

Propeller

©Thomas Eulenberg (2011)

Der Propeller, und der damit verbundene Wirkungsgrad ist für Segler eine interessante aber auch schwer zu verstehende Angelegenheit.

Viele meinen, dass ein Propeller das Boot wie eine Mutter auf einem Gewinde durch das Wasser schiebt, und die Steigung des Propellers das Maß für diesen Gewindeschub sei, damit das Boot den Weg durch das Wasser wie auf einem Gewinde zurücklegen könnte.

Das stimmt leider nicht! Der Propeller ist eine Pumpe, er saugt das Wasser an, beschleunigt es und stößt es nach hinten aus. Dies geht nicht ohne Verluste. Selbst wenn man die Nennleistung des Motors kennt, den mechanischen Wirkungsgrad bis zum Propeller schätzt und die Bootsgeschwindigkeit misst, ist man nicht in der Lage, den Wirkungsgrad des Propellers mit Sicherheit zu beurteilen. Zwischen dem Produkt aus Steigung x Drehzahl, das den Weg des Gewindes ausmachen würde, und dem tatsächlich zurückgelegten Weg des Bootes liegt der Schlupf (Slip). Das ist eine Größe, von der viele glauben, daraus den Wirkungsgrad ableiten zu können. Das ist leider falsch, da der Schlupf von einer Reihe anderer Größen abhängt. Es gibt aber grobe Verfahren, die zumindest eine annähernde Abschätzung aller Werte erlauben.

Die Nennleistung steht auf dem Motor, die mechanischen Verluste zum Propeller lassen sich ziemlich genau schätzen (für z B für ein Lager und die Stoffbuchse = 0,92).

Die Drehzahl des Propellers ist durch Drehzahl des Motors und Getriebeübersetzung bekannt. Die Geschwindigkeit des Bootes lässt sich auf einer Messstrecke ermitteln oder auf dem Speedometer oder GPS (Genauer)ablesen.

Die Propellermaße sind bekannt (Durchmesser Steigung, Flügelzahl Flächenverhältnis).

(Wenn Steigung nicht bekannt, siehe [Messung von Propellersteigung](#))

Wie oben erläutert, sind zwei Größen, nämlich Schlupf und Wirkungsgrad des Propellers unbekannt. Nur mit Hilfe anderer Vergleichswerte lassen sich zuverlässige Rückschlüsse auf die Motor-Anlage und das Boot ziehen.

Das Diagramm stammt aus den Untersuchungen in den Niederlanden (Wageningen)Die Formeln, mit denen man mit einem üblichen Taschenrechner annähernd die Werte Rechnen kann sind:

1. Die Formel für die Anströmgeschwindigkeit des Propellers (V_A) ist.

$$V_A = V_S (1-W)$$

2. Der Belastungsgrad rechnet sich

$$\begin{aligned} B_p &= 1,17 * n * P_p^{1/2} * V_A^{-5/2} \\ &= 1,17 * n * \sqrt{P_p} / V_A^2 * \sqrt{V_A} \end{aligned}$$

3. Der Durchmesser errechnet sich

$$D = 12 * V_A * \delta / n$$

Die Daten werden so eingesetzt

V_A = Anströmgeschwindigkeit des Propellers in Knoten (sm/h)

V_S = Bootsgeschwindigkeit in Knoten

P = Leistung in kW

n = Drehzahl/min

W = Nachstrom in Prozent der Bootsgeschwindigkeit V_S , wird in die Formel als Dezimalzahl eingesetzt. Anhaltswerte siehe Seite 104

D = Propeller-Durchmesser in Zoll (wird der Durchmesser in Millimeter eingesetzt, muß statt der 12 der Wert 305 eingesetzt werden)

Beispiel:

Segler mit einem Motor von 40 kW Geschwindigkeit (V_S) 7,0 kn, dreiflügeligem Propeller mit Durchmesser 17 Zoll und 10 Zoll Steigung, geschätztem Nachstrom von 20 % , $W = 0,2$ und geschätztem Wirkungsgrad von 50 % ($\eta_P = 0,5$)

Aus Formel 1

$$V_A = 7,0 \cdot 0,8 = 5,6 \text{ kn}$$

Beispiel: Motorsegler; LWL = 8 m; Leistung (Motor) 36 kW; Geschwindigkeit (V_S) = 7 kn; Propeller (Dreiflügler) mit Durchmesser 18 Zoll und Steigung 10 Zoll; Nachstrom (geschätzt) 20% $\rightarrow W = 0,20$; η_P (geschätzt) $\rightarrow 0,50$

Daraus ergibt sich mit Formel (1)

$$V_A = V_S (1 - W) = 7,0 \cdot 0,80 = \mathbf{5,60 \text{ kn}}$$

Für den Belastungsgrad muß die Propeller-Leistung errechnet werden. Wir nehmen einen Wirkungsgrad vom Motor bis zum Propeller von $\eta_w = 0,92$ an. Daraus ergibt sich eine Propeller-Leistung

$$P_P = P_M \cdot \eta_w \cdot \eta_P = 36 \cdot 0,92 \cdot 0,5 = \mathbf{16,5 \text{ kW}}$$

