

463 | September 1985

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

M.R. Khatani

### Der Einfluß des Zusatzwiderstandes durch Seegang und Wind auf den Schiffsentwurf

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

# **Der Einfluß des Zusatzwiderstandes durch Seegang und Wind auf den Schiffsentwurf**

M.R. Khatani, 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

Bericht Nr. 463

Der Einfluß des Zusatzwiderstandes  
durch Seegang und Wind  
auf den Schiffsentwurf

Manohar R. Khatani

September 1985

## INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	Seite	1
2.	DIE KOMPONENTEN DES WIDERSTANDES	Seite	4
2.1	Gesamtwiderstand unter Betriebs- bedingungen	Seite	4
2.2	Widerstandszuwachs durch Seegang	Seite	4
2.3	Widerstandserhöhung infolge Windeinwirkung	Seite	10
3.	DAS ENTWURFSPROGRAMM FÜR CONTAINERSCHIFFE	Seite	13
3.1	Bestimmung der optimalen Haupt- abmessungen	Seite	17
4.	ERZEUGUNG DER SPANTAREAL- UND WASSERLINIENKURVEN	Seite	18
5.	LANGZEITVERHALTEN	Seite	20
6.	ERMITTLUNG DES MITTLEREN ZUSATZ- WIDERSTANDES	Seite	22
6.1	Der mittlere Seegangszusatz- widerstand	Seite	22
6.2	Der mittlere Windwiderstand	Seite	22
6.3	Der mittlere Zusatzwiderstand	Seite	26
7.	BILDUNG DER REGRESSIONSGLEICHUNG	Seite	28
7.1	Regressionsanalyse - eine kurze Beschreibung des Verfahrens	Seite	28
7.2	Regressionsanalyse des Zusatz- widerstandes	Seite	30

8.	WIRKUNG DES ZUSATZWIDERSTANDES AUF DIE OPTIMALEN HAUPTAB- MESSUNGEN	Seite 31
9.	SCHLUSSBETRACHTUNG	Seite 35
	LITERATURVERZEICHNIS	Seite 36
	ANHANG I	Seite 38
	ANHANG II	Seite 61
	ANHANG III	Seite 68
	ANHANG IV	Seite 74

## 1. EINLEITUNG

Der Erfolg eines Schiffsentwurfs ist letztendlich von seiner Leistung unter Dienstbedingungen (im natürlichen Seegang) abhängig. Es ist bekannt, daß das für Glattwasserbedingungen optimale Schiff nicht unbedingt optimal für Betriebsbedingungen ist. Trotzdem werden Schiffe im Vorentwurfsstadium unter Betrachtung des Glattwasserverhaltens optimiert, während dem Seegangsverhalten wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Das hängt damit zusammen, daß eine umfassende Berücksichtigung des Seeverhaltens einen erheblichen Aufwand erfordert.

Heute existieren zwar Tabellen /4/, die es ermöglichen, wichtige Seegangseigenschaften in Abhängigkeit von einigen Schiffsparametern (z.B.  $C_B, L/B, B/T$ ) zu schätzen, ihre Anwendung ist aber nur eingeschränkt möglich, vor allem, weil sie:

- a) nur für Seegang von vorne gelten
- b) nur für ausgereifte Seegänge gelten
- c) nur für bestimmte Schiffsformen gelten

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit ist der Verlust an Geschwindigkeit die wichtigste Komponente des Seegangsverhaltens eines Schiffes. Bei der Abweichung des Betriebspunktes unter Dienstbedingungen vom idealen Betriebspunkt im Probefahrtszustand unterscheidet man zwei Faktoren, die "freiwillige" und die "unfreiwillige" Fahrtreduktion.

### i) Freiwillige Fahrtreduktion

In stärkeren Seegängen können die heftigen Schiffsbewegungen die Schiffsführung zur "freiwilligen" Geschwindigkeitsreduktion oder zu Kursänderungen zwingen, um Schiff und Ladung nicht zu gefährden. Zu diesen gefährdenden Seegangseffekten gehören unter anderen; Slamming, Wasser an Deck, hohe Beschleunigungen, Propellerdurchgehen usw. Die Wahrscheinlichkeiten dieser Effekte lassen sich berechnen. Wenn die Kriterien der Schiffsführung für

Fahrtverringern oder Kursänderung bekannt sind, lassen sich diese Maßnahmen vorhersagen.

#### ii) Unfreiwillige Fahrtreduktion

Bei mäßigen Seegängen wird der Betriebspunkt zwangsläufig (unfreiwillig) dadurch verändert, daß das Schiff einem höheren Widerstand begegnet, der durch Wind und Seegang verursacht wird (Zusatzwiderstand). Soll das Schiff bei diesem erhöhten Widerstand noch die erforderliche Dienstgeschwindigkeit halten, muß die Maschine so ausgelegt sein, daß genügend Leistungsreserve vorhanden ist.

Eine typische Darstellung der "freiwilligen" und "unfreiwilligen" Geschwindigkeitsgrenzen für eine Reihe von Windgeschwindigkeiten und entsprechende mittlere Seegänge über dem Begegnungswinkel ist in Bild 1 gegeben.

Den größten Teil seiner Fahrtzeit befindet sich das Schiff in mäßigen Seegängen. Aus diesem Grund müßte dem Zusatzwiderstand beim Schiffsentwurf eine wichtige Rolle zugeordnet werden. In den meisten Entwurfsprogrammen wird die Widerstandszunahme unter Betriebsbedingungen durch einen Zuschlag von 15 bis 30 Prozent auf den Glattwasserwiderstand pauschal berücksichtigt.

Es stellt sich die Frage, ob eine aufwendigere Betrachtung des Zusatzwiderstandes statt des herkömmlichen pauschalen Zuschlags zu einer nennenswerten Änderung der optimalen Hauptabmessungen im Entwurfsstadium führt. In dieser Arbeit wird der Versuch gemacht, diese Frage angewendet auf den Entwurf von Containerschiffen zu beantworten.

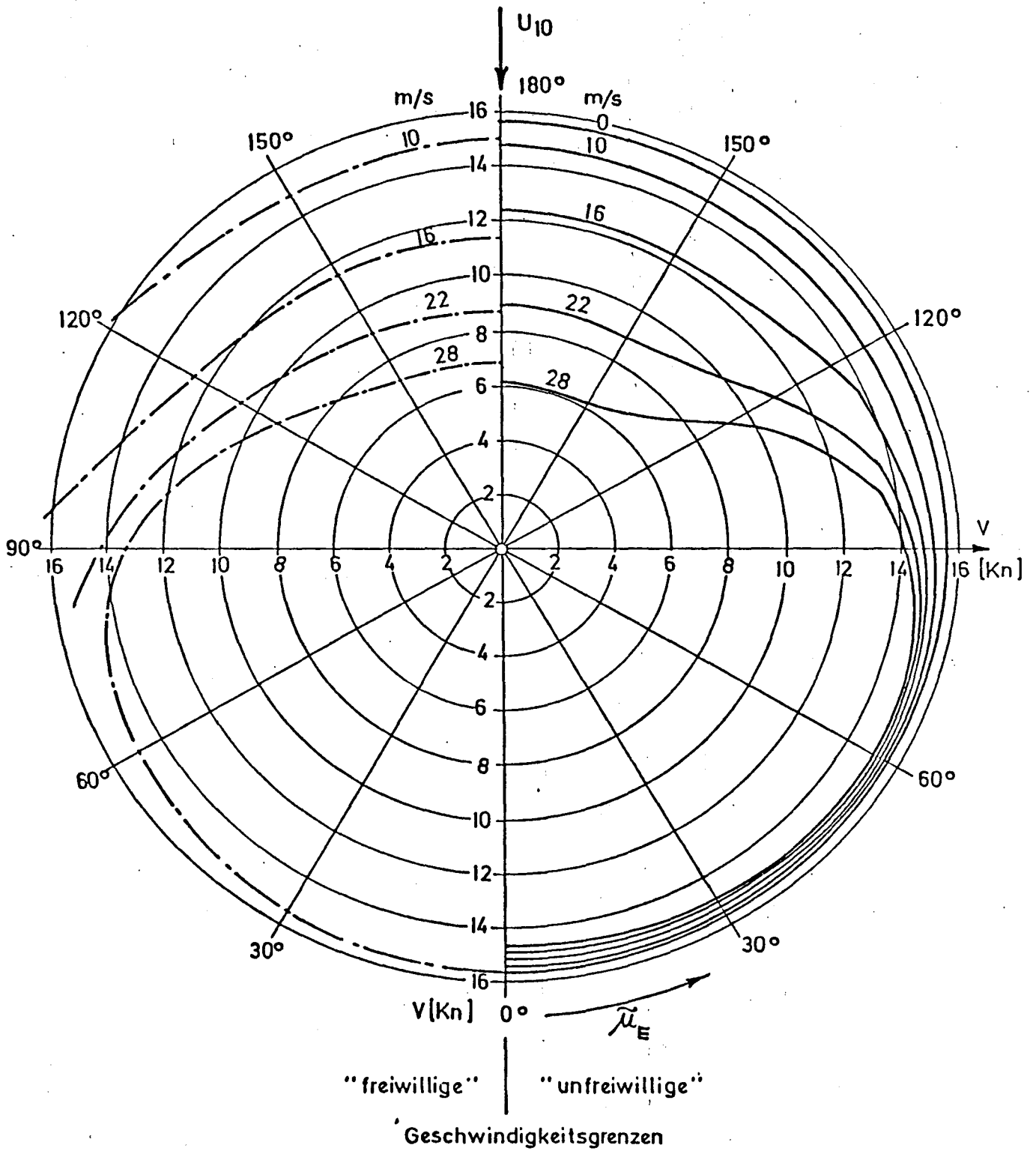


BILD 1: FREIWILLIGE UND UNFREIWILLIGE FAHRTREDUCTION



## 2. DIE KOMPONENTEN DES WIDERSTANDES

### 2.1 Gesamtwiderstand unter Betriebsbedingungen

Der Gesamtwiderstand  $R_G$ , den das Schiff unter Betriebsbedingungen überwinden muß, setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

- 1) Widerstand im glatten Wasser,  $R_{GW}$
- 2) Widerstandszuwachs durch Seegang,  $R_S$
- 3) Widerstandszuwachs durch Wind,  $R_W$
- 4) Widerstandszuwachs durch Bewuchs,  $R_B$

Bei neuen Schiffen kann  $R_B$  vernachlässigt werden, daher gilt im Rahmen dieser Arbeit:

$$R_G = R_{GW} + R_S + R_W$$

Für die Berechnung des Glattwasserwiderstandes  $R_{GW}$  stehen bereits mehrere empirische Verfahren zur Verfügung, z.B. Lap-Keller, Holtrop-Mennen usw.

Die Anteile 2) und 3) bilden zusammen den Zusatzwiderstand unter Betriebsbedingungen,  $R_{ZW}$ .

### 2.2 Widerstandszuwachs durch Seegang

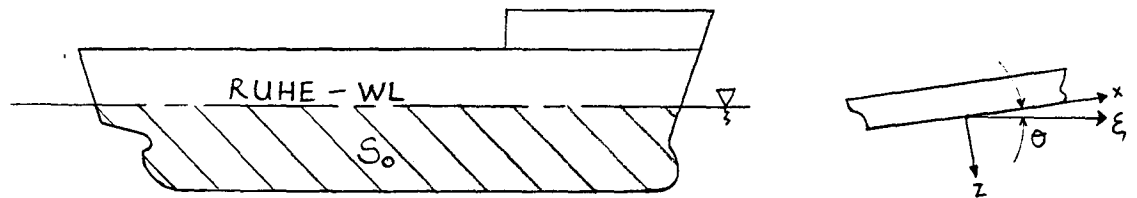
Im Seegang führt das Schiff Schwingungsbewegungen aus (Stampfen, Tauchen, Rollen), die zu einer veränderten Umströmung des Schiffskörpers gegenüber der Glattwasserumströmung und daher zu einer Widerstandszunahme führen. Die durch die Wellen- und Schiffsbewegungen verursachten Druckschwankungen erzeugen eine zeitlich nach Betrag und Richtung veränderliche Druckkraft. Der zeitliche Mittelwert der Druckkraftkomponente, die der Fahrt entgegenwirkt, ist der Seegangszusatzwiderstand.

Die am Vorschiff reflektierten Wellen leisten auch einen Beitrag zur Widerstandserhöhung, aber dieser Anteil ist als sehr klein erwiesen worden /5/.

In dieser Arbeit wurde der Seegangswiderstand mit dem im Institut für Schiffbau, Hamburg, vorhandenen Programm-System 'SERVICE SPEED' /3/ berechnet. Im Programm 'SERVICE SPEED' wird der Seegangswiderstand nach der Methode von Boese /5/ ermittelt.

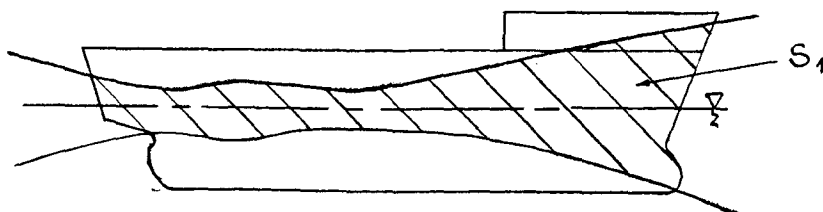
Bei der Methode von Boese handelt es sich um ein relativ einfaches Verfahren, das von bekannten Tauch- und Stampfbewegungen ausgeht. Im Programm 'SERVICE SPEED' werden die Tauch- und Stampfbewegungen nach der Streifen-Methode berechnet.

Nach der Methode von Boese besteht der Seegangswiderstand aus zwei Anteilen. Der erste Anteil ( $R_1$ ) berücksichtigt alle Druckkräfte an der Schiffsoberfläche bis zur Ruhe-Wasserlinie.



Die Vertikalkomponente  $F_z$  des bis zur Ruhe-Wasserlinie integrierten harmonischen Druckfeldes im schiffsfesten Koordinatensystem ändert nicht nur ihre Größe, sondern mit dem Stampfwinkel  $\theta$  auch ihre Richtung im Raum. Daraus resultiert eine Horizontalkomponente mit einem von null verschiedenen Mittelwert.

Im zweiten Anteil ( $R_2$ ) werden die Druckkräfte an der zeitweilig benetzten Oberfläche  $S_1$  berücksichtigt, die durch die ein- und austauchende Bewegung gebildet wird. Durch diesen Anteil wird der mit der Integration bis zur Ruhe-Wasserlinie verbundene Fehler korrigiert.



Es gilt also:

$$R_S = R_1 + R_2$$

In Bild 2 sind die beiden Anteile in dimensionsloser Form  $r$  in Abhängigkeit von  $\lambda/L$  dargestellt.

$$r_i = \frac{R_i}{\zeta_g B^2/L e_{\gamma_A}^2}$$

Bild 3 zeigt die Abhängigkeit des Seegangswiderstandes in regelmäßigen Wellen von der Wellenlänge und vom Begegnungswinkel  $\mu_E$ .

