

Grundbegriffe bei Pumpen

1. Förderstrom \dot{V} (Q)

Nutzbarer Volumenstrom, der am Druckstutzen austritt. Wird in der Literatur häufig mit Q bezeichnet.

2. Förderhöhe H

Förderhöhe H ist die Energie pro Gewichtseinheit, die der Flüssigkeit in der Pumpe zugeführt wird. H wird auf dem Prüfstand bestimmt. H wird auf Prüfständen bestimmt.

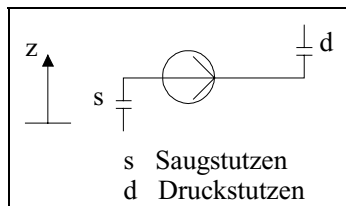


Bild 1: Bestimmung der Förderhöhe

Nach Bernoulligleichung gilt:

$$z_s + \frac{p_s}{\rho \cdot g} + \frac{w_s^2}{2 \cdot g} + H_P = z_d + \frac{p_d}{\rho \cdot g} + \frac{w_d^2}{2 \cdot g} + H_{V_{s,d}}$$

$$H_P - H_{V_{s,d}} = H = \frac{p_d - p_s}{\rho \cdot g} + \frac{w_d^2 - w_s^2}{2 \cdot g} + z_d - z_s$$

3. Kavitation und NPSH-Wert (Haltedruckhöhe)

Kavitation

Sinkt der statische Druck in einer strömenden Flüssigkeit unter den Dampfdruck (Sättigungsdruck), so entstehen Dampfblasen. Gelangen diese Dampfblasen infolge der Strömung in Druckgebiete mit Drücken über p_D , so zerplatzen sie schlagartig. Die Folgen der Kavitation bei Pumpen sind Geräusche, Werkstoffzerstörung am Laufrad, Beschädigung der Lager, Reduzierung der Förderhöhe.

Welcher Anschluss der Pumpe soll größer ausgeführt werden, wenn man die Anschlüsse mit unterschiedlich großen Durchmessern ausführen will? Der Saug- oder der Druckanschluss? Die Saugseite, da ein kleiner Durchmesser eine hohe Strömungsgeschwindigkeit hervorruft, dadurch einen niedrigen statischen Druck und somit Kavitation erzeugt. D.h. sollen hohe Drücke herrschen, so müssen die Geschwindigkeiten klein sein. Das ist der Fall bei großen Durchmessern.

NPSH-Wert (Net Positiv Suction Head)

In einer Kreiselpumpe wird das Wasser stark beschleunigt, außerdem treten am Laufradeintritt durch verschiedene Ursachen Verluste auf; beides, die Beschleunigung und die Eintrittsverluste, bewirken im Wasser innerhalb des Laufrades eine Minderung des statischen Drucks, der unter ungünstigen Bedingungen den Sättigungsdruck unterschreitet und Kavitation auslöst.

Damit Kavitation in der Pumpe vermieden wird, muss der NPSH-Wert bekannt sein. Es ist eine pumpenspezifische Größe und gibt diejenige Druckhöhe an, um die die statische Druckhöhe im Wasser am Eintrittsquerschnitt einer im Betrieb befindlichen Pumpe die Sättigungsdruckhöhe mindestens übersteigen muss.

Zur Vermeidung von Kavitation muss sein:

$$\text{NPSH-Wert}_{\text{vorh}} \geq \text{NPSH-Wert}_{\text{erf}} + \text{Zuschlag (ca. 0,5 m)}$$

- $\text{NPSH-Wert}_{\text{erforderlich}}$ aus Diagramm der Pumpenhersteller
- $\text{NPSH-Wert}_{\text{vorhanden}}$ vorhandener NPSH-Wert

Der vorhandene Wert $\text{NPSH}_{\text{vorh}}$ ist als die von der Anlage her vorhandene Netto-Energiehöhe im Eintrittsquerschnitt der Pumpe gegeben durch die Definitionsgleichung:

$$\text{NPSH}_{\text{vorh}} = z_s + \frac{p_{eS} + p_{\text{amb}} - p_S}{\rho \cdot g} + \frac{w_s^2}{2 \cdot g}$$

mit

- z_s Höhenunterschied in m zwischen Mitte des Eintrittsquerschnitts der Pumpe und der Bezugsebene. z_s ist positiv, wenn die Mitte des Eintrittsquerschnitts der Pumpe höher liegt als die Bezugsebene
- p_{eS} Überdruck in bar im Eintrittsquerschnitt der Pumpe
- p_{amb} Luftdruck in bar (Absolutdruck)
- p_S Verdampfungsdruck in bar (absoluter Druck, bei dem die Förderflüssigkeit verdampft). Im Zusammenhang mit NPSH ist die Temperatur im Laufradeintritt maßgebend.
- w_s mittlere Strömungsgeschwindigkeit in m/s im Eintrittsquerschnitt der Pumpe

