Michael Dienst

Methoden in der Bionik

Wellenwiderstandskoeffizienten aus kubischen Ersatzfunktionen

Wissenschaftlicher Aufsatz

GRIN

BEI GRIN MACHT SICH IHR
WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit,
  Bachelor- und Masterarbeit

- Ihr eigenes eBook und Buch -
  weltweit in allen wichtigen Shops

- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

GRIN

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de/ abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2014 GRIN Verlag
ISBN: 9783656582090

Dieses Buch bei GRIN:

https://www.grin.com/document/267443

Michael Dienst

Methoden in der Bionik

Wellenwiderstandskoeffizienten aus kubischen Ersatzfunktionen

GRIN Verlag

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

http://www.grin.com/

http://www.facebook.com/grincom

http://www.twitter.com/grin_com

Wellenwiderstandskoeffizienten aus kubischen Ersatzfunktionen

Intro. Bei der Übertragung von Strömungsphänomenen die bei biologischen Halbtauchern beobachtet werden in Technik, gehört eine grobe Abschätzung des Form-, des Reibungswiderstands und des Wellenwiderstandes an der Phasengrenze Fluid(Wasser)-Fluid(Luft)-Solid(Strömungskörper) zu den ersten Vorüberlegungen der Gestaltungsaufgabe. Neben Klärung der relevanten geometrischer Kenngrößen des Strömungskörpers und Kenngrößen der Fluide (Dichte, Temperaturbereich, Transportkoeffizienten) liefern Aussagen über das Wechselwirkungsgeschehen des Strömungskörpers im Strömungsfeld (Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung) erste quantitative Aussagen damit frühe Entscheidungen und das Lösungsprinzip zum Erfüllen einer Gesamtaufgabe zu begründen.
Das Prinzip der (Übertragungs-) Lösung seinerseits ist sowohl das Arbeitsergebnis der Konzeptphase einer industriellen Produktentwicklung als auch in Hinblick auf eine bionische Übertragung das Resultat der frühen Phase der Biosystemanalyse.
Eine Kenngröße des Wechselwirkungsgeschehens des halbtauchenden Strömungskörpers im Strömungsfeld ist der Wellenwiderstand, der in einem reichlich komplexem Zusammenhang steht mit geometrischen Parametern, etwa der Geometrie der (Stör-) Kontur an der Phasengrenze, energetischen Größen wie der theoretischen Wellenausbreitungs- und der tatsächlichen Strömungskörpergeschwindigkeit und anderen Parametern. Für eine erste Abschätzung des Wellenwiderstands werden in der Praxis der (frühen Phase der) Produktentwicklung Wellenwiderstandskoeffizienten aus Messreihen in Abhängigkeit von der Froude-Zahl in Tabellenform oder in Diagrammen angeboten. Im Laboralltag und in der Lehr- und Forschungspraxis werden diese Werte nicht selten graphisch und von Hand mit Lineal und Zirkel abgegriffen. Der nachstehende Aufsatz führt auf eine Darstellung des Wellenwiderstandskoeffizienten als Funktion der Froudezahl $c_{WELLE}=f(Fr)$ in einer Ersatzfunktion (Polynom 3ten Grades) die bestimmte Gütekriterien erfüllt und auch für numerische Implementationen geeignet ist.

Ersatzfunktion. Ein Spline n-ten Grades ist eine Funktion, die stückweise aus Polynomen (n-ten) Grades zusammengesetzt ist. Dabei werden an den Stellen, die zwei Polynomstücke koppeln bestimmte Bedingungen gestellt, etwa dass der Spline (n-1)-mal stetig differenzierbar sei. Ist der Spline eine stückweise lineare Funktion, so heißt er linear (Polygonzug); analog gibt es quadratische, kubische Splines usw. Der Begriff Spline wurde zuerst in einer englischen Veröffentlichung von Isaac Jacob Schoenberg[1] im Jahr 1946 für glatte, harmonische, zusammengesetzte mathematische Kurven dritten Grades eingeführt[2].
Splines dienen der Interpolation und Approximation von Kurven aus vorgegebenen Wertemengen, beispielsweise Berechnungs- oder Messdaten. Durch ihre stückweise Definition sind sie flexibler als Polynome und dennoch relativ einfach. Namensgebend ist die in der Schiffskonstruktion und Yachtdesign verwendete elastische „Straklatte“ (engl.: spline),

[1] Isaac Jacob Schoenberg (* 21. April 1903, Galați, Rumänien; † 21. Februar 1990) war ein rumänisch-amerikanischer Mathematiker, bekannt für die Entdeckung von Splines.
[2] http://de.wikipedia.org/wiki/Spline

eine Art flexibles Lineal das an einigen Stützstellen (Knoten) durch Gewichte (Molche) fixiert wird und eine (natürlich) gekrümmte Linie abbildet. Die Krümmung der Kurve entspricht dabei der eines kubischen Splines, durch die an Normalkraft freien Lagerungen an den Stützstellen ist die Spannungsenergie der Straklatte minimiert, sie weisen eine minimale Gesamtkrümmung auf. Jedes Teilstück der Kurve ist dabei durch eine kubische Parabel mit den Koeffizienten a_i, b_i, c_i und d_i definiert[3].

kubische Parabel $a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i$

Die hier verwendeten kubischen Splines sind zweimal stetig differenzierbar. Alle gegebenen Punkte sind Stützstellen der Kurve und zugleich Nahtstellen zwischen den Teilkurven. In den Stützstellen stimmen jeweils sowohl beide Funktionswerte der zusammentreffenden Teilkurven, als auch die ersten $S'_i(x_i)$ und die zweiten Ableitungen $S''_i(x_i)$`an der Stelle i überein (lead in, lead out). Es seien n+1 Punkte $(x_0|y_0)$, $(x_1|y_1)$ ... $(x_n|y_n)$ gegeben, wobei $x_0 < x_1 < ... < x_n$ gelten soll. Zur Ermittlung der Koeffizienten werden n Teilstücke des Splines definiert, mit

Teilstück des Splines: $S_i(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i$

Auch hier soll gelten: $0 \le i < n$ ist und es sei $S_i(x)$ das Kurvenstück zwischen den Punkten $(x_i|y_i)$ und $(x_{i+1}|y_{i+1})$. Die Teilstücke in den gegebenen Punkten sollen nahtlos ineinander übergehen, so dass gilt:

$S_{i-1}(x_i) = S_i(x_i) = y_i$ für $1 < i \le n$.

Mit $S_i(x_i) = y_i$ folgt sofort $d_i = y_i$, weil alle (x_i-x_i) in $S_i(x_i) = a_i(x_i-x_i)^3 + b_i(x_i-x_i)^2 + c_i(x_i-x_i) + d_i = y_i$ zu Null werden. Wegen $S_{i-1}(x_i) = S_i(x_i)$ gilt:

$a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} = a_i(x_i-x_i)^3 + b_i(x_i-x_i)^2 + c_i(x_i-x_i) + d_i$ also:

$a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} = d_i$ (1)

In allen gegebenen Punkten haben die gekoppelten Teilkurven gleiche Tangenten, so dass gilt:

$S'_{i-1}(x_i) = S'_i(x_i)$ mit der ersten Ableitung von $S_i(x_i)$: $S'_i(x) = 3a_i(x-x_i)^2 + 2b_i(x-x_i) + c_i$ und somit:

$$S'_{i-1}(x_i) = S'_i(x_i)$$
$$3a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} = 3a_i(x_i-x_i)^2 + 2b_i(x_i-x_i) + c_i$$
$$3a_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} = c_i \quad (2)$$

Die Krümmungen der gekoppelten Teilkurven sind in allen gegebenen Punkten gleich, so dass gilt:

$S''_{i-1}(x_i) = S''_i(x_i)$, mit der zweiten Ableitung von $S_i(x_i)$: $S''_i(x) = 6a_i(x-x_i) + 2b_i$

also:

$$S''_{i-1}(x_i) = S''_i(x_i)$$
$$6a_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1} = 6a_i(x_i-x_i) + 2b_i$$
$$6a_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1} = 2b_i$$

[3] Herleitung der Formeln und Darstellung G01 nach Brünner, A. / Siehe auch http://www.arndt-bruenner.de

Aus dieser Gleichung folgt: $a_{i-1} = (b_i - b_{i-1}) / 3(x_i-x_{i-1})$ (3)

mit Form (3) und (2) folgt:

$(b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + 2b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} = c_i$

$(b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} = c_i$ (4)

mit Form (3) und (1) folgt:

$(b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})^2/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + d_{i-1} = d_i$

$(b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} + d_{i-1}/(x_i-x_{i-1}) = d_i/(x_i-x_{i-1})$

$(b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 + b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) + c_{i-1} = (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1})$

$c_{i-1} = (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 - b_{i-1}(x_i-x_{i-1})$ (5)

$c_i = (d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i)/3 - b_i(x_{i+1}-x_i)$ (6)

mit Form (xx5) und (xx6) in (xx4) folgt: eingesetzt:

$(b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1})/3 - b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) = (d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i)/3 - b_i(x_{i+1}-x_i)$

und

$3(b_i+b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) + 3(d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}) - (b_i-b_{i-1})(x_i-x_{i-1}) - 3b_{i-1}(x_i-x_{i-1}) = 3(d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (b_{i+1}-b_i)(x_{i+1}-x_i) - 3b_i(x_{i+1}-x_i)$

und letztendlich:

$(x_i-x_{i-1})b_{i-1} + 2(x_{i+1}-x_{i-1})b_i + (x_{i+1}-x_i)b_{i+1} = 3((d_{i+1}-d_i)/(x_{i+1}-x_i) - (d_i-d_{i-1})/(x_i-x_{i-1}))$ (7)

Mit $d_i=y_i$ ist auch die rechte Seite der Form (xx7) für $i>0$ und $i<n$ bekannt. Da alle jeweiligen x bekannt sind, lassen sich die b_i für $0<i<n$ mit einem linearen Gleichungssystem aus allen Gleichungen (7) ermitteln. Die Koeffizienten b_0 und b_n sind die (halben) Krümmungen im ersten und im letzten Punkt (lead in, lead out) werden hier 0 angenommen. Der Koeffizient b_n dienst der Ermittlung der Koeffizienten a_{n-1} und c_{n-1} .
Die Koeffizientenmatrix der linken Seite des Gleichungssystems für $b_0=b_n=0$ wie folgt:

	b_1	b_2	b_3	b_4	...	b_{n-3}	b_{n-2}	b_{n-1}
i=1	$2(x_2-x_0)$	x_2-x_1	0	0	...	0	0	0
i=2	x_2-x_1	$2(x_3-x_1)$	x_3-x_2	0	...	0	0	0
i=3	0	x_3-x_2	$2(x_4-x_2)$	x_4-x_3	...	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...
i=n-2	0	0	0	0	0	$x_{n-2}-x_{n-3}$	$2(x_{n-1}-x_{n-3})$	$x_{n-1}-x_{n-2}$
i=n-1	0	0	0	0	0	0	$x_{n-1}-x_{n-2}$	$2(x_n-x_{n-2})$

Die rechte Seite ergibt sich aus (7) für die angegebenen Indizes. Die Lösungen rückwärts in (5) und (3) eingesetzt, folgen die Koeffizienten c_i und a_i.

Der Strömungswiderstandsbeiwerte von Halbtauchern. Betrachtet werden lediglich stationäre, nichttransiente Effekte erster Ordnung. Damit bleiben zunächst auch

Strömungsphänomene unberücksichtigt, die gerade in der Wissenschaft der Bionik als Paradebeispiele der Widerstandsminderung angesehen werden. Gehen wir des weiteren vereinfachend davon aus, dass sich der fluidmechanische Gesamtwiderstand eines Halbtauchers in Fahrt mit der Summe aller Partialwider-stände die an diesem System auftreten, ergibt sich der Gesamtwiderstand des Systems aus der Summe der i Partialwiderstände R_{Pi} , also Wellenwiderstand R_W Reibungswiderstand R_O Formwiderstand R_F und induzierter Widerstand R_I zu:

Idealisierter Gesamtwiderstand $R = \Sigma R_{Pi} = R_W + R_F + R_O + R_I$ (8)

Die Definitionen der Partialwiderstände sind keineswegs eindeutig und auch nicht unumstritten; eine weitere Ausdifferenzierung der Partialwiderstände, bzw. die Betrachtung von Verschränkungen und/oder Überlagerungen ist aber für unsere ersten, groben und das Wechselwirkungsgeschehen einschätzende Berechnungsaufgaben wenig vorteilhaft. Es gelten einige Grundaussagen über die Charaktere der Partialwiderstände. Dies ist insbesondere dann nützlich, wenn aus den Beziehungen Similaritäten extrahiert werden können [Die11-4][Her-04]. Bevor die Partialwiderstände für das halbgetauchte Voranschwimmen und die sich aus Näherungsgleichungen ergebenden Similaritäten betrachtet werden, werfen wir einen Blick auf die Nomenklatur einer Similaritätsanalyse mit den drei physikalischen Basis-Größen Länge, Zeit und Masse und einiger abgeleiteter Größen:

Symbol	Einheit	Größe	Dimension	
L	[m]	Länge, charakteristische ~	L	(T01)
λ	[m, rad]	Wellenlänge	L	
t	[s]	Zeit	T	
m	[kg]	Masse	M	
A	[m^2]	Fläche	L^2	
V	[m^3]	Volumen	L^3	
v	[m s^{-1}]	Geschwindigkeit	L T^{-1}	
c	[ms^{-1}]	Wellenausbreitungsgeschwindigk.	L T^{-1}	
a, g	[m s^{-2}]	Beschleunigung, (Erd~)	L T^{-2}	
F, L, R	[N]	Kraft (Lift, Widerstand)	M L T^{-2}	
E,W	[Nm], [kg $m^2 s^{-2}$],[J]	Energie, Arbeit	M L^2 T^{-2}	
P	[Nm s^{-1}],[kg m^2 s^{-3}], [W]	Leistung	M L^2 T^{-3}	
ρ	[kg m^{-3}],	Dichte	M L^{-3}	

Partialwiderstände

R_W Widerstand, aufgrund des generierten Wellensystems.
Wellenwiderstand $R_W \sim (v, L)$
(Spezielle Art des Druckwiderstandes; Abhängig von der Geschwindigkeit v und der Länge L des Wellen erzeugenden Systems).

R_F Formwiderstand (Druckwiderstand) aufgrund der Umströmung der Körperkontur (benetzte Oberfläche).
Formwiderstand $R_F \sim (v^2, V)$

(*Wirkung der Druckverteilung an einem umströmten Körper. Bestimmbar durch Integration über die gesamte Körperoberfläche; unter Berücksichtigung der Kraftkomponente in Anströmrichtung [Her-04]. Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v des Systems und dem verdrängenden Volumen V).*

R_O Widerstand aufgrund der Reibung an der benetzten Körperhülle.
Oberflächenwiderstand: $R_O \sim (v^2, A)$
(Wirkung der Wandschubspannung an einem Strömungskörper. R_O ist bestimmbar durch Integration über die gesamte Körperfläche unter Berücksichtigung der Kraftkomponente in Anströmrichtung [Her-04]. Abhängigkeit von der Geschwindigkeit v, der Viskosität des Mediums und der benetzten Oberfläche A des Systems).

