

456 | August 1985

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

Heinrich Kerlen

Über den Einfluß der Völligkeit auf die Rumpfstahlkosten von Frachtschiffen

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

Über den Einfluß der Völligkeit auf die Rumpfstahlkosten von Frachtschiffen

H. Kerlen, Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, 1985

© Technische Universität Hamburg-Harburg
Schriftenreihe Schiffbau
Schwarzenbergstraße 95c
D-21073 Hamburg

<http://www.tuhh.de/vss>

Institut für Schiffbau der Universität Hamburg

Über den Einfluß der Völligkeit auf die
Rumpfstahlkosten von Frachtschiffen

von

Heinrich Kerlen

August 1985

Bericht Nr. 456

1. Einleitung

Beim Entwerfen von Schiffen stellt sich für die Werft die Aufgabe, die technischen Eigenschaften und die Hauptabmessungen eines Schiffes so zu bestimmen, daß die Forderungen des Reeders nach Tragfähigkeit, Geschwindigkeit, Reichweite und anderem mehr mit möglichst niedrigen Baukosten erfüllt werden können. Dabei reicht die Aufgabenstellung von der technischen und kostenmäßigen Bearbeitung nur einer mehr oder weniger vorgegebenen Lösung, bis zur systematischen Durchrechnung vieler, die Entwurfsbedingungen erfüllenden Alternativen, und zwar je nachdem wie weit der Reeder seine Forderungen in der Anfrage bereits definiert und präzisiert hat. Die systematische Durchrechnung einer größeren Zahl von Alternativen ist in der Werftpraxis immer noch relativ selten, da der Zeitbedarf und Kostenaufwand zur Berechnung mehrerer Alternativen bei Anwendung konventioneller Entwurfs- und Kalkulationsverfahren beträchtlich ist. Erst mit zunehmender Rechneranwendung im Schiffsentwurf beginnt sich allmählich eine Änderung der Entwurfspraxis abzuzeichnen.

Bei der Optimierung des Schiffsentwurfs, z.B. unter der Zielfunktion Rentabilität des investierten Kapitals oder auch Minimierung der Selbstkosten der Werft, spielen die Kostenanteile für die Hauptantriebsanlage des Schiffes einerseits und für den Stahlrumpfschiffsrumpf andererseits eine wesentliche Rolle, wie die Übersicht über die Baukostenanteile in Tabelle 1 zeigt.

Hauptmaschine	8 - 13 %	variabel
Stahlrumpf	24 - 35 %	
	4 - 6 %	bedingt variabel
Aufbauten		
Masch.-Anlagen		
E-Anlagen	50 - 60 %	invariant
Ausrüstung		
Einrichtung		

Tabelle 1: Baukostenanteile

Die Völligkeit der Verdrängung c_B hat sowohl auf die Höhe der erforderlichen Antriebsleistung als auch auf die Kosten für den Stahlrumpf einen entscheidenden Einfluß, und zwar mit jeweils gegenläufiger Tendenz:

- die Kosten für die Hauptantriebsanlage steigen mit zunehmender Völligkeit, d.h. mit zunehmendem Widerstand des Schiffskörpers und damit zunehmender erforderlicher Leistung
- die Kosten für den Stahlrumpfschiffsrumpf sinken mit zunehmender Völligkeit infolge niedrigeren Fertigungsaufwandes für den weniger formbehafteten Schiffsrumpf.

Die Abschätzung der Kosten für den Hauptantrieb des Schiffes gehört zum gesicherten schiffbautechnischen Wissen, während die Aussagen über die Kostentendenz für den Schiffsrumpf als Funktion der Völligkeit bisher vorwiegend auf qualitativen Überlegungen beruhen. Die Untersuchungen des Autors hatten zum Ziel, durch systematische Auswertung von Daten gebauter Schiffe eine quantitative Überprüfung dieser Aussagen zu erreichen (1).

Bei der Frage nach dem Einfluß der Völligkeit auf die Rumpfstahlkosten sind drei Aspekte von Bedeutung:

1. Wie ändert sich das Netto-Stahlgewicht mit der Völligkeit?
2. Welchen Einfluß hat die Völligkeit auf den Verschnitt und damit auf den Bruttostahlbedarf für den Schiffsrumpf, nach dem der Materialkostenanteil berechnet wird?
3. Welchen Einfluß hat die Völligkeit auf die Fertigungsstunden, nach denen der Lohn- und Gemeinkostenanteil der Rumpfstahlkosten ermittelt wird?

Die Antworten auf diese Frage werden im Folgenden diskutiert.

2. Einfluß der Völligkeit auf das Rumpfstahlgewicht und auf seine Verteilung der Länge nach

Im Laufe der Jahrzehnte haben sich viele Praktiker und Theoretiker mit der Frage nach dem geeigneten Verfahren zur Ermittlung des Stahlgewichtes von Schiffen auseinandergesetzt und darunter teilweise auch die Frage nach dem Einfluß der Völligkeit auf das Stahlgewicht untersucht.

Abb. 1 zeigt die relative Änderung des Rumpfstahlgewichtes in Abhängigkeit von der Völligkeit nach den Angaben verschiedener Autoren. Danach ist - bei sonst gleichen Abmessungen - mit steigender Völligkeit auch

ein Ansteigen des Stahlgewichtes zu erwarten, und zwar im Bereich von

$$c_B = \pm 0,01 \cong \frac{\Delta S_R}{S_{RO}} = \pm (0,3 - 0,5) \%$$

Die Aussagen der verschiedenen Autoren und Institutionen stimmen gut überein. Nur Schneekluth hält einen stärkeren Einfluß der Völligkeit auf das Stahlgewicht für gegeben.

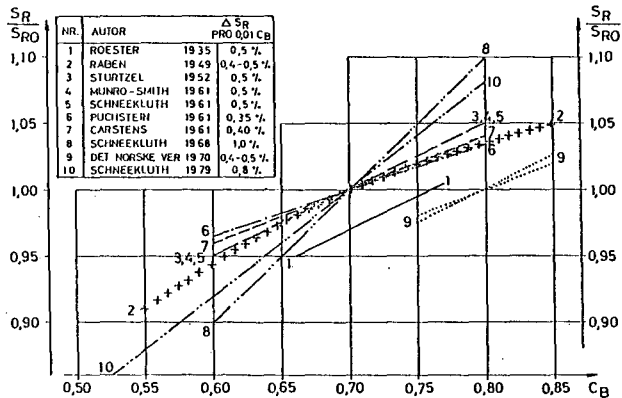
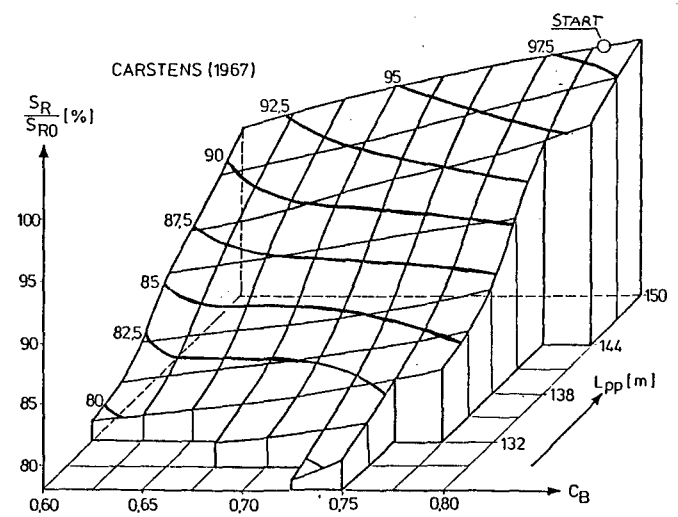
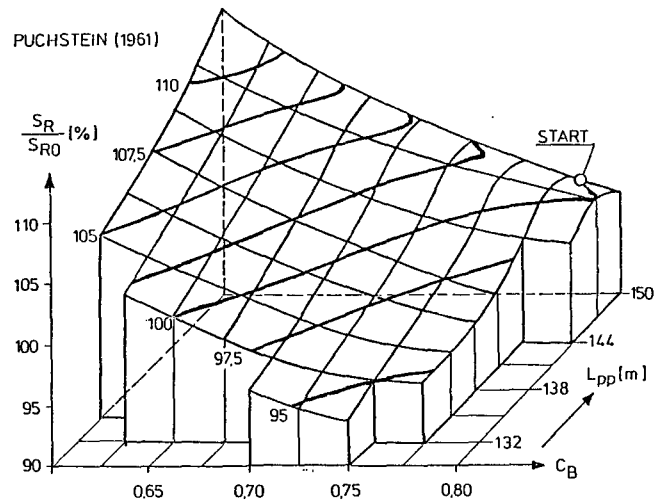


Abb. 1: Relative Änderung des Rumpfstahlgewichtes in Abhängigkeit von der Völligkeit

Bei der oben erwähnten Aufgabenstellung an den Entwurfsingenieur, für gegebene Bedingungen die Hauptabmessungen des Schiffes wie Länge, Breite, Seitenhöhe, Tiefgang und Völligkeit zu optimieren, kann die Formvariation des Schiffes z.B. durch variantenweise Vorgabe einer Länge und eines Blockkoeffizienten erfolgen, zu denen die übrigen Hauptdaten passend berechnet werden. Ein solcher Entwurfsalgorithmus liegt beispielsweise dem an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen entwickelten Programm OPTIMA zugrunde, nach dem eine Vielzahl Varianten errechnet werden können, die die Entwurfsbedingungen erfüllen. Für die Ermittlung der einzelnen Varianten sind unterschiedliche Berechnungsverfahren für die verschiedenen Entwurfsschritte einsetzbar: für das Stahlgewicht u.a. die Verfahren nach Puchstein (1961), Carstens (1967), Det Norske Veritas (1970) und Schneekluth (1972) und (1979).

Verwendet man diese Verfahren und variiert die Länge und Völligkeit eines Schiffes systematisch, ergeben sich durchaus unterschiedliche Tendenzen und Niveaus für das Rumpfstahlgewicht in Abhängigkeit von Länge und Völligkeit, wie Abb. 2.1 bis 2.5 zeigen.



