

## 4 Das Saugverhalten der Kreiselpumpe

### 1. Allgemein

Die Ursache der Saugfähigkeit von Pumpen ist der auf dem Flüssigkeitsspiegel im Saugbehälter lastende Druck, bei offenem Behälter also der **atmosphärische Luftdruck**. Sein Mittelwert beträgt in Meereshöhe  $p_b = 101320 \text{ N/m}^2$  ( $= 1,0132 \text{ bar}$ ) und entspricht dem Druck einer Wassersäule von 10,33 m Höhe bei 4° C. Hiernach müßte der normale Luftdruck die Pumpe in die Lage versetzen, Wasser aus einer Tiefe von ca. 10 m fördern zu können. Die tatsächlich erreichbare geodätische Saughöhe  $H_{S_{geo}}$  ist jedoch erheblich kleiner. Die Gründe dafür sind:

- Flüssigkeiten verdampfen, wenn der von der Temperatur abhängige **Dampfdruck  $p_D \text{ N/m}^2$**  erreicht wird. An der höchsten Stelle der angesaugten Flüssigkeitssäule kann der Druck also nur bis auf diesen Wert absinken. (Siehe EDUR-Arbeitsblatt „Zustandsgrößen von Wasser“).
- In der Saugleitung entstehen **Druckhöhenverluste** und zwar infolge Geschwindigkeitserzeugung  $-v_s^2/2g \text{ [m]}$ , sowie durch Flüssigkeitsreibung, Richtungs- und Querschnittsänderungen  $H_{vs} \text{ [m]}$ .
- Ein weiterer Druckhöhenverlust wird verursacht durch Reibung und Geschwindigkeitsänderungen beim Eintritt der Flüssigkeit in die Schaufelkanäle. Zur Vermeidung von Dampfbildung muß die Gesamtenergiehöhe (Statische Druckhöhe plus die unter b) aufgeführte Geschwindigkeitshöhe  $v_s^2/2g$ ) im Eintrittsquerschnitt der Pumpe deshalb um einen gewissen Betrag größer sein als die Dampfdruckhöhe der Förderflüssigkeit. Dieser Energieunterschied wird mit dem englischen Ausdruck **NPSH [m]**, die Abkürzung von „Net positiv suction head“, bezeichnet und ist identisch mit der früher üblichen Bezeichnung „Haltedruckhöhe  $H_H$ “.

Bei Aufstellung der Pumpe über dem Saugwasserspiegel darf demnach bei waagerechter Welle und offenem Saugbehälter der Höhenunterschied  $H_{S_{geo}}$  nicht größer sein als

$$H_{S_{geo}} = \frac{p_b}{g \cdot r} - \frac{p_D}{g \cdot r} - H_{vs} - NPSH \quad \text{m} \quad (12)$$

mit der Fallbeschleunigung  $g$  in  $\text{m/s}^2$  und der Dichte  $r$  in  $\text{kg/m}^3$ .

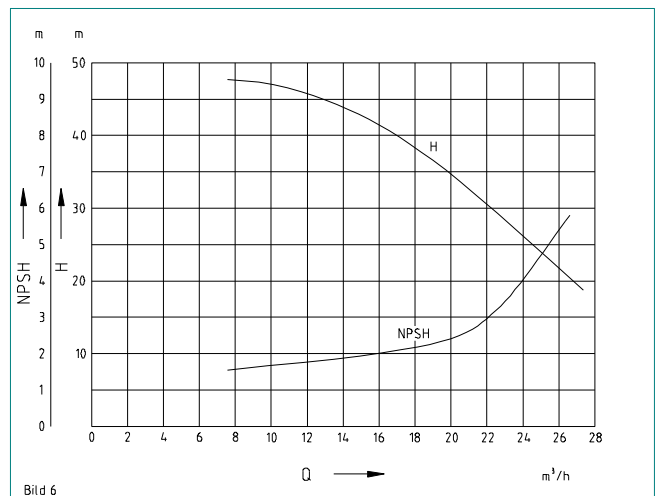
Ist der Saugbehälter geschlossen, so tritt an die Stelle von  $p_b/g \cdot r$  die absolute Druckhöhe im Behälter  $(p_i + p_b)/g \cdot r$ , wobei  $p_i$  den Überdruck im Behälter bezeichnet. Mit der Druckeinheit bar, der Dichte  $r$  in  $\text{kg/dm}^3$  und  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  erhält die Gleichung (12) folgende allgemein gültige Form:

$$H_{S_{geo}} = \frac{10,2 \cdot (p_i + p_b - p_D)}{r} - H_{vs} - NPSH \quad \text{m} \quad (13)$$

Bei **Unterdruck** im Saugbehälter erhält  $p_i$  ein negatives Vorzeichen.