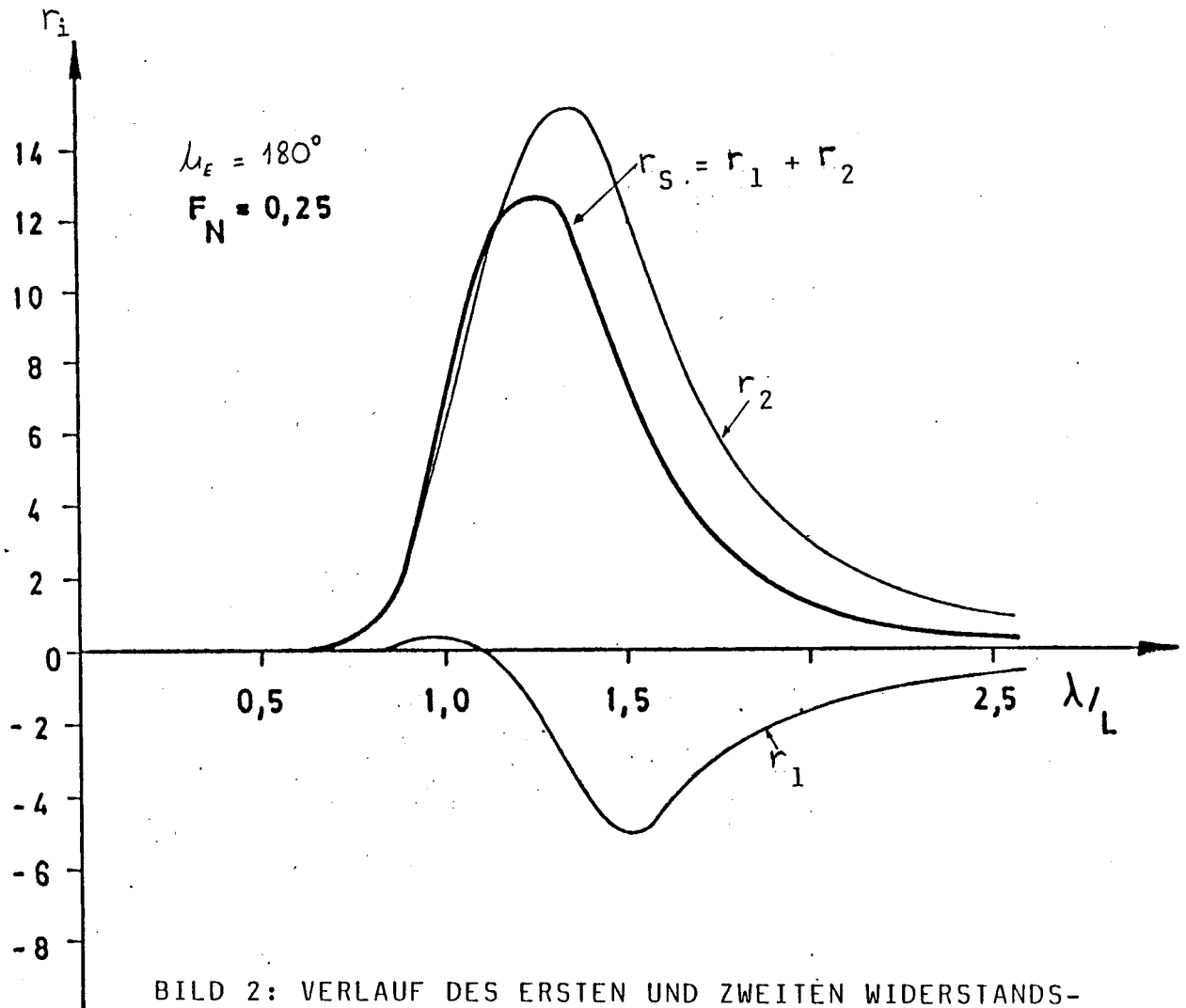


BILD 2: VERLAUF DES ERSTEN UND ZWEITEN WIDERSTANDS-ANTEILS ÜBER DER WELLENLÄNGE

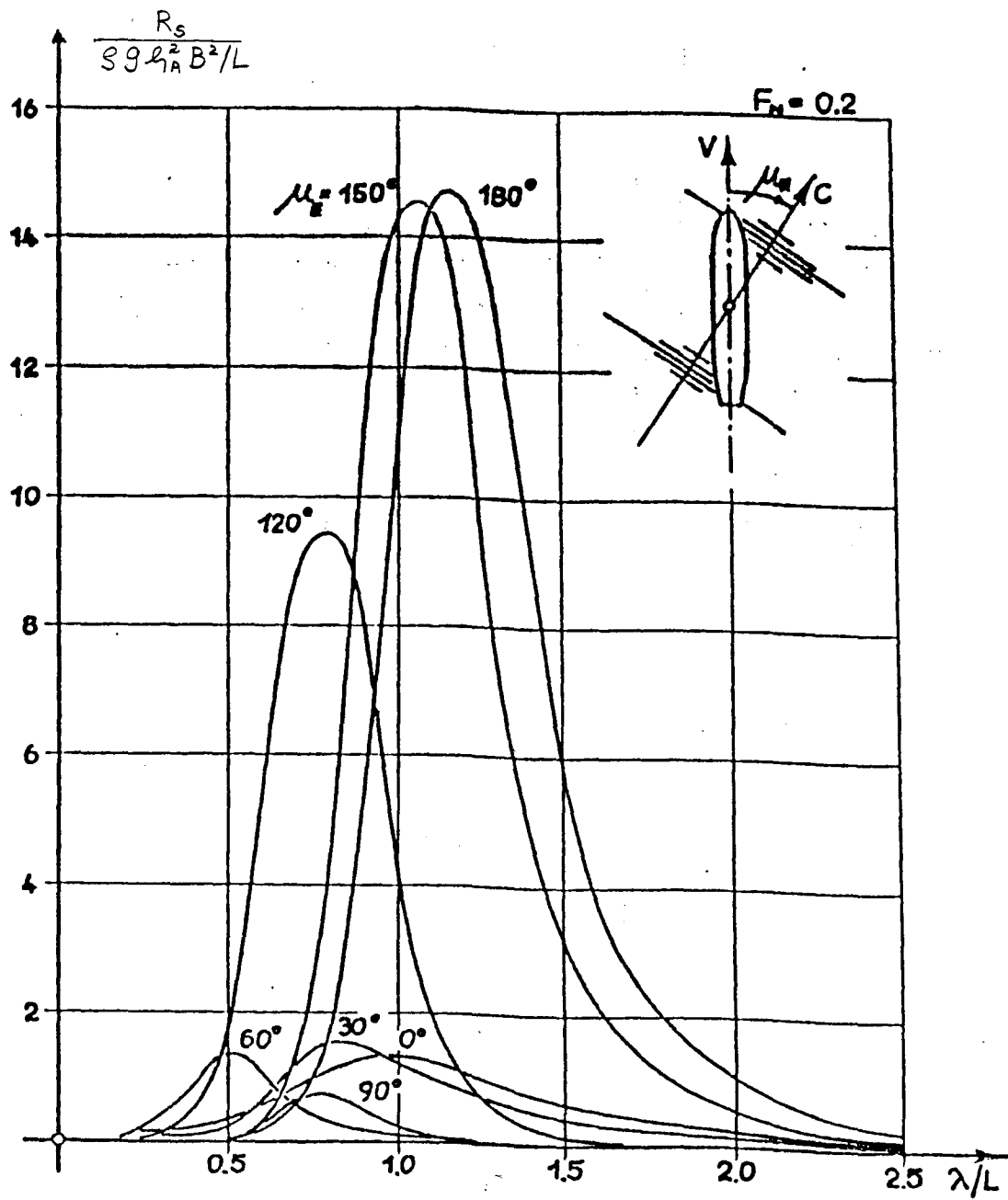
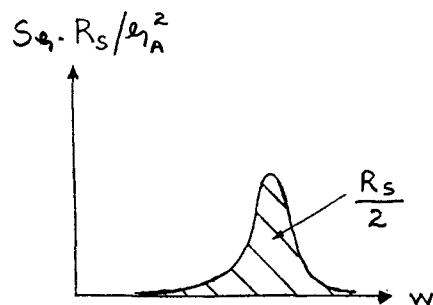
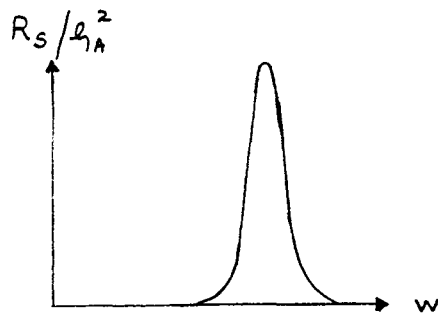
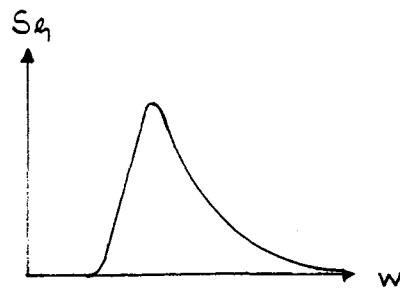


BILD 3: WIDERSTANDSERHÖHUNG IN REGEL-  
MÄSSIGEN WELLEN

Die Übertragung der Widerstandserhöhung auf unregelmäßigen Seegang erfolgt unter der Annahme eines quadratischen Zusammenhangs zwischen Seegangswiderstand und Wellenamplitude. Der Seegangswiderstand  $R_S$  wird für mehrere Frequenzen des regelmäßigen Seegangs ermittelt und dann durch das Quadrat der Wellenamplituden dividiert. Diese Werte sind als Quadrat einer Übertragungsfunktion zu behandeln und werden mit dem Seegangsspektrum multipliziert, um das 'Antwortspektrum' zu bekommen. Das 0-te Moment dieses 'Antwortspektrum' liefert den gesamten Seegangswiderstand.

$$\overline{R_S} = 2 \int_0^{\infty} S_{\eta_1}(w) \left( R_S / (\eta_A^2) (w) \right) dw$$



Der Wert für  $\overline{R}_S$  hängt sehr stark von der Art des Seegangsspektrums ab. Für die Bestimmung statistischer Langzeitwerte eignet sich das 2-Parametrische Bretschneider-Spektrum (ITTC-Spektrum), da es in Abhängigkeit von der kennzeichnenden Wellenhöhe ( $H_{1/3}$ ) und -periode ( $T_1$ ) beschrieben werden kann:

$$S_d(\omega) = 173 H_{1/3}^2 T_1^{-4} \omega^{-5} \exp(-692 T_1^{-4} \omega^{-4})$$

Das dimensionslose Spektrum ist in Bild 4 dargestellt. (siehe S. 9A)

Mit diesem Spektrum kann man vom Idealfall 'ausgereifter Windsee' abweichen und auch junge und alte Seegänge darstellen.

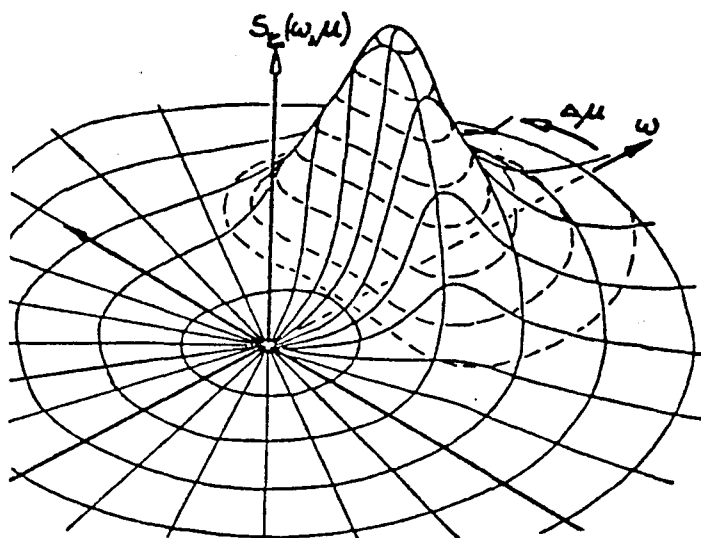
Um den kurzkämmigen Seegang darzustellen, wird das Einheitsfrequenzspektrum mit einer Einheitsrichtungsverteilung  $f(\Delta\mu)$  multipliziert, um das zweidimensionale Richtungsspektrum zu bekommen.

$$S_d(\omega, \mu) = S_d(\omega) f(\mu - \mu_0) \quad |\mu - \mu_0| \leq \pi/2$$

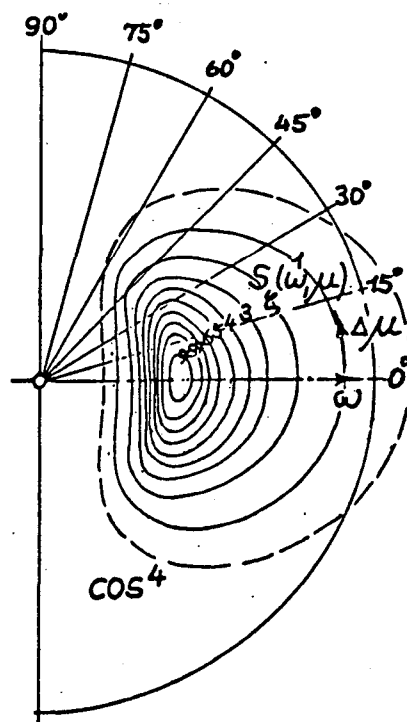
$$\text{mit } f(\Delta\mu) = 8/3 \cos^4(\mu - \mu_0)$$

$\mu_0$  = mittlere Laufrichtung des Seegangs

Es gilt:  $\int_{-\pi/2}^{\pi/2} f(\Delta\mu) d(\Delta\mu) = 1$ , und daraus folgt, daß die Gesamtenergie des Richtungsspektrums und des skalaren Spektrums gleich ist.



ZWEIDIMENSIONALES RICHTUNGSSPEKTRUM



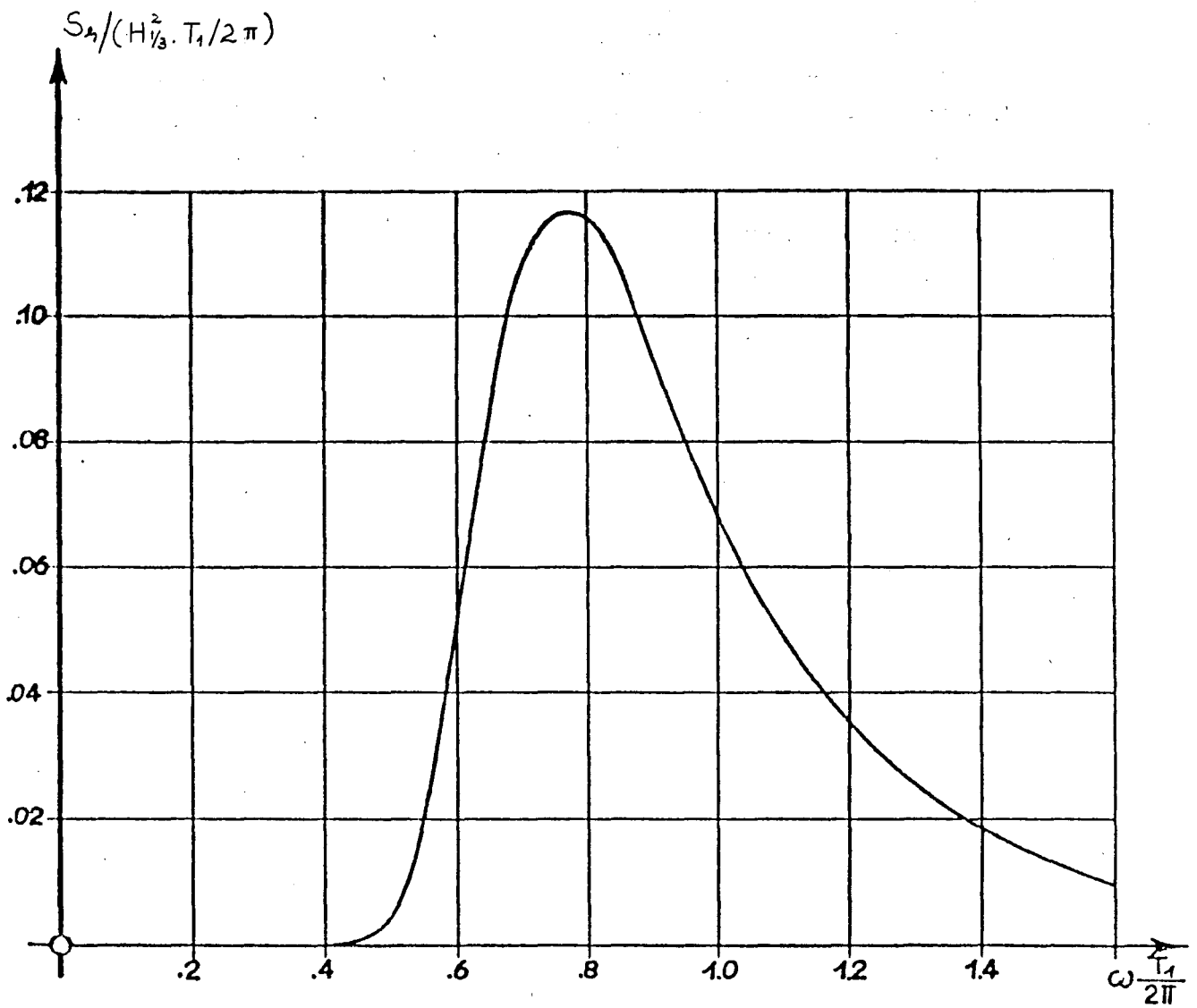


BILD 4: DIMENSIONSLOSES ZWEIPARAMETRIGES  
BRETSCHNEIDER-SEEGANGSSPEKTRUM

### 2.3 Widerstandserhöhung infolge Windeinwirkung

Bei der Betrachtung des Windwiderstandes muß man zwischen den aerodynamischen und hydrodynamischen Anteilen unterscheiden. Der aerodynamische Anteil besteht aus:

- i) Luftwiderstand bei Windstille
- ii) Windwiderstand

Ein hydrodynamischer Anteil ergibt sich zusätzlich bei schräg einkommendem Wind.

Durch die Windströmung entlang der Erdoberfläche entsteht eine Grenzschicht, die zur Folge hat, daß mit wachsender Höhe die Windgeschwindigkeit zunimmt. Nach Davenport lautet die Formel für die Windgeschwindigkeit in der Höhe H:

$$V_W = V_{W,10} (H/10)^{1/7}$$

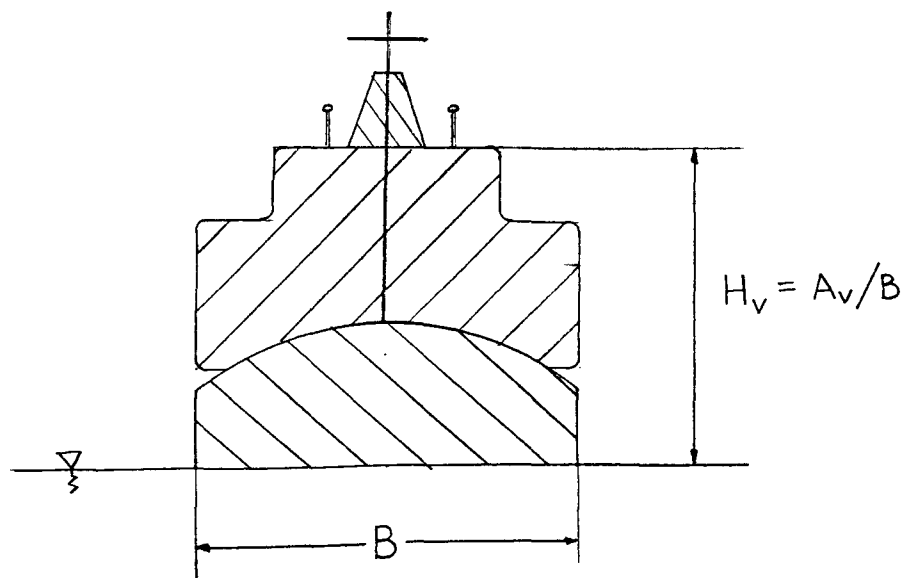
$V_{W,10}$  (m/s) = Windgeschwindigkeit in 10m Höhe

H (m) = Höhe über Meeresoberfläche

Bei der Berechnung der Windkraft auf Schiffe setzt man für H eine gemittelte Höhe, die wie folgt gebildet wird:

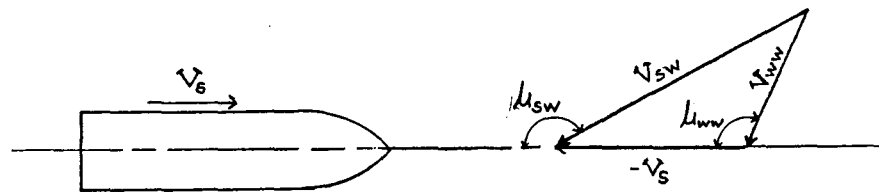
$$H_V = A_V/B = (B (D-T) + A_{\text{aufbau}})/B$$

$A_V$  = Lufthauptspantfläche





Im Fall von schräg einkommendem Wind muß man die auf das Schiff einwirkende scheinbare Windgeschwindigkeit  $V_{SW}$  bestimmen. Dies setzt sich vektoriell aus der wahren Windgeschwindigkeit  $V_{WW}$  und Schiffsgeschwindigkeit  $V_S$  zusammen.



