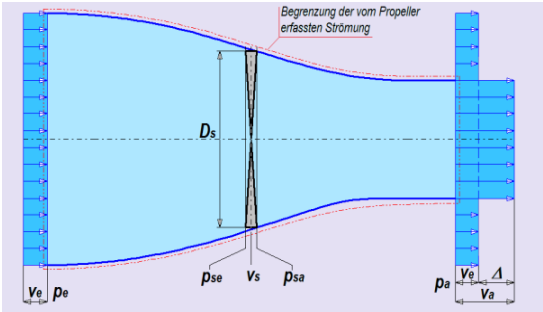
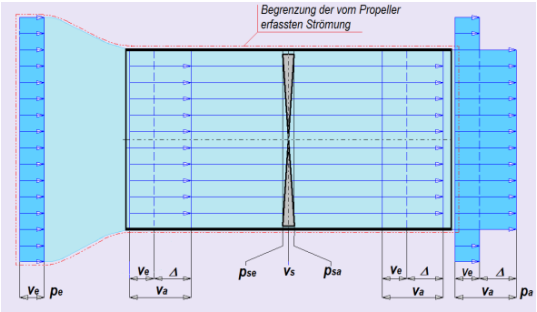
Vergleich von freiem und ummanteltem Propeller (Schubanteilziffer)

Comparison of free running propeller and covered propeller

00	**Strahl im freien Propeller**	**Strahl im ummantelten Propeller** (Rohr)	
01			
02	Annahmen: - In der Propellerebene wird Energie zugeführt - Durch diese Energiezufuhr wird ständig Flüssigkeit angesaugt und in einem den Propeller umhüllenden, freien Strahl beschleunigt - Der Propeller ist idealisiert durch eine Scheibe (Flügelzahl $\models\infty$) - Vernachlässigung der Drehung des Propellers - Es wird nur die schuberzeugende, axiale Komponente der Strömung betrachtet - Keine Rückwirkungen des Fahrzeuges - <u>Reibungsfreie</u>, inkompressible Strömung - Kontinuitätsgesetz und Impulssatz gelten - Der Volumenstrom des erzeugten Strahls ist konstant	Annahmen: - In der Propellerebene wird Energie zugeführt - Durch diese Energiezufuhr wird ständig Flüssigkeit angesaugt und in einem den Propeller umhüllenden Rohr / Mantel beschleunigt - Der Propeller ist idealisiert durch eine Scheibe (Flügelzahl $\models\infty$) - Vernachlässigung der Drehung des Propellers - Es wird nur die schuberzeugende, axiale Komponente der Strömung betrachtet - Keine Rückwirkungen des Fahrzeuges - <u>Reibungsfreie</u>, inkompressible Strömung - Kontinuitätsgesetz und Impulssatz gelten - Der Volumenstrom des erzeugten Strahls ist konstant - Der Spalt zwischen Rohr (Mantel)und Propeller ist vernachlässigbar	

03	Formelzeichen				
04	$A_e\ [m^2]$	Strahlfläche weit vor dem Propeller (Eintritt)	$A_s\ [m^2]$	Rohrquerschnittsfläche, Strahlfläche in der Propellerebene	
05	$A_s\ [m^2]$	Strahlfläche in der Propellerebene			
06	$A_a\ [m^2]$	Strahlfläche weit hinter dem Propeller (Austritt)			
07	Vergleich	$A_e \geq A_s \geq A_a$		$A_s = A_a$	
08	$D_s\ [m]$	Strahldurchmesser in der Propellerebene	$D_s\ [m]$	Rohrdurchmesser, Strahldurchmesser	
09	$T\ [N = \frac{kg \cdot m}{s^2}]$	Schubkraft des freien Propellers	$T_\Sigma\ [N = \frac{kg \cdot m}{s^2}]$	Schubkraft des ummantelten Propellers	
10	$\dot{V}\ [m^3/s]$	Volumenstrom in Strahl	$\dot{V}_\Sigma [m^3]$	Volumenstrom durch das Rohr	
11	$v_e\ [m/s]$	Strahlgeschwindigkeit weit vor dem Propeller	$v_e\ [m/s]$	Geschwindigkeit vor dem Rohr	
12	$v_s\ [m/s]$	Strahlgeschwindigkeit in der Propellerebene	$v_s\ [m/s]$	Geschwindigkeit in der Propellerebene	
13	$v_a\ [m/s]$	Strahlgeschwindigkeit weit hinter dem Propeller	$v_a\ [m/s]$	Geschwindigkeit hinter dem Rohr	
14	$p_e\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck weit vor dem Propeller	$p_e\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck vor dem Rohr	
15	$p_{se}\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck unmittelbar vor dem Propeller	$p_{se}\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck unmittelbar vor dem Propeller	
16	$p_{sa}\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck unmittelbar hinter dem Propeller	$p_{sa}\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck unmittelbar hinter dem Propeller	
17	$p_a\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck weit hinter dem Propeller	$p_a\ [\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}]$	Druck hinter dem Rohr	

