

GESTRA Steam Systems

GESTRA Information A 2.4

Dimensionierung von Vakuumbrechern

Vakuumbrecher (Belüftungsventile) haben die Aufgabe, Behälter/Verbraucher gegen unzulässiges Vakuum abzusichern.

Die Ursachen, die zur Entstehung von Vakuum führen, sind anlagen- beziehungsweise verbraucherspezifisch. Die Grundüberlegungen, die zur Festlegung einer Nennweite des Vakuumbrechers führen, sind jedoch in vielen Fällen ähnlich.

Am Beispiel eines Speisewasserbehälters mit Entgaserdom soll nachstehend der Berechnungsweg aufgezeigt werden, der zur Bestimmung der Größe eines Vakuumbrechers führt.

Auslegung von Vakuumbrechern an Speisewasserentgasern

Vakuum in Speisewasserentgasern entsteht bei Ausfall des Heizdampfes bei gleichzeitiger Kaltwasserzufuhr infolge Kondensation des noch vorhandenen Heizdampfes.

Um ein unzulässiges Vakuum zu verhindern, muss durch eine geeignete Einrichtung gewährleistet werden, dass bei beginnendem Unterdruck Luft zwecks Druckausgleiches in den Entgaser strömen kann. Diese geeignete Einrichtung stellt ein Vakuumbrecher dar, zum Beispiel ein GESTRA DISCO-Rückschlagventil RK.

Berechnungsgrundlage zur Dimensionierung der Nennweite soll der Zustand sein, der zum Öffnungszeitpunkt des Vakuumbrechers vorherrscht: Da der Öffnungsdruck der Rückschlagventile von ihrer Einbaulage abhängig ist, wird ein mittlerer Öffnungsdruck von 20 mbar zugrundegelegt. Bei einem durchschnittlichen Umgebungsdruck von 1 bar absolut entspräche dies einem Öffnungsdruck bei 0,98 bar absolut.

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass sich das eingespeiste Zusatzwasser auf maximal 99 °C erwärmt (Siedetemperatur bei 0,98 bar absolut).

Außerdem bleiben folgende Punkte unberücksichtigt beziehungsweise vernachlässigt:

- Wärmeabgabe des Heizdampfes an einströmende Luft (bei geöffnetem Vakuumbrecher).
- Wärmeabgabe an die Umgebung des Entgasers.
- Nachverdampfung bei Druckabsenkung.
- Zunahme des vorhandenen Wasservolumens durch Kondensation des Heizdampfes und durch Zusp eisung von Kaltwasser.

Berechnungsschritte

Allgemein

Der im Entgaser vorhandene Heizdampf gibt seine Wärme an das eingespeiste Zusatzwasser ab.

Bei Ausfall der Heizdampfzufuhr muss der infolge Kondensation verlorengelende Dampfanteil durch Zufuhr von Luft ausgeglichen werden, um unzulässiges Vakuum zu verhindern.

Um eine Aussage darüber machen zu können, welches Luftvolumen in welcher Zeiteinheit in den Entgaser einströmen muss, um unzulässiges Vakuum zu verhindern und damit die Nennweite des Vakuumbrechers zu bestimmen, ist die Beantwortung folgender Fragen notwendig:

- A** Wie groß ist die gesamte im Entgaser vorhandene Verdampfungswärme beim Öffnungspunkt des Vakuumbrechers (0,98 bar absolut)?
- B** Wieviel Wärme kann maximal vom eingespeisten Zusatzwasser aufgenommen werden?
- C** Wie groß ist die Wassermenge, die erforderlich ist, um das gesamte Heizdampfvolumen zu kondensieren, das heißt, die gesamte Verdampfungswärme aufzunehmen?