$\mu_{WW}$  = Richtung des wahren Windes

$\mu_{SW}$  = Richtung des scheinbaren Windes

In vektorieller Schreibweise:

$$\underline{V_{WW}} = (V_{WW} \cos \mu_{WW}, V_{WW} \sin \mu_{WW})$$

$$\underline{V_{SW}} = \underline{V_{WW}} + (-V_S, 0)$$

$$\underline{V_{SW}} = (V_{WW} \cos \mu_{WW} - V_S, V_{WW} \sin \mu_{WW})$$

$$|V_{SW}| = \sqrt{(V_{WW} \cos \mu_{WW} - V_S)^2 + (V_{WW} \sin \mu_{WW})^2}$$

Die Richtung des scheinbaren Windes  $\mu_{SW}$

$$\mu_{SW} = \arcsin \left( \frac{V_{WW} \sin \mu_{WW}}{V_{SW}} \right)$$

Der aerodynamische Windwiderstand ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$R_{AW} = C_A \frac{\rho_A}{2} V_{SW}^2 A_V$$

Hier bedeuten:

$C_A$ (-)	Windwiderstandsbeiwert
$\rho_A$ (kg/m <sup>3</sup> )	Dichte der Luft (= 1,226 kg/m <sup>3</sup> )
$V_{SW}$ (m/s)	scheinbare Windgeschwindigkeit
$A_V$ (m <sup>2</sup> )	Lufthauptspantfläche

Die Größe von  $C_A$  ist abhängig von der Überwasserschiffsform und der Richtung des scheinbaren Windes (Winkel  $\mu_{SW}$ ). Die Werte für  $C_A$  in Abhängigkeit von  $\mu_{SW}$  können der Literatur entnommen werden (Wagner, JSTG 1967).

In dieser Arbeit wird  $C_A$  gleich  $\cos \mu_{SW}$  angenommen. Die Gleichung für den Windwiderstand wird zu:

$$R_{AW} = -\frac{\rho_A}{2} V_{SW}^2 A_V \cos \mu_{SW}$$

(Das Minus-Zeichen berücksichtigt, daß für  $\mu_{SW} < |90^\circ|$  der Widerstand negativ wird und für  $\mu_{SW} > |90^\circ|$  positiv.)

Wie oben erwähnt entsteht bei schräg einkommendem Wind auch ein hydrodynamischer Zusatzwiderstand, der auf die Abdrift und Krängung des Schiffes zurückzuführen ist. Dieser hydrodynamische Anteil ist jedoch ziemlich klein im Vergleich zu dem aerodynamischen Anteil und wird im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt. Damit wird der Gesamtwindwiderstand  $R_W$  gleich dem aerodynamischen Windwiderstand  $R_{AW}$  gesetzt.

### 3. DAS ENTWURFSPROGRAMM FÜR CONTAINERSCHIFFE

Um den Einfluß des Zusatzwiderstandes  $R_{ZW}$  auf die optimalen Schiffshauptabmessungen von Containerschiffen zu untersuchen, wurde zunächst ein Programm für den optimalen Entwurf von Containerschiffen geschrieben. Der Zusatzwiderstand wurde durch einen pauschalen Zuschlag von 15% auf den Glattwasserwiderstand berücksichtigt.

Das Entwurfsprogramm 'ASHA' ist mit Beschreibungen in Anhang I wiedergegeben. Viele der benutzten empirischen Formeln und Koeffizienten sind aus /8/ entnommen. Die Optimierung wurde mit dem OPT-Compiler durchgeführt. Als Zielfunktion wurde die erforderliche Mindestfrachtrate RFR gewählt. Im folgenden werden die wichtigsten Komponenten des Programms näher beschrieben.

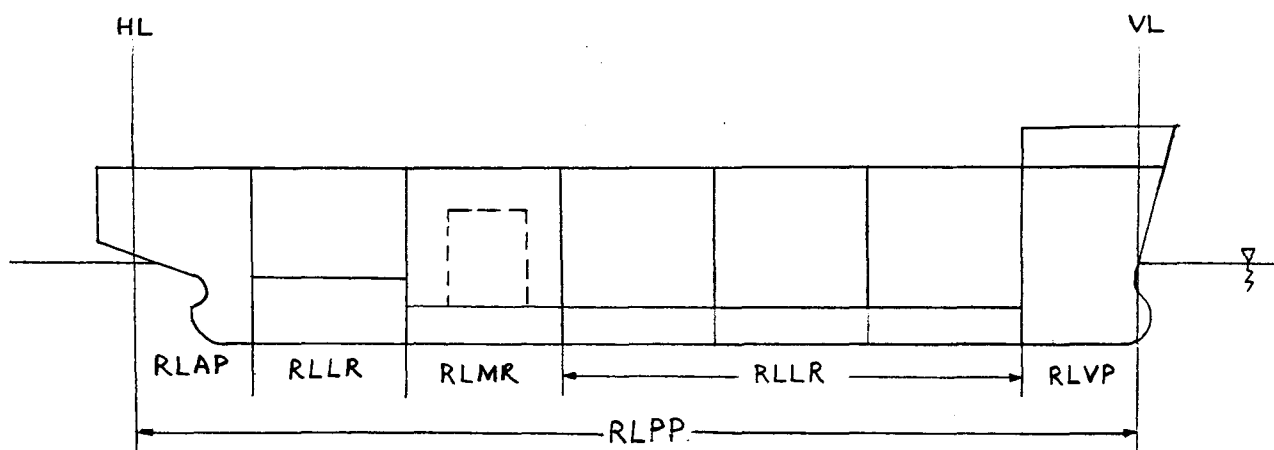
Das wichtigste Merkmal, das ein Containerschiff von anderen Stückgutschiffen unterscheidet, besteht darin, daß die Ladung in genormten Behältern gestaut wird. Die übliche Standardabmessungen eines Containers sind:

Länge	: 20' oder 40'	(6.1m oder 12.2m)
Breite	: 8'	(2.44m)
Höhe	: 8.5'	(2.59m)

Infolge der genormten Abmessungen der Container sind die Schiffshauptabmessungen nicht beliebig variierbar.

# 1) SCHIFFSLÄNGE RLPP

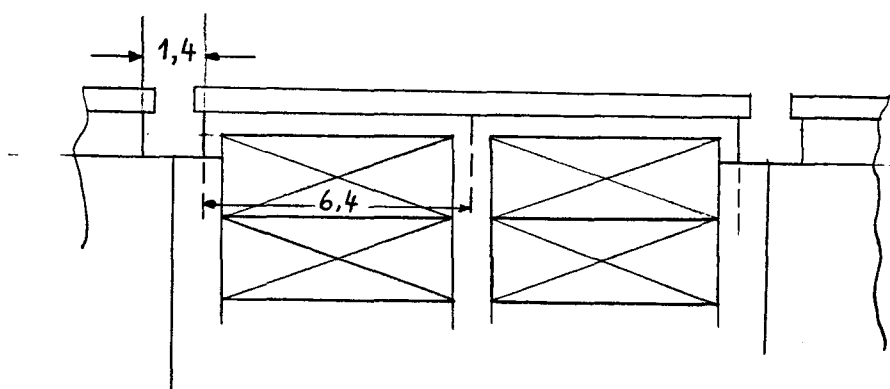
$$RLPP = RLVP + RLAP + RLMR + RLLR$$



RLVP = Vorpieklänge  
 RLAP = Achterpieklänge  
 RLMR = Maschinenraumlänge  
 RLLR = Laderaumlänge

RLVP, RLAP und RLMR wurden nach empirischen Formeln berechnet.

$$RLLR = RNLU * 6.4 + (RNLU/2 + 2)*1.4$$

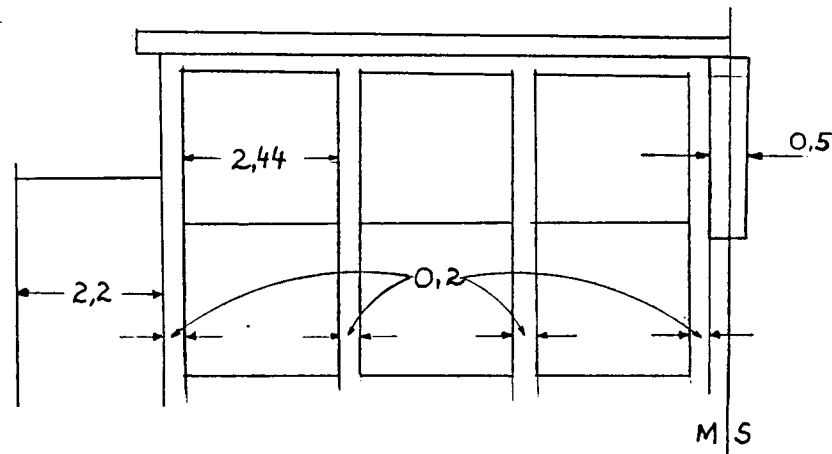


Laderaumbereich

RNLU = Anzahl der Containerbays im Laderaum

## 2) SCHIFFSBREITE B

$$B = \text{RNBU} * 2.44 + (\text{RNBU} + 1) * 0.2 + 0.5 * \text{ANZTRB} \\ + \text{ANZTRB} * 0.2 + 2 * 2.2$$



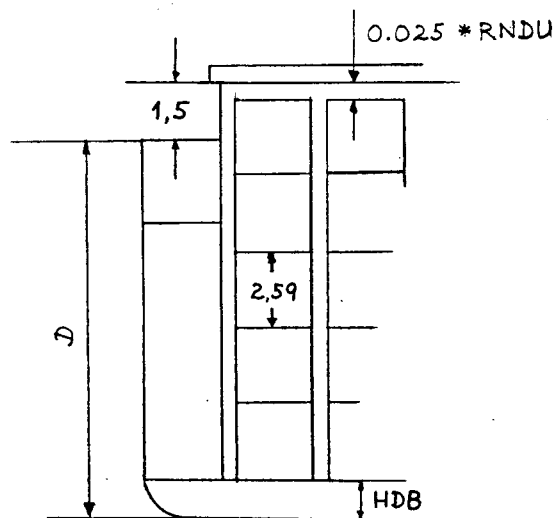
RNBU = Anzahl der Cont.stapel pro Bay im Laderaum

RNDG = Anzahl der Decks­längsträger

ANZTRB = Anzahl der Längsträger

3) SEITENHÖHE D

$$D = HDB + RNDU * 2.59 + 0.025 * RNDU - 1.5$$



HDB = Doppelbodenhöhe

RNDU = Anzahl der Cont. pro Stapel unter Deck

#### 4) CONTAINERVÖLLIGKEITSGRAD CBCONU

Analog zum Völligkeitsgrad der Verdrängung  $C_B$  wird der Containervölligkeitsgrad definiert als:

$$CBCONU = \frac{\text{Anzahl der Cont. im Laderaum}}{RNLU * RNBU * RNDU}$$

Im Programm 'ASHA' wird CBCONU nach /8/ wie folgt berechnet:

$$CBCONU = 1.17775 * CBDCK - 0.060924$$

$CBDCK$  = Völligkeitsgrad bis Hauptdeck

$$= C_B + 0.3 * (D-T) * (1-C_B)/T$$

#### 5) STAHLRUMPFGEWICHT STARUM

Für die Berechnung des Stahlrumpfgewichtes wird die Formel nach Schneekluth für Containerschiffe benutzt /9/. (siehe Funktion 'STARUM' in 'ASHA')

#### 6) MINDESTFRACHTRATE RFR

Die RFR ist die Frachtrate, die benötigt wird, damit das Schiff bei vorgegebener Verzinsung gerade die Kapital- und Betriebskosten decken kann.

$$RFR = \frac{\text{jährliche (Betriebskosten + Kapitalkosten)}}{\text{Jahrestransportleistung}}$$

(Siehe Funktion RFR im Programm 'ASHA')

### 3.1 Bestimmung der optimalen Hauptabmessungen

Unter Anwendung des Programms 'ASHA' wurden die optimalen Hauptabmessungen von 15 Schiffen berechnet. Bei diesen 15 Schiffen handelte es sich um Schiffe gleicher Containerkapazität (1200 TEU) und Dienstgeschwindigkeit (17.2 kn), aber verschiedener Blockkoeffizienten  $C_B$  und/oder L/B-Verhältnisse. Die  $C_B$ - und L/B-Werte wurden nicht optimiert, sondern systematisch variiert vorgegeben. Es wurden 3  $C_B$ -Werte vorgegeben und zwar:  $C_B = 0.55 ; 0.65 ; 0.70$ . Für jeden  $C_B$ -Wert wurden die folgenden 5 L/B-Werte vorgegeben:  $L/B = 5.0 ; 5.68 ; 6.0 ; 6.5 ; 7.0$ .

Für alle 15 betrachteten Schiffe galten die folgenden Daten:

Containerkapazität	:	1200 TEU
Aktionsradius	:	10000 Seemeilen
Dienstgeschwindigkeit:		17.2 kn
Zusatzwiderstand	:	15% auf Glattwasserwid.

Die wichtigsten Schiffskennwerte für diese 15 Schiffe, berechnet nach dem Entwurfsprogramm 'ASHA', sind im Anh.I, Tabellen 1 bis 3 wiedergegeben.

#### 4. ERZEUGUNG DER SPANTAREAL- UND WASSERLINIENKURVEN

Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, wurde der See-gangswiderstand für die 15 Schiffe mit dem Programm 'SERVICE SPEED' berechnet. Für diese Berechnung muß man als Eingabedatei unter anderem die Spantflächen und Spantbreiten an verschiedenen Stationen der Schiffslänge eingeben. Es mußten also die Spant-arealkurven und die Konstruktionswasserlinienkurven für alle 15 Schiffe erzeugt werden. Um diese Kurven zu erzeugen, wurde von der Spantarealkurve und CWL-Kurve eines vorhandenen Schiffes (hier 'MECHT' genannt) ausgegangen. Bei dem Schiff 'MECHT' handelte es sich um ein Containerschiff mit ungefähr der gleichen Containerkapazität wie die der hier entworfenen Schiffe, einem Blockkoeffizient von 0.65 und ein L/B-Verhältnis von 5.68.

Die Spantarealkurve und CWL-Kurve von 'MECHT' wurden für die 5 Schiffe mit  $C_B = 0.65$  direkt übernommen. Für die übrigen 10 Schiffe (jeweils 5 mit  $C_B = 0.55$  und  $C_B = 0.70$ ) mußten sowohl die Spantarealkurven als auch die CWL-Kurven durch Verzerrung der entsprechenden Kurven von 'MECHT' erzeugt werden. Es wurde angestrebt, die Verzerrung so durchzuführen, daß die Kurven für alle 3  $C_B$ -Werte Schiffe gleicher Grundform darstellten. Um dies so weit wie möglich zu verwirklichen, wurden die Spantarealkurven und CWL-Kurven der Series 60 zu Hilfe genommen /7 (Tabellen auf S. 567)/.

Zur Ermittlung der Spantarealkurven für  $C_B = 0.55$  und 0.70 wurde folgenderweise vorgegangen:

1. Für die 3  $C_B$ -Werte (0.55, 0.65, 0.70) wurden die entsprechenden Hauptspantvölligkeitsgrade  $C_M$  durch die Beziehung:  $C_M = C_B / C_P$  ermittelt ( $C_P$  = Zylinderkoeffizient, ist in den Tabellen in /7/ gegeben).



2. Für Spant 1 wurden die Werte  $A_{SPT}/A_{MAX}$  für alle 3 Blockkoeffizienten aus den Tabellen in /7/ abgelesen.

3. Die ermittelten  $A_{SPT}/A_{MAX}$  Werte wurden durch die entsprechenden  $C_M$  Werte dividiert, um die Faktoren  $A_{SPT}/B.T$  zu erhalten.

4. Die Faktoren  $A_{SPT}/B.T$  für  $C_B = 0.55$  und  $0.70$  wurden durch den Faktor  $A_{SPT}/B.T$  für  $C_B = 0.65$  dividiert, um die Faktoren  $f_{SPT 1(0.55)}$  und  $f_{SPT 1(0.70)}$  zu bekommen.

