

## NPSH von Pumpen und Anlagen

NPSH ist die Abkürzung für die englische Bezeichnung: „Net-Positive-Suction-Head“, im Deutschen als „Netto positive Saughöhe“ oder auch „Gesamthaltegedruckhöhe“ bezeichnet. Der NPSH ist verknüpft mit dem Begriff der Kavitation; er stellt neben Förderhöhe, Fördermenge und Leistungsbedarf eine der wichtigsten Betriebsgrößen einer Pumpe dar. Man unterscheidet den NPSH der Anlage ( $NPSH_A$  oder  $NPSH_{\text{vorhanden}}$ ) und den NPSH der Pumpe ( $NPSH_p$  oder  $NPSH_{\text{erforderlich}}$ ). Durch einfachen Vergleich von  $NPSH_{\text{vorh.}}$  mit  $NPSH_{\text{erf.}}$  ist es möglich zu beurteilen, ob die Betriebssicherheit einer ausgewählten Pumpe für die betreffende Anlage gegeben ist oder nicht. Für einen kavitationsfreien Betrieb muss gelten:

$$NPSH_{\text{vorh.}} > NPSH_{\text{erf.}} \quad (1)$$

Diese Forderung muss über den gesamten zulässigen Förderbereich einer Pumpenanlage erfüllt sein. Sie ist es, wenn  $NPSH_{\text{vorh.}}$  [m] um einen gewissen Sicherheitszuschlag – üblicherweise 0,5 m – größer ist als der Wert für  $NPSH_{\text{erf.}}$  [m].

### Beispiel:

Angenommen  $NPSH_{\text{vorh.}}$  betrage 3 m, die nach Förderstrom und Förderhöhe ausgesuchte Pumpe hat im Betriebspunkt  $NPSH_{\text{erf.}} = 4$  m. Eine Überprüfung der Forderung (1) ergibt, dass die Pumpenanlage nicht funktionieren kann.

Ist die Bedingung (1) nicht erfüllt, also  $NPSH_{\text{vorh.}}$  kleiner als  $NPSH_{\text{erf.}}$ , so arbeitet die Pumpe unter Kavitation, d. h., die Förderflüssigkeit verdampft innerhalb der Pumpe. Die Folgeerscheinungen sind:

- a) zusammenbrechen des Förderstromes und der Druckhöhe,
- b) starke Geräuschentwicklung und Erschütterung, die zu Anfressungen der Laufräder und möglicherweise zu deren Zerstörung führen.

Bei HERMETIC-Pumpen kommt außerdem hinzu:

- c) zusammenbrechen des abgezweigten Motorteilstromes und damit verminderte Schmierung der Lager,
- d) mangelnde Abfuhr der Motorwärme sowie eine Störung des hydraulischen Axialschubausgleiches.

Andauernde Kavitation führt mit Sicherheit zur Zerstörung der HERMETIC-Pumpe.

### Der NPSH der Pumpe

Der Wert  $NPSH_{\text{erf}}$  hängt nur von Pumpendaten, nicht dagegen von Anlagedaten ab; er ändert sich bei jeder Pumpe mit Förderstrom und Drehzahl und ist stets positiv.  $NPSH_{\text{erf}}$  ist unabhängig von der Art der Förderflüssigkeit. Die in den Kennlinienblättern jeder Pumpe angegebenen NPSH-Werte resultieren aus Messungen, die mit kaltem Wasser als Fördermedium durchgeführt wurden. Sie wurden auf einem eigens zu diesem Zweck erstellten NPSH-Prüfstand ermittelt und können jederzeit überprüft werden.  $NPSH_{\text{erf}}$  macht eine eindeutige Aussage über die Saugfähigkeit einer Pumpe in einem bestimmten Betriebspunkt:

je kleiner  $NPSH_{\text{erf}}$ , desto größer die Saugfähigkeit.

Kleine Werte für  $NPSH_{\text{erf}}$  können durch geeignete konstruktive Maßnahmen erzielt werden. Sie spielen eine große Rolle bei Förderung von Flüssigkeiten nahe dem Siedezustand (Flüssiggase).

### Der NPSH der Anlage

$NPSH_{\text{vorh}}$  ist die am Saugstutzen der Pumpe vorhandene Gesamtdruckhöhenreserve über den Dampfdruck der Förderflüssigkeit. Der Begriff fasst alle auf die Saughöhe einer Pumpe Einfluss nehmenden Einzeldaten der Anlage in einen einzigen Wert zusammen. Bei der Projektierung genügt dem Pumpenhersteller die Kenntnis von  $NPSH_{\text{vorh}}$ , um für einen einwandfreien Betrieb der Pumpenanlage garantieren zu können.

