

Grundlagen der Strömungsmaschinen und Windturbinen

Seminar 6 + 7 – Auslegung einer Pumpenanlage

Aufgabe 6.1 – 7.1

Ihnen wird die Aufgabe übertragen eine Pumpenanlage vollständig auszulegen mit der sauberes Regenwasser von einem Unterbecken I in ein Oberbecken II gefördert werden soll. Beide Behälter sind nach oben offen. Ihre Position ist vorgegeben.

Der geodätische Höhenunterschied zwischen beiden Flüssigkeitsspiegeln liegt bei $H_{\text{geo}} = \text{const.} = 11 \text{ m}$, der Volumenstrom im Konstruktionspunkt beträgt $Q_{\text{konst}} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$, die Wassertemperatur $\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Drehzahl der Arbeitsmaschine wird mit $n = 2900 \text{ 1/min}$ angegeben. Der Umgebungsdruck beträgt $p_a = 1,013 \text{ bar}$.

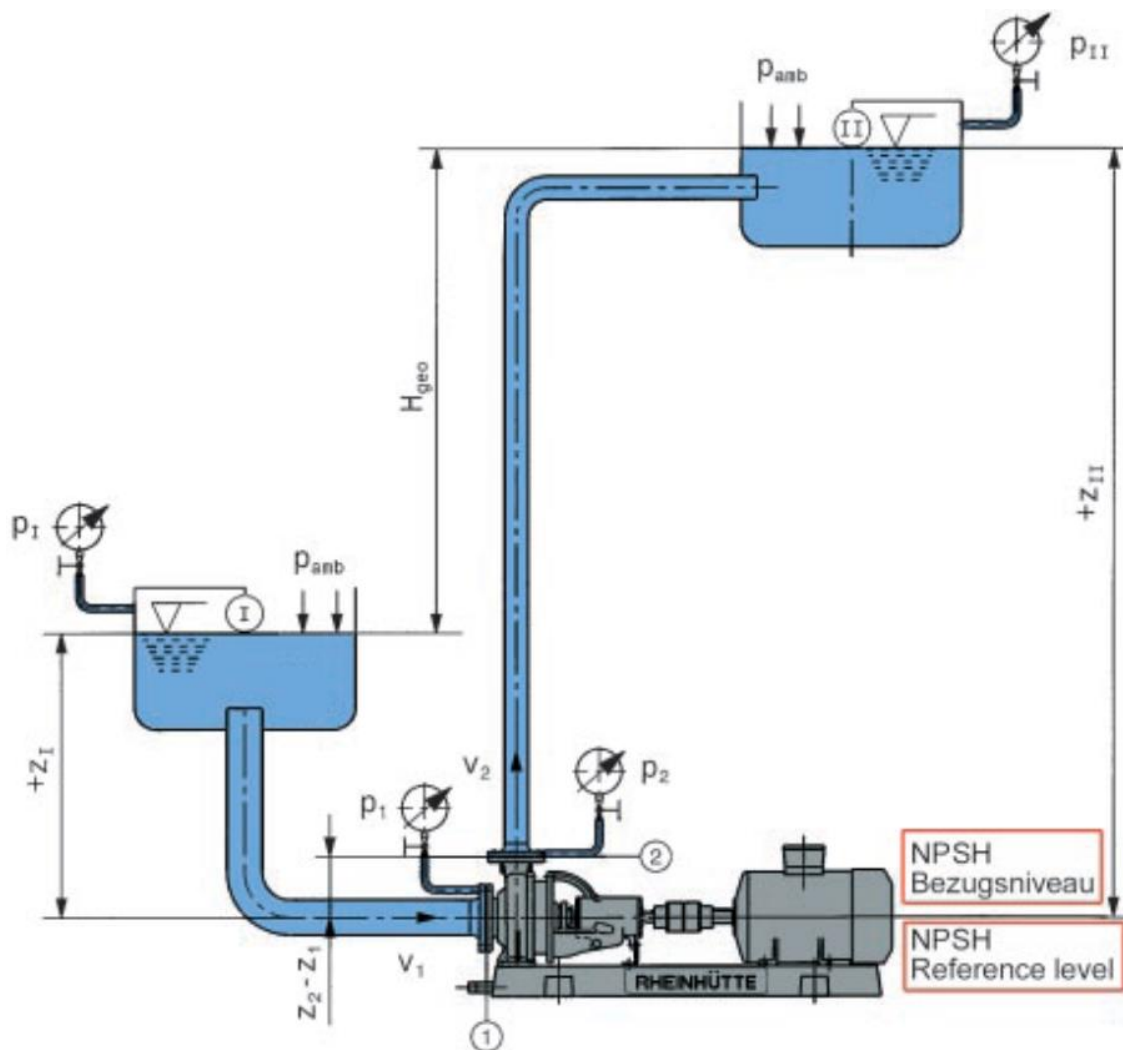


Abbildung 1: schematische Darstellung der Pumpenanlage

Ihnen sind folgende Daten bekannt:

für Teilaufgabe a.)

- Länge der Saugleitung $l_1 = 6 \text{ m}$
- Länge der Druckleitung $l_2 = 17 \text{ m}$
- Durchmesser der Saugleitung: DN 100
- Durchmesser der Druckleitung: DN 80
- Material: geschweißtes Stahlrohr

für Teilaufgabe b.)

- kin. Viskosität von Wasser: $\nu(\theta) = 1,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- Dichte von Wasser: $\rho(\theta) = 998,2 \text{ kg/m}^3$
- hydraulische Reynoldszahl $Re_{D_h} = c_{\text{bulk}} \cdot D/\nu$
- Armaturen der Saugleitung:
 - Einlaufrohr mit Sieb: $\zeta_{ES1} =$
 - Krümmer ($R=d, 90^\circ$, rauh): $\zeta_{KR1} =$
 - Flachschieber (offen \rightarrow min): $\zeta_{F1} =$
 - Rauheit: $k_1 = 0,00074 \cdot D_1$
- Armaturen der Druckleitung:
 - Rückschlagklappen (min): $\zeta_{R2} =$
 - Klappe (PN16...25, min): $\zeta_{KL2} =$
 - Krümmer ($R=d, 90^\circ$, rauh): $\zeta_{KR2} =$
 - Auslaufverlust: $\zeta_{A2} = 1,0$
 - Rauheit: $k_2 = 0,001 \cdot D_2$

Folgende Aufgaben sind für die Auslegung im Betriebspunkt zu bearbeiten:

- a) Bestimmen Sie die mittlere Strömungsgeschwindigkeit c_{bulk} im Rohr der Saug- und Druckleitung! Nehmen Sie die Tabelle 2 zu Hilfe.
- b) Berechnen Sie die Druckverluste Δp_v in Saug- und Druckleitung! Nutzen Sie dazu die Tabellen 1 und 3 und Ihre Formelsammlung auf Seite 3.
- c) Berechnen Sie die Anlagen-Förderhöhe H_A !
- d) Bestimmen Sie die Laufradbauform der eingesetzten Pumpe? Kann eine Strömungsmaschine eingesetzt werden? Wenn ja, welcher Bautyp (radial, axial, diagonal)?
- e) Bestimmen Sie aus dem Kennfeld-Diagramm (Abbildung 2) den Typ der Spiralgehäusepumpe!
- f) Bestimmen Sie für die gewählte Pumpe den Laufradaußendurchmesser D_2 , die Kupplungsleistung P_k , den erforderlichen NPSH-Wert $NPSH_{\text{erf}}$ und den maximalen Wirkungsgrad η im Konstruktionspunkt!

- g) Arbeitet die Pumpe im Konstruktionspunkt kavitationsfrei? Der Betreiber möchte die Anlage bis zu einem Volumenstrom von $Q_{\max} = 1,1 \cdot Q_{\text{konst}}$ betreiben. Ist dies ohne Kavitation möglich? $p_d = 0,02377 \text{ bar}$, $+z_1 = 2 \text{ m}$
- h) Der Anlagenbauer möchte weitere Informationen über die Pumpe in Erfahrung bringen. Aus diesem Grund sollen die Geschwindigkeitsdreiecke und Winkel am Ein- und Austritt des Schaufelkanals für den Konstruktionspunkt bestimmt werden. Nehmen Sie hierfür ideale Anströmung am Laufradeintritt an. Weiterhin soll die Meridiankomponente der Absolutgeschwindigkeit im Laufrad konstant bleiben. Der Minderleistungsfaktor beträgt $\mu = 0,75$ und der hydraulische Wirkungsgrad wird mit $\eta_h = 0,85$ angegeben. Vernachlässigt werden Schaufelversperrung und volumetrische Verluste. Der betrachtete Laufradeintrittsdurchmesser beträgt $D_1 = 0,125 \text{ m}$.