DET NORSKE VERITAS (1970)

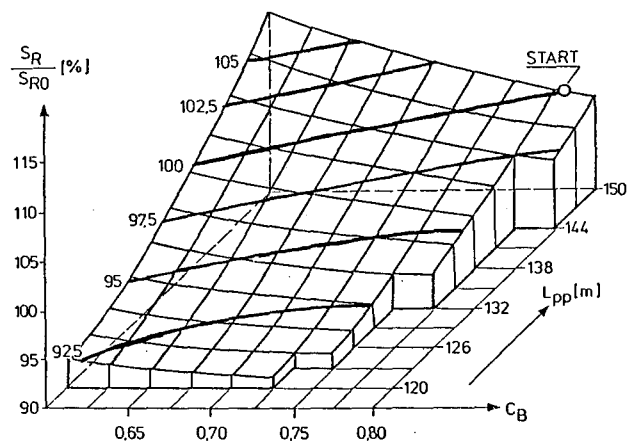


Abb. 2: Abhängigkeit des Rumpfstahlgewichtes eines 20.000 tdw-Frachters von der Länge L_{pp} und der Völligkeit C_B unter Beibehaltung der Entwurfsbedingungen nach dem Programm OPTIMA
 1. nach Puchstein
 2. nach Carstens
 3. nach Det norske Veritas

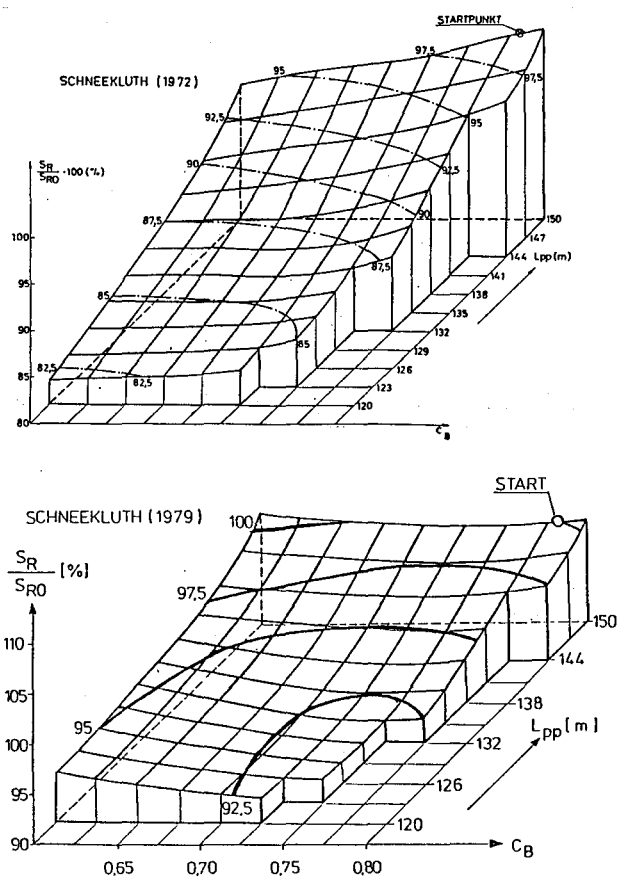


Abb. 2: Abhängigkeit des Rumpfstahlgewichtes eines 20.000 tdw-Frachters von der Länge L_{pp} und der Völligkeit C_B unter Beibehaltung der Entwurfsbedingungen nach dem Programm OPTIMA
 4. nach Schneekluth (1972)
 5. nach Schneekluth (1979)

Je nach Wahl des Berechnungsverfahrens erfolgt die Festlegung der übrigen Parameter etwas unterschiedlich. Dieser Einfluß soll jedoch hier nicht weiter verfolgt werden.

Wesentliches Ergebnis ist, daß die Wahl des Berechnungsverfahrens für das Stahlgewicht einen erheblichen Einfluß auf die Lage des jeweiligen Optimums hat, und zwar sowohl unter technischen als auch kostenmäßigen Gesichtspunkten. Wie unterschiedlich die Ergebnisse der einzelnen Verfahren sind, zeigt Tabelle 2.

Verfahren	$\frac{\Delta S_R}{S_{RO}}$ nach Abbildung 2 Frachtschiff mit 20.000 tdw $L = 150 \text{ m}$ $L = 135 \text{ m}$ $L = 123 \text{ m}$			$\frac{\Delta S_R}{S_{RO}}$ nach Abb. 1
Puchstein	+ 6.0 %	+ 6.0 %	-	- 3.5 %
Carstens	- 3.5 %	- 2.5 %	-	- 4.0 %
DnV	+ 4.5 %	+ 2.5 %	+ 0.5 %	- 4.0 bis 5.0 %
Schneekluth (1972)	- 2.5 %	- 1.5 %	- 2.0 %	- 10.0 %
Schneekluth (1979)	+ 1.0 %	+ 1.5 %	+ 2.0 %	- 8.0 %

Tabelle 2: Vergleiche der Ergebnisse

Um die möglichen Ursachen für diese unterschiedlichen Ergebnisse zu verstehen, kann man sich die Entwurfsvariation zur Einhaltung der Entwurfsbedingungen in zwei Stufen zerlegt vorstellen:

1. Zunächst wird eine Änderung der Völligkeit vorgenommen - hier von $c_B = 0,75$ auf $c_B = 0,65$ -, ohne die Entwurfsbedingungen einzuhalten, d.h. also, ohne die übrigen Hauptabmessungen zu ändern. Dieser Schritt führt bei allen Verfahren zu einer gleichgerichteten, wenn auch nicht gleich großen Verringerung des Rumpfstahlgewichtes, un zwar in der Größe von 3,5 % bis 10 %, wie die Spalte ganz rechts in Tabelle 2 zeigt. Dieser Schritt kann also nicht die Ursache für die uneinheitlichen Tendenzen in den Ergebnissen sein.

2. Danach muß die erfolgte Völligkeitsänderung durch Änderung der übrigen Parameter L , B , D und T wieder kompensiert werden, um die ursprüngliche Tragfähigkeit und das Laderaumvolumen wieder herzustellen. Offensichtlich ist die Kompensationsgröße von Verfahren zu Verfahren sehr verschieden. Sie variiert zwischen 0,5 % des Rumpfstahlgewichtes bei Carstens und 10 % bei Schneekluth (1979). Da das Kompensationsprinzip des Programms OPTIMA bei allen Verfahren gleich ist, bedeutet dies, daß die einzelnen Verfahren zur Abhängigkeit des Rumpfstahlgewichtes von Länge, Breite, Seitenhöhe und Tiefgang bzw. von deren Verhältnisswerten unterschiedliche Aussagen machen.

Welches Verfahren die wirklichen Verhältnisse zutreffender beschreibt, kann dieser Vergleich nicht entscheiden. Die sich ergebenden Unterschiede sind jedoch so erheblich, daß weitere Untersuchungen wünschenswert sind, um die gefundenen Unterschiede zu erklären und die "richtigen" Tendenzen zu finden.

Für die Untersuchung des Einflusses der Schiffsform auf material- und lohnabhängige Kosten reicht die Kenntnis der Abhängigkeit des gesamten Stahlgewichtes von der Völligkeit nicht aus. Daher wurde eine Aufteilung des Schiffskörpers gewählt, die drei Gesichtspunkten Rechnung trägt:

1. Unterteilung in variationsunabhängige Schiffskörperanteile wie Aufbauten und Deckshäuser und variationsabhängige Anteile wie der Schiffsrumpf selber (siehe Abb. 3).

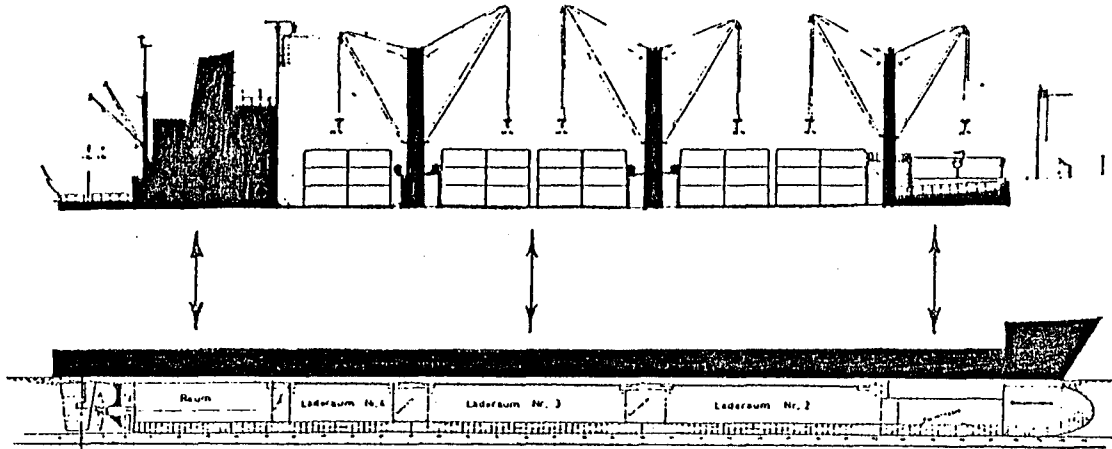


Abb. 3: Aufteilung nach Kostengesichtspunkten

2. Aufteilung des Schiffsrumpfes unter Formgesichtspunkten, d.h. Unterteilung in Eintritt, paralleles Mittelschiff und Auslauf (siehe Abb. 4).

