LDV-Messung an einer Kreiselpumpe radialer Bauart

1. Einführung:

Mit Hilfe der Laser-Doppler-Velocimetrie (LDV) kann man die Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten bestimmen. Voraussetzung für dieses Verfahren ist, dass sich in der zu messenden Flüssigkeit sogenannte Tracer-Teilchen befinden, an denen sich Laserstrahlen streuen können. Es werden zwei Laserstrahlen mit unterschiedlichem Einfallswinkel benutzt. Die gestreuten und zweifach doppler-verschobenen Laserstrahlen werden von einem Detektor empfangen. Durch Überlagerung der beiden Frequenzen entsteht eine Schwebungsfrequenz, aus der sich die Geschwindigkeit errechnen lässt, mit der sich das Teilchen und damit das Fluid bewegt.
Die Verwendung von zwei Laserstrahlen hat den Vorteil, dass sich die entstehende Schwebungsfrequenz wesentlich einfacher messtechnisch verarbeiten lässt, da diese Frequenz deutlich kleiner ist, als die Frequenz der Laserstrahlen alleine.
Bei diesem Verfahren spielt es keine Rolle, unter welchem Winkel das gestreute Licht gemessen wird.

2. Aufgabenberechnung:

2.1. spezifische Schaufelarbeit e_u:

$$e_u = u_2 \cdot c_{u2} \quad \text{mit} \quad c_{m_2} = \frac{\dot{V}}{A}, \qquad A = (2\pi \cdot \frac{d_2}{2} - 6f) \cdot b\,, \qquad f = \frac{s}{\tan\beta}$$

$$\dot{V} = 77{,}9\,\tfrac{m^3}{h} = \underline{0{,}0216\,\tfrac{m^3}{s}} \quad \rightarrow \quad c_{m_2} = \frac{0{,}0216\,\frac{m^3}{s}}{0{,}022m^2} = \underline{0{,}98\,\tfrac{m}{s}}$$

$$U_{Pumpe} = 500\,\tfrac{U}{\min} \quad \rightarrow \quad u_2 = \omega \cdot r = \frac{2\pi}{60} \cdot 500 \cdot \frac{d^2}{2} = \underline{8{,}9\,\tfrac{m}{s}}$$

$$u_2' = \frac{c_{m_2}}{\tan\beta} = \underline{2{,}313\,\tfrac{m}{s}} \quad \rightarrow \quad u_2 - u_2' = c_{u,errechnet} = \underline{6{,}59\,\tfrac{m}{s}}$$

$$e_{u,errrechnet} = u \cdot c_{u_2,errechnet} = 8.9\,\tfrac{m}{s} \cdot 6{,}59\,\tfrac{m}{s} = \underline{\underline{58{,}65\,\tfrac{m^2}{s^2}}}$$

2.2. Geschwindigkeitsdreieck:

Die gemessene Größe ist $\underline{\underline{c_{u_2} = 3{,}51\,\tfrac{m}{s}}}$

2.3. Größe von c_{m2}:

$$c_{m_2} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0{,}0216\,\frac{m^3}{s}}{0{,}022m^2} = \underline{0{,}98\,\tfrac{m}{s}}$$

2.4. Änderung des Geschwindigkeitsdreieckes und spez. Schaufelarbeit bei gem. Größen:

$$c_{2,neu} = \sqrt{c_{u_2,gemessen}^{\;2} + c_{m_2}^{\;2}} = \underline{\underline{3{,}64\,\tfrac{m}{s}}} \qquad c_{2,alt} = \sqrt{c_{u_2,erreechnet}^{\;2} + c_{m_2}^{\;2}} = \underline{\underline{6{,}66\,\tfrac{m}{s}}}$$

$$e_{u,gemessen} = u \cdot c_{u_2,gemessen} = \underline{\underline{31{,}24\,\tfrac{m^2}{s^2}}}$$

→ spez. Schaufelarbeit sinkt

2.5. Abstand der Laserlinse zur Vorderseite des Pumpengehäuses:

gegeben: Brechzahlen: $n_{Wasser} = 1{,}333$ $n_{Luft} = 1{,}00029$ $n_{Plexi} = 1{,}49$
$\varphi = 23°$ $h_{ges} = 30mm$

Brechungsgesetz: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ mit $\sin\alpha = \frac{h}{s}$, $\cos\alpha = \frac{l}{s}$

$$h_{ges} = l_1 \cdot \tan\tfrac{\varphi_{geg}}{2} + l_2 \cdot \tan\varphi_1 + l_3 \cdot \tan\varphi_2 + l_4 \cdot \tan\varphi_3 + l_5 \cdot \tan\varphi_4$$

$$\rightarrow \quad l_1 = \frac{h_{ges} - l_2 \cdot \tan\varphi_1 - l_3 \cdot \tan\varphi_2 - l_4 \cdot \tan\varphi_3 - l_5 \cdot \tan\varphi_4}{\tan\frac{\varphi_{geg}}{2}}$$

mit $\varphi_i = \arcsin\left(\frac{n_i}{n_{i+1}} \cdot \sin\frac{\varphi_{geg}}{2}\right)$

$$\varphi_1 = \arcsin\left(\frac{n_{Luft}}{n_{Plexi}} \cdot \sin\varphi_{geg}\right) = \underline{7{,}69°} \qquad \varphi_2 = \arcsin\left(\frac{n_{Plexi}}{n_{Wasser}} \cdot \sin\varphi_1\right) = \underline{8{,}60°}$$

$$\varphi_3 = \arcsin\left(\frac{n_{Wasser}}{n_{Plexi}} \cdot \sin\varphi_2\right) = \underline{7{,}69°} \qquad \varphi_4 = \arcsin\left(\frac{n_{Plexi}}{n_{Wasser}} \cdot \sin\varphi_3\right) = \underline{8{,}60°}$$

wegen $\varphi_1 = \varphi_3$ und $\varphi_2 = \varphi_4$: $\rightarrow$ $l_1 = \frac{h_{ges} - (l_2 + l_4) \cdot \tan\varphi_1 - (l_3 + l_5) \cdot \tan\varphi_2}{\tan\frac{\varphi_{geg}}{2}}$

$$= \frac{30mm - 6{,}75mm - 1{,}97mm}{\tan 11{,}5} = \underline{\underline{104{,}6mm}}$$