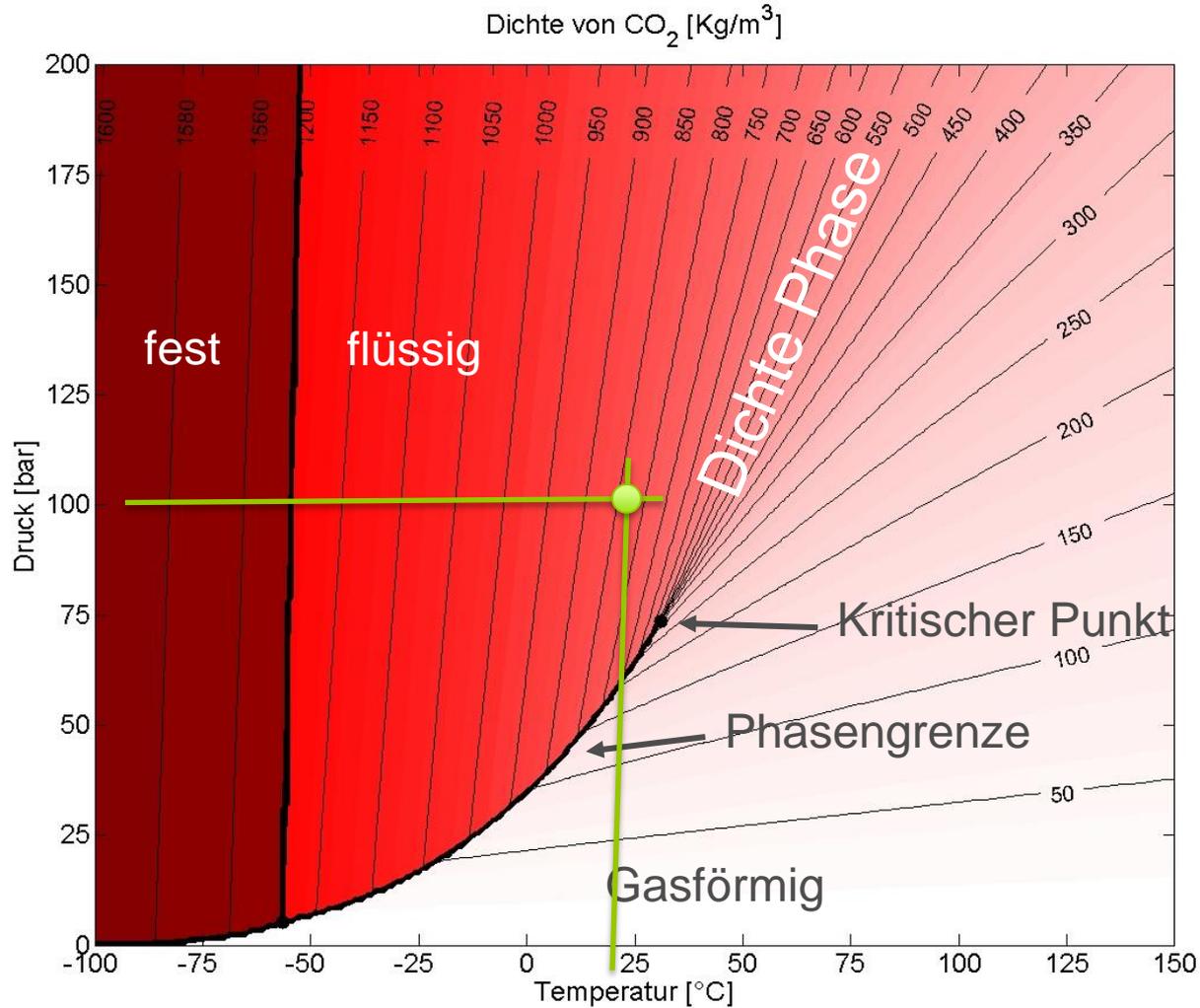
Risstopp oder Rissfortpflanzung?



Thermodynamische Eigenschaften: CO₂



Betriebspunkt



Rissfortpflanzung ist ein NO!-GO!

- Joule-Thomson Effekt begünstigt Versprödungen
- Verhalten von CO₂ bei Druckentlastungen begünstigt Rissfortpflanzung

Gegenmaßnahmen:

- Nutzung von Spezialstählen
- **Größere Wanddicke**
- Glasfaserverstärkte Manschetten