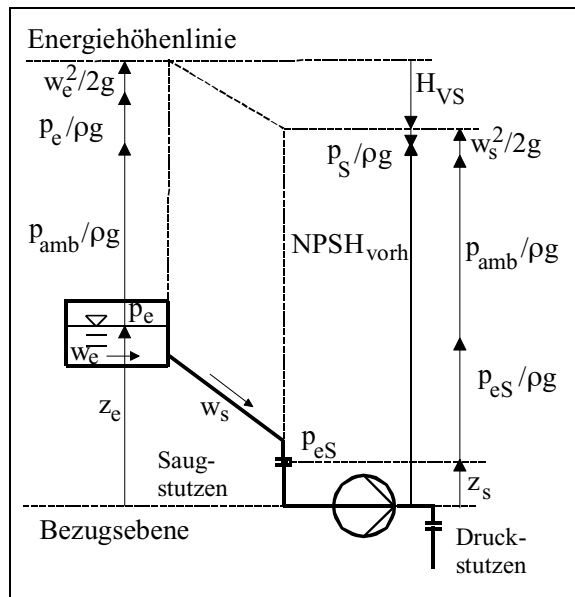


Bild 2

Bei der Planung einer Anlage muss der Wert für $NPSH_{\text{vorh}}$ im allgemeinen aus der Netto-Energiehöhe im Eintrittsquerschnitt der Anlage unter Berücksichtigung der Verlusthöhe in der Einlaufstrecke berechnet werden nach der Gleichung:

$$NPSH_{\text{vorh}} = z_e + \frac{p_e + p_{\text{amb}} - p_s}{\rho \cdot g} + \frac{w_e^2}{2 \cdot g} - H_{\text{VS}}$$

mit

- z_e Höhenunterschied in m zwischen dem eintrittseitigen Flüssigkeitsspiegel und der Bezugsebene. z_e ist positiv, wenn der Flüssigkeitsspiegel höher liegt als die Bezugsebene.
- p_e Überdruck in bar im Eintrittsquerschnitt der Anlage, d.h. gewöhnlich auf dem eintrittseitigen Flüssigkeitsspiegel.
- w_e mittlere Strömungsgeschwindigkeit in m/s im Eintrittsquerschnitt der Anlage, d.h. gewöhnlich im eintrittseitigen Behälter
- H_{VS} Verlusthöhe in m in der Einlaufleitung einschließlich der Einlaufverluste und der Verluste in Armaturen, Filtern usw., d.h. zwischen Eintrittsquerschnitt der Anlage (e) und dem Eintrittsquerschnitt der Pumpe (s).

Die Geschwindigkeitshöhe im Eintrittsquerschnitt der Anlage $w_e^2 / 2g$ ist in den meisten Fällen – aber nicht in allen – vernachlässigbar klein.

Die beiden ersten Glieder der vorstehenden Gleichung sind vom Förderstrom unabhängig. Die beiden letzten Glieder, von denen der Verlusthöhe H_{VS} in der Regel die größere Bedeutung zukommt, nehmen mit dem Quadrat des Förderstroms zu. Daraus ergibt sich die Kennlinie für den $NPSH_{\text{vorh}}$ – Wert in Abhängigkeit vom Förderstrom Q als eine nach unten offenen Parabel.

Besondere Schwierigkeiten bereitet die Berechnung der Verlusthöhe H_{VS} , weil häufig die Widerstandsbeiwerte der Rohre, Krümmer und Armaturen nicht mit genügender Genauigkeit bekannt sind. Durch Verkrusten der Rohrleitungen und Verstopfen evtl. eingebauter Filter usw. können die Verluste im Laufe der Zeit größer werden. Jede Erhöhung der Verluste in der Einlaufleitung verringert den $NPSH_{\text{vorh}}$ – Wert und kann damit zu unzulässiger Kavitation in der Pumpe führen.

