



1.3 Schiffswiderstand und Vortrieb¹

1.3.1 Schiffswiderstand

Wir wissen aus Erfahrung, dass wir einen gewissen Widerstand oder besser eine Widerstandskraft überwinden müssen, um einen festen Körper in Gasen oder Flüssigkeiten zu bewegen.

Diese Widerstandskraft, die z.B. mit der Schlepptrasse eines geschleppten Schiffes gemessen werden könnte, muss bereits vor dem Bau eines Schiffes bestimmt werden. Das Schiff ist für eine vorgesehene Geschwindigkeit und Antriebsleistung in Auftrag gegeben worden, und beide Größen sind mit dem Schiffswiderstand verbunden.

In der einfacheren Mechanik wird der Widerstand eines Körpers in einem strömenden Medium nach folgender Formel bestimmt:

$$F_W = c_W \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

mit

- F_W Strömungswiderstand,
- c_W Widerstandsbeiwert, abhängig von der Form des umströmten Körpers,
- A größter der Strömung entgegenstehender Körperquerschnitt,
- ρ Dichte des strömenden Mediums,
- v Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und Medium.

So erfreulich einfach diese Formel ist, so ungenau sind leider auch die ermittelten Widerstände für Schiffe, da bei ihnen der Widerstand von mehr als von v^2 abhängig ist. Wir dürfen die Formel deshalb nur bei Überschlagsrechnungen benutzen. Die folgende Tabelle enthält einige c_W -Werte:²

Schiffstyp	Geschwindigkeit [kn]	c_W
Größerer Stückgutfrachter L = 150 m, $C_B = 0,7$	16	0,071
	14	0,065
Großer Tanker L = 350 m, $C_B = 0,85$	15	0,037
Großer Containerschiff L = 270 m, $C_B = 0,6$	29	0,093
	25	0,068

Früher wurden die c_W -Werte als sogenannte „Admiralitätskonstante“ nach der Gleichung

$$c = \frac{D^{\frac{2}{3}} \cdot v^2}{F_W}$$

In ähnlicher Weise wird c_W viel genutzt.

¹ *Quelle:* Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. (Hrsg.): Schiffstechnik und Schiffbautechnologie; Hamburg: Seehafen Verlag GmbH, 2006, 2. Aufl.; ISBN 3-87743-817-2, S. 10ff
 P. Kaltenbach, H. Meldau: Physik für Seefahrer – Band 1: Mechanik – Wärme – Optik; Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1960, 9. Aufl.; S.176 ff

² Rainer Alte: Schiffbau kurzgefaßt; Hamburg: Schifffahrts-Verlag „Hansa“ C. Schroedter & Co.; S. 57 f; ISBN 3-87700-028-2



Der Schiffswiderstand kann nur genauer bestimmt werden, wenn wir die dafür verantwortlichen physikalischen Größen näher untersuchen:

Da zumindest ohne Gegenwind der Luftwiderstand nur einen kleinen Anteil am insgesamt zu überwindenden Widerstand hat und wir zunächst von ruhiger See ausgehen wollen, ist das Entscheidende der Widerstand durch das Wasser (R_T).

Die Umströmung des Schiffskörpers ist auch ohne die Wirkung der Propeller sehr kompliziert. Dies hat vor allem zwei Ursachen:

- Aufgrund des Dichteunterschiedes zwischen Wasser und Luft bildet sich auch bei ansonsten ruhigem Wasser ein Wellenfeld um das fahrende Schiff, das Energie abtransportiert, die dem Wasser vom Schiff ständig neu zugeführt werden muss.
- Wasser, wie alle anderen Flüssigkeiten und Gase, haftet an allen festen Rändern, also auch an der Schiffsaußenhaut. Bei Schiffen sind die Geschwindigkeitsverhältnisse und die inneren Reibungskräfte so, dass sich komplizierte örtlich und zeitlich chaotisch schwankende Strömungsgeschwindigkeiten (turbulente Strömung) in der Nähe der Außenhaut entwickeln, die im Detail nicht erfassbar und vorher bestimmbar sind. Sie beeinflussen aber erheblich die auftretenden Tangentialkräfte an der Schiffsaußenhaut.
- Darüber hinaus können sich insbesondere am hinteren Schiffsende oder an lokalen „Strömungshindernissen“ größere Bereiche mit chaotischer Strömung ausbilden. Man spricht hier von Strömungsablösung.