5. Die Faktoren  $f_{SPT 1(0.55)}$  und  $f_{SPT 1(0.70)}$  wurden mit dem Faktor  $A_{SPT 1}/B.T$  aus der Spantarealkurve von 'MECHT' multipliziert. Die Produkte ergaben die Faktoren  $A_{SPT 1}/B.T$  für  $C_B = 0.55$  bzw.  $0.70$ .

6. Die Schritte 2. bis 5. wurden für alle 20 Spanten wiederholt, um die Spantarealkurven zu erhalten.

Es mußten einige kleine Änderungen im Mittschiffsbereich durchgeführt werden, um die endgültigen Kurven zu bekommen. Die Flächen unter der Kurven wurden berechnet, um ihre Genauigkeit zu überprüfen. Die 3 Spantarealkurven für  $C_B = 0.55$  ;  $0.65$  ;  $0.70$  sind in Anh.I, Bild I.1 gegeben.

Zur Erzeugung der CWL-Kurven wurde ähnlich vorgegangen.

Die Ergebnisse sind in Anhang I, Tabellen I.4 bis I.6 wiedergegeben.

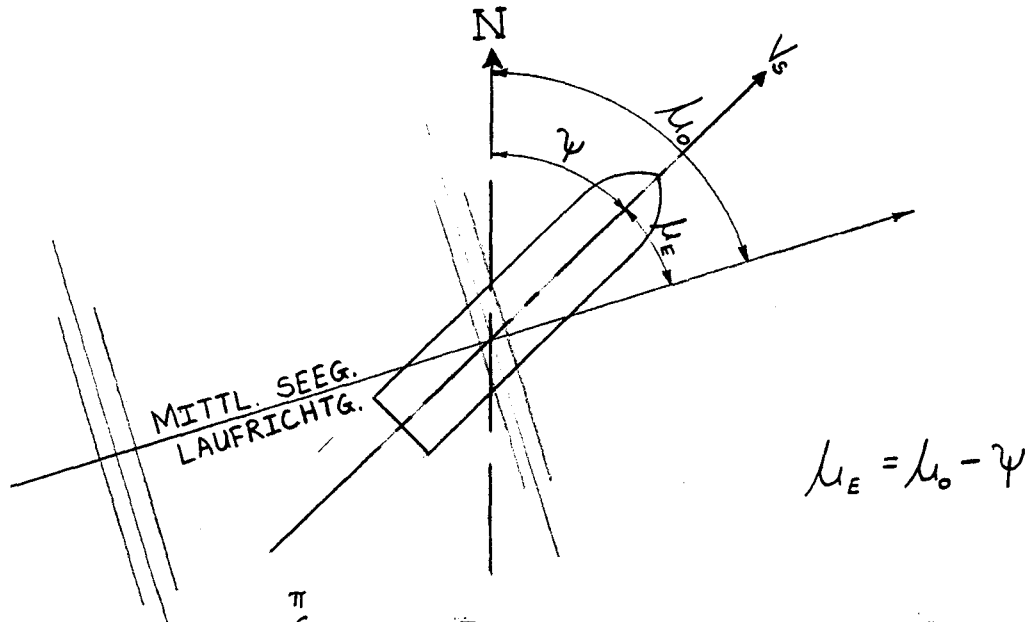
## 5. LANGZEITVERHALTEN

Bei dem Entwurf eines Schiffes interessieren die Seegangswirkungen auf das Schiff nicht nur in einem bestimmten Seegang, sondern während seiner ganzen Lebensdauer auf der geplanten Einsatzroute. Während dieser Zeit verändert sich der Seegang im betrachteten Seegebiet in zufälliger Weise. Um Aussagen über Langzeitverhalten machen zu können, benötigt man statistische Angaben über die Häufigkeitsverteilung der Seegänge und ihre mittlere Laufrichtung  $\mu_0$ . Außerdem braucht man die Verteilung der zu erwartenden Kurswinkel  $\psi$ .

Die Seegänge lassen sich durch die drei Parameter  $T_1$ ,  $H_{1/3}$  und  $\mu_0$  darstellen (siehe Kap. 2.2). Es kann davon ausgegangen werden, daß die Wellenlaufrichtung  $\mu_0$  unabhängig von  $T_1$  und  $H_{1/3}$  ist. Dadurch läßt sich die dreidimensionale Verteilung  $f(T_1, H_{1/3}, \mu_0)$  als das Produkt der zweidimensionalen Verteilung  $f(T_1, H_{1/3})$  und der eindimensionalen Verteilung  $f(\mu_0)$  darstellen.

$$f(T_1, H_{1/3}, \mu_0) = f(T_1, H_{1/3}) * f(\mu_0)$$

Für das Seeverhalten des Schiffes braucht man die Verteilung der Begegnungswinkel  $f(\mu_E)$ . Diese Verteilung wird durch Faltung der Verteilung der Wellenlaufrichtung  $f(\mu_0)$  und der Kurswinkel  $f(\psi)$  gebildet. (Siehe Bild, nächste Seite oben)



$$f(\mu_E) = \int_{-\pi}^{\pi} f_{\mu_0}(\mu_0) \left[ f_{\psi}(\mu_0 - \mu_E) + f_{\psi}(\mu_0 + \mu_E) \right] d\mu_0 \quad \left| 0 < \mu_E < \pi \right|$$

Dabei ist berücksichtigt, daß die Antwort des Schiffes unabhängig davon ist, ob es von Backbord oder von Steuerbord durch die See getroffen wird.

Damit wird die Seegangsverteilung, die ein Schiff auf einer Route antrifft:

$$f(T_1, H_{1/3}, \mu_E) = f(T_1, H_{1/3}) * f(\mu_E)$$

In dieser Arbeit wurde angenommen, daß die Schiffe im Nordamerika - Europa Verkehr eingesetzt werden. Die Verteilung  $f(T_1, H_{1/3})$  für die Gebiete 1,2 und 6 des Nordatlantiks aus /1/ ist in Anh.II gegeben.

Aus /11/ ist zu erkennen, daß für die hier betrachtete Einsatzroute  $f(\mu_E)$  praktisch gleichverteilt ist. In dieser Arbeit wurde daher der Begegnungswinkel als gleichverteilt angenommen.

## 6. ERMITTLUNG DES MITTLEREN ZUSATZWIDERSTANDES

### 6.1 Der mittlere Seegangszusatzwiderstand

Zur Ermittlung des mittleren Seegangszusatzwiderstandes wurde für jedes Schiff wie folgt vorgegangen:

- (1) Für den betrachteten Seegang ( $T$ ,  $H_{1/3}$ ) wurden mit dem Programm 'SERVICE SPEED' die Seegangswiderstände für 9 Begegnungswinkel von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  (Schrittweite  $22,5^\circ$ ) ermittelt.
- (2) Der Mittelwert dieser 9 Widerstände wurde gebildet (Annahme der Gleichverteilung des Begegnungswinkels).
- (3) Der in (2) ermittelte Wert wurde mit der Auftretens-Wahrscheinlichkeit des betrachteten Seegangs (Anhang II, Tabelle II.1) multipliziert.
- (4) Die Schritte (1) bis (3) wurden für alle auftretenden Seegänge wiederholt und die nach (3) berechneten Werte summiert.

Damit erhielt man als Ergebnis für jedes Schiff einen einzigen Wert, der den mittleren Seegangswiderstand  $R_S$  des Schiffes darstellt.

### 6.2 Der mittlere Windwiderstand

Um den mittleren Windwiderstand der Schiffe bestimmen zu können, mußten zuerst Windgeschwindigkeiten zu den auftretenden Seegängen ( $T$ ,  $H_{1/3}$ ) zugeordnet werden. Die Windgeschwindigkeiten (10m Höhe) wurden den Seegängen nur in Abhängigkeit von  $H_{1/3}$  nach Tabelle II.2 in Anhang II zugeordnet. Tabelle II.2 basiert auf dem Pierson-Moskowitz-Spektrum für ausgereifte Seegänge.

Diese Zuordnung der Windgeschwindigkeit hat zur Folge, daß die Seegänge mit den gleichen  $H_{1/3}$  die gleiche Windgeschwindigkeiten  $V_W$  hatten (unabhängig von  $T$ ). Aus diesem Grund waren die Auftretens-Wahrscheinlichkeiten der Windgeschwindigkeiten gleich den Auftretenswahrscheinlichkeiten der Wellenhöhen  $H_{1/3}$ , denen sie zugeordnet waren. In Tabelle II.3 in Anhang II sind die auftretenden Wellenhöhen, Windgeschwindigkeiten und ihre Auftretens-Wahrscheinlichkeiten gegeben.

Für die Windrichtung wurde eine Gleichverteilung angenommen. Zur Berechnung des Windwiderstandes wird noch die gemittelte Höhe  $H_V$  und die Luftspantfläche  $A_V$  des Schiffes benötigt (siehe Kap. 2.3). Diese Werte wurden für die Schiffe wie folgt ermittelt:

Für die Sichtverhältnisse bei Frachtschiffen gilt, daß die Sichtentfernung vor dem vorderen Lot  $\leq 1,25 L$  sein soll. /9/ (siehe Bild 5 nächste Seite oben)

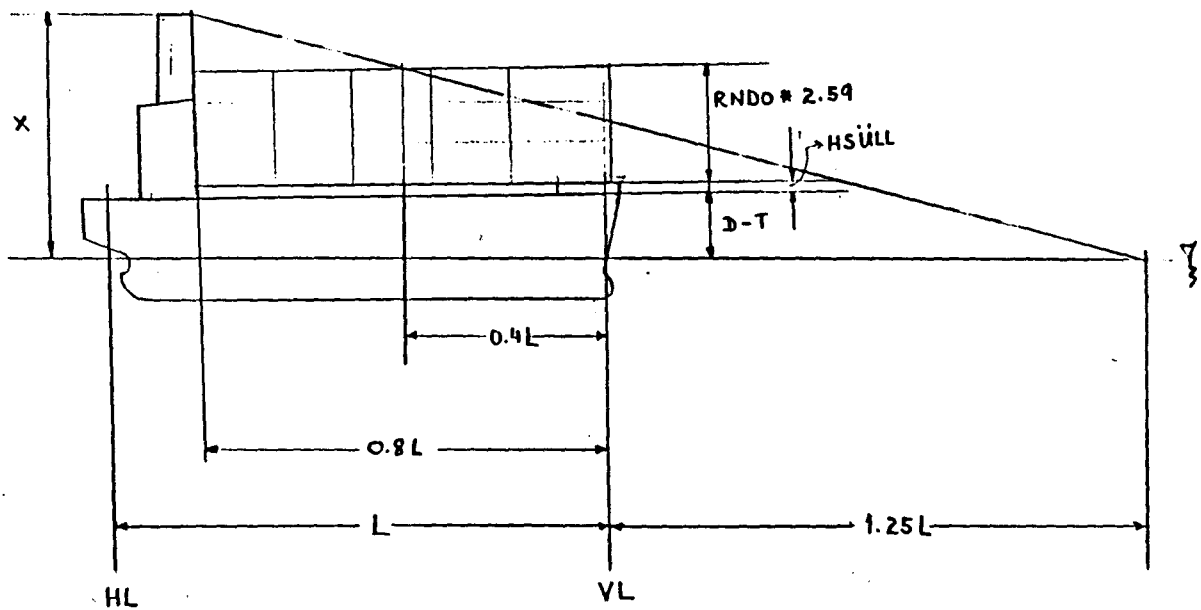


Bild 5

Es wird angenommen, daß die Brücke 0.8 L entfernt vom Vorschiff steht.

Aus Bild 5 ist zu erkennen:

$$\frac{1,65 L}{(D-T) + HSÜLL + RNDO * 2,59} = \frac{2,05 L}{x}$$

Hierin bedeuten:

D = Seitenhöhe

T = Tiefgang

RNDO = Anzahl der Containerlage an Deck

L = Schiffslänge

HSÜLL = Lukensüllhöhe

Daraus ergibt sich:

$$\begin{aligned} x &= \frac{2,05}{1,65} ((D-T) + HSÜLL + RNDO * 2,59) \\ &= 1,242 (D-T) + 3,218 RNDO + 1,242 HSÜLL \end{aligned}$$

Mit HSÜLL = 1,5 m und einem Zuschlag von noch 2m erhält man für die mittlere Höhe  $H_V$ :

$$H_V = 1,242 (D-T) + 3,218 RNDO + 1,863 + 2,0 (m)$$

Für die Luftspantfläche ergibt sich daraus:

$$A_V = H_V B \quad B = \text{Breite des Schiffes}$$

Der mittlere Windwiderstand  $R_W$  jedes Schiffes wurde wie folgt ermittelt:

- (1) Für die betrachtete Windgeschwindigkeit wurden die Windwiderstände für die 7 Windrichtungen ( $\mu_{WW}$ ) von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  (Schrittweite  $30^\circ$ ) bestimmt (siehe Kap. 2.3)
- (2) Der Mittelwert dieser 9 Widerstände wurde ermittelt (Annahme der Gleichverteilung der Windrichtung).
- (3) Der in (2) berechnete Wert wurde mit der Auftretens-Wahrscheinlichkeit der betrachteten Windgeschwindigkeit multipliziert.
- (4) Die Schritte (1) bis (3) wurden für alle auftretenden Windgeschwindigkeiten wiederholt und die nach (3) berechneten Werte summiert.

Als Ergebnis erhielt man einen einzigen Wert, der den mittleren Windwiderstand  $R_W$  des Schiffes darstellt. Das Programm 'WIND' ist in Anhang II wiedergegeben.

### 6.3 Der mittlere Zusatzwiderstand $R_{ZW}$

Für jedes Schiff wurden die nach 6.1 und 6.2 berechneten Widerstände addiert, um den mittleren Zusatzwiderstand zu erhalten:

$$R_{ZW} = R_S + R_W$$

In der Tabelle II.4 in Anhang II ist für jedes der 15 Schiffe der mittlere Seegangswiderstand, der mittlere Windwiderstand und der mittlere Zusatzwiderstand wiedergegeben.

Bild B.II.1 in Anhang II zeigt den Verlauf von  $R_S$ ,  $R_W$  und  $R_{ZW}$  in Abhängigkeit von  $L/B$ , bei konstantem  $C_B$  ( $= 0.65$ ).

Aus der Tabelle II.4 ist folgendes zu erkennen:

- (1) Bei konstantem  $C_B$  wächst der mittlere Seegangswiderstand  $R_S$  mit steigendem  $L/B$ . Das hängt damit zusammen, daß die längeren Schiffe ( $L/B$  groß) größere Übertragungsfunktionen bei den häufiger auftretenden Seegängen haben.
- (2) Bei konstantem  $C_B$  nimmt der mittlere Windwiderstand  $R_W$  mit steigendem  $L/B$  ab. Das ist darauf zurückzuführen, daß bei steigendem  $L/B$  die Anzahl der Deckscontainer (RNDO) aus Stabilitätsgründen abnimmt und damit auch die Lufthauptspantfläche  $A_v$  sich verringert.

Effekt (1) ist im allgemeinen stärker als Effekt (2), so daß der mittlere Zusatzwiderstand  $R_{ZW}$  mit steigendem  $L/B$  zunimmt (siehe Bild B.II.1).



- (3) Bei konstantem  $L/B$  nimmt mit steigendem  $C_B$  der mittlere Seegangswiderstand  $R_S$  ab. Diese Abnahme ist stärker bei großem  $L/B$ . Dieser Sachverhalt mag im ersten Augenblick unerwartet erscheinen, da man ein schlankes Schiff ( $C_B$  klein) normalerweise mit geringerem Widerstand verbindet. Dieses gilt zwar für den Glattwasserwiderstand, da jedoch der Seegangswiderstand von der Schiffsbewegung abhängt, ist es durchaus möglich, daß er bei kleineren  $C_B$ -Werten größer wird. O.J.Sibul /10/ hatte Seegangsversuche an 3 Series-60 Modellen mit  $C_B = 0.6; 0.7; 0.8$  in Seegang von vorn durchgeführt und stellte auch fest, daß die schlankeren Schiffe einen höheren Seegangswiderstand aufweisen als die völligeren.
- (4) Bei konstantem  $L/B$  bleibt der mittlere Windwiderstand  $R_W$  ungefähr gleich für alle  $C_B$ -Werte.
- (5) Für die 15 betrachteten Schiffe liegt der Wert des Zusatzwiderstandes zwischen 160 und 185 kN. Das entspricht je nach Schiff einem Anteil von 25 bis 30 % des Glattwasserwiderstandes der untersuchten Schiffe.

## 7. BILDUNG DER REGRESSIONSGLEICHUNG

In Abschnitt 6.3 wurden die mittleren Zusatzwiderstände für die 15 Schiffe berechnet. Um aus dieser Datei eine empirische Formel für den Zusatzwiderstand in Abhängigkeit von  $L/B$  und  $C_B$  zu entwickeln, wurde Regressionsanalyse angewendet.

### 7.1 Regressionsanalyse - eine kurze Beschreibung des Verfahrens

Die Regressionsanalyse hat das Ziel, eine abhängige Variable  $y$  (in diesem Fall den mittleren Zusatzwiderstand  $R_{ZW}$ ) mit Hilfe unabhängiger Variablen  $x_j$ ,  $j = 1$  bis  $m$ , möglichst genau zu schätzen. Aus dieser Schätzformel kann man die unbekannten  $y$ -Werte für beliebige  $x_j$  berechnen.

Der Ansatz für die Schätzformel lautet:

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} + \dots + b_m x_{mi} + \xi_i \quad (1a)$$

für  $i = 1$  bis  $n$

In diesem Ausdruck ist  $b_0$  eine Konstante,  $b_1$  bis  $b_m$  sind die Regressionskoeffizienten,  $\xi_i$  das Fehlerglied und  $n$  die Anzahl der vorliegenden Werte (in unserem Fall  $n = 15$ ).