Bei veränderlicher Temperatur der Förderflüssigkeit ist zu beachten, dass für die Kavitation in der Pumpe der Verdampfungsdruck $(p_D)_{\text{Pumpe}}$ maßgebend ist, der zu der Temperatur der gerade im Laufradeintritt befindlichen Flüssigkeit gehört.

Anmerkung: Sehr häufig werden von den Pumpenherstellern Drücke angegeben, die vor der Pumpe mindestens herrschen müssen zur Vermeidung von Kavitation.

Überprüfung der Zulaufhöhe der Umwälzpumpe in einer Dachheizzentrale

Die in einer Anlage am Pumpeneintrittsquerschnitt vorhandene statische Druckhöhe (die Zulaufhöhe) hängt von der Ausführung der Anlage ab. Besonders kritische Verhältnisse ergeben sich bei Dachheizzentralen, weil dort in der Regel nur geringe Zulaufhöhen verwirklicht werden können.

Es wird:

- a) eine Niederdruck-Heißwasserheizung mit 110 °C,
 - b) eine Warmwasserheizung mit 90 °C,
- in einer Dachheizzentrale betrachtet, Standort 500 m über NN.

Vorhanden ist ein Druckausdehnungsgefäß mit einem Überdruck von 0,5 bar. Das Ausdehnungsgefäß befindet sich um 1,8 m höher als die Pumpe. Zur Auswahl stehen zwei Pumpen, Typ A mit $NPSH = 1,0$ m und Typ B mit $NPSH = 9,5$ m. Die Druckverlustberechnung hat einen Druckverlust von $\sum(I \cdot R + Z) = 3300$ Pa in der Leitung zwischen dem Anschlusspunkt der Druckhaltung und dem Pumpeneintrittsquerschnitt ergeben.

Sättigungsdruckhöhe bei 110 °C und Standort 500 m über NN: $h_s = 5,19$ m
 Sättigungsdruckhöhe bei 90 °C und Standort 500 m über NN: $h_s = -2,6$ m

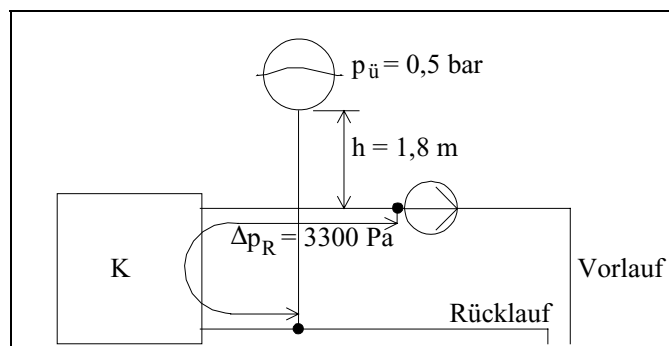


Bild 3: Anlagenschema zum Beispiel

- a) Die erforderliche Zulaufhöhen betragen
bei Pumpe A: $h_{z,erf} = 5,19 \text{ m} + 1 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \approx 6,7 \text{ m}$
bei Pumpe B: $h_{z,erf} = 5,19 \text{ m} + 9,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} \approx 15,2 \text{ m}$

Die vorhandene Zulaufhöhe errechnet sich aus den Anlagedaten:

$$h_{z,vorh} = \frac{p_{\ddot{U}}}{\rho \cdot g} - \frac{\Delta p_R}{\rho \cdot g} + h - \frac{w^2}{2 \cdot g} \quad \text{mit } \rho_{110^\circ\text{C}} = 950,7 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{z,vorh} = \frac{(50000\text{Pa} - 3300\text{Pa})}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 950,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{\text{N Pa}} + 1,8\text{m} - \frac{1^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

Der Term $\frac{1^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 0,05\text{m}$ ist für Heizungsanlagen mit $w = 0,3$ bis $0,8$ (1) m/s

vernachlässigbar. Es gilt: $h_{z,vorh} \approx 6,81 \text{ m}$.

$h_{z,vorh} \geq h_{z,erf}$, d.h. nur die Pumpe A kann eingesetzt werden.

- b) Die erforderlichen Zulaufhöhen betragen
bei Pumpe A: $h_{z,erf} = (-2,6 + 1 + 0,5) \text{ m} = -1,1 \text{ m}$
bei Pumpe B: $h_{z,erf} = (-2,6 + 9,5 + 0,5) \text{ m} = 7,4 \text{ m}$

Auch in diesem Fall ist nur die Pumpe A einsetzbar. Das negative Vorzeichen bei der erforderlichen Zulaufhöhe lässt nun sogar einen kleineren Unterdruck am Pumpeneintrittsquerschnitt zu.