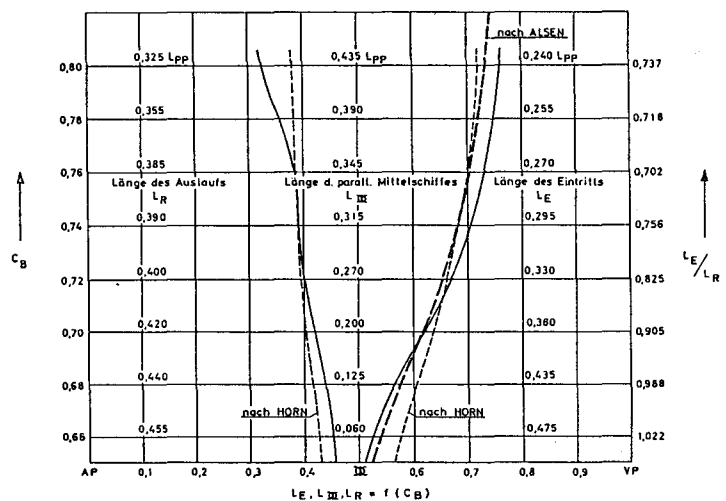
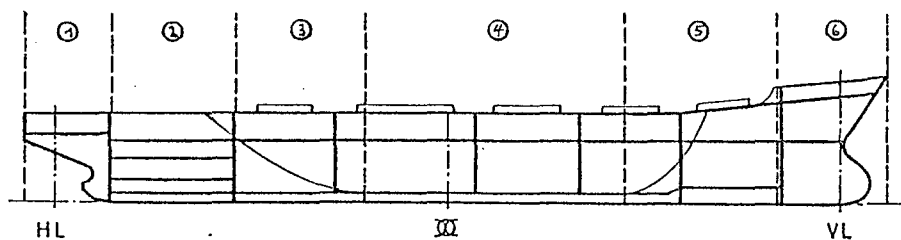


Abb. 4: Aufteilung nach Formgesichtspunkten

3. Unterteilung des Schiffsrumpfes unter konstruktiven Gesichtspunkten in sechs Hauptabschnitte, die vom Heckbauteil über den Maschinen- und Laderaumbereich bis zum Bugbauteil reichen (siehe Abb. 5).



- 1 Heck
- 2 Maschinenraum
- 3 Hinterer Übergangsbereich Laderaum
- 4 Paralleles Mittelschiff Laderaum
- 5 Vorderer Übergangsbereich Laderaum
- 6 Bug

Abb. 5: Aufteilung nach konstruktiven Gesichtspunkten

Diese Einteilung wurde zum einen mit Blick auf Optimierungsrechnungen mit systematischer Variation der Hauptabmessungen gewählt, zum anderen aber auch, um die Praxisdaten für Verschnitt und Fertigungsstunden formabhängig erfassen zu können.

Zur formabhängigen Unterteilung des Schiffes, wie sie in Abb. 4 gezeigt ist, sei erwähnt, daß dieser Aufteilung die heutige Entwurfspraxis zugrunde liegt. Danach wird die Länge des Eintritts L_E insbesondere unter Berücksichtigung der Widerstandseigenschaften des zu entwerfenden Schiffes für den vorgesehenen Froudzahlbereich festgelegt. Die erforderliche Mindestlänge des Eintritts sollte folgenden Wert nicht unterschreiten:

$$L_E = 0,217 \cdot v^2 \text{ (m)} \quad (v \text{ in Knoten})$$

Die Länge des Auslaufs L_R ist von der Notwendigkeit bestimmt, Ablösung der Propellerzuströmung am Hinterschiff zu vermeiden oder wenigstens genügend gering zu halten. Die empfehlenswerte Mindestlänge beträgt:

$$L_R = \frac{3,2 \cdot \sqrt{B \cdot T}}{c_B} \text{ (m)}$$

Unter Berücksichtigung dieser beiden Definitionen für die Längen des Eintritts und des Austritts ergeben sich die anzustrebenden Längen für das parallele Mittelschiff

$$L_{\parallel} = L_{PP} - L_E - L_R \text{ (m)}$$

Dieser Ansatz wurde in das vom Autor entwickelte Rechenprogramm zur Ermittlung der Aufteilung des Schiffsrumpfes, des abschnittswisen Verschnitts und der abschnittswisen spezifischen Fertigungsstunden und damit letztlich zur Ermittlung der Rumpfstahlkosten eingebaut.

In die Untersuchungen einbezogen wurden 6 verschiedene Schiffsentwürfe, von denen insgesamt 75 Schiffe gebaut wurden. Es handelt sich dabei um Stückgutfrachter (GC16), Massengutfrachter (BC25), Produktentanker (PT40), Semi-Containerschiffe (SCS600) sowie Vollcontainerschiffe (CS750 und CS1000) im Völligkeitsbereich von $c_B = 0,63$ bis $c_B = 0,801$. Nach Abschluß der Untersuchungen wurden 1984 zwei weitere Schiffstypen einer anderen Werft nach der gleichen Methode untersucht, und zwar ein Mehrzweckfrachter mit

Containereignung (GC8) mit einer Völligkeit von $c_B = 0,807$ und ein 1150 TEU Vollcontainerschiff (CS1150) mit einer Völligkeit von 0,618.

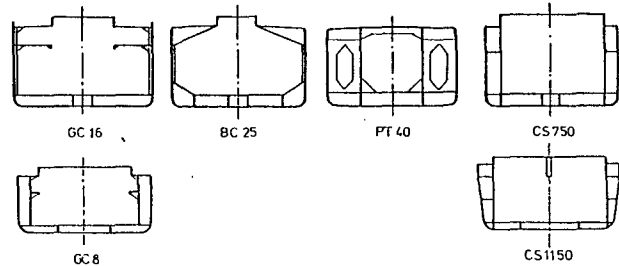


Abb. 6: Charakteristische Querschnitte

Die Hauptdaten dieser Schiffe sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

SCHIFFSTYP	GC16	BC25	PT40	SCS600	CS750	CS1000	GC8	CS1150
Lotlänge L_{PP} (m)	139,25	162,90	184,90	135,00	151,30	158,00	117,00	157,00
Breite B_{max} (m)	21,00	22,80	28,40	23,00	25,50	28,00	18,50	28,00
Seitenhöhe D (m)	12,25	14,40	15,70	10,70	13,70	16,10	7,95	14,00
Tiefgang T_{DWL} (m)	8,94	9,14	11,58	7,90	9,35	9,10	5,90	9,10
c_B	0,758	0,797	0,801	0,672	0,642	0,630	0,807	0,618
V_u (m ³)	28.330	45.230	68.630	23.950	38.000	52.700	15.000	49.500
Back (t)	60	90	122	125	200	250	30	70
Poop (t)	-	170	-	133	-	-	50	120
Aufbau u. Windenhäuser (t)	300	260	478	332	460	380	155	265
Eisklasse	-	BV (C + GL E)	-	GL E	GL E	GL E	GL E	GL E
Rumpfstahlgewicht (t)	2940	4800	6850	2750	4550	4770	1670	3860

Tabelle 3: Hauptdaten der Schiffe

Die Rumpfstahlgewichte der gebauten Schiffe wurden um spezielle Gewichtsanteile wie Eisverstärkungen, höherfester Stahl, zusätzliche Einbauten und Verstärkungen aufgrund spezieller Reederforderungen und unterschiedliche konstruktions- und fertigungsbedingte Zuschläge bereinigt und mit den Ergebnissen der verschiedenen Verfahren zur Ermittlung des Rumpfstahlgewichtes verglichen. Das Ergebnis ist in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Das Ergebnis zeigt noch einmal den für den Praxis unbefriedigenden Zustand bei der Anwendung veröffentlichter Verfahren zur Ermittlung des Rumpfstahlgewichtes und unterstreicht darüberhinaus die Notwendigkeit der Überprüfung und Weiterentwicklung geeigneter Verfahren.

Schon 1981 hat der Autor in seiner Arbeit vorgeschlagen, ein Verfahren weiterzuentwickeln, mit dem

SCHIFFSTYP	"Bereinigtes" IST	RUMPFSTAHLGEWICHT S_R (t) nach					
		PUCHSTEIN (1961)	CANSTENS (1967/1970)	CHAPMAN (1969)	DNV (1970)	SCHNEEKLUH (1972) (1979)	
Stückgutfrachter GC 16	2.800 (100)	2.854 (94,8)	2.796 (99,9)	(2.680) (95,7)	-	2.648 (94,6)	2.651 (94,7)
Massengutfrachter GC 25	4.450 (100)	(3.710) (83,4)	3.938 (88,5)	-	(4.154) (93,3)	4.378 (98,4)	4.252 (95,6)
Produktentanker PT 40	6.850 (100)	-	-	-	6.561 (98,7)	6.983 (105,0)	6.905 (103,8)
Semicon-tainerschiff CS 600	2.700 (100)	2.493 (92,3)	2520/(2.356) (93,3/87,3)	(2.574) (95,3)	-	2.285 (84,7)	2.352 (87,1)
Vollcontainerschiff CS 750	3.900 (100)	-	3.414 (87,5)	3.714 (95,2)	-	3.943 (101,1)	4.108 (105,3)
Vollcontainerschiff CS 1000	4.600 (100)	-	4.045 (87,9)	4.550 (98,9)	-	4.748 (103,2)	5.010 (108,9)

(1): Klammerwerte sind Verfahrensergebnisse, die nicht voll auf den Schiffstyp anwendbar sind.

Tabelle 4: Vergleich der Rumpfstahlgewichte

- 1) im Bereich des Laderaums das Durchschnittsgewicht pro laufendem Meter entsprechend den Dimensionierungsvorschriften der Klassifikationsgesellschaften für die konkrete konstruktive Lösung ermittelt werden kann und anschließend
- 2) die Gewichte für die Bereiche Heckbauteil, Maschinenraum und Bugbauteil über schiffstypenspezifische Standardverteilungen errechnet werden können.

Die Verteilung des Rumpfstahlgewichtes über die Länge des Schiffes entsprechend den gewählten sechs Hauptabschnitten, zeigen die Abb. 7, 8, 9 und 10. Sie sollen hier im einzelnen nicht kommentiert werden. Als interessante Besonderheit ist jedoch anzumerken, daß die Gewichtsverteilung bei den beiden Vollcontainerschiffen CS 750 und CS1000 im Bereich des Maschinenraumes und Heckbauteils praktisch auf dem Niveau des Laderaumbereiches verbleibt und daß auch das Bugbauteil nicht so stark abfällt wie bei den anderen Schiffstypen.