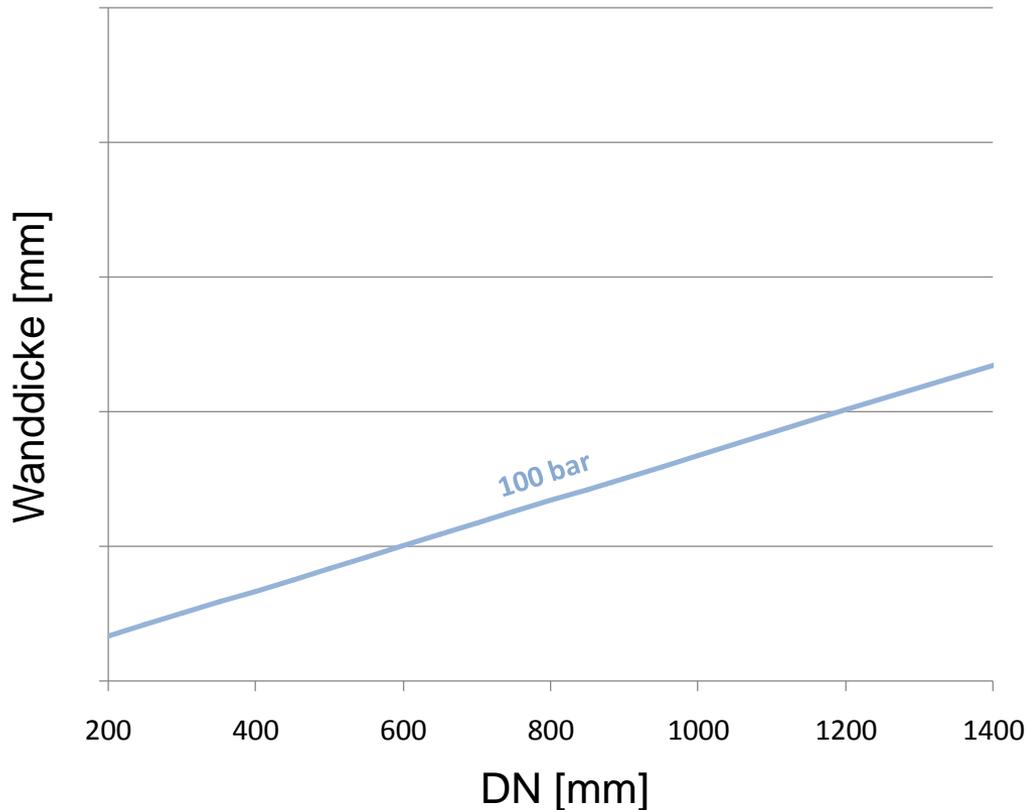
Rissarrest



Rissfortpflanzung



Wanddicke vs. Innendruck



$$T_{minDP} = \frac{DP \cdot DN}{20 \cdot f_0 \cdot R_{t0.5}}$$

T_{minDP} : Minimale Wanddicke gegen Innendruck [mm]

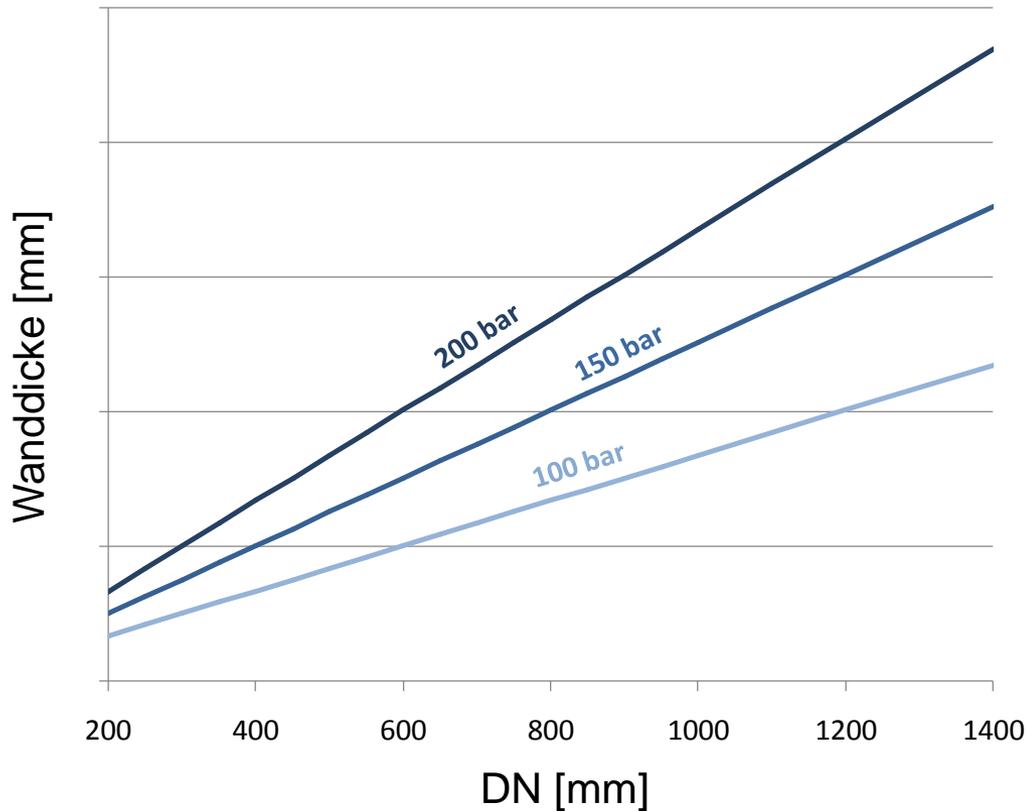
DP: Auslegungsdruck [bar]

DN: Nenndurchmesser [mm]

f_0 : Belastungsfaktor [-]

$R_{t0.5}$: Mindeststreckgrenze [N/mm²]

Wanddicke vs. Innendruck



$$T_{minDP} = \frac{DP \cdot DN}{20 \cdot f_0 \cdot R_{t0.5}}$$

T_{minDP} : Minimale Wanddicke gegen Innendruck [mm]