Tabelle 1: Verlustbeiwerte ζ in Rohrbögen und Kniestücken

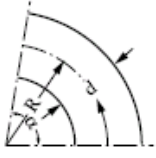
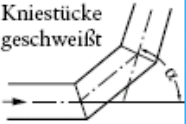
		α	15°		30°		45°		60°		90°	
			Oberfläche glatt rauh		Oberfläche glatt rauh		Oberfläche glatt rauh		Oberfläche glatt rauh		Oberfläche glatt rauh	
	ζ für	R = 0	0,07	0,10	0,14	0,20	0,25	0,35	0,50	0,70	1,15	1,30
	ζ für	R = d	0,03	–	0,07	–	0,14	0,34	0,19	0,46	0,21	0,51
	ζ für	R = 2 d	0,03	–	0,06	–	0,09	0,19	0,12	0,26	0,14	0,30
	ζ für	R \geq 5 d	0,03	–	0,06	–	0,08	0,16	0,10	0,20	0,10	0,20
	Anzahl der Rundnähte		–	–	–	–	2	–	3	–	3	–
	ζ		–	–	–	–	0,15	–	0,20	–	0,25	–

Tabelle 2: Geometrische Werte handelsüblicher Stahlrohre und ihre Wasserfüllung nach ENV 10 220

DN	D	Alle Maße in mm				nahtloses Rohr		geschweißtes Rohr	
		nahtlos s *	d	geschweißst s **	d	Gewicht in kg/m Rohr	Gewicht in kg/m Wasser	Gewicht in kg/m Rohr	Gewicht in kg/m Wasser
15	21,3	2,0	17,3	1,8	17,7	0,952	0,235	0,866	0,246
20	26,9	2,0	22,9	1,8	23,3	1,23	0,412	1,11	0,426
25	33,7	2,3	29,1	2,0	29,7	1,78	0,665	1,56	0,692
32	42,4	2,6	37,2	2,3	37,8	2,55	1,09	2,27	1,12
40	48,3	2,6	43,1	2,3	43,7	2,93	1,46	2,61	1,50
50	60,3	2,9	54,5	2,3	55,7	4,11	2,33	3,29	2,44
65	76,1	2,9	70,3	2,6	70,9	4,71	3,88	5,24	3,95
80	88,9	3,2	82,5	2,9	83,1	6,76	5,34	6,15	5,42
100	114,3	3,6	107,1	3,2	107,9	9,83	9,00	8,77	9,14
125	139,7	4,0	131,7	3,6	132,5	13,4	13,6	12,1	13,8
150	168,3	4,5	159,3	4,0	160,3	18,2	19,9	16,2	20,2
200	219,1	6,3	206,5	4,5	210,1	33,1	33,5	23,8	34,7
250	273,0	6,3	260,4	5,0	263,0	41,4	53,2	33,0	54,3
300	323,9	7,1	309,7	5,6	312,7	55,5	75,3	44,0	76,8
350	355,6	8,0	339,6	5,6	344,4	68,6	90,5	48,3	93,1
400	406,4	8,8	388,8	6,3	393,8	86,3	118,7	62,2	121,7
500	508,0	11,0	486,0	6,3	495,4	135	185,4	77,9	192,7
600	610,0	12,5	585,0	6,3	597,4	184	268,6	93,8	280,2

* ab DN 32 identisch mit DIN 2448 ** ab DN 25 identisch mit DIN 2458

Tabelle 3: Verlustbeiwerte ζ in Armaturen verschiedener Bauarten (bezogen auf die Anströmgeschwindigkeit)

Art der Armatur	Bauform	Verlustbeiwert ζ bei DN =																			Anmerkung
		15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	
Absperrarmaturen	Flachschieber (d _g = DN)	min	0,1																	0,1	bei d _g < DN siehe Fußnote 1)
		max	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3									0,3	
	Rundschieber (d _g = DN)	min						0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	bei d _g < DN $\zeta = 0,4$ bis 1,1
		max						0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16	0,14	
	Hähne (d _g = DN)	min	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02				* auch bei PN 40
		max	0,15																		
	PN 2,5 + 10	min					0,90	0,59	0,38	0,26	0,20	0,14	0,12	0,09	0,06					0,06	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max					1,20	1,00	0,80	0,70	0,62	0,56	0,50	0,42	0,40	0,37	0,33	0,33	0,30	0,28	
	Klappen	min						2,04	1,80	1,55	1,30	1,08	0,84	0,75	0,56	0,48	0,40			0,40	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max						2,50*	2,30*	2,10*	1,90*	1,70*	1,50*	1,30	1,10	0,90	0,83	0,76	0,71	0,67*	
	Ventile, geschmiedet	min					6,0														bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max					6,8														
	Ventile, gegossen	min	3,0																		bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max	6,0																		
	Compactventile	min	0,3	0,4	0,6	0,6	1,0	1,1													bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max	0,3	0,9	1,9				1,9	2,2	2,2	2,3	2,5	2,5							
	Eckventile	min	2,0																	2,0	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
		max	3,1				3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	6,0	6,3	6,6			6,6	
	Schrägventile	min	1,5																	1,5	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar
max		2,6																	2,6		
Freiflussventile	min	0,6																	0,6	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	1,6																	1,6		
Membranventile	min	0,8																		bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	2,7																			
Rückschlagventile, Geradsitz	min	3,0																		bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	6,0																			
Rückschlagventile, axial	min	3,2																	4,3	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	3,4	3,4	3,5	3,6	3,8	3,8	4,2	5,0	6,4	8,2	4,6							4,6		
Rückschlagventile, Schrägsitz	min	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5									1,5	bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	3,0																	3,0		
Fußventile	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Rückschlagventile, Geradsitz	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Rückschlagventile, axial	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Fußventile	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Rückschlagklappen	min	0,5																		bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max	3,0																			
Hydrostop	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Filter	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				
Siebe	min																			bei Optimierung $\zeta = 2$ bis 3 erreichbar	
	max																				

1) Ist der engste Absperrdurchmesser d_g kleiner als der Durchmesser der Anschlußnomweite DN, sind die Widerstandsbeiwerte ζ um (DN/d_g)² mit x = 5 bis 6 zu vergrößern.
 2) Bei nur teilweiser Öffnung (d. h. kleinen Strömungsgeschwindigkeiten) steigen die Verlustbeiwerte auf die „Max“-Werte an. Mit steigender Durchflussgeschwindigkeit v (in m/s) fallen die Verlustbeiwerte ab etwa nach der Beziehung $\zeta \approx 3/v$.
 Bauformen siehe Bild 13.