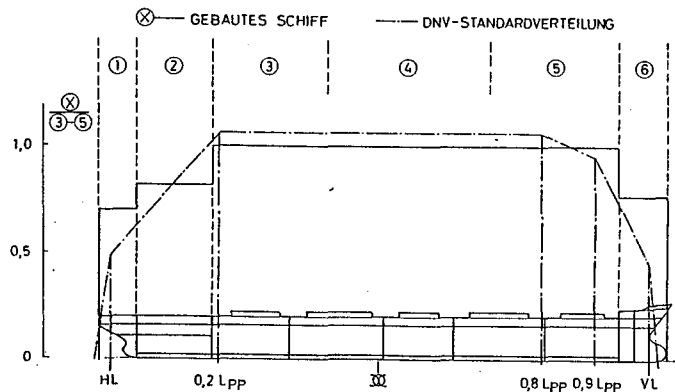


Abb. 8: Bulkcarrier BC 25, Verteilung des Rumpfstahlgewichtes

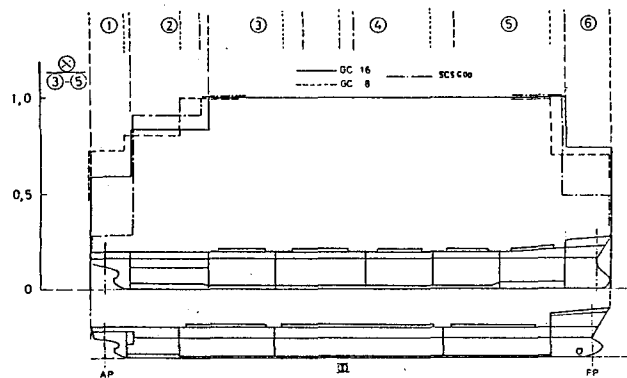


Abb. 9: Stückgutfrachter GC 8 und GC 16, Verteilung des Rumpfstahlgewichtes

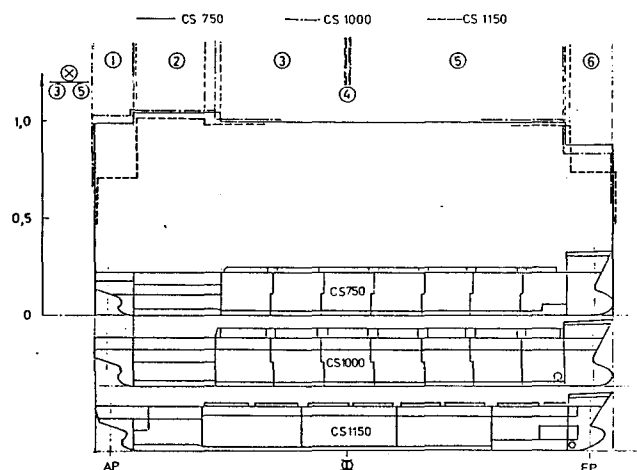


Abb. 10: Containerschiffe CS 750, CS 1000 und CS 1150, Verteilung des Rumpfstahlgewichtes

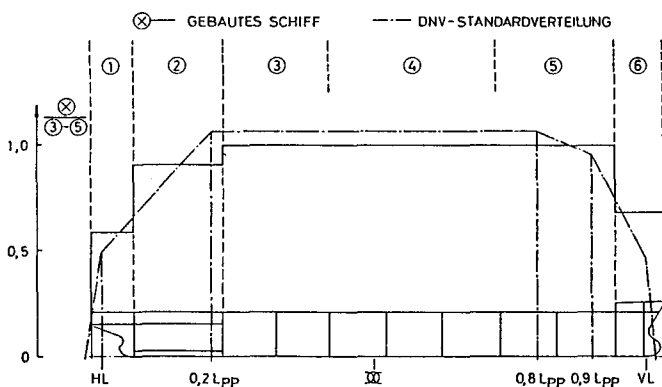


Abb. 7: Produktentanker PT 40, Verteilung des Rumpfstahlgewichtes

Eine vergleichbare Darstellung findet sich übrigens im Vortrag von H. Keil vor der International Marine Systems Design Conference (IMSDC) 1982 (2).

Inwieweit die Völligkeit des Schiffsrumpfes einen Einfluß auf den Anteil des Rumpfstahlgewichtes in den einzelnen Bereichen hat, ist der Tabelle 5 und der Abb. 10 zu entnehmen, aus der sich deutlich zeigt, daß der Anteil des Laderaumgewichtes mit zunehmender Völligkeit steigt, und zwar bei entsprechender Verringerung der anderen Anteile.

Schiffstyp	Völligkeit C_B	Anteil des Rumpfstahlgewichtes nach Hauptbereichen			
		Heck 1	Masch.-Raum 2	Laderaum 3-5	Bug 6
Vollcontainerschiff CS 1000	0.630	8.1 %	16.4 %	67.4%	8.1 %
Vollcontainerschiff CS 750	0.642	8.3 %	17.3 %	67.6 %	6.8 %
Semiconainerschiff SCS 600	0.672	3.6 %	13.5 %	77.1 %	5.8 %
Stückgutfrachter GC 16	0.758	5.0 %	13.5 %	74.4 %	7.2 %
Massengutfrachter BC 25	0.797	5.7 %	12.0 %	75.1 %	7.2 %
Produktentanker PT 40	0.801	5.1 %	14.7 %	75.2 %	5.0 %
Spezialfrachter GC 6	0.807	6.0 %	11.3 %	75.8 %	6.9 %
Vollcontainerschiff CS 1150	0.618	7.1 %	15.5 %	71.0 %	6.6 %

Tabelle 5: Aufteilung des Rumpfstahlgewichtes auf die Hauptbereiche bei Schiffen unterschiedlicher Völligkeit

Die in Abb. 11 dargestellten gefundenen Zusammenhänge bieten eine geeignete Basis für ein empirisch begründetes Rechenverfahren zur Aufteilung des Rumpfstahlgewichtes auf die gewählten Hauptbereiche unter Berücksichtigung der Völligkeit.

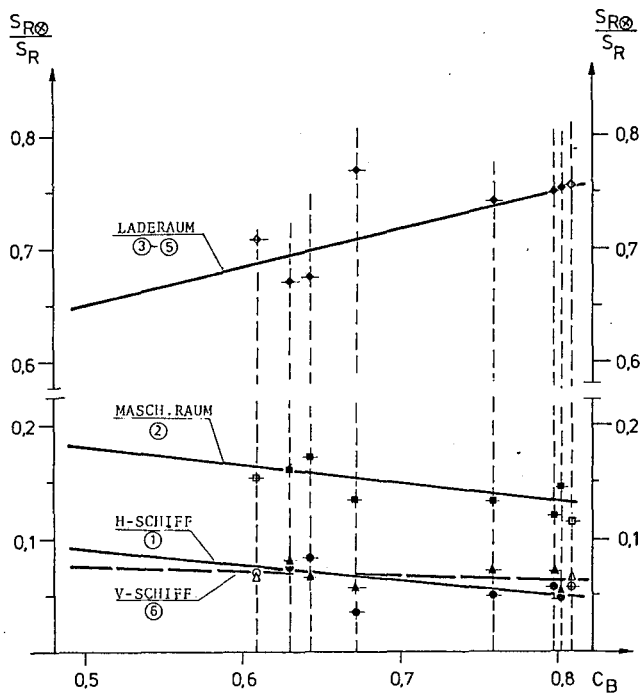


Abb. 11: Gewichtsanteile pro Hauptbereich als Funktion der Völligkeit

3. Einfluß der Völligkeit auf den Verschnitt und damit auf die Materialkosten des Schiffsrumpfes

Die entwurfsbezogenen Überlegungen zielen auf das Netto-Stahlgewicht des fertigen Schiffes ab; für die Kostenermittlung ist jedoch das entsprechende Brutto-Gewicht von Interesse.

Angaben über die voraussichtlichen Stahlmengen, die als Verschnitt angesetzt werden müssen, sind in der Literatur verhältnismäßig selten. Der Autor hat folgende Angaben gefunden (siehe (1)).

- Munro-Smith (1961): 8 - 10 %
- Chapman (1969): 10 - 15 %
- Erichsen (1972): 15 %
- Schneekluth (1975): 15 - 20 %

In der Praxis liegen den kalkulierten Verschnittswerten Erfahrungswerte zugrunde, die je nach Schiffstyp, Schiffsgröße und Konstruktionsmerkmalen und auch nach anderen Einflußgrößen variiert werden.

Im Rahmen der Untersuchungen, über die hier berichtet wird, wurden die wesentlichen Einflußgrößen auf den Verschnitt wie

- Schiffstyp, Schiffsgröße, Völligkeit
- Standardabmessungen für Platten und Profile
- Güte der Außenhautabwicklung
- Güte der Schachtelung, Nutzungsgrad der Platten

untersucht und schließlich eine klare Abhängigkeit der Verschnittzahlen von der Schiffsgröße gefunden. Das Ergebnis ist in Abb. 12 gezeigt.

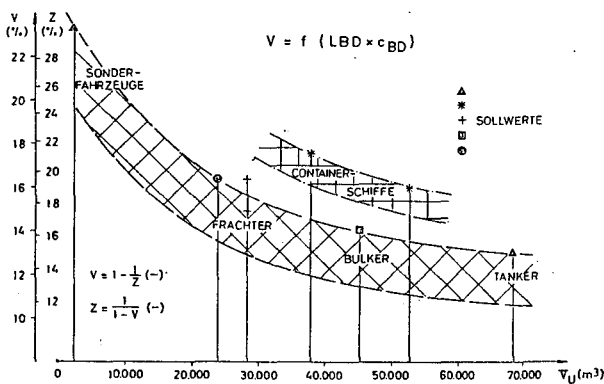


Abb. 12: Verschnitt verschiedener Schiffstypen und -größen

Bei diesen Werten handelt es sich gewissermaßen um Idealwerte, die ohne Berücksichtigung von Störgrößen und Vorlaufproblemen ermittelt wurden. Aus den Ergebnissen lassen

sich Näherungsformeln für den Verschnitt ableiten, und zwar wie folgt:

Frachter,
 Bulker,
 Tanker: $V = 54 \cdot 10^{10} \cdot X^{-5,3} + 12 + X_I (\%)$

Containerschiffe: $V = 9 \cdot 10^{10} \cdot X^{-4,86} + 14 + X_I (\%)$

mit $X = \left(\frac{\nabla_u}{1000} + 100\right)$

Darin bedeuten ∇_u der Unterdeckraum des jeweiligen Schiffes; der Wert X_I gibt die Möglichkeit, betriebsspezifische Einflüsse auf das jeweilige Verschnittniveau entsprechend zu berücksichtigen.

Bei der Untersuchung der Störeinflüsse und Serieneffekte zeigt sich, daß bei kurzem Konstruktionsvorlauf jeweils das erste Schiff ein spürbar höheres Verschnittniveau hat. Die Ergebnisse dieser Sonderuntersuchung sind in Abb. 13 wiedergegeben. Sie sollten bei der jeweiligen Kalkulation entsprechend berücksichtigt werden.

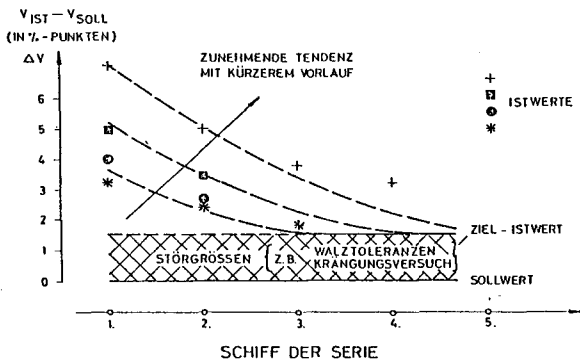


Abb. 13: Verschnittwerte bei Schiffsserien mit unterschiedlichem Vorlauf

Die Werte in Abb. 12 und 13 betreffen den Gesamtstahlbedarf für die untersuchten Neubauten. Nach diesen, auf den Gesamtverschnitt bezogenen Untersuchungen wurden für die sechs Schiffstypen die jeweiligen Netto-Stahlgewichte und Brutto-Stahlgewichte pro Hauptschiffsabschnitt ermittelt. Das Ergebnis ist in normierter Form in Abb. 14 wiedergegeben.

Bei allen Schiffstypen ist eine ausgeprägte Abhängigkeit des Verschnittniveaus von den Bereichen des Schiffes zu erkennen. Ausgehend vom Verschnitt im parallelen Mittelteil

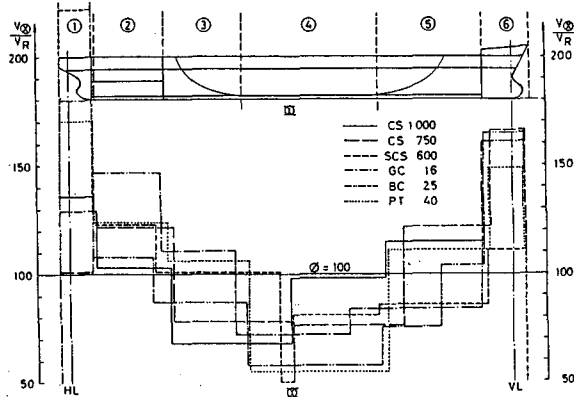


Abb. 14: Verschnittniveau nach Hauptbereichen des Schiffsrumpfes

des Schiffes, steigt das Verschnittniveau stufenförmig über den vorderen und hinteren Übergangsbereich zum Bugbauteil bzw. zum Maschinenraumbereich und Heckbauteil an. Eine eindeutige Abhängigkeit des Verlaufs von der Völligkeit ist in dieser Art der Darstellung auf den ersten Blick nicht zu erkennen, da sich konstruktive, schiffstypenbezogene Einflüsse und Form, d.h. völligkeitsbezogenen Einflüsse überlagern, was insbesondere für den Maschinenbereich gilt.

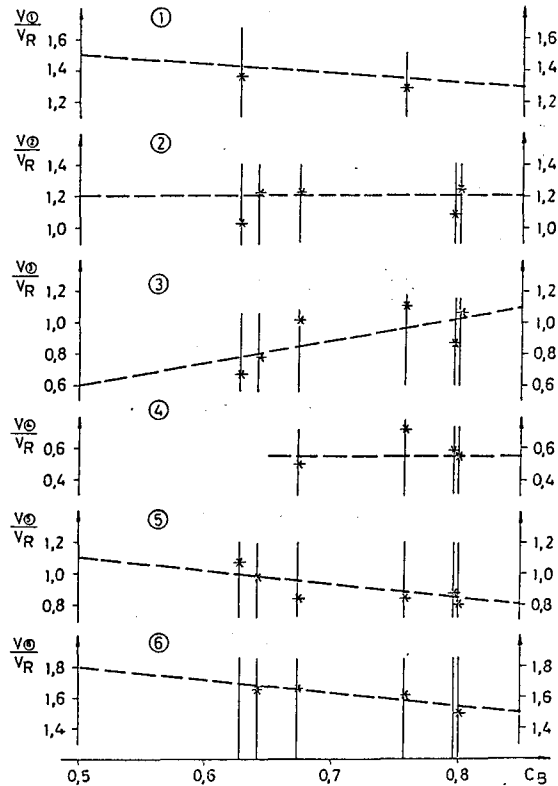


Abb. 15: Verschnittniveau pro Hauptbereich als Funktion von C_B

In Abb. 15 ist das Verschnittniveau pro Hauptbereich in Abhängigkeit von der Völligkeit des Schiffsrumpfes dargestellt. Obwohl die Aussage wegen der relativ geringen Anzahl verschiedener Schiffe im Hinblick auf ihre Verallgemeinerungsfähigkeit mit einer gewissen Zurückhaltung zu betrachten ist, läßt sich darauf durchaus ein brauchbares Rechenmodell für die Abhängigkeit des Verschnittniveaus in den einzelnen Hauptbereichen von der Völligkeit aufbauen.

In Tabelle 6 ist ein Vergleich der Ist-Werte mit den errechneten Formelwerten gegeben: zum einen die Verschnittwerte, die sich aus der Formel für den Verschnitt nach Abb. 12 ergeben und zum anderen die Werte, die sich über die Formeln nach Abb. 14 ergeben. Beim Globalansatz liegen die Abweichungen im Bereich +1,1 %/-1,4 %, während sie über den sektoralen Ansatz aufgrund der größeren Streuungen eine Bandbreite +4,5 bis -8,5 % ergeben.

Schiffstypen	Ist-Werte V_R	Verschnitt des Stahlrumpfes in %			
		Soll - Werte		Abweichung	
		$V_R=f(\nabla_U)$ (global)		$V_R=f(S_{R(X)})$ (sektoral)	
CS 1000	16,0	16,2	+ 1,1 %	16,7	+ 4,5 %
CS 750	17,6	17,7	± 0	18,2	+ 3,5 %
SCS 600	16,3	16,3	± 0	16,5	+ 1,4 %
GC 16	14,9-16,4	15,6	± 0	15,0	- 4,1 %
BC 25	14,0	13,9	- 0,5 %	12,8	- 8,5 %
PT 40	12,9-13,0	12,9	- 0,4 %	12,1	- 6,3 %

Tabelle 6: Vergleich der Ist-Verschnittswerte der gebauten Schiffe mit den Soll-Werten nach Näherungsverfahren

Insgesamt gesehen darf das Ergebnis als befriedigend bezeichnet werden, wenn auch hier weitere Daten von gebauten Schiffen zur Untermauerung der Ansätze wünschenswert wären.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß nach detaillierter Analyse der Konstruktionsunterlagen und Fertigungsdaten von insgesamt 20 Schiffen sieben unterschiedlicher Entwürfe eine aussagefähige Beziehung zwischen dem konstruktiv bedingten Verschnitt und dem Unterdecksvolumen des Schiffsrumpfes herausgearbeitet wurde. Des weiteren wurde in der Analyse über den Verschnitt in den sechs Hauptbereichen des Schiffes

festgestellt, daß Zusammenhänge zwischen der Völligkeit des Schiffsrumpfes und dem jeweiligen Verschnittniveau der einzelnen Hauptbereiche bestehen, die den Einfluß der Schiffsförmigkeit auf den Verschnitt abzuschätzen gestatten. Damit sind Voraussetzungen geschaffen worden, den Einfluß der Völligkeit auf den Materialkostenanteil des Schiffsrumpfes quantitativ zu erfassen.

4. Einfluß der Völligkeit auf den Fertigungsaufwand und damit auf die Lohnkosten beim Bau des Schiffsrumpfes

Der Stahlschiffkörper gehört zu den Teilen des Schiffes, die praktisch vollständig von der Werft in Eigenleistung erstellt werden. Daher ist es erforderlich, außer der Ermittlung des Brutto-Stahlgewichtes und damit der Abschätzung des Materialeinsatzes den Umfang der zu erwartenden Fertigungsstunden auf den verschiedenen Produktionsstufen der Werft möglichst zutreffend vorherzusagen zu können. Die Genauigkeit einer solchen Vorhersage ist zunächst von erheblicher Bedeutung für die möglichst realistische Abschätzung der Kosten, sie ist darüber hinaus jedoch auch im Hinblick auf die Kapazitätsplanung der einzelnen Werkstätten und schließlich für die Festsetzung der Liefertermine von grundlegender Bedeutung.

Es ist in der Schiffbaupraxis weit verbreitet, die Fertigungsstunden für den Stahlschiffkörper auf sein Nettogewicht zu beziehen. Daher erschien es auch sinnvoll, bei den Untersuchungen auf den bekannten Kennwert $k_F = \text{Fertigungsstunden/Nettostahlgewicht in Stunden pro Tonne (h/t)}$ abzustellen.

Ähnlich wie bei den Verschnittuntersuchungen wurde zunächst nach Korrelationen zwischen dem spezifischen Fertigungsaufwand und wesentlichen Hauptdaten des Schiffes gesucht. Eine geeignete Korrelation ergab sich zwischen dem Kennwert k_F für den Schiffsrumpf und dem Unterdecksvolumen der untersuchten Schiffe. Das Ergebnis ist in Abb. 16 dargestellt.