- D** In welcher Zeit wird die gesamte Heizdampfmenge vom eingespeisten Zusatzwasser kondensiert? Im gleichen Zeitraum muss entsprechendes Luftvolumen nachströmen, um unzulässiges Vakuum zu verhindern.
- E** Wie groß ist schließlich dieser erforderliche Luftvolumenstrom?
- F** Welche Nennweite ergibt sich daraus?

Um die Größe des Luftvolumenstromes formelmäßig erfassen zu können, erfolgt zwecks Nachvollziehbarkeit die allgemeine Berechnung in einzelnen Schritten.

A Ermittlung der im Entgaser vorhandenen Verdampfungswärme bei Ausfall des Heizdampfes und Zustand 0,98 bar absolut.

Bei Zustand 0,98 bar absolut beträgt die Verdampfungswärme $r = 2259,6 \text{ kJ/kg}$ laut Dampf tabel.

Die gesamte vorhandene Verdampfungswärme (R) errechnet sich somit aus

$$1 \quad R = m_1 \cdot r \quad [\text{kJ}]$$

und die Heizdampfmenge (m_1) aus

$$2 \quad m_1 = \frac{V}{V''} \quad [\text{kg}]$$

$$2 \text{ in } 1 = 3 \quad R = \frac{V}{V''} \cdot r \quad [\text{kJ}]$$

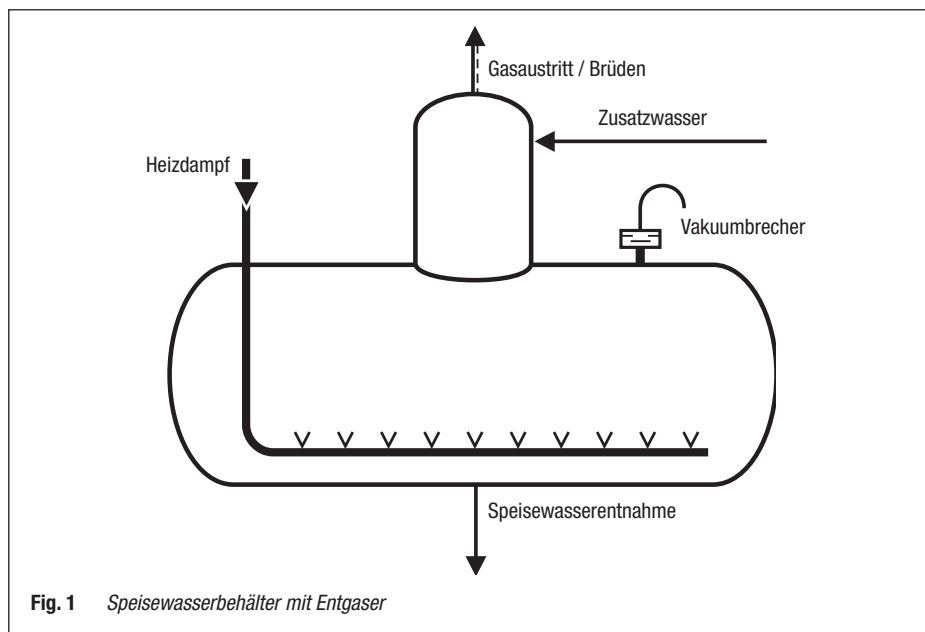


Fig. 1 Speisewasserbehälter mit Entgaser

B Ermittlung der Wärmemenge, die vom eingespeisten Zusatzwasser maximal aufgenommen werden kann (Q).

Da sich das eingespeiste Zusatzwasser auf maximal 99 °C (Siedetemperatur bei 0,98 bar absolut) erwärmen kann, ergibt sich die aufgenommene Wärmemenge (Q) aus der Enthalpiedifferenz zwischen der Enthalpie des eingespeisten Zusatzwassers (h_E) und der maximal erreichbaren Enthalpie (h_{max}) des durch Wärmeabgabe vom Heizdampf aufgewärmten Zusatzwassers.