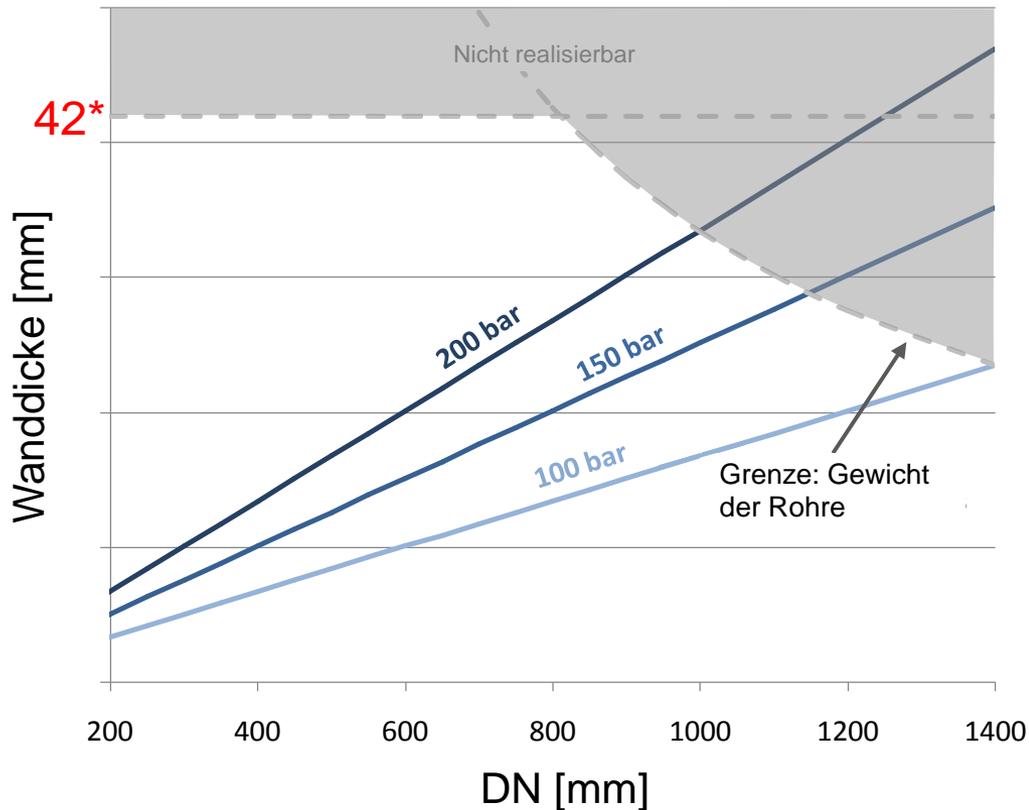
DP: Auslegungsdruck [bar]

DN: Nenndurchmesser [mm]

f_0 : Belastungsfaktor [-]

$R_{t0.5}$: Mindeststreckgrenze [N/mm²]

Wanddicke vs. Innendruck



$$T_{\min DP} = \frac{DP \cdot DN}{20 \cdot f_0 \cdot R_{t0.5}}$$

$T_{\min DP}$: Minimale Wanddicke gegen Innendruck [mm]

DP: Auslegungsdruck [bar]

DN: Nenndurchmesser [mm]

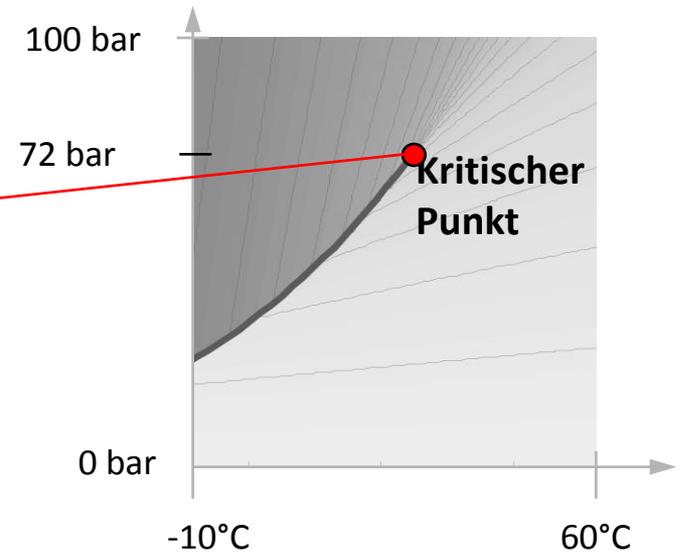
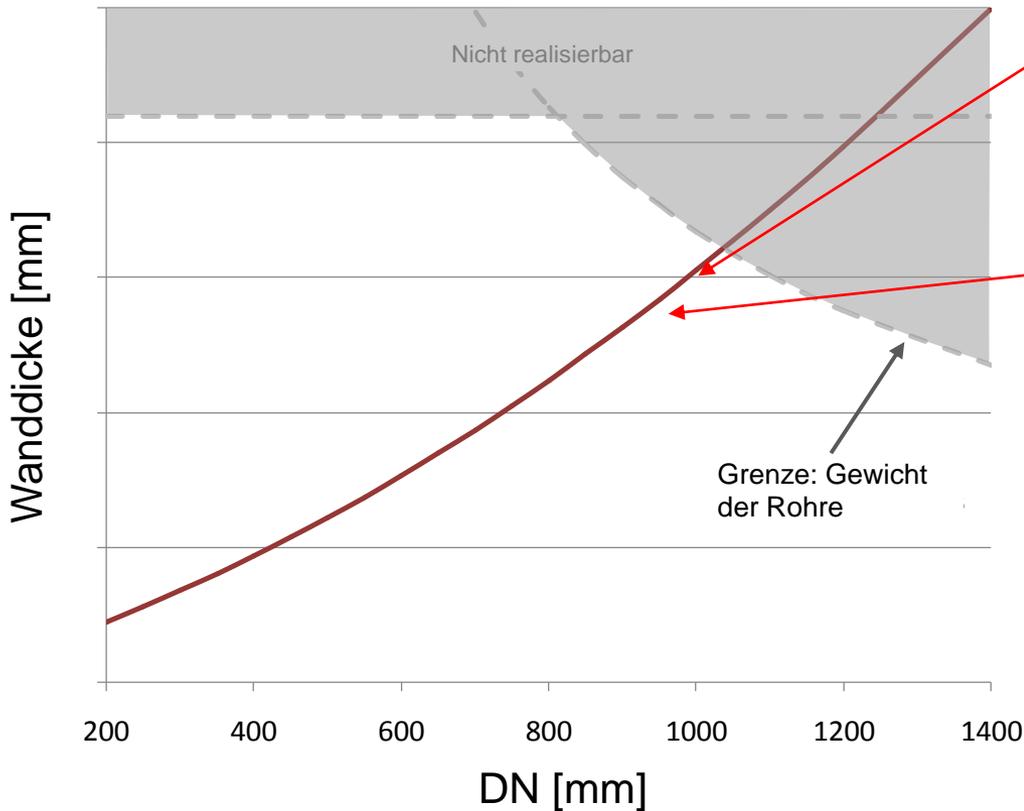
f_0 : Belastungsfaktor [-]

