

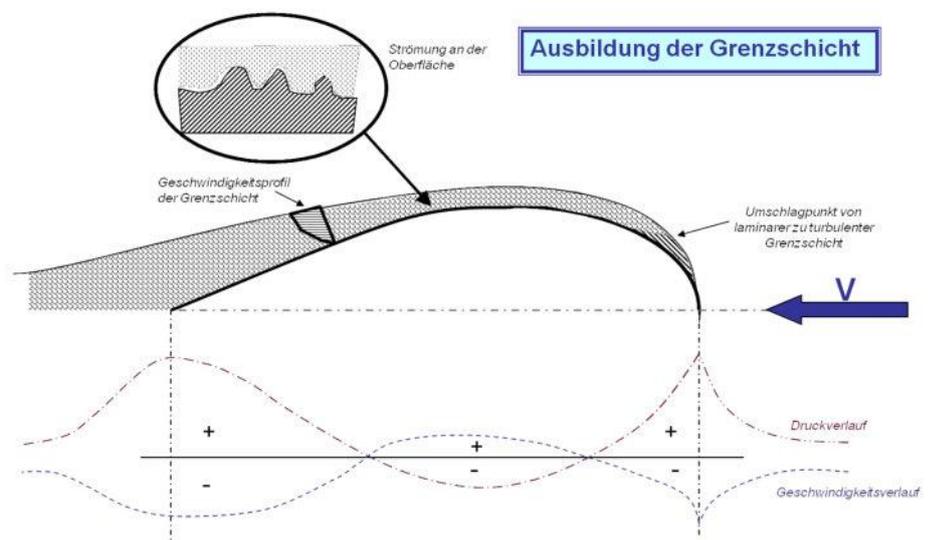
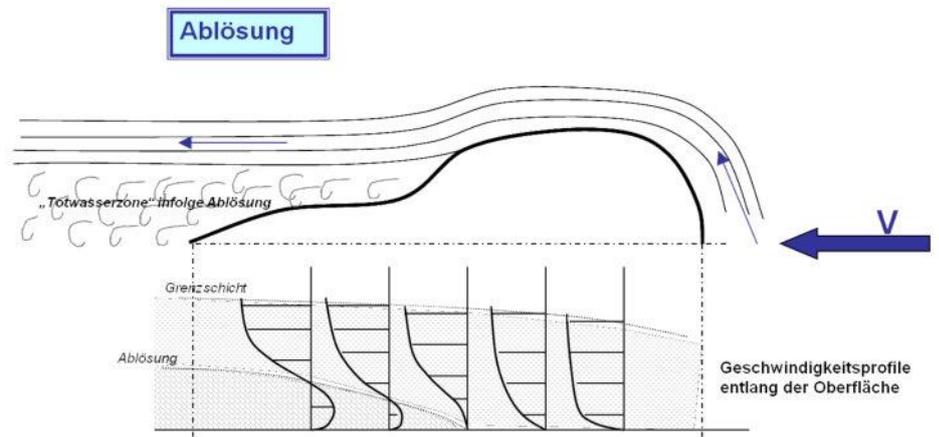
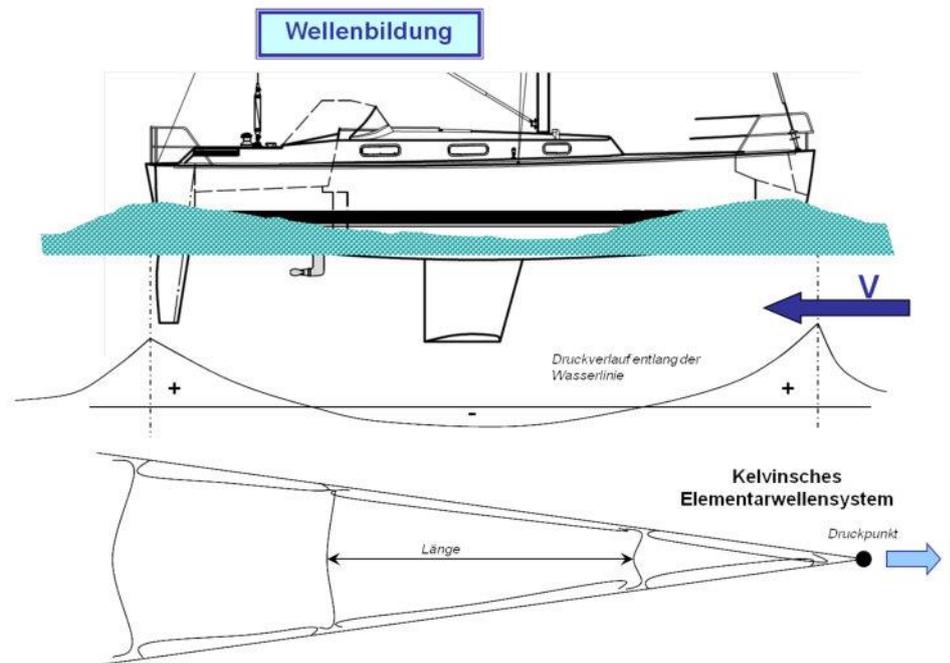
# Wie schnell kann ein Schiff fahren?

