

Fragen und Antworten

- **Übung Raumbeständiger Gastransport:**

Im vorletzten Rechenschritt wird die Druckänderung berechnet, dazu benötigen wir auch den Druckverlustbeiwert ζ . Aufgrund der Werte scheint dieser durch $(\lambda \cdot L)/D_i$ bestimmt zu sein. Ist das tatsächlich so?

⇒ ja, formelmäßige Definition: z. B. in: Gasversorgung: Physikalische und technische Grundlagen des leitungsgebundenen Gastransports.

- **Übung Raumveränderlicher Gastransport:**

Bei der Berechnung der nichtlinearen Druckänderung ($p_1^2 - p_2^2 = \dots$) wird die mittlere Kompressibilitätszahl nicht genutzt. Warum nicht? Treffen wir vielleicht die Annahme, dass sich das Gas ideal verhält?

⇒ Erste Annahme: *ideales Gasverhalten* → Berechnung $\Delta p_{\text{Idealgas}}$ → hier Ende des Beispiels!

⇒ Anschließend möglich: Berechnung des mittleren Druckes → Berechnung Anfangswert für K_m (Siehe nächste Seiten!)

⇒ Iterative Bestimmung $\Delta p \rightarrow p_m \rightarrow K_m \rightarrow \Delta p$

- **Drücke:** Bei der anschließenden Berechnung von p_2 verwenden wir für p_1 einen Druckwert von 51 bar, obwohl in der Aufgabenstellung 50 bar gegeben sind. Warum?

⇒ In Aufgabe: 50 bar *Überdruck* → 51 bar *Absolutdruck!*

- **Abgrenzung zwischen Raumbeständigem und Raumunbeständigem Gastransport:** Handelt es sich hier nur um 2 unterschiedliche mathematische Verfahren, oder sind das zwei physikalisch generell unterschiedliche Fälle? Wo genau liegt denn der Unterschied?

⇒ Unterschied: Betrachtung des Gases als *inkompressibel* (raumbeständiger Transport) bzw. *kompressibel* (raumveränderlicher Transport) → völlig unterschiedliche Behandlung erforderlich! Siehe nächste Seiten!

Ermittlung des Druckverlustes Δp bzw. der Druckänderungen

Niederdruckbereich

Raumbeständiger Gastransport bzw.
raumbeständige Fortleitung

Kompressibilität des Gases kann mit
ausreichender Genauigkeit vernach-
lässigt werden

(Dichte ρ und Strömungsgeschwin-
digkeit c sind annähernd konstant)

Mittel- und Hochdruckbereich

Raumveränderlicher Gastransport

Wegen der Dichteänderung stellt sich
eine veränderliche Strömungs-
geschwindigkeit c und ein nicht
linearer Druckabfall Δp über der
Rohrleitungslänge ein

⇒ sog. **expandierende Fortleitung**

Raubeständiger Gastransport bzw. raumbeständige Fortleitung

Es gilt:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{\rho \cdot c^2}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{L}{D_i} + (\rho_G - \rho_L) \cdot g \cdot (H_1 - H_2)$$

- p_1, H_1 Druck und Höhe am Anfang
- p_2, H_2 Druck und Höhe am Ende der Leitung
- λ **Rohrreibungszahl**

Rohrreibung

⇒ wird für die in Gastransportleitungen allgemein vorherrschende ausgeprägt turbulente Strömung nach folgender Gleichung mit ausreichender Genauigkeit ermittelt:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \cdot \lg \frac{D_i}{k_i} + 1,14\right)^2}$$

k_i : integrale Rohrrauigkeit

Bedingung: Reynoldszahl $Re = c \cdot D_i \cdot \rho / \eta \geq 2\,320 = Re_{krit}$

Erdgas: dynamische Viskosität $\eta = 10,8 \dots 11,9 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$

$Re_{krit} > 2.320$: ausgebildete turbulente Strömung

Hochdruckgasleitungen: unter normalen Betriebsverhältnissen erfüllt.

Niederdrucknetze: Reynoldszahl sollte überprüft werden!