Anmerkung: Sehr häufig werden von den Pumpenherstellern Drücke angegeben, die vor der Pumpe mindestens herrschen müssen, um Kavitation zu vermeiden.

4. Haltedruckhöhe H_H

In der technischen Pumpenliteratur wurde früher mit der Haltedruckhöhe H_H anstelle des NPSH-Wertes gearbeitet. Sie haben nur einen unterschiedlichen Bezugspunkt.

5. Nutzleistung P_N einer Pumpe

Leistung, die der Flüssigkeit in der Pumpe zugeführt wird:

$$P_N = g \cdot \dot{m} \cdot H = g \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot H = \dot{V} \cdot \Delta p.$$

6. Leistungsbedarf P_W einer Pumpe

P_W = Leistung, die der Pumpe an der Welle zugeführt wird.

Anmerkung: Bei Nassläuferpumpen kann nur die elektrische Leistung die dem Gesamtaggregate zugeführt wird bestimmt werden.

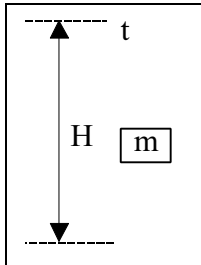


Bild 4

Die Masse m überwindet in der Zeit t gleichmäßig den Höhenunterschied H . Dann gilt:

$$\begin{aligned} \text{Arbeit} &= \text{Kraft} \times \text{Weg} & W &= F \cdot s = m \cdot g \cdot H \\ \text{Leistung} &= \text{Arbeit} / \text{Zeit} & P &= \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot g \cdot H) = \dot{m} \cdot g \cdot H \\ & & P_N &= \dot{m} \cdot g \cdot H = \dot{V} \cdot \rho \cdot g \cdot H = \dot{V} \cdot \Delta p \end{aligned}$$

7. Leistungsbedarf P_W einer Pumpe

P_W = Leistung, die der Pumpe an der Welle zugeführt wird.

Anmerkung: Bei Nassläuferpumpen kann nur die elektrische Leistung, die dem Gesamtaggregate zugeführt wird, bestimmt werden.

8. Wirkungsgrad η_P einer Pumpe

$$\eta_P = \frac{P_N}{P_W}$$

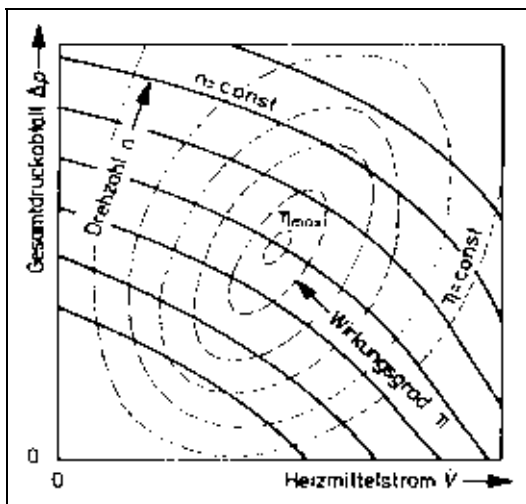


Bild 5 Wirkungsgradkennlinien von Kreiselpumpen

9. Nennleistung des Elektromotors P_M

Die Nennleistung des Elektromotors P_M , mit dem die Pumpe angetrieben wird, muss größer sein als der Leistungsbedarf an der Welle. Es gilt $f > 1$ aus Sicherheitsgründen. Dies soll den Motor vor Überlast schützen, wenn unvorhergesehene Belastungen auftreten wie z.B. Ansprechen einer Sicherheitseinrichtung.

$$P_M \geq f \cdot P_W$$

mit: f als Zuschlagsfaktor.

f	1,5	1,25	1,20	1,15	1,10
	$P_W < 1,5 \text{ kW}$	$1,5 \leq P_W < 4 \text{ kW}$	$4 \leq P_W < 7,5 \text{ kW}$	$7,5 \leq P_W < 40 \text{ kW}$	$40 \leq P_W$

Tabelle 1: Richtwerte für f

Quelle: Datenpool IfHK, FH Wolfenbüttel