

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 $H_{S\text{ geo}}$ 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 $H_{S\text{ geo}}$ nicht größer sein als

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

mit der Fallbeschleunigung g in m/s^2 und der Dichte ρ in kg/m^3 .

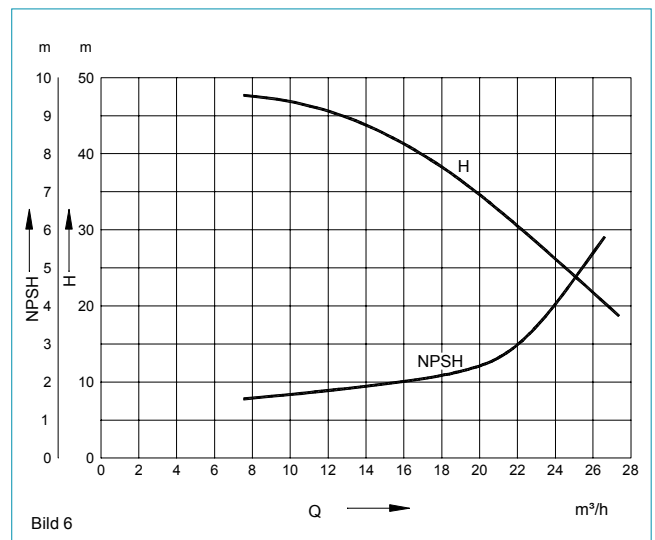
Ist der Saugbehälter geschlossen, so tritt an die Stelle von $p_b/g \cdot \rho$ die absolute Druckhöhe im Behälter $(p_i + p_b)/g \cdot \rho$, wobei p_i den Überdruck im Behälter bezeichnet. Mit der Druckeinheit bar, der Dichte ρ in kg/dm^3 und $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ erhält die Gleichung (12) folgende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

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

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:

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_1 + p_b - p_D)}{\rho} - H_{VS} - H_{S_{geo}} \text{ m (14)}$$

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:

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_1 + p_b - p_D)}{\rho} - H_{VS} + H_{Z_{geo}} \text{ m (15)}$$

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

$$NPSHA = \frac{10,2 \cdot (p_1 + p_b - p_D)}{\rho} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \text{ m (16)}$$

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 m^3/s und A_1 in m .

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:

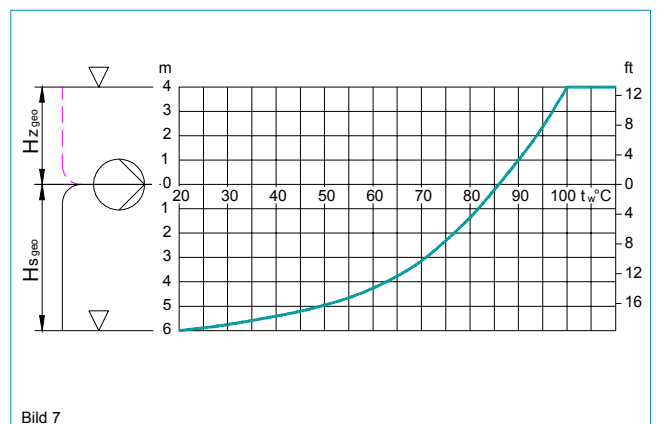
Höhenlage über dem Meeresspiegel	0	500	1000	2000	3000	m
Mittlerer Luftdruck p_b	1,013	0,955	0,899	0,794	0,70	bar

5. Heißwasserpumpen

Bei Heißwasserförderung spielt die Dampfdruckhöhe eine wesentliche Rolle. Befindet sich eine Flüssigkeit im Siedezustand, ist $p_1 + p_b = p_D$ 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

$$NPSHA = H_{Z_{geo}} - H_{VS} \text{ m (17)}$$

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 $20^\circ C$ 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 $t_w \approx 87^\circ C$ in eine Zulaufhöhe über, die bei Erreichung des Siedezustandes den gleichbleibenden Mindestwert $H_{Z_{geo}} = 4 \text{ m}$ hat.

Siededruck p_D und Dichte ρ von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur t

t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³
0	0,0061	0,9998	40	0,0738	0,9923	80	0,4736	0,9716	155	5,4330	0,9121
1	0,0066	0,9999	41	0,0778	0,9919	81	0,4933	0,9710	160	6,1810	0,9073
2	0,0071	0,9999	42	0,0820	0,9915	82	0,5133	0,9704	165	7,0080	0,9024
3	0,0076	0,9999	43	0,0864	0,9911	83	0,5344	0,9697	170	7,9200	0,8973
4	0,0081	1,0000	44	0,0910	0,9907	84	0,5557	0,9691	175	8,9240	0,8921
5	0,0087	1,0000	45	0,0958	0,9902	85	0,5782	0,9684	180	10,0270	0,8869
6	0,0093	1,0000	46	0,1009	0,9898	86	0,6011	0,9678	185	11,2330	0,8815
7	0,0100	0,9999	47	0,1061	0,9893	87	0,6251	0,9671	190	12,5510	0,8760
8	0,0107	0,9999	48	0,1116	0,9889	88	0,6495	0,9665	195	13,9870	0,8704
9	0,0115	0,9998	49	0,1174	0,9885	89	0,6751	0,9658	200	15,5490	0,8647
10	0,0123	0,9997	50	0,1234	0,9880	90	0,7011	0,9652	205	17,2510	0,8588
11	0,0131	0,9996	51	0,1297	0,9876	91	0,7284	0,9645	210	19,0770	0,8528
12	0,0140	0,9996	52	0,1361	0,9871	92	0,7561	0,9638	215	21,0690	0,8466
13	0,0150	0,9994	53	0,1430	0,9866	93	0,7852	0,9631	220	23,1980	0,8403
14	0,0160	0,9993	54	0,1500	0,9862	94	0,8146	0,9624	225	25,5130	0,8339
15	0,0170	0,9992	55	0,1575	0,9857	95	0,8455	0,9617	230	27,9760	0,8273
16	0,0182	0,9990	56	0,1651	0,9852	96	0,8769	0,9610	235	30,6450	0,8205
17	0,0193	0,9988	57	0,1732	0,9847	97	0,9100	0,9603	240	33,4780	0,8136
18	0,0206	0,9987	58	0,1815	0,9842	98	0,9430	0,9596	245	36,5360	0,8065
19	0,0220	0,9985	59	0,1902	0,9837	99	0,9780	0,9588	250	39,7760	0,7992
20	0,0234	0,9983	60	0,1992	0,9832	100	1,0133	0,9581	255	43,2610	0,7917
21	0,0248	0,9980	61	0,2087	0,9826	102	1,0881	0,9566	260	46,9430	0,7839
22	0,0264	0,9978	62	0,2184	0,9821	104	1,1672	0,9551	265	50,8940	0,7760
23	0,0281	0,9976	63	0,2286	0,9816	106	1,2509	0,9537	270	55,0580	0,7678
24	0,0298	0,9974	64	0,2391	0,9811	108	1,3395	0,9522	275	59,5080	0,7594
25	0,0317	0,9971	65	0,2502	0,9805	110	1,4327	0,9507	280	64,2020	0,7505
26	0,0336	0,9968	66	0,2615	0,9799	112	1,5321	0,9491	285	69,2000	0,7417
27	0,0356	0,9965	67	0,2734	0,9793	114	1,6367	0,9476	290	74,4610	0,7321
28	0,0378	0,9963	68	0,2856	0,9788	116	1,7470	0,9460	295	80,0500	0,7226
29	0,0400	0,9960	69	0,2984	0,9782	118	1,8634	0,9445	300	85,9270	0,7122
30	0,0424	0,9957	70	0,3116	0,9777	120	1,9854	0,9429	305	92,1440	0,7017
31	0,0449	0,9954	71	0,3254	0,9771	122	2,1151	0,9412	310	98,7000	0,6906
32	0,0475	0,9951	72	0,3396	0,9765	124	2,2491	0,9396	315	105,6100	0,6791
33	0,0503	0,9947	73	0,3544	0,9759	126	2,3940	0,9379	320	112,8900	0,6669
34	0,0532	0,9944	74	0,3696	0,9753	128	2,5442	0,9363	325	120,5600	0,6541
35	0,0562	0,9941	75	0,3856	0,9747	130	2,7013	0,9346	330	128,6300	0,6404
36	0,0594	0,9937	76	0,4019	0,9741	135	3,1310	0,9302	340	146,0500	0,6102
37	0,0628	0,9934	77	0,4191	0,9735	140	3,6140	0,9258	350	165,3500	0,5743
38	0,0662	0,9930	78	0,4365	0,9729	145	4,1550	0,9214	360	186,7500	0,5275
39	0,0699	0,9926	79	0,4549	0,9722	150	4,7600	0,9168	370	210,5400	0,4518