

Kennlinie von Rohrsystemen

Ein Rohrsystem besteht aus mehreren Rohrstrecken, die parallel oder in Reihe geschaltet sind. In manchen Fällen kann eine Kennlinie des Gesamtsystems aufgestellt werden, die zur Ermittlung von Betriebszuständen dienen kann.

1. Gesamtkennlinie paralleler Rohrstrecken

Die Gesamtkennlinie von parallel geschalteten Rohrstrecken, deren Einzelkennlinien bekannt sind, ergibt sich durch Addition der Einzelvolumenströme bei jeweils gleichem Druckverlust.

Zeichnerische Lösung (bei 2 parallelen Strecken)

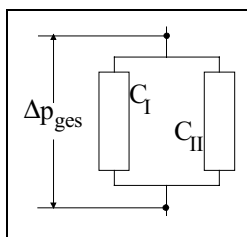


Bild 1: Schaltbild Parallelschaltung

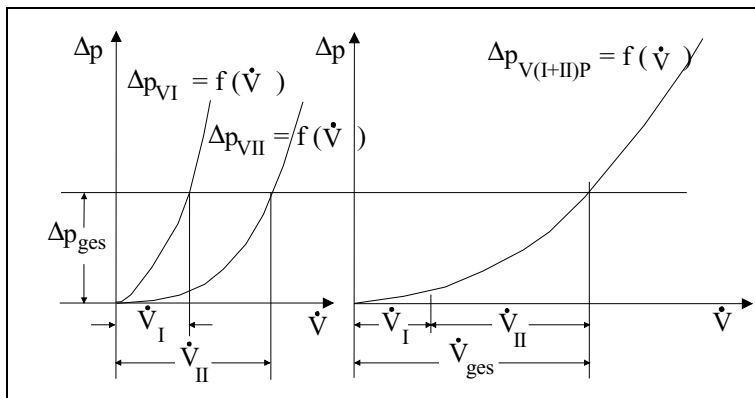


Bild 2: Parallelschaltung von Rohrstrecken

Rechnerische Lösung

Bei n parallelen Rohrstrecken werden die Einzelwiderstände zu einem Ersatzwiderstand C_{Ers} zusammengefasst.

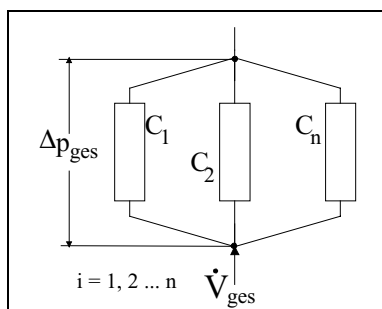


Bild 3: Parallelschaltung von n Rohrstrecken

Für den einzelnen Zweig gilt:

$$\Delta p_{\text{ges}} = C_i \cdot \dot{V}_i^2 \Rightarrow \dot{V}_i = \left(\frac{\Delta p_{\text{ges}}}{C_i} \right)^{1/2}$$

Der Gesamtvolumenstrom ist gleich der Summe der Einzelvolumenströme:

$$\dot{V}_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta p_{\text{ges}}}{C_i} \right)^{1/2} = \Delta p_{\text{ges}}^{1/2} \cdot \sum_{i=1}^n C_i^{-1/2}$$

$$\Delta p_{\text{ges}} = \left(\sum_{i=1}^n C_i^{-1/2} \right)^{-2} \cdot \dot{V}_{\text{ges}}^2 = C_{\text{Ers}} \cdot \dot{V}_{\text{ges}}^2$$

Ohne Ableitung gilt:

$$C_{\text{Ers}} = \left(\sum_{C=1}^n C_i^{-1/2} \right)^{-2} = \left(\sum_{C=1}^n \frac{1}{\sqrt{C_i}} \right)^{-2}$$