Die Aufgabe besteht jetzt darin, die Fehlerglieder  $\xi_i$  zu minimieren, damit die nach der Schätzformel bestimmten Werte mit den gegebenen  $y$ -Werten möglichst genau übereinstimmen. Zu diesem Zweck benutzt man die Methode der kleinsten Fehlerquadrate.

In verkürzter Schreibweise lautet die Gleichung (1a)

$$y_i = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_{ji} + \xi_i \quad (1b)$$

Es ist die Bedingung zu erfüllen, daß die Summe der Fehlerquadrate Minimum wird.

$$\text{Also: } \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( y_i - b_0 - \sum_{j=1}^m b_j x_{ji} \right)^2 = \text{Min.} \quad (2)$$

Nach Bildung der partiellen Ableitung nach  $b_0$  und Nullsetzen der rechten Seite erhält man:

$$\sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n b_0 - \sum_{j=1}^m \left( b_j \sum_{i=1}^n x_{ji} \right) = 0 \quad (3a)$$

und das ist gleichbedeutend mit:

$$n\bar{y} - nb_0 - n \sum_{j=1}^m b_j \bar{x}_j = 0 \quad (3b)$$

woraus folgt:

$$b_0 = \bar{y} - \sum_{j=1}^m b_j \bar{x}_j \quad (4)$$

$\bar{x}_j$  und  $\bar{y}$  sind die Mittelwerte der unabhängigen bzw. der abhängigen Variablen.

$$\begin{aligned} \text{Einsetzen von (4) in (2) liefert: } \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 &= \\ \sum_{i=1}^n \left[ (y_i - \bar{y}) - \sum_{j=1}^m b_j (x_{ji} - \bar{x}_j) \right]^2 &= \text{Min.} \end{aligned} \quad (5)$$

Partielle Ableitung nach einem bestimmten  $b_j$ , z.B.  $b_k$  liefert:

$$\left\{ \sum_{i=1}^n \left[ (y_i - \bar{y}) - \sum_{j=1}^m b_j (x_{ji} - \bar{x}_j) \right] (\bar{x}_{ki} - \bar{x}_k) \right\} = 0$$

$$\Rightarrow \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j) (x_{ki} - \bar{x}_k) \right] b_j =$$

$$\sum_{i=1}^n (\bar{x}_{ki} - \bar{x}_k) (y_i - \bar{y}) \quad (6)$$

Dieses wiederholt für alle  $b_j$  ergibt schließlich  $m$  Gleichungen für die  $m$  unbekannten  $b_j$ . Die Lösung dieses simultanen linearen Gleichungssystem liefert die  $b_j$ . Mit diesen bekannten  $b_j$  kann man dann  $b_0$  nach Gl. (4) bestimmen. Damit ist die Regressionsgleichung vollständig bestimmt.

## 7.2 Regressionsanalyse des Zusatzwiderstandes

Für den Zusatzwiderstand  $R_W$  (Abhängige Variable) wurde hier der folgende Ansatz gemacht:

$$\begin{aligned} R_{ZW} = & b_0 + b_1(L/B) + b_2(C_B) + b_3(L/B)^2 + b_4(C_B)^2 \\ & + b_5(L/B)(C_B) + b_6(L/B)^2(C_B) + b_7(L/B)(C_B)^2 \\ & + b_8(L/B)^2(C_B)^2 \end{aligned}$$

Zur Durchführung der Regressionsanalyse wurde ein Programm (REGRESSION) geschrieben, das mit ausführlichen Beschreibungen in Anhang III wiedergegeben ist. Nach Berechnung der Werte  $b_0$  bis  $b_8$  wurde für den Zusatzwiderstand die folgende Gleichung erhalten:

$$\begin{aligned} RZW = & - 354,11 + 145,16 (L/B) + 1015,53 (C_B) \\ & - 5,48 (L/B)^2 + 82,94 (C_B)^2 - 279,36 (L/B)(C_B) \\ & + 7,17 (L/B)^2 (C_B) - 65,70 (L/B) (C_B)^2 \\ & + 15,48 (L/B)^2 (C_B)^2 \end{aligned}$$

In Tabelle III.1 in Anhang III sind die 15 gegebenen Zusatzwiderstands-Werte den nach der Regressionsgleichung berechneten Werten gegenübergestellt. Es ist eine große Übereinstimmung zu erkennen, woraus sich schließen läßt, daß die ermittelte Regressionsgleichung genau genug ist.

## 8. WIRKUNG DES ZUSATZWIDERSTANDES AUF DIE OPTIMALEN HAUPTABMESSUNGEN

Es wurde jetzt untersucht, ob die Berücksichtigung des Zusatzwiderstandes mittels der nach Kap. 7.2 gebildeten Regressionsgleichung zu erheblichen Unterschieden in den optimalen Hauptabmessungen gegenüber der pauschalen Zusatzwiderstands-Berücksichtigung durch einen Zuschlag führte. Zu diesem Zweck wurden die folgenden 3 Fälle untersucht und die Ergebnisse verglichen:

- Fall (1): Der Zusatzwiderstand wurde wie bisher durch einen pauschalen Zuschlag von 15 % auf den Glattwasserwiderstand berücksichtigt.
- Fall (2): Aus Kapitel 6.3 ist zu erkennen, daß der Zusatzwiderstand für die betrachteten Schiffe 25 bis 30 % auf den Glattwasserwiderstand betrug. Aus diesem Grund wurde hier ein pauschaler Zuschlag von 27 % für den Zusatzwiderstand berücksichtigt.
- Fall (3): Hier wurde der Zusatzwiderstand nicht durch einen pauschalen Zuschlag berücksichtigt, sondern durch die nach Kap. 7.2 ermittelte Regressionsgleichung. Dadurch wurde eine genauere Betrachtung des Zusatzwiderstands gegenüber Fall (1) und (2) erzielt. Die Gleichung wurde in das Optimierungsprogramm 'ASHA' eingebaut.

Das zu optimierende Schiff hat die folgenden Bedingungen zu erfüllen:

Containerkapazität:	1200 TEU
Aktionsradius:	10000 Seemeilen
Dienstgeschwindigkeit:	17,2 kn

Als Zielfunktion für die Optimierung wurde wiederum die Mindestfrachtrate RFR gewählt (siehe Kap. 3).

Die Bilder IV.1, IV.2, IV.3 in Anhang IV zeigen den Verlauf von RFR in Abhängigkeit von L/B für Fall (1), bzw. (2) und (3). Aus diesen Bildern ist zu erkennen, daß die kleinsten RFR-Werte für alle 3 Fälle zwischen  $L/B = 5.3$  und  $L/B = 6.0$  liegen.

Für jeden der 3 Fälle gab es ein 'optimales Schiff', bei dem die RFR am kleinsten war. Die Hauptkennwerte dieser drei 'optimalen Schiffe' sind in Tabelle IV.1 in Anhang IV wiedergegeben.

Tabelle IV.1 läßt folgendes erkennen:

- (i) Ein pauschaler Zuschlag von 15 % für den Zusatzwiderstand (Fall (1)) ist für den hier betrachteten Schiffstyp und das betreffende Seegangsgebiet viel zu gering. Das 'optimale Schiff' bei Fall (1) hat ein  $L/B$  von 5.68 und ein  $C_B$  von 0.613. Nach der Regressionsgleichung (Kap.7) ergibt sich für diese Werte ein Zusatzwiderstand von ungefähr 165 kN, aber nach Fall (1) beträgt der Wert für den Zusatzwiderstand  $R_{ZW}$  88 kN. Diese Fehleinschätzung führt dazu, daß eine zu geringe Motorenleistung  $P_B$  berechnet wird und ist auch der Grund dafür, daß die erforderliche Mindestfrachtrate RFR für Fall (1) so viel geringer ist als für Fall (2) und (3).

Ein Vergleich zwischen den Hauptabmessungen von Fall (1) und (3) zeigt, daß das Schiff (3) kürzer ist und ein kleineres L/B-Verhältnis hat als Schiff (1). Es sind auch Unterschiede in den anderen Hauptabmessungen zu erkennen, wenn auch nicht so auffallend wie bei der Länge.

- (ii) Der Wert des Zusatzwiderstandes, wie in Fall (2) angenommen (27 % des Glatwasserwiderstandes) stimmt zwar gut mit dem nach der Regressionsgleichung ermittelten Wert überein, aber die Hauptabmessungen des Schiffes (2) weichen erheblich von denen von Schiff (3) ab.

Der größte Unterschied ist wiederum in der Schiffslänge zu erkennen. Die Unterschiede in den Hauptabmessungen zwischen Schiff (2) und (3) sind sogar größer als zwischen Schiff (1) und (3). Dies läßt sich folgendermaßen erklären:

Wenn man im Optimierungsprogramm den Zusatzwiderstand als einen Faktor des Glatwasserwiderstandes annimmt (wie in Fall (1) und (2)) geht man praktisch von zwei Voraussetzungen aus, daß

- der Zusatzwiderstand von den gleichen Parametern abhängig ist wie der Glatwasserwiderstand.
- diese Parameter die gleiche Wirkung auf den Zusatzwiderstand haben wie auf den Glatwasserwiderstand.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen dagegen, daß die hier betrachteten Parameter  $C_B$  und  $L/B$  keineswegs die gleiche Wirkung auf den Zusatzwiderstand haben wie auf den Glattwasserwiderstand (siehe Kap. 6.3). Aus diesem Grund haben die optimierten Schiffe (2) und (3) andere Hauptabmessungen, obwohl der numerische Wert des Zusatzwiderstandes in beiden Fällen fast gleich ist.



## 9. SCHLUSSBETRACHTUNG

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, daß eine genauere Betrachtung des Zusatzwiderstandes zu anderen optimalen Hauptabmessungen führt als die Berücksichtigung des Zusatzwiderstandes durch einen pauschalen Zuschlag.

Eine genauere Betrachtung des Zusatzwiderstandes ist sicherlich mit zusätzlichem Arbeitsaufwand verbunden, da es keine einfachen, allgemein gültigen Formeln gibt. Auch die in dieser Arbeit entwickelte Regressionsformel für den Zusatzwiderstand kann nicht allgemein benutzt werden, da sie nur für den hier betrachteten Schiffstyp, Schiffsgröße und Seegebiet gilt.

Zur Erfassung des Zusatzwiderstandes wurden hier die Schiffssparameter  $L/B$  und  $C_B$  benutzt, es gibt jedoch noch andere Parameter wie  $B/T$  (Breiten-Tiefgang-Verhältnis) und  $LCB$  (Längenlage des Verdrängungsschwerpunktes), die einen Einfluß auf den Zusatzwiderstand haben. Die Berücksichtigung dieser Parameter bei künftigen Untersuchungen in diesem Gebiet würde sicher von Interesse sein.

LITERATURVERZEICHNIS

- /1/ H. Söding: Bewegung und Belastung der Schiffe  
im Seegang. Vorlesungsmanuskript Nr. 18, IfS
- /2/ O. Grim : Bewegung und Belastung des Schiffes  
im Seegang. Vorlesungsmanuskript Nr. 3, IfS
- /3/ P. Schenzle, P. Boese, P. Blume: Ein Pro-  
gramm-System zur Berechnung der Schiffsgeschwindigkeit unter Dienstbedingungen  
Bericht Nr: 303, IfS
- /4/ Theodore A. Loukakis, Chryssostomos  
Chryssostomidis: Seakeeping Standard Series  
for Cruiser-Stern Ships. SNAME Transactions,  
Vol. 83, 1975
- /5/ P. Boese: Eine einfache Methode zur Berechnung  
der Widerstandserhöhung eines Schiffes im  
Seegang. Bericht Nr. 258, IfS, Febr. 1970
- /6/ Harald Poehls: Entwerfen von Schiffen III.  
Vorlesungsmanuskript, Bericht Nr. 43,  
Universität Hannover
- /7/ F. H. Todd: Some Further Experiments on  
Single-Screw Merchant Ship Forms-Series 60.  
SNAME Transactions, Vol. 61, 1953
- /8/ K.H. Rupp: Ein Beitrag zum rechnergestützten  
Entwerfen von Containerschiffen.  
Bericht Nr. 448, IfS, Juli 1984
- /9/ Schneekluth: Entwerfen von Schiffen.  
1984

- /10/ O.J. Sibul: Ship Resistance and Motions in Uniform Waves as a Function of Block Coefficient. Institut of Engineering Research, University of California, Series No. 61, Issue No. 19 (June 1961)
- /11/ Siew Koon Lim: Langzeitverteilung von See- gangsbeanspruchungen. Diplomarbeit, IfS, November 1984

**A N H A N G   I**

```
C -----
C "ASHA"-PROGRAMMSYSTEM ZUM OPTIMALEN ENTWURF VON CONTAINERSCHIFFEN
C -----

PROGRAM CONT

REAL KOESTR,KOEGAE,KOEMA,KOEMAR

COMMON /IZAHL/ IZAHL

OPEN(UNIT=10,NAME='CONT.DAT',STATUS='UNKNOWN')

C EINGABEDATEN
C =====

C 1. LADUNG
C -----

C ANZAHL DER CONTAINER (TEU)
TEU=1200.

C DURCHSCHNITTSGEWICHT EINES CONTAINERS (T)
TEUGEW=14

C HOEHENSCHWERPUNKTSLAGE EINES CONTAINERS ALS FAKTOR DER HOEHE (-)
RKGTEU=0.5

C CONTAINERLAENGE (M)
TEUL=6.10

C CONTAINERBREITE (M)
TEUB=2.44

C CONTAINERHOEHE (M)
TEUH=2.59

C VOELLIGKEITSGRAD DER DECKSCONTAINER (-)
CBCONO=0.94

C GEWICHT DER LADUNG (T)
GEWLAD=TEU*TEUGEW
```

C 2. SCHIFFSDATEN  
C -----

C LUKENDECKELHOEHE (M)  
HLUKD=0.50

C ZWISCHENRAUM CONT-LUKENDECKEL (M)  
DECOLU=0.4

C ANZAHL DER LUKEN IN DER BREITE  
ANZBLU=3.

C ANZAHL DER TRAEGER IN DER BREITE  
ANZTRB=ANZBLU-1

C LUKENSUELLHOEHE (M)  
HSUELL=1.50

C GEWICHT DES DECKSHAUSES (T)  
GDEH=250.

C GEWICHT DES BACKS (T)  
GBACK=100.

C KOEFFIZIENT ZUR ERMITTLUNG DES GEWICHTS DER EIN- UND AUSRUESTUNG  
KOEAE=0.32

C GEWICHT DER VORRAETE (T)  
VORRAT=300.

C GEWICHT DES FRISCHWASSERS (T)  
FRW=300.

C BAUKOSTEN- STAHLRUMPF (DM/T)  
BAUSTR=4131.

C BAUKOSTEN- AUSRUESTUNG (DM/T)  
BAUAE=12756.

C BAUKOSTEN- MASCHINENANLAGE (DM/T)  
BAUMA=15949.

C PROPELLER

C ANZAHL DER PROPELLER  
ANZP=1.

C ANZAHL DER BLAETTER  
ANZB=5.

C WASSERTEMP (CELSIUS)  
TEMP=15.

C SALZGEHALT (%)  
SALIN=3.5

C MATERIAL KENNZAHL  
RMAT=1.

C KAVITATIONSBEIWERT  
FKAV=1.

C WIRKUNGSGRAD WELLE-GETRIEBE  
ETAM=1.

C HOEHENGEWICHTSSCHWERPUNKT DER VORRAETE (M)  
RKGBUV=3.5

C FAKTOR FUER DIE PAUSCHALER BERUECKSICHTIGUNG DES  
C WIDERSTANDZUWACHSES UNTER BETRIEBSBEDINGUNG (IN PROZENT)  
ZUSCH=15.

C 3. REISEDATEN  
C -----

C DIENSTGESCHWINDIGKEIT (KNOTEN)  
VD=17.2

C AKTIONSWEITE (SEEMEILEN)  
AKTION=10000.

C ANZAHL DER HAFEN PRO RUNDREISE  
PORTN=2.

C HAFENZEIT (STUNDEN), UNTER FOLGENDEN VORAUSSETZUNGEN:  
C 2 CONTAINERBRUECKEN MIT JE EINE UMSCHLAGSLEISTUNG VON  
C 20CONT/STUNDE  
TIMPRT=TEU\*2./(2.\*20.)

C RUNDREISEZEIT (STUNDEN)  
TIMRT=AKTION/VD+PORTN\*TIMPRT

C RUNDREISEN PRO JAHR  
RTNPY=(8760.-240.)/TIMRT

C 4. DATEN ZUR BERECHNUNG DER ANNUITAET UND BETRIEBSKOSTEN  
C -----

C JAHRESZINSSATZ  
ZINS=0.1

C ABSCHREIBUNGSZEIT (JAHREN)  
TAP=15.

C KOSTEN FUER LOTSSEN, MAKLER, SCHLEPPER USW. (DM)  
HLMS=1200.

C KOSTENFAKTOR FUER KAJEGEBUEHR (DM/T)  
POQUA=6.85

C FAKTOR FUER LIEGEPLATZGEBUEHR (DM/T)  
FPOTON=0.24

C UMSCHLAGSKOSTEN FUER CONTAINER (DM/CONT)  
PRCONT=180.

C VERSICHERUNGSKOSTEN PRO JAHR ALS FAKTOR DER BAUKOSTEN  
CINSS=0.018

C KOSTEN PRO BESATZUNGSMITGLIED PRO JAHR (DM)  
CCREW=75000.