Es zeigt sich, daß mit steigendem Unterdecksvolumen der spezifische Fertigungsaufwand abnimmt, und zwar sowohl für die einfacheren Schiffe - Frachter, Bulker, Tanker - als auch auf höherem Niveau für die Containerschiffe. Bei den Kennwerten handelt es

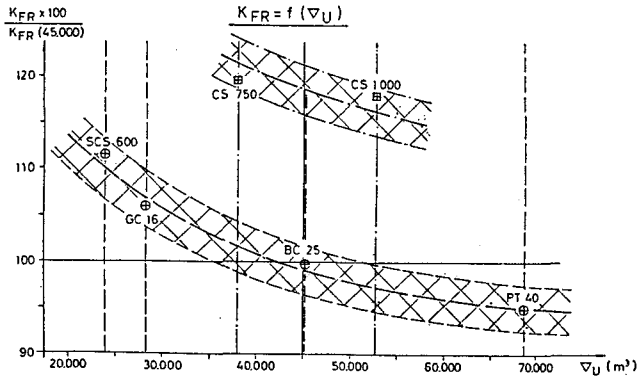


Abb. 16: Spezifischer Fertigungsaufwand bei verschiedenen Schiffstypen und -größen

sich um Durchschnittswerte für 2 bis 4 Schiffe pro Neubauserie. Sie enthalten also bereits implizit den sogenannten Nachbaueffekt. Da die Anzahl der ausgewerteten Entwürfe relativ gering ist, sollte der aufgezeigte Kurvenverlauf hinsichtlich seiner Verallgemeinerungsfähigkeit mit einer gewissen Zurückhaltung gewertet werden; als Arbeitsgrundlage für weitere Überlegungen ist er jedoch durchaus geeignet.

Eine genauere Untersuchung über den Einfluß der Völligkeit bestätigt die qualitativ gefundene Aussage, daß der spezifische Fertigungsaufwand mit abnehmender Völligkeit zunimmt (s. Abb. 17).

Die Näherungsgleichung zur Bestimmung des spezifischen Rumpfkennwertes $k_{FR} = \frac{F}{S} \cdot R$ lautet nunmehr:

für Frachter, Bulker, Tanker
 $(20.000 \text{ m}^3 < L B D < 100.000 \text{ m}^3 :$

$$k_{FR} = 45,36 \cdot \left(\frac{L B D}{1000}\right)^{-0,115} \cdot \frac{0,866}{\sqrt[3]{c_B}} + X_{II} \text{ in } \left(\frac{h}{t}\right)$$

für Containerschiffe

$(20.000 \text{ m}^3 < L B D < 100.000 \text{ m}^3 :$

$$k_{FR} = 45,36 \cdot \left(\frac{L B D}{1000}\right)^{-0,115} + 3,5 \cdot \frac{0,866}{\sqrt[3]{c_B}} + X_{II} \text{ in } \left(\frac{h}{t}\right)$$

Die Werte für X_{II} wurden in die Formel aufgenommen, um die unterschiedlichen Abgrenzungen zwischen Fertigungs- und Gemeinkostenlöhnen, zwischen Eigen- und Fremdleistungen und schließlich auch hinsichtlich des Grades der Automatisierung und Rationalisierung des

Fertigungsprozesses im Stahlschiffbau bei verschiedenen Werten berücksichtigen zu können.

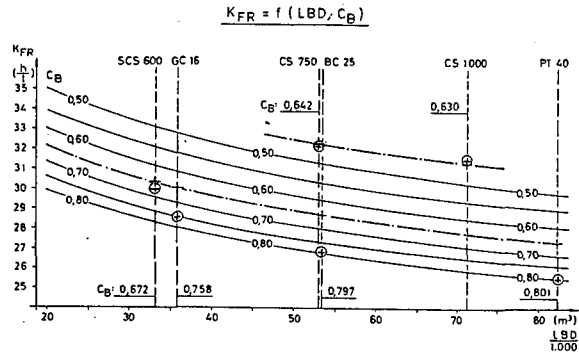


Abb. 17: Spezifischer Fertigungsaufwand K_{FR} in Abhängigkeit von Schiffsgröße und Völligkeit

Nach dieser eher globalen Untersuchung über Korrelationen zwischen Völligkeit und Schiffsdaten wurde der Fertigungsaufwand pro Hauptabschnitt des Schiffsrumpfes bei den sechs verschiedenen Schiffstypen untersucht. Die Ergebnisse sind in Abb. 18 zusammengetragen.

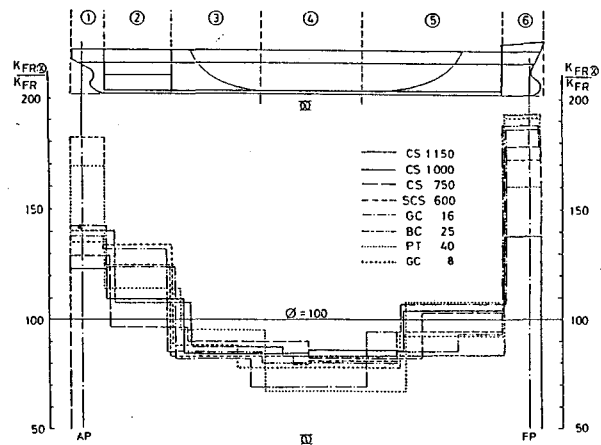


Abb. 18: Spezifischer Stundenverbrauch pro Hauptbereich des Schiffsrumpfes

Ähnlich dem Ergebnis der Verschnittauswertung ist wieder eine ausgeprägte "Stufencharakteristik" zu erkennen: vom jeweils niedrigsten Niveau im Mittschiffsbereich steigt der spezifische Fertigungsaufwand über dem vorderen und hinteren Übergangsbereich zum Bugbauteil bzw. zum Maschinenraum und Heckbauteil an.

Ebenfalls in diesem Zusammenhang wurde versucht, eine Abhängigkeit von der Völligkeit c_B in den einzelnen Hauptabschnitten zu erkennen. Die entsprechende Darstellung enthält Abb. 19, zu der zu sagen ist, daß eine Abhängigkeit von der Völligkeit kaum erkennbar ist.

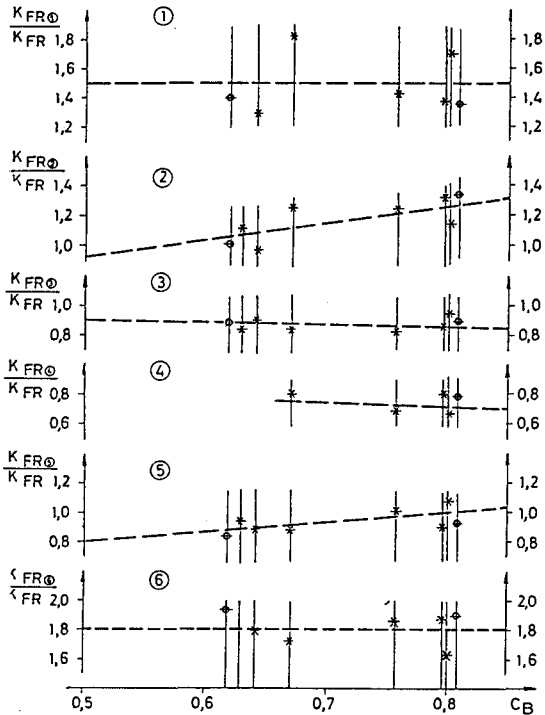


Abb. 19: Spezifischer Stundenverbrauch pro Hauptbereich des Schiffsrumpfes

Die sich aus diesem noch relativ groben Ansatz ergebenden Ergebnisse, sind in Abb. 20 in einer perspektivischen Darstellung veranschaulicht. Die stark ausgezogenen Linien sollen die mittleren Tendenzen verdeutlichen und gewissermaßen das "Modell" repräsentieren, das sich für Entwurfsrechnungen für Schiffe unterschiedlicher Völligkeit verwenden läßt, bei denen die vorgeschlagene Aufteilung des Schiffsrumpfes nach Hauptbereichen gewählt wird.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die umfangreichen Detailuntersuchungen die allgemein anerkannte, von Schneekluth jedoch präzisiertere Aussage bestätigen, daß bei Variation der Hauptabmessungen das jeweils schärfere Schiff einen höheren Fertigungsaufwand erfordert als die völligeren Varianten. Dies ist im wesentlichen eine

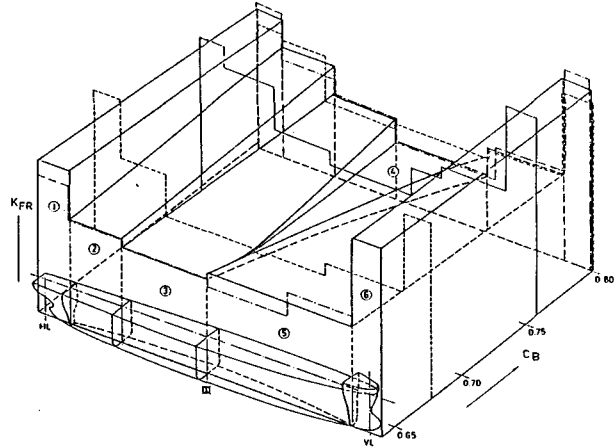


Abb. 20: Idealisiertes Modell

Folge der Tatsache, daß sich beim schärferen Schiff

- größere Mengen an gebogenen Blechen und Profilen
- weniger ebene Bleche mit rechteckiger Begrenzung
- eine größere Vielfalt von Blechstärken und Formaten sowie
- eine größere Profilvielfalt ergeben.

Aus den Untersuchungsergebnissen wurde eine empirische Näherungsformel abgeleitet, in der der spezifische Stundenaufwand k_{FR} als Funktion der Schiffsgröße und der Völligkeit erfaßt wird. Darüber hinaus zeigen sich in den einzelnen Hauptbereichen Abhängigkeiten des Aufwandniveaus von der Völligkeit, die mit der Formel für den spezifischen Fertigungsaufwand für den Schiffsrumpf so verknüpft wurden, daß die wirklichen Tendenzen und Größenordnungen annähernd erreicht werden können.

Mit diesen Ergebnissen wurde ein weiterer Baustein für Optimierungsrechnungen verfügbar gemacht, mit dem der Fertigungsaufwand des Stahlschiffsrumpfes von Frachtschiffen bestimmt werden kann.