18	vor dem Propeller $v = v_e$	Kontinuitätsgesetz im Strahl (Stromröhre)	Vor dem Rohr $v = v_e$	Kontinuitäts-gesetz im Rohr (Stromröhre)	
19	in der Propellerebene $v = v_s$		in der Propellerebene im Rohr $v = v_{s\Sigma} = v_a$		
20	hinter dem Propeller $v = v_a$		hinter dem Rohr $v = v_a = v_{s\Sigma}$		

21	$A_e \geq A_s \geq A_a$	$A_s = A_a = \pi \cdot \frac{D_s^2}{4}$	
22	Schubkraft aus der Impulsänderung $T = \rho \cdot \dot{V} \cdot v_a - \rho \cdot \dot{V} \cdot v_e$ $T = \rho \cdot \dot{V} \cdot (v_a - v_e) = \dot{m} \cdot (v_a - v_e)$	Schubkraft aus der Impulsänderung $T_\Sigma = \rho \cdot \dot{V}_\Sigma \cdot v_a - \rho \cdot \dot{V}_\Sigma \cdot v_e$ $T_\Sigma = \rho \cdot \dot{V}_\Sigma \cdot (v_a - v_e) = \dot{m}_\Sigma \cdot (v_a - v_e)$	
23	Volumenstrom durch die Propellerebene $\dot{V} = A_s \cdot v_s = \pi \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot v_s$	Volumenstrom durch die Propellerebene $\dot{V}_\Sigma = A_s \cdot v_{s\Sigma} = A_s \cdot v_a \cdot \pi \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot v_{s\Sigma} = A_s \cdot \pi \cdot \frac{D_s^2}{4} \cdot v_a$	Siehe Bild u. Z. 20
24	Schub $T = \rho \cdot A_s \cdot v_s \cdot (v_a - v_e)$	Schub $T_\Sigma = \rho \cdot A_s \cdot v_{s\Sigma} \cdot (v_a - v_e)$	
25	Ermittlung von v_s	Infolge der Ummantelung (Rohr) ist : $v_s = v_a$	Siehe Bild u. Z. 20
26	Energiegleichung vor dem Propeller (Bernoulli) $\frac{p_e}{\rho} + \frac{v_e^2}{2} = \frac{p_{se}}{\rho} + \frac{v_s^2}{2}$	Energiegleichung vor dem Propeller (Bernoulli) $\frac{p_e}{\rho} + \frac{v_e^2}{2} = \frac{p_{se}}{\rho} + \frac{v_{s\Sigma}^2}{2}$	