C ERSATZTEILKOSTEN FUER MASCHINE (DM/KW)  
PSPARE=15.67

C REPARATURKOSTEN DES RUMPFES (DM/M\*\*3)  
CREP=0.9

C KOSTEN- SCHWEROEL (DM/T)  
PRSCHW=570.

C KOSTEN- DIESELOEL (DM/T)  
PROIES=760.

C \*\*\*\*\*



C BEGINN DES OPTIMIERUNGSTEILS DES PROGRAMMS

BEGIN  
INFORMATION

C TESTWRITE  
REDUCTION 0.1

REAL TEUL,TEUB,ANZBLU,TEUGEW,TEU,FRW,ZUSCH,CBCONO,  
& ANZTRB,TEUH,KOEGAE,GDEH,GBACK,VORRAT,HLUKD,RKGBUV,  
& GEWLAD,AKTION,VD,SALIN,TEMP,ANZB,ANZP,ETAM,RMAT,FKAV,  
& BAUSTR,BAUAE,BAUMA,DECOLU,PRSCHW,PRDIES,  
& RTNPY,TIMPRT,HLMS,POQUA,PORTN,FPOTON,PRCONT,CINSS,  
& CCREW,PSPARE,CREP,ZINS,TAP,TIMRT,HSUELL

UNKNOWNNS

C LISTE DER UNBEKANNTEN

C -----

C REIHENFOLGE DER BEZEICHNUNG:

C NAME,ANFANGSWERT,SCHRITTWEITE,KLEINSTWERT,GROESSTWERT

C SCHIFFSLAENGE (M)  
RLPP,160.,50.,100.,350.

C SCHIFFSBREITE (M)  
B,18.,3.,10.,40.

C TIEFGANG (M)  
T,8.,1.,1.,15.

C SEITENHOEHE (M)  
D,15.,2.,5.,30.

C ANZAHL DER CONTAINERBAYS, UNTER DECK  
RNLU,12.,1.,10.,25.

C ANZAHL DER CONTAINERSTAPEL PRO BAY, UNTER DECK  
RNBU,6.,1.,4.,10.

C ANZAHL DER CONTAINER PRO STAPEL, UNTER DECK  
RNDU,6.,1.,6.,8.

C ANZAHL DER CONTAINER PRO STAPEL, AN DECK  
RNDO,4.,1.,1.,6.

C BLOCKKOEFFIZIENT  
CB,0.52,0.1,0.1,0.9

C WASSERLINIENVOLLIGKEIT  
CWP,0.72,0.1,0.4,0.9

C LEERSCHIFFSGEWICHT (T)  
GSFL,5000.,2000.,100.,20000.

C     STAHLRUMPFGEWICHT (T)  
      GSTR,2700.,500.,100.,10000.

C     GEWICHT DER AUSRUESTUNG (T)  
      GAE,700.,200.,100.,2000.

C     GEWICHT DER MASCHINENANLAGE (T)  
      GMA,700.,200.,100.,2000.

C     TRAGFAEHIGKEIT (T)  
      DW,7000.,2000.,1000.,30000.

C     DOPPELBODENHOEHE (M)  
      HDB,1.,0.5,0.5,3.5

C     GEWICHT DES BUNKERS (T)  
      BUNKER,1500.,200.,500.,3000.

C     LEISTUNG DES HAUPTMOTORS UNTER DIENSTBEDINGUNG (KW)  
      PB,7700.,1000.,100.,35000.

C     INSTALLIERTE HAUPTMOTORENLEISTUNG (KW)  
      POW,8000.,1000.,100.,40000.

C     SCHUB (KN)  
      THRUST,100.,300.,1.,10000.

C     DREHMOMENT (KNM)  
      TORCC,700.,500.,1.,10000.

C     PROPELLERDURCHMESSER (M)  
      DIAM,6.,1.,2.,20.

C     DREHZAHL (1/S)  
      REV,1.,0.1,.5,3.

C     STEIGUNG  
      PITCH,5.,1.,2.,20.

C     ANSTROMGESCHWINDIGKEIT (M/S)  
      VA,7.5,1.,0.1,20.

C     FLAECHENVERHAELTNIS  
      AEA0,.75,0.1,0.35,1.05

C     GEWICHT DER UNTERDECKSLADUNG (T)  
      GEWUD,3000.,500.,100.,15000.

C     HOEHENSCHWERPUNKT UBER KIEL (M)  
      RKG,7.5,1.,0.1,30.

C     METAZENTRISCHE HOEHE (M)  
      RKM,7.0,1.,0.1,30.

```

C      MINDESTFRACHTRATE (DM)
      RRFR,1000.,200.,800.,6000.

C      CONTAINERVOELLIGKEITSGRAD DER UNTERDECKSCONTAINER
      CBCONU,0.8,0.1,0.4,0.95

C*****

C      ZU ERFUELLENDE GLEICHUNGEN UND UNGLEICHUNGEN
C      -----

      SYSTEM

C      SCHIFFSLAENGE=VORPIEKLAENGE+ACHTERPIEKLAENGE+MASCHINENRAUML.+
C      LADERAUML.+DECKSTREIFENL.
      RLPP = 0.17*RLPP**0.8 + (0.037866+0.001614/CB**5)*RLPP
&      + 1.837*POW**0.2696 + RNLU*6.40
&      + (RNLU/2.+2.)*1.4

C      BREITE ALS FUNKTION DER UNTERDECKCONT.
      B = RNBU*2.44 + (RNBU+1.)*0.20 + 0.5*ANZTRB + 0.2*ANZTRB
&+ 2.*2.2

C      TIEFGANG ALS FUNKTION VON GEWICHT, HAUPTABMESSUNGEN UND CB
      T = (GSFL+DW)/(RLPP*B*CB*1.03)

C      SEITENHOEHE ALS FUNKTION DER UNTERDECKCONT.
      D=HDB+RNDU*2.59+0.025*RNDU-HSUELL

C      MINDESTDOPPELBODENHOEHE NACH GL
      HDB = (350.+45.*B)/1000.

C      FREIBORD-WIRD NACH STANDARD PROGRAMM BERECHNET
      D-T .GE. FREBD(RLPP,0.,0.,RLPP,0.2*RLPP,0.6*RLPP,0.,
$0.,0.,D,T,CB,
$0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
$2,1)

C      VOELLIGKEITSGRAD
      CB=0.550
C      CB.GE.0.55

C      WASSERLINIEVOELLIGKEIT
      CWP=0.3333+0.6667*CB

C      STAHLRUMPFGEWICHT+DECKSHAUSGEWICHT (T)
C      DAS STAHLRUMPFGEWICHT WIRD ALS FUNKTION DER HAUPTABMESSUNGEN
C      BERECHNET (SIEHE "FUNKTIONEN")
      GSTR=STARUM(RLPP,B,T,D,CB)*1.1+GDEH

```

C GEWICHT DER EIN- UND AUSTRÜSTUNG (T)  
GAE=KOEAE\*RLPP\*B

C GEWICHT DER MASCHINENANLAGE (T) [NACH RUPP]  
GMA=9.98\*(POW/(REV\*60))\*0.86+4.619\*POW\*\*0.557

C LEERSCHIFFSGEWICHT (T)  
GSFL=(GSTR+GAE+GMA)

C CONTAINERVOELLIGKEITSGRAD DER UNTERDECKSCONTAINER-  
C WIRD ALS FUNKTION VON CB,D,T BERECHNET (SIEHE "FUNKTIONEN")  
CBCONU=CBCON(CB,D,T)

C GESAMTCONTAINERKAPAZITAET DES SCHIFFES IN TEU  
TEU=RNLU\*RNBU\*RNDU\*CBCONU+((RNLU+2)\*(RNBU+2)\*RNDO)\*CBCONO

C TRAGFAEHIGKEIT (T)  
DW=(VORRAT+BUNKER+FRW+GEWLAD)

C GEWICHT DER BUNKERVORRAETE(SCHWEROEL,DIESELOEL,USW)(T)  
BUNKER=(1+0.25)\*(AKTION/VD\*0.22\*PB/1000.)

C INSTALLIERTE HAUPTMOTORENLEISTUNG (KW)  
POW=PB/0.85

C ANSTROMGESCHWINDIGKEIT (M/S)  
C NACHSTROMZIFFER WIRD ALS 0.75\*CB-0.24 ANGENOMMEN  
VA=VD\*0.5144\*(1.-(0.75\*CB-0.24))

C DER GLATTWASSERWIDERSTAND WIRD NACH LAPP BERECHNET UND DARAUS  
C DER SCHUB (KN)  
THRUST=RLAP(RLPP,B,T,CB,(0.9+0.1\*CB),(20.\*(CB-0.675)),  
\$0.4E-3,DICHTE(SALIN),  
\$ZAEH(SALIN,TEMP),VD\*0.5144)/((1.-(0.5\*CB-0.15))\*(1.+ZUSCH/100))

C BERECHNUNG DES SCHUBBEIWERTES,FKTRN, UND DARAUS DER SCHUB  
THRUST= FKTRN(AEAO,PITCH,DIAM,VA,REV,ANZB)\*DIAM\*\*4\*REV\*REV\*ANZP

C BERECHNUNG DES MOMENTENBEIWERTES,FKQRN, UND DARAUS DAS DREHMOMENT  
TORCC= FKQRN(AEAO,PITCH,DIAM,VA,REV,ANZB)\*DIAM\*\*5\*REV\*REV

C ERFORDERLICHE MOTORENLEISTUNG UNTER DIENSTBEDINGUNG  
PB=6.2832\*REV\*TORCC\*ANZP/ETAM

C BEDINGUNG FUER FLAECHEVERHAELTNIS  
AEAO.GE.(((1.3+0.3\*ANZB)\*THRUST/ANZP)/((9.81\*(0.95\*T-0.5\*DIAM)+100.  
\$ -DAMPFD(TEMP))\*DIAM\*DIAM)+0.05\*(3.+RMAT-ANZP))/FKAV

C GEWICHT DER UNTERDECKSLADUNG (T)  
GEWUD=RNLU\*RNBU\*RNDU\*CBCONU\*TEUGEW

```
C      HOEHEN SCHWERPUNKT (M)
      RKG=((HDB+RNDU*TEUH*0.5)*GEWUD
$      +(D+HSUELL+HLUKD+RNDO*2.59*0.5)*(GEWLAD-GEWUD)
$      +GSFL*0.6*D+(VORRAT+BUNKER)*RKGBUV)/
$      (GSFL+BUNKER+VORRAT+GEWLAD)

C      METAZENTRISCHE HOEHE-WIRD MIT STANDARDFUNKTION BERECHNET
      RKM=RKBmun(T,CWP,CB)+BMBmun(B,T,CB,CWP)

C      ANFANGSSTABILITAET WENIGSTENS 1 METER
      RKM.GE.1.0+RKG

      RLPP/B=6.000

C      MINDESTFRACHTRATE (DM/TEU) (SIEHE "FUNKTIONEN")
      RRFR=RFR(B,RNLU,D,HSUELL,HDB,CBCONU,
$      $HLMS,PORTN,POQUA,TEU,TEUGEW,FPOTON,TIMPRT,
$      $CINSS,BAUSTR,GSTR,BAUAE,GAE,BAUMA,GMA,CCREW,PSPARE,
$      $POW,CREP,RLPP,BUNKER,PRSCHW,PRDIES,RTNPY,ZINS,TAP)

C      L/B-VERHAELTNIS-BEDINGUNG
      RLPP/B.GE.4.5
      RLPP/B.LE.10.

C      B/T - VERHAELTNIS-BEDINGUNG
      B/T.LE.4.
      B/T.GE.1.5

C      LAENGSFESTIGKEIT-BEDINGUNG
      RLPP/D.LE.14.
      RLPP/D.GE.9.

C      PROPELLER-BEDINGUNGEN
      DIAM.LE.0.67*T
      PITCH/DIAM.GE.0.5
      PITCH/DIAM.LE.1.4
      AEA0.GE.0.35
      AEA0.LE.1.05

C      MINDESTFRACHTRATE WIRD OPTIMIERT

C      ZIELFUNKTION
      MINIMIZE RRFR

      SOLVE

      STOP
      END
```



```
C   FUNKTION ZUR BERECHNUNG DES STAHLRUMPFGEWICHES
C   =====

      FUNCTION STARUM(RLPP,B,T,D,CB)

C   VOELLIGKEITSGRAD BIS HAUPTDECK
      CBD=CB+0.3*(D-T)/T*(1.-CB)

C   UNTERDECKSVOLUMEN
      VOLU=RLPP*B*D*CBD+0.12*RLPP*B*3.*0.7

C   STAHLRUMPFGEWICHT [NACH SCHNEEKLUTH]
      STARUM=VOLU*0.093*(1.+0.002E-3*(RLPP-120.))**2)
      $(1.+0.057*(RLPP/D-12.))
      $*SQRT(30/(D+14))
      $(1.+0.1*(B/D-2.1))**2)
      $(1.-0.2*(0.85-T/D))
      $(0.92+(1.-CBD)**2)

      RETURN
      END
```

C-----

```
C   FUNKTION ZUR BERECHNUNG DES UNTERDECKSCONTAINERVOELLIGKEITSGRADES
C   =====

      FUNCTION CBCON(CB,D,T)

C   VOELLIGKEITSGRAD BIS HAUPTDECK
      CBDCK=CB+0.3*(D-T)/T*(1.-CB)

C   UNTERDECKSCONTAINERVOELLIGKEITSGRAD [NACH RUPP]
      CBCON=1.1777*CBDCK-0.060924

      RETURN
      END
```

C-----

TEXTENDE

SYMBOLVERZEICHNIS DER TABELLEN I.1 - I.3

L (M):	SCHIFFSLAENGE
B (M):	SCHIFFSBREITE
T (M):	TIEFGANG
D (M):	SEITENHOEHE
$\nabla$ (M <sup>3</sup> ):	VERDRAENGUNG
RNLU (-):	ANZAHL DER CONTAINERBAYS
RNBU (-):	ANZAHL DER CONT.STAPEL PRO BAY
RNDU (-):	ANZAHL DER CONT. PRO STAPEL, UNTERDECK
RNDO (-):	ANZAHL DER CONT. PRO STAPEL, AM DECK
CBCONU (-):	CONTAINERVOLLIGKEITSGRAD
GSTR (T):	STAHLRUMPFGEWICHT
GMA (T):	GEWICHT DER MASCHINENANLAGE
GAE (T):	GEWICHT DER EIN- UND AUSRUSTUNG
GSFL (T):	LEERSCHIFFSGEWICHT
BAU (mio DM):	BAUKOSTEN DES SCHIFFES
RT (kN):	GESAMTWIDERSTAND DES SCHIFFES
PB (kW):	ERFORDERLICHE HAUPTMOTORENLEISTUNG
RFR (DM):	ERFORDERLICHE MINDESTFRACHTRATE



TABELLE I.1

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

CB=0.55

=====

	L/B=5.0	L/B=5.686	L/B=6.0
L	159.61	174.61	181.34
B	31.92	30.71	30.22
T	9.37	9.08	8.98
D	15.97	15.92	15.90
$\nabla$	26274	26798	27064
B/T	3.40	3.38	3.37
RNLU	15.93	17.83	18.67
RNBU	9.82	9.36	9.18
RNDU	6.00	6.00	6.00
RNDO	2.73	2.32	2.17
CBCONU	0.70	0.71	0.71
GSTR	5100	5699	5981
GMA	1399	1335	1294
GAE	1630	1716	1754
GSFL	8129	8750	9029
BAU	64.18	66.73	67.73
RT	737	698	685
PB	9585	9081	9046
RFR	1238.2	1232.6	1236.9

TABELLE I.1 /2

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

CB=0.55  
=====

	L/B=6.5	L/B=7.0
L	191.91	202.35
B	29.52	28.91
T	8.83	8.71
D	15.87	15.84
$\nabla$	27513	28013
B/T	3.34	3.32
RNLU	20.00	21.30
RNBU	8.91	8.68
RNDU	6.00	6.00
RNDO	1.93	1.73
CBCONU	0.71	0.72
GSTR	6442	6920
GMA	1271	1246
GAE	1813	1872
GSFL	9526	10039
BAU	70.00	72.35
RT	670	663
PB	8872	8849
RFR	1242.8	1254.6

TABELLE I.2

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

CB=0.65

=====

	L/B=5.0	L/B=5.686	L/B=6.0
L	153.40	167.75	174.20
B	30.68	29.50	29.03
T	8.51	8.22	8.11
D	15.92	15.87	15.85
$\nabla$	26016	26432	26671
B/T	3.61	3.59	3.58
RNLU	15.50	17.39	18.23
RNBU	9.35	8.90	8.72
RNDU	6.00	6.00	6.00
RNDO	2.64	2.21	2.04
CBCONU	0.81	0.82	0.82
GSTR	4923	5489	5757
GMA	1356	1270	1247
GAE	1506	1583	1618
GSFL	7785	8342	8622
BAU	61.19	63.14	64.32
RT	736	678	663
PB	10074	9263	9057
RFR	1243.4	1222.6	1221.1

TABELLE I.2/2

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

CB=0.65

=====

	L / B = 6.5	L / B = 7.0
L	184.36	194.38
B	28.36	27.77
T	7.97	7.86
D	15.82	15.79
$\nabla$	27096	27557
B/T	3.56	3.53
RNLU	19.54	20.82
RNBU	8.47	8.24
RNDU	6.00	6.00
RNDO	1.79	1.57
CBCONU	0.83	0.83
GSTR	6196	6651
GMA	1222	1205
GAE	1673	1727
GSFL	9091	9583
BAU	66.42	68.73
RT	647	637
PB	8862	8764
RFR	1225.1	1233.9