Die in  $NPSH_{\text{vorh}}$  zusammengefassten Anlagegrößen sind im einzelnen:

- die **geodätische Saughöhe  $e_s$  [m]**  
Das ist der lotrechte Abstand zwischen Saugspiegel und Mitte Pumpe. \*)
- die **geodätische Zulaufhöhe  $e_z$  [m]**  
Das ist der lotrechte Abstand zwischen Flüssigkeitsspiegel im Zulaufbehälter und Mitte Pumpe.
- der **Dampfdruck  $p_t$  [bar abs.] der Förderflüssigkeit**  
Der Dampfdruck einer Flüssigkeit bei einer Temperatur (t) ist derjenige Druck, unter dem die Flüssigkeit zu sieden beginnt, falls dieser Druck auf ihrer Oberfläche lastet. (Beispiel: Wasser siedet bei 20 °C in einem Vakuum von 0,023 bar abs.)
- der **Gasdruck  $p'$  [bar abs.] auf dem saugseitigen Flüssigkeitsspiegel**  
Die Kenntnis dieses Drucks ist besonders wichtig. Handelt es sich um einen offenen Saug- oder Zulaufbehälter, so ist unter dem Gasdruck der atmosphärische Luftdruck ( $p' = 1$  bar abs.) zu verstehen. In Chemieanlagen werden meist geschlossenen Behälter verwendet, in denen vom Luftdruck abweichende Über- oder Unterdrücke herrschen (Druck- oder Vakuumanlagen). Befindet sich die Flüssigkeit im Saugbehälter im Siedezustand, so herrscht über dem Flüssigkeitsspiegel der dieser bei der Temperatur (t) zugeordnete Dampfdruck (p).
- **Dichte  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] der Förderflüssigkeit**
- **Fallbeschleunigung  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>**
- **Druckhöhenverlust Z [m] in der Saugleitung**  
Das ist der Druckhöhenverlust in Rohren und Armaturen der Saugleitung infolge Reibung. Häufig werden Schätzwerte benutzt. In kritischen Fällen kann eine Berechnung auf Grund von Einzelwiderständen von Rohren, Krümmern und Schiebern etc. vorgenommen werden. Die Berechnung sollte für den maximal zu erwartenden Förderstrom durchgeführt werden.

\*) Saugbetrieb ist nur möglich bei Verwendung selbstansaugender Pumpen. Bei Verwendung normalansaugender Pumpen muss durch eine Vorkehrung – z. B. ein Rückschlagventil – gewährleistet sein, dass Saugleitung und Pumpe nie leerlaufen können.

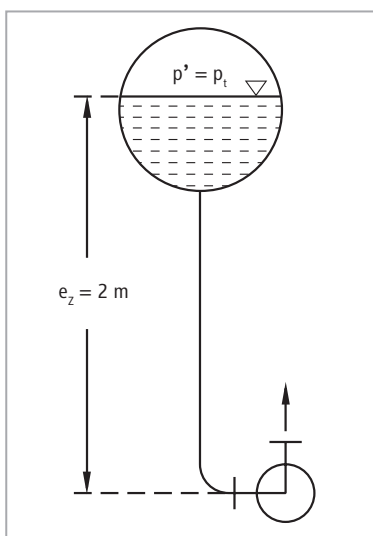
Mit den genannten Anlagegrößen lässt sich der Wert von  $NPSH_{\text{vorh.}}$  mit folgenden Zahlenwertgleichungen berechnen.

**Für Zulaufbetrieb**

$$NPSH_{\text{vorh.}} = 10^5 \frac{(p' - p_t)}{\rho \cdot g} + e_z - Z \quad (2)$$

**Für Saugbetrieb**

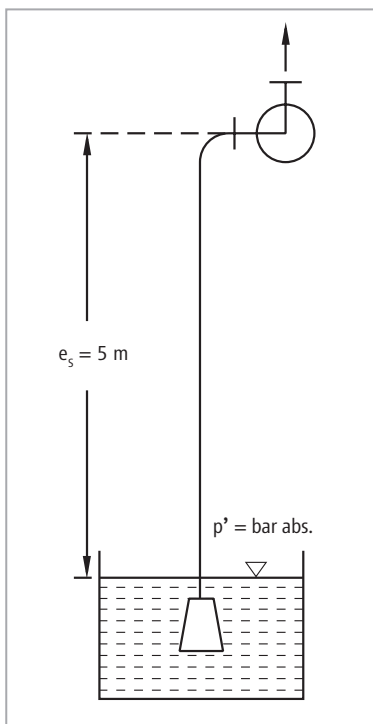
$$NPSH_{\text{vorh.}} = 10^5 \frac{(p' - p_t)}{\rho \cdot g} - e_s - Z$$