5. Ermittlung der Rumpfstahlkosten in Abhängigkeit von der Völligkeit bei verschiedenen Schiffen

Die Untersuchungsergebnisse über den Einfluß der Schiffsform auf den Verschnitt und auf den Fertigungsaufwand und die daraus abgeleiteten empirischen Näherungsformeln er-

lauben nun, die Ermittlung der Kosten für den Bau der Schiffsrumpfe in Abhängigkeit von der Völligkeit. Die Kosten für den Schiffsrumpf ergeben sich damit wie folgt:

$$K_{SR} = K_{MSR} + K_{LSR} \quad (\text{DM})$$

$$K_{SR} = (k_S \cdot S_R \cdot Z) + (k_{FR} \cdot S_R \cdot f_L \cdot f_{GK}) \quad (\text{DM})$$

Darin bedeuten:

- K_{MSR} : Materialkosten des Schiffsrumpfes
- K_{LSR} : Lohn- und Gemeinkosten des Schiffsrumpfes
- k_S : spezifische Kosten pro Tonne Stahl (brutto) in (DM/t)
- S_R : Netto-Rumpfstahlgewicht in (t)
- Z : Zuschlagfaktor für den Verschnitt
- k_{FR} : spezifischer Fertigungsaufwand für den Schiffsrumpf in (h/t)
- f_L : durchschnittlicher Lohnsatz in (DM/h)
- f_{GK} : Gemeinkostenfaktor, der die auf den Schiffskörper anteilig entfallenden Kosten berücksichtigt

Da es sich bei dem ermittelten Verfahren um ein empirisch begründetes Verfahren handelt, ist es wichtig, die Gültigkeitsgrenzen seiner Aussagen zu beachten. Folgende Grenzen sind zu berücksichtigen:

Schiffsgröße	ca. 8.000 tdw bis ca. 50.000 tdw
Länge	$100 \text{ m} < L_{PP} < 200 \text{ m}$
Länge/Breite	$5,6 < L/B < 7,2$
Länge/Seitenhöhe	$9,8 < L/D < 12,6$
Breite/Tiefgang	$2,3 < B/T < 3,1$
Völligkeit	$(0,5) \ 0,6 < c_B < 0,8$

Gültigkeitsgrenzen des Verfahrens zur Berechnung der Rumpfstahlkosten

Es ist zunächst sinnvoll zu prüfen, wie sich die spezifischen Rumpfstahlkosten $k_{SR} = K_{SR}/S_R$ mit der Völligkeit c_B verändern.

Dazu werden die Hauptabmessungen von Schiffen im Längenbereich 80 m L_{PP} 200 m definiert, wobei folgende Verhältniswerte zugrundegelegt werden:

$$L/B = 6,0; \quad L/D = 12,0; \quad B/T = 2,5$$

Die Völligkeit der Verdrängung c_B wird im Bereich $0,5 < c_B < 0,8$ ($0,85$) variiert und die Hauptspantvölligkeit c_M als Funktion von c_B berücksichtigt:

$$c_M = 1,006 - 0,0056 \cdot c_B^{-3,56}$$

Dadurch werden geometrisch ähnliche Schiffe unterschiedlicher Größe in dem durch das Verfahren abgedeckten Größenbereich definiert. Die spezifischen Kostenwerte für den Stahl und für den Lohn geben ungefähr das Niveau von 1980 wieder.

Um eine von werftspezifischen Einflüssen unabhängige allgemeine Aussage formulieren zu können, wird in Abb. 21 eine normierte Darstellung gewählt, bei der die spezifischen Rumpfstahlkosten k_{SR} für ein 140 m Schiff mit einer Völligkeit von $c_B = 0,65$ als Bezugsbasis dienen.

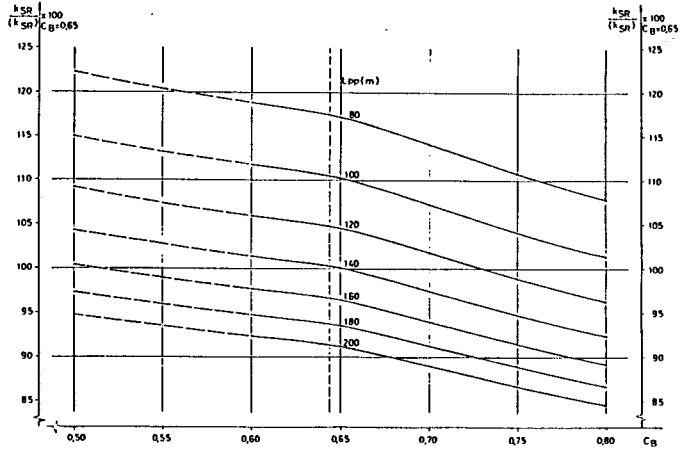


Abb. 21: Spezifische Rumpfstahlkosten in DM/t von Frachtschiffen als Funktion der Völligkeit bei verschiedenen Schiffslängen

k_{SR} zeigt im gesamten Längenbereich mit zunehmender Völligkeit eine fallende Tendenz, die sich ab $c_B = 0,64$ mit zunehmendem Einfluß des parallelen Mittelschiffes stärker ausprägt. Die Werte unterhalb $c_B = 0,6$ sind gestrichelt, da sie durch das empirische Material nicht erfaßt sind. Mit fallender Völligkeit könnte die Tendenz für k_{SR} eher noch stärker steigen als angedeutet.

Beim 80 m Schiff fällt das spezifische Kostenniveau von 122 % bei $c_B = 0,5$ über 117 % bei $c_B = 0,65$ auf etwa 108 % bei $c_B = 0,8$.

Beim 140 m Schiff ist das k_{SR} -Niveau beim schlanksten Schiff mit $c_B = 0,5$ auf 104 % abgesunken und fällt über 100 % (Bezugs-

basis) bei $c_B = 0,65$ weiter auf 91 % bei $c_B = 0,8$ ab.

Das 200 m Schiff schließlich zeigt das niedrigste Kostenniveau: von 94 % bei $c_B = 0,5$ über 91 % bei $c_B = 0,65$ bis etwa auf 83 % bei $c_B = 0,8$. Bei gleicher Völligkeit nimmt k_{SR} mit zunehmender Schiffslänge zunächst stärker, dann etwas langsamer ab.

Hinsichtlich des Verschnitts V und des spezifischen Fertigungsaufwandes k_{SR} ist anzumerken, daß jeweils mit zunehmender Völligkeit und wachsender Schiffsgröße das Niveau sinkt, d.h. die kleineren und schärferen Schiffe sind verschnittintensiver und aufwendiger in der Fertigung als die größeren und völligeren Schiffe.

$K_{SR} = f(c_B)$; SR NACH SCHNEEKLUTH 1979

$L/B = 6,0$

$L/D = 12,0$

$B/T = 2,5$

$c_M = f(c_B)$

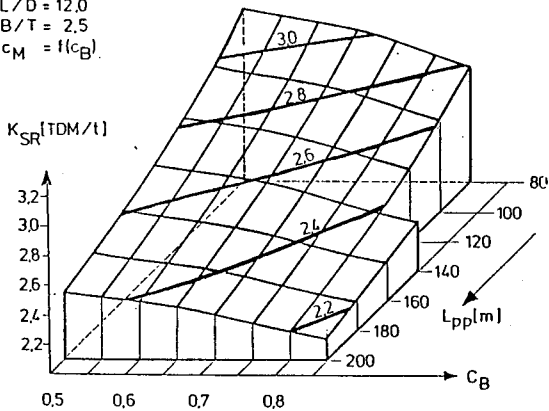


Abb. 22: Spezifische Rumpfstahlkosten für geometrisch ähnliche Schiffe mit $0,5 < c_B < 0,8$ und $80m < L_{pp} < 200m$

Abb. 22 zeigt den gleichen Zusammenhang noch einmal in einer anschaulicheren Blockdarstellung, in der die spezifischen Kosten in DM/t über der Schiffslänge und Völligkeit im untersuchten Entwurfsraum dargestellt sind. Hier zeigt sich deutlich die steigende Tendenz für K_{SR} vom längsten völligen Schiff (200 m, 0,8) zum kürzesten und schärfsten Schiff (80 m, 0,5) von ca. 2.200,- DM/t bis über 3.000,- DM/t - das entspricht einer Steigerung von über 44 %.

Unter Berücksichtigung des Material- und Arbeitskostenniveaus in Deutschland entfallen von den Kosten des Schiffsrumpfes 30 % bis 40 % auf die Materialkosten und 60 % bis 70 % auf die Lohn- und Gemeinkosten, und zwar fast unabhängig von der Völligkeit. In einer Sensitivitätsanalyse wurde der Einfluß des Kostenfaktors

$$k = \frac{f_L \cdot f_{GK}}{k_S} = \frac{\text{Kosten pro Fertigungsstunde (t/h)}}{\text{Kosten pro Tonne Stahl}} \text{ (t/h)}$$

untersucht, und zwar im Bereich von $k = 0,003$ bis $k = 0,105$, wobei das Niveau $k = 0,075$ den berechneten Beispielen entspricht. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ist in Abb. 23 gezeigt. Es macht deutlich, daß die Kostenunterschiede zwischen kleinem und großem Schiff, zwischen völligem und scharfem Schiff bei niedrigem Kostenfaktor deutlich geringer sind, als bei hohem Kostenfaktor.

Mit anderen Worten: bei steigendem Lohnkostenanteil, d.h. ab etwa $k = 0,06$ wäre bei der Konstruktion eines Schiffes im Einzelfall zu prüfen, ob einem höherem Materialeinsatz zugunsten einer vereinfachten, weniger stundenintensiven Fertigung der Vorzug gegeben werden sollte.

