Druckstoß-Rechner nach Joukowsky

Planungswerkzeug · Aus: Abwasserpumpen – Technik, Planung und Betrieb · Kapitel 3.7.2

Zweck und Anwendung

Dieses Werkzeug ermittelt die maximale Druckänderung bei einem schnellen Schließvorgang in einer Abwasser-Druckleitung. Es dient der Abschätzung der Druckstoßgefährdung in der Vorplanung und liefert zugleich die Beurteilung, ob eine vertiefte Druckstoßberechnung erforderlich ist.

Die Joukowsky-Gleichung

Die maximale Druckänderung bei einem schnellen Schließvorgang wird durch die 1898 von Nikolai Joukowsky aufgestellte Gleichung beschrieben:

$$\Delta p = \rho \times a \times \Delta v$$

Symbol	Bedeutung	Einheit
Δp	Druckänderung	Pa
ρ	Dichte des Fördermediums	kg/m³
a	Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit	m/s
Δv	Änderung der Strömungsgeschwindigkeit	m/s

Umgerechnet in die Druckhöhenänderung ergibt sich mit g = 9,81 m/s² die praktische Näherung Δh ≈ 100 × Δv [m Wassersäule]. Eine Geschwindigkeitsänderung von 1 m/s führt somit zu einer Druckhöhenänderung von rund 100 m Wassersäule, entsprechend etwa 10 bar.

Reflexionszeit und Beurteilung

Die Reflexionszeit ist die Zeit, die eine Druckwelle für den Weg zum Behälter und zurück benötigt:

$$T_R = 2 \times L / a$$

Nach Kapitel 3.7.5 ist ein sicherheitstechnisch relevanter Druckstoß zu erwarten, wenn die Schließzeit kürzer ist als das Zwanzigfache der Reflexionszeit. Bei längeren Schließzeiten trifft die reflektierte Entlastungswelle bereits vor Abschluss des Schließvorgangs an der Armatur ein und mindert den Druckanstieg.

Durchgerechnetes Beispiel

Stahl-Druckleitung, L = 500 m, a = 1100 m/s, Δv = 2 m/s, Schließzeit 5 s:

Größe	Berechnung	Ergebnis
Druckänderung Δp	1000 × 1100 × 2	22,0 bar
Druckhöhenänderung Δh	Δp / (ρ × g)	224 m WS
Reflexionszeit T_R	2 × 500 / 1100	0,91 s
Kritische Schließzeit	20 × T_R	18,2 s
Beurteilung	**5 s < 18,2 s**	**KRITISCH**

Wellengeschwindigkeit bestimmen

Als Richtwert dient die Werkstofftabelle; genauer lässt sich a aus den Rohrkennwerten berechnen (Korteweg-Formel, Blatt 2 der Excel-Vorlage):

$$a = \sqrt{\left(E_W / \left(\rho \times (1 + (E_W \times d_m)/(E_R \times s)) \right) \right)}$$

Rohrmaterial	a [m/s]
Stahl	1000 – 1200
Duktiler Guss	1000 – 1100
Beton / Stahlbeton	900 – 1200
PE-HD	300 – 400
PVC	400 – 500
GFK	400 – 600

Besonderheit Abwasser: Gasgehalt

Abwasser enthält gelöste und ungelöste Gase aus biologischen Zersetzungsprozessen. Bereits ein Gasvolumenanteil von zwei Promille senkt die Wellengeschwindigkeit auf etwa ein Drittel. Da der Gasgehalt im Betrieb schwankt, sollte die Berechnung stets den ungünstigsten Fall berücksichtigen: minimaler Gasgehalt und damit höchste Wellengeschwindigkeit.

Gasgehalt [Vol.-%]	a [m/s]
0 (reines Wasser)	ca. 1250
0,2	ca. 450
0,4	ca. 300
1,0	ca. 240

Hinweis zur Anwendung: Näherung nach Joukowsky für den schnellen Schließvorgang. Ersetzt keine detaillierte Druckstoßsimulation für die Ausführungsplanung. Reale Systeme mit Luftkesseln, Rückschlagklappen, Hochpunkten oder Teilfüllung erfordern eine genauere Betrachtung. Bei Makrokavitation können Druckstöße ein Vielfaches des Joukowsky-Werts erreichen. Die Verantwortung für die Anwendung verbleibt beim Anwender.

Version 1.1 · Stand: Juli 2026 · Zugehörige Excel-Vorlage unter herborner-pumpen.com/fachbuch