Jetzt kann der Belastungsgrad nach Formel (2) gerechnet werden

$$B_P = k \cdot \frac{\eta \cdot \sqrt{P_P}}{V_A^2 \sqrt{V_A}} \approx 1,17 \frac{13,00 \cdot 4,06}{31,36 \cdot 2,37} = 83,1$$

Mit diesem Wert kann man in das Diagramm gehen und von der linken Skala eine Horizontale in den grau getönten Bereich des optimalen Wirkungsgrades ziehen. Geht man vom Schnittpunkt senkrecht runter, so bekommt man ein Steigungsverhältnis für den Propeller von etwa 0,57. Da der Propeller vorhanden ist, kann man das Steigungsverhältnis überprüfen.

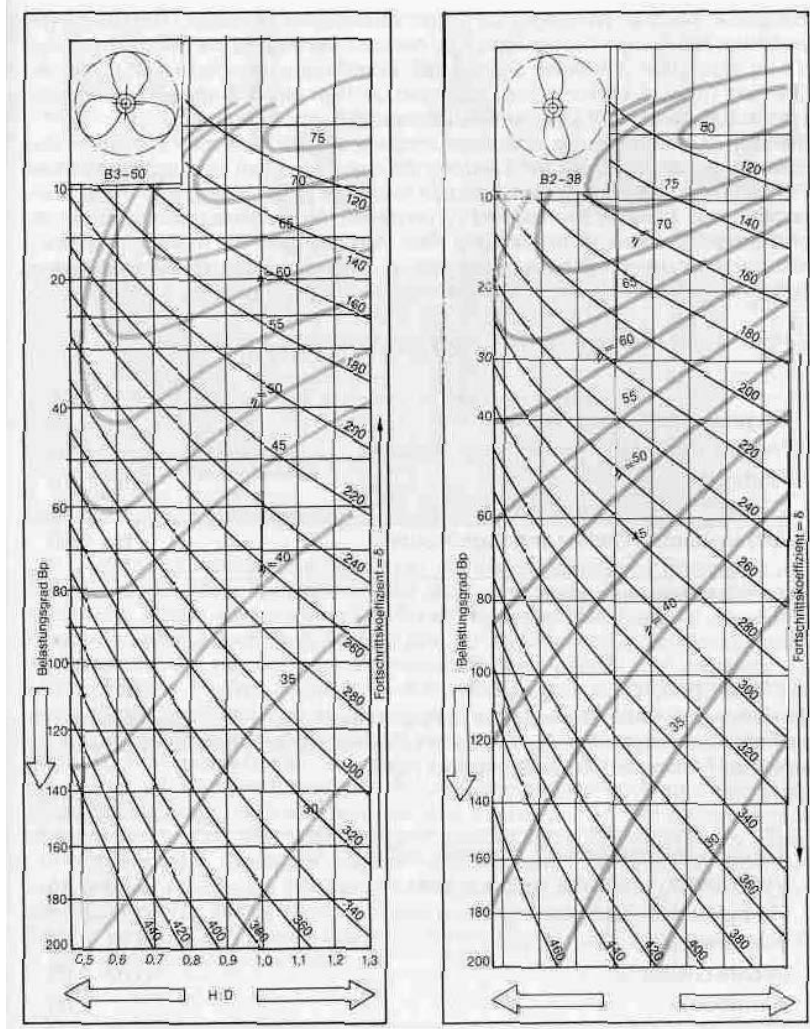
Das Steigungsverhältnis des vorhandenen Propellers ist

$$\text{Steigung : Durchmesser} = 0,56$$

das entspräche einem Wirkungsgrad von ca. 0,47, d.h. 47% der Motorleistung werden in Schub verwandelt.

Hat man keinen Propeller vorliegen, so muß man über Formel 3 den Durchmesser errechnen, indem man vom Schnittpunkt B_P mit der grauen η -Linie den Wert δ (dünnen schwarzen Linien) ermittelt und in Formel 3 einsetzt.

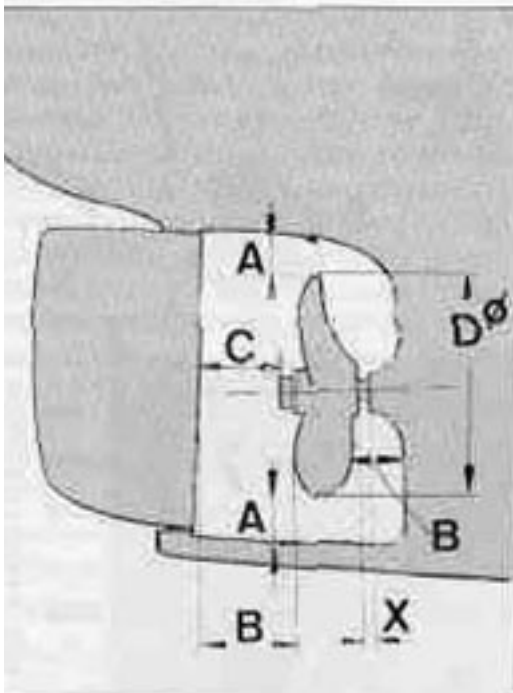
Achtung: Dies ist nur zur oberflächlichen Überprüfung von Propellern mit ähnlichem Flächenverhältnis gedacht.