TABELLE I.3

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

CB=0.70

=====

	L/B=5.0	L/B=5.686	L/B=6.0
L	150.89	164.88	171.19
B	30.12	29.00	28.53
T	8.29	7.93	7.81
D	15.90	15.84	15.82
$\nabla$	26441	26552	26711
B/T	3.64	3.65	3.65
RNLU	15.07	17.03	17.88
RNBU	9.16	8.71	8.53
RNDU	6.00	6.00	6.00
RNDO	2.71	2.22	2.04
CBCONU	0.86	0.87	0.87
GSTR	4865	5412	5672
GMA	1515	1338	1290
GAE	1457	1530	1563
GSFL	7837	8280	8525
BAU	62.85	63.22	63.95
RT	853	728	695
PB	12489	10437	9925
RFR	1348.3	1270.1	1254.1

TABELLE I.3 /2

HAUPTKENNWERTE DER SCHIFFE

	CB=0.70 =====	
	L/B=6.5	L/B=7.0
L	181.13	190.95
B	27.86	27.28
T	7.65	7.53
D	15.79	15.77
$\nabla$	27044	27450
B/T	3.64	3.62
RNLU	19.19	20.46
RNBU	8.28	8.06
RNDU	6.00	6.00
RNDO	1.78	1.55
CBCONU	0.88	0.88
GSTR	6099	6542
GMA	1238	1207
GAE	1615	1666
GSFL	8953	9416
BAU	65.55	67.54
RT	660	639
PB	9398	9111
RFR	1242.3	1242.1

BILD: I.1

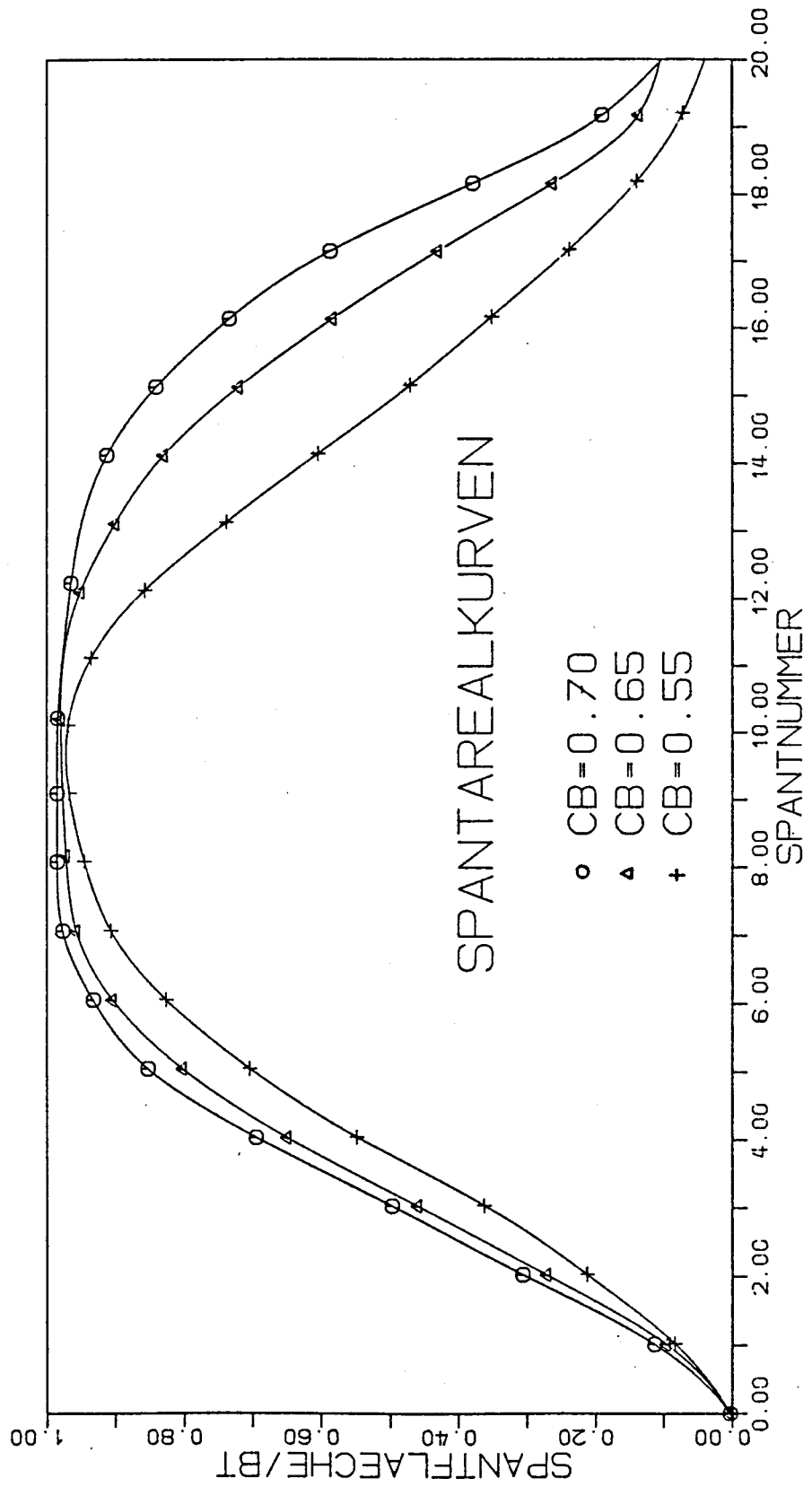


TABELLE I.4

KOEFFIZIENTEN FUER DIE SPANTFLAECHEEN UND SPANTBREITEN

CB=0.55

SPT.NO	A/(B.T)	b/B
0	0.002	0.08
1	0.081	0.26
2	0.208	0.46
3	0.355	0.63
4	0.539	0.76
5	0.695	0.86
6	0.819	0.93
7	0.901	0.98
8	0.942	1.00
9	0.965	1.00
10	0.970	1.00
11	0.941	1.00
12	0.870	0.98
13	0.756	0.94
14	0.625	0.87
15	0.491	0.77
16	0.371	0.65
17	0.258	0.51
18	0.156	0.37
19	0.082	0.16
20	0.040	0.04



TABELLE I.5

KOEFFIZIENTEN FÜR DIE SPANTFLÄCHEN UND SPANTBREITEN

CB=0.65

SPT.NO	A/(B.T)	b/B
0	0.003	0.11
1	0.093	0.36
2	0.265	0.60
3	0.452	0.79
4	0.640	0.90
5	0.794	0.97
6	0.898	0.99
7	0.954	1.00
8	0.970	1.00
9	0.975	1.00
10	0.978	1.00
11	0.969	1.00
12	0.954	1.00
13	0.906	1.00
14	0.840	0.99
15	0.737	0.94
16	0.604	0.86
17	0.456	0.72
18	0.290	0.50
19	0.150	0.25
20	0.103	0.04

TABELLE I.6

KOEFFIZIENTEN FUER DIE SPANTFLAECHEEN UND SPANTBREITEN

CB=0.70

SPT.NO	A/(B.T)	b/B
0	0.003	0.13
1	0.110	0.39
2	0.300	0.64
3	0.495	0.83
4	0.685	0.93
5	0.845	0.99
6	0.928	1.00
7	0.975	1.00
8	0.980	1.00
9	0.985	1.00
10	0.985	1.00
11	0.976	1.00
12	0.968	1.00
13	0.945	1.00
14	0.919	1.00
15	0.853	1.00
16	0.752	0.96
17	0.615	0.85
18	0.416	0.60
19	0.216	0.30
20	0.103	0.04

**A N H A N G   I I**



$H_{1/3}$  = KENNZEICHNENDE WELLENHÖHE  
 $V_{10}$  = WINDGESCHWINDIGKEIT (10M-HÖHE)  
P = AUFTRETENS-WAHRSCHEINLICHKEIT

TABELLE II.2

BEZIEHUNG ZWISCHEN  $H_{1/3}$  UND  $V_{10}$   
(NACH DEN PIERSON-MOSKOWITZ SPEKTREN FÜR AUSGEREIFTE SEEÄNGE)

$H_{1/3}$ (M)	$V_{10}$ (M/S)
0.017	0.85
0.135	2.35
0.455	4.35
1.080	6.65
2.120	9.30
3.650	12.20
5.780	15.40
8.630	18.80
12.300	22.45
16.900	26.30
22.500	30.40
29.200	34.00

TABELLE II.3

AUFTRETENS-WAHRSCHEINLICHKEITEN DER  $H_{1/3}$  BZW.  $V_{10}$

$H_{1/3}$ (M)	$V_{10}$ (M/S)	P (%)
0.50	4.30	7.10
1.50	8.00	19.50
2.50	10.00	22.57
3.50	12.00	18.97
4.50	13.60	11.90
5.50	15.00	8.33
6.50	16.40	5.07
7.50	17.60	2.70
8.50	18.60	1.80
9.50	19.60	1.03
11.00	21.00	0.73
13.00	22.80	0.27
15.00	24.80	0.07
18.00	27.30	0.03

```
* *****
* 'WIND'-PROGRAMM ZUR BERECHNUNG DES MITTLEREN WINDWIDERSTANDES
* *****
*
* Mit diesem Programm wird der mittlere Windwiderstand
* berechnet.
*
*   DIMENSION P(20),VW(20),PHI(7),VSW(20,7),RWIND(20,7),SRWIND(20)
*   &,AX(5),WINDW(5),GRWIND(5),B(5),T(5),D(5),RNO(5),X(5),PHI2(7)
*   &,VVW(20),PHI22(7)
*
*   phi=windrichtung (in grad)
*   DATA (PHI(I),I=1,7)/0.,30.,60.,90.,120.,150.,180./
*
*   p=wahrscheinlichkeit mit der die einzelne wind-
*   geschwindigkeiten auftreten.
*   DATA (P(I),I=1,14)/7.1,19.5,22.57,18.97,11.9,8.33,5.07,
*   &2.7,1.8,1.03,.73,.27,.07,.03/
*
*   vvw=die zu der wellenhoehe gehoerige windgeschwind.(10m hoehe)
*
*   DATA (VVW(I),I=1,14)/4.3,8.,10.,12.,13.6,15.,16.4,17.6,
*   &18.6,19.6,21.,22.8,24.8,27.3/
*
*   OPEN (UNIT=7,FILE='WIND.DAT',STATUS='UNKNOWN')
*
*   berechnung wird jeweils fuer 5 schiffe durchgefuehrt
*   PRINT*, 'B,T,D,RNO EINGEBEN FUER 1 BIS 5'
*
*   eingabedatei:b=breite
*   t=tiefgang
*   d=seitenhoehe
*   rno=anzahl der containerlagern am deck
*
*   READ(5,*)(B(I),T(I),D(I),RNO(I),I=1,5)
*
*   DO 100 I=1,5
*
*   ax=hauptspantflaeche
*   AX(I)=(1.242*(D(I)-T(I))+3.218*RNO(I)+1.863+2.)*B(I)
*
*   x=gemittelte hoehe
*   X(I)=AX(I)/B(I)
*
*   WRITE(6,*)AX(I),x(i)
100  WRITE(7,*)AX(I),x(i)
```

```
DO 30 L=1,5
GRWIND(1)=0

DO 10 I=1,14
*   vw=windgeschwindigkeit bei der hoehe x
VW(I)=VW(I)*(X(L)/10.)**(0.1428)

SRWIND(I)=0

DO 20 J=1,7

*   vsw=relativgeschwindigkeit des windes
VSW(I,J)=SQRT((8.841-VW(I)*COS((PHI(J)*3.14159/180)))*2+
&(VW(I)*SIN((PHI(J)*3.14159/180)))*2)

C   phi2=richtung des scheinbaren windes (in bogenmass)
PHI2(J)=ATAN((VW(I)*SIN(PHI(J)*3.14159/180))/(-8.841+VW(I)*
&COS(PHI(J)*3.14159/180)))

c   bei der atan funktion wurde bei negativen werten angenommen
c   dass der winkel im bereich 0 bis -90 grad liegt.
c   Da jedoch phi2 im bereich 0 bis 180 grad liegt, muss bei
c   negativen werten auf diese bereich umgerechnet werden!

IF(VW(I)*COS(PHI(J)*3.14159/180).LT.8.841)THEN
PHI2(J)=3.14159+PHI2(J)
ENDIF

c   phi22=richtung des scheinbarenwindes umgerechnet im grad
PHI22(J)=PHI2(J)*180/3.14159

*   rwind=(windwiderstand fuer winkel phi)/7
RWIND(I,J)=(-1.226/2*VSW(I,J)*VSW(I,J)*AX(1)*COS(PHI2(J)))/7/1000.

*   srwind=mittlerer windwiderstand fuer gleichverteilte phi

SRWIND(I)=RWIND(I,J)+SRWIND(I)
20   WRITE(6,*)PHI(J),PHI22(J),RWIND(I,J)

*   grwind=windwiderstand multipliziert mit der jeweiligen wahr-
*   scheinlichkeiten und summiert fuer alle windstaerken

10   GRWIND(1)=SRWIND(I)*P(I)+GRWIND(1)

*   windw=mittlere windwiderstand (kN)
WINDW(1)=GRWIND(1)/100.

WRITE(6,*)WINDW(1)
30   WRITE(7,*)WINDW(1)
STOP
END
```

$R_s$  = SEEGANGSWIDERSTAND (KN)  
 $R_w$  = WINDWIDERSTAND (KN)  
 $R_{zw}$  = GES. ZUSATZWIDERSTAND (KN)

TABELLE II.4

SEEGANGSWIDERSTAENDE, WINDWIDERSTAENDE UND GESAMTZUSATZ-  
WIDERSTAENDE DER BETRACHTETEN SCHIFFE

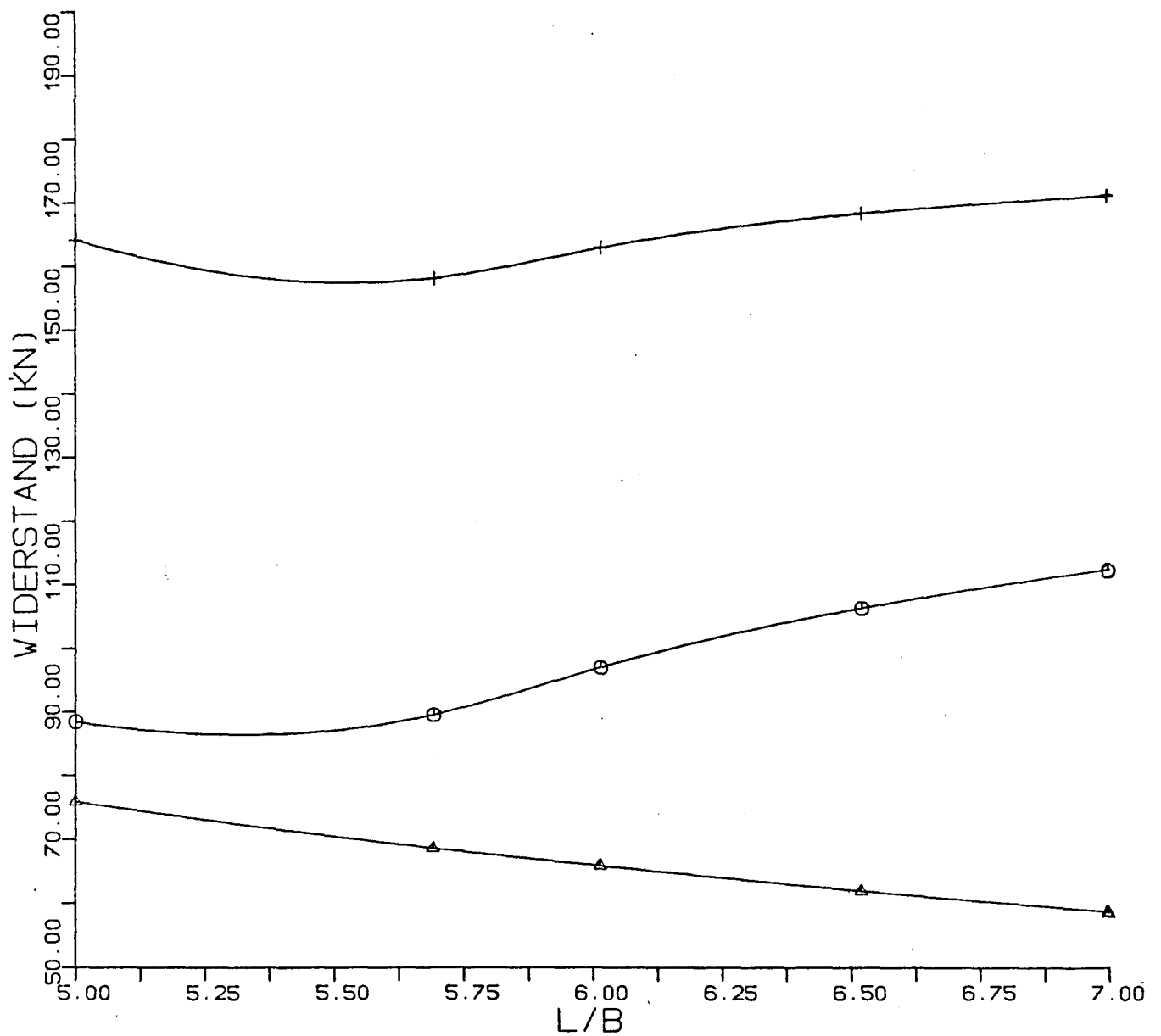
CB	L/B	$R_s$	$R_w$	$R_{zw}$
0.55	5.00	91.4	75.8	167.2
0.55	5.68	98.1	68.9	167.1
0.55	6.00	107.4	66.3	173.7
0.55	6.50	117.2	63.3	180.3
0.55	7.00	125.0	59.2	184.0
0.65	5.00	88.4	75.7	164.1
0.65	5.68	89.5	68.6	158.1
0.65	6.00	96.7	65.9	162.6
0.65	6.50	106.0	62.0	168.0
0.65	7.00	112.4	58.6	171.0
0.70	5.00	86.7	76.3	163.0
0.70	5.68	88.0	68.9	156.9
0.70	6.00	91.9	66.1	158.0
0.70	6.50	101.6	62.1	163.7
0.70	7.00	108.8	58.7	167.5