4 $Q = h_{max} - h_E \left[\frac{kJ}{kg} \right]$

C Ermittlung der Wassermenge, die erforderlich ist, um die gesamte Heizdampfmenge zu kondensieren (m_2).

Hierzu wird die gesamte im Entgaser vorhandene Verdampfungswärme (bei $p = 0,98$ bar absolut) durch die Wärmemenge dividiert, die das eingespeiste Zusatzwasser maximal aufnehmen kann.

5 $m_2 = \frac{R}{Q} \text{ [kg]}$

3 und 4 in 5 = 6 $m_2 = \frac{V \cdot r}{v'' (h_{max} - h_E)} \text{ [kg]}$

D Ermittlung der Zeit, in der die gesamte Heizdampfmenge kondensiert ist (t).

Dividiert man die zur Kondensation der gesamten Heizdampfmenge notwendige Wassermenge (Masse) durch die eingespeiste Zusatzwassermenge (Massenstrom), erhält man die Zeit:

7 $t = \frac{m_2}{\dot{m}} \text{ [h]}$

6 in 7 = 8 $t = \frac{V \cdot r}{v'' (h_{max} - h_E) \cdot \dot{m}} \text{ [h]}$

E Ermittlung des erforderlichen Luftstromes zur Verhinderung von unzulässigem Vakuum (\dot{V}_L).

Dividiert man den Rauminhalt des Heizdampfes (bei 0,98 bar absolut) durch die Zeit, in der die gesamte Heizdampfmenge kondensiert ist, erhält man den Luftstrom, der im gleichen Zeitraum in den Entgaser einströmen muss, um ein unzulässiges Vakuum zu verhindern.

9 $\dot{V}_L = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

8 in 9 = 10 $\dot{V}_L = \frac{V \cdot v'' (h_{max} - h_E) \cdot \dot{m}}{V \cdot r} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

Durch herauskürzen von V ergibt sich:

11 $\dot{V}_L = \frac{v'' (h_{max} - h_E) \cdot \dot{m}}{r} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

F Bestimmung der Nennweite des Vakuumbrechers.

Die Druckverlustkurven der GESTRA DISCO-Rückschlagventile RK sind aufgebaut auf Durchflussmedium Wasser. Zur Bestimmung der Nennweite ist deshalb eine Umrechnung des Luftvolumenstromes auf äquivalenten Wasservolumenstrom erforderlich.

Der äquivalente Wasservolumenstrom \dot{V}_w errechnet sich aus

12 $\dot{V}_w = \dot{V}_L \sqrt{\frac{\rho_L}{1000}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

Aus dem RK-Druckverlustdiagramm wird die Nennweite gewählt, deren Druckverlustkurve vom äquivalenten Wasservolumenstrom im linearen Bereich geschnitten wird.

Setzt man 11 in 12 ein, ergibt sich:

13 $\dot{V}_w = \frac{v'' (h_{max} - h_E) \cdot \dot{m}}{r} \cdot \sqrt{\frac{\rho_L}{1000}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$

Setzt man weiter die bereits bekannten Werte ein, so erhält man:

$$\dot{V}_w = \frac{1,7272 (h_{max} - h_E) \cdot \dot{m}}{2259,6} \cdot \sqrt{\frac{1,19}{1000}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$\dot{V}_w = 2,63 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{m} \cdot (h_{max} - h_E) \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Einheitengleichung für 13

$$\dot{V}_w = \frac{\frac{m^3}{kg} \left(\frac{kJ}{kg} - \frac{kJ}{kg} \right) \cdot \frac{kg}{h}}{\frac{kJ}{kg}} \cdot \sqrt{\frac{kg/m^3}{kg/m^3}} \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