Für 2 parallele Teilstrecken mit C_I und C_{II} gilt:

$$C_{\text{Ers}} = \left(\frac{1}{\sqrt{C_I}} + \frac{1}{\sqrt{C_{II}}} \right)^{-2} = \left(\frac{\sqrt{C_I} + \sqrt{C_{II}}}{\sqrt{C_I} \cdot \sqrt{C_{II}}} \right)^{-2} = \left(\frac{\sqrt{C_I} \cdot C_{II}}{\sqrt{C_I} + \sqrt{C_{II}}} \right)^2$$

$$C_{\text{Ers}} = \frac{C_I \cdot C_{II}}{(\sqrt{C_I} + \sqrt{C_{II}})^2}$$

Ermittlung eines Ersatz- k_V -Wertes einer Parallelschaltung

$$\Delta p_v = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{k_V^2} \cdot \dot{V}^2 = B \cdot \frac{1}{k_V^2} \cdot \dot{V}^2$$

Dann ergibt sich analog zu oben:

$$\Delta p_{\text{ges}} = B \cdot \frac{1}{k_{Vi}^2} \cdot \dot{V}_i^2 \Rightarrow \dot{V}_i^2 = \frac{k_{Vi}}{\sqrt{B}} \cdot \sqrt{\Delta p_{\text{ges}}}$$

$$\dot{V}_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n \dot{V}_i = \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{ges}}}{B}} \cdot \sum_{i=1}^n k_{Vi}$$

$$\Delta p_{\text{ges}} = B \cdot \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n k_{Vi} \right)^2} \cdot \dot{V}_{\text{ges}}^2$$

$$\Delta p_{\text{ges}} = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{\left(\sum_{i=1}^n k_{Vi} \right)^2} \cdot \dot{V}_{\text{ges}}^2$$

$$\Delta p_0 = 1 \text{ bar}; \quad \rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta p_{\text{ges}} = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{k_{VErs}^2} \cdot \dot{V}_{\text{ges}}^2$$

$$k_{VErs} = \sum_{i=1}^n k_{Vi}$$

Bei Parallelschaltungen addieren sich die k_V -Werte zum Ersatz- k_V -Wert.

2. Gesamtkennlinie in Reihe geschalteter Rohrstrecken

Die Gesamtkennlinie von in Reihe geschalteter Rohrstrecken, deren Einzelkennlinien bekannt sind, erhält man durch Addition der Einzeldruckverluste bei jeweils gleichem Volumenstrom.

Zeichnerische Lösung (bei 2 in Reihe geschalteten Strecken)

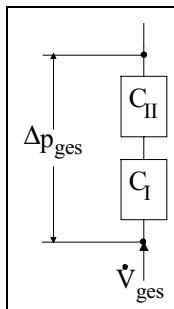


Bild 4: Schaltbild Reihenschaltung

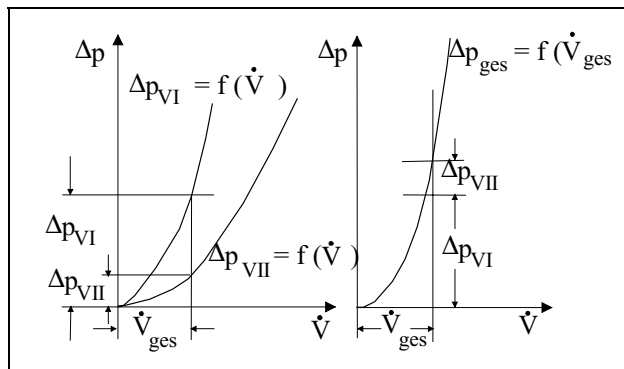


Bild 5: Reihenschaltung von Rohrstrecken

Rechnerische Lösung (bei n in Reihe geschalteter Strecken)