Erfassung der zusätzlichen Widerstände:

- ⇒ **aufwendig**, bei ingenieurtechnischen Berechnungen in Gasversorgung **nicht üblich**.
- ⇒ werden daher **nicht einzeln ausgewiesen**, sondern sind in der **integralen Rohrrauigkeit k_i** (DVGW-Arbeitsblatt G 464) enthalten.

Raumveränderlicher Gastransport

Die Ableitung der Gleichungen setzt vorerst ein ideales Verhalten des Gases voraus:

- differentiell kleines Rohrelement ohne Höhendifferenz ($H_1 = H_2$):

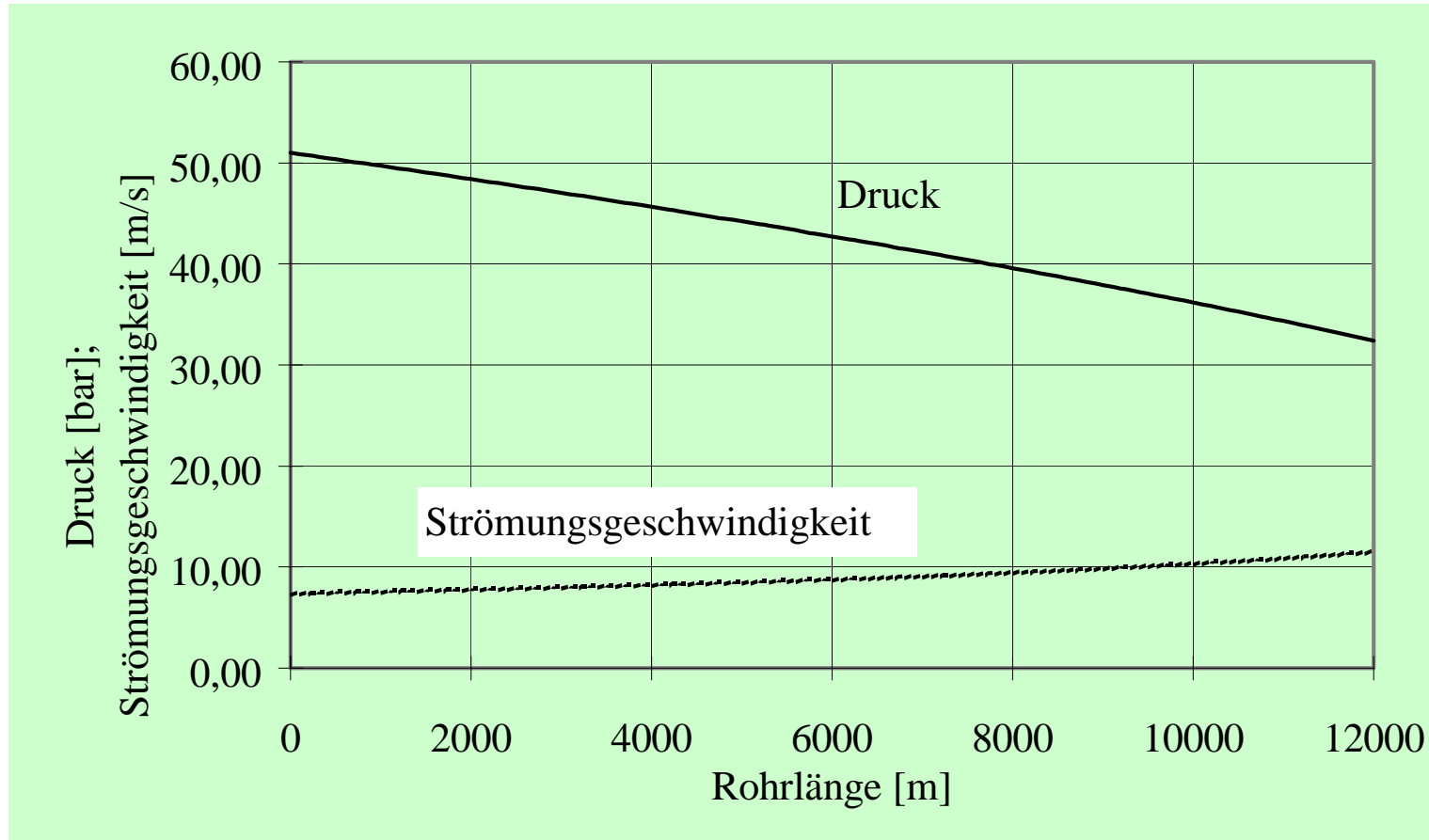
$$dp = -\lambda \cdot \frac{dl}{D} \cdot \frac{\rho \cdot c^2}{2} = -\lambda \cdot \frac{dl}{D} \cdot \frac{\rho_N \cdot c_N^2}{2} \cdot \frac{p_N}{p} \cdot \frac{T}{T_N}$$

