

## Bemerkungen zum praktischen Wettbewerb im Daniel-Düsentreib-Preis, 2003/2004

TUHH, Ab 3-13, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Jensen

Das Schiff muß schwimmen. Nach dem Archimedischen Prinzip ist das der Fall, wenn das Gewicht des Körpers dem Gewicht des verdrängten Wassers entspricht:

$$G = \rho g \nabla \quad (1)$$

mit  $G$  = Gewicht des Schiffs,

$\rho$  = Dichte des Wassers,

$g$  = Erdbeschleunigung und

$\nabla$  = Volumen des verdrängten Wassers = Volumen des getauchten Teils des Schiffskörpers.

In der Gleichgewichtslage liegen der Gewichtsschwerpunkt des Schiffes und der Volumenschwerpunkt des verdrängten Wassers senkrecht übereinander. Die Gleichgewichtslage ist stabil, wenn der Volumenschwerpunkt bei einer angenommenen Neigung des Schiffes stärker seitlich auswandert als der Gewichtsschwerpunkt.

Das Schiff soll schnell fahren mit einer gegebenen Antriebsleistung  $P$ . Auskunft über die erzielbare Geschwindigkeit  $v$  des Schiffes erhält man aus

$$P = \frac{Rv}{\eta_d \cdot \eta_m} \quad (2)$$

Hier bedeuten

$P$  = Power = Antriebsleistung

$R$  = Resistance = Widerstand = Kraft, die benötigt wird, um das Schiff mit gleichmäßiger Geschwindigkeit  $v$  geradeaus durch das Wasser zu ziehen,

$v$  = velocity = Geschwindigkeit, mit der das Schiff fährt,

$\eta_d$  = Wirkungsgrad bei der Übertragung der Antriebsleistung vom Propulsor (z.B. Propeller, Schaufelrad, Fischschwanzflosse) in die Vortriebsleistung zur Überwindung des Widerstands,  $Rv$ , und

$\eta_m$  = Wirkungsgrad der mechanischen Übertragung zum Propulsor.

Um eine möglichst hohe Geschwindigkeit zu erzielen, muß also einerseits der Motor mit der Drehzahl und mit dem Drehmoment betrieben werden, bei dem er seine höchste Leistung abgibt, und andererseits sollten die Wirkungsgrade so hoch wie möglich und der Widerstand so klein wie möglich sein.

Der Zusammenhang zwischen Schiffswiderstand und Schiffsform und Geschwindigkeit ist aufgrund der komplizierten Strömungsphysik nur schwer berechenbar, aber Ingenieure sind ja praktische Menschen und haben den Widerstand in verschiedene Anteile zerlegt, für die man zumindest prinzipielle Vorstellungen zwischen Ursache und Wirkung hat. So eine vereinfachte Modellvorstellung ist zum Beispiel:

$$R = R_F + R_{VP} + R_W \quad (3)$$

$R_F$  = Friction Resistance = Reibungswiderstand, der durch das Vorbeigleiten des Wassers an der Schiffsoberfläche entsteht. (Diese Vorstellung ist physikalisch falsch. Das Wasser haftet an der Oberfläche, der Widerstand entsteht durch innere Reibung im Wasser in der Grenzschicht um das Schiff).  $R_F$  ist für glatte Flächen in einer etwas komplizierten Weise von der Geschwindigkeit und den Eigenschaften des Wassers und der Körperform abhängig. Es genügt hier aber zu wissen, dass  $R_F \sim Sv^2$ , also proportional zur benetzten Oberfläche  $S$  („S“ wie Surface) und dem Quadrat der Geschwindigkeit ist. Eine kleine benetzte Oberfläche ist also erstrebenswert.

$R_{VP}$  = Viscous Pressure Resistance = Viskoser Druckwiderstand. Dieser hängt stark von der Schiffsform ab. Grundsätzlich ist zu sagen, dass er bei einer guten Form im Verhältnis zu den beiden anderen Anteilen sehr klein sein kann, wenn aber Strömungsablösung an stumpfen Enden oder Ecken und Kanten auftritt, ist  $R_{VP}$  sehr groß!

$R_W$  = Wave Resistance = Wellenwiderstand. Der Wellenwiderstand hängt mit der Bildung des durch das Schiff erzeugten Wellensystems zusammen. Er hängt von der Schiffsform und der Geschwindigkeit ab. Die mit der Schiffslänge  $L$  und der Erdbeschleunigung gebildete dimensionslose Froudezahl:

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{gL}} \quad (4)$$

charakterisiert das Wellensystem. Relativ schwere Schiffe, wie praktisch alle Handelsschiffe, fahren Geschwindigkeiten mit  $F_n \ll 0.4$ . Wenn ein schweres Schiff sich dieser als Rumpfgeschwindigkeit bezeichneten Grenze nähert, steigt der Wellenwiderstand stark an, was auch äußerlich an der Zunahme der Wellenbildung zu erkennen ist. Leichte Schiffe können diese Grenze überwinden, wobei der Widerstandsanstieg nach Überwinden dieser kritischen Grenze wieder flacher verläuft.

Das Schiff soll geradeaus fahren. Wenn man sich dieser Frage widmet, sollte man sich vielleicht zunächst anschauen, warum ein Schiff überhaupt auf einer gekrümmten Bahn, z.B. auf einer Kreisbahn fährt. Dazu muß das Wasser eine Kraft in Richtung Kreismittelpunkt ausüben, die der Zentrifugalkraft  $mv^2/R$  entspricht. Der Schiffskörper wirkt dabei wie ein Tragflügel, der vom Ruder angestellt wird. Aufgrund der Druckverteilung an einem Tragflügel mit sehr kleinem Seitenverhältnis kann man zeigen, dass ein möglichst weit hinten liegendes Ruder den besten Effekt hat. Es ist aber natürlich wünschenswert mit möglichst geringer Einflußnahme durch das Ruder geradeaus zu fahren. Die einfachste Modellvorstellung zur Kursstabilität geht von einem durch eine Störung sich geringfügig aus seiner geraden Bahn drehenden Schiffs aus. Greift dann die hydrodynamische Kraft hinter dem Massenschwerpunkt an, wird die Drehung abgebremst, andernfalls verstärkt. Einen weiter hinten liegenden Angriffspunkt der Kraft erreicht man offenbar durch Anbringen von Flossen im hinteren Ende des Schiffs.