

Rechenschieber für die Wasserwirtschaft

Fließgesetze

Fließgesetze stellen den Zusammenhang zwischen der Strömung (Abfluss, Fließgeschwindigkeit) und den Energieverlusten (Fließverluste) her. Die Fließverluste hängen vom Abfluss, der Rauheit des Gerinnes sowie der Gerinnegeometrie ab. Dem Alter der Modelle entsprechend kommen zum Teil empirische Fließgesetze und Berechnungsansätze zur Anwendung, die früher gebräuchlich waren und mittlerweile nicht mehr verwendet werden. Alle Fließgesetze beruhen auf dem grundlegenden Fließgesetz nach

$$\text{de Chezy:} \quad v = c \cdot \sqrt{R \cdot I_E} \quad (1)$$

v = Fließgeschwindigkeit

R = hydraulischer Radius

I_E = Energieliniengefälle

Der Parameter c ist dabei eine variable Größe, die von den Eigenschaften der Strömung und des Fließquerschnitts abhängt. Für die Bestimmung dieses Wertes existieren verschiedene Ansätze. Der allgemeine Ansatz geht auf Prandtl-Colebrook zurück und ist für die Berechnung von Druckrohren heute Standard.

$$\text{Prandtl-Colebrook:} \quad v = \sqrt{\frac{1}{\lambda} \cdot 8g \cdot R \cdot I_E} \quad (2)$$

mit dem Ansatz für den Widerstandsbeiwert λ

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\frac{25,1}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k/d}{3,71} \right) \quad (2a)$$

Diese Gleichung kann nur mit Hilfe graphischer Skalen gelöst werden. Die meisten Rechenschieber, die vorgeben, nach Prandtl-Colebrook zu rechnen, beruhen auf einem festen Widerstandsbeiwert und berücksichtigen nicht die Gleichung (2a). Rauheitshöhen k (mm) können der Literatur entnommen werden.

Besser geeignet für die Lösung mit Rechenschiebern sind vereinfachte, empirische Gleichungen. Am bekanntesten ist wohl die Gleichung von Manning-Strickler. Sie wird noch heute insbesondere für die Berechnung offener Gerinne, aber z.T. auch für Kanalrohre, verwendet.

$$\text{Manning-Strickler:} \quad v = k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_E} \quad (3a) \quad (\text{metrisch}), \text{ bzw.}$$

$$v = \frac{1,486}{n} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_E} \quad (3b) \quad (\text{US bzw. imperial})$$

mit dem dimensionslosen Beiwert (Manning value oder Kutter value)

$$n = 1 \text{ (m}^{1/3}\text{/s)} / k_{St} = 1,486 \text{ (ft}^{1/3}\text{/s)} / k_{St} \quad (3c)$$

Der Beiwert entspricht also dem Kehrwert des Strickler-Beiwertes in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$. Strickler-Beiwerte für offene Gerinne und Rohrwerkstoffe sind gut dokumentiert und können der Standardliteratur entnommen werden.

Zur Berechnung von Druckrohren wurde im englischen Sprachraum meist die Gleichung nach Hazen-Williams verwendet, die der Gleichung von Manning-Strickler sehr ähnlich ist:

$$\text{Hazen-Williams: } v = C_1 \cdot R^{0,63} \cdot I_E^{0,54} \cdot 0,001^{0,04} \quad (4)$$

C_1 hat die Einheit ($\text{ft}^{0,37}/\text{s}$). Es gilt $1 \text{ ft}^{0,37}/\text{s} = 0,6443 \text{ m}^{0,37}/\text{s}$

Anhaltswerte für den Beiwert C_1 sind

- sehr glatt (z.B. Kunststoff, neuer Stahl): $C_1 = 130 - 150 \text{ ft}^{0,63}/\text{s}$
- glatt (z.B. Steinzeug, Zementauskleidung): $C_1 = 100 - 130 \text{ ft}^{0,63}/\text{s}$
- rau (z.B. verrosteter Stahl, Mauerwerk): $C_1 < 100 \text{ ft}^{0,63}/\text{s}$

Der Beiwert C_1 hängt darüber hinaus auch vom Durchmesser ab. Detaillierte Werte können der Literatur entnommen werden.

Ein früher gebräuchliches Fließgesetz - insbesondere in der Stadtentwässerung - ist die Gleichung von Kutter. Sie entspricht der Gleichung von de Chezy (Gleichung 1), wobei sich der Beiwert c ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$) bzw. ($\text{ft}^{1/2}/\text{s}$) wie folgt ergibt:

$$\text{Kutter: } c = \frac{1}{s} \cdot \frac{k_1 + k_2 / I_E + k_3 / n}{1 + n / \sqrt{R} \cdot (k_1 + k_2 / I_E)} \quad (5)$$

$$k_1 = 23,00 \text{ m}^{1/2} = 41,65 \text{ ft}^{1/2}$$

$$k_2 = 0,00155 \text{ m}^{1/2} = 0,00281 \text{ ft}^{1/2}$$

$$k_3 = 1,00 \text{ m}^{1/2} = 1,811 \text{ ft}^{1/2}$$

n = dimensionsloser Kutter-Beiwert nach Gleichung (3c)

R = hydraulischer Radius (m) bzw. (ft)

I_E = Fließgefälle (m/m) oder (ft/ft)

Daneben wurde eine vereinfachte Gleichung nach Kutter verwendet, die auch als kleine Kutter-Formel bezeichnet wurde. Auch sie basiert auf der Gleichung von de Chezy (Gleichung 1). Der Beiwert c ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$) wird dabei wie folgt bestimmt:

$$\text{kleine Kutter-Formel: } c = \frac{100 \cdot \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \Rightarrow v = \frac{100 \cdot R \cdot \sqrt{I_E}}{m + \sqrt{R}} \quad (6)$$

mit $m = 0,25$ für glasiertes Steinzeug und $m = 0,35$ für Beton

Diese Gleichung ist nicht dimensionsecht und gilt nur im metrischen System.

Einige Rohrhersteller haben eigene empirische Fließgesetze aufgestellt, welche im Grunde den Gleichungen von Manning-Strickler bzw. Hazen-Williams entsprechen, aber durch maßgeschneiderte Rauheitsbeiwerte und Exponenten den spezifischen Produkteigenschaften angepasst waren.

Einheiten

1 inch = 1 Zoll = 2,54 cm

1 foot = 0,3048 m

1 imperial liquid gallon = 0,1603 ft^3 = 4,5392 l

1 US liquid gallon = 0,1337 ft^3 = 3,7854 l