$R_{t0.5}$: Mindeststreckgrenze [N/mm²]

*Die Nummer 42 ist in "Per Anhalter durch die Galaxis" von Douglas Adams die Antwort auf die Frage "nach dem Leben, dem Universum und dem ganzen Rest"

Wanddicke für Rissarrest

$$1000 \frac{C_v \cdot E}{A_c \cdot \sigma_f^2 \cdot \sqrt{R \cdot t}} = \frac{24}{\pi} \cdot \ln \left(\sec \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{3,33 \cdot \sigma_a}{\sigma_f} \right] \right)$$



Parameter: Stahl X 70, $C_v > 100$ J
 Antriebsdruck am kritischen Punkt

Modifiziertes Battelle-Two-Curve-Model

Use of the modified Battelle Two-Curve Model

Auszug aus ISO 27913, Annex D:

One approach to calculate the wall thickness against ductile fracture is the use of the standard Battelle Two-Curve approach.^[48] The Battelle Two-Curve Model was originally derived from decompression tests using lean and rich gasses, which exhibited no plateau or a short plateau: since the decompression curve for dense-phase CO₂ has a very long plateau, the Battelle Two-Curve Model has been shown not to be sufficiently conservative for CO₂ under some conditions.^[43] These conditions particularly exist if a Charpy-V-notch toughness of >100 J is required. However, because the relationship between Charpy V-notch impact energy and the ductile fracture propagation resistance of the steel is not linear, there is some additional uncertainty in the application of the Charpy V-notch test alone when the arrest toughness is very high (>330 J).^[43]

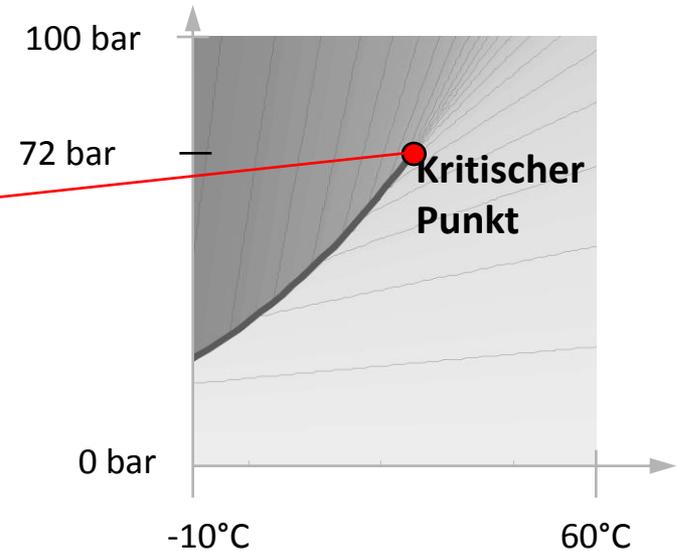
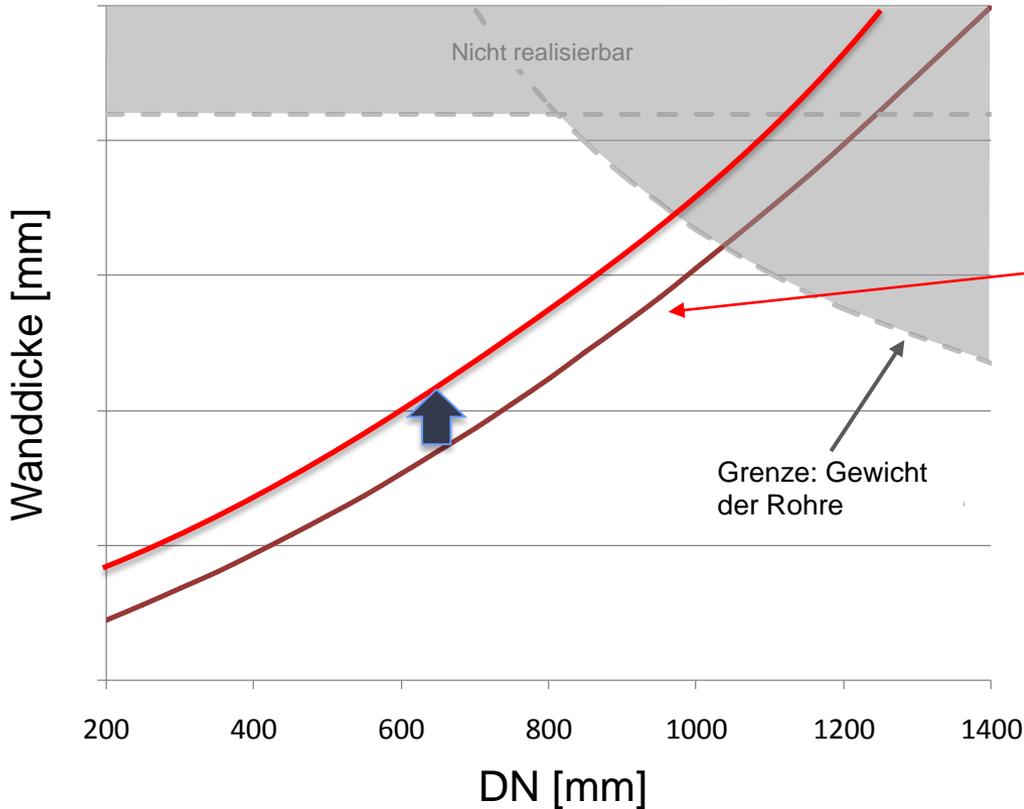
For line pipe material with Charpy-V-notch toughness <330 J, and until additional test results permit a comprehensive mathematical solution, a suggested approach is to apply an additional correction factor to the relevant hoop stress. Based on the current knowledge, a correction factor of $c_{cf} \geq 1,2$ is recommended unless it can be demonstrated otherwise. Specialist advice can be obtained to determine an alternative correction factor $c_{cf} \geq 1$.

$$1000 \frac{C_v \cdot E}{A_c \cdot \sigma_f^2 \cdot \sqrt{R \cdot t}} = \frac{24}{\pi} \cdot \ln \left(\sec \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{c_{cf} \cdot 3,33 \cdot \sigma_a}{\sigma_f} \right] \right) \quad (D.1)$$

$$\text{with } \sigma_a = \frac{Ps \cdot OD}{2 \cdot t}$$

Wanddicke für Rissarrest

$$1000 \frac{C_v \cdot E}{A_c \cdot \sigma_f^2 \cdot \sqrt{R \cdot t}} = \frac{24}{\pi} \cdot \ln \left(\sec \left[\frac{\pi}{2} \frac{c_{cf} \cdot 3,33 \cdot \sigma_a}{\sigma_f} \right] \right)$$



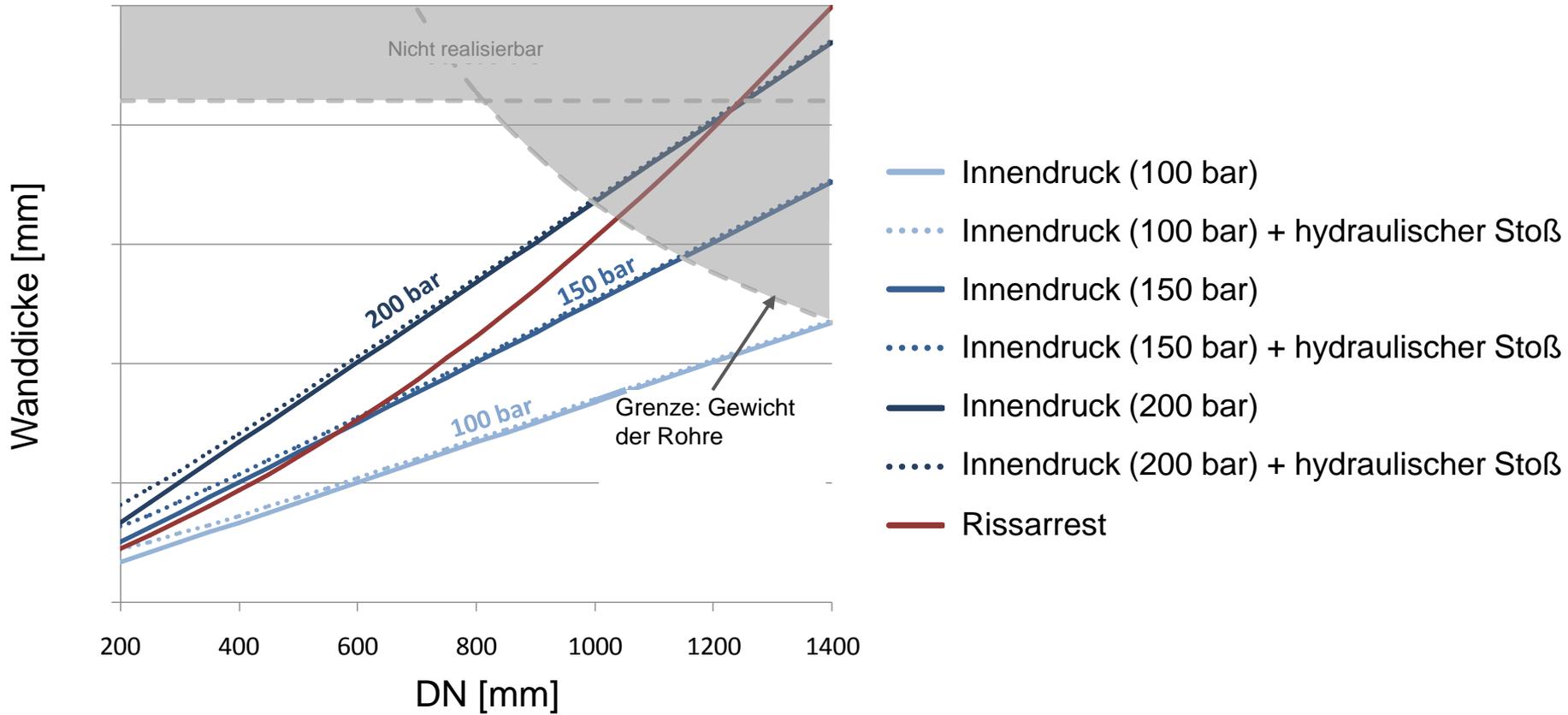
Parameter: Stahl X 70, $C_v > 100 \text{ J}$
 Antriebsdruck am kritischen Punkt