© K.-J. Bladt

27	Energiegleichung hinter dem Propeller (Bernoulli) $\frac{p_a}{\rho}+\frac{v_a^2}{2}=\frac{p_{sa}}{\rho}+\frac{v_s^2}{2}$	Energiegleichung hinter dem Propeller (Bernoulli) $\frac{p_a}{\rho}+\frac{v_a^2}{2}=\frac{p_{sa}}{\rho}+\frac{v_{s\Sigma}^2}{2}$	
28	Der Druck weit vor und weit hinter dem Propeller ist gleich $p_a=p_e$ Die Geschwindigkeiten sind unterschiedlich $v_e \le v_s \le v_a$	Der Druck vor und hinter dem Rohr ist gleich: $p_a=p_e$ Geschwindigkeit des Strahls im Tunnel vor und hinter dem Propeller sowie in der Propellerebene ist $v_{s\Sigma}=v_a$	
29	Durch Subtraktion entsteht $\frac{p_a}{\rho}-\frac{p_e}{\rho}+\frac{v_a^2}{2}-\frac{v_e^2}{2}=\frac{p_{sa}}{\rho}-\frac{p_{se}}{\rho}+\frac{v_s^2}{2}-\frac{v_s^2}{2}$	Durch Subtraktion entsteht $\frac{p_a}{\rho}-\frac{p_e}{\rho}+\frac{v_a^2}{2}-\frac{v_e^2}{2}=\frac{p_{sa}}{\rho}-\frac{p_{se}}{\rho}+\frac{v_{s\Sigma}^2}{2}-\frac{v_{s\Sigma}^2}{2}$	
30	Der Druckunterschied unmittelbar vor und hinter dem Propeller (idealisierte Scheibe) ist dann $\frac{p_{sa}}{\rho}-\frac{p_{se}}{\rho}=\frac{v_a^2}{2}-\frac{v_e^2}{2}$ $\Delta p=p_{sa}-p_{se}=\frac{\rho}{2}\cdot(v_a^2-v_e^2)$	Die Druckdifferenz unmittelbar vor und hinter dem Propeller (idealisierte Scheibe) ist dann $\frac{p_{sa}}{\rho}-\frac{p_{se}}{\rho}=\frac{v_s^2}{2}-\frac{v_e^2}{2}$ $\Delta p_\Sigma=p_{sa}-p_{se}=\frac{\rho}{2}\cdot(v_a^2-v_e^2)$	
31	Der Schub ergibt sich zu $T=\Delta p\cdot A_s=\frac{\rho}{2}\cdot(v_a^2-v_e^2)\cdot A_s$	Der Schub ergibt sich zu $T_\Sigma=\Delta p_\Sigma\cdot A_s=\frac{\rho}{2}\cdot(v_a^2-v_e^2)\cdot A_s$	
32	Zusammen mit der aus dem Impulssatz ermittelten Gleichung ergibt sich $T=\frac{\rho}{2}\cdot(v_a^2-v_e^2)\cdot A_s=\rho\cdot A_s\cdot v_s\cdot(v_a-v_e)$		
33	und daraus die Strahlgeschwindigkeit im Propeller (Froude) $v_s=\frac{v_a+v_e}{2}$	Infolge der Ummantelung (Rohr) ist die Strahlgeschwindigkeit $\boldsymbol{v_s=v_a}$	Siehe Bild u. Z. 20, 23
34	Impulssatz $T=\rho\cdot A_s\cdot\frac{v_a+v_e}{2}\cdot(v_a-v_e)$	Impulssatz $T_\Sigma=\rho\cdot A_s\cdot v_s\cdot(v_s-v_e)=\rho\cdot A_s\cdot v_a\cdot(v_a-v_e)$	Siehe Z. 24
35	$\boldsymbol{v_e=0}$: $T=A_s\cdot\frac{\rho}{2}\cdot v_a^2$	$\boldsymbol{v_e=0}$: $v_s=v_a$ → $T_\Sigma=\rho\cdot A_s\cdot v_a^2$	
36	$\frac{\textbf{freier Propeller}}{\textbf{ummantelter Propeller}}=\boldsymbol{\tau}=\frac{T}{T_\Sigma}=\frac{A_s\cdot\frac{\rho}{2}\cdot v_a^2}{A_s\cdot\rho\cdot v_a^2}=\frac{1}{2}$	⟸ *Schubanteilziffer für Querschubanlage im Idealfall*	
37	**Quelle:** Willi Bohl: Technische Strömungslehre, VEB Fachbuchverlag Leipzig u. Vogel-Buchverlag Würzburg, 6. Auflage 1984	. / .	

Klaus-Jürgen Bladt
Streuwiesenweg 60
18119 Rostock
Germany

© K.-J. Bladt