$$\int_{p_1}^{p_2} p \, dp = -\frac{\lambda \cdot \rho_N \cdot c_N^2 \cdot p_N \cdot T}{2 \cdot D \cdot T_N} \cdot \int dl \quad \left. \frac{p^2}{2} \right|_{p_1}^{p_2} = -\frac{\lambda \cdot \rho_N \cdot c_N^2 \cdot p_N \cdot T}{2 \cdot D \cdot T_N} \cdot L$$

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = \frac{\lambda \cdot \rho_N \cdot c_N^2 \cdot p_N \cdot T \cdot L}{2 \cdot D \cdot T_N}$$

Mit $c = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2}$ folgt

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \frac{16}{\pi^2 \cdot D^5} \cdot \frac{T}{T_N} \cdot \rho_N \cdot \rho_N \cdot L \cdot \dot{V}_N^2$$



Beispiel für Verlauf von Druck p und Strömungsgeschwindigkeit c über der Leitungslänge L bei raumveränderlichem Gastransport bzw. expandierender Fortleitung

Realität: Parameter folgen nicht exakt dem Gesetz für ideale Gase

Hochdruckleitungen:

- ⇒ Korrektur mit **mittlerer Kompressibilitätszahl** K_m (gas law deviation coefficient) oder **Realgasfaktor** Z (compressibility factor) nötig!
- ⇒ Horizontal verlegte Leitung:

$$p_1^2 - p_2^2 = \lambda \cdot \frac{16}{\pi^2 \cdot D^5} \cdot \frac{T}{T_N} \cdot p_N \cdot \rho_N \cdot L \cdot \dot{V}_N^2 \cdot K_m$$

Idealgas

**Umrechnung
auf Realgas**

Berücksichtigung des realen Verhaltens des Gases mit der mittleren Kompressibilitätszahl K_m :

$$\frac{\rho_N \cdot V_{N,\text{real}}}{T_N} = \frac{p \cdot V_{\text{real}}}{T \cdot K_m} \quad K_m = \frac{\rho_{N,\text{real}}}{\rho_{\text{real}}} \cdot \frac{T_N}{T} \cdot \frac{p}{p_N} \quad \rho_{\text{real}} = \rho_{N,\text{real}} \cdot \frac{T_N}{T} \cdot \frac{p}{p_N} \cdot \frac{1}{K_m}$$

Der Korrekturfaktor K_m ist vom Druck, der Temperatur und von der Gasart abhängig.

Ein **Erdgasvolumenstrom** wird mit Berücksichtigung einer Kompressibilitätszahl $K_m < 1$ gegenüber einer Bestimmung nach dem Gesetz für ideale Gase geringer:

$$\dot{V} = \dot{V}_N \cdot \frac{T}{T_N} \cdot \frac{p_N}{p} \cdot K_m$$

Einzelgase: Kompressibilitätszahlen K sind bekannt

Gasgemische: Mischungsregel versagt

- Ermittlung für Erdgas u. a. industrielle Gase aufwendig
- experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Ingenieurtechnische Berechnungen:

bis $p = 70$ bar gilt mit ausreichender Genauigkeit:

$$K \approx 1 - \frac{p_m}{460} \text{ für Erdgas, } K \approx 1 + \frac{p_m}{6200} \text{ für Stadtgas; } p_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{p_1^3 - p_2^3}{p_1^2 - p_2^2}$$

p_m : mittlerer absoluter Druck in bar

Erdgashochdruckleitungen:

- **Gasdichte größer**
- **Strömungsgeschwindigkeit kleiner**

als Berechnung nach Gesetz für ideale Gase ergeben würde.