### 2. Die erforderliche NPSH (NPSHR)

Der kleinste Wert der NPSH, bei dem die Pumpe mit den gegebenen Arbeitsbedingungen (Drehzahl, Förderstrom, Förderhöhe, Förderflüssigkeit) dauernd betrieben werden kann, läßt sich aus den Kennlinien in den EDUR-Arbeitsunterlagen entnehmen. Die so definierte NPSH wird auch mit NPSHR (NPSH erforderlich) bezeichnet. Sie ist keine konstante Größe, sondern nimmt mit wachsendem Förderstrom stark zu (Bild 6). Vergleicht man Kreiselpumpen mit unterschiedlicher spezifischer Drehzahl, so stellt man fest, daß der NPSH-Wert mit zunehmender spezifischer Drehzahl wächst. Die Saugfähigkeit nimmt also ab. Pumpen mit großer Schnellläufigkeit können deshalb auch bei Kaltwasser häufig nur geringe Saughöhen überwinden oder sogar nur mit einer Zulaufhöhe betrieben werden. Eine Verbesserung ist möglich durch Wahl einer kleineren Betriebsdrehzahl, jedoch auf Kosten der Wirtschaftlichkeit.



### 3. Die vorhandene NPSH (NPSHA)

Für eine bestehende oder geplante Anlage kann die am Eintrittsquerschnitt der Pumpe verfügbare NPSHA bestimmt werden, indem Gleichung (13) nach NPSH aufgelöst wird:

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_l + p_b - p_D)}{r} - H_{vs} - H_{s_{geo}} \quad \text{m} \quad (14)$$

Befindet sich der Flüssigkeitsspiegel oberhalb der Pumpe, so wird statt  $H_{s_{geo}}$  die geodätische Zulaufhöhe  $H_{z_{geo}}$  eingesetzt und Gleichung (14) geht über in:

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_l + p_b - p_D)}{r} - H_{vs} + H_{z_{geo}} \quad \text{m} \quad (15)$$

Bei der Projektierung einer Pumpenanlage ist es zu empfehlen, eine Pumpe zu wählen, deren NPSHR mindestens 0,5 m geringer ist als die vorhandene NPSHA.

An einer in Betrieb befindlichen Pumpe ergibt sich die NPSHA durch Messung des Druckes  $p_1$  am Saugflansch der Pumpe aus der Gleichung

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_l + p_b - p_D)}{r} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad \text{m} \quad (16)$$

mit den zuvor angegebenen Einheiten für die Drücke und die Dichte. Handelt es sich um einen Unterdruck, wird  $p_1$  mit negativem Vorzeichen eingesetzt. Die Größe  $v_1$  ist die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Eintrittsquerschnitt  $A_1$  der Pumpe,  $v_1 = Q/A_1$  mit  $Q$  in  $\text{m}^3/\text{s}$  und  $A_1$  in  $\text{m}^2$ .

### 4. Der Einfluß des Luftdrucks

Die Höhe des atmosphärischen Luftdrucks hat eine erhebliche Auswirkung auf die Saugfähigkeit. Abgesehen von wetterbedingten Schwankungen von  $\pm 5\%$  um den ortsüblichen Mittelwert, verringert sich der Luftdruck mit zunehmender Höhenlage:

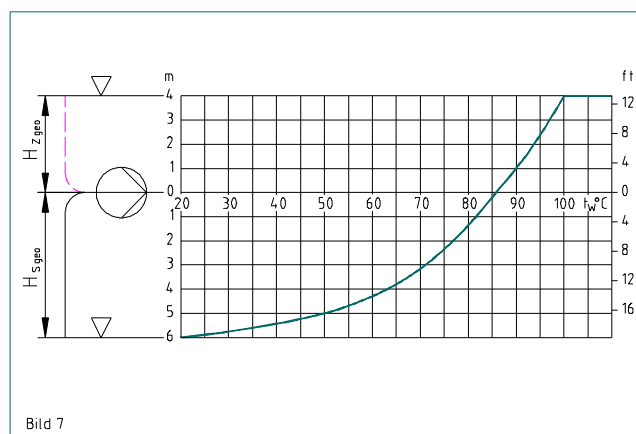
Höhenlage über dem Meeresspiegel	0	500	1000	2000	3000	m
Mittlerer Luftdruck $p_b$	1,013	0,955	0,899	0,794	0,70	bar

### 5. Heißwasserpumpen

Bei Heißwasserförderung spielt die Dampfdruckhöhe eine wesentliche Rolle. Befindet sich eine Flüssigkeit im Siedezustand, ist  $p_l + p_b = p_D$  und  $H_{s_{geo}}$  in Gleichung (12) wird negativ. Es ist also eine Zulaufhöhe  $H_{z_{geo}}$  erforderlich. Ferner vereinfacht sich die Gleichung (14) zu

$$NPSHA = H_{z_{geo}} - H_{vs} \quad \text{m} \quad (17)$$

Auch bei Temperaturen die noch unterhalb des Siedezustandes liegen, ist die Saugfähigkeit vermindert, so daß auch dann schon eine Zulaufhöhe erforderlich sein kann. Bild 7 verdeutlicht den Zusammenhang.



Es sei angenommen, daß eine Pumpe bei einer Wassertemperatur von  $20^\circ\text{C}$  eine geodätische Saughöhe von  $H_{s_{geo}} = 6 \text{ m}$  überwinden kann. Mit steigender Wassertemperatur, also zunehmendem Dampfdruck vermindert sich  $H_{s_{geo}}$  und geht bei einer Wassertemperatur  $t_w \approx 87^\circ\text{C}$  in eine Zulaufhöhe über, die bei Erreichung des Siedezustandes den gleichbleibenden Mindestwert  $H_{z_{geo}} = 4 \text{ m}$  hat.