(von Knut-Michael Buchalle)

Für jedermann ist es möglich die Höchstgeschwindigkeit eines Autos direkt mit dessen Motorleistung in Verbindung zu setzen. Je mehr PS bzw. KW unter der Haube umso schneller fährt es.

Experten sehen dann noch ein paar kleine Unterschiede. Ein kleines, flaches und leichtes Auto erreicht mit 100 PS eine etwas höhere Endgeschwindigkeit als ein großes, hohes und schweres Auto.

Es ist schon etwas länger her, dass in Autoprospekten regelmäßig ein Beiwert für den Luftwiderstand, der cw Wert angegeben wurde. Diese Angabe wurde für Werbezwecke benutzt und jedem war klar, wenn er klein ist, dann ist es gut. Es war jedoch nicht jedermann bewusst, dass es sich dabei um einen dimensionslosen Beiwert, oder anders ausgedrückt um einen Gütegrad der von vorn angeströmten Karosserie handelte, der alleine noch nicht die Aussage zur Höchstgeschwindigkeit oder



zum Energieverbrauch ermöglicht. Die zuerst genannten Attribute, klein, flach, leicht gehören halt ebenfalls zur Bewertung des Autos dazu. So können zwei Fahrzeuge mit gleichem cw Wert am Ende jedes eine andere Höchstgeschwindigkeit erreichen.

Übertragen auf Schiffe verhält es sich ähnlich. Wie schnell ein Schiff mit einer bestimmten Motorleistung fahren kann, hängt von vielen Faktoren ab. Hier wären es Länge, Breite, Tiefgang und Gewicht. Hinzu kommt, dass ein Schiff im Wasser fährt, genauer gesagt, an der Grenzschicht zwischen Wasser und Luft.

Damit unterscheidet sich die Strömungslehre bei Schiffen doch sehr von der Lehre bei Autos und Flugzeugen. Schiffe erzeugen eine gut sichtbare Oberflächenwelle die im Allgemeinen als Bug- und Heckwelle bezeichnet werden.

Das mit einer konstanten Geschwindigkeit fahrende Schiff befindet sich im Gleichgewichtszustand, d.h. die von der Antriebsmaschine erzeugte Leistung entspricht dem Widerstand des Rumpfes bei seiner Fahrt durchs Wasser.

Wie setzt sich der Widerstand des Rumpfes nun zusammen? – Der Luftwiderstand, der oberhalb der Wasserfläche vorhanden ist, wird bei langsamen Schiffen üblicherweise vernachlässigt. Die Dichte von Luft beträgt  $1,25 \text{ kg/m}^3$ , die von Wasser  $1000 \text{ kg/dm}^3$ .

Konzentrieren wir uns also auf die Abläufe, die zwischen Rumpf und Wasser passieren.

Der Rumpf bewegt sich mit einer Geschwindigkeit durch das stehende Wasser. Ähnlich wie bei einem Gegenstand, den ich über den Tisch ziehe ist zunächst eine Reibung zwischen Rumpfoberfläche und dem Wasser vorhanden.

Wasser und Reibung? – Was bei einem festen Stoff wie der Tischoberfläche noch leicht verständlich ist, ist für den Laien bei einem flüssigen Medium etwas schwieriger nachzuvollziehen. So werden Flüssigkeiten zwar als Schmierung zwischen zwei festen Stoffen eingesetzt, aber dienen damit nur zur Reduzierung der Reibung. Es besteht also auch zwischen Flüssigkeiten und festen Stoffen eine, wenn auch geringe Reibung, die damit einen Teil des Rumpfwiderstandes ausmacht.