Zum Verständnis der Beeinflussungsmöglichkeiten und zur Erfassung des Schiffswiderstandes gibt es basierend auf Ideen von William Froude³ das Konzept der Aufteilung des Widerstandes in drei Komponenten:

$$R_T = R_W + R_F + R_{VD}$$

R_W	Wellenwiderstand	hängt mit dem Druckfeld, das dem mitlaufenden Wellenfeld zugeordnet werden kann, zusammen
R_F	Reibungswiderstand	Zusammenhang mit den Tangentialkräften an der Außenhaut durch die Haftung des Wassers und der turbulenten Strömung in der Grenzschicht
R_{VD}	Druck- oder Formwiderstand	(viskoser) Druckwiderstand (hängt mit Druckunterschieden zusammen, die durch Strömungsablösung und Reibungsverluste entstehen). Natürlich gibt es erhebliche Wechselwirkungen zwischen den dieser Modellvorstellung zugrunde liegenden Strömungsphänomenen. Bei der Deutung von Widerstandsmessungen werden die dabei entstehenden Widerstandskräfte häufig pauschal dem Wellenwiderstand oder dem viskosen Druckwiderstand zugeordnet

Wellen- und Druck- /Formwiderstand werden oft zum sogenannten Restwiderstand zusammengezählt:

$$\text{Restwiderstand } R_R = R_W + R_P$$

³ William Froude (IPA: [frud]) (November 28, 1810, to May 4, 1879) was an engineer, hydrodynamicist and naval architect. He was the first to formulate reliable laws for the resistance that water offers to ships (such as the hull speed equation) and for predicting their stability.

1.3.1.1 Wellenwiderstand

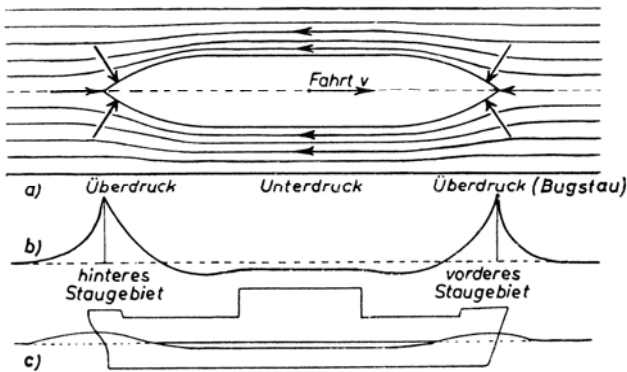


Bild 1.3.1.1-1
 a) Tauchkörper in reibungsfreier Flüssigkeit fahrend
 b) Druckkräfte am Tauchkörper
 c) Bug- und Heckwelle am fahrenden Schiff

Ein Schiff, das sich an der Wasseroberfläche bewegt, verursacht durch seine Verdrängungswirkung eine Ausweichströmung des Wassers. Die dabei entstehenden Druckunterschiede (vorn und hinten Druckerhöhung, an den Seiten, insbesondere an den Übergängen zu Vor- und Hinterschiff, Druckverminderung) äußern sich als Wellen an der Wasseroberfläche, denn Druckerhöhung verursacht einen Wellenberg und Druckminderung ein Wellental.

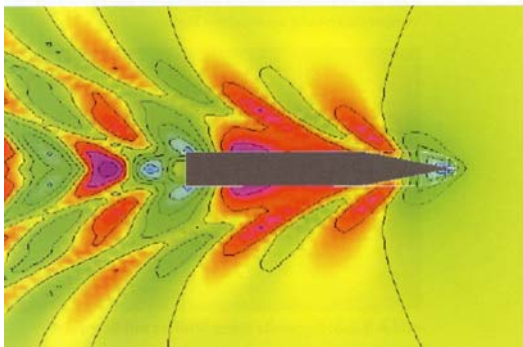


Bild 1.3.1.1-2
 Wellensystem als Computersimulation
 (grün: Wellenberge, rot: Wellentäler)

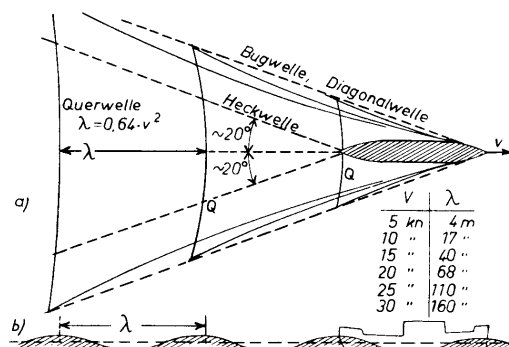


Bild 1.3.1.1-3
 Das fahrende Schiff als Wellenerreger
 a) von oben, b) von der Seite gesehen

Die damit zusammenhängenden Wellenerhebungen bewegen sich mit dem Schiff und zur Seite, so dass ein Wellenfeld entsteht, das in Bild 1.3.1.1-2 als Computersimulation dargestellt ist. Dieses Wellensystem besteht aus leicht gekrümmten Diagonalwellen, die unabhängig von der Geschwindigkeit unter einem Winkel von je 20° zur Fahrtrichtung schräg seitwärts nach hinten laufen und Querswellen, deren Berge quer zum Kurs liegen. Deren Wellenlänge λ ist proportional zum Quadrat der Ausbreitungsgeschwindigkeit: $\lambda = 0,64 \cdot v^2$ (vgl. Bild 1.3.1.1-3). Das heißt, schnelle Schiffe machen längere Wellen. Ein Schiff, das wenig Wellen erzeugt, hat einen niedrigeren Wellenwiderstand. Ein Teil der Querswellen kann sich durch günstige Interferenz abmindern oder durch ungünstige Interferenz verstärken.

Wegen des zuvor erwähnten Zusammenhanges zwischen Wellenlänge und Geschwindigkeit ergibt sich damit, anders als zum Beispiel beim Luftwiderstand von Autos, ein etwas ungleichmäßiger Anstieg des Wellenwiderstandes mit der Geschwindigkeit. Es gibt günstige und ungünstige Geschwindigkeiten (Bild 1.3.1.1-4). Hierbei kommt man zu allgemein gültigen Aussagen, wenn man die Geschwindigkeit durch die Wurzel der Schiffslänge (wegen des quadratischen Zusammenhanges von Wellenlänge und Geschwindigkeit) und die Wurzel der Erdbeschleunigung (damit wird der Ausdruck dimensionslos) teilt. Diese dimensionslose Geschwindigkeit nennt man nach William Froude Froude'sche Zahl F , Man kann daher allgemein sagen, dass große Schiffe bei gleicher Geschwindigkeit bezüglich des Wellenwiderstandes günstiger sind. Die Verteilung des eingetauchten Volumens hat einen erheblichen Ein-

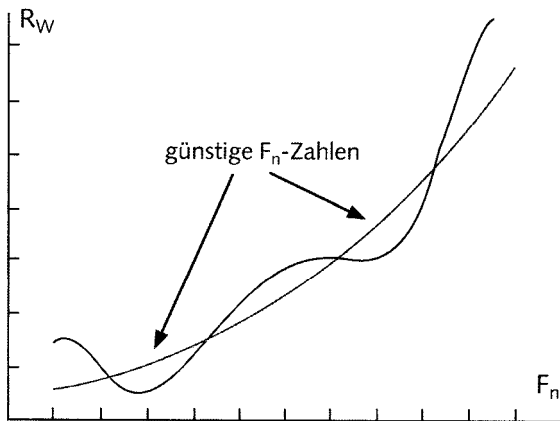


Bild 1.3.1.1-4
 Verlauf des Wellenwiderstandes in Abhängigkeit von der Froude'schen Zahl⁴

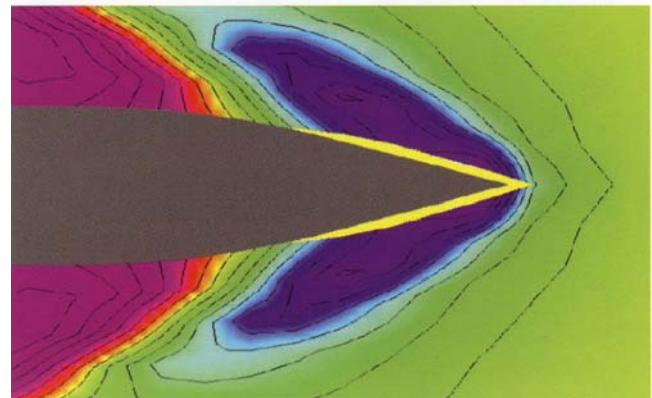


Bild 1.3.1.1-5
 Bugwelle eines Schiffes mit Bugwulst

$$F_n = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}$$

fluss auf den Wellenwiderstand. Lange schlanke Schiffe haben prinzipiell einen kleineren Wellenwiderstand, allerdings durch die bei gleichem Volumen höhere benetzte Oberfläche einen höheren Reibungswiderstand. Außerdem wird bei einem längeren Schiff relativ mehr Material verwendet, so dass die Baukosten und das Schiffseigengewicht zunehmen. Die Wahl einer geeigneten Länge ist also ein Kompromiss. Aber auch innerhalb gegebener Hauptabmessungen bleibt noch viel Spielraum, die Schiffsform so zu variieren, dass der Wellenwiderstand minimal wird. So hat sich für die meisten Schiffe gezeigt, dass die Anbringung eines Bugwulstes (Bild 1.3.1.1-5) den Wellenwiderstand vermindern kann.

1.3.1.2 Reibungswiderstand

Der Reibungswiderstand resultiert aus den mit der Umströmung zusammenhängenden Schubspannungen auf die Außenhaut. Bei glatten Körpern lässt er sich mit den Messergebnissen von in Längsrichtung angeströmten Platten rechnerisch gut annähern. Entscheidend ist dabei, dass er proportional zur benetzten Oberfläche und dem Quadrat der Geschwindigkeit und dem Reibungswiderstandsbeiwert C_F ist. C_F wiederum sinkt (bei gegebener Geschwindigkeit) etwas mit steigender Wassertemperatur, Geschwindigkeit und Länge.

Heute wird meistens ein Reibungswiderstandsbeiwert C_F nach ITTC (International Towing Tank Conference) bestimmt, da die Ermittlung der einzelnen Schubspannungen zu kompliziert ist. Der Reibungswiderstand ist dann:

$$R_F = C_F \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A_S$$

A_S ist in dieser Formel die Oberfläche des sich im Wasser befindlichen Schiffsteils und wird oft nur nach Näherungsformeln bestimmt. Diese Formeln ergeben gute Werte, wenn es sich um übliche Schiffsformen handelt, bei Sonderformen ist eine mühsame Bestimmung der Oberfläche erforderlich.

⁴ Die Froude'sche Zahl stellt eine Ähnlichkeitskennzahl dar: $F = \text{Trägheitskraft} / \text{Schwerkraft}$
 vgl. Forschungszentrum Karlsruhe: Wissenschaftliche Berichte FZKA 5903; 1997; S. 13

Näherungsformeln für A_S :

$$A_S = 2,6 \cdot \sqrt{V \cdot L_{WL}}$$

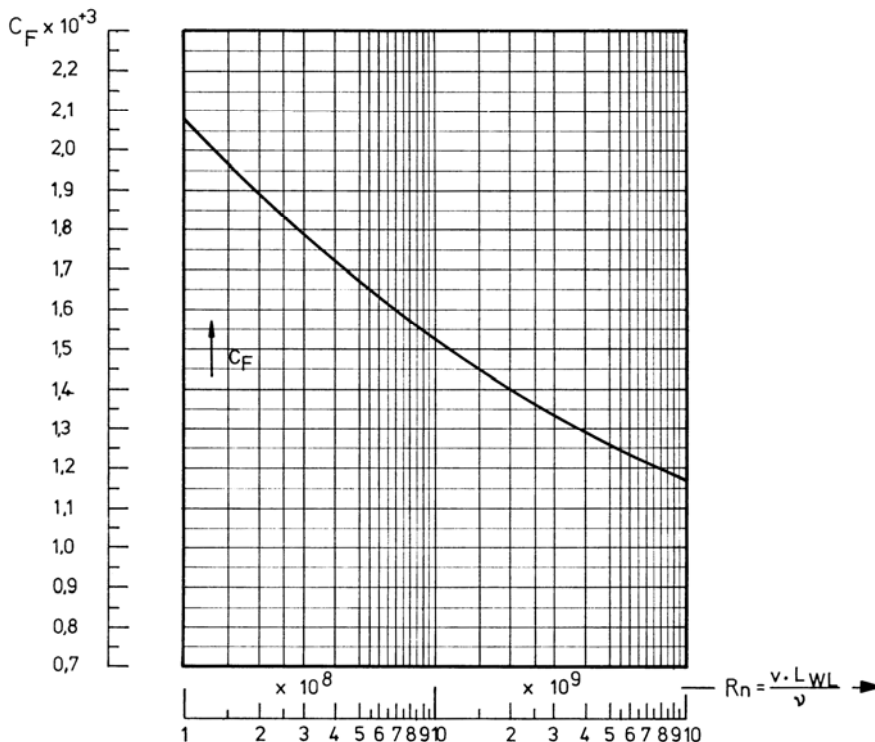
oder nach Lap:

$$A_S = (3,4 \cdot \sqrt[3]{V} + 0,5 \cdot L_{WL}) \cdot \sqrt[3]{V}$$

C_F kann aber auch mit Hilfe der folgenden Tabelle bestimmt werden. Für die auf der Abszisse aufgetragene Reynolds-Zahl⁵ R_n benötigen wir noch die kinematische Zähigkeit ν , die folgender Tabelle entnommen werden kann:

Tabelle: Zähigkeitswerte⁶ für Wasser

	Temperatur in °C					
	5	10	15	20	25	30
Kinematische Zähigkeit ν für Süßwasser in $10^{-6} \frac{m^2}{s}$	1,519	1,308	1,141	1,007	0,896	0,804
Kinematische Zähigkeit ν für Seewasser in $10^{-6} \frac{m^2}{s}$	1,565	1,356	1,191	1,057	0,946	0,853



**Bild 1.3.1.2-1:
Reibungsbeiwert
 C_F nach ITTC**

Man kann also folgern, dass große Schiffe bezüglich des Reibungswiderstandes günstiger sind, insbesondere weil die benetzte Oberfläche bezogen auf das Gewicht geringer ist.

⁵ Die **Reynolds-Zahl** (Formelzeichen: R_n ; auch Re) ist eine nach dem Physiker Osborne Reynolds benannte dimensionslose Kennzahl. Sie wird in der Strömungslehre verwendet und stellt das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften dar (bzw. das Verhältnis von spezifischer Impulskonvektion zu Impulsdiffusion im System). Für eine ideale Flüssigkeit ohne Viskosität ist das Verhältnis unendlich.

Osborne Reynolds (* 23. August 1842 in Belfast, Nordirland; † 21. Februar 1912 in Watchet in Somerset, England) war ein irischer Physiker.

⁶ Als Zähigkeit (kinematische Viskosität) bezeichnet man den Quotienten aus der dynamischen Viskosität η des Mediums und seiner Dichte ρ .



1.3.1.3 Druck- oder Formwiderstand

Der zähigkeitsbedingte Druckwiderstand entsteht einerseits durch Impulsverluste auf Grund von Reibung. Vor allem aber entsteht diese Widerstandsart, wenn die Strömung sich an zu starken Krümmungen oder Kanten oder zu stumpfen Hinterschiffen ablöst. Damit ist gemeint, dass die Strömung nicht mehr direkt der Schiffsform folgt. Es spielt also insbesondere die Gestaltung des Hinterschiffes eine Rolle, wobei häufig ein Konflikt mit dem erforderlichen Platz für die Unterbringung der Maschinenanlage zu lösen ist. Grundsätzlich sollten aber größere Strömungsablösungsgebiete vermieden werden, weil sonst der Widerstand drastisch ansteigen kann.

1.3.1.4 Luftwiderstand

Der Luftwiderstand ist der hauptsächlich vom Schiffsrumpf und den Aufbauten, Schornstein, Masten, Ladegeschrir usw. verursachte Wirbelwiderstand.

Der Luftwiderstand ohne Gegenwind beträgt meist nur wenige Prozent des Gesamtwiderstandes. Bei starkem Gegenwind kann der Luftwiderstand vor allem auf schnellfahrenden Schiffen aber erheblich ansteigen.

1.3.1.5 Zusätzliche Widerstände

Zusätzlicher Widerstand entsteht vor allem an Schiffsanhängen wie angeströmten Propellerwellen, Wellenböcken, Rudern, Querstrahlruderöffnungen, Schlingerkielen und Flossenstabilisatoren. Die Summe dieser Zusatzwiderstände kann in manchen Fällen mehr als 20 % des Gesamtwiderstandes ausmachen. Auf eine sorgfältige Gestaltung der Anhänge muss daher geachtet werden.

Im praktischen Schiffsbetrieb spielt vor allem die Widerstandserhöhung bei Fahrt im Seegang eine wichtige Rolle. Schiffe mit schlanken Vorschiffsformen sind dabei günstiger als solche mit stumpfen Wasserlinien.

1.3.2 Propulsion

Die allermeisten maschinengetriebenen Schiffe werden von Schraubenpropellern angetrieben. Bei leichten schnellen Schiffen kommen auch Waterjets oder spezielle Oberflächen durchstoßende Propeller zum Einsatz. Im Folgenden wird nur auf die üblichen voll getauchten Propeller eingegangen. Der für die erforderliche Antriebsleistung entscheidende Wirkungsgrad wird üblicherweise in drei Komponenten aufgeteilt, wie schon oben erwähnt.

1.3.2.1 Freifahrtwirkungsgrad η_0

Hiermit wird der Wirkungsgrad bezeichnet, den der Propeller bei freier Anströmung ohne das Schiff hätte. Grundsätzlich sollte man nicht die Vorstellung haben, dass sich ein Schiffspropeller ähnlich einer Schraube im Gewinde durch das Wasser schraubt. Vielmehr sind die Propellerflügel rotierende Tragflügel, die durch Schräganströmung einen Auftrieb (in Richtung der Propellerwelle) erfahren, der als Schub bezeichnet wird. Das Wasser wird entsprechend nach hinten beschleunigt. Obwohl dieser Vorgang relativ kompliziert ist, kann die Strömung, weil Strömungsablösung nur eine geringe und die Wasseroberfläche keine Rolle spielen, relativ genau berechnet werden. Es zeigt sich, dass grundsätzlich große, langsam drehende Propeller einen besseren Freifahrtwirkungsgrad haben als kleine schnell drehende. Andererseits müssen die

Propeller am Schiff untergebracht werden und auf die Maschinenanlage abgestimmt werden. Bei Schiffen, die relativ zu ihren sonstigen Abmessungen nur einen geringen Tiefgang haben (z. B. Fähren, Kreuzfahrtschiffe, Motoryachten, Fregatten), werden daher häufig zwei und in seltenen Fällen auch drei oder vier Propeller verwendet. Dieses kann auch Vorteile bezüglich der Manövrierfähigkeit haben. Der Freifahrtwirkungsgrad liegt typischerweise im Bereich zwischen 0,50 (Tanker) und 0,72 (Fähre).

1.3.2.2 Schiffseinflussgrad η_h

Es besteht eine starke wechselseitige Beeinflussung zwischen dem Schiffsrumpf, Rudern und dem Propeller bzw. den Propellern. Durch die Wirkung des Propellers wird einerseits der Schiffswiderstand erhöht, andererseits wird, bei einem hinter dem Schiffskörper liegenden Propeller, die Zuströmungsgeschwindigkeit etwas reduziert. Dies führt zu mehr Schub bei gleicher Leistung. Der zuletzt genannte Vorteil überwiegt im Allgemeinen die Widerstandserhöhung, weshalb Propeller normalerweise hinten angeordnet werden. η_h liegt normalerweise bei Einschraubern zwischen 1,04 und 1,25 und bei Zweischraubern nahe bei 1. Den Schiffseinflussgrad ohne Experimente zu bestimmen, ist schwierig. Es erfordert einen erheblichen rechnerischen Aufwand.

1.3.2.3 „Relative rotative efficiency“ η_r

Hinter dieser englischen Bezeichnung findet sich eine Kennziffer, die den Unterschied zwischen dem Wirkungsgrad in freier Zuströmung und dem Wirkungsgrad in der ungleichmäßigen Zuströmung hinter dem Schiff bezeichnet. Dieser Wirkungsgrad liegt normalerweise geringfügig über 1.

Anmerkung: Dass hier Wirkungsgrade über 1 vorkommen (also sozusagen der Nutzen größer ist als der Aufwand), liegt daran, dass man eine gewisse willkürliche Zerlegung des Gesamtwirkungsgrades vorgenommen hat, deren einzelne Komponenten eine gewisse anschauliche Bedeutung haben und aus Messwerten bestimmt werden können.



Bild 1.3.2-1:
Modell für Propulsionsversuche

1.3.3 Leistungsbestimmung aus Modellversuchen

Die sicherste und für praktisch alle größeren Schiffe angewandte Methode der Ermittlung des Leistungsbedarfes und der Propellerdrehzahl sind Modellversuche. Dabei werden maßstäbliche Modelle des Schiffes im Wasserbecken (Schlepptank) einer Schiffbau-Versuchsanstalt untersucht. Da sich nicht alle oben erwähnten Komponenten des Widerstandes und der Wirkungsgrade nach den gleichen Maßstabsgesetzen vom Modell auf die Großausführung übertragen lassen, ist das Verfahren eine Kombination von verschiedenen Versuchen und

rechnerischen Abschätzungen. Grundsätzlich werden die Unsicherheiten dieses Verfahrens kleiner, wenn größere Modelle verwendet werden. In professionellen Versuchsanstalten werden daher Modelle verwendet, die etwa 5 bis 10 m lang sind. Der Maßstab hängt natürlich von der Schiffsgröße ab und liegt im Bereich zwischen 1 /10 und 1 /50. Zur Leistungsbestimmung werden normalerweise drei Versuche benötigt:

- Beim Widerstandsversuch wird das Schiffsmodell vom Schleppwagen mit vorgegebener Geschwindigkeit geschleppt und die Schleppkraft (der Widerstand) gemessen. Dieser kann dann rechnerisch unter gewissen Annahmen auf die Großausführung umgerechnet werden.
- Beim Propellerfreifahrtversuch wird der Propeller an einer speziellen Vorrichtung, die für eine ungestörte Zuströmung sorgt, durch den Schlepptank geführt und dabei mit unterschiedlicher Drehzahl angetrieben. Schub und Leistung werden gemessen und damit ein Kennfeld des Propellers für unterschiedliche Betriebsbedingungen gewonnen.
- Beim Propulsionsversuch wird das Schiffsmodell vom Propeller angetrieben. Aus der Messung von Drehzahl, Schub und Leistung werden dann rechnerisch (unter Berücksichtigung des Propellerkennfeldes) η_r und η_h ermittelt. Diese Wirkungsgrade können dann mit Hilfe von spezieller Methoden auf die Großausführung umgerechnet werden.

Schließlich werden aus diesen Ergebnissen der Leistungsbedarf und die Drehzahl für das Schiff unter Vertragsbedingungen prognostiziert.

Außer den oben genannten werden in diesem Zusammenhang auch noch weitere Versuche durchgeführt:

- Bei der Nachstrommessung wird mit Strömungssonden die Strömungsgeschwindigkeitsverteilung am Einbauort des Propellers gemessen. Diese Information wird benötigt, um einen an das Schiff individuell angepassten Propeller zu entwerfen.
- Beim Farbanstrichversuch wird mit Hilfe einer dickflüssigen Farbe der Verlauf der Strömung an der Außenhaut des Schiffsmodelles sichtbar gemacht. Hieraus erhält man einerseits Informationen über mögliche Strömungsablösung, andererseits aber auch Hinweise darauf, wie zum Beispiel Schlingerkiele oder Querstrahlrudergitter strömungsgünstig anzuordnen sind.



Bild 1.3.3-1
Modellversuch für Widerstandsprognosen

1.3.4 Kavitation

Mit Kavitation [cavitas, cavum (lat.): Höhle, Hohlraum] wird eine Erscheinung, die in Strömungen von flüssigen Medien eine wichtige Rolle spielen kann, bezeichnet, bei der es in Gebieten mit sehr niedrigem Druck zur Bildung von Dampf gefüllten Hohlräumen kommt. In der Schiffsumströmung ist hier insbesondere der Propeller kritisch. Da der Propellerschub letztlich durch Druckdifferenzen an den Propellerflügeln entsteht, gibt es dort immer Zonen mit sehr geringem Druck. Wo der Druck nun den so genannten Dampfdruck unterschreitet - das ist der Druck, bei dem Wasser bei der aktuellen Temperatur siedet -, entstehen Kavitationsblasen oder Schichten. Kavitation kommt auch an Rudern und anderen Anhängen des Schiffskörpers sowie in Pumpen und Rohrleitungen vor. Die wichtigsten Auswirkungen der Kavitation sind Kavitationserosion, Geräusche und Druckimpulse auf die Schiffsaußenhaut.

- Kavitationserosion bezeichnet den Abtrag von Material in den Bereichen, wo Kavitationsblasen beim Eintritt in Bereiche mit höherem Druck wieder kollabieren. Dadurch können erhebliche Schäden an Propellern, Rudern usw. entstehen.
- Wachstum und Zerfall von Kavitationsblasen verursachen Stöße in der Strömung, die sich als Schallwellen fortpflanzen. Dieses typische knatternde Geräusch ist nicht nur störend für Personen an Bord und die Umwelt, sondern ermöglicht als abgestrahlter Wasserschall auch die Detektion eines Schiffes mit Hydrophonen.
- Die Volumenänderungen in der Strömung durch die Kavitation wirken sich in einem Abstand vom Propeller als schwankender Druck in der Strömung aus. Dieser überträgt sich auf die Schiffsaußenhaut und ist eine der Hauptursachen für unangenehme Vibrationen an Bord.

Zur Untersuchung und Vorhersage werden Modelle der Schiffspropeller unter bestimmten Druckverhältnissen in Strömungskanälen untersucht. Da die Ausprägung der Kavitation außer von der Form des Propellers auch von seiner Anströmung abhängt, muss diese im Versuch mitmodelliert werden. Am besten geschieht dies, indem in einem großen Kavitationstunnel der Schiffskörper und der Propeller gemeinsam eingebaut werden.