Berechnung der Wanddicke

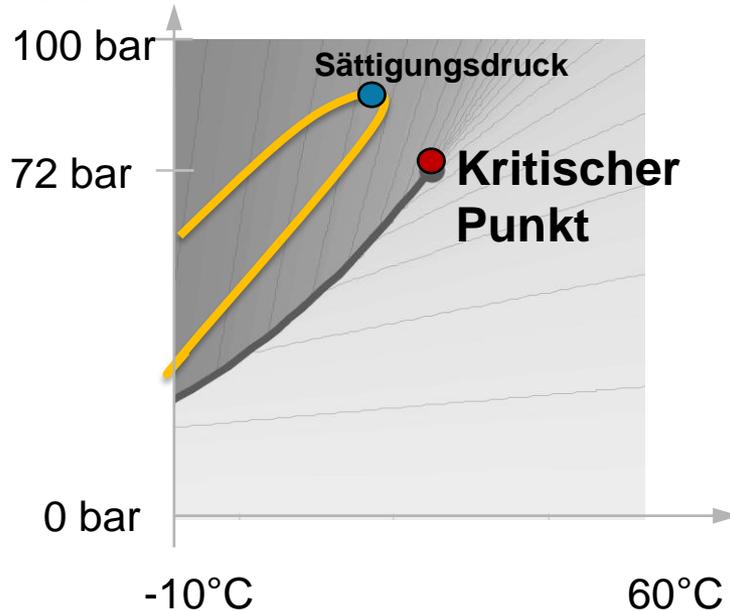
$$T_{min} = \max(T_{minDP}, T_{minHS}, T_{minCA})$$

- T_{min} : Minimale Wanddicke
- T_{minDP} : Minimale Wanddicke vs. Innendruck
- T_{minHS} : Minimale Wanddicke vs. hydraulischer Stoß
- T_{minCA} : Minimale Wanddicke um Rissarrest (→ **Abhängig von der CO₂ Zusammensetzung**) sicherzustellen

Minimale Wanddicke



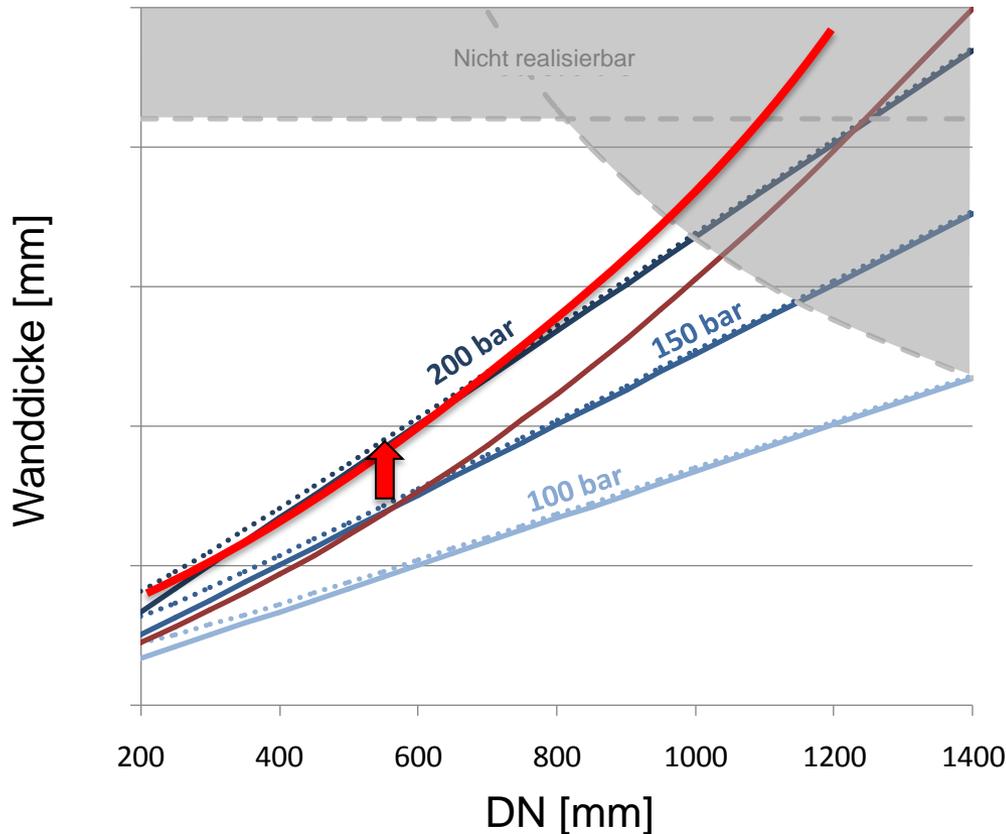
Thermodynamische Eigenschaften: Verunreinigte CO₂-Ströme



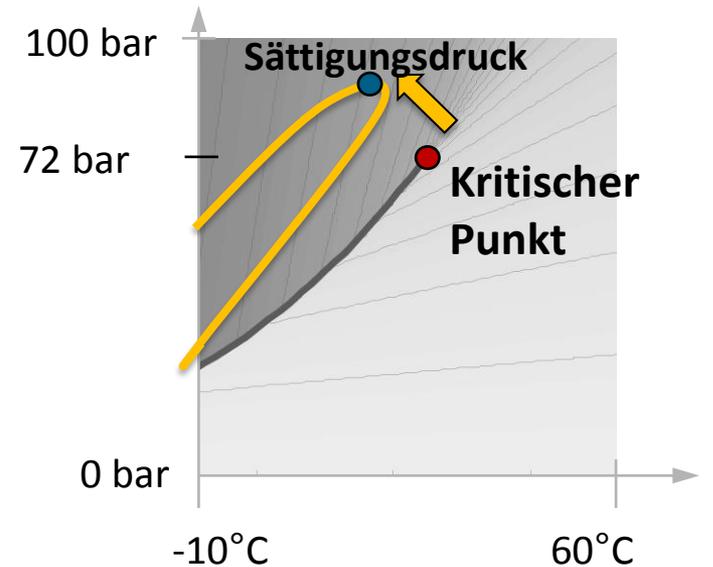
- Phasengrenze für CO₂ Strom
- Phasengrenze für reines CO₂

- Die Zusammensetzung des CO₂-Stroms bestimmt die benötigte Wanddicke. Die Wanddicke wiederum muss in der Auslegungsphase berücksichtigt werden und begrenzt den Betriebsbereich der CO₂ Pipeline.
- Verunreinigungen im CO₂ Stroms haben einen Einfluss auf die thermodynamischen Eigenschaften.
- Verunreinigungen können chemische Reaktionen in Gang setzen und Korrosion hervorrufen
- Weitere Eigenschaften eines CO₂ Stroms wie z.B. die Viskosität können sich ändern

Größere Wanddicken zum Rissarrest bei verunreinigten CO₂-Strömen



- Wanddicke für CO₂ Strom
- Wanddicke für reines CO₂



- Phasengrenze für CO₂ Strom
- Phasengrenze für reines CO₂

Einfluss auf Planung, Bau und Betrieb bei nicht reinen CO₂-Strömen

Auslegung:

- Innendruck, hydraulische Stöße und Rissarrest

Bau:

- Rohrbiegung, Schweißen, Handhabung (Gewicht), Druckprüfung, ...

Betrieb:

- Beschränkungen im Betriebsbereich

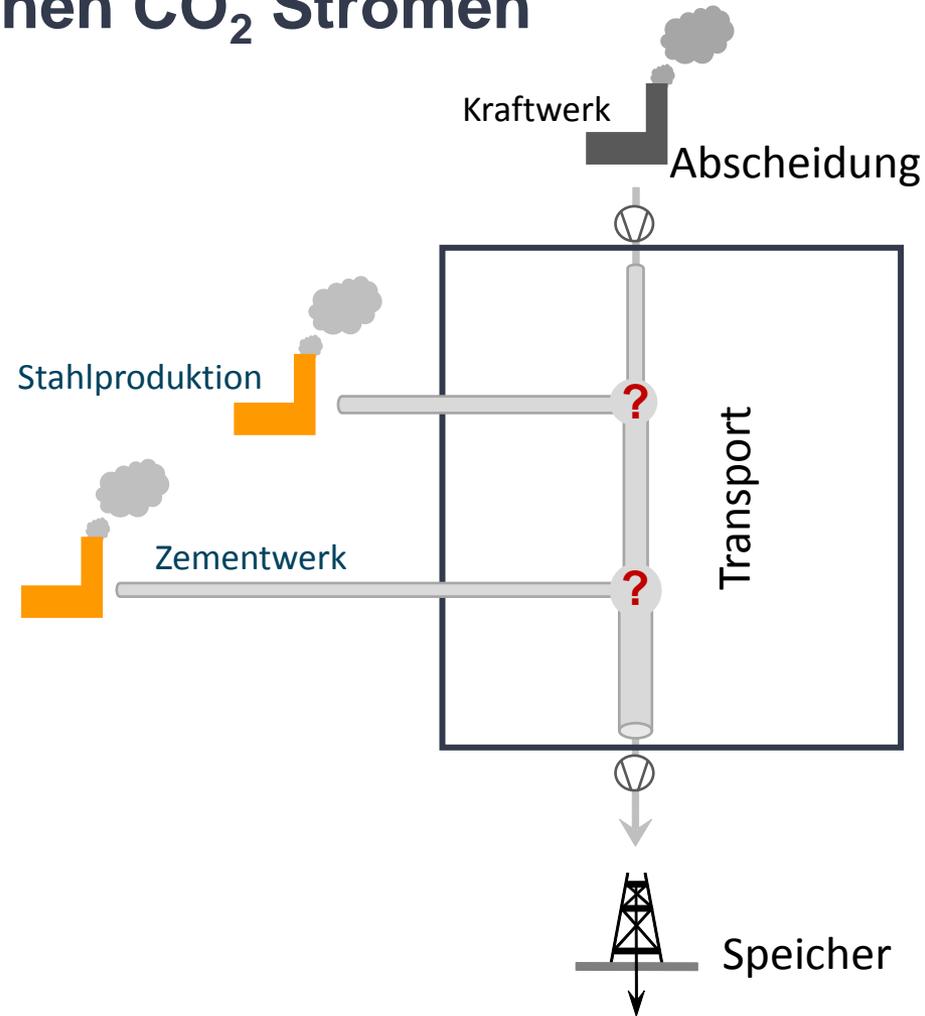
All das hat Konsequenzen für

- Rissarrestdesign
- Korrosionsschutz
- Betriebsbereiche
- Vermeidung von zweiphasigen Strömen
- Zusammenführen von CO₂-Strömen aus unterschiedlichen Quellen

