

Schutz hydraulischer Systeme vor Luftansammlungen, Unterdruck und Druckstoß

Zusammenfassung des Fachvortrags von Dipl.-Ing. Bernd Husemann, Firma AIRVALVE Flow Control GmbH (www.airvalve.de), in der Schweiz vertreten durch Firma Wild Armaturen AG (www.wildarmaturen.ch). Der Vortrag basiere auf Inhalten des DVGW-Merkblattes W 334 („Be- und Entlüften von Trinkwasserleitungen“) und des DVGW-Arbeitsblattes W 303 („Dynamische Druckänderungen in Wasserversorgungsanlagen“).

1. Ziel der Be- und Entlüftung von Trinkwasserleitungen

Das primäre Ziel ist, die Betriebssicherheit zu gewährleisten, da Luftansammlungen zu erheblichen dynamischen Druckänderungen und Querschnittsverengungen führen können. Ebenso muss eine gefährliche Unterdruckbildung verhindert werden, um das Abreißen der Flüssigkeitssäule und daraus resultierende Druckspitzen zu vermeiden. Effizienz und Sicherheit sind essenziell für den Erhalt der Infrastruktur in der Trinkwasserversorgung.

2. Luft in Rohrleitungen: Ursachen und Folgen

2.1 Ursachen von Luftansammlungen

Luft kann auf verschiedene Wege in das System gelangen oder darin entstehen, z. B.

- * Physikalische Prozesse: Ausgasen bei Temperaturanstieg oder Druckabfall.
- * Betriebliche Vorgänge: Mitführen von Luft bei Störungen oder unsachgemäßem Füllen
- * Wartung und Schäden: Luft verbleibt in der Leitung nach dem Entleeren

2.2 Orte der Luftansammlung

Luft sammelt sich bevorzugt an Stellen mit niedrigerem Betriebsdruck:

- * Geodätische Hochpunkte: Stellen, an denen die Leitung am höchsten liegt.
- * Hydraulische Hochpunkte: Bereiche, in denen die Fließgeschwindigkeit nicht ausreicht, um Luftblasen mitzureißen (z. B. bei Gefälleänderungen).

2.3 Folgen von Luftansammlungen

- * Druckverluste: Einengung des Durchflussquerschnitts.
- * Sicherheitsrisiken: Dynamische Druckänderungen gefährden die statische Sicherheit.
- * Messfehler: Verfälschung von Durchflussmessungen.
- * Qualität: Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität durch Trübungen.

3. Unterdruckbildung: Ursachen und Risiken

Unterdruck entsteht oft durch dynamische Änderungen wie das Abschalten von Pumpen, schnelles Schließen von Armaturen oder bei Rohrbrüchen.

Folgen von Unterdruck:

- * Beschädigung von Rohrleitungsteilen.
- * Einsaugen von Fremdstoffen und „unbekannten Flüssigkeiten“ an Schadstellen.
- * Abreißen der Wassersäule bei Erreichen des Dampfdrucks.

4. Arten und Aufgaben von Be- und Entlüftungsarmaturen

Man unterscheidet fünf Hauptaufgaben für Be- und Entlüftungsventile:

- * Entlüften großer Luftmengen beim Füllen (große Düse erforderlich).
- * Belüften großer Luftmengen beim Entleeren der Leitung (große Düse erforderlich).
- * Permanentes Entlüften unter Betriebsdruck (Betriebsentlüfter mit kleiner Düse).
- * Be- und Entlüften im Störfall (z. B. Pumpenausfall).
- * Belüften im Störfall (z. B. Rohrbruch).

4.1 Bauarten

* Ventile mit Schwimmkörper:

* Große Düse: Für Be- und Entlüften großer Luftmengen. Der Schwimmer fällt bei sinkendem Wasserstand ab und gibt den Querschnitt frei.

* Kleine Düse: Für permanente Entlüftung unter vollem Betriebsdruck.

* Kombinierte Bauformen: Vereinen große und kleine Düsen, um alle Aufgaben abzudecken.

* Tellerbelüfter: Werden primär zur Belüftung sehr großer Luftmengen eingesetzt. Sie öffnen nur bei Unterdruck. Optional können Tellerbelüfter so ausgerüstet werden, dass sie erst ab einem eingestellten Unterdruck öffnen.

5. Bemessungsgrundlagen

Die Bemessung eines Be- und Entlüftungsventils richtet sich nach den maximal zu erwartenden Luftvolumenströmen:

* **Füllen:** Um Druckstöße zu begrenzen, sollte die Füllgeschwindigkeit auf 0,25 m/s limitiert werden. Die Anfahr-Entlüftungsleistung des Ventils wird üblicherweise auf einen Überdruck von +0,3 bar rel. ausgelegt.

* **Entleeren:** Die Auswahl basiert auf der Entleerungsleistung und einem dabei maximal zulässigen Unterdruck (in der Praxis max. - 0,4 bar rel. / Achtung: manche Rohrleitungswerkstoffe sind deutlich sensibler! Bsp. Alte AZ-Rohre sollten maximal mit -0,1 bar rel. belastet werden).