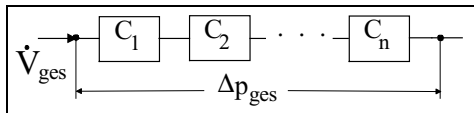


Bild 6: Reihenschaltung von n Rohrstreifen

Es ist:

$$\dot{V}_{ges} = \dot{V}_1 = \dot{V}_2 = \dots = \dot{V}_n$$

$$\Delta p_i = C_i \cdot \dot{V}_i^2 = C_i \cdot \dot{V}_{ges}^2$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots + \Delta p_n = \sum_{i=1}^n \Delta p_i$$

$$\Delta p_{ges} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \dot{V}_{ges}^2 = \dot{V}_{ges}^2 \cdot \sum_{i=1}^n C_i$$

$$\Delta p_{ges} = C_{Ers} \cdot \dot{V}_{ges}^2$$

Ein Vergleich ergibt

$$C_{Ers} = \sum_{i=1}^n C_i$$

Bei Reihenschaltungen addieren sich die Einzelwiderstände zum Ersatzwiderstand.

Für 2 in Reihe geschaltete Rohrstreifen gilt

$$C_{Ers} = C_I + C_{II}$$

Ermittlung eines Ersatz- k_V -Wertes einer Reihenschaltung:

$$\Delta p_V = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{k_V^2} \cdot \dot{V}^2 = B \cdot \frac{1}{k_V^2} \cdot \dot{V}^2$$

Dann ergibt sich analog zu oben:

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots + \Delta p_n = \sum_{i=1}^n \Delta p_i$$

$$\Delta p_{ges} = \sum B \cdot \frac{1}{k_{Vi}^2} \cdot \dot{V}_{ges}^2 = B \cdot \dot{V}_{ges}^2 \cdot \sum \frac{1}{k_{Vi}^2}$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{Vi}^2} \right) \cdot \dot{V}_{ges}^2$$

$$\Delta p_{ges} = \Delta p_0 \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{1}{k_{VErs}^2} \cdot \dot{V}_{ges}^2$$

Ein Vergleich ergibt

$$\frac{1}{k_{VErs}^2} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{Vi}^2}$$

$$k_{VErs} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{Vi}^2} \right)^{-1/2}$$

3. Gesamtkennlinie eines Rohrleitungssystems

Bei bestimmten Rohrnetztypen (z.B. Strahlennetze mit einer Pumpe, vermaschte Netze mit Pumpe, die auf Strahlennetze zurückgeführt werden können) können Gesamtkennlinien ermittelt werden.

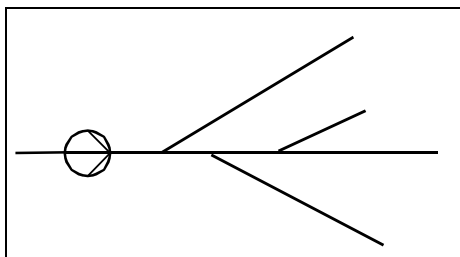


Bild 7 Gesamtkennlinie ermittelbar

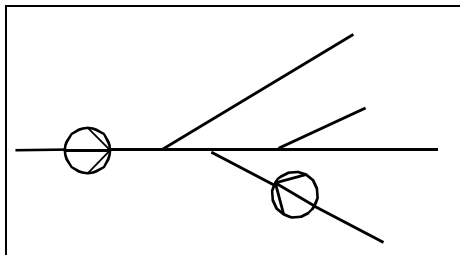


Bild 8 Gesamtkennlinie häufig ermittelbar (schwieriger)

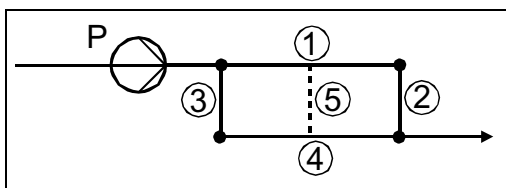


Bild 9 Gesamtkennlinie ermittelbar, wenn Leitung 5 hinzukommt nicht mehr ermittelbar.

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel