

$$\boxed{U_{42}} \quad \dot{V} = 5000 \text{ m}^3/\text{h} = 1,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta Y = Y/i = Y = g \cdot H_{ges} = 9,81 \cdot 4,2 = 41,2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Festlegen von Drehzahl und Raddurchmesser:

1. Grenze: Spezifische Drehzahl.

Nach Tab. 10-1 gilt für Axialpumpen:

$n_y = 0,3 \dots 1,5$ Damit aus Gl. (4-75):

$$n = n_y \cdot \dot{V}^{-1/2} \cdot \Delta Y^{3/4} = n_y \cdot 1,39^{-1/2} \cdot 41,2^{3/4}$$

$$\left[\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{s}^2} \right]^{-1/2} \cdot \left[\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]^{3/4}$$

$$n = 13,79 \cdot n_y \left[\text{s}^{-1} \right] = 13,79 \cdot (0,3 \dots 1,5) \left[\text{s}^{-1} \right]$$

$$n = 4,14 \dots 20,7 \left[\text{s}^{-1} \right] = 248 \dots 1241 \left[\text{min}^{-1} \right] \quad \text{Oder}$$

$$n_y = 0,0725 \cdot n \left[- \right] \quad \text{mit } n \text{ in } \left[\text{s}^{-1} \right] \quad (16-10)$$

2. Grenze: Kavitationsgefahr.

Nach Gl. (5-20) mit $S_y = 0,43$ (Gl. 5-22) und $\lambda_L = 0,92$

$$Y_{H,M} = (n \cdot \sqrt{\dot{V}_{La}} / S_y)^{4/3}$$

$$Y_{H,M} = n^{4/3} \cdot (\sqrt{1,39/0,92} / 0,43)^{4/3} \left[(\text{m}^3/\text{s})^{1/2} \cdot 4/3 \right]$$

$$Y_{H,M} = 4,057 \cdot n^{4/3} \left[\text{m}^2/\text{s}^2 \right] \quad \text{bei } n \text{ in } \left[\text{s}^{-1} \right] \quad (16-11)$$

Da Tauchpumpe ($H_S = 0$) und kaltes Wasser ($p_{Da} \approx 0$), unterbleibt Kavitation, wenn $Y_{H,M} < p_b/s$, also bei $Y_{H,M} < 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Axiale Strömungsgeschwindigkeit c_m (Meridiangeschwindigkeit) in der Beschauelfelung. Nach

$$\text{Gl. (3-116): } c_{0m} = 1,1 \cdot \sqrt{\dot{V} \cdot n^2} = 1,1 \cdot \sqrt{1,39 \cdot n^2/3} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

$$c_{0m} = 1,23 \cdot n^{2/3} \left[\text{m/s} \right] \quad \text{bei } n \text{ in } \text{s}^{-1} \quad (16-12)$$

Oder aus

$$\text{Gl. (4-93): } c_{0m} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta Y} \quad \text{Mit Gl. (4-99)}$$

$$\varepsilon = 1,64 \cdot (\delta_{r,(a)} \cdot \tan \beta_{0,(a)} \cdot \sqrt{\lambda_L^{-1} \cdot k_N^{-1}} \cdot n_y)^{2/3} \left[1 \right]$$

wobei $\delta_{r,(a)} = 1 \rightarrow \alpha_0 = 0$ (kein Eintrittsleitrad)

$\beta_{0,(a)} = 15^\circ$ angen., da kein Eintrittsleitrad

$k_N = 0,8$ angenommen (Gl. 2-57).

Eingesetzt, ergibt:

$$\varepsilon = 1,64 \cdot (1 \cdot \tan 15^\circ \cdot \sqrt{0,92^{-1} \cdot 0,8^{-1}})^{2/3} \cdot n_y^{2/3} \left[1 \right]$$

$$\varepsilon = 0,755 \cdot n_y^{2/3} \approx 0,76 \cdot n_y^{2/3}$$

$$c_{0m} = 0,755 \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta Y} \cdot n_y^{2/3} = 0,755 \cdot \sqrt{2 \cdot 41,2} \cdot n_y^{1/3} \left[\text{m/s} \right]$$

$$c_{0m} = 6,86 \cdot n_y^{2/3} \left[\text{m/s} \right] \quad (16-13)$$

Raddurchmesser $D_{(a)}$ und $D_{(i)} = D_N$: Aus Gl. (3-115)

$$D_{(a)} = \sqrt{\frac{\dot{V}_{La}}{\pi} \cdot \frac{4}{k_N \cdot c_m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot \lambda_L \cdot k_N}} \cdot \sqrt{\frac{1}{c_m}}$$

$$D_{(a)} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,39}{\pi \cdot 0,92 \cdot 0,8}} \left[\sqrt{\frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \right] \cdot \sqrt{\frac{1}{c_m}}$$

$$D_{(a)} = 1,551 / \sqrt{c_m} \left[\text{m} \right] \quad \text{bei } c_m \text{ in m/s} \quad (16-14)$$

$$k_N = 1 - \lambda_N^2 \rightarrow \lambda_N = \sqrt{1 - k_N} = \sqrt{1 - 0,8} = 0,447$$

$$\lambda_N = D_{(i)} / D_{(a)} \rightarrow D_{(i)} = 0,447 \cdot D_{(a)} \quad (16-15)$$

Gl. (16-14) bis Gl. (16-15) tabellarisch ausgewertet für verschiedene Elektromotoren-Drehzahlen.

Spalte	1	2	3
Elektro-Motor	Pole	6-Poler	8-Poler
	n [1/s]	16,17	12
n_y [1]	Gl. (16-10)	1,17	0,87
$Y_{H,M}$ [m ² /s ²]	Gl. (16-11)	166	111
	Gl. (16-12)	7,85	6,43
c_{0m} [m/s]	Gl. (16-13)	7,62	6,25
	ausgeführt	7,7	6,3
$D_{(a)}$ [m]	Gl. (16-14)	0,559	0,618
$D_{(i)}$ [m]	Gl. (16-15)	0,250	0,276
		0,295	

Ausgeführt, da $Y_{H,M} < 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$, gemäß Spalte 3

$$n = 9,67 \text{ s}^{-1} = 580 \text{ min}^{-1}, \text{ zugehörig}$$

$$D_{(a)} = 660 \text{ mm und } D_{(i)} = 300 \text{ mm}$$

Hierzu

$$c_{0m} = \frac{\dot{V}_{La}}{(D_{(a)}^2 - D_{(i)}^2) \cdot \pi/4} = \frac{1,51}{(0,66^2 - 0,3^2) \cdot \pi/4} \left[\frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^2} \right]$$

$$c_{0m} = 5,57 \text{ m/s} = c_{3m} = c_m$$

Antriebsleistung: Mit geschätztem $\eta_e = 0,8$

$$P_e = \frac{g \cdot \dot{V} \cdot g \cdot H}{\eta_e} = \frac{10^3 \cdot 1,39 \cdot 9,81 \cdot 4,2}{0,8} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}} \right]$$

$$P_e = 71,59 \cdot 10^3 \text{ W} = 72 \text{ kW}$$

Festlegen der Laufschaufeln (profiliert):

Die Schaufelprofile sollen entlang der Zylinder-

Schnitte (i), (m) und (a) mit Durchmessern

$D_{(i)} = D_N = 300 \text{ mm}$, $D_{(m)} = 480 \text{ mm}$ sowie $D_{(a)} = 660 \text{ mm}$

festgelegt werden. Dabei soll über die gesamten

Schaufeln Y_{Sch} gleich groß sein.

$$Y_{Sch} = \Delta Y / \eta_{Sch} \quad \text{Hierbei}$$

$$\text{Nach Gl. (8-131): } \eta_{Sch} = \sqrt{\eta_e} - (0,01 \dots 0,04)$$

$$= 0,88 \dots 0,85$$

$$\text{oder Gl. (8-130): } \eta_{Sch} = \eta_e + (0,05 \dots 0,1)$$

$$= 0,85 \dots 0,9$$

$$\text{oder } \eta_{Sch} = \eta_e / (\lambda_L \cdot \eta_m) \quad \text{mit}$$

$$\eta_m = 0,98 \quad (\text{Gl. 8-129})$$

$$\eta_{Sch} = 0,8 / (0,92 \cdot 0,98) = 0,89$$

$$\text{angenommen } \eta_{Sch} = 0,89 \quad (\text{Gl. 3-110 und 8-121})$$

$$\text{Damit } Y_{Sch} = 41,2 / 0,89 \left[\text{m}^2/\text{s}^2 \right] = 46,3 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Zum Berechnen notwendige Beziehungen:

Mit $c_{0u} = 0$ da $\delta_r = 1$, also $\alpha_0 = 90^\circ$ nach

$$\text{Gl. (3-123)} \quad \beta_0 = \arctan(c_m/u) \quad (16-16)$$

$$\text{Gl. (3-123)} \quad \beta_3 = \arctan[c_m/(u - c_{3u})] \quad (16-17)$$

$$\text{Gl. (3-122)} \quad \beta_\infty = \arctan[c_m/(u - c_{3u}/2)] \quad (16-18)$$

$$\text{Gl. (3-125)} \quad w_\infty = \sqrt{c_m^2 + (u - c_{3u}/2)^2} \quad (16-19)$$

$$\text{Gl. (3-109)} \quad \xi_A \cdot \frac{L}{t} = \frac{2 \cdot Y_{Sch}}{u \cdot w_\infty} \quad (16-20)$$

$$\text{Gl. (3-107)} \quad L/t = 0,4 \dots 1,0 \quad (16-21)$$

Abschnitt 3.3.2 $z_{La} = 3 \dots 7$ ausgeführt $z_{La} = 5$

$$\text{Gl. (2-114)} \quad \hat{\beta} = \beta_\infty + \delta \quad (16-22)$$

Tafel 8 Profile 387 und 490
 $y_{max}/L = (\xi_A - 0,092 \cdot \delta^0)/4,4$
 Profil 623
 $y_{max}/L = (\xi_A - 0,092 \cdot \delta^0)/4,0$

(16-23)

$$\text{Gl. (3-90) und Gl. (3-95)} \quad r = \arctan \epsilon = \arctan(\xi_w/\xi_A) \quad (16-24)$$

$$\text{Gl. (4-43):} \quad r \approx 1 - c_{3u}/(2 \cdot u) \quad (16-25)$$

$$\text{Gl. (3-125):} \quad \beta_{St} = (\beta_0 + \beta_3)/2 \quad (16-26)$$

$$\text{Gl. (3-126):} \quad \beta'_{St} = \beta_{St} + \Delta\beta_{St} \quad (16-27)$$

$$\Delta\beta_{St} = 0,3 \dots 3 \text{ angen. } \Delta\beta_{St} = 1,5$$

Tafel 12: Für $H_2O/20^\circ C \quad \nu = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Die Auswertung der Beziehungen erfolgt mit Hilfe von Tab. 1. tabellarisch für die Zylinder-Schaufelschnitte (i), (m) und (a).

Festlegen der Leitschaufeln (nicht profiliert):

Leitrad mit Nabe ausgestattet und von gleichen Durchmessern wie Laufrad ausgeführt. Schaufeln als Kreisbogen ausgebildet und in gleichbleibender Dicke von $s_{Le} = 12 \text{ mm}$ ausgeführt.

Schaufel-Anzahl: $z_{Le} = 7$ ($> z_{La}$) angenommen

Zum Vergleich zur Laufschaufelberechnung werden die Leitschaufeln nach der Stromfadentheorie (Unterabschnitt 7.2.2.3) ausgelegt.