Die Grafik rechts zeigt das Wirkungsgrad-Diagramm für einen Dreiflügler mit einem Flächenverhältnis von 50% (Wageningen B3-50) und einem Zweiflügler mit einem Flächenverhältnis von 30% (Wageningen B2-30) Über den Belastungsgrad (B_p) kann man das Steigungsverhältnis für einen optimalen Propeller-Wirkungsgrad (η_i) und aus dem Fortschritts-Koeffizienten S den dazu passenden Durchmesser ausrechnen Man kann aber auch umgekehrt aus vorhandenen Daten eines Propellers der Motorleistung und der Wellendrehzahl den Wirkungsgrad kontrollieren

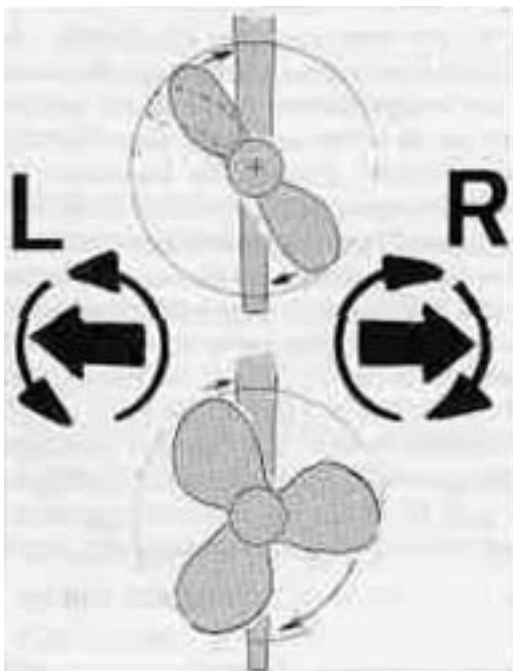
.....
 Propellerabmessungen und Rückwärtsfahrt

Der größte Propellerdurchmesser ergibt sich aus der Rumpfform.



Die Skizze zeigt die wichtigsten Maße für einen Verdränger. Das wichtigste Maß ist (A). Der Abstand des Propellers zum Rumpf sollte mindestens 50 mm bzw. 10% des Durchmessers betragen. Dadurch sollen Laufgeräusche und Verwirbelungen unter dem Rumpf vermieden werden. (B) sollte ca. 30% (D) sein. (C) = 20 mm mehr als Propellernabenlänge, damit man das Ruder bei Propellerwechsel nicht ausbauen muss. X = Hier wird allgemein ca. 10 mm Spiel gelassen.

Ein Propeller arbeitet beim Umlauf in der oberen Stellung in größerem Nachstrom als in der unteren. Dazu kommt, dass der Flügel im Strömungsschatten von Wellenböcken oder dem Kiel in Verwirbelungen einschlägt, die man dadurch auffängt, dass man z.B. 3 statt 2 Flügel baut, dadurch schlägt nicht der ganze Propeller sondern immer nur ein Flügel durch den Wasserwirbel.



Die unterschiedlichen Störungen der Ober- und Unterseite des Prop-Strahls führen zu seitlichem Schub, der das Heck bei Rechtslauf des Propellers nach rechts und bei Linkslauf nach links

drückt. Fährt man rückwärts, dreht der Propeller entgegengesetzt und zieht dementsprechend das Heck zur anderen Seite (ein Propeller drückt das Heck immer in Drehrichtung) Bei Vorwärtsfahrt merkt man das kaum, bei Rückwärtsfahrt kann es sich jedoch beim Manövrieren sehr stark bemerkbar machen und man hat dem Propellerschub entsprechend eine „gute“ und eine „schlechte“ Anlegeseite. Bei schlecht konzipierten Rümpfen geht das so weit, dass man trotz hartgelegtem Ruder das Boot nicht gegen den seitlichen Propellerschub steuern kann.

Dieser Rückwärtseffekt ist umso ausgeprägter je geneigter die Welle und der Prop am Heck in das Wasser fährt und je näher der Propeller am Totholz bzw. dem Kiel sitzt.

Bei modernen Rümpfen ist der Wellenaustritt meist waagrecht und der Kurzkiel weit vom Propeller entfernt, dadurch fahren diese Boote rückwärts „wie am Schnürchen“, man stellt (fast) keinen „Rückwärts“-Effekt fest.