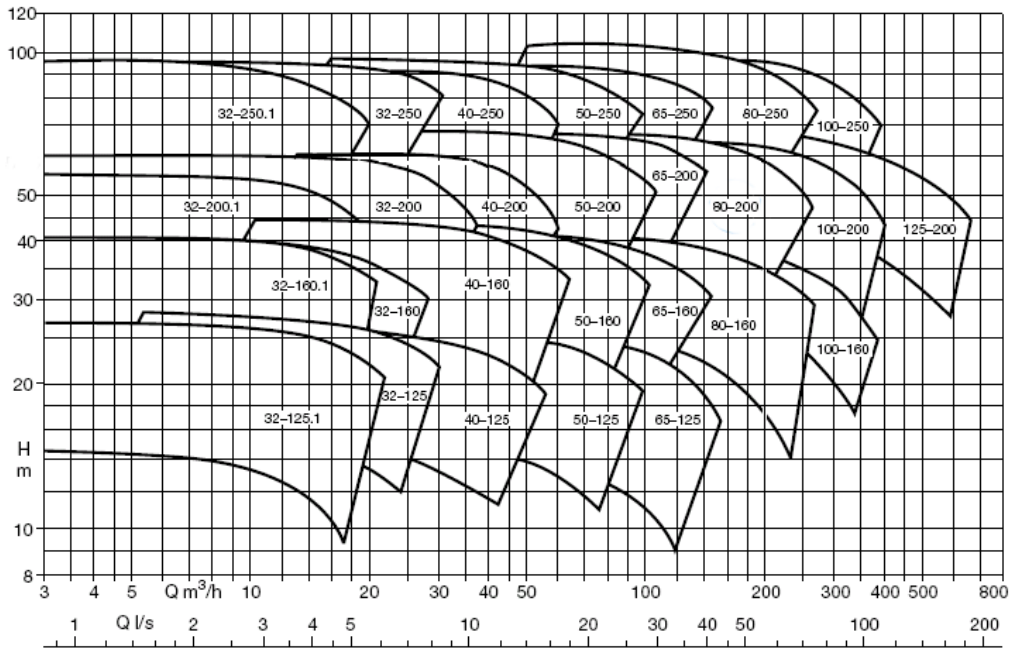


Abbildung 2: Sammelkennfeld einer Spiralgähäusepumpen-Baureihe bei $n=2900 \text{ min}^{-1}$, Zahl1: Nennweite des Druckstutzens, Zahl2: Laufradaussendurchmesser (ungefährer Wert)

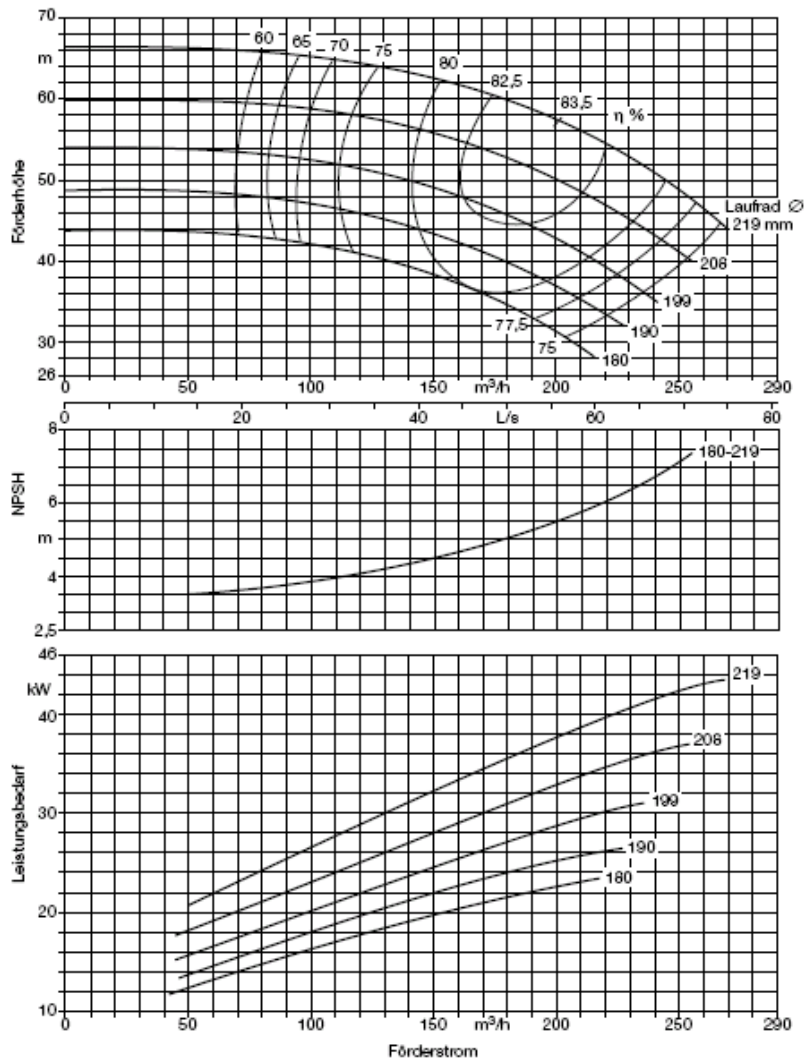


Abbildung 3: vollständige Kennlinie der gewählten Spiralgähäusepumpe