Die Ausbildung der Bug- und Heckwellen zeigt, dass es noch weitere Widerstandsanteile geben muss. Die Wellenbildung ist ein Indiz für eine Veränderung des Wasserdrucks entlang der Rumpfoberfläche. Am Bug steigt der Druck an, fällt entlang der Schiffsseite wieder ab, um am Heck des Schiffes wieder anzusteigen. Neben der Höhe der Druckveränderungen ist hier noch die Länge der Druckberge und Täler von Interesse.

Die Wellenbildung wurde von William Froude (1810 – 1879) näher untersucht. Er definierte die Froudezahl, die noch bis heute sehr gut den Fahrtzustand eines Schiffes beschreibt.

Die Froudezahl ergibt sich aus der wellenbildenden Länge und der Schiffsgeschwindigkeit. Der Zustand der Rumpfgeschwindigkeit wird bei einer Froudezahl von 0,4 erreicht. Rumpfgeschwindigkeit bedeutet für ein sogenanntes Verdrängerfahrzeug die Höchstgeschwindigkeit. Gemäß dieser Definition erreicht z.B. ein 36 m Schiff bei der Froudezahl 0,4 eine Geschwindigkeit von 14 kn, wenn die Motorleistung dafür ausreichen würde.

Die erforderliche Motorleistung ergibt sich aus der Widerstandskraft des Schiffsrumpfes bei einer bestimmten Geschwindigkeit. Die Leistung ist die Multiplikation aus Kraft und Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade. Da die Motorleistung über einen Propeller in Vortriebskraft umgesetzt wird, sind hier noch eine ganze Reihe von Teilgrößen zu berücksichtigen, die aber am Ende in einem Gesamtgütegrad der Propulsion zu einem Faktor zusammengefasst werden. Zur Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung bei einer konstanten Geschwindigkeit ist, wie schon gesagt, die Vortriebskraft gleich groß zur Widerstandskraft. Bei einer Motorleistung von 400 kW (540 PS) und einer Geschwindigkeit von 12 kn hat das 36 m Beispielschiff bei einem geschätzten Propulsionsgütegrad von 0,75 einen Rumpfwiderstand von 85,79 kN.

Wenn die mögliche Rumpfgeschwindigkeit von 14 kn erreicht werden soll, wäre dann überschlägig eine Motorleistung von 470 kW (640 PS) erforderlich.

Diese Leistungsprognose war jetzt stark vereinfacht, denn die Zunahme des Rumpfwiderstandes findet nicht linear zum Anstieg der Schiffsgeschwindigkeit statt. Erschwerend kommt hinzu, dass mit zunehmender Schiffsgeschwindigkeit der Wirkungsgrad des Propellers schlechter wird.

Die exakte Ermittlung des Rumpfwiderstandes und der damit erforderlichen Motorleistung ist also ein gutes Stück Arbeit, besonders wenn man noch die Einflussgrößen bei der Propulsion hinzunimmt. Die verschiedenen Widerstandsteilgrößen des Rumpfes und die Umsetzung der Motorleistung in Vortriebskraft müssen untersucht werden. Dies lässt sich mit statistisch-empirischen Prognoseverfahren, Modellversuchen oder modernen CFD-Verfahren machen. Dabei hat jedes Verfahren seine Grenzen der Zuverlässigkeit.

Sehr viel aufwendiger werden die Betrachtungen bei schnellen Schiffen, die den Zustand des teilweisen Gleitens (Froudezahl 0,4 bis 1,0) und den Zustand des reinen Gleitens (Froudezahl >1) erreichen. Also einen Zustand, wo das Schiff über seine eigene Bugwelle hinweg fährt. Hier gibt es sehr viel mehr nennenswerte Teilgrößen für den Rumpfwiderstand und auch der Windwiderstand des Überwasserschiffs kann hier wieder eine beachtenswerte Größe annehmen.

Die mögliche Endgeschwindigkeit eines Schiffes allein in Bezug zu seiner Motorleistung zu setzen, so wie es gern bei Autos gemacht wird, ist nicht möglich. Erst die ganzheitliche Betrachtung aller Parameter liefert hier eine verlässliche Aussage. Es ist also ein Gebiet für Fachleute.

Dem interessierten Laien bleibt die Möglichkeit eine erste Abschätzung mit Hilfe der Froudezahl zu machen.