* **Störfälle:** Im Falle eines Rohrbruchs ist die in Abhängigkeit von Innendurchmesser, Gefälle und Rohrrauigkeit abfließende Wassermenge zu ermitteln und als Belüftungsleistung anzusetzen. Des Weiteren sind anlagenspezifische Daten und das Schwingverhalten der Anlage (gemäß DVGW W 303) zu berücksichtigen.

6. Einbau und Instandhaltung

6.1 Einbauhinweise

* Be- und Entlüfter sollten so nah wie möglich an der Hauptleitung montiert werden, um stagnerendes Wasser und Frostgefahr in Zuleitungen zu vermeiden.

* Lüfterdom: Bei Leitungen < DN 600 sollte der Dom etwa den halben Rohrdurchmesser als Durchmesser haben; bei Leitungen \geq DN 600 wird ein Dom von mind. DN 600 empfohlen.

* Absperrung: Eine Absperrarmatur muss den Ausbau ohne Betriebsunterbrechung ermöglichen.

6.2 Instandhaltung

Regelmäßige Sicht- und Funktionskontrollen durch Fachkräfte sind zwingend erforderlich und müssen dokumentiert werden. Hierbei sind die Vorgaben des DVGW/SVGW/ÖVGW sowie herstellerspezifische Wartungsempfehlungen zu beachten. Danach sind Be- und Entlüftungsventile **jährlich** zu inspizieren.

7. Physikalische Grundlagen

7.1 Entstehung von Druckstößen

Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit rufen aufgrund der Massenträgheit des Wassers, sowie der Elastizität von Wasser und Rohrwand, Druckwellen hervor.

* Joukowsky-Stoß: Bei einem plötzlichen Schließen einer Armatur entsteht eine Druckerhöhung, die sich mit der Druckwellengeschwindigkeit ausbreitet. Überschlägig beträgt die Höhe des Druckstoßes [bar] dem 10-fachen der abrupt gestoppten Fließgeschwindigkeit [m/s].

* Druckwellengeschwindigkeit: Diese hängt vom Rohrmaterial und dem Gasgehalt ab. In Stahl- oder Gussrohren liegt sie bei ca. 900 bis 1300 m/s, in Kunststoffrohren bei ca. 300 bis 500 m/s.

7.2 Einflussfaktoren

* Schließzeit: Erfolgt die Durchflussänderung innerhalb der Reflexionszeit, tritt der volle Joukowsky-Stoß auf. Bei längeren Schließzeiten fällt die Druckänderung geringer aus.

* Rohrreibung: Sie dämpft die Amplituden der Druckwellen im Zeitverlauf.

* Line-Packing: In sehr langen Leitungen kann die Drucksteigerung durch das Nachschieben von Wassermassen sogar über den theoretischen Joukowsky-Wert hinaus ansteigen.

8. Ursachen und Anlagentypen

Man unterscheidet verschiedene Szenarien, in denen gefährliche Druckzustände entstehen können:

* Pumpwerke: Ein plötzlicher Stromausfall führt zum Abreißen der Wassersäule und zu starken Unterdrücken, gefolgt von hohen Druckspitzen beim Rückfluss.

* Anlagen mit natürlichem Gefälle: Hier sind vor allem die Stellgeschwindigkeiten von Regelarmaturen und Vorgänge beim Füllen oder Entleeren kritisch.

* Rohrnetze: Aufgrund der Komplexität können sich hier Reflexionen überlagern, was Resonanzschwingungen auslösen kann.

9. Risiken durch Fehlbemessung

* Überdruck: Kann zum Bersten von Rohren oder zum Versagen von Flanschverbindungen führen.

* Unterdruck: Rohre (Stahl/Kunststoff) können einbeulen. Zudem besteht die Gefahr, dass an Leckstellen Schmutzwasser oder Luft eingesaugt wird, was die Trinkwasserqualität gefährdet.

10. Schutzmaßnahmen zur Begrenzung von Druckänderungen

Um Belastungen in zulässigen Grenzen zu halten, gibt es diverse technische Lösungen, z. B.:

Stellzeitverlängerung: Langsames Schließen von Armaturen zur Zeit-Dehnung des Vorgangs. Sehr wirksam, kostengünstig, erfordert jedoch präzise Antriebe.

Druckstoßdämpfungsbehälter (Windkessel): Gaspolster speichert Energie und gleicht Druckschwankungen aus. Hochwirksam für alle Druckbereiche. Wartung/Zulassung beachten.

Schwungmassen: Erhöhung der Massenträgheit an Pumpen verzögert den Drehzahlabfall. Sehr betriebssicher, begrenzt jedoch durch mechanische Lagerbelastung.

Be- und Entlüftungsventile: Belüften bei Unterdruck und Entlüften bei Überdruck. Aktiv dämpfende Bauformen vermeiden Druckspitzen, die sonst bei schnellem Schließen entstehen.

Wasserschloss: Offene Schächte dienen als Ausgleichsreservoir. Extrem sicher, aber nur bei geringen Drücken umsetzbar.

11. Planerische und betriebliche Praxis

Wegen der Komplexität werden professionelle Druckstoßberechnungsprogramme eingesetzt, um Druckstoßdämpfungsmaßnahmen fachgerecht auszulegen. Einfache Näherungsformeln sind zu ungenau und können zu Fehlbemessungen führen.