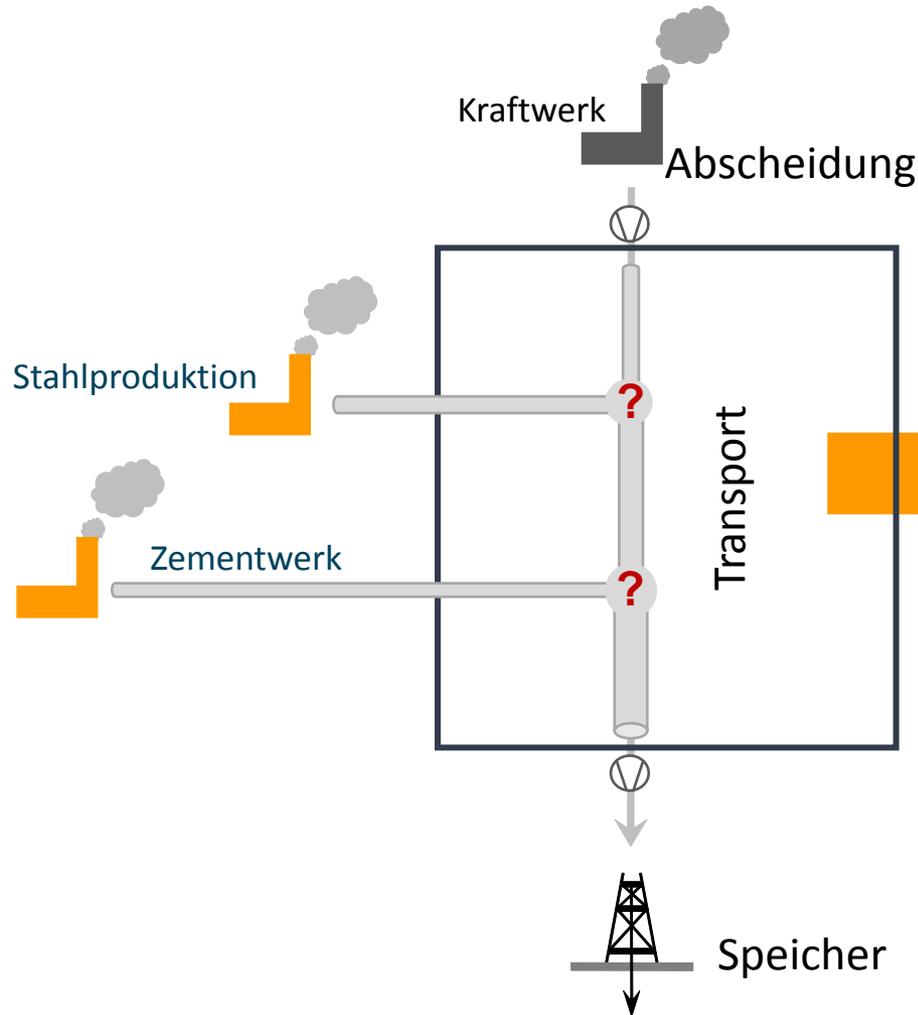
Mischung von unterschiedlichen CO₂ Strömen

Bei der Mischung von CO₂-Ströme in einem Transportnetz muss sichergestellt werden, dass eine Mischung der einzelnen Komponenten der unterschiedlichen Ströme nicht zu folgenden Effekten führt:

- Wandstärke ausreichend?
- Korrosion
- Ungewollte chemische Reaktionen / Effekte



Netzzugang: Auswirkungen auf Auslegung und Betrieb



Netzzugang für jeden möglich solange die CO₂ Spezifikationen innerhalb des Betriebsbereichs der Leitung zum Auslegungszeitpunkt liegen!

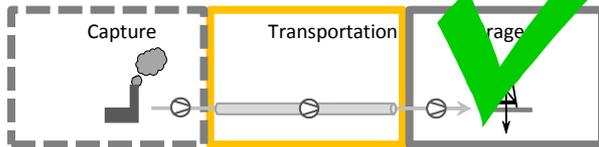
Innenkorrosion

- CO₂ Pipelines sollten so ausgelegt werden, dass Korrosion unter normalen Betriebsbedingungen im tolerierbaren Bereich auftritt
- Im Rahmen der Auslegung sollte ein Korrosionsschutzplan erstellt werden. Der Plan sollte auch Maßnahmen zur sachgerechten Wiederherstellung der Pipeline enthalten (für den Fall, dass der Korrosionsschutz versagt). Korrosion kann Upstream oder Downstream innerhalb des Pipelinesystems auftreten.
- Für weitere Informationen siehe Annex C – Innenkorrosion (informativ)
 - C.1 Maßnahmen zur Minimierung von Innenkorrosion
 - C.2 Einfluss von Verunreinigungen auf die Innenkorrosion
 - C.3 Innenkorrosionsschutz



Zentrale Fragestellungen

Grenzen von CO₂ Abscheidung und Speicherung



Rissarrest
(Stand der Technik)

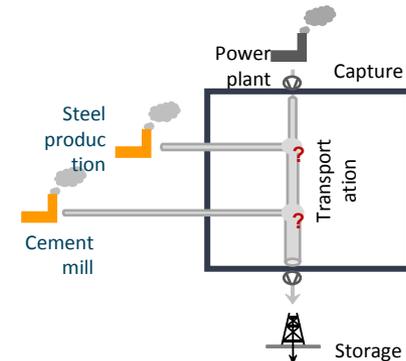


Korrosion



(Stand der Technik)

**Diskriminierungs-
freier Transport**



Zusammenfassung

- Effiziente Zusammenarbeit auf internationaler Ebene bei Entwicklung des Standards
- Eine aktive internationale Teilnahme bei der Entwicklung des Standards gewährleistet eine breite Zustimmung
- Der Standard ISO 27913 setzt gute Rahmenbedingung für Auslegung, Bau und Betrieb von CO₂ Pipelines
- Der CO₂ Standard stellt eine nützliche Ergänzung der bereits bestehenden und erprobten Standards für den Transport von Erdgas dar
- Der ISO Standard beschreibt den aktuellen Stand der Technik – **aber**: Der Stand der Technik wird sich in Zukunft weiterentwickeln

- Der Obmann bedankt sich bei



für die Finanzierung in den Jahren 2012 – 2014 und



für die Finanzierung in den Jahren 2015 und 2016

- Die ISO Secretary bedankt sich beim



für die Finanzierung in den Jahren 2012 – 2016

Kontakt:

Dr. Achim Hilgenstock
Hoonkesweg 36
D-46286 Dorsten

Tel +49 2866 17 127
Fax +49 2866 17 125
Mob +49 173 64 88 123
ac@hilgenstock-consulting.de
www.hilgenstock-consulting.de



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!