Notwendige Beziehungen für die Berechnung:

$$\begin{aligned} \text{Gl. (7-113):} \quad \tan \alpha_5 &= \mu \cdot \tau_5 \cdot \tan \alpha_4 \\ \text{mit angen. } \mu &= 1,05 \text{ und } \alpha_4 = \alpha_3 \\ \tau_6 &= t_6/(t_6 - s_6) \text{ wobei } t_6 = t_5 \text{ und} \\ &\text{da } \alpha_6 = 90^\circ \text{ ist } s_6 = s_5 = 12 \text{ mm wird} \\ \tau_6 &= t_5/(t_5 - s_6) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Gl. (3-31):} \quad p_{Le} &= \tau'_{Le} \cdot \frac{r^2}{z_{Le} \cdot s} \\ \text{Gl. (3-36):} \quad s &= e_{Le} \cdot r \end{aligned} \right\} p_{Le} = \tau'_{Le} \cdot \frac{r}{z_{Le} \cdot e_{Le}}$$

Tab. 1. Laufschaufel-Werte für die Schnitte (i), (m) und (a). Tabellarische Auswertung.

Größe	Gl.-Nr.	Dim.	Schaufelschnitt		
			(i)	(m)	(a)
D		mm	300	480	660
$u = D \cdot \pi \cdot n$		m/s	9,11	14,58	20,05
$c_{3u} = Y_{Sch}/u$		m/s	5,08	3,18	2,31
β_0	16-16	°	31,44	20,91	15,53
β_3	16-17	°	54,11	26,04	17,43
β_∞	16-18	°	40,29	23,21	16,42
w_∞	16-19	m/s	8,61	14,13	19,70
$\xi_A L/t$	16-20	-	1,181	0,449	0,234
L/t (gewählt)	16-21	-	1,0	0,75	0,5
$\xi_A = (\xi_A \frac{L}{t}) / (\frac{L}{t})$		-	1,181	0,599	0,468
Profil-Nr. n. Tafel	15-8	-	387	623	490
ξ_w n. Tafel	15-8, e	-	0,023	0,014	0,009
δ n. Tafel	15-8, c	°	6,4	1,3	0,5
$\hat{\beta}$	16-22	°	46,69	24,51	16,92
$t = D \cdot \pi / z_{La}$		mm	188,5	301,6	414,7
$L = (L/t) \cdot t$		mm	222,6	226,2	207,4
y_{max}/L	16-23	-	0,135	0,120	0,096
y_{max}		mm	30,5	27,1	19,9
r	16-24	°	1,12	1,34	1,10
r	16-25	-	0,72	0,89	0,94
$Re = w_\infty \cdot L / \nu$		-	$1,9 \cdot 10^6$	$3,2 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^6$
β_{St}	16-26	°	42,8	23,5	16,5
β'_{St}	16-27	°	44,5	25	18
$c_3 = \sqrt{c_{3m}^2 + c_{3u}^2}$		m/s	7,54	6,41	6,03
$\alpha_3 = \arctan(\frac{c_{3m}}{c_{3u}})$		°	47,6	60,3	67,5

$$\begin{aligned} \text{Gl. (7-117):} \quad \psi'_{Le} &= (1 \dots 1,2) \cdot (1 + \alpha_6^0/60) \\ \alpha_6 &= 95 \dots 100^\circ, \text{ angen. } \alpha_6 = 97^\circ \\ \psi'_{Le} &= 1,1 \cdot (1 + 97/60) = 2,88 \\ \text{Nach Überschlagsrechnung angenommen:} \\ e_{Le} &\approx 3 \cdot e_{La, (m)} = 3 \cdot L_{La, (m)} \cdot \sin \beta_{St, (m)} \\ &= 3 \cdot 226,2 \cdot \sin 23,48^\circ [\text{mm}] = 270 \text{ mm} \\ \text{ausgeführt: } e_{Le} &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Damit

$$p_{Le} = 2,88 / (7 \cdot 0,3) \cdot r = 1,37 \cdot D / 2$$

$$p_{Le} = 0,69 \cdot D \quad [-] \quad \text{mit } D \text{ in m}$$

$$Gl. (7-114): \cot \alpha_6 \approx - (p_{Le} / r_6) \cdot \cot \alpha_4$$

$$Gl. (7-120): s_{Le} = e_{Le} / (\cot \alpha_5 - \cot \alpha_6)$$

$$Gl. (7-108): \alpha'_{St} = (\alpha_5 + \alpha_6) / 2$$

$$\Delta \alpha_{St} = 0,3 \dots 3^\circ \quad \text{angen. } \Delta \alpha_{St} = 1,5^\circ$$

$$Gl. (7-109): \alpha_{St} = \alpha'_{St} - \Delta \alpha_{St}$$

Auch hier erfolgt das Auswerten der Beziehungen tabellarisch (Tab. 2).

Tab. 2. Leitschaufel-Werte für die Schnitte (i), (m) und (a). Tabellarische Auswertung.

Größe	Dim.	Schaufelschnitt		
		(i)	(m)	(a)
D	mm	300	480	660
$\alpha_4 = \alpha_3$	°	47,6	60,3	67,5
$t_5 = D_5 \cdot \pi / z_{Le}$	mm	134,64	215,42	296,21
$\sigma_5 = s_5 / \sin \alpha_5 \approx s_5 / \sin \alpha_4$	mm	16,24	13,82	13
$r_5 = t_5 / (t_5 - \sigma_5)$	-	1,14	1,07	1,05
$\tan \alpha_5 = \tan \alpha_4 \cdot r_5 \cdot 1,05$	-	1,3123	1,9681	2,659
α_5	°	52,7	63,1	69,4
$r_5 = t_5 / (t_5 - \sigma_5)$	-	1,1	1,06	1,04
$p_{Le} = 1,37 \cdot 10^{-3} \cdot (D/2)$	-	0,21	0,33	0,45
α_6	°	98,3	100,1	100,2
s_{Le}	mm	400	478	567
α'_{St}	°	75,5	81,6	84,8
α_{St}	°	74	80,1	83,3

Mit den Tabellenwerten und Tafel 8 können die Beschauflungen von Laufrad (Tab. 1) und Leitrad (Tab. 2) gezeichnet werden.

In Bild 1 (Laufschaukel-Profile) und in Bild 2 (Leitschaukel-Profile) sind die Beschauflungen gemäß den Rechenwerten prinzipiell dargestellt.

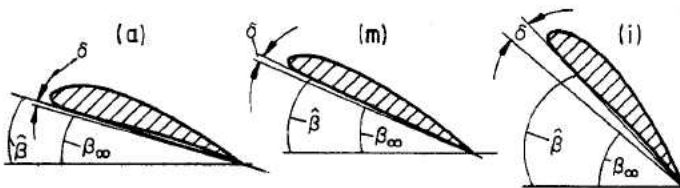


Bild 1. Laufschaukel-Profile für die Zylinderschnitte (i), (m) und (a).

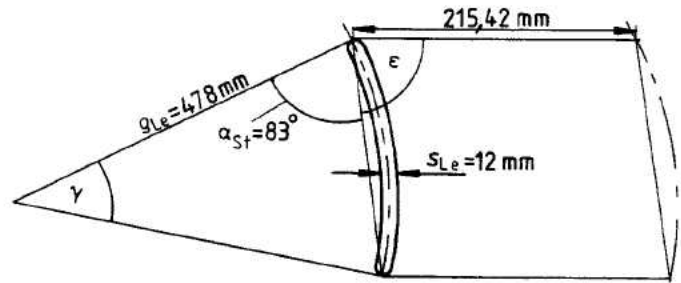


Bild 2. Leitschaukel-Profile.