R_I Induzierter Widerstand aufgrund fluiddynamischer Auftriebs- und Querkräfte.
Induzierter Widerstand $R_I \sim (v^{-2}, L^2)$
(Wirkung der durch dynamischen Auftrieb oder Querkraft generierten Randwirbel. Abhängig von der Geschwindigkeit $1/v^2$ und der Tiefe L^2 der fluidmechanisch wirksamen Bauteile).

Eine Similaritätsbetrachtung liefert qualitative Aussagen über den Einfluss einer Geometrievariation und der Transienz im Betrieb auf die Partialwiderstände. Die Proportionalitäten:

Welle:	R_W	~	(v, L)	~	(L^2, T^{-1})
Form:	R_F	~	(v^2, V)	~	$(v^2, L^3) \sim (L^5, T^{-1})$
Reibung:	R_O	~	(v^2, A)	~	$(v^2, L^2) \sim (L^4, T^{-1})$
Induziert:	R_I	~	(v^{-2}, L^2)	~	(T^{-2})

Ein Nachteil der partiellen Betrachtung ist, dass in dem (hier) so genannten Wellenwiderstand Komponenten der anderen Partialwiderstände enthalten sind, die beeinflusst werden von Deutungen oder Verfahren der messtechnischen Ermittlung von Schiffswiderstäde (z.B. viskoser Druckwiderstandanteile, Einfluss der vom Tankrand reflektierten Wellen, usw.). Wir betrachten ferner die von der Strömung generierten Kräfte am Strömungskörper, den Lift L, den Reibungswiderstand R_R, Formwiderstand R_F und induziertem Widerstand R_I. In der Argumentation tauchen weitere Größen auf:

Kräfte, Energie

Auftrieb, Querkraft, Lift	L	[N]	L	=	$c_a \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$
Formwiderstand	R_F	[N]	R_F	=	$c_w \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$
Reibungswiderstand	R_O	[N]	R_O	=	$c_r \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$
Wellenwiderstand	R_W	[N]	R_W	=	$c_W \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$
induzierter Widerstand	R_I	[N]	R_I	=	$c_I \cdot A \cdot v^2 \cdot \rho/2$
Widerstand des Halbtauchers	R	[N]	R	=	$R_W + R_F + R_O + R_I$

Beiwerte

Reibung: glatte Oberfläche, laminare Strömung	c_r	=	$1{,}327 \cdot (Re)^{-1/2}$
Reibung: glatte Oberfläche, turbulente Strömung	c_r	=	$0{,}074 \cdot (Re)^{-1/5}$
Reibung: raue Oberfläche, turbulente Strömung[4]	c_r	=	$0{,}418 \cdot (2+\lg(t/k))^{-2{,}53}$
induzierter Widerstand[5]	c_I	=	$\lambda\, c_a^2 / \pi$

[4] Angabe der Rauigkeit k in [m]. Es gilt als glatt: k= 0,001[mm] = 10^{-3} [mm] = 10^{-6} [m].

Froudezahl. Ein Schiff in Bewegung verursacht aufgrund seines gegebenen Volumens und Gewichts eine Verdrängung des Fluids und damit eine Ausweichströmung um den „Störkörper“ herum. In Fahrt herrsch nun eine nichtgleichmäßige Druckverteilung entlang der Schiffskontur (Wasserpass). Eine Druckminderung verursacht ein Wellental an der Störkörperkontur, eine Druckerhöhung entsprechend einen Wellenberg. Das von einem Schiff generierte (idealisierte) Wellensystem besteht aus zwei überlagerten Komponenten:

- Diagonalwellen[6], die unabhängig von der Geschwindigkeit unter einem Winkel von je 20° zur Fahrtrichtung auftreten und
- Querwellen, rechtwinklig zum Kurs.

Für dieses komplizierte Wellenmuster auf der Wasseroberfläche hatte William Thomson[7], der spätere Lord Kelvin, schon 1887 eine Theorie aufgestellt. Nach Kelvin können zu einem stationären Wellenmuster nur solche Wellen beitragen, deren Wellenzahl k größer ist als ein kritisches $k_g = g/v^2$. Für jedes $k \geq k_g$ hat die „Partial-Bugwelle“ einem k-abhängigen Öffnungswinkel $2\,\alpha(k)$. Der größte Winkel tritt für $k = k_g$ auf und hat den Wert 19,47 Grad.

Froude[8] stellte als erster zuverlässige Formeln auf für den Widerstand, den das Wasser der Bewegung eines Schiffs entgegensetzt, und zur Vorhersage der Stabilität des Schiffs. Er setzte die bei einem durch Schiffe generierten Wellensystem induzierten Trägheitskräfte, die auf eine Oberfläche des Mediums wirken, zur herrschenden Schwerkraft ins Verhältnis. Die Froude-Zahl ist das Verhältnis der Schiffsgeschwindigkeit v zu der Ausbreitungsgeschwindigkeit c jener Wellen, die beim Fortbewegen der Störkontur an der Phasengrenze entstehen.

Froude-Zahl: $Fr = v/c$ [-]

Eine Herleitung der Froude-Zahl führt über das Verhältnis der kinetischen und potentiellen Energien an einer Störkontur. In Fahrt verrichtet diese Arbeit und koppelt ständig Energie in das Medium Wasser ein. Das ruhende Medium erfährt bei einer (Schiffs-) Bewegung an seiner Phasengrenze eine Störung, die sich wellenförmig fortpflanzt. Setzt man die auftauchenden Energien ins Verhältnis, folgt:

die kinetische Energie $w_{kin} = ½\, m\, v^2$ [kg m^2 s^{-2}]

die potentielle Energie $w_{pot} = m\, g\, h$ [kg m m s^{-2}]

$(w_{kin} / w_{pot}) = ½\, m\, v^2 / m\, g\, h = ½\, v^2 / g\, h \sim v^2 / g\, L$ [-]

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der Welle ist bei genügend großen Wassertiefen eine Funktion der Wellenlänge λ.

$$c^2 = g\,\lambda / 2\,\pi \qquad [m^2\, s^{-2}] \qquad (9)$$

---

[5] gemäß elliptischer Auftriebsverteilung nach Prandtl

[6] Kelvinwinkel vs Machwinkel. Siehe auch: Blick auf Bugwellen mit Google Earth: http://www.pro-physik.de/details/news/4826871/Blick_auf_Bugwellen_mit_Google_Earth.html

[7] William Thomson, 1. Baron Kelvin, meist als Lord Kelvin auch Kelvin of Largs bezeichnet, (* 26. Juni 1824 in Belfast, Nordirland; † 17. Dezember 1907 in Netherhall bei Largs, Schottland) war ein in Irland geborener britischer Physiker.

[8] William Froude [fruːd] (* 28. November 1810 in Dartington, Devon, England; † 4. Mai 1879 in Simonstown, Südafrika) war ein englischer Schiffbauingenieur und Forscher auf dem Gebiet der Hydrodynamik.

Die entscheidende Wellenlänge ist bei Schiffen die Lücke zwischen Bug und Heck (Wasserlinienlänge L= $\lambda/2\pi$). Die Froude-Zahl ist das Verhältnis der Geschwindigkeit des Schiffes v zur Ausbreitungsgeschwindigkeit c der von diesem erzeugten Wellensystem in der aus der Literatur bekannten Darstellung:

$$Fr^2 = v^2 / c^2 \quad [-]$$

$$(w_{kin} / w_{pot}) \sim v^2 / g\,L = Fr^2 \quad [-]$$

$$\textbf{Froude-Zahl:} \quad \mathbf{v \cdot (g \cdot L)^{-0,5} = Fr \quad [-]} \qquad (10)$$

Die Froude-Zahl ist der wichtigste dimensionslose Parameter für die Beschreibung des - von einem sich in Verdrängerfahrt befindlichen Halbtaucher generierten - Wellenbildes. Der Betrachter erhält einen ersten Eindruck des Systemzustands in und aufgrund einer selbst erregten Störung der Phasengrenze. Die Gestalt der Rumpfkontur ist energetisch bedeutsam. Hier, am Wasserpass, stoßen die drei sich gegenseitig beeinflussenden Systemphasen aufeinander: Luft und Wasser (fluid) sowie das Schiff (solid) bilden einen komplexen Wechsewirkungsraum. Er enthält die für das Wellenwiderstandsgebaren des Schiffes entscheidenden Qualitäten. Die Physik der Fluid-Fluid-Solid-Wechselwirkung (im Dreiphasengebiet) ist sowohl mess- als auch simulationstechnisch anspruchsvoll. Gleichzeitig locken an der Phasengrenze aber die großen Margen an den (Wellen-) Widerstand mindernden Effekten; für den Optimierer ein Dilemma.
Auf eine handliche Weise quantifiziert die (integrale) dimensionslose Froude-Zahl den komplexen Strömungszustand für einen ersten Überblick. Man unterscheidet für die integrale Form drei Bereiche:

1. Bei niedrigen Froude-Zahlen werden Wellen erzeugt, die nahezu senkrecht zur Fahrtrichtung des Schiffes verlaufen. Ab einer Froude-Zahl Fr> 0,35 steigt der Wellenwiderstand sehr stark an.
   Zum einen wachsen nun die Amplituden der Querwellen stark, andererseits überlagern sich die Partitionen des schiffseigenen primären Wellensystems ungünstig.
2. Für hohe Froude-Zahlen dominieren sehr viel kürzere Wellen, die in kleinen Winkeln zur Fahrtrichtung verlaufen. Bei einer Froude-Zahl um 0,4 überlagern sich die Heck- und die Bugwelle derart, dass der zweite Wellenberg der Bugwelle auf die Heckwelle trifft.
3. Bei einer Froudezahl um 0,56 trifft das Tal der Bugwelle auf die Heckwelle; es kommt zu Interferenzen, bei denen sich Wellenpartitionen neutralisieren können.

Klein ist der Wellenwiderstand für Froude-Zahlen Fr<3.5. Ein technisches, fluidisches System befindet sich diesseits jener kritischen Grenze, an der (nichtlinear) mehr Energie umgesetzt werden muss, um die Fahrgeschwindigkeit weiter zu erhöhen. In diesem Froude-Bereich ist das transportenergetische Minimum des Systems zu erwarten; dies sollte für technische und biologische Systeme gleichermaßen gelten.

Datenbasis. Das Wellensystem um einen Strömungskörper und das Widerstandsgeschehen ist in entscheidendem Maße von den Wechselwirkungen im Strömungsfeld determiniert und darf nicht unabhängig von der Gestalt der Störkontur betrachtet werden. Das Dilemma: Auf

genau solche Angaben aber ist man in der frühen Phase sowohl der Biosystemanalyse als auch der Entwicklung technischer Produkte angewiesen. Es ist somit fraglich, inwieweit auf der Grundlage von Messungen an Schiffen auf physikalische Analogien zum Widerstandsgebaren eines Biosystems, etwa dem Wellenbild einer Biberratte in Fahrt verwiesen werden darf. Sichtet man jedoch die einschlägige Literatur und vergleicht Messungen unterschiedlicher Strömungskörper und/oder Schiffstypen miteinander, werden Ähnlichkeiten, Analogien und gewisse Grundmuster sichtbar. Lieferte Froude einen ersten Ansatz, so war es J.H. Michel[9] der schon 1898 einen auf Froudes Arbeit basierenden nicht-linearen Lösungsansatz für den Einfluss durch Schiffsbewegung stammender Wellen auf den Wiederstand lieferte. Mitchel-Integrale[10] sind auch heute noch theoretische Grundlage leistungsstarker numerischer Simulationssysteme[11]. In Verbindung mit so genannten Neutralkörpern oder Standardrumpfformen lassen sich durchaus generalisierte Aussagen zu der Art der Abhängigkeit der Wellenwiderstandskoeffizienten von der Froudezahl ermitteln. Eine gut untersuchte Rumpfformen ist die sogenannte Wigley Rumpf[12]. Er ist mathematisch definiert und wird regelmäßig für Tests und Validierung verwendet. Per Definition ist der Wigley Rumpf ein (einfaches) vollparametrisches Modell mit Breite, Tiefgang und Höhe als Parameter, um die Schiffform (oft durch Länge normiert) zu determinieren.
Stellvertretend für zahlreiche Messungen an Neutralkörpern und Schiffen habe ich Daten zur Grundlage meiner weiteren Betrachtungen gemacht, die aus einer vergleichenden Darstellung von Messungen und evaluierenden Berechnungen mit Mitchel-Integralen stammen [Gotm-02][Shar-69][13]. Es ist anzumerken, dass Mitchels Ansatz für Froudezahlen Fr>0,23 sehr gute Übereinstimmungen mit Messergebnissen zeigt. Für Froudezahlen Fr < 0.2 ist der Einfluss der Viskosität des Fluids bedeutsam, die Berechnungen und Messungen zu unterschiedlichen Fluidsystemen weichen teilweise erheblich voneinander ab. Die Absolutwerte der Wellenwiderstandskoeffizienten bewegen sich hier allerdings in einem Bereich bis etwa c_W < 0,0003. Stellvertretend (und aus meiner persönlichen Sicht) repräsentativ für eine Vielzahl von veröffentlichten Kurven für Wellenwiderstands-koeffizienten als Funktion der Froudezahl wurde bewusst Sharma's Messkurve ausgewählt, digitalisiert und mit dem oben angeführten Verfahren in bereichsweise Splines überführt. Die so stückweise definierten Polynome erfüllen die Forderung zweimal stetig differenzierbar zu sein. Die Koeffizienten der Splines a_i; b_i; c_i; und d_i können unmittelbar in numerische Berechnungsprozeduren oder Tabellen übernommen werden. Graphen, Erzeugendendateien und weitere Berechnungsdaten sind dem Anhang zu entnehmen.

[9] John Henry Michell (26 October 1863 – 3 February 1940) was an Australian mathematician, Professor of Mathematics at the University of Melbourne
[10] The wave resistance of a ship, Phil. Mag. (5) 45 (1898) 106-123.
[11] FS-Wave und FS-Flow. General purpose rankine source panel code for resistance and powering prediction of marine craft. FutureShip GmbH, Potsdam, Germany.
[12] Tom Wigley is a climate scientist at the University Corporation for Atmospheric Research (UCAR)
[13] A. Sh. Gotman1 (2002) Study Of Michell's Integral And Influence Of Viscosity And Ship Hull Form On Wave Resistance. D. Tech. Sci., Professor Gotman A.Sh., Novosibirsk State Academy of Water Transport, Shchetinkina st., 33,Novosibirsk,630099, Russia

Kurvenabschnitt			Koeffizienten des Polynoms: $S_i(x) = a_i(x_i)^3 + b_i(x_i)^2 + c_i(x_i) + d_i$			
Intervall	x_{Anfang}	x_{End}	a	b	c	d
1	0,20	0,22	-1,494	0,902	0,176	0,011
2	0,22	0,26	3,614	- 2,593	0,621	0,049
3	0,26	0,27	2,999	- 2,108	0,494	- 0,038
4	0,27	0,29	-19,1	16,399	- 4,672	+ 0,443
5	0,29	0,32	4,787	- 5,062	1,755	- 0,199
6	0,32	0,33	26,028	- 25,537	8,333	- 0,904
7	0,33	0,35	-11,236	11,974	- 4,252	0,504
8	0,35	0,37	6,89	- 7,111	2,445	- 0,28
9	0,37	0,38	-16,887	19,835	- 7,734	1,002
10	0,38	0,42	-2,937	3,549	- 1,396	0,18
11	0,42	0,45	-0,335	0,207	0,035	- 0,024
12	0,45	0,47	0,519	- 0,952	0,559	- 0,103
13	0,47	0,50	1,871	- 2,89	1,485	- 0,251
14	0,50	0,54	-0,012	- 0,025	0,032	- 0,005
15	0,54	0,58	0,368	- 0,646	0,371	- 0,067
16	0,58	0,79	-0,002	0,006	- 0,012	0,008

Die Intervalle $(x\text{-}x_i)$ entsprechen den zugrundeliegenden Bereichen der Froudezahlen, S ist der den Argumenten x zugehörige Wert des Wellenwiderstandskoeffizienten c_W $[10^{-3}]$. Die Schar der Tabellen, Diagramme, Nennungen und Graphen für Werte des Wellenwiderstands-koeffizienten c_W über der Froudezahl Fr ist unübersichtlich und vielzählig. Es ist sicher eine gute Empfehlung, zu jeder anstehenden Forschungs- oder Entwicklungsaufgabe eine problembezogene Ermittlung der Wellenwiderstandskoeffizienten durch Messungen oder ermöglicht durch stetig wachsende Computerverfügbarkeit, durch Simulationsrechnungen durchzuführen. In Anbetracht des doch erheblichen Deklarationsaufwandes für einen stückweise definierten kubischen Spline und vor dem Hintergrund, dass heute jedes Bauhaus-Handy leistungsfähiger ist, als alle meine PCs der vergangenen 30 Jahre zusammen, stellt sich die Frage, ob die Mitchel-Integrale nicht vielleicht direkt, vor Ort und in nahezu Echtzeit berechnet werden sollten. Dieser Aspekt wird sorgfältig zu prüfen sein. Häufig jedoch reichen und dies sicher in der frühen Phase der Biosystemanalyse und/oder der industriellen Produktentwicklung Schätzwerte, die auf idealisierenden Annahmen beruhen mögen. Insbesondere bei Optimierungsfragen erscheint eine (grobe, dafür aber griffige und leicht zu handhabende) Formel wünschenswert. So erlebe ich dies wenigstens im Forschungs- und Lehralltag, aber auch im Freifeld, draußen. Auch taucht gelegentlich die Frage auf nach einer idealisierten Qualitätsfunktion etwa für Evolutionsstrategien auf. Für all jene, die sich sowohl im Elfenbeinturm, und – dem Biosystem nahe - auf dem See wohlfühlen, als auch gerne mal auf den tragbaren (und unbedingt wasserfesten) PC verzichten, oder nur einen Rechenschieber in der Kajüte mitführen, habe ich aus der Vielzahl mir vorliegenden Datensätze, Graphiken und digitalisierter Kurven Werte des Wellenwiderstands-koeffizienten c_W über der Froudezahl Fr extrahiert, einen Graphen der

Erwartungswerte generiert und lege das zugehörige abschnittsweise Polynom (wohlweislich nur) im Anhang dieses Aufsatzes offen. Der Graph der statistischen Erwartungswerte der Wellenwiderstandskoeffizienten c_W über der Froudezahl Fr arbeitet für Fr > 0,2 ordentlich und sehr nahe an den Berechnungswerten des Mitchel-Ansatzes, für Froudezahlen Fr < 0,2 werden kumulierte Mittelwerte aus einem Datenmonitoring angegeben. Die ebenfalls im Anhang angegebenen Quellen der Recherche als Internetlink und maschinenlesbar als QR-code mögen die individuelle Recherche erleichtern.

Mi. Dienst, Berlin im Januar 2014

Bibliographie und weiterführende Literatur

[Abbo-59] Ira H. Abbott, Albert E. von Doenhoff: Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data. Dover Publications, New York 1959.

[BaNe-98] Barthlott, W.; Neinhuis, C.: Lotusblumen und Autolacke – Ultrastruktur pflanzlicher Grenzflächen und biomimetische unverschmutzbare Werkstoffe. Biona Report 12, Schriftenreihe der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart 1998.

[Bann-02] Bannasch, Rudolph. Vorbild Natur. In: design report 9/02, S.20ff. Blue. C Verlag Stuttgart: 2002.

[Bapp-99] Bappert, R. Bionik, Zukunftstechnik lernt von der Natur. SiemensForum München/Berlin und Landesmuseum für Technik und Arbeit in Mannheim (Herausgeber): 1999

[Bech-93] Bechert, D.W.: Verminderung des Strömungswiderstandes durch bionische Oberflächen. In: VDI-Technologieanalyse Bionik, S. 74 – 77. VDI-Technologiezentrum Düsseldorf 1993.

[Bech-97] Bechert, D.W., Biological Surfaces and their Technological Application. 28th AIAA Fluid Dynamics Conference: 1997

[Cal-84] Calder, W.A. (1984) Size, Function and Life History. Harvard University Press. Cambridge 431pp.

[Die11-4] Dienst, Mi.(2011) Methoden in der Bionik. Die Reynoldsbasierte Fluidische Fitness. GRIN-Verlag GmbH München.

[Die09-4] Dienst, Mi.(2009) Physical Modelling driven Bionics. GRIN-Verlag München.

[DUB-95] Dubbel, Handbuch des Maschinenbaus, Springer Verlag Berlin, 15.Auflage 1995.

[Eppl-90] Richard Eppler: Airfoil Design and Data. Springer, Berlin, New York 1990.

[Fli-02] Flindt, R. (2002) Biologie in Zahlen Berlin: Spektrum Akademischer Verl.

[Fren-94] French, M.: Invention and Evolution: design in nature and engineering. Cambridge University Press. Cambridge 1994.

[Fren-99] French, M.: Conceptual Design for Engineers. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio: Springer: 1999

[Gel-10] Produktinformation, 05 2010, GELITA 69412 Eberbach. www.gelita.com

[Guen-98] Günther, B., Morgado, E. (1998) Dimensional analysis and allometric equations concerning Cope's rule. Revista Chilena de Historia Natural 71: 331-335, 1989

[Gotm-02] A. Sh. Gotman1 (2002) Study Of Michell's Integral And Influence Of Viscosity And Ship Hull Form On Wave Resistance, *Novosibirsk State Academy of Water Transport, Russia*

[Gör-75] Görtler, H. Diemensionsanalyse. Berlin Springer 1975

[Guen-66] Günther, B., Leon, B. (1966) Theorie of biological Similarities, nondimensional Parameters and invariant Numbers. Bulletin of Mathematical Biophysics Volume 28, 1966.

[Gutm-89] Gutmann, W.: Die Evolution hydraulischer Konstruktionen. Verlag W. Kramer: Frankfurt am Main, 1989.

[Hüt-07] Hütte, 2007, 33. Auflage, Springer Verlag. S.E147

[Hux-32] Huxley, J.S. (1932) Problems of relative Growth. London: Methuen.

[Katz-01] Joseph Katz, Allen Plotkin: Low-Speed Aerodynamics (Cambridge Aerospace Series) Cambridge University Press; 2 edition (2001)

[Liao-03] Liao, J.C.; Beal, D.; Lauder, G.; Triantayllou, M. Fish Exploting Vortices Decrease Muscle Activty. In: Science 2003, S. 1566-1569. AAAS. 2003.

[Matt-97] Mattheck, C.: Design in der Natur. Rombach Verlag. Freiburg 1997.

[Nac-01] Nachtigall, W. (2001) Biomechanik. Braunschweig: Vieweg Verlag.

[Nach-98] Nachtigall, W. : Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1998.

[Nach-00] Nachtigall, Werner; Blüchel, Kurt. Das große Buch der Bionik. Stuttgart: Deutsche Verlags Anstalt: 2000.

[PaBe-93] Pahl. G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre, 3.Auflage. Berlin- Heidelberg-New York-London-Paris-Tokio: Springer 1993

[Pflu-96] Pflumm, W. (1996) Biologie der Säugetiere. Berlin: Blackwell Wissenschaftsverlag.

[Rech-94] Rechenberg, Ingo. Evolutionsstrategie'94. Frommann-Holzoog Verlag. Stuttgart: 1994.

[Schü-02] Schütt, P., Schuck, H-J., Stimm, B. (2002) Lexikon der Baum- und Straucharten. Nikol, Hamburg, ISBN 3-933203-53-8

[Shar-69] Sharma, S.D. 1969 Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *J. Ship Research*, **13**, 72-81.

[Tho-59] Thompson, D'Arcy, W. (1959) On Growth and Form. London: Cambridge University Press. (Neuauflage der Originalschrift 1907)

[Tho-92] Thompson, D W., (1992). *On Growth and Form*. Dover reprint of 1942 2nd ed. (1st ed., 1917). ISBN 0-486-67135-6

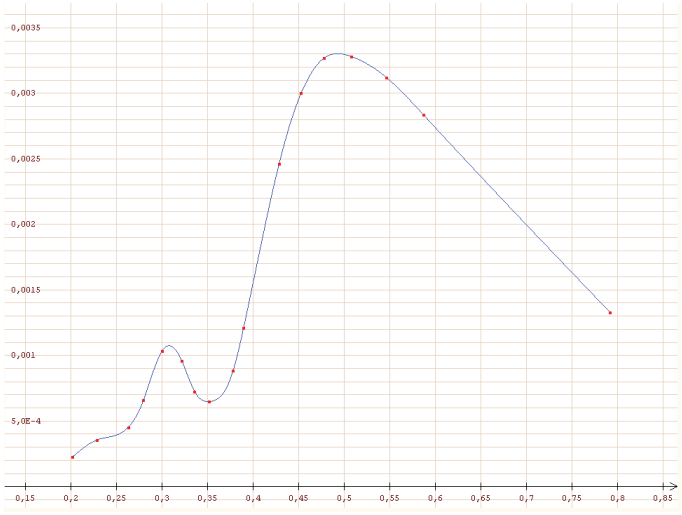
[Tria-95] Triantafyllou, M.: Effizienter Flossenantrieb für Schwimmroboter. In: Spektrum der Wissenschaft 08-1995, S. 66–73. Spektrum der Wissenschaft-Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg 1995.

[Zie - 72] Zierep, J. (1972) Ähnlichkeitsgesetze und Modellregeln der Strömungslehre. Karlsruhe: Braun Verlag 1972.

Tabelle T03 der digitalisierten Messdaten

aus Sharma, S.D. (1969) Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *J. Ship Research*

FR [-]	CW [-]
0.20117246	2.2529272E-4
0.2280293	3.5494147E-4
0.26259473	4.5269358E-4
0.279157	6.5704266E-4
0.2994777	0.001033111
0.32131052	9.5882313E-4
0.33553335	7.234023E-4
0.35095605	6.488852E-4
0.3777581	8.857726E-4
0.389132	0.0012079008
0.42823383	0.0024640132
0.45231843	0.0030010769
0.477822	0.00327009
0.5073032	0.003281868
0.54584616	0.003122385
0.587019	0.0028343073
0.79163396	0.0013295296



Graph der Ergebnissplines CW = f(Fr)
Berechnung nach Bruenner, siehe auch: http://www.arndt-bruenner.de

Berechnungsintervalle
aus Sharma, S.D. (1969) Some results concerning the wavemaking of a thin ship. *J. Ship Research*

$S_i(x) = a_i(x_i)^3 + b_i(x_i)^2 + c_i(x_i) + d_i$

x aus [0,20117246; 0,2280293]	S0(x) = -1,494x^3 + 0,902x^2 - 0,176x + 0,011
x aus [0,2280293; 0,26259473]	S1(x) = 3,614x^3 - 2,593x^2 + 0,621x - 0,049
x aus [0,26259473; 0,279157]	S2(x) = 2,999x^3 - 2,108x^2 + 0,494x - 0,038
x aus [0,279157; 0,2994777]	S3(x) = -19,1x^3 + 16,399x^2 - 4,672x + 0,443
x aus [0,2994777; 0,32131052]	S4(x) = 4,787x^3 - 5,062x^2 + 1,755x - 0,199
x aus [0,32131052; 0,33553335]	S5(x) = 26,028x^3 - 25,537x^2 + 8,333x - 0,904
x aus [0,33553335; 0,35095605]	S6(x) = -11,236x^3 + 11,974x^2 - 4,252x + 0,504
x aus [0,35095605; 0,3777581]	S7(x) = 6,89x^3 - 7,111x^2 + 2,445x - 0,28
x aus [0,3777581; 0,389132]	S8(x) = -16,887x^3 + 19,835x^2 - 7,734x + 1,002
x aus [0,389132; 0,42823383]	S9(x) = -2,937x^3 + 3,549x^2 - 1,396x + 0,18
x aus [0,42823383; 0,45231843]	S10(x) = -0,335x^3 + 0,207x^2 + 0,035x - 0,024
x aus [0,45231843; 0,477822]	S11(x) = 0,519x^3 - 0,952x^2 + 0,559x - 0,103
x aus [0,477822; 0,5073032]	S12(x) = 1,871x^3 - 2,89x^2 + 1,485x - 0,251
x aus [0,5073032; 0,54584616]	S13(x) = -0,012x^3 - 0,025x^2 + 0,032x - 0,005
x aus [0,54584616; 0,587019]	S14(x) = 0,368x^3 - 0,646x^2 + 0,371x - 0,067
x aus [0,587019; 0,79163396]	S15(x) = -0,002x^3 + 0,006x^2 - 0,012x + 0,008

Tabelle T04: Polynomstützstellen digitalisierter, kumulierter Mess- und Berechnungsdaten.

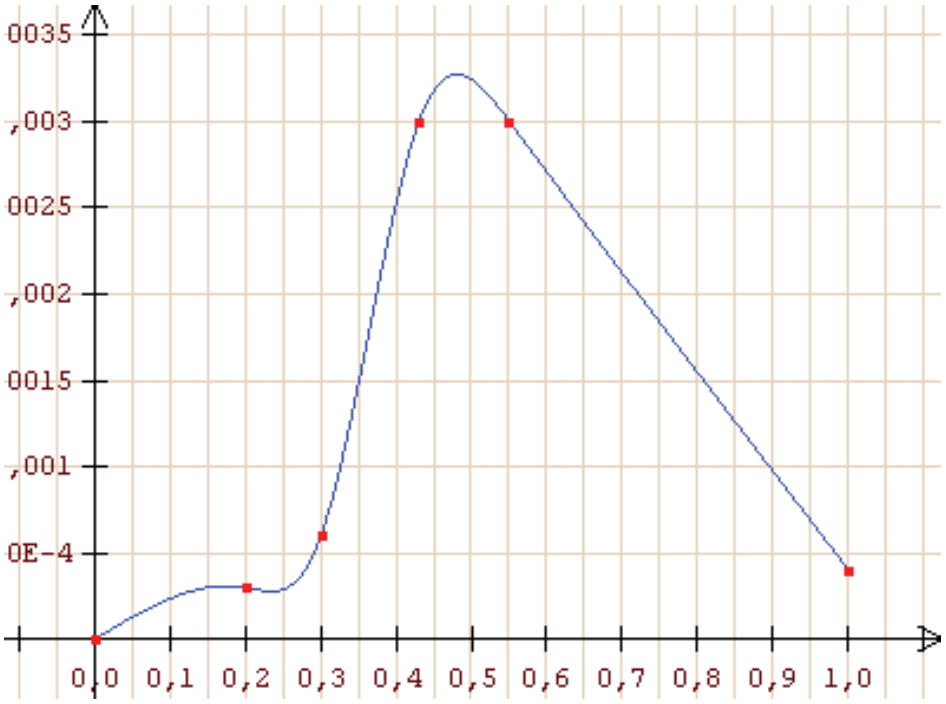
Fr	CW(Fr)
0	0
0,2	0,0003
0,3	0,0006
0,43	0,003
0,55	0,003
1	0,0004

Polynom der Erwartungswerte kumulierter Mess- und Berechnungsdaten.

$C_W]_I(x) = a_i x_i^3 + b_i x_i^2 + c_i x_i + d_i$ mit Fr=x

Intervall	Polynom
[0.. Fr ..0,2]	C_W 0(Fr) = -0,03 Fr^3
[0,2.. Fr ..0,3]	C_W 1(Fr) = 0,55 Fr^3 - 0,34 Fr^2 + 0,07 Fr
[0,3.. Fr ..0,43]	C_W 2(Fr) = -0,76 Fr^3 + 0,83 Fr^2 - 0,28 Fr + 0,03
[0,43.. Fr ..0,55]	C_W 3(Fr) = 0,42 Fr^3 - 0,68 Fr^2 + 0,37 Fr - 0,06
[0,55.. Fr ..1]	C_W 4(Fr) = -0,01 Fr + 0,01

Graph G04: Erwartungswerte kumulierter Mess- und Berechnungsdaten.



Recherche und Datenmonitoring

A METHOD FOR CALCULATING SHIP RESISTANCE COMPONENTS USING A THEORETICAL DRAWING
Gotman A.S.
Novosibirsk, e-mail: Agotman@yandex.ru
http://www.science-sd.com/450-24003?sd_com=ceb4d32979c042cf54f51bd03e203181

Study Of Michell's Integral And Influence Of Viscosity And Ship Hull Form On Wave Resistance
A. Sh. Gotman1
1D. Tech. Sci., professor Gotman A.Sh., Novosibirsk State Academy of Water Transport, Shchetinkina st., 33,Novosibirsk, 630099, Russia
http://www.shipdesign.ru/Gotman/Study_of_Michells_Integral.pdf

Multihull and Surface-Effect Ship Configuration Design: A Framework for Powering Minimization
Ronald W. Yeung and Hui Wan
Department of Mechanical Engineering,
University of California, Berkeley, CA 94720

http://www.me.berkeley.edu/Grad/Areas/Yeung_Wan_2008_JOM031005.pdf

Waves, E.O. Tuck _

http://www.maths.adelaide.edu.au/ernie.tuck/pdfiles/iciam03_EOT_paper.pdf

Resistance Sesson / Report of Resistance Commitee

http://ittc.sname.org/proc11/Report%20of%20Resistance%20Committee.pdf
Applications of Wave Resistance Theory to problems of Ship Design
G., P., Weinblum (1959)

http://doku.b.tu-harburg.de/volltexte/2010/883/pdf/Bericht_Nr.058_G.Weinblum_Applications_of_Wave_Resistance_Theory_to_Problems_of_Ship_Design.pdf

A THREE-DIMENSIONAL LINEAR ANALYSIS OF STEADY SHIP MOTION IN DEEP WATER.
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
JOB JOHANNES MARIA BAAR.
http://v-scheiner.brunel.ac.uk/bitstream/2438/6527/1/FulltextThesis.pdf

The Neumann–Michell theory of ship waves
Francis Noblesse · Fuxin Huang · Chi Yang
Received: 21 October 2011 / Accepted: 26 June 2012 / Published online: 23 October 2012 US Government 2012

http://download.springer.com/static/pdf/688/art%253A10.1007%252Fs10665-012-9568-7.pdf?auth66=1389531302_e709fc78cef3f0903a9df1cd4ba41fba&ext=.pd

Gewerbliche Lehranstalten Bremerhaven, Georg-Büchner-Str. 7, 27574 Bremerhaven
Schiffswiderstand und Vortrieb1
Schiffswiderstand
http://konstuktions-web.info/downloads_sb/A3_Schiffswiderstand_Vortrieb.pdf

Einfluss der Asymmetrie von Katamaranrümpfen auf den Wellenwiderstand / Fachgebiet Dynamik Maritimer Systeme
Conrad Jentzsch

http://www.dms.tu-berlin.de/fileadmin/fg3/Publikationen/Bachelorarbeiten/Jentzsch_2013_Einfluss_der_Asymmetrie_von_Katamaranruempfen_auf_den_Wellenwiderstand.pdf

11th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime
Industries, Liege, 16-18 April 2012**,** Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg,
2012, ISBN 978-3-89220-660-6

http://www.ssi.tu-harburg.de/doc/webseiten_dokumente/compit/dokumente/Proceeding_Compit2012_Liege.pdf

DRAG ON A SHIP AND MICHELL'S INTEGRAL
Ernie Tuck_, & Leo Lazauskas_
_School of Mathematical Sciences, The University of Adelaide, South Australia, 5005, Australia

http://www.maths.adelaide.edu.au/ernie.tuck/pdfiles/laz_tuc_ictam.pdf

The Neumann-Michell theory of ship waves
Francis Noblesse[1], Fuxin Huang[2], Chi Yang[2]
http://www.iwwwfb.org/Abstracts/iwwwfb27/iwwwfb27_34.pdf

Weitere Referenzen

Wilson W, Fu T, Pence A, Gorski J (2006) The measured and predicted wave field of model 5365: an evaluation of current CFD
capability. In: Proceedings of 26th Symposium on Naval Hydrodynamics, Rome, Italy

Noblesse F, Delhommeau G, GuilbaudM, Hendrix D, Yang C (2008) Simple analytical relations for ship bow waves. J Fluid Mech
600:105–132

Delhommeau G, Guilbaud M, David L, Yang C, Noblesse F (2009) Boundary between unsteady and overturning ship bow wave
regimes. J Fluid Mech 620:167–175

Fernandez G (1978) Nonlinearity of the three-dimensional flow past a flat blunt ship. J Fluid Mech 108:345–361

Duncan JH (1983) The breaking and non-breaking wave resistance of a two-dimensional hydrofoil. J Fluid Mech 126:507–520

Michell JH (1898) The wave resistance of a ship. Philos Mag (5) 45:106–123

Hogner E (1932) Hydromech. Probl. d. Schiffsantriebs, Herausgeg.v.Kempf u. E. Foerster, Hamburg, pp 99–114

Noblesse F (1983) A slender-ship theory of wave resistance. J Ship Res 27:13–33

Wigley WCS (1926) Ship wave resistance. A comparison of mathematical theory with experimental results. Trans Inst Naval
Architects 68:124–137

Weinblum GP (1955) A systematic evaluation of Michell's integral. David Taylor Model Basin Rep. 886

Weinblum GP (1959) Applications of wave resistance theory to problems of ship design. Schriftenenreihe Schiffbau. Technische
Universität Hamburg-Harburg, pp 119–163

Wehausen JV (1973) The wave resistance of ships. Adv Appl Mech 13:93–245

Yeung RW (1972) Sinkage and trim in first-order thin-ship theory. J Ship Res 16:47–59

Standing RG (1974) Phase and amplitude discrepancies in the surface wave due to a wedge-ended hull form. J Fluid Mech 62:625–
642

Tuck EO, Lazauskas L (2008) Drag on a ship and Michell's integral. In: ICTAM 2008, Adelaide, South Australia

Day AH, Doctors LJ (2001) Rapid evaluation of near and far field wave wake from ships and application to hull form design and
optimization. J Ship Res 45:73–84

Noblesse F, Delhommeau G, Kim HY, Yang C (2009) Thin-ship theory and influence of rake and flare. J Eng Math 64:49–80

Noblesse F, Delhommeau G, Yang C, Kim HY, Queutey P (2011) Analytical bow waves for fine ship bows with rake and flare.
J Ship Res 55:1–18

Letcher JS, Marshall JK, Olliver JC, Salvesen N (1987) Stars and Stripes. Sci Am 257:34–40

Debo H,Yunbo L (1997) Shipwave resistance based onNoblesse's slender ship theory andwave-steepness restriction. Ship Technol
Res 44:198–202

Percival S, Hendrix D, Noblesse F (2001) Hydrodynamic optimization of ship hull forms. Appl Ocean Res 23:337–355

Yang C, Soto O, Löhner R, Noblesse F (2002) Hydrodynamic optimization of a trimaran. Ship Technol Res 49:70–92

Tuck EO, Lazauskas L (2008) Unconstrained ships of minimum total drag. Department of Applied Mathematics, The University
of Adelaide, Adelaide

Yang C, Noblesse F (2008) A practical method for predicting sinkage and trim. Int J Offshore Polar Eng 18:288–291

Brard R (1972) The representation of a given ship form by singularity distributions when the boundary condition on the free surface
is linearized. J Ship Res 16:79–92

Guevel P, Vaussy P, Kobus JM (1974) The distribution of singularities kinematically equivalent to a moving hull in the presence
of a free surface. Int Shipbuild Prog 21:311–324

Farell C (1973) On the wave resistance of a submerged spheroid. J Ship Res 17:1–11

Doctors LJ, BeckRF (1987) Convergence properties of the Neumann–Kelvin problem for a submerged body. J Ship Res 31:227–234

Belibassakis KA, Gerostathis TP, Politis CG (2009) A novel BEM-Isogeometric method with application to the wavemaking resistance
problem of bodies at constant speed. In: 13th Cong InternationalMaritime Association of the Mediterranean. IMAMIstanbul,
Turkey

Guevel P, Delhommeau G, Cordonnier JP (1977) Numerical solution of the Neumann–Kelvin problem by the method of singularities.
In: Proceedings of 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Berkeley, CA, pp 107–123

Tsutsumi T (1979) Calculation of the wave resistance of ships by the numerical solution of Neumann–Kelvin problem. In: Proceedings
of workshop ship wave-resistance computations. David W Taylor Naval Ship Research and Development Center, Bethesda,
MD, pp 162–201

Chang MS (1979) Wave resistance predictions by using a singularity method. Proceedings of workshop ship wave-resistance
computations. David W Taylor Naval Ship Research and Development Center, Bethesda, MD, pp 202–204

Tsai W, Lin Y, Liao C (1983) Numerical solution of the Neumann–Kelvin problem and its application to ship resistance computations.
In: Proceedings of 2nd David W Taylor Naval Ship Research and Development Center Workshop on Ship Wave Resistance
Computations, Bethesda, MD, pp 233–280

Baar JJM (1986) A three-dimensional linear analysis of steady ship motion in deep water. PhD thesis, Brunel University, 182
pp

Andrew RN, Baar JJM, Price WG (1988) Prediction of ship wavemaking resistance and other steady flow parameters using Neumann–
Kelvin theory. Proc R Inst Naval Architects, 130:119–133

Baar JJM, Price WG (1988) Developments in the calculation of the wavemaking resistance of ships. Proc R Soc Lond Ser A
416:115–147

Doctors LJ, Beck RF (1987) Numerical aspects of the Neumann–Kelvin problem. J Ship Res 31:1–13

Scragg CA, Talcott JC (1988) Convergence of the Neumann–Kelvin problem. In: 3rd International Workshop on Water Waves
and Floating Bodies, Woods Hole, MA, pp 153–156

Marr GP (1996) An investigation of Neumann–Kelvin ship wave theory and its application to yacht design. PhD thesis, University
of Auckland

Diebold L (2007) Study of the Neumann–Kelvin problem for one hemisphere. In: 22nd International Workshop on Water Waves
and Floating Bodies, Plitvice, Croatia, pp 57–60

Nakos D, Sclavounos P (1980) On steady and unsteady ship wave patterns. J Fluid Mech 215:263–288

Raven HC (1996) A solution method for the nonlinear ship wave problem. PhD thesis, Delft University of Technology

Bertram V (2000) Practical ship hydrodynamics. Butterworth-Heinemann, Oxford

Bal S (2008) Prediction of wave pattern and wave resistance of surface piercing bodies by a boundary element method. Int J Numer
Methods Fluids 56:305–329

Noblesse F, Delhommeau G, Huang F, Yang C (2011) Practical mathematical representation of the flow due to a distribution
of sources on a steadily-advancing ship hull. J Eng Math 71:367–392

Noblesse F, Yang C (2007) Elementary water waves. J Eng Math 59:277–299

Noblesse F, Triantafyllou G (1983) Explicit approximations for calculating potential flow about a body. J Ship Res 27:1–12

Noblesse F (1981) Alternative integral representations for the Green function of the theory of ship wave resistance. J Eng Math
15:241–265
Noblesse F, Yang C (2004) A simple Green function for diffraction-radiation of time-harmonic waves with forward speed. Ship
Technol Res 51:35–52

Yang C, Löhner R, Noblesse F (2004) Comparison of classical and simple free-surface Green functions. Int J Offshore Polar Eng
14:257–264

Noblesse F (2001) Analytical representation of ship waves. Ship Technol Res 48:23–48

Noblesse F, Delhommeau G, Huang F,YangC(2001) Short gravitywaves due to a steadily-advancing ship hull. In: 26th International
Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Athens, Greece

Yang C, Kim HY, Delhommeau G, Noblesse F (2007) The Neumann–Kelvin and Neumann–

Michell linear models of steady flow

about a ship. In: Guedes Soares C, Kolev P (eds) International Maritime Association of the Mediterranean conference, Varna
Bulgaria; in Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources, vol 1, Maritime Transportation. Taylor and Francis,
London, pp 129–136

Yang C, Kim HY, Noblesse F (2007) A practical method for evaluating steady flow about a ship. In: 9th International Conference
on Fast Sea Transportation, Shanghai, China

Kim HY, Yang C, Löhner R, Noblesse F (2008) A practical hydrodynamic optimization tool for the design of a monohull ship. In:
18th International Society of Offshore and Polar Engineering conference, Vancouver, Canada, pp 98–107

Yang C, Kim HY, Löhner R, Noblesse F (2008) Practical hydrodynamic optimization of ship hull forms. In: Proceedings of the
Grand Challenges in Modeling and Optimization Conference, Edinburgh, UK, pp 435–444

Kim HJ, Yang C, Kim HY, Chun HH (2009) Hydrodynamic optimization of a modern container ship using variable fidelity models.
In: 19th international Society of Offshore and Polar Engineering conference, Osaka, Japan, pp 98–107

Kim HY, Yang C, Kim HJ, Noblesse F (2009) Application of a practical multi-objective optimization tool to hydrodynamic design
of a surface combattant ship. In: Proceedings of the Grand Challenges in Modeling and Optimization Conference, Istanbul, Turkey

Kim HY, Yang C, Noblesse F (2010) Hull form optimization for reduced resistance and improved seakeeping via practical designoriented
CFD tools. In: Proceedings of the Grand Challenges in Modeling and Optimization Conference, Ottawa, Canada

Kim HY, Yang C, Kim HJ, Chun HH (2010) A combined local and global hull form modification for hydrodynamic optimization.
In: Proceedings of 28th Symposium on Naval Hydrodynamics, Pasadena, CA

Kim HY, Jeong S, Yang C, Noblesse F (2011) Hull form design exploration based on response surface method. In: 21st International
Society of Offshore and Polar Engineering Conference, Maui, USA

BEI GRIN MACHT SICH IHR
WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit,
  Bachelor- und Masterarbeit

- Ihr eigenes eBook und Buch -
  weltweit in allen wichtigen Shops

- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren

GRIN