**1. Beispiel**

Es soll flüssiges Ammoniak bei einer Temperatur von 5 °C aus einem geschlossenen Behälter gefördert werden. Das Ammoniak befindet sich im Siedezustand, so dass der Gasdruck im Behälter gleich dem Dampfdruck der Flüssigkeit ist ( $p' = p_t$ ). Damit liefert der Klammerausdruck in Formel (2) keinen Beitrag. Beträgt die Zulaufhöhe  $e_z = 2$  m und der Widerstand der Saugleitung  $Z = 0,5$  m, so ergibt sich nach Formel (2) (Zulaufbetrieb):  $NPSH_{\text{vorh.}} = e_z - Z = 2,0 - 0,5 = 1,5$  m

Für die Anlage muss demnach, um die Forderung (1) zu erfüllen, eine Pumpe mit  $NPSH_{\text{erf.}} = 1$  m (bei einem Sicherheitszuschlag von 0,5 m) oder weniger gewählt werden.



**2. Beispiel**

Es soll flüssiges Okтан bei 20 °C aus einem offenen Saugbehälter angesaugt werden. Die geodätische Saughöhe beträgt  $e_s = 5$  m, auf dem Saugspiegel lastet der Luftdruck  $p' = 1$  bar abs. Dampfdruck und Dichte bei 20 °C betragen  $p_t = 0,013$  bar abs. bzw.  $\rho = 700$  kg/m<sup>3</sup>. Der Saugleistungswiderstand mit Rückschlagventil wird auf  $Z = 1$  m geschätzt. Mit diesen Anlagegrößen ergibt sich nach Formel (2) (Saugbetrieb):

$$NPSH_{\text{vorh.}} = 10^5 \frac{(1,0 - 0,013)}{700 \cdot 9,81} - 5,0 - 1,0 = 8,4 \text{ m.}$$

Damit kann jede normalansaugende oder selbstansaugende Pumpe mit einem Wert von  $NPSH_{\text{erf.}} < 7,9$  m in dieser Anlage eingesetzt werden.

**Förderung von Flüssigkeiten nahe am Siedezustand**

Anhand der Formel (2) erkennt man, dass die Differenz zwischen dem Gasdruck ( $p'$ ) im Saugbehälter und dem Dampfdruck ( $p_i$ ) der Förderflüssigkeit den Wert von  $NPSH_{\text{vorh.}}$  entscheidend beeinflusst. Kritische Anlagenverhältnisse bezüglich Kavitation sind stets solche, bei denen  $p' \sim p_i$ . Grundsätzlich ist in diesen Fällen nur ein Zulaufbetrieb möglich. Der Wert von  $NPSH_{\text{vorh.}}$  ist ungefähr gleich der Differenz aus Zulaufhöhe und Saugwiderstand. Reicht die Zulaufhöhe nicht aus, so besteht in vielen Fällen die Möglichkeit, durch Erhöhung des Druckes ( $p'$ ) im Saugbehälter (Stickstoffpolster oder ähnliches) den Wert von  $NPSH_{\text{vorh.}}$  zu vergrößern, um die Bedingung  $NPSH_{\text{vorh.}} > NPSH_{\text{erf.}}$  für Kavitationsfreiheit zu erfüllen.

Häufig ist eine Erhöhung des Druckes ( $p'$ ) nicht ohne weiteres möglich, z.B. bei Flüssigkeiten, die zu Kühlzwecken auf einer konstanten Temperatur gehalten werden sollen (Ammoniak, flüssiger Stickstoff etc.). In diesen Fällen sollte der Saugwiderstand ( $Z$ ) durch entsprechende Dimensionierung möglichst klein, dagegen die Zulaufhöhe ( $e_z$ ) möglichst groß gehalten werden.

In Einsatzfällen, bei denen Flüssiggase aus Behältern gefördert werden sollen, die starken Temperaturschwankungen unterworfen sind, ist besondere Vorsicht geboten. Gegebenfalls Rücksprache mit dem Pumpenhersteller.