- R – gesamte vorhandene Verdampfungswärme im Entgaser bei Zustand 0,98 bar absolut [kJ]
- m_1 – vorhandene Heizdampfmenge im Entgaser bei 0,98 bar absolut [kg]
- V – Rauminhalt, der vom Heizdampf bei 0,98 bar absolut eingenommen wird [m³]
- v'' – spez. Volumen des Heizdampfes bei 0,98 bar absolut [m³/kg] (= 1,7272 m³/kg)
- Q – Wärmemenge, die vom eingespeisten Zusatzwasser maximal aufgenommen werden kann [kJ/kg]
- h_E – Wärmeinhalt (Enthalpie) des eingespeisten Zusatzwassers [kJ/kg]
- h_{max} – maximal erreichbarer Wärmeinhalt (Enthalpie) des aufgewärmten Zusatzwasser [kJ/kg]
- m_2 – zur Kondensation der gesamten Heizdampfmenge erforderliche Wassermenge [kg]
- t – Zeit, in der die gesamte Heizdampfmenge kondensiert ist [h]
- \dot{V}_L – erforderlicher Luftstrom zur Verhinderung von unzulässigem Vakuum [m³/h]
- \dot{m} – eingespeiste Zusatzwassermenge [kg/h]
- \dot{V}_w – äquivalenter Wasservolumen-Strom [m³/h]
- ρ_L – Dichte der Luft bei 1 bar absolut und 20 °C (Umgebungswerte) (= 1,19) [kg/m³]
- 1000 – Dichte von Wasser [kg/m³]
- r – Verdampfungswärme des Heizdampfes bei 0,98 bar absolut (2259,6 kJ/kg)

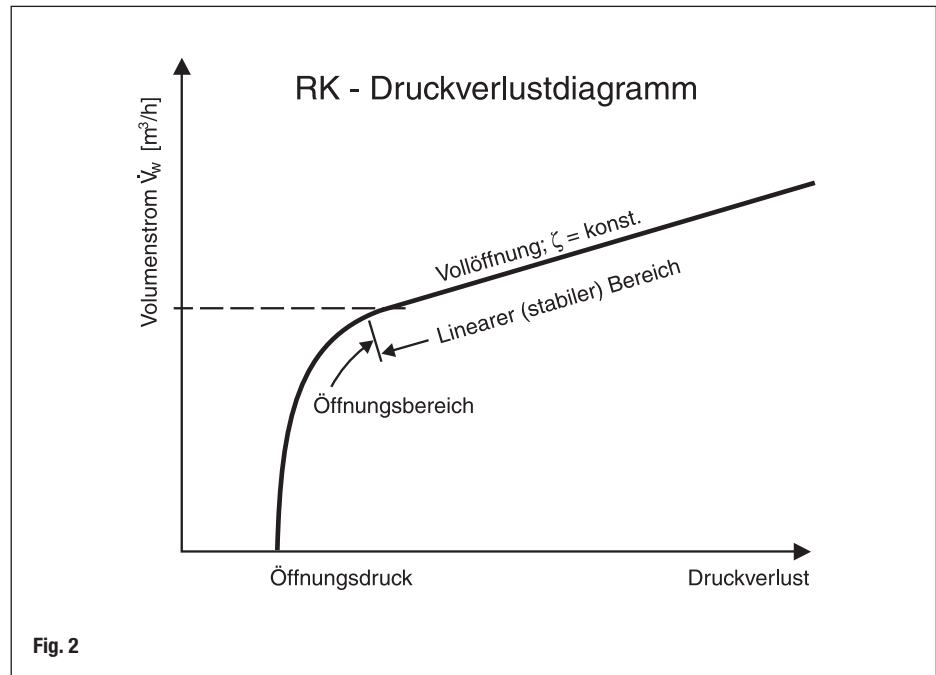


Fig. 2

GESTRA AG

Postfach 10 54 60, D-28054 Bremen
 Münchener Str. 77, D-28215 Bremen
 Telefon +49 (0) 421 35 03-0, Telefax +49 (0) 421 35 03-393
 E-Mail gestra.ag@flowserve.com, Internet www.gestra.de



GESTRA