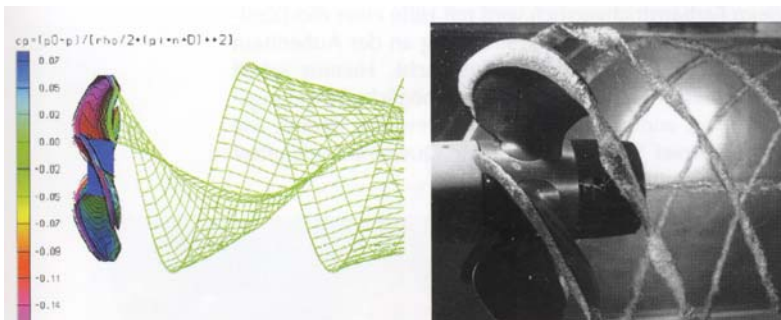


Bild 1.3.4-1
Propeller im Kavitationstunnel und in der CFD-Simulation

Sowohl für die Untersuchung der Propulsion als auch der Kavitation werden heute computergestützte, numerische Berechnungsverfahren (CFD = Computational Fluid Dynamics) eingesetzt. CFD-Verfahren haben inzwischen einen Leistungsstand erreicht, der es ermöglicht, sie gezielt für den Schiffsentwurf in der frühen Projektphase einzusetzen, um die Schiffsförmung zu optimieren und die Zeit für den Linienentwurf wesentlich zu verkürzen. Verschiedene Varianten können in enger Abstimmung mit dem Kunden im „Numerischen Schlepptank“ in Computerprogrammen getestet werden, um den Leistungsbedarf zur Erreichung der vereinbarten Geschwindigkeit zu minimieren. Dies ist deshalb möglich, weil in der Computersimulation Unterschiede zwischen Varianten deutlich werden, während für die treffsichere Ermittlung der absoluten Widerstandswerte noch immer ein abschließender Modellversuch erforderlich ist.

1.3.5 Antriebsleistungsbedarf

Die Antriebsleistung in Kilowatt (kW), die an den oder die Schiffspropeller übertragen werden muss, damit sich das Schiff mit der vorgesehenen Geschwindigkeit durch das Wasser bewegt, ist mitentscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines Schiffes. Hierdurch werden einerseits Brennstoffverbrauch und Kosten und andererseits die Größe der Antriebsmaschine und die damit verbundenen Investitions- und Wartungskosten festgelegt.

Der Antriebsleistungsbedarf und die Leistungsübertragung entstehen durch die Wasser- und Luftumströmung des Schiffskörpers mit seinen Anhängen und Aufbauten sowie durch die Wasserumströmung des oder der Schiffspropeller. Die Kräfte werden dabei als Druck- und Tangentialspannungen übertragen. Die gleichzeitige theoretische oder experimentelle Durchdringung und Erfassung aller Details dieses komplizierten Strömungsvorganges ist unmöglich. Die Schiffbauingenieure haben daher zum besseren Verständnis und zur systematischen Untersuchung und Prognose Modellvorstellungen entwickelt, die den komplizierten Vorgang in Teile zerlegen. So wird die Antriebsleistung (Propellerdrehleistung) P_D mit dem Gesamtwiderstand $R_T + R_{AA} + R_{add}$ des Schiffes (das ist in der Modellvorstellung die Kraft, mit der man das Schiff ohne seine Propeller ziehen müsste, wobei R_T den Widerstand durch das Wasser und R_{AA} den Widerstand durch die Luft bezeichnen und R_{add} die Erhöhung des Widerstandes durch Seegangswirkung auf das Schiff ist) und dem Wirkungsgrad η_o , den die Propeller sozusagen ohne Anwesenheit des Schiffes bei der Übertragung der Drehleistung in Schubleistung hätten, in Zusammenhang gebracht:

$$P_D = \frac{(R_T + R_{AA} + R_{add}) \cdot v}{\eta_o \cdot \eta_h \cdot \eta_r}$$

Hierin ist v die Schiffsgeschwindigkeit in m/s. η_h und η_r sind Faktoren, die die Wechselwirkung zwischen Schiff und Propeller quantifizieren. Eine niedrige Antriebsleistung wird also erreicht, wenn die Faktoren im Zähler (Widerstand und Geschwindigkeit) möglichst niedrig und die Faktoren im Nenner (Wirkungsgrade) möglichst hoch sind. Da auch der Widerstand von Schiffen mit der Geschwindigkeit stark zunimmt, aber natürlich auch die Transportleistung proportional zur Geschwindigkeit steigt, ist die Auswahl der wirtschaftlichsten Geschwindigkeit ein von der Marktsituation abhängiger Vorgang, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann. Wichtig sind aber die Bestimmung des Antriebsleistungsbedarfes, abhängig von der Geschwindigkeit für ein Schiffsprojekt, sowie der Entwurf von Schiff und Propeller, so dass die Antriebsleistung für eine vorgesehene Geschwindigkeit minimal wird. In den vorhergehenden Abschnitten wurde daher auf den Widerstand und auf den Propellerwirkungsgrad und die Wechselwirkungsgrößen eingegangen.