BILD: II.1

CB=0.65

- △ WINDWIDERSTAND
- SEEGANGSWIDERSTAND
- + GES. ZUSATZWIDERSTAND



VERLAUF DER EINZELNEN ZUSATZWIDERSTANDSKOMPONENTEN ÜBER L/B

A N H A N G    I I I

```
*
* *****
* "REGRESSION"-PROGRAMM ZUR ERMITTLUNG DER *
* *REGRESSIONSGLEICHUNG FUER DEN ZUSATZWIDERSTAND*
* *****
*
* -----
*
* Mit diesem Programm wird die Regressionsgleichung
* fuer den Zusatzwiderstand ermittelt.
* Es wurde den folgenden Ansatz gemacht:
*
*      RZW=B0+B1*(L/B)+B2*(CB)+B3*(L/B)**2+B4*(CB)**2
*      B5*(L/B)*(CB)+B6*(L/B)**2*(CB)+B7*(L/B)*(CB)**2
*      B8*(L/B)**2*(CB)**2
*
* -----
*
*      REAL KOS(20,20)
*
*      DIMENSION A(100),ASX(20),SX(20),B(20),V(20),W(20),X(20,20)
*      1,UN(20),SKF(20),PAL(20),Y(20)
*
*      x(1,i)=l/b werte der schiffe
*      DATA (X(1,I),I=1,15)/5.0,5.686,6.0,6.5,7.,5.0,5.686,6.0,6.5,7.,
*      15.0,5.686,6.0,6.5,7./
*
*      x(2,i)=cb werte der schiffe
*      DATA (X(2,I),I=1,15)/.55,.55,.55,.55,.55,.6498,.6498,.6498,.6498,
*      &.6498,.7,.7,.7,.7,.7/
*
*      y(i)=zusatzwiderstandswerte der schiffe
*      DATA (Y(I),I=1,15)/167.2,167.1,173.7,180.3,184.,164.2,158.1,
*      &162.5,168.,171.,163.,157.,158.,163.7,167.4/
*
*      OPEN(UNIT=8,NAME='REG.DAT',STATUS='UNKNOWN')
*
*      no=anzahl der vorhandenen werte
*      NO=15
*
*      n=anzahl der unabhaengigen variable
*      N=8
*
*      x(j,i)=die unabhaengige variable
*      DO 10 I=1,15
*      X(3,I)=X(1,I)*X(1,I)
*      X(4,I)=X(2,I)*X(2,I)
*      X(5,I)=X(1,I)*X(2,I)
*      X(6,I)=X(3,I)*X(2,I)
*      X(7,I)=X(4,I)*X(1,I)
* 10  X(8,I)=X(3,I)*X(4,I)
```

```
*      ERMITTLUNG DER MITTELWERTE DER UNABH. VARIABLE ASX(J)
*      =====

      DO 20 J=1,N
      SX(J)=0

      DO 21 I=1,NO
21      SX(J)=SX(J)+X(J,I)

20      ASX(J)=SX(J)/NO

*      ERMITTLUNG DES MITTELWERTS DER ABH. VARIABLE ASY
*      =====

      SY=0

      DO 25 I=1,NO
25      SY=SY+Y(I)

      ASY=SY/NO

*      ERMITTLUNG DER KOEFFIZIENTEN DER SIMULTANGLEICH.(KOS(K,J))
*      =====

      DO 30 K=1,N
      DO 30 J=1,N

      KOS(K,J)=0
      DO 30 I=1,NO

30      KOS(K,J)=(X(J,I)-ASX(J))*(X(K,I)-ASX(K))+KOS(K,J)

*      ERMITTLUNG DER WERTE DER SIMULTANGLEICH. (W(K))
*      =====

      DO 40 K=1,N

      W(K)=0
      DO 40 I=1,NO

      W(K)=(X(K,I)-ASX(K))*(Y(I)-ASY)+W(K)

40      CONTINUE
```

```
*   UMSPEICHERN DER DATEI IN EINER FORM,DIE DEM PROGRAMM
*   'SIMQ' PASST.
*   =====
```

```
           I=1
           DO 50 J=1,N
           DO 50 K=1,N
             A(I)=KOS(K,J)
             I=I+1
```

```
50         CONTINUE
```

```
           DO 51 I=1,N
51         B(I)=W(I)
```

```
           KS=0
```

```
*   DAS PROGRAMM SIMQ WIRD AUFGERUFEN UM DAS GLEICHUNGSSYSTEM
*   ZU LOESEN.
*   =====
```

```
           CALL SIMQ(A,B,N,KS)
           BOJ=0
```

```
           DO 60 J=1,N
60         BOJ=ASX(J)*B(J)+BOJ
```

```
           B0=ASY-BOJ
```

```
*   B0,B(I) SIND DIE KOEFFIZIENTEN DER REGRESSIONS GLEICHUNG
*   ++++++
```

```
           WRITE(6,*)B0,(B(I),I=1,N)
           WRITE(8,*)B0,(B(I),I=1,N)
```

```
*   BERECHNUNG DES ZUSATZWIDERSTANDES MIT DER REGRESS. GLEICHUNG
*   =====
```

```
           DO 70 I=1,NO
           PAL(I)=0
```

```
           DO 71 K=1,N
71         PAL(I)=X(K,I)*B(K)+PAL(I)
```

```
*   skf(i)=berechneter zusatzwiderstand
           SKF(I)=PAL(I)+B0
```

\* un(i)=prozentueller differenz zwischen tatsaechlichen  
\* und nach reg. gleich. ermitteltem wert

UN(I)=(SKF(I)-Y(I))/Y(I)\*100

WRITE(8,101)I,X(2,I),X(1,I),Y(I),SKF(I),UN(I)  
70 WRITE(6,\*)SKF(I),Y(I),UN(I)

101 FORMAT(2X,I2,5X,5(F7.3,5X))

STOP  
END

TABELLE III.1

-----

VERGLEICH ZWISCHEN GEGEBENEN UND BERECHNETEN WERTE

-----

GRZ: GEGEBENER ZUSATZWIDERSTANDSWERT

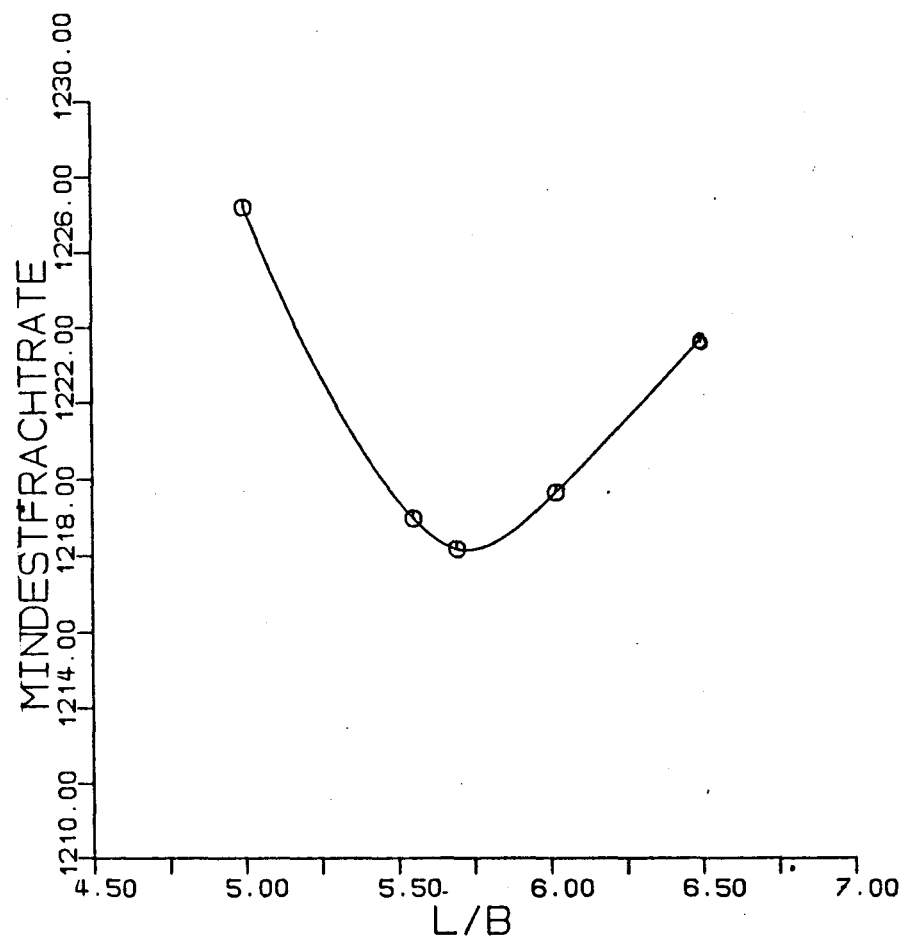
BRZ: NACH REGRESSIONSGLEICHUNG BERECHNETEN WERT

NO.	CB	L/B	GRZ	BRZ	%-ABW
--	-----	-----	-----	-----	-----
1	0.550	5.000	167.200	166.381	-0.490
2	0.550	5.686	167.100	169.992	1.731
3	0.550	6.000	173.700	172.633	-0.615
4	0.550	6.500	180.300	178.119	-1.210
5	0.550	7.000	184.000	185.178	0.640
6	0.650	5.000	164.200	163.148	-0.641
7	0.650	5.686	158.100	161.067	1.877
8	0.650	6.000	162.500	161.909	-0.364
9	0.650	6.500	168.000	165.576	-1.443
10	0.650	7.000	171.000	172.100	0.643
11	0.700	5.000	163.000	162.586	-0.254
12	0.700	5.686	157.000	158.157	0.737
13	0.700	6.000	158.000	158.366	0.232
14	0.700	6.500	163.700	161.599	-1.283
15	0.700	7.000	167.400	168.394	0.594

A N H A N G    I V

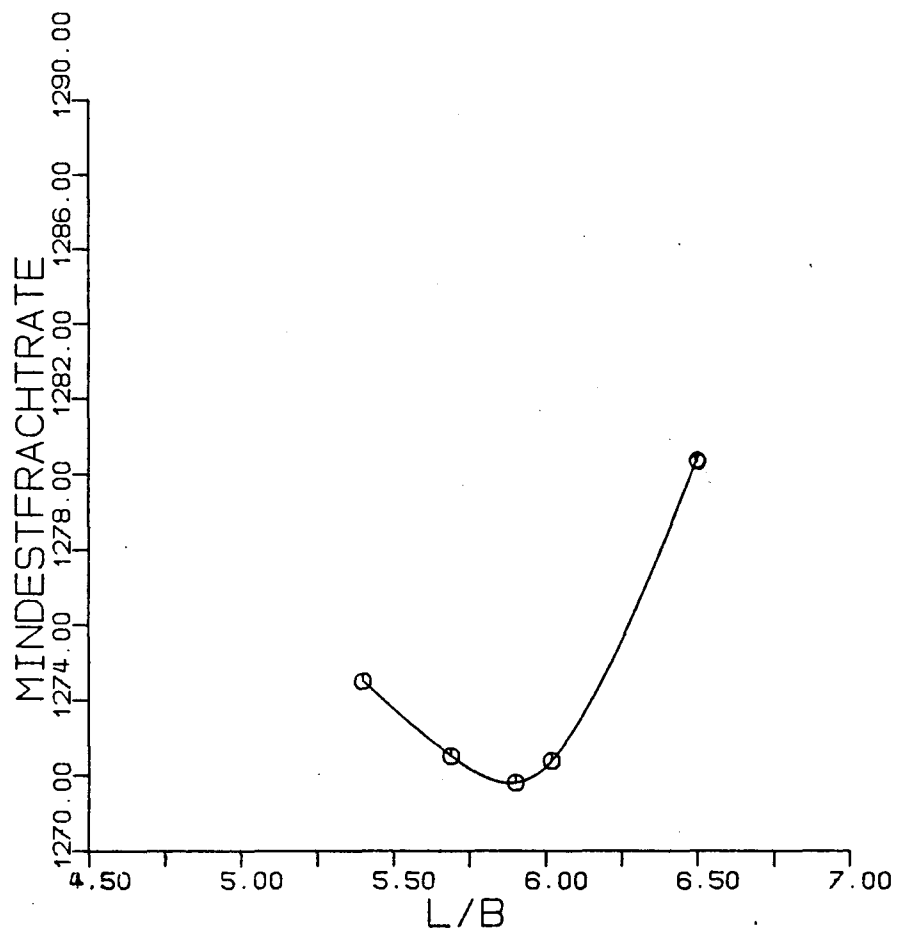


BILD: IV.1



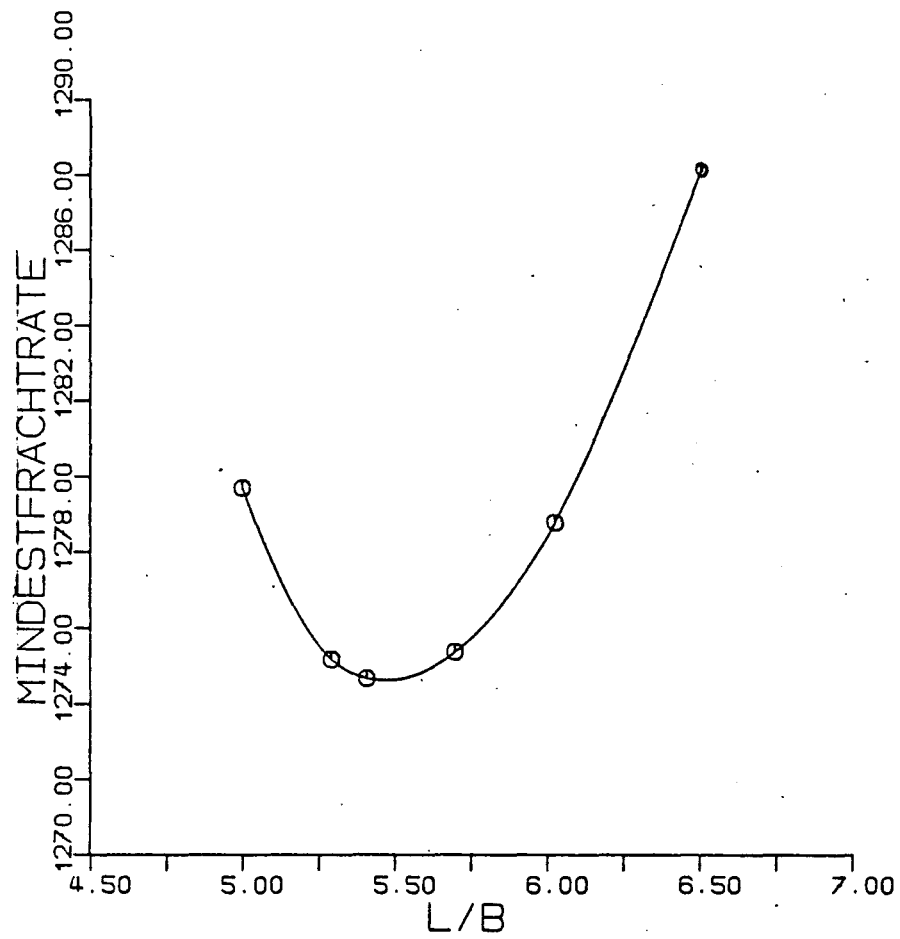
ABHÄNGIGKEIT DER MINDESTFRACHTRATE VON  
L/B (FALL 1)

BILD: IV.2



ABHÄNGIGKEIT DER MINDESTFRACHTRATE VON  
L/B (FALL 2)

BILD: IV.3



ABHÄNGIGKEIT DER MINDESTFRACHTRATE VON  
L/B (FALL 3)

SYMBOLVERZEICHNIS DER TABELLE IV.1

-----

L (M):	SCHIFFSLAENGE
B (M):	SCHIFFSBREITE
T (M):	TIEFGANG
D (M):	SEITENHOEHE
$\nabla$ (M <sup>3</sup> ):	VERDRAENGUNG
BAU (mio DM):	BAUKOSTEN DES SCHIFFES
PB (kW):	ERFORDERLICHE HAUPTMOTORENLEISTUNG
RGW (kN):	GLATTWASSERWIDERSTAND
RZW (kN):	MITTLERER ZUSATZWIDERSTAND
RT (kN):	GESAMTWIDERSTAND DES SCHIFFES
RFR (DM):	ERFORDERLICHE MINDESTFRACHTRATE

TAB IV.1

HAUPTKENNWERTE DER 3 'OPTIMALEN' SCHIFFE  
=====

KENNWERT	FALL (1)	FALL (2)	FALL (3)
L	170.12	173.99	164.32
B	29.92	29.49	30.43
T	8.50	8.53	8.86
D	15.90	15.88	15.93
CB	0.613	0.614	0.600
$\nabla$	26520	26920	26576
L/B	5.68	5.90	5.40
B/T	3.52	3.45	3.43
BAU	64.27	66.47	65.08
PB	9016	10074	10356
RGW	589	585	608
RZW	88	158	164
RT	677	743	772
RFR	1218.3	1271.8	1274.8