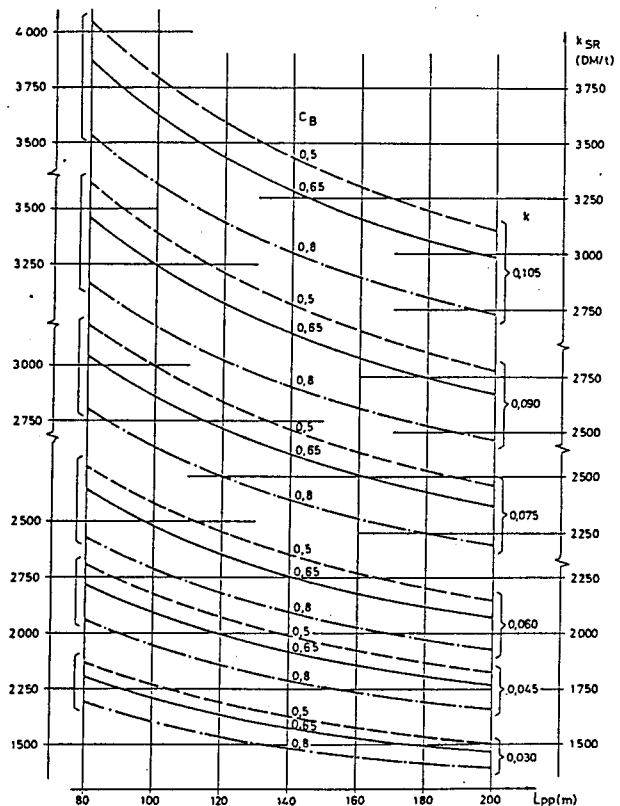


Abb. 23: Spezifische Rumpfstahlkosten bei verschiedenen Kostenrelationen für Material- und Arbeitskosten

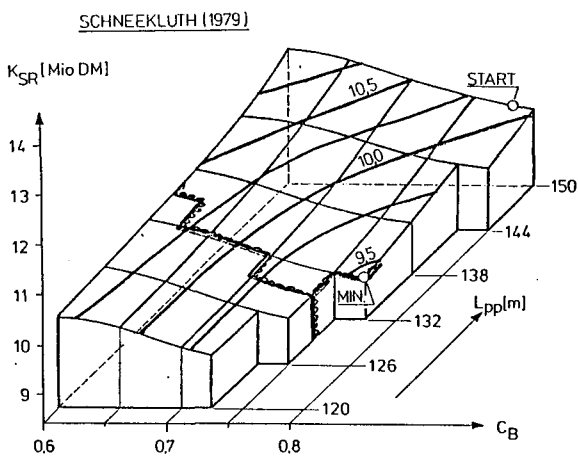
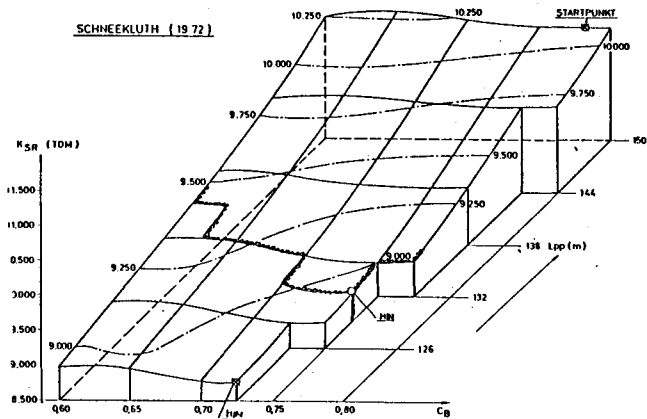
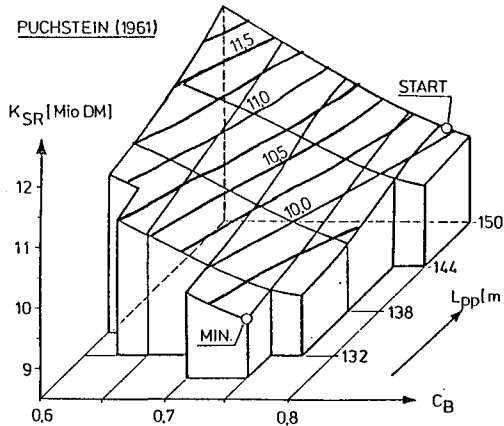
Alle bisherigen Aussagen galten - das soll noch einmal in Erinnerung gerufen werden - für den Fall, daß es sich um geometrisch ähnliche Schiffskörper handelt, bei denen nur die Länge und der Völligkeitsgrad systematisch variiert wurden.

Für den in der Einleitung geschilderten Entwurfsfall, bei dem für gegebene Entwurfsbedingungen die optimale Hauptabmessungskombination mit geringsten Kosten gesucht werden soll, ist diese Betrachtungsweise unzureichend. Daher wurde mit Hilfe des Rechenprogramms OPTIMA je ein Optimierungslauf für ein 20.000 tdw Containerschiff durchgeführt, wobei ein Entwurf der Werft die Bezugsbasis

darstellte. Verwendet wurden drei unterschiedliche Verfahren zur Ermittlung des Rumpfstahlgewichtes, und zwar das Verfahren nach Puchstein (1961), Schneekluth (1972) und Schneekluth (1979).

Die Ergebnisse werden in der Abb. 24 noch einmal in Blockdarstellung der Rumpfstahlkosten über Länge und Völligkeit dargestellt. Aus ihnen ist die deutlich unterschiedliche Tendenz der Ergebnisse der drei Berechnungsläufe, die alle vom gleichen Startpunkt ausgingen, zu ersehen.

Das Ergebnis der Variationsrechnungen ist in Tabelle 8 zusammengestellt.



----- VERFAHRENSGRENZE NACH PUCHSTEIN

Abb. 24: Abhängigkeit der Rumpfstahlkosten K_{SR} von der Länge und Völligkeit unter Beibehaltung der Entwurfsbedingungen

VERFAHREN		WERFT	PUCH-STEIN (1961)	SCHNEE-KLUTH (1972)	SCHNEE-KLUTH (1979)
LANGE	L_{PP} (m)	150,00	129,00	129,00	132,00
VÖLLIGKEIT	C_B (m)	0,778	0,750	0,750	0,775
BREITE	B (m)	22,86	24,87	24,88	24,34
SEITENHOHE	D (m)	13,50	15,18	15,17	14,81
TIEFGANG	T (m)	9,67	10,60	10,51	10,27
RUMPFSTAHLGEW:	S_R (t)	3.900	3.583	3.364	3.599
INDEX	$S_R : S_{Ro}$ (%)	100,0	91,9	86,3	92,3
MATERIALKOSTEN	K_{MSR} (MDM)	3.520	3.258	3.059	3.272
ARBEITSKOSTEN	K_{LSR} (MDM)	6.641	6.263	5.880	6.198
RUMPFSTAHLKST:	K_{SR} (MDM)	10.161	9.521	8.939	9.470
INDEX	$K_{SR} : K_{SRo}$ (%)	100,0	93,7	88,0	93,2
SPEZ: RUMPF-STAHLKOSTEN	k_{SR} (DM/t)	2.605	2.657	2.657	2.631
INDEX	$k_{SR} : k_{SRo}$ (%)	100,0	102,0	102,0	101,0

Tabelle 8: Hauptabmessungen der Varianten mit den niedrigsten Rumpfstahlkosten bei verschiedenen Verfahren zur Berechnung des Rumpfstahlgewichtes innerhalb derselben Verfahrensgrenzen für ein 20.000tdw-Containerschiff

Generell zeigt sich, daß das Optimum jeweils bei kürzeren, schärferen, breiteren Schiffen mit größerer Seitenhöhe und größerem Tiefgang liegt als beim Basisentwurf der Werft, bei dem allerdings die maximale Schiffsbreite von 75 Fuß = 22,86 m für die Große-Seen-Fahrt eingehalten werden mußte.

Des weiteren zeigt sich, daß der Einfluß der Wahl des Stahlgewichtsverfahrens deutlich größer ist, als der Einfluß der Völligkeit auf Verschnitt und Fertigungsstundenaufwand. Auch hier muß die weiter oben gemachte Aussage noch einmal unterstrichen werden, daß der Verbesserung von systematischen Berechnungsverfahren für das Stahlgewichtsverfahren hohe Priorität eingeräumt werden sollte.

6) Zusammenfassung

Mit dem Ziel der Verbesserung der Entwurfsverfahren zur Optimierung von Hauptabmessungen von Handelsschiffen wurde anhand umfangreichen Praxismaterials untersucht, welchen Einfluß die Völligkeit der Verdrängung auf das Gewicht des Schiffsrumpfes, auf das Niveau des Stahlverschnitts und auf den Umfang der Fertigungsstunden zum Bau des Schiffsrumpfes haben.

Die Ergebnisse bestätigen und untermauern die Aussage, daß Schiffe mit ausgeprägter Schiffsform - mit niedriger Völligkeit also - höhere Baukosten pro Tonne Stahl erfordern als völligere Varianten.

Aufgrund der gefundenen Ergebnisse, die für den Stahlverschnitt und den spezifischen Fertigungsaufwand eine deutliche Korrelation zwischen der Völligkeit der Verdrängung, der Schiffsgröße und des Schiffstyps ergaben, konnte ein empirisch gestütztes Verfahren zur Berechnung der Rumpfstahlkosten entwickelt werden, das als Baustein für Optimierungsprogramme verwendet werden kann.

Die Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, daß die verschiedenen Verfahren zur Ermittlung der Rumpfstahlgewichtes bei Variation der Hauptabmessungen zum Auffinden

eines Optimums sehr unterschiedliche Tendenzen aufweisen, die die Einflüsse aus unterschiedlichem Verschnitt und unterschiedlichem Fertigungsaufwand in vielen Fällen deutlich überwiegen und von daher einer Klärung bedürfen.

Positiv hervorzuheben ist, daß die Untersuchungen ein Beispiel konstruktiver Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Praxis darstellen. Den beteiligten Institutionen und Personen sei dafür gedankt.

Literaturhinweise

- (1) Heinrich Kerlen, "Über den Einfluß der Völligkeit auf die Rumpfstahlkosten von Frachtschiffen", Dissertation an der Rheinisch-Westfälischen Hochschule (RWTH) Aachen, 1981

Die Arbeit enthält 39 weitere Literaturangaben; sie können vom Autor angefordert werden.

- (2) Harald Keil, "Methods Covering the Technical and Production Costwise Optimization of a Shipbuilding Project and their Effects on the Planning Work